

## HABITATMODELLER

Af Brian Kronvang, Danmarks Miljøundersøgelser, Afd. for Vandløbsøkologi

### 6.3 Habitatmodeller

#### 6.3.1 Problemformulering

EU's Vandramme Direktiv sætter krav til indenfor Vanddistrikter at kunne udpege overfladevand i forskellige kategorier. Vedrørende vandløb opdeles der i naturlige vandløb, kunstigt skabte vandløb og stærkt modificerede vandløb. Indenfor hver af disse tre kategorier skal der ske en opdeling af vandløbene i typer. Her er der to typologier at vælge mellem. Den mest udvidede indeholder en obligatorisk beskrivelse af geografisk beliggenhed, topografi, geologi og størrelse, samt en lang række valgfrie parametre der indeholder beliggenhed i vandsystem (afstand fra udspring), fysiske forhold, vandføringsregime, ådalsbeskrivelse, klimatiske parametre, sedimenttransport, alkalinitet og kloridindhold.

Alle vandløb indenfor vanddistriktet skal på baggrund af eksisterende og eventuel ny overvågning tildeles en økologisk status indenfor 5 klasser: Høj status (high), god status (good), moderate status (moderate), dårlig status (poor) og meget dårlig status (bad). Den økologiske status skal bedømmes ud fra referencetilstanden (dvs. den uforstyrrede tilstand) både hvad angår de biologiske, fysisk-kemiske og hydro-morfologiske forhold. Vanddistrikterne skal indenfor en 15 års periode efter Vandramme Direktivets ikrafttrædelse sikre, at alle vandløb opnår en god økologisk status. Samtidig skal det sikres at kunstige vandløb og stærkt modificerede vandløb opnår et godt økologisk potentiale og en god kemisk status.

I de danske vandløb er både vandets mængde og kvalitet, samt de fysiske forhold vigtige for den økologiske kvalitet. Vi ved at i de ca. 25.000 km vandløb med målsætning opfyldes målsætningen i dag i ca. 37% af de små vandløb og 47% af de større vandløb. Den manglende målsætningsopfyldelse kan henføres til en lang række forskellige påvirkninger. Den seneste opgørelse af årsagerne til manglende mål opfyldelse fra 1996 viser, at udtørring var årsag til manglende mål opfyldelse i 9% af de målsatte vandløb. Andre årsager til manglende mål opfyldelse er organisk stof forurening (49%), okkerpåvirkning (11%), forgiftninger (2%) og dårlige fysiske forhold (23%). Grundvandets betydning er i denne sammenhæng åbenlys hvad angår manglende vandmængde i vandløb. Grundvandet har dog også betydning i forbindelse med tilførsel af organisk stof, opløst jern, tungmetaller og miljøfremmede stoffer til vandløb.

I udlandet er der i de senere år arbejdet meget med opstilling af metoder og empiriske habitat modeller, der kan benyttes til at beskrive den økologiske referencetilstand i vandløb indenfor forskellige økoregioner og/eller vandløbstyper ud fra en række forklarende fysisk-kemiske variable. De udviklede metoder og modeller kan for eksempel benyttes til at kvantificere eventuelle afvigelser fra referencetilstanden på en given vandløbsstrækning, ved at sammenligne de eksisterende biotiske forhold (fisk, makroinvertebrater og planter) med den af metoden/modellen forudsagte diversitet på et givet niveau (art, familie). Endvidere er der i udlandet arbejdet med at udvikle mere dynamiske habitatmodeller, som analyseværktøj til at vurdere de økologiske konsekvenser på biota af f.eks. et øget pres på grundvandsressourcen, etablering af reservoirer, vandløbsvedligeholdelse, mv.

I Danmark mangler vi viden i dag den nødvendige viden om referencetilstanden i de forskellige regioner og vi har derfor ikke mulighed for objektivt at vurdere den økologiske kvalitet i vandløb som krævet i EU's Vandramme Direktiv. Vi mangler i dag en grundlæggende viden om hvor stor betydning grundvandets mængde har for regulering af de økologiske forhold i vandløb og ånære arealer. Vi mangler ligeledes en grundlæggende viden om hvilke kvalitetskriterier der kan fastsættes for koncentrationen af naturlige og miljøfremmede stoffer i de strømmende vande set i forhold til tålegrænser for planter og dyr.

I det følgende gennemgås den internationale og danske vidensstatus omkring metoder og modeller til kortlægning og kvantificering af habitater i vandløb. Endelig peges der i et idekatalog på hvordan den manglende viden på området kan opnås.

### 6.3.2 Hvad menes der med fysiske habitater og hvorfor er de vigtige ?

Akvatiske habitater kan defineres som de lokale fysiske, kemiske og biologiske elementer som tilsammen danner levesteder for organismer. I den internationale litteratur er der mange beviser for at både kvaliteten og kvantiteten af tilgængelige habitater påvirker strukturen og sammensætningen af de tilstedeværende biologiske samfund både hvad angår fisk (Heggenes, 1996; Stalnaker et al., 1996; Lamouroux et al., 1998; Milner et al., 1998; Guay et al., 2000; Pusey et al., 2000; Vismara et al., 2001, makroinvertebrater (Jowett et al., 1991; Quinn and Hickey, 1994; Peeters and Gardeniers, 1998; Schleiter et al., 1999; Turak et al., 1999; Marchant et al., 1999; Smith et al., 1999) og periphyton (Biggs et al., 1998; Biggs et al., 1998). I forbindelse med anvendelsen af ordet 'habitater' er det vigtigt at holde sig for øje at betegnelsen ikke alene omfatter en fysisk genkendelig form eller beregnbar størrelse, men at den skal have en påvist biologisk betydning. Det er her at samspillet mellem hydrologi, morfologi, kemi og biologi træder i karakter. Produktiviteten af ethvert vandløb er således bestemt af fire overordnede faktorer (Stalnaker, 1979):

- 1) Vandkvaliteten.
- 2) Energien der er til rådighed i form af lys, temperatur, organisk stof og næringsstoffer.
- 3) De fysiske rammer i vandløbet og dets omgivelser.
- 4) Vandførings regimet i vandløbet.

De sidste to af disse faktorer danner de fysiske habitater for planter og dyr i vandløb. Som vist i figuren danner habitater forbindelsesleddet mellem de natur- og kulturskabte påvirkninger af vandløb og dets plante- og dyreliv. De fysiske habitater opstår som interaktionen mellem fysiske strukturer i vandløb (størrelse, form, hældning, bundsubstrat, brinkens form, mv.) og de hydrauliske forhold, der ved en given vandføring bestemmer dybdeforhold, strømhastighed, shear stress, mv. De fysiske habitater er ikke stabile størrelser men ændrer sig ned igennem vandløbet (udspring til munding), på tværs af vandløbet og ådalen og fra bunden mod vandoverfladen. Hertil kommer at de på grund af ændringer i vandføring varierer med tiden både hvad angår substratforhold (sedimenttransport og sedimentation) og vandløbets skikkelse og form (brinkerosion og løb i ådalen).

### 6.3.3 Hvorfor er der behov for at kortlægge fysiske habitater ?

Kortlægning og beskrivelse af de fysiske habitater har stor betydning indenfor fiskeøkologi især i forbindelse med ophjælpning af fiskebestande. Derudover er det benyttet i forbindelse med evalueringer af restaureringsprojekter i vandløb og ved fastsættelse af krav til minimums vandføringer ved opdæmninger af vandløb, oppumpning af drikkevand, mv. I mange år er de fysiske forhold blevet beskrevet i forbindelse med bedømmelser af vandløbskvaliteten både herhjemme og i udlandet. Det er dog først indenfor de senere år at der i Danmark og især i udlandet er blevet arbejdet med at udvikle standardiserede metoder til kortlægning af de fysiske habitater i vandløb. Det er stadigvæk få steder at hvor de fysiske habitater indgår som en integreret del af bedømmelser af vandløbskvaliteten (NRA, 1996).

### 6.3.4 Skalaens betydning

Mange af de eksisterende metoder til beskrivelse af fysiske habitater bliver anvendt på forskellige skalaer. Jo mindre skala, jo mere bliver de fysiske habitater og biota følsomme overfor forstyrrelser og det tager længere og længere tid at genskabe den oprindelige tilstand (recovery). Den mindste skala er punkter eller delområder af et vandløb (mikrohabitater) hvor de fysiske og hydrauliske forhold på selve levestedet for en organisme beskrives. Eksempler herpå er undersøgelser af habitatforholdene for de punkter i vandløb hvor fisk står eller hvor enkeltindivider af forskellige arter af smådyr lever. Sektioner af vandløbet (mesohabitater) er den næste skala og den identificerer delområder af vandløbet som er foretrukne levesteder for forskellige livsstadier af dyr eller planter. Et godt eksempel er laks og ørreders habitatkrav til gydepladser. Der er udviklet forskellige beskrivende systemer for mesohabitater, der dog alle indeholder den typiske opdeling af

vandløbet i morfologiske elementer (stryg, høl, osv.). Den tredje skala er strækningsniveauet (makrohabitat) hvor både habitat- og biologiske forhold er mere stabile over tid end ved de lavere niveauer. På dette niveau beskrives de dominerende fysiske forhold på strækningen, som substrat, hældning, dybde/bredde ratio, sinuositet, arealanvendelse på tilstødende arealer, sammen med de overordnede topografiske, geologiske, hydrologiske, og arealanvendelsesmæssige forhold. Det sidste niveau er hele vandløbsoplande. På dette niveau er det helt overordnede parametre som beliggenhed (længde og breddegrad), topografi, geologi, klima, arealanvendelse, spærringer, mv., der indgår i beskrivelsen af habitatforhold.

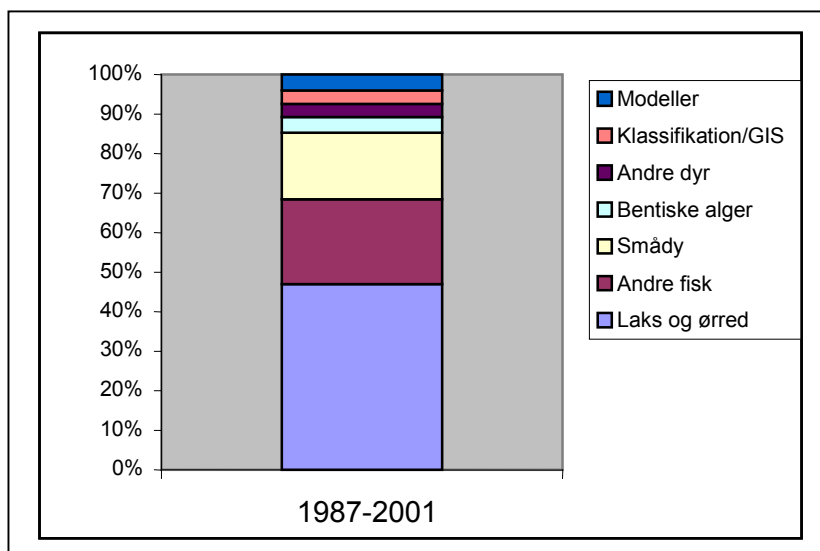
### 6.3.5 Statistik over søgeresultater fra den internationale litteratur

Modeller til beskrivelse af de fysiske vandløbshabitater i form af simple og mere dynamiske hydrauliske modeller, samt dyr og planter krav til levesteder har været udsat for en øget forskningsindsats international igennem de sidste 15 år (tabel 1). Der har i den internationale litteratur specielt været fokuseret på at opnå en viden om de krav dyr og planter stiller til strømhastighed, dybde, substrat, mv., mens de mere rene modelmæssige tilgange ikke har omfattet mange publikationer i den gennemførte søgning.

Antallet af internationale publikationer har en overvægt mod undersøgelser af især laks og ørreds habitatkrav, der alene omfatter næsten halvdelen af de fundne publikationer (figur 1). Andre fisk eller hele fiskesamfunds krav er også velundersøgt, mens det først er i de seneste år at smådyrsfaunaen krav til levesteder i vandløb for alvor er blevet undersøgt. Det er således på smådyrsfaunaen og de bentiske alger at væksten i forskningen har ligget i den seneste 4 års periode. Et andet emne som dukker op i den internationale litteratur ide seneste år er artikler om klassifikation af vandløb specielt med udnyttelse af Geografiske Informations Systemer (GIS).

*Tabel 1: Oversigt over internationale publikationer i perioden 1987-2001 fra søgning i databasen Web of Science med søgeprofilen: (Habitat and Model) and (River(s) or Stream(s)). I alt blev der fundet 286 hit hvoraf de 149 (52%) var relevante i forhold til emnet.*

Emne	1987-1990	1991-1995	1996-2000
Laks og ørred	0	26	44
Andre fiskearter	0	13	19
Vandløbs insekter	1	6	18
Bentiske alger	0	1	5
Andre dyr	0	2	3
Klassifikation/GIS	0	0	5
Model	0	3	3
Total	1	51	97



*Figur 6.x: Den relative hyppighed af internationale publikationer indenfor enkelte kategorier i perioden 1989-2001.*

### 6.3.6 Metoder og index benyttet til kortlægning af fysiske habitater

#### Internationale erfaringer

I praksis arbejdes der oftest på strækningsniveau med beskrivelsen af fysiske habitater og beregning af forskellige former for index eller scores. Dette er tilfældet med de fleste af de habitat kortlægnings metoder som er udviklet i udlandet.

En metode til kortlægning af fysiske habitater i vandløb er i flere omgange blevet udviklet af Rosgen (1994). Metoden er baseret på objektive og let målelige kriterier hvor strækninger på 1 niveau inddeles i 9 typer baseret på hældning, længdeform, tværsnitsform og bredde/dybde ration for derefter at blive yderligere inddelt på 2 niveau efter bund- og brinksustrat. Klassifikationssystemet kan anvendes til at sammenligne nuværende tilstand med en upåvirket tilstand og der kan arbejdes med empiriske sammenhænge mellem tilstanden og vandføring, mv.

Andre har udarbejdet metoder til klassificering af mesohabitat typer på baggrund af visuelt identificerbare primære og sekundære morfologiske, hydrauliske og vegetationsmæssige habitater på vandløbsstrækningen (Kershner and Snider, 1992). Typisk er der tale om habitater som stryg (lille og stort fald), høl (mange sekundære typer), kantzone, bagvand, trærodde, forskellige makrofyarter, mv.

Det engelske River Habitat Survey (RHS) omfatter en kortlægning af fysiske strukturer i vandløbet, på dets bredder og omgivende land på 500 m lange strækninger af vandløb (Raven et al., 1998). Kortlægningen gennemføres ved en visuel inspektion langs vandløbet (af certificeret personale, der ved hjælp af en manual med beskrivelse af valgmuligheder for de 200 parametre som skal klassificeres i og omkring vandløbet og ud fra kort. I United Kingdom er der i 1994-1996 indsamlet beskrivende data fra 3 vandløb i hver af de i alt 1523 10x10 km grids (4569 strækninger), der alle var naturlige eller semi-naturlige. Ni vandløbstyper blev i første omgang defineret ud fra databasen baseret på overordnede forhold vedrørende geologi, hældning og arealanvendelse. Siden er dette udvidet til flere typer afhængig af hvilke parametre der sammenholdes. RHS kan benyttes til flere formål: 1) Kategorisering af vandløbstype; 2) Vurdering af habitatkvalitet ved hjælp af en score (HQA) som er en sum af den scoring de forskellige fysiske og vegetationsmæssige forhold er tildelt; 3) Vurdering af fysiske påvirkninger og modificeringer af vandløbet ved hjælp af en score (HMS). HMS er en sum af individuelle scorer tildelt forskellige fysiske ændringer af strækningen såsom grødeskæring, rørlægning, bredsikring, opstemninger, osv. En score på nul er et upåvirket vandløb, semi-naturlige vandløb scorer 2 og meget modificerede vandløb scorer 45 eller mere. Det er vigtigt at holde sig for øje at RHS ikke omfatter egentlige kvantitative eller semi-kvalitative biologiske målinger udover bedømmelse af vegetation i forskellige kategorier. RHS virker altså ved at sammenligne en lang række fysiske attributter i upåvirkede, semi-påvirkede og påvirkede vandløb.

Den amerikanske Miljøstyrelse (US EPA) har udviklet et system til bedømmelse af vandløbsstrækninger (Rapid Bioassessment Protocol) (Plafkin et al., 1989). Udover bedømmelser af tilstanden ud fra fisk og makroinvertebrater anvendes en metode til evaluering af de fysiske habitater. Den indeholder tre niveauer: 1) substrat og skygning i vandløb; 2) vandløbets morfologi; 3) Udformning af brink og ådal. De tre niveauer tillægges forskellig betydning i den endelige score med størst vægt på den første gruppe og mindst på den sidste gruppe. Svagheden ved den amerikanske metode er at de tre indeks ikke er udviklet set i en sammenhæng og at det fysiske habitat index ikke er målrettet mod betydning for biota.

#### Danske erfaringer

I Danmark har amterne igennem mange år gennemført visuelle og grove registreringer af de fysiske forhold i vandløb på alle de lokaliteter hvor der er blevet gennemført bedømmelser af forureningsgraden. Oftest er der dog blevet anvendt vidt forskellige skemaer i de enkelte amter til støtte for karakteristikken af de fysiske forhold. De gennemførte registreringer af de fysiske forhold er meget subjektiv og bedømmelsen af de enkelte elementer (bredde, substrat, mv.) er formentlig gennemført på forskellig måde i de enkelte amter og

af de enkelte personer involveret. Der har ikke i Danmark været gennemført forsøg på at teste sammenligneligheden af de udførte registreringer af de fysiske forhold.

Kaarup (1999) har udarbejdet et forslag til nyt fysisk index til brug for entydig beskrivelse af de fysiske forhold i vandløb i Århus amt. De fysiske parametre bedømmes på hver lokalitet i forbindelse med vandløbstilsynet over en ca. 50 m strækning. De registrerede fysiske parametre er opdelt i positive og negative grupper og der er lavet en score for hver parameter. Positive parametre er eksempelvis forekomst af stryg/høl, mæanderbuer, gydegrus, sten, rødder, underskårne brinker, mv., mens negative parametre er sandvandring, blød bund, bredt vandløbsprofil, mv. Det samlede index dannes af en intensitetsværdi mellem 0-3 for hver parameter (0=ingen forekomst og 3 er stor forekomst) og en faktor der tillægges efter betydningen af hver parameter for vandløbskvaliteten. De to multipliceres for hver parameter og summeres for herefter af danne indexværdien for den pågældende lokalitet. Herefter er det samlede indeks for de fysiske forhold på strækningen sat i forhold til 4 målsætningsklasser med krav til en vis indekssværdi for klasse. Systemet er afestet i 1996-1997 på 875 stationer med bedømmelse af forureningsgrad og 165 stationer med målt ørredtæthed. Indekset viser en tydelig sammenhæng til både ørredtæthed og forureningsgrad på de undersøgte lokaliteter.

I forbindelse med indførelse af Dansk Faunaindeks er der sket en harmonisering af den fysiske bedømmelse så alle benytter samme skema og registrerer de samme variable (Miljøstyrelsen, 1998).

### 6.3.7 Statistiske metoder og modeller benyttet til kobling af biota og fysiske habitater

#### Internationale erfaringer

I de sidste 20 år er der i udlandet forsket i udvikling af metoder og modeller til kobling af fysiske habitater og biota. Der er både blevet forsket i udvikling af simple metoder og mere komplekse modeller til forudsigelse af levesteder og bestande for forskellige livsstadier af laks og ørred, andre fiskearter, makroinvertebrater og trådalger. I dette afsnit omtales de simple statistiske metoder.

#### *Fisk*

HABSCORE er en simpel metode som bygger på empiriske sammenhænge mellem fisketæthed og kombinationer af oplands- og strækningsspecifikke oplysninger. HABSCORE er udviklet på baggrund af tætheder af laks (2 livsstadier) og ørred (4 livsstadier) og fysiske parametre fra 602 vandløbsstrækninger (30-100 m) i England og Wales (Milner et al., 1998). De anvendte oplandsparametre er højde, hældning, et nummer der fortæller om strækningens beliggenhed i forhold til andre i samme vandløbssystem og konduktivitet. De primære strækningsoplysninger er dato for elbefiskning, middel dybde, middel bredde, beskygning, skjul i vandløb, substrat diversitet, substrat type, strømningstype og vandførings regime. Ud fra de strækningsspecifikke oplysninger beregnes fire afledede parametre. HABSCORE kan ved anvendelse af 6-18 parametre forklare 41-70% af den observerede rumlige variation i de forskellige livsstadier af laks og ørred. Den samlede forklaringsgrad faldt til 29-46% når de tidsmæssige variationer blev inddraget. Den tidsmæssige variation i fisketæthed er især konstateret at være stor i mindre vandløb (<8 m). På regionalt niveau er det de oplandspecifikke parametre som dominerer i forudsigelse af fisketætheder. Metoden er ikke umiddelbart anvendelig til at forudsige effekter af indgreb da den er empirisk og ikke indeholder kausale sammenhænge.

Pusey et al. (2000) undersøger sammenhængen mellem artstæthed og forekomst/fravær af enkelte fiskearter mod en række miljøvariable i Queensland, Australien. Data er indsamlet fra 4 større vandløbssystemer ved gentagen elbesfiskning på i alt ca. 650 vandløbsstrækninger, der er 40 m i udstrækning. Miljøvariable dækker fra geografiske data til detaljerede fysiske data (bredde, substrat, middel strømhastighed, skjul, mv.) fra strækningen. Multivariat analyser blev gennemført vandløbssystem for vandløbssystem. Undersøgelsen viser at det er muligt at forudsige både artsdiversitet og forekomst/fravær i vandløb der har stabile afstrømning i modsætning til vandløb med store udsving i vandføring. Undersøgelsen viste også at det hovedsageligt er de overordnede geografiske parametre, som har indflydelse på fiskebestanden (højde, afstand fra udspring, længdegrad, mv.). Strækningforhold viste sig at autokorrelere til beliggenhed i vandløbssystemet. Dog kunne strækningparametre inddrages i forklaringen af fiskebestand i enkelte af vandløbssystemerne.

### *Makroinvertebrater*

Det engelske RIVPACS (River InVertebrate Prediction And Classification System; Wright, 1989 and 1995) er udviklet på baggrund af sammenhænge mellem makroinvertebrat samfund og de fysiske/kemiske forhold på i alt 438 upåvirkede (reference) vandløbsstrækninger i næsten 80 vandløbssystemer i United Kingdom. Målingerne til udvikling af RIVPACS dækker 3 sæsoner (forår, sommer og efterår). RIVPACS kan anvendes til at vurdere de nuværende økologiske forhold på en vandløbsstrækning i forhold til referencesituationen. Det sker ved indsamling af fauna og måling af 5-11 fysiske og kemiske parametre fra strækningen og området som helhed. RIVPACS er fleksibelt idet systemet kan anvendes både på artsniveau og familie niveau. Ud fra de indsamlede fysiske og kemiske data kan RIVPACS forudsige artssammensætningen på strækningen på forskellige sandsynlighedsniveauer. Normalt anvendes sandsynligheden 50% som nedre grænse. Herefter kan antal af observerede arter sammenholdes med den beregnede situation og afvigelsen er et mål for hvor forurenede vandløbet er med organisk stof. En andel del af RIVPACS opererer på familie niveau (BMWP). Her bliver de konstaterede makroinvertebrat familier scoret fra 1-10 afhængig af deres tolerance overfor organisk forurening (1=tolerant). Den samlede score divideres med antal tællende familier i scoringen og danner et index (Average Score Per Taxon: ASPT). Den konstaterede ASPT kan herefter sammenholdes med en beregnet ASPT ud fra en multipel regressionsmodel, som involverer 5 prediktor variable og er opstillet for upåvirkede vandløb i op til 25 delområder af UK differentieret ved deres geologi, højdeforhold, mv. Ud fra ASPT kan man meget hurtigt afgøre om der er påvirkninger af det undersøgte vandløb.

Der er svagheder ved RIVPACS og følgende er nævnt: 1) en mangelfuld repræsentation af alle forekommende vandløb i UK; 2) at makroinvertebrater blev indsamlet i forhold til dominansen af den enkelte habitattype hvilket er vist at kunne give en bias mod den dominerende habitat, derfor bedre med habitatspecifik prøvetagning (Parsons and Norris, 1996); 3) andre modeltyper kunne med fordel være valgt, f.eks. multivariate; 4) den udviklede model giver dårlige forudsigelser i små vandløb, i skotske vandløb, vandløb der afvander hedearealer og vandløb i karstområder.

Marchant et al. (1999) analyserer sammenhængen mellem makroinvertebrater (art eller slægt) og forskellige kemiske og fysiske parametre på baggrund af feltmålinger i 199 upåvirkede referencevandløb i 29 afstrømningsområder i Victoria, Australien. Prøvetagning foregik separat i to habitater, kanthabitaten (edge med lille strøm) og i hovedstrømmen oftest på stryg, ved prøvetagning med 250 um net over et 10 m transekt og 30 minutter pilleprøver. Makroinvertebrat prøver udsorteret i laboratoriet til art eller familie. I alt 46 miljøvariable blev målt samtidig med prøvetagningen spændende fra oplandsdata, over kemiske data til strækningsspecifikke –og biologiske data (perifyton, trådalger, mv.). Ved multivariate analyser af invertebratfaunaen udskiller der sig 11 klasser af kanthabitaten og 12 klasser af stryghabitaten. Ordinationsanalyse af invertebratdata mod miljøvariable viste gode korrelationer især til højde og parametre der beskriver stedets beliggenhed i vandløbssystemet som f.eks. oplandsstørrelse, afstand fra udspring, vandløbsbredde, vandtemperatur og riparisk vegetation. Derimod var der ingen stærke sammenhænge til fysiske parametre som beskriver strækningen. Dog viste tilstedeværelsen af makrofytter at øge artsdiversiteten, hvorimod artsdiversiteten faldt på strækninger med stor vandføringsvariation. Ved analyser af data enkelte oplande blev der fundet korrelationer til substratforhold og organisk materiale på vandløbsbunden. Altså afhænger resultatet af analyserne af den skala man arbejder på. Undersøgelsen viste også, at det ikke er muligt at udskille økoregioner ud fra geografiske mønstre i Victoria, Australien.

Smith et al. (1999) har udviklet en metode til bedømmelse af vandløbskvaliteten i Australien (AusRivAS) baseret på makroinvertebrater og en række miljøvariable som indikatorer. Metoden er udviklet på baggrund af data fra 188 minimalt forstyrrede vandløbsstrækningen i Vestaustralien. Prøver blev udtaget i 4 tilfælde (forskellige sæsoner) med 250 um net fra de to dominerende habitater, det åbne vandløb og fra steder med makrofytter i begge tilfælde kun hvis habitatet udgjorde >10% af 100 m strækningen. Prøvetagning foregik over 10 m i begge habitater for makrofythabitat med prøvetagning både i neddykkede planter og emergente planter. Makroinvertebrater blev i de fleste tilfælde bestemt til familie. Samtidig med prøvetagningen blev der målt 44 miljøvariable spændende fra oplandsdata, kemiske data til strækningsspecifikke data (substrat, makrofytter, bentiske alger, dybde i klasser, strømhastighed i form af max/min i habitat, mv. Multivariat analyser blev udført først for at klassificere makroinvertebrat samfund i området og dernæst mellem makroinvertebrater og miljøvariable for hver sæson (våd, tør og mellem). Analyse af data fra de åbne

vandløbsstrækninger for den våde sæson udskilte makroinvertebrat samfund i fem klasser efter deres beliggenhed. En analyse af makroinvertebrat samfund mod miljøvariable viste at den geografiske beliggenhed (længde- og breddegrad), højde, afstand fra udspring, middel årlig vandføringsklasse (6 klasser), vandførings regime og middel dybde (5 klasser) var de betydende faktorer. De tester deres metode på data fra de samme vandløb men en anden våd sæson og finder at 80% af deres strækninger bliver testet som upåvirkede. Dermed er der kun en fejl på 10% i aftestningen. En anden test på helt uafhængige vandløb falder ikke så heldigt ud. Her rammer metoden kun rigtigt. De kan nu udnytte deres metode til at bedømme om et uafhængigt vandløb er forstyrret eller ej og i hvor stor grad. Det gør de ved at beregne en observeret til forventet ratio (O/E ratio) for deres reference vandløb. De fastlægger 10% percentilen af O/E ratioen (0.81), som deres grænseværdi for om et vandløb er forstyrret eller ej. Når O/E ratioen ligger under 0.81 så er det undersøgte vandløb påvirket af menneskelige forstyrrelser.

Turak et al. (1999) opstiller en RIVPACS type model baseret på undersøgelser af 250 upåvirkede vandløbsstrækninger i New South Wales, Australia. Makroinvertebrat prøver blev udtaget separat i to sæsoner (forår og efterår) fra kanthabitater og stryghabitater på 100 m strækninger og ca. 30 fysiske, kemiske og vegetationsmæssige parametre blev registreret. Ud fra makroinvertebrat faunaen i kanthabitaten kunne vandløbene opdeles i 9 klasser efter beliggenhed, vandløbsstørrelse, højde og geologi. Prøver fra stryghabitat fandtes ikke på alle lokaliteter og resulterede i en opdeling af området i 6 klasser igen mest relateret til vandløbsstørrelse, geologi og højde. Flere miljøvariable korrelerede til faunaen i kanthabitaten end til faunaen på stryghabitaten. De parametre der gav korrelationer ( $R > 0.7$ ) var vandtemperatur, højde, beliggenhed (længdegrad) og afstand fra udspring. Den optimale model til at forklare tilstedeværelse/fravær af makroinvertebrat arter indeholdt alkalinitet, højde, beliggenhed, vandløbsstørrelse og substrat sammensætning.

#### *Planter*

I årene 1978 og frem blev markofytsamfundet i vandløb og på brink bedømt til art på mere end 1500 strækninger i 250 engelske vandløb alle med et tilnærmelsesvis intakt naturligt makrofytsamfund (Holmes et al., 1998). Ægte vandplanter (dykkede og submerse makrofyter) blev bedømt til artsniveau ud fra en check-liste på 223 arter i de fleste tilfælde af den samme bedømmer. Hvert sted blev den relative forekomst af makrofyter bedømt i 3 klasser og dækningsgraden bedømt i 3 klasser. Fysiske beskrivelser af vandløbet blev også opsamlet sammen med data om geologi, højde og hældning. En cluster analyse (TWINSPAN) klassificerede makrofytsamfundene i 4 overordnede klasser, 10 underklasser og op til 56 sub-klasser. De fire overordnede klasser kunne især relateres til højde, hældning og geologi. De ti underklasser kunne også beskrives i forhold til de samme variable samt især afstrømningsregime og substratforhold. Klassifikationssystemet kan anvendes til at sammenligne makrofytarter på en given underklasse med naturtilstanden forudsagt for den pågældende underklasse. Systemet er i dag udvidet til også at omfatte landplanterne i ådalen i et scoringssystem kaldet SERCON (Boon et al., 1997).

Biggs et al. (1998) har påvist at fysiske forstyrrelser i forbindelse med afstrømningshændelser i vandløb kan være med til at regulere biomassen af bundlevende alger på strømmende steder (stryg og strømmende). Det gælder specielt i mindre vandløb, mens den fysiske forstyrrelse ikke er så betydende længere nedstrøms i vandløb.

#### Danske erfaringer

Landsdækkende og repræsentative undersøgelser af sammenhængen mellem fauna i vandløb og de fysiske forhold er ikke gennemført. I en enkelt undersøgelse er forureningstilstanden i mindre vandløb sammenlignet med de fysiske forhold baseret på amternes oplysninger (DMU, upubl. data). Der blev her konstateret sammenhænge mellem både et strømindex, et substrat index og et regulerings index og forureningsgraden.

Sand-Jensen and Mebus (1998) har studeret forskellige plantearters modificerende indvirkninger på strømhastighed og turbulens i danske vandløb. De har vist at de enkelte plantearter danner sine egne helt specielle habitater ved at modificere strømmen omkring og inden i planteøerne og ved at påvirke sedimentations- og substratforhold. Indirekte effekter af dette er påvirkninger af fødegrundlag, iltforhold, mv.

Kronvang et al. (2001) gennemførte en mikrohabitat kortlægning af 5 delstrækninger af et restaureret vandløb med henblik på at kunne kvantificere effekten af restaureringen for de fysiske og biologiske forhold ved sammenligning til 2 opstrøms kontrolstrækninger. I et gridnet blev vanddybde, strømhastighed og substratforhold bedømt over hele strækningen. Fysiske habitater blev klassificeret ved hjælp af en Cluster-analyse med begrænsning på 5 clustre på tværs af alle strækninger. Beliggenheden af de enkelte habitater viste klare morfologiske mønstre på strækningerne. Friberg et al. (2001) testede sammenhængen mellem de fysiske habitater og indsamlede makroinvertebrater prøver (Surber sampler) på 5 replikater af hver habitattype på henholdsvis den restaurerede og den udrettede kontrolstrækning. I den multivariate analyse udskilte kun 2 af de 5 fysiske habitater sig tydeligt i forhold til invertebratsamfundet (grusstryg og kanthabitat).

Fyns amt (2001) har analyseret sammenhængen mellem en række fysiske, kemiske og oplandsmæssige forhold (f.eks. spredt bebyggelse) og vandløbskvaliteten målt som faunaindeks i 52 mindre fynske vandløb (< 2 m brede). De mest betydende parametre til forklaring af vandkvaliteten faunaindeks var fysisk kvalitet og BI5 med førstnævnte som den der korrelerer stærkest.

Forskellen mellem de fysiske forhold og makrofytsamfundet er blevet undersøgt på syv vandløbsstrækninger, der var reguleret og kanaliseret og 7 strækninger der var naturligt slyngende (Baatrup-Pedersen et al., 1998). Der var næsten samme høje dækningsgrad af planter i de to typer vandløb, men den gennemsnitlige artsdiversiteten var signifikant højere på de slyngede (22 arter), end på de regulerede strækninger (15 arter). Dominansen af enkeltarter var også mindre i de slyngede end i de regulerede vandløb. En multivariat analyse af sammenhænge mellem plantearter og de fysiske forhold viser at de ægte vandplanter, amfibiske planter og de sekundære vandplanter grupperer sig forskelligt med hensyn til de fysiske forhold, dvs. de har forskellige krav til levesteder.

Makrofytsamfundet ændrer sig ned gennem de danske vandløb (Sand-Jensen et al., 2000). Foreksempel falder dækningsgraden af planter med vandløbsstørrelsen på grund af den øgede dybde. Hyppigheden af amfibiske og sekundære planter falder også med vandløbsstørrelsen og artssammensætningen af de ægte vandplanter ændres så vandstjerne arter dominerer i små vandløb (< 3 m) og vandaksarter i større vandløb (> 9 m).

### 6.3.8 Hydrauliske modeller koblet til præferencekurver for biota

Ordet 'habitatmodeller' dækker over to væsentlige forskningsområder der i udlandet har haft stor opmærksomhed i de sidste 10-20 år. De to forskningsområder er:

- Beskrivelse af fysiske forhold i vandløb (form, hydraulik og sedimenttransport)
- Beskrivelse af planter og dyrs krav til levesteder

Det ene 'ben' er beskrivelsen af de fysisk-hydrauliske forhold i vandløb, som strømhastighed, dybde, substratforhold. Dette har i mange år været muligt ved mere eller mindre stationære en dimensionelle (1D) hydrauliske beregningsmodeller. De hydrauliske modeller udnytter alle de velkendte formler for strømning i åbne kanaler som Manning's formel, Chezy's formel, mv., der alle bygger på sammenhænge mellem hældning, skikkelse og et mål for energitabet.

Det andet 'ben' er beskrivelsen af planter og dyrs krav til levesteder, som ofte bygger på eksperimentelle undersøgelser eller *in situ* undersøgelser i et stort antal vandløb af hvor og i hvilke regimer planter eller dyr lever i vandløb. Planter og dyrs krav til levesteder udtrykkes ofte i form af sandsynlighedskurver (præferencekurver) overfor den enkelte art eller slægts tilpasning til f.eks. strømhastighed, dybde, substratforhold, mv.

#### Internationale erfaringer

Metoder til modellering af egnetheden af vandløbshabitater har været udviklet i 20 år. De bygger alle på feltmålinger af vandløbets skikkelse, vanddybde, strømhastigheder og substrat der i en hydraulisk model

simulerer ændringer i de fysiske forhold under forskellige vandføringer kobles til præference kurver for biota (figur 6.x). Modellerne opstilles ud fra feltmålinger i repræsentative tværsnit i et vandløbs længdeforløb. Anvendelsen af sådanne modeller har været meget omdiskuteret i den internationale litteratur. For optimalt at kunne udnytte de opnåede resultater skal der gennemføres en kortlægning af de fysiske habitatforhold på den valgte vandløbsstrækning i form af kvantitative målinger for, dels at sikre at de valgte måltværsnit i modellen er repræsentative, dels at modelresultaterne kan opskaleres. Den indledende kvantitative kortlægning af de fysiske habitater gennemføres oftest ikke i forbindelse med modelopsætningen. En anden omdiskuteret svaghed i modellerne er den simple beskrivelse af de fysiske habitater (hydrauliske forhold) der ofte er punktorienteret og en-dimensionel, mens de habitater biota udnytter normalt har en større udstrækning og kun kan modelleres korrekt hydraulisk ved 2D eller 3D hydrauliske modeller (Crowder and Diplas, ). Hertil kommer at de præference kurver, der anvendes til at koble fysiske forhold med biota ikke tager hensyn til covarians mellem de fysiske variable og biologiske interaktioner (Gore and Nestler, 1988).

PHABSIM udviklet i USA er den igennem tiden mest anvendte model til forudsigelse af egnetheden af habitater i vandløb ved forskellige vandføringer (f.eks. Bovee, 1986). Det er en endimensional hydrauliske model der bygger på Instream Flow Incremental Methodology (IFIM). For at kunne anvende PHABSIM skal et repræsentativt antal tværsnit af vandløbet på den valgte strækning opmåles, hældning skal måles og på hver strækning skal dybder og hastigheder måles i vertikaler og substratet beskrives. Målingerne skal gennemføres ved flere forskellige vandføringsniveauer. Derefter gennemføres en hydraulisk beregning af forholdene ved forskellige vandføringer der kombineret med præferencekurver for den givne fisk eller makroinvertebrat art benyttes til at beregne et vægdet egnet areal (WUA: Weighted Usable Area) på strækningen.

RHYHABSIM er en videreudviklet version af PHABSIM fra New Zealand (Jowett, 1999). RHYHABSIM bygger som PHABSIM på IFIM og præferencekurver for biota. Den opstilles enten for repræsentative tværsnit langs en vandløbsstrækning eller bedre efter en forudgående kortlægning af morfologiske elementer (stryg, høl, planteøer, kant, mv.) hvorefter et antal tværsnit udvælges tilfældigt indenfor hver habitattype.

Schleiter et al. (1999) gennemfører en analyse af sammenhængen mellem makroinvertebrat samfund (individantal på artsniveau) og forskellige miljøvariable fra 3 tyske vandløb ved hjælp af neurale netværk (NN). Metoden ser ud til at være bedre til at beskrive de oftest ikke lineære sammenhænge mellem invertebrater og miljøvariable (bredde/dybde, substrat, BOD, mv.) end simple regressionssammenhænge. Bestandstæthed af larver af *A. fimbriata* kunne forudsiges ud fra generationstæthed året før, samt vandføringsmønster og temperatur i det foregående år. Svagheden ved neurale netværk er, at de udelukkende er erfaringsbaserede og kræver repræsentative og kompatible datasæt.

Lamouroux et al. (1998) anvendte en statistisk hydraulisk model og koblede denne til multivariate præference kurver for to fiskearter (døbel og karpe) i Rhone floden, Frankrig. De udnytter fisketætheder fra 668 delstrækninger (5-50 m<sup>2</sup>) og tilfældigt udvalgte punktmålinger af dybde (5-10) og strømhastighed (5-30) til opstilling af en multivariat model for fisketæthed på delstrækningerne. Modellen for fisketæthed opererer med 5 klasser for strømhastighed og 4 klasser for dybden. Et præference index for de to fiskearter kan herefter beregnes for Rhone floden ved hjælp af simple potensfunktioner for sammenhænge mellem vandføring og henholdsvis bredde og dybde.

I en undersøgelse fra en flod i Italien undersøger Visnara et al. (2000) muligheden for at udvikle habitat egnetheds kurver (Habitat Suitability Curves – HSC) på baggrund af målinger af de fysiske forhold (strømhastighed, dybde, substrat og skjul) på 528 standpladser for havørreder (*Salmo Trutta Fario L.*). De anvender både univariate og multivariate analyser til opstilling af HSC's for yngel og ældre havørreder og finder at der er stor forskel i de endelige HSC's ved de metoder. Dybden viser sig at være den vigtigste parameter til forudsigelse af egnede habitater ved anvendelse af multivariate teknikker. En sammenligning af den opstillede HSC for ældre havørred i den italienske flod med HSC's fra vandløb i andre lande peger på et optimum ved alle dybder > 0.6 m og strømhastigheder < 0.4 m/s. Undtagelser herfra findes men kan muligvis tilskrives mangelfuld prøvetagning på dybere steder i undersøgelseerne. HSC's for ørredyngel viser optimum mellem 0.2-0.6 m hvad angår dybden og 0.10-0.30 m/s hvad angår strømhastighed. Hvad angår substrat er der en dårlig overensstemmelse mellem de sammenlignede HSC's i undersøgelsen.

Undersøgelsen peger således på, at det ofte er nødvendigt at opstille vandløbsspecifikke HSC's ved anvendelse af habitatmodeller.

Peeters and Gardeniers (1998) har undersøgt muligheden for at anvende logistisk regression som et metode til at definere habitat kravene for to bunddyrsarter i hollandske vandløb (*Gammarus fossarum* og *Gammarus pulex*). Ud fra et stort landsdækkende datasæt (ca. 4000 observationer) af sammenhængende data mellem de to bunddyrs arter og en række forklarende kemiske og fysiske variable opstillet de sandsynlighedskurver for arternes forekomst (figur 6.x). I tilfældet *G. fossarum* er strømhastighed, pH, Kjeldahl N, TP, NH<sub>4</sub>, konduktivitet, bredde og dybde de forklarende variable i den angivne rækkefølge med hensyn til vigtighed. I tilfældet *G. pulex* er det strømhastighed med maximal sandsynlighed for forekomst ved strømhastigheder på henholdsvis 97 m/s og 71 m/s. *G. pulex* overlever kun ned til pH 5 og *G. fossarum* til pH 7.

Jowett et al. (1991) undersøger muligheden for at opstille præferencekurver for 12 arter af makroinvertebrater på baggrund af stratificeret prøvetagning i 4 vandløb i New Zealand. De finder at det er muligt at opstille præferencekurver for 5 arter overfor strømhastighed, ingen arter overfor dybden og 1 art overfor substrat på tværs af de 4 undersøgte vandløb. De forsøger at opstille præferencekurver for den sværeste art mod strømhastighed, dybde og substrat, men finder at de oftest er vandløbsspecifikke. Det er dog muligt at opstille en fælles præferencekurve (hastighed x dybde x substrat) ved anvendelse af enveloping curves. De finder i undersøgelsen, at der skal være en vis bredde i de vandløbsfysiske forhold før præferencekurver kan opstilles for makroinvertebrater.

#### Danske erfaringer

På trods af den rimeligt store udbredelse af habitathydrauliske modeller i udlandet er de kun i meget begrænset omfang blevet benyttet i Danmark. Det skyldes for det første, at der ikke er udviklet/aftestet præferencekurver for biota i danske vandløb. Den anden grund er formentlig den manglende indsats forskningsmæssigt på dette område i Danmark, på trods af den store bevågenhed vandløb har ved amter og kommuner.

Lund og Clausen (1998) har som de første aftestet RHYHABSIM på et dansk vandløb, Elverdamsåen på Sjælland. I den forbindelse anvendte de præferencekurver for forskellige livsstadier af ørred fra udenlandske undersøgelser. De benytter RHYHABSIM til at belyse konsekvenser af reduceret vandføring for de egnede ørred habitater.

Fjordback et al. (2001) har i en undersøgelse af effekterne af genslyngningen af et dansk vandløb (Gelså i Sønderjylland) også anvendt RHYHABSIM. I denne undersøgelse blev præferencekurver fra udenlandske undersøgelser også anvendt. Det af RHYHABSIM beregnede egnede habitat areal for ørred blev fundet at korrelere til bestandstætheden af ørred på 7 delstrækninger.

I en nyere undersøgelse omkring gydepladsers funktion er habitatkrav for ørredyngel blevet undersøgt (Pedersen et al., 2001). På baggrund af disse målinger er der lavet de første præferencekurver for ørredyngel baseret på undersøgelser i danske vandløb (Fjordback et al., 2001).

### **6.3.9 Sammenfatning og idekatalog**

Danmark er langt bagefter en række lande som vi ellers ofte sammenligner os med når det gælder opstilling og anvendelse af habitatmodeller. Det gælder både når det drejer sig om metoder til at klassificere fysiske habitater, empiriske modeller til fastlæggelse af referencetilstand og egentlige dynamiske modeller til forudsigelse af hvad der sker ved en ændret management af vandløb og ånære arealer (vedligeholdelse, restaurering, oppumpning af vand, opstemninger, osv. Når vi skal i gang i Danmark er det vigtigt at bygge på den ret omfattende viden der nu eksisterer internationalt. De vigtigste punkter som litteraturen peger på er:

- At det er muligt at udvikle en empirisk model for sammenhængen mellem de fysiske, kemiske og geografisk relaterede forhold og biota i reference vandløb på strækningsniveau.
- Opstillingen af sådanne sammenhænge kræver et omfattende datamateriale (mange referencetrækninger i alle vandløbstyper og repræsentation af hele river continuum).

- Da der vil være ændringer gennem sæsonen er det vigtigt at en dansk habitatmodel som grundlag inddrager prøvetagning i flere sæsoner (forår, sommer, sensommer) og af en række fysiske, kemiske og biologiske data hvor planter indgår som modificerende element og selvstændig fysisk habitat.
- At præferencekurver for biota (fisk og smådyr) risikerer at ændre sig fra region til region eller fra vandløbssystem til vandløbssystem, måske på grund af en manglende beskrivelse af andre vigtige forudsætninger, som f.eks. temperatur, vandkvalitet, fødegrundlag, mv. i modellerne.
- Habitatmodeller inddrager kun de fysiske forhold ikke om fødegrundlaget er tilstede.
- De eksisterende dynamiske habitatmodeller inddrager ikke planter, som en vigtig modificerende faktor og vigtig habitat.
- At det er svært at opstille artsspecifikke præferencekurver for invertebrater.
- At det især er muligt at opstille præferencekurver for de forskellige livsstadier af laks, ørred og andre fiskearter igen skal planterne inddrages som centralt element.
- At RHYHABSIM kan videreudvikles til en brug for analyser på strækningsniveau i forskellige specifikke sammenhænge som ved projektering af restareringsprojekter, analyse af minimumsvandføringskrav ved vandindvindingsprojekter, effekter af klimaforandringer, etc.

Ovenstående opsamling af internationale og danske erfaringer med habitatmodeller viser med al tydelighed at Danmark er langt bagefter det internationale samfund. Vi har i en periode på 15 år ikke fokuseret på forskningen omkring de økologiske forhold i vandløb. Da EU's Vandramme Direktiv direkte sigter mod en forbedring af de økologiske forhold i vandområderne har vi akut behov for mere viden om forhold der regulerer disse. I mange danske vandløb er det påvist, at det i dag er de fysiske forhold der er begrænsende for opnåelsen af en høj økologisk kvalitet (Windolf m.fl., 1997). EU's Vandramme Direktiv kræver at de økologiske forhold i vandområderne sammenholdes med en referencetilstand. Det gælder også i vandløb. Her mangler vi i Danmark at gennemføre en standardiseret kortlægning af makroinvertebrat samfund, makrofyt samfund og de herskende fysiske og kemiske forhold i og omkring vandløbet. Dette er vigtigt med henblik på for første gang at klassificere de danske vandløb og opnå en beskrivelse af referencetilstanden (biologisk, kemisk og fysisk) der kan anvendes i fremtidige bedømmelser af vandløbskvaliteten.

Vidensbehovet er:

- Standardiseret kortlægning af referencetilstanden i danske vandløb både hvad angår biota (fisk, makroinvertebrater, markofyter, bundalger) og de fysiske, hydrologiske og kemiske forhold.
- Udvikling af et klassifikationssystem for danske vandløb.
- Udvikling af en landsdækkende eller regionsbaseret model til forudsigelse af referencetilstanden for biota.
- Udvikling af dynamiske habitatmodeller der kan anvendes til forudsigelse af ændringer i de økologiske forhold i vandløb og ådal ved forskellige typer af indgreb (vedligeholdelse, restaurering, etablering af vådområder, oversvømmede enge, mv).
- Udvikling af model til at forudsige den potentielt bedste tilstand for 'heavily modified waterbodies'

## Referencer

- Lund, T.J. & Clausen, B. (1998) Levevilkår for ørred. Vand&Jord 5, 116-119.
- Fyns amt (2001) Vandløb 2000. Fyns amt, maj 2001.
- Baatrup-Pedersen, A, Riis, T. & Larsen, S. Planter i naturlige og regulerede vandløb. Vand&Jord 5, 101-104.
- Kaarup, P. (1999) Indeks for fysisk variation i vandløb. Vand&Jord 6, 136-139.
- Raven, P.J., Boon, P.J., Dawson, F.H. and Ferguson, A.J.D. (1998) Towards an integrated approach to classifying and evaluating rivers in the UK. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 8, 383-393.
- Holmes, N.T.H., Boon, P.J. and Rowwell, T.A. (1998) Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 8, 555-578.
- Harper, D. and Everard, M. (1998) Why should the habitat-level approach underpin holistic river survey and management ?. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 8, 395-413.

- Thorne, C.R. (1997) Channel types and morphological classification. In: Thorne, C.R., Hey, R.D. and Newson, M.D. (Eds.) Applied fluvial geomorphology for river engineering and management. John Wiley & Sons, Chichester, 175-222.
- Wright, J.F., Armitage, P.D., Furse, M.T. and Moss, D. (1989) Regulated Rivers: Research and Management 4, 147-155.
- Sand-Jensen, K. and Mebus, J.R. (1998) Fine-scale patterns of water velocity within macrophyte patches in Danish lowland streams. *Oikos* 76, 169-180.
- Sand-Jensen, K. (2000) Strøm på alle skalaer. IN: Sand-Jensen, K. & Friberg, N. (eds.) De strømmende vande, Gads Forlag, 72-85.
- Sand-Jensen, K., Riis, T. & Vestergaard, O. (2000) Vandløbet fra kilde til å. IN: Sand-Jensen, K. & Friberg, N. (eds.) De strømmende vande, Gads Forlag, 61-72.
- Miljøstyrelsen (1998) Biologisk vandløbskvalitet. Vejledning nr. 5/1998, Miljøstyrelsen, 39 pp.
- Kronvang, B., Hansen, H.O., Friberg, N., Larsen, S.E., Fjorback, C. and Johnsen, R., 1998. Habitat surveys as a tool to assess the benefits of stream rehabilitation I: The physical dimension. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 27, 1510-1514.
- Friberg, N., Kronvang, B., Hansen, H.O. and Svendsen, L.M. (1998). Long-term habitat-specific response of a macroinvertebrate community to river restoration. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 8, 87-100.
- Windolf m.fl. (1997) Ferske Vandområder – vandløb og kilder. Faglig rapport nr. 214, Danmarks Miljøundersøgelser.
- Pedersen, M.L., C. Dieperink & B. Kronvang (1999). Longterm effects of re-establishing spawning grounds in danish watercourses. Seminar on River Restoration and Maintenance. Ministry of the environment and European Centre for River Restoration. Silkeborg, Denmark, October 12 –13, 1999.

#### Fra søgning

Author(s): Walters C; Korman J; Stevens LE; Gold B

Title: Ecosystem modeling for evaluation of adaptive management policies in the Grand Canyon

Source: CONSERVATION ECOLOGY 2000, Vol 4, Iss 2, pp 9-13

Author(s): Vismara R; Azzellino A; Bosi R; Crosa G; Gentili G

Title: Habitat suitability curves for brown trout (*Salmo trutta fario* L.) in the River Adda, Northern Italy: Comparing univariate and multivariate approaches

Source: REGULATED RIVERS-RESEARCH & MANAGEMENT 2001, Vol 17, Iss 1, pp 37-50

Author(s): Guay JC; Boisclair D; Rioux D; Leclerc M; Lapointe M; Legendre P

Title: Development and validation of numerical habitat models for juveniles of Atlantic salmon (*Salmo salar*)

Source: CANADIAN JOURNAL OF FISHERIES AND AQUATIC SCIENCES 2000, Vol 57, Iss 10, pp 2065-2075

Author(s): Crowder DW; Diplas P

Title: Using two-dimensional hydrodynamic models at scales of ecological importance

Source: JOURNAL OF HYDROLOGY 2000, Vol 230, Iss 3-4, pp 172-191

Author(s): Pusey BJ; Kennard MJ; Arthington AH

Title: Discharge variability and the development of predictive models relating stream fish assemblage structure to habitat in northeastern Australia

Source: ECOLOGY OF FRESHWATER FISH 2000, Vol 9, Iss 1-2, pp 30-50

Author Keywords: assemblage structure; flow variability; predictive models; regional and local influences

Author(s): Johnson SL; Covich AP

Title: The importance of night-time observations for determining habitat preferences of stream biota

Source: REGULATED RIVERS-RESEARCH & MANAGEMENT 2000, Vol 16, Iss 1, pp 91-99

Author(s): Duncan MJ; Suren AM; Brown SLR

Title: Assessment of streambed stability in steep, bouldery streams: development of a new analytical technique

- Source: JOURNAL OF THE NORTH AMERICAN BENTHOLOGICAL SOCIETY 1999, Vol 18, Iss 4, pp 445-456  
Author(s): Meyer JL; Sale MJ; Mulholland PJ; Poff NL  
Title: Impacts of climate change on aquatic ecosystem functioning and health
- Source: JOURNAL OF THE AMERICAN WATER RESOURCES ASSOCIATION 1999, Vol 35, Iss 6, pp 1373-1386  
Author(s): Mohseni O; Erickson TR; Stefan HG  
Title: Sensitivity of stream temperatures in the United States to air temperatures projected under a global warming scenario
- Source: WATER RESOURCES RESEARCH 1999, Vol 35, Iss 12, pp 3723-3733  
Author(s): Mosley P; Jowett I  
Title: River morphology and management in New Zealand
- Source: PROGRESS IN PHYSICAL GEOGRAPHY 1999, Vol 23, Iss 4, pp 541-565  
Author Keywords: channel networks; erosion; gravel bed rivers; hydraulic geometry; instream habitat; river morphology; sediment transport; sediment yield  
Author(s): Manel S; Dias JM; Buckton ST; Ormerod SJ  
Title: Alternative methods for predicting species distribution: an illustration with Himalayan river birds
- Source: JOURNAL OF APPLIED ECOLOGY 1999, Vol 36, Iss 5, pp 734-747  
Author(s): Schleiter IM; Borchardt D; Wagner R; Dapper T; Schmidt KD; Schmidt HH; Werner H  
Title: Modelling water quality, bioindication and population dynamics in lotic ecosystems using neural networks
- Source: ECOLOGICAL MODELLING 1999, Vol 120, Iss 2-3, pp 271-286  
Author(s): Manel S; Dias JM; Ormerod SJ  
Title: Comparing discriminant analysis, neural networks and logistic regression for predicting species distributions: a case study with a Himalayan river bird
- Source: ECOLOGICAL MODELLING 1999, Vol 120, Iss 2-3, pp 337-347  
Author Keywords: neural networks; logistic regression; presence-absence data; river birds  
Author(s): Newall PR; Magnuson JJ  
Title: The importance of ecoregion versus drainage area on fish distributions in the St. Croix River and its Wisconsin tributaries
- Source: ENVIRONMENTAL BIOLOGY OF FISHES 1999, Vol 55, Iss 3, pp 245-254  
Author(s): Hesthagen T; Heggenes J; Larsen BM; Berger HM; Forseth T  
Title: Effects of water chemistry and habitat on the density of young brown trout *Salmo trutta* in acidic streams
- Source: WATER AIR AND SOIL POLLUTION 1999, Vol 112, Iss 1-2, pp 85-106  
Author(s): Marchant R; Hirst A; Norris R; Metzeling L  
Title: Classification of macroinvertebrate communities across drainage basins in Victoria, Australia: consequences of sampling on a broad spatial scale for predictive modelling
- Source: FRESHWATER BIOLOGY 1999, Vol 41, Iss 2, pp 253-268  
Author(s): Smith MJ; Kay WR; Edward DHD; Papas PJ; Richardson KS; Simpson JC; Pinder AM; Cale DJ; Horwitz PHJ; Davis JA; Yung FH; Norris RH; Halse SA  
Title: AusRivAS: using macroinvertebrates to assess ecological condition of rivers in Western Australia
- Source: FRESHWATER BIOLOGY 1999, Vol 41, Iss 2, pp 269-282  
Author(s): Turak E; Flack LK; Norris RH; Simpson J; Waddell N  
Title: Assessment of river condition at a large spatial scale using predictive models
- Source: FRESHWATER BIOLOGY 1999, Vol 41, Iss 2, pp 283-298  
Author(s): Maddock I  
Title: The importance of physical habitat assessment for evaluating river health
- Source: FRESHWATER BIOLOGY 1999, Vol 41, Iss 2, pp 373-391  
Author(s): Lamouroux N; Doutriaux E; Terrier C; Zylberblat M

Title: Modelling impacts of minimum flow management on fish communities of the Rhone River, France.

Source: BULLETIN FRANCAIS DE LA PECHE ET DE LA PISCICULTURE 1999, Iss 352, pp 45-61

Author(s): Jessup BK

Title: A strategy for simulating brown trout population dynamics and habitat quality in an urbanizing watershed

Source: ECOLOGICAL MODELLING 1998, Vol 112, Iss 2-3, pp 151-167

Author(s): Kaenel BR; Uehlinger U

Title: Effects of plant cutting and dredging on habitat conditions in streams

Source: ARCHIV FUR HYDROBIOLOGIE 1998, Vol 143, Iss 3, pp 257-273

Author(s): Biggs BJF; Kilroy C; Lowe RL

Title: Periphyton development in three valley segments of a New Zealand grassland river: Test of a habitat matrix conceptual model within a catchment

Source: ARCHIV FUR HYDROBIOLOGIE 1998, Vol 143, Iss 2, pp 147-177

Author(s): Milner NJ; Wyatt RJ; Broad K

Title: HABSCORE - applications and future developments of related habitat models

Source: AQUATIC CONSERVATION-MARINE AND FRESHWATER ECOSYSTEMS 1998, Vol 8, Iss 4, pp 633-644

Author(s): Peeters ETHM; Gardeniers JJP

Title: Logistic regression as a tool for defining habitat requirements of two common gammarids

Source: FRESHWATER BIOLOGY 1998, Vol 39, Iss 4, pp 605-615

Author(s): Lamouroux N; Capra H; Pouilly M

Title: Predicting habitat suitability for lotic fish: Linking statistical hydraulic models with multivariate habitat use models

Source: REGULATED RIVERS-RESEARCH & MANAGEMENT 1998, Vol 14, Iss 1, pp 1-11

Author(s): Venterink HO; Wassen MJ

Title: A comparison of six models predicting vegetation response to hydrological habitat change

Source: ECOLOGICAL MODELLING 1997, Vol 101, Iss 2-3, pp 347-361

Author(s): Magnuson JJ; Webster KE; Assel RA; Bowser CJ; Dillon PJ; Eaton JG; Evans HE; Fee EJ; Hall RI; Mortsch LR; Schindler DW; Quinn FH

Title: Potential effects of climate changes on aquatic systems: Laurentian Great Lakes and Precambrian Shield Region

Source: HYDROLOGICAL PROCESSES 1997, Vol 11, Iss 8, pp 825-871

Author(s): Mulholland PJ; Best GR; Coutant CC; Hornberger GM; Meyer JL; Robinson PJ; Stenberg JR; Turner RE; VeraHerrera F; Wetzel RG

Title: Effects of climate change on freshwater ecosystems of the south-eastern United States and the Gulf Coast of Mexico

Source: HYDROLOGICAL PROCESSES 1997, Vol 11, Iss 8, pp 949-970

Author(s): Baran P; Lek S; Delacoste M; Belaud A

Title: Stochastic models that predict trout population density or biomass on a mesohabitat scale

Source: HYDROBIOLOGIA 1996, Vol 337, Iss 1-3, pp 1-9

Author(s): Parasiewicz P

Title: Estimation of physical habitat characteristics using automation and geodesic-based sampling

Source: REGULATED RIVERS-RESEARCH & MANAGEMENT 1996, Vol 12, Iss 6, pp 575-583

Author(s): Parsons M; Norris RH

Title: The effect of habitat-specific sampling on biological assessment of water quality using a predictive model

Source: FRESHWATER BIOLOGY 1996, Vol 36, Iss 2, pp 419-434

Author(s): Bray KE

Title: Habitat models as tools for evaluating historic change in the St Marys river

- Source: CANADIAN JOURNAL OF FISHERIES AND AQUATIC SCIENCES 1996, Vol 53, pp 88-98  
Author(s): Stalnaker CB; Bovee KD; Waddle TJ  
Title: Importance of the temporal aspects of habitat hydraulics to fish population studies
- Source: REGULATED RIVERS-RESEARCH & MANAGEMENT 1996, Vol 12, Iss 2-3, pp 145-153  
Author(s): Heggenes J  
Title: Habitat selection by brown trout (*Salmo trutta*) and young Atlantic salmon (*S-salar*) in streams: Static and dynamic hydraulic modelling
- Source: REGULATED RIVERS-RESEARCH & MANAGEMENT 1996, Vol 12, Iss 2-3, pp 155-169  
Author(s): Wasson JG; Bonnard R; Maridet L  
Title: Global influence of physical habitat parameters on benthic invertebrates in trout streams: Towards an integration in fish/habitat models
- Source: BULLETIN FRANCAIS DE LA PECHE ET DE LA PISCICULTURE 1995, Iss 337-9, pp 291-299  
Author(s): Barnard S; Wyatt RJ  
Title: An analysis of predictive models for stream salmonid populations.
- Source: BULLETIN FRANCAIS DE LA PECHE ET DE LA PISCICULTURE 1995, Iss 337-9, pp 365-373  
Author(s): LECLERC M; BOUDREAULT A; BECHARA JA; CORFA G  
Title: 2-DIMENSIONAL HYDRODYNAMIC MODELING - A NEGLECTED TOOL IN THE INSTREAM FLOW INCREMENTAL METHODOLOGY
- Source: TRANSACTIONS OF THE AMERICAN FISHERIES SOCIETY 1995, Vol 124, Iss 5, pp 645-662  
Author(s): JOHNSON IW; LAW FM  
Title: COMPUTER-MODELS FOR QUANTIFYING THE HYDRO-ECOLOGY OF BRITISH RIVERS
- Source: JOURNAL OF THE CHARTERED INSTITUTION OF WATER AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT 1995, Vol 9, Iss 3, pp 290-297  
Author(s): QUINN JM; HICKEY CW  
Title: HYDRAULIC PARAMETERS AND BENTHIC INVERTEBRATE DISTRIBUTIONS IN 2 GRAVEL-BED NEW-ZEALAND RIVERS
- Source: FRESHWATER BIOLOGY 1994, Vol 32, Iss 3, pp 489-500  
Author(s): KONDOLF GM; MICHELI ER  
Title: EVALUATING STREAM RESTORATION PROJECTS
- Source: ENVIRONMENTAL MANAGEMENT 1995, Vol 19, Iss 1, pp 1-15  
Author(s): WILLIAMS DD  
Title: NUTRIENT AND FLOW VECTOR DYNAMICS AT THE HYPORHEIC GROUNDWATER INTERFACE AND THEIR EFFECTS ON THE INTERSTITIAL FAUNA
- Source: HYDROBIOLOGIA 1993, Vol 251, Iss 1-3, pp 185-198  
Author(s): JOWETT IG; RICHARDSON J; BIGGS BJF; HICKEY CW; QUINN JM  
Title: MICROHABITAT PREFERENCES OF BENTHIC INVERTEBRATES AND THE DEVELOPMENT OF GENERALIZED DELEATIDIUM SPP HABITAT SUITABILITY CURVES, APPLIED TO 4 NEW-ZEALAND RIVERS
- Source: NEW ZEALAND JOURNAL OF MARINE AND FRESHWATER RESEARCH 1991, Vol 25, Iss 2, pp 187-199