

Internasjonale metoder for å bestemme miljøbasert vannføring – hvilke egner seg for norske forhold?

Jo Halvard Halleraker, SINTEF Energiforskning AS
Atle Harby, SINTEF Energiforskning AS

9
2006



RAPPORT MILJØBASERT VANNFØRING

FoU-programmet Miljøbasert vannføring

Programmet Miljøbasert vannføring har som mål å skaffe økt kunnskap om virkninger av sterkt redusert vannføring i vassdrag, slik at forvaltningen får et bedre faglig grunnlag for å fastsette vannføringen ved inngrep i vassdrag. Dette er aktuelt i forbindelse med nye vassdragskonsesjoner, revisjon av vilkår i gamle konsesjoner og som følge av den nye vannressursloven og EUs rammedirektiv for vann. Programmet finansieres av Olje- og energidepartementet og er forankret i Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).

Programmets fase I har en tidsramme på fem år (2001-2005). Programmet er organisert med en styringsgruppe, bestående av representanter fra NVE med lederansvar, energibransjen, naturforvaltningen og interesseorganisasjoner, og et fagutvalg der ulike fagområder er representert. Den daglige ledelse og administrasjon av programmet er knyttet til Vannressursavdelingen i NVE.

Internasjonale metoder for å bestemme miljøbasert vannføring – hvilke egner seg for norske forhold?

Rapport nr. 9 - 2006

Internasjonale metoder for å bestemme miljøbasert vannføring – hvilke egner seg for norske forhold?

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfattere: Jo Halvard Halleraker og Atle Harby,
SINTEF Energiforskning AS

Trykk: NVEs hustrykkeri

Forsidefoto: Jo H. Halleraker

ISSN: 1502-234X

ISBN: 82-410-0584-9

Sammendrag: Rapporten gir en oppsummering av rådende metoder internasjonalt som grunnlag for fastsetting av miljøbasert vannføring. Dagens norske forvaltningspraksis i vassdragssaker er beskrevet. Metodene som anvendes spenner fra enkle hydrologiske forholdstall og skrivebordsstudier til mer omfattende metoder som kan simulere funksjonelle sammenhenger mellom de fysiske forholdene og biologiske virkninger, og bør være anerkjente, etterprøvbare og publisert tidligere. Habitatmodellering har vært og er fortsatt den dominerende metoden for å predikere virkninger på nøkkelarter ved endringer av det hydrologiske regimet. Alle metoder bør kunne kvantifisere og sammenligne miljøvirkninger ved ulike alternativer og med ulike avbøtende tiltak. Vi foreslår et sett med metoder som tilpasses antatte miljøvirkninger og omfang i hver enkelt vassdragssak. Usikkerheten forbundet med miljøbaserte vannføringsmetoder og kunnskapen innen økohydrologi tilsier bruk av adaptiv forvaltning (prøvereglement) i regulerte vassdrag.

Emneord: Miljøbasert vannføring, vassdragsforvaltning, internasjonale metoder, hydrologi, hydraulikk, habitat, minstevannføring.

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

Mars 2006

Innhold

Forord	9
1. Sammendrag	11
2. Innledning.....	13
3. Norsk forvaltningspraksis	14
Vassdragssaker med KU.....	15
Mindre vassdragssaker uten KU	16
Metodevalg i Norge	17
4. Hovedinndeling av MBV-metoder	18
5. Hydrologiske metoder	19
Oppslagstabeller - forholdstall	19
Styrke og svakheter	22
Identifisering av sentrale hydrologiske hendelser	22
Indikatorer for hydrologisk variasjon	22
Styrke og svakheter	24
6. Hydrauliske vurderingsmetoder	24
Styrke og svakheter	25
7. Funksjonelle sammenhenger av fysiske og biologiske forhold	26
Vannkvalitet, vanntemperatur, is og vekstmodellering	26
Vannføring, vandring og atferd hos fisk	27
Raske vannstandsendringer og stranding	28
Habitatmodellering	29
Konseptet for habitatmodellering	30
Habitatmodellering i Norge	32
Validering av resultater fra habitatmodellering	33
Mangel på andre gode alternativer?	34
Videreutvikling innen habitatmodellering.....	35
Habitatmodellering på større skala.....	35
Forenklet habitatmodellering	36

	Fysiske forhold og populasjonsutvikling	37
8.	Holistiske metoder	37
	Styrke og svakheter	38
9.	Hybride modellrammeverk	39
	Styrke og svakheter	41
10.	Bruk av MBV-metoder og forvaltningspraksis i et utvalg land	41
	Australia	42
	Canada	42
	Frankrike	43
	Japan	43
	Nederland	43
	New Zealand	44
	Portugal	44
	Spania	44
	Storbritannia	45
	Sør-Afrika	46
	Tyskland	46
	USA	46
	Østerrike	47
	Samlede anbefalinger fra FoU-eksperter innen MBV internasjonalt..	47
11.	Diskusjon	49
	Valg av MBV-metoder og miljøoppnåelse	49
	Standardisering av metoder	52
	Habitatmodeller – utbredt men kritisert	52
	Opprettholde hydrologisk variasjon	53
	MBV i vassdrag med antatt store miljøvirkninger	53
	Behov for justeringer av norsk forvaltnings-praksis?	54
	Adaptiv forvaltning	54
	Potensialet med avbøtende tiltak	54
	Hva forvaltningen bør kreve i vassdragssaker	55

Sertifisering av MBV "eksperter"	57
Anbefalinger og konklusjoner	57
12. Forfatternes takk.....	59
13. Referanser	60
14. Vedlegg.....	66

Forord

Miljøbasert vannføring, som kan defineres som ”en vannføring som tar mest mulig hensyn til økosystemets helhet og integritet, ulike brukerinteresser, og det fremtidige ressursgrunnlaget i vassdraget”, har vært mye i fokus internasjonalt de siste årene. Miljøbasert vannføring har vært tema for flere internasjonale konferanser, nasjonale utredninger og for håndbøker fra internasjonale organisasjoner som Internation Union for Conservation of Nature and Natural Resources. Mange land med ulikt utgangspunkt, har tatt i bruk en rekke forskjellige metoder for å komme frem til en miljøbasert vannføring. Disse metodene spenner fra enkle hydrologiske beregninger til omfattende holistiske metoder og komplisert modellverktøy.

Norsk vassdragsforvaltning har behov for en oversikt over slike metoder og modeller, og de erfaringer som forskjellige land har hatt med miljøbasert vannføring. Samtidig er det behov for å vite hvilke metoder blant disse som vil kunne egne seg for norske forhold, både med hensyn til naturforhold og eksisterende forvaltningsrammer. Denne rapporten, skrevet av to forskere som har vært aktive både nasjonalt og internasjonalt på feltet miljøbasert vannføring, vil kunne stimulere en diskusjon om hvilke metoder norsk forvaltning skal bruke i fremtiden for å komme frem til en miljøbasert vannføring..

Oslo, mars 2006



Haavard Østhagen
leder styringsgruppe



John Brittain
programleder

1. Sammendrag

Rapporten gir en oppsummering av rådende metoder internasjonalt som grunnlag for fastsetting av miljøbasert vannføring. Dagens forvaltningspraksis i vassdragssaker er beskrevet. Det gis videre konkrete anbefalinger til egnede metoder og kriterier for valg av disse for ulike typer vassdragssaker. Forfatterne konkluderer med at det er behov for å justere faktagrunnlaget i norske vassdragssaker og i større grad benytte etterprøvbare metoder.

Det har vært en rask utvikling på verdensbasis i FoU innen vassdragsmiljø i regulerte vassdrag og dreining fra minstevannføring mot miljøbasert vannføring. Få land forvalter imidlertid sine regulerte vassdrag i særlig grad etter miljøbaserte vannføringsprinsipper. Avbøtende tiltak i form av habitatforbedrende tiltak og miljøbasert vannføring i regulerte elver har et stort potensial til å gi veldig skånsomme miljøvirkninger lokalt, og bør derfor få økt fokus i norske vassdragssaker. I norske vassdragssaker er det ofte en god beskrivelse av hvilke naturkvaliteter som finnes i det aktuelle området. Koblingene mellom konsekvenser av hydrologiske endringer og virkningen av avbøtende tiltak er derimot ofte svake i Norge.

Internasjonalt er det få land som har standardiserte krav til metoder som grunnlag for fastsetting av miljøbasert vannføring. Habitatmodellering har vært og er fortsatt den dominerende metoden for å predikere virkninger på nøkkelarter ved endringer av det hydrologiske regimet.

En enkel, generell og perfekt (allment anerkjent) metode for å kvantifisere og predikere miljøvirkninger av ulike nivåer på miljøbasert vannføring eksisterer ikke. Det er imidlertid tilgjengelige metoder som langt på kan gi gode pekepinner på relative forskjeller i miljøvirkninger som funksjon av vannføring. I forhold til kostnader virker de generaliserte habitatmodellene utviklet i Frankrike veldig lovende og egnet for norske forhold.

Kriterier for valg av metode bør være at de skal være anerkjente, etterprøvbare og publisert tidligere. Vi anbefaler at alle metoder som benyttes til å vurdere miljøbasert vannføring må kunne kvantifisere og sammenligne miljøvirkninger i ulike alternativer og med ulike avbøtende tiltak.

Vi foreslår at en standardisert analyse av flere hydrologiske parametere enn gjennomsnittlig vannføring presenteres i alle saker. I vassdragssaker med antatt små og mellomstore miljøvirkninger anbefaler vi å bruke forenklede statistiske habitatmodeller og analyser av økologisk relevante hydrologiske

parametere tilpasset norske forhold. I vassdragssaker med antatt store og gjerne komplekse miljøvirkninger anbefaler vi å prøve ut holistiske metoder som kan inkludere tverrfaglige ekspertuttaleleser og modellsimuleringer på en kvantitativ måte. Usikkerheten forbundet med miljøbaserte vannføringsmetoder og kunnskapen innen økohydrologi tilsier bruk av adaptiv forvaltning (som prøvereglement) i regulerte vassdrag. Dette for å kunne justere vannslipp til miljøformål om ikke forventede miljøforbedringer oppnås.

2. Innledning

Miljøaspektet forbundet med regulering av vassdrag til energiproduksjon har fått økende oppmerksomhet i løpet av de siste tiårene. Mange utbygginger i både inn- og utland skjedd før omfanget og verdien av de miljømessige konsekvensene ble fullt ut forstått (Faugli et al., 1993). De siste tiårene har økt kunnskapsnivået betydelig, og de metodiske forutsetninger har nå gjort det mulig å langt på vei designe miljømessig akseptable vannuttak i vassdrag (Halleraker et al., 2000).

I konsesjonsvilkårene knyttet til de fleste nye vannkraftutbygginger i Norge ligger det fastsatte krav til minstevannføringer på berørte elvestrekninger. Disse kravene er fastsatt for å ivareta flerbrukshensyn i vassdragene, og sørger for at regulanten ikke tillates å drive kraftverkene utenom gitte vannføringskrav. Minstevannføringer er i de fleste tilfeller fram til slutten av 1970-tallet fastsatt ut fra skjønn. I de siste 25 år har den dominerende metoden for fastsetting av minstevannføring vært biologiske undersøkelser og påfølgende kvalifiserte ekspertuttalelser, ofte med forskjellig vannføring sommer og vinter. Forvaltningen har ofte innsett at grunnlaget for minstevannføringspålegg har vært utilstrekkelig, slik at prøvereglement er pålagt i en periode før det endelige reglementet fastsettes (Brittain, 2002).

På verdensbasis har det vært en rask utvikling i å dreie praksis i retning fra minstevannføring mot miljøbasert vannføring (Tharme, 2003). Flere land tar ulike metoder opp til vurdering i lys av større fokus på vassdragsmiljøet og behov for en bærekraftig bruk av naturressursene. Det er imidlertid stor variasjon i de metodene som anvendes, fra relativt enkle hydrologiske beregninger til mer omfattende metoder med en betydelig innsamling av felt-data og påfølgende analyser, diskusjoner og simuleringer.

Med miljøbasert vannføring (heretter forkortet til MBV) forstås her ”*en vannføring som tar mest mulig hensyn til økosystemets helhet og integritet, ulike brukerinteresser, og det fremtidige ressursgrunnlaget i vassdraget*”. Det er et begrep og forvaltningsverktøy for å bevare arter, leveområder og rekreasjonsmuligheter i vassdrag (King et al., 1999). En viktig presisering er et det er mer enn bare minstevannføring, men snarere et dynamisk vannføringsregime som trengs.

Internasjonalt finnes det en rekke definisjonsvarianter og terminologier av MBV som betegnes ”Environmental flows” på engelsk, oppsummert av Moore (2004). Det finnes egne tidsskrift og konferanseserier som omhandler miljø-

basert vannføring som: Ecohydraulics, Trondheim 1994 – Madrid 2004; Environmental Flows 2002 – Cape Town, Sør-Afrika og Regulated Rivers, 10th Int. Symp. – Scotland 2006.

Det har vært flere sammenstillinger og sammenligninger av metoder for å finne miljøbaserte vannføringer internasjonalt de senere år (blant annet Jowett, 1997, Dunbar et al. 1998; King et al. 1999, Tharme 2003). Metodene er i hovedsak kategorisert og beskrevet, men forfatterne har i liten grad evaluert i hvilken grad resultatene fra de ulike metodene har vært beslutningsrelevante. Det mest relevante arbeidet som er gjort i Norge er utviklingen av forslag til og sammenstillinger av fleksible manøvreringsreglementer. Dette ble gjort sammen med en gjennomgang av anvendbare metoder for fastsettelse av minstevannføring, som en del av forskningsprogrammet ”Miljøvirkninger av vassdragsutbygging”, rapportert av Ziegler (1986). En gjennomgang av erfaringer fra inn- og utland samt en vurdering av aktuelle modeller for å oppnå økologisk optimalisert vannføring i regulerte vassdrag er tidligere utført av Halleraker et al. (2000).

EUs vanddirektiv har som overordnet mål å oppnå god økologisk status i alle vannforekomster, og godt økologisk potensial i regulerte vassdrag (sterkt modifiserte vannforekomster) innen år 2015¹. Det er fremdeles uklart hvordan man skal avgrense graden av det økologiske potensialet i norske regulerte vassdrag, og det pågår et arbeid med å utarbeide en veileder for dette. Denne rapporten gir en oversikt over metoder med eksempler som brukes internasjonalt for å bestemme miljøbasert vannføring og en vurdering av disse i forhold til norske naturforhold og forvaltningspraksis. Vi mener en slik oversikt også er nyttig for vurderinger knyttet til grad av økologisk potensial i sterkt modifiserte vannforekomster, som ledd i implementeringen av EUs vanddirektiv² i Norge. I dette prosjektet har vi fått i oppdrag å anbefale og beskrive de mest egnede metodene innen miljøbasert vannføring for norske forhold, samt omtale eventuelle behov for justeringer av forvaltningspraksis.

3. Norsk forvaltningspraksis

Det er pr. i dag ingen standard metode som er definert eller innarbeidet i vassdragssaker som grunnlag for å vurdere behov og størrelse på eventuelle minstevannføringer og derfor helle ikke miljøbaserte vannføringer (Brittain, 2002). Valg av metode er i stor grad avhengig av konkrete vurderinger av

¹ <http://www.sft.no/arbeidsomr/vann/vanddirektiv/publikasjoner/veileder-smvf-kystvann>.

² http://www.nve.no/modules/module_109/publisher_view_product.asp?iEntityId=7045

antatte miljøvirkninger etter i vassdragslovgivningen, plan- og bygningsloven (KU-bestemmelsene), diverse retningslinjer og veiledere, bl.a. NVE Veileder 1/98³. Vannressursloven som trådte i kraft 1. januar 2001 er imidlertid sentral i håndheving av vannuttak og minstevannføring. I kommentarutgaven til denne loven har også storingskomiteen presisert at ”...det er såleies viktig å avgjere kva som er det kritiske vassføringsnivået for eventuelle skadeverknader” (Brekken, 2001). I vannressursloven er alminnelig lavvannføring nevnt som en nedre grense ved vannuttak, uten at det er noen holdepunkter i biologisk relevans for denne parameteren.

Det er for tiden få store nye vannkraftutbygginger, en del middels og mange små vassdragssaker uten KU som behandles i forvaltningssystemet. Flere eldre konsesjoner er også blitt tatt opp til ny vurdering, enten gjennom revisjon av konsesjonsvilkår eller ved fornyelse av konsesjoner. Stortinget har fastsatt både miljø- og energipolitiske målsettinger for revisjon av konsesjoner. Det er et ønske å bringe miljøstandarden på gamle utbygginger opp på samme nivå som nyere konsesjoner. Samtidig er det gitt politiske føringer om at revisjonene i minst mulig grad skal føre til tap av produksjon eller produksjonskapasitet (NVE notat 1998)⁴. Det er i liten grad lagt opp til krav om nye omfattende undersøkelser, så behovet for miljøbasert vannføring må i stor grad baseres på eksisterende kunnskap om vassdraget. DN påpeker dette som et stort problem, særlig i forbindelse med eldre utbygginger der det ofte er svært mangelfulle undersøkelser og dokumentasjoner å forholde seg til når for eksempel en vilkårsrevisjon (som omfatter manøvreringsreglementet) skal vurderes.

Vassdragssaker med KU

I vannkraftssaker som overskrider 40 GWh/år eller 50 mill. kr i investeringer har det vært krevd full konsekvensundersøkelse (KU) etter plan- og bygningsloven. I nye forskrifter ligger det an til at kraftverk over 30 GWh/år også vil få samme krav. Omfanget av disse undersøkelsene og metoder som benyttes skal basere seg på eksisterende veiledningsmateriell, de føringer og anbefalinger som kommer fram fra høringspartene i meldingsfasen og NVEs vurderinger.

Høringspartene er i utgangspunktet sjelden spesifikke på hvilke metoder som skal benyttes for å sannsynliggjøre virkninger av endret vannføring. Det er NVE som fastsetter KU-programmet etter at meldingsfasen er over. I KU-systemet er det lagt opp til at det er høringspartene sammen med ansvarlig myndighet (NVE), som skal påpeke eventuelle mangler og kvalitetssikre

³ http://www.nve.no/modules/module_109/publisher_view_product.asp?iEntityId=1411

⁴ http://www.nve.no/modules/module_109/publisher_view_product.asp?iEntityId=745

konsekvensundersøkelsene med tilhørende tolkninger og anbefalinger. Det forutsettes her at høringspartene inkludert fagmyndighetene har oversikt over hvilke metoder som er best egnet og hva som er mulig å utføre. NVE er godkjennende myndighet, og innstiller til et manøvreringsreglement der størrelsen på eventuell miljøbasert vannføring inngår. Etter høringsfasen gis søker anledning til å kommentere høringsuttalelsene. I denne fasen blir det ifølge NVE ofte gjennomført tilleggsundersøkelser i tråd med høringsuttalelsene.

Avgjørelse om behov og størrelse på eventuell miljøbasert vannføring fattes som oftest på bakgrunn av ekspertvurderinger ut fra en kartlegging og beskrivelse av dagens miljøforhold. Dette gjøres som regel skjønnsmessig basert på kartlegging av flora og fauna samt estetiske vurderinger ofte uten noen kvantifisert kobling til samvariasjon med vannføring. Det er ikke krav til at metode skal være prediktiv, dvs. kvantifisere virkninger ved endret vannføring, selv om dette er ønskelig. I de fleste norske vassdragssaker er det konsulentens skjønnsmessige konsekvensvurderinger med hensyn til naturkvaliteter og virkninger av endret vannføring som danner utgangspunktet for høringspartenes og NVEs vurderinger.

Alternativer til stabile minstevannføringer ble studert i forskningsprogrammet ”Miljøvirkninger av vassdragsutbygging” (MVU). Det ble utarbeidet retningslinjer for fleksibel manøvrering basert på oppnevnte råd og utvalg for vassdrag. Hensikten var å få en totalt sett bedret nytteverdi av vannhusholdningen sett ut fra flerbrukshensyn i vassdrag (Ziegler, 1985, 1986). I mange norske vassdrag er det varierende vannføringskrav over året, men gjerne kun et nivå for sommer og et lavere krav for vinterhalvåret. I enkelte større regulerte vassdrag er det også knyttet krav om slipp av vann til lokke- eller attraksjonsflommer, myke overganger mellom høy og lave produksjonsvannføring eller avsatt et vannvolum til miljøformål, som for eksempel disponeres av et flerbruksråd. Ingen eksempler finnes på for eksempel smoltutvandringsflommer, så det er i stor grad kun vannslipp for fiske som praktiseres.

Mindre vassdragssaker uten KU

For ikke konsesjonspliktige utbygginger setter vannressursloven § 10 krav om at minstevannføringen minst skal tilsvare alminnelig lavvannføring. Ved konsesjonsbehandling skal et eventuelt krav om minstevannføring fastsettes på grunnlag av konkrete vurderinger. I de fleste konsesjonssaker, spesielt de mindre sakene, vil likevel alminnelig lavvannføring bli brukt som utgangspunkt for vurdering av vannføringskravene. Dette selv om de biologiske- eller

landskapsmessige effekter av en minstevannføring tilsvarende alminnelig lavvannføring i liten grad er belyst.

Vannressursloven § 23 gir bestemmelser om innholdet i konsesjonssøknader. Søknaden skal gi grunnlag for å avgjøre om konsesjon kan gis, og i tilfelle på hvilke vilkår. Dette innebærer en oversikt over hvilke verdier som finnes med en vurdering av hvordan verdiene blir berørt av en utbygging. NVE har ansvar for å gi krav om innhold og omfang av konsesjonssøknader samt å avgjøre om fordeler og ulemper av tiltaket er tilfredsstillende belyst. Søknader blir ifølge NVE ikke ferdigbehandlet før saken er tilstrekkelig belyst og det foreligger nødvendig informasjon om konsekvensene av en utbygging. I mange tilfeller er utforming av avbøtende tiltak, og særlig minstevannføring, en sentral problemstilling for virkningene av en regulering⁵. I praksis er det likevel en mangel på gode metoder som grunnlag for fastsetting av miljøbasert vannføring.

Metodevalg i Norge

Representanter fra NVE, DN og Statkraft deltok på et arbeidsmøte i Trondheim i forbindelse med dette prosjektet. Vi konkluderte med at det ofte fastsettes minstevannføring varierende over året basert på skjønsmessige vurderinger av miljøforhold. I konsesjonsvilkårene stilles det kun tekniske krav, eksempelvis når, hvor og hvor mye vann som skal slippes. Funksjonskrav, det vil si at utbygger pålegges å innfri spesifiserte miljøkrav, er så langt ikke gitt. Om den forventede miljøstandarden ikke nås med det gitte minstevannføringskravet er dette ikke nødvendigvis tilstrekkelig til at minstevannføringskravet vurderes på nytt. Det benyttes ikke en standardisert metodikk, men som oftest ekspertvurderinger ut fra det som finnes av naturkvaliteter, men ofte uten å kjenne til den faglige tyngden til ”eksperten”. Det er sjelden etterprøvbare kvantifiserte koblinger mellom hydrologi og virkning. Flere i forvaltningssystemet trekker fram at i mange konsesjonssøknader er det ofte en god beskrivelse av hvilke naturkvaliteter som finnes i det aktuelle området. Koblingene mellom konsekvenser av hydrologiske endringer og virkningen av avbøtende tiltak er derimot ofte svake. Dette skyldes gjerne uklar metodisk tilnærming, manglende etterprøvbarhet og at for mye av ressursene benyttes til å kartlegge dagens situasjon og i mindre grad konsekvensene av tiltaket. Fokus er trolig for mye på om konsesjon kan gis eller ikke, mens optimalisering av MBV kommer i andre rekke.

⁵ <http://www.nve.no/FileArchive/100/Veileder%201-04.pdf>

Det er viktig at avgjørelser som kan berøre betydelige samfunnsmessige interesser som vurdering og eventuell fastsetting av miljøbasert vannføring, utføres på et godt grunnlag. I de følgende kapitlene skal vi presentere eksempler fra andre land, som i større grad benytter mer prediktive metoder for å underbygge og kvantifisere miljøbasert vannføring. Mange norske vassdrag er berørt av vannkraftregulering. Minstevannføring kan dempe negative virkninger på naturkvaliteter i og rundt våre vassdrag. Samtidig er det gjerne store økonomiske verdier som kan gå tapt for energiverkene om vannføringen settes for høyt. Det bør derfor kunne stilles strenge krav til metodevalg og etterprøvbarehet innen fastsetting av miljøbasert vannføring, da det er viktige langsiktige samfunnsavgjørelser som gjerne fattes.

4. Hovedinndeling av MBV-metoder

Ulike fagmiljøer som har foretatt internasjonale gjennomganger av metoder for vurdering av MBV har gruppert metodene forskjellig. Det er vanskelig å foreta en enhetlig inndeling der ikke en betydelig andel av metodene inngår i flere klasser. Petts (1996) og Acreman & Dunbar (2004) opererer med følgende hovedinndeling av MBV:

1. Hydrologiske oppslagstabeller (tommelfingerregler og hydrologiske indekser)
2. Skrivebordsanalyser av historiske eller modellerte data (av hydrologi og biologiske tidsserier)
3. Funksjonelle analyser med innsamling av feltdata fulgt av deskriptive analyser
4. Hydrauliske habitatanalyser og modelleringer

Det eksisterer klare overlapp mellom ulike metoder, og metodene er i varierende grad holistiske, mens en samling av metoder kan gi et rimelig helhetlig bilde (Acreman & Dunbar, 2004). Flere andre gjennomganger av MBV-metoder har gruppert metodene etter følgende fem hovedgrupper (Jowett, 1997; Dunbar et al., 1998; Tharme, 2003; Scruton et al., 2005), som vi har tatt utgangspunkt i og modifisert for vår gjennomgang:

1. Hydrologiske metoder
 - a. Oppslagstabeller
 - b. Identifisering av sentrale hydrologiske hendelser
2. Hydrauliske vurderingsmetoder
3. Funksjonelle sammenhenger mellom fysiske forhold og biologi
4. Holistiske metoder
5. Hybride modellrammeverk

Vi vil i de følgende kapitlene gå nærmere inn på utvalgte metoder innen hver kategori. Hver gruppe kan ha en varierende grad av rent subjektive vurderinger i seg, og ekspertvurderinger kan således inngå i alle metodene. Videre vil vi gjøre en vurdering av metodenes egnethet for norske forhold og miljømål.

5. Hydrologiske metoder

I enhver metode for å komme fram til en miljøbasert vannføring må det tas utgangspunkt i de hydrologiske forholdene. Det må tas standpunkt til hvilke deler og hvor mye av det hydrologiske regimet som kan endres i forhold til de miljøkvalitetene som skal ivaretas. Både mengde og fordeling av vannføring må vurderes.

I vassdrag der det ikke finnes måleserier, er man avhengig av å få beregnet eller simulert en vannføringsserie for å fange opp den naturlige variasjonen innen og mellom år (Væringstad & Hisdal, 2005). Dette kan gjøres på flere måter:

1. Skalering av en målt serie i et nært liggende vassdrag, evt. fra et vassdrag med sammenlignbare naturforhold
2. Simulering ved hjelp av en hydrologisk modell, som beregner tilsiget for eksempel basert på nedbør- og temperaturdata i nærheten.

Når en tilfredsstillende vannføringsserie foreligger, eventuelt med mangler som det kan tas høyde for i vurderingene, kan så en analyse av sentrale hydrologiske hendelser koblet til hvilken betydning de har for miljøforholdene gjennomføres. Det er åpenbart en begrensning i mange vassdragsaker å skaffe til veie pålitelige hydrologiske data. I mange av de mindre konsesjons-søknadene tas det utgangspunkt i å komme fram til en hydrologisk holdbar lavvannparameter, f.eks. den alminnelige lavvannføringen (Skaugen et al., 2002; Væringstad & Hisdal, 2005).

Oppslagstabeller - forholdstall

Den aller enkleste form for hydrologiske metoder er bruk av faste forholdstall eller prosenter av utvalgte hydrologiske størrelser ut fra en oppslagstabell. Prinsippet for de fleste slike metoder går ut på å finne en slags minste akseptable miljøvannføring, som regel som en andel av årlig middelvannføring. Eksempler på slike enkle tommelfingerregler er:

I Frankrike har de håndhevet med hjemmel i den franske vannloven av 1992 at ingen reguleringer har tillatelse til å ta ut mer vann enn at 1/40 av middelvannføring skal være tilbake i elva til en hver tid. Etter 2002 er denne størrelsen øket til 1/10 (Sabaton, 2002). I Storbritannia er Q 95 benyttet, dvs. den minstevannføringen som overskrides 95 prosent av tiden (Dunbar et al., 2004).

Alternativt er det fokusert på varianter av de laveste observerte vannføringene i vassdraget. Et nærliggende eksempel er norske vassdragssaker som ofte tar utgangspunkt i minst alminnelig lavvannsføring i (s. 16 og vannressursloven). Alminnelig lavvannsføring er et lavvannsmål som er høyt korrelert med andre lavvannskaraktistika (Væringstad & Hisdal, 2005), men som er dårlig forankret i det statistiske begrepsapparatet som ofte benyttes i hydrologi. Denne lavvannsparemeteren er sentralt for norsk konsesjonsbehandlingen og benyttes utelukkende i Norge. Det er utviklet metoder og et programsystem, slik at saksbehandlere raskt og objektivt kan beregne alminnelig lavvannsføring og andre sentrale lavvannskaraktistika for felt uten vannføringsobservasjoner (Væringstad & Hisdal, 2005). Koblingen til miljøforhold virker imidlertid til å mangle.

Tennant-metoden: Hydrologiske oppslagsmetoder kan få økologisk troverdighet om de kalibreres ved å koble vannføringsnivået med data om miljøkvalitet for elver i en region. Tennant (1976) benyttet kalibrerte data om fiskestatus og hydraulikk mot vannføring fra en rekke vassdrag i USA til å utvikle en tabell som anga antatt kvalitet på fiskehabitatet ved ulike prosent av middelvannføring (Tabell 1). Den er videreutviklet og kalibrert for å ivareta utvalgte nøkkelarter og livsstadier. Han anga f.eks., 10 prosent av middelvannføring for overlevelse og 30 prosent for tilfredsstillende sunt økosystem. Tabell 1 har blitt mye brukt i ulike modifiserte versjoner i 25 land (Tharme, 2003). Metoden er også kjent under navnet Montana-metoden, og ville vært et nyttig verktøy for norsk forvaltningen om den hadde blitt kalibrert for norske hydrologiske regimer, og kunne knyttes til prioriterte miljøkvaliteter i våre vassdrag.

Tabell 1. Minstevannføringsregimer og forhold for fisk, vilt, friluftsliv og relaterte miljøkvaliteter (Tennant 1976).

¹ Narrative Description of Flows	Recommended Base Flow ² Regimen Percent of Mean Annual Flow	
	October to March	April to September
Flushing (maximum)	200	200
Optimum	60-100	60-10
Outstanding	40	60
Excellent	30	50
Good	20	40
Fair	20	30
Poor	10	10
Sever Degradation	< 10	< 10

Notes:

- ¹Most appropriate description of the general condition of the streamflow for the parameters listed in the Table caption.
- ²Tennant's term presumed to mean lowest fixed flow, not a hydrological term.

Texas metoden: En ytterligere raffinering av Tennant-metoden ble utviklet for å fange opp sesongvariasjonen bedre. Basert på fiskekartlegginger, kjente preferanser for ulike livsstadier som bl.a. vandringsforhold og den større varierende vannføringen i regionen de jobbet, utviklet de anbefalinger som anga prosent av medianvannføring pr. kalendermåned.

Caissie & El-Jabi (1995) gjorde en sammenligning av seks ulike metoder for fastsetting av minstevannføring basert på historiske vannføringsdata for 70 elver i den atlantiske delen av Canada. De konkluderte med at flere av tommelfingerreglene gir så lave vannføringskrav for gitte sesonger at det må påregnes veldig uheldige biologiske effekter. De fant også at metodene Q_{50} , (median månedlig vannføring), Tennant, 25 prosent MAF (25 prosent av årsmiddel) ga anbefalte minstevannføringer veldig nært hverandre.

Basque-metoden går ut på å finne en akseptabel minstevannføring for å bevare mangfoldet av bunndyrarter. Det er samlet data fra mange vassdrag og funnet empiriske sammenhenger mellom bunndyrarter, våt periferi og vannføring. Så har man antatt at den vannføringen som huser minst 15 bunndyrarter er tilstrekkelig til å bevare et godt nok bunndyrsamfunn. Dette har dannet grunnlaget for en oppslagstabell som er anerkjent for å ivareta vassdragsmiljøet i regulerte elver i spansk Baskerland (Dunbar et al., 1998; Garcia de Jalón, 2003).

Minstevannføring og friluftsliv: Betydningen av en regulering på utøvelse av friluftsliv i og langs vassdrag samt estetiske forhold er ofte aspekter som skal omtales i en KU for norske forhold. Det foreligger ingen innarbeidet praksis i forvaltningen for å evaluere vannføringskrav til estetikk og friluftsliv i Norge. Dette medfører at det på steder med store friluftsinnteresser snarere frarådes konsesjon enn at det blir kvantifisert kritiske vannføringer for å ivareta brukerne. For et utvalg elver i nord Amerika er det imidlertid etablert en Alberta-ligning som knytter sammenheng mellom egnethet for elvepadling og vannføring (Rood et al., 2003; Rood et al., 2006). De har benyttet spørreskjema som subjektivt har vurdert hvor egnet en elvestrekning har vært for utøvelse av friluftsliv.

Styrke og svakheter

Den metodiske tilnærmingen med hydrologiske oppslagstabeller til å finne en passelig minstevannføring er enkel, rimelig og også den mest benyttete metoden internasjonalt (Tharme, 2003; Acreman & Dunbar, 2004). Slike enkle forholdstall har i mange land blitt brukt som tommelfingerregler for hvor mye vann som minst må være igjen i de regulerte elvene. Denne metoden benyttes gjerne i vassdrag uten god dokumentasjon av hvilke miljøkvaliteter som finnes og/eller der det er stor usikkerhet med hvilke vannføringskrav som trengs. Metodene er i utgangspunktet valgt uavhengig av kjente økologiske sammenhenger, men kun ut fra hydrologiske statistiske kriterier. De passer i utgangspunktet kun i lite kontroversielle saker der det ikke er spesielle miljøkvaliteter som skal ivaretas, og primært for å finne en nedre akseptabel minstevannføring. Hydrologiske forholdstall uten regionalt tilpasset kalibrering som ikke tar hensyn til årstidsvariasjoner eller sentrale hendelser i vassdraget, bør kun være et første steg mot en MBV, og bør ikke brukes til en fullstendig vurdering av MBV (Acreman & Dunbar, 2004). Det er åpenbart behov for å kalibrere slike tabeller mht. miljøvirkninger, men arbeidsomfanget med å få dette gjort er stort (Dunbar et al., 1998). Konsekvent bruk av slike oppslagstabeller for å ivareta bestemte miljømål kan i hvert fall sikre en enhetlig saksbehandling, som blir forutsigbar og lar seg etterprøve, men egner seg mest til å fastsette minstevannføring mer enn en dynamisk MBV.

Identifisering av sentrale hydrologiske hendelser

Indikatorer for hydrologisk variasjon

(Richter et al., 1997) har utarbeidet og standardisert IHV-metoden (Indikatorer for Hydrologisk Variasjon), som tar utgangspunkt i en utbredt teori innen akvatisk økologi om at hydrologisk variasjon er en kritisk økologisk faktor (Olden & Poff, 2003). For å bevare den stedegne biodiversiteten i et regulert

eller modifisert vassdrag bør ikke vannføringsregimet avvike for mye fra den naturlige variasjon mht. størrelse, frekvens, varighet, tidspunkt og endringshastigheter. Det tas utgangspunkt i vannføringen for en lengre periode (evt. modellert) før betydelige menneskelige inngrep endret hydrologien i vassdraget. For å finne strategier for forvaltning av regulerte vassdrag (drift av vassdrag, restaureringer) regnes det ut hydrologiske mål fra statistiske beregninger sammenfattet i tabell 2, for å etterligne det naturlige hydrologiske regimet.

IHV er en hurtig men omfattende statistisk metode, som gir en detaljert beskrivelse av vannføringsregimet på en standardisert måte. Metoden gir et tilfredsstillende bilde av hydrologisk variasjon i en rekke regioner på en representativ måte (Olden & Poff, 2003). Et eget sekretariat samler bruken av metoden i egne databaser, samt tilbyr IHV-programvare⁶ og kursing i bruk. Internasjonale eksempler på bruk er tidligere omtalt av Halleraker et al. (2000). For pålitelig og mer anerkjent bruk av utvalgte hydrologiske parametere fra metoden til å fastsette MBV trengs det mer erfaringsdata om miljøvirkningene av å endre på det hydrologiske regimet, og finne fram til de kritiske hydrologiske parametrene. Dette gjøres gjennom økohydrologiske studier (Acreman, 2001).

Tabell 2. Følgende hydrologiske parametre inngår som indikatorer på hydrologiske endringer, for statistiske utregninger av den historiske hydrologien før inngrep (etter Richter et al., 1997).

Indikatorer for hydrologisk endring inndelt i statistiske grupper	Eksempel på parametre i IHV ("Indikatorer for Hydrologisk Variasjon ")
Gruppe 1. Månedlig vannføring	Gjennomsnitt for hver kalendermåned
Gruppe 2. Størrelse og varighet av ekstreme vannføringsforhold	Årlig minimum av 1 - 90 dagers snitt Årlig maksimum av 1 - 90 dagers snitt
Gruppe 3. Tidspunkt for årlige ekstreme vannføringsforhold	Kalenderdagen for hver endagsminimum og – maksimum
Gruppe 4. Frekvens og varighet av høy/lav pulser	Antall og gjennomsnittlig størrelse på daglige høy-/lavvannføringer
Gruppe 5. Frekvens og hastighet på vannføringsendring	Antall og gjennomsnittlig endring i daglig vannføring over året

I Norge er det videreutviklet IHV-analyser mer tilpasset norske forhold, der bl.a. de hydrologiske forholdene gjennom vinteren har fått flere parametre. Så vidt oss bekjent er noen ti-talls vannføringsserier i noen vassdrag blitt analysert på denne måten. I Norge er det også jobbet for å avklare nærmere hvilke IHV-er som viser signifikant samvariasjon med fiskedata (tettheter og vekst) som en del av forskningsprosjektet VAKLE (Tøfte & Jensen, 2004).

⁶ <http://www.freshwaters.org/tools/index.shtml>

En beregningsmodell for IHV-analyser utvidet med egne norske parametere mer tilpasset vårt klima (spesielt vinterforhold) er laget (Tøfte et al., 2004).

Tilnærmingen er også nyttig for å illustrere at reguleringer der magasinering av vann inngår, kan føre til å bedre de hydrologiske forholdene for enkelte arter på deler av året, eksempelvis i Surnavassdraget (Halleraker et al., 2006).

Styrke og svakheter

Reine hydrologiske metoder støtter seg i stor grad på teorier om sammenhengen mellom vannføring og økologisk respons, uten at de funksjonelle sammenhengene i særlig grad er bevist eller funnet empirisk. Likevel er det bred faglig enighet om at disse sammenhengene sannsynligvis finnes (Poff et al., 2003). Så lenge en pålitelig hydrologisk tidsserie foreligger, er det raskt å presentere IHV-parametere før/etter regulering slik at langt mer enn middelvannføring kan legges til grunn i en MBV-vurdering. Med denne måten er det også mulige å planlegge et regulert vannføringsregime som inneholder en rekke sentrale vannføringshendelser tilsvarende det naturlige regime. Norsk forvaltning vil trolig være tjent med å standardisere hvilke hydrologiske størrelser som skal presenteres i en KU og enhver konsesjonssøknad, utover middelvannføring og alminnelig lavvannføring. Vi anbefaler en presentasjon av middelvannføring samt tilhørende 7 dagers minimums- og 7 dagers maksimumsvannføring pr. kalendermåned som et minstekrav i enhver KU. Med bruken av IHV-programvaren fra USA eller en regnearkbasert versjon av denne, så kan forvaltningen få en standardisert og relativt avansert analyse av det hydrologiske regimet, som vil danne et godt grunnlag for å utarbeide en MBV. Det er også mulig å gjennomføre lignende analyser for vanntemperatur, vannkvalitet eller andre fysiske og kjemiske faktorer som kan være av betydning.

6. Hydrauliske vurderingsmetoder

Bruk av rene hydrauliske metoder for å finne akseptable MBV har vært relativt mye brukt på 1960- og 1970-tallet. Siden koblingen til biologi i stor grad har manglet, har habitatmodellering i stor grad overtatt for disse metodene (Tharme, 2003). Det er mulig å finne knekkpunkter i kurvene for vanddekt areal som kan tallfeste hvor mye areal hver mengde vann dekker (Gippel & Stewardson, 1998a). Med fysisk beskrivelse (kartlegging og/eller modell) av vassdraget ved ulike vannføring er det mulig å identifisere hvilke vannføringsendringer som gir størst tap av vanddekt areal og habitat-

forholdene. Moderne metoder muliggjør effektiv datainnsamling. Stor datakraft gjør at lengre elvestrekninger objektivt kan beskrives ved ulike vannføringer (Hardy, 1998). Her tenker vi på blant annet på bruk av utstyr som differensiell GPS, elektronisk avstandsmåler, akustiske dopplermålere (ADCP og liknende) til vannhastigheter, gjerne koblet med visuell elvetypekartlegging av dybde, vannhastighet, skjul, substrat m.m. (Borsanyi et al., 2004; Gravem & Jensen, 2004). Bildekolleksjoner ved ulike vannføringer koblet inn i et GIS brukes også. Slike presentasjoner kan på en lettforståelig måte viser hvor mye en dokumentert vannmengde monner på ulike steder i et vassdrag.

Mange steder finnes det relevante inngangsdata og til og med kalibrerte modeller fra andre studier (f.eks. tverrprofiler til flomsonekartlegging i mange større vassdrag) som kan brukes. Metodene anses som middels ressurskrevende av vurderte MBV-metoder av (King et al., 1999). Modellering av sediment- og erosjonsprosesser med påfølgende kvantifisering av virkning av ulike flomstørrelser på masseforflytning og substratkvalitet er ofte sentrale tema som bør inngå i MBV-undersøkelser (Bogen et al., 2004). Å finne nivået på flomstørrelsen for å få masseforflytning og utspyling av finstoff er sentral (Clausen & Plew, 2004). Flere rene hydrauliske modeller inngår i IFIM-pakken til US Geological Survey, som beskrives i neste kapittel (Bovee et al., 1998).

Styrke og svakheter

Hydrauliske metoder gir mer stedege informasjon for en elvestrekning enn det hydrologibaserte analyser kan gi (King et al., 1999). Gippel & Stewardson (1998b) trekker fram at det er like fullt problematisk å foreslå MBV bare basert på hydrauliske metoder, men at sammenhenger med våt periferi og vanddekt areal bør inngå i en god MBV-undersøkelse. De foreslår mer objektive matematiske kriterier for tolkninger av kurver. Ved å fastsette grensekriterier for hvor store endringer av hydrauliske parametere som kan aksepteres, så kan rene hydrauliske metoder tjene som en forenklet MBV-undersøkelse, som i sin natur tar høyde for de stedegne forholdene. Flere trekker imidlertid fram at å foreslå en MBV kun basert på hydrauliske kriterier blir ufullstendig dersom bestemte økologiske funksjoner ved elva skal sikres gjennom MBV. Den funksjonelle sammenhengen med biologi eller landskapsvirkning er nødt til å antas, og da trengs koblinger som vises i neste kapittel (Tharme, 2003). Biotopmetoden⁷ i Sverige til å identifisere hvorvidt sjeldne biotoper blir negativt berørt ift. biologiske mangfoldet av en utbygging (Kyläkorpi et al., 2005). Indirekte kan det antas at dersom hydraulisk mangfold opprettholdes så sikres leveområdene også til det biologiske mangfoldet i vassdraget.

⁷ <http://www.vattenfall.se/downloads/produktion/biotopmetoden.pdf>

Dersom estetikk og landskapsbildet er det sentrale, så kan bildekolleksjoner fra steder med kjent vannføring være en selvforklarende måte å vise sammenheng mellom landskapsvirkning og hydrologiske forhold. Enkel og rimelig instrumentering (for eksempel web-kamera og vannstandssensor) kan også vise variasjonen i estetiske forhold ved ulike vannføringer på en representativ del av elva over tid. Det er da viktig å dekke tilstrekkelig mange vannføringsforhold.

7. Funksjonelle sammenhenger av fysiske og biologiske forhold

De hydrologiske og hydraulisk metodene som er omtalt tidligere forsøker å beskrive fysiske forhold under forutsetning av at de er viktige også for biologiske og vassdragsestetiske forhold. Disse metodene gir ingen direkte kobling til biologiske forhold, men spiller på kjente og antatte sammenhenger. Det er også mulig å studere disse sammenhengene mer direkte. Studier av fysiske forhold og hvordan disse virker direkte på biologiske forhold har vi kalt "Funksjonelle sammenhenger mellom fysiske og biologiske forhold". Blant slike metoder finner vi blant annet habitatstudier, bioenergetiske studier (omtales ikke nærmere) og temperatur-vekst-studier. I og med at de fysiske forholdene og sammenhengen til biologiske forhold lar seg beskrive og kvantifisere brukes ofte modellering i studier av funksjonelle sammenhenger. Modellering muliggjør å fremstille konsekvenser på andre forhold (temperatur eller vannføring) enn det som er målt, såkalt prediktiv modellering. I det følgende viser vi utvalgte stedegne eller generelt kjente sammenhenger mellom fysiske og biologiske forhold, som i varierende grad har blitt satt inn i modeller relevant for norske forhold.

Vannkvalitet, vanntemperatur, is og vekstmodellering

Vekstmodeller for fisk har eksistert i flere tiår (Jensen, 1990), og modellen Bioriv for tilvekst hos fisk som funksjon av vanntemperatur var integrert som en del av vassdragssimulatoren (Harby et al., 1994). Den videreutviklede vekstmodellen som beregner vekstforløpet av lakseunger fram til smolt er kalibrert for laksestammene i Alta (Jensen, 2003) og Orkla (Hvidsten et al., 2004). Disse modellene tar hensyn til at den relative veksten er størst tidlig i vekstsesongen. Vekstmodellering av norske ferskvannsfisk er foreløpig lite utprøvd, og det hersker usikkerhet rundt hvor generelle sammenhengene er

mellom tilvekst og sesong for de ulike stammene. For en pålitelig vekstmodellering er det derfor nødvendig å tilpasse sesongveksten for den aktuelle fiskestammen. Det er grunn til å anta at etablerte vekstmodeller kan gi god pekepinn på virkningene mht. vekst og dermed overlevelse for ungfisk av ulike utbyggings- og tappestrategier fra vannkraftmagasin. Dette kan være et nyttig verktøy for å koble biologisk respons med målte og simulerte temperaturdataserier ved en regulering. Sammenstillingen av ulike tappe- og driftsstrategier viser at store miljøgevinster trolig kan oppnås mht. økt tilvekst ved annet inntak fra magasinet og redusert vannføring gjennom kraftverket i perioder (Tjomsland, 2004; Halleraker et al., 2006).

Det amerikanske modellrammverket IFIM (kap. 9) har flere delmodeller for å beregne vanntemperatur som SNTMP og QUAL-2E (Bovee et al., 1998). Sistnevnte modell er også en vannkvalitetsmodell, som har vært innlemmet i Vassdragssimulatoren, og bl.a. benyttet i Måna til å beregne nivået på kloakkforurensing ved ulike minstevannføringer (Harby, 2000). QUAL-2E er også benyttet til å modellere vanntemperatur i vassdrag, for å komme fram til mulige optimaliseringer av temperaturforholdene, slik det f.eks. er gjort i Surnavassdraget (Tjomsland, 2004).

Isforholdene kan bli vesentlig endret etter regulering. Eksperimentelle studier med fravær av isdekke for Altalaksen førte til redusert næringsopptak og økt energiforbruk (Finstad et al., 2004). Manglende isdekke kan være uheldig for fiskepopulasjoner som historisk har vært tilpasset dette, og betydningen av isdekke for ulike fiskepopulasjoner kan settes inn i en modellsammenheng (Finstad, 2005). Det er også etablerte fysiske modeller (bl.a. RICE) for isproduksjon ved ulike kombinasjoner av temperatur og vannføringer, som er anvendt i bl.a. Orkla og Måna (Harby, 2000). FoU om virkning av is på habitatforhold og atferd vinterstid for fisk studeres i et flerårig prosjekt som en del av Villaksprogrammet til Norges forskningsråd, bl.a. i regulerte elver (Stickler et al., 2006) og som en del av FoU-programmet "MBV – fase 1" (Alfredsen et al., 2006). Vinterforhold er kjent å være en flaskehals for ferskvannarter i norske vassdrag. Ny viten kan bidra til å kunne skreddersy avbøtende tiltakt tilpasset vinterforhold for norske regulerte elver med bruk av modellverktøy.

Vannføring, vandring og atferd hos fisk

Stedegne undersøkelser av vandring hos voksen laks i regulerte vassdrag har vist at lokkeflommer syntes å ha begrenset betydning for passering av kraftverksutløp og elvestrekninger med minstevannføring (Thorstad et al., 2003). De stiller derfor spørsmål ved bruk av ressurser på relativt små og kortvarige

lokkeflommer for å stimulere laks til oppstrøms vandring. Undersøkelsene viste at det ikke finnes enkle sammenhenger mellom vannføring og vandring hos laks. Det er grunn til å tro at eventuelle effekter av vannføring er forskjellig på ulike vandringsstadier knyttet til laksens motivasjon for vandring. Uten å kunne vise til klare virkninger anbefaler de allikevel vannføringsregimer med variasjoner i vannføring i løpet av sesongen fordi dette øker sannsynligheten for økt oppvandring.

Bergan et al. (2003) fant at både vannføring, temperatur og tid på døgnet kan spille en rolle for når oppvandring finner sted. Spennet i vannføringer og vanntemperaturer der vandring finner sted er stort. Resultatene tyder på at oppvandring ved vandringshindre skjer når det var tilstrekkelig lyst, og at høy vanntemperatur er viktigere enn høy vannføring i store vassdrag. I det minste vassdraget i undersøkelsen, Skjoma, var høy vannføring viktigere enn høy temperatur. Undersøkelsen omfatter for få småvassdrag til å kunne konkludere med hensyn til vannføringskrav.

Hydrauliske simuleringsverktøy er benyttet i flere vassdrag til å optimalisere habitatjusteringer for også å lette vandringsforholdene på regulerte strekninger (Stickler et al., 2003; Fjeldstad et al., 2005). Slike hjelpemidler er egnet til å se fysiske tiltak (graving) i sammenheng med MBV, men det er usikkerhet knyttet til grensebetingelser for vandringsvilje hos voksen fisk.

Smoltutvandringen er en kritisk periode for overlevelse hos laks. Prediktive modeller på grunnlag av vannføring og vanntemperaturer har gitt høy forklaringsgrad som stimulering for smoltutvandringen i Orkla (Hvidsten et al., 2004). Dette modellarbeidet er sentralt i utviklingen av generelle modeller for smoltutvandring i norske vassdrag, som er nyttige for å optimalisere gunstige fysiske forhold for økt smoltoverlevelse under utvandring.

Raske vannstandsendringer og stranding

Et større tverrfaglig forskningsprosjekt om biologiske konsekvenser av raske vannstandsendringer har gitt konkrete råd for mer miljøtilpasset drift av effektkjørte kraftverk (Harby et al., 2004). Prosjektet genererte generell kunnskap med overføringsverdi til andre vassdrag der raske vannstandsendringer kan finne sted. Ved hjelp av felt- og laboratorieforsøk, er det vist at stranding kan reduseres betraktelig når vannstanden ikke faller hurtigere enn 10-15 cm per time (Saltveit et al., 2001; Halleraker et al., 2003). Strandingsfaren er betydelig større i dagslys enn i mørke for laksunger om vinteren. I sommerhalvåret er faren for stranding mindre enn om vinteren og omtrent like stor dag og natt. Stranding avtar med økende fiskelengde (Hunter, 1992), og raske

vannstandsendringer i tider på året når årsyngel er minst mobil bør spesielt unngås.

Det er viktig å huske at i IHV-analysen (s. 18), baseres på vannføringsdata med ett døgn oppløsning. Dette er ikke tilstrekkelig for å vurdere miljøvirkninger av raske vannstandsendringer som kan medføre stranding av ungfisk. Her trengs minst timesverdier. Anvendelse av kunnskap om hvordan negative konsekvenser av raske vannstandsendringer kan reduseres er nå innarbeidet med en fysisk vassdragsmodell (HEC-RAS) for Surnavassdraget. Dette er nyttig for å beregne tørrleggingsarealer og potensiell strandingsdødelighet ved ulike driftsstrategier (Halleraker et al., 2006) eller ved uforutsette utfall av kraftverket (Halleraker et al., 2005). Dette er nyttig for å kvantifisere miljøvirkninger og designe avbøtende tiltak i effektkjørte elver. Rådene fra prosjektet kan gratis hentes fra publiserte arbeider, og kan tilpasset stedegne forhold, som burde vært anvendt i nyere vassdragsaker som for eksempel Rødneelva (Lura, 2003).

Habitatmodellering

Med habitatmodellering mener vi numeriske modeller som beskriver habitatet (leveforholdene) til en eller flere vannlevende organismer. Habitatet beskrives oftest med en gitt kvalitet som funksjon av vannføring. Innen habitatmodellering brukes en hydraulisk modell eller målinger som beskriver fysiske forhold, i hvert fall vannhastighet, vanddyb, substratforhold (bunnforhold) og skjul. Sammenhengen mellom disse fysiske forholdene og vannføring etableres. I tillegg må en sammenheng mellom habitatkvalitet og de samme fysiske forhold benyttes. Preferansekurver eller preferansefunksjoner er vanlige i bruk til dette formål. Preferanser viser hvilke fysiske forhold en organisme foretrekker og hvilke den vil unngå. Preferanser etableres ved stedegne undersøkelser i elver med dykking, snorkling, telemetri, videoovervåking, elektrofiske, sparkeprøver etc. (anvendte metoder er bl.a. sammenstilt i Harby et al. (2005)) eller baseres på eksperimenter, fra litteratur, tidligere undersøkelser i andre elver (Lamouroux et al., 1999) eller ekspertvurderinger satt i system (Jorde, 1996a). Når de fysiske forholdene er koblet til preferanser eller andre sammenhenger, kan dermed sammenhengen mellom vannføring og habitatkvalitet etableres. Habitatmodeller gir derfor kvantitative prediksjoner på hvor gode leveområdene er ved ulike vannføringer.

Anvendelsen av habitatmodeller er i motsetning til bl.a. presmoltmodellen (Sægrov et al., 2001), som kun beskriver sammenhenger mellom tetthet av presmolt og middelvannføring mellom elver (Fiske & Jensen, 2004). Sistnevnte er ikke egnet til å predikere nedre kritisk grense for vannførings-

nivået ved en regulering, noe resultatet av habitatmodellering nettopp benyttes til.

Konseptet for habitatmodellering

Habitatmodellering er for en stor del forbundet med mikrohabitatmodellering, dvs. modellering av en organismes aller nærmeste leveområde, f.eks. om lag 50 cm² rundt en laksunge. Habitatmodellering ble utviklet av miljøet i daværende US Fish and Wildlife Services (nå US Geological Survey) i Fort Collins, Colorado, USA.

Mikrohabitatmodellen PHABSIM (Bovee 1982) er en del av modellrammeverket IFIM, selv om mange misvisende nok har trodd denne enkeltmodellen er identisk med IFIM (forklares i senere kapittel). Mikrohabitatmodellering ble tatt i bruk i mange amerikanske stater, og er i dag standardisert som metode for vannuttak i en rekke amerikanske stater. Etter hvert har metoden blitt brukt i stor utstrekning i mange land verden over (Tharme, 2003).

Stedegne tilpasninger til de fysiske og biologiske forholdene kan gi ulike preferanser, og flere har fremhevet betydningen av å skaffe tilveie stedegne sesongmessige preferansedata (Gore & Nestler, 1988; Heggenes, 1996). Likevel benyttes nå metoden i mange land basert på generelle preferansedata som er ekstrahert fra en rekke stedegne undersøkelser. Dette gjøres bl.a. i Storbritannia (Dunbar et al., 1998), Frankrike (Lamouroux et al., 1999), USA (Bovee, 1986) og New Zealand (Jowett & Hayes, 2004). De langt fleste anvendelsene har fokusert på én art, gjerne en fiskeart, men metodikken er også anvendt på bunndyr (Jowett & Richardson, 1990; Fjellheim, 1994; Jorde & Bratrach, 1998), muslinger, begroing og andre periodevis vannlevende arter som f.eks. flodhester. I dag finnes en rekke ulike kommersielle og ikke-kommersielle modellverktøy tilgjengelig for å utføre habitatmodellering, som vist i tabell 3. Rapporten fra COST Action 626⁸ innen European Aquatic Modelling Network (Harby et al., 2005)⁹ gir en oversikt over og nærmere beskrivelse av de vanligste modellene, med referanser til hvor disse er anvendt og kan skaffes.

⁸ <http://www.energy.sintef.no/eamn/>

⁹ http://www.energy.sintef.no/eamn/documents/COST%20626-State-of-the-art_new.pdf

Tabell 3. Habitat hydrauliske modeller for prediktiv modellering av kvantitativ vrikninger på nøkkelarter (modifisert fra Parasiewicz & Dunbar (2001)). Flere av referansene i tabellen er ikke med i referanselista i denne rapporten.

Navn (Forkortelse)	Beskrivelse	Referanse(r)
<i>PHABSIM (Physical HABitat SIMulation system)</i>	<i>The original physical microhabitat simulation model for use within the IFIM framework</i>	<i>Bovee (1982)</i>
<i>RHABSIM (Riverine HABitat SIMulation)</i>	<i>A commercial software program incorporating the PHABSIM</i>	<i>Payne (1994)</i>
<i>RYHABSIM (River hYdraulic and HABitat SIMulation)</i>	<i>A microhabitat based model for New Zealand, similar to PHABSIM</i>	<i>Jowett (1989)</i>
<i>EVHA (EValuation de HABitat)</i>	<i>A French microhabitat based model, similar to PHABSIM</i>	<i>Ginot (1995)</i>
<i>RSS (River System Simulator)</i>	<i>A Norwegian microhabitat model (HABITAT) contained within a riverine modeling framework</i>	<i>Alfredsen and Killingtveit (1996); Killingtveit and Harby (1994)</i>
<i>CASIMIR (Computer Aided SIMulation of habitat In Regulated streams)</i>	<i>A German simulation model based also on shear stress for hydroelectric development impact assessment</i>	<i>(Jorde 1996)</i>
<i>HABIOSIM/HYDREAU FRC (Fish Rule Curve)</i>	<i>Canadian microhabitat modeling system incorporating PHABSIM and habitat time series analyses</i>	<i>Lafleur and LeClerc (1997); Locke (1996)</i>
<i>RCHARC (Riverine Community Habitat Assessment and Restoration Concept)</i>	<i>A modeling system comparing the habitat hydraulic conditions between a reference situation and alternatives.</i>	<i>Nestler et al. (1996)</i>
<i>RIV2D</i>	<i>2-D ice-free and ice-covered hydrodynamic modeling of riverine habitat in the Canadian Prairies</i>	<i>http://www.river2d.ualberta.ca/, Stickler et al. (2003)</i>

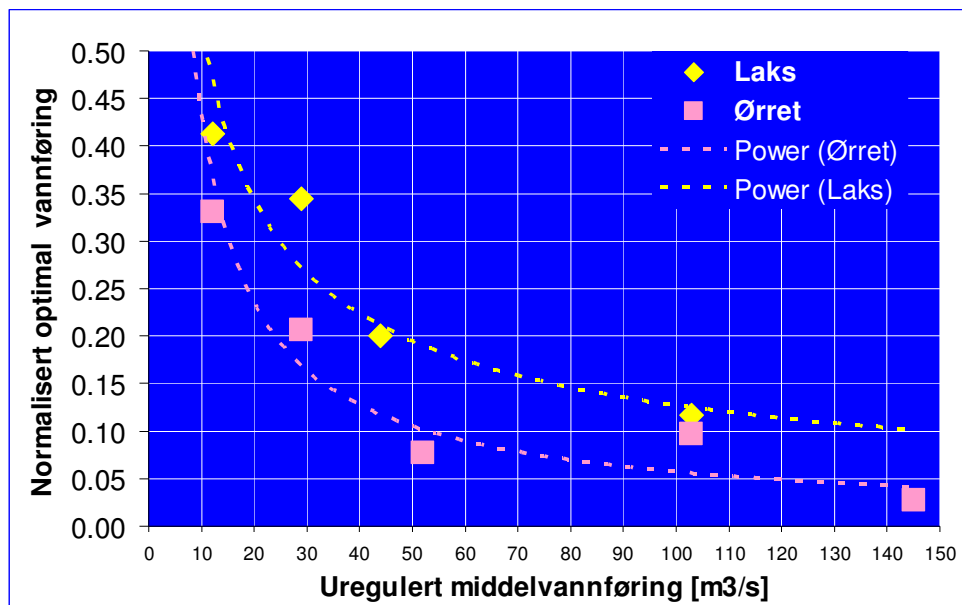
Den tyske modellen CASIMIR skiller seg ut ved å inkludere flere habitatparametere enn de fleste andre (Jorde, 1996b). Bl.a. er en metode for beregning av skjærkrefter inkludert, som er funnet relevant for bunnlevende organismer. Videre er det i CASIMIR en ulik biologiske preferansemodellen som tillater fuzzy logiske parametersett. I denne sammenhengen vil det si å i større grad gjør det mulig å innarbeide ikke kvantifiserte ekspertvurderinger om hvor egnet et område er for en vannlevende organisme på en etterprøvable måte (Jorde & Bratrich, 1998).

Habitatmodellering i Norge

IFIM dannet også grunnlaget for utviklingen av fysisk beskrivende vassdragsmodell (Vaskinn, 1985) og senere Vassdragssimulatoren i Norge (Harby et al., 1997). Undersøkelser av preferanser for laks- og ørretunger ble koblet med hvordan de fysiske forholdene vannhastighet, vanddyp og substrat varierer med vannføring. En rekke målinger av vannhastighet, vanddyp og substrat på to ulike vannføringer ble brukt som inngangsdata for den én-dimensjonale hydrauliske modellen HEC-2. Denne modellen kan så beregne gjennomsnittlig vannhastighet og vanddyp ved andre vannføringer og målingene av lokale vannhastigheter, vanddyp og substrat ble brukt til å lage en simulert fordeling av vannhastighet, vanddyp og substrat ved alle modellerte vannføringer. Undersøkelser ved snorkling og dykking ble utført for å finne fiskens preferanser. Gjennom korreksjoner for tilgjengelig habitat kan preferanser finnes.

Metodikken ble siden videreutviklet gjennom anvendelser i flere vassdrag, som er delvis oppsummert av Harby et al. (1999) og ved inkludering i Vassdragssimulatoren. I Norge har som regel habitatforhold med hensyn på vannhastighet, vanddyp og substrat blitt behandlet separat, mens det internasjonalt er vanlig å multiplisere disse sammen til såkalt "Vektet anvendbart areal (Weighted Useable Area)", som gir et tall for habitatkvalitet på hver vannføring der betydningen av de ulike habitat variablene tillegges lik vekt (Alfredsen, 1999). I den senere tid har også mer avanserte hydrauliske modeller blitt brukt i habitatmodellering i Norge. Fordelen med disse modellene er at de gir mer presise data om fordelingen av de fysiske forholdene ved ulike vannføringer. Resultatet av habitatmodellering gir kvantifiserte estimater på andelen gunstig habitat ved ulike vannføringer. Det kreves like fullt ekspertvurderinger av hvor stor vannføring som trengs.

Tradisjonell habitatmodellering har bl.a. blitt utført i Gjengedalselva, Suldalslågen, Otra, Måna, Stjørdalselva og Nidelva (Harby et al., 1999). En sammenstilling av subjektivt vurderte optimale vannføringer utifra habitatmodelleringene er vist som funksjon av middelvannføringen for hver elv i figur 1.



Figur 1. Sammenheng mellom uregulert vannføring (x-aksen) og den nedre optimale vannføringen funnet for ungfisk av laks og ørret basert på habitat modellering i utvalgte norske elver. På y-aksen er den normalisert verdien benyttet; dvs. forholdstallet av optimum/middelvannføring. (Modifisert fra Harby et al. (1999)).

Jowett (1997) har utført habitat modellering for ungfisk av ørret i en rekke New Zealandske elver, og funnet at minstevannføringsbehovet relativt sett synker med størrelsen på elva (middelvannføringen). Dette harmonerer med det som viser seg i figur 1, men vi må presisere at sammenstillingen for de norske elvene kun er basert på et fåtall norske elver så langt. Det bør også fremheves at habitatforbedrende tiltak vesentlig kan forskyve optimumsvannføringen. Dette er vist for habitatforbedringene som er utført ved sideelva Dalåa i Stjørdalsvassdraget, der den nedre optimale vannføringen etter at habitatforbedringer var utført ble senket til kun 12 % av middelvannføringen som var på ca. 7 m³/s her (Harby et al., 1999).

Det er hovedsakelig habitatmodellen HABITAT implementert i Vassdrags-simulatoren som er anvendt i Norge. I tillegg er både den tyske CASIMIR og den kanadiske River 2D anvendt på delstrekninger i Norge. En av de forenklete statistiske habitatmodellene (Lamouroux & Capra, 2002) er også prøvd ut i Nausta og Surna. En sammenligning av HABITAT med andre habitatmodeller viste at valget av preferansedata har mer å si enn type habitatmodell for resultatet (Scruton et al., 1998).

Validering av resultater fra habitatmodellering

I mange vassdragssaker er det endringer i biomasse, på populasjoner og arts-sammensetning av en regulering man gjerne ønsker svar på. Bovee (1986) antok at sammenhengen mellom vanndekt areal og vannføring var indikatorer

på bæreevnen til en elvestrekning. Manglende gode sammenhenger mellom habitatkvalitet og fisketetthet/biomasse har vært et av ankepunktene mot den utstrakte bruken av habitatmodellering (Gore & Nestler, 1988). Direkte sammenhenger mellom habitatkvalitet (for eksempel vektet vanndekt areal) og biomasse eller tetthet er imidlertid påvist i et utvalg elver i bl.a. USA, Frankrike og New Zealand (Nehring & Anderson, 1993; Capra, 1995; Souchon & Capra, 2004). I 10 av 11 undersøkte elver over en 13 års periode fant de godt samsvar mellom en indeks for habitat kvalitet og tettheten av års og fjordåsyngel av ørret. Kritiske habitat flaskehalsen virket imidlertid ikke til å gjelde for mengden større fisk (Nehring & Anderson, 1993). I 59 new zealandske elver ble det imidlertid funnet godt samsvar mellom WUA ved den årlige lavvannsvannføringen og tetthet av voksen ørret (Jowett, 1992). I franske elver er det også påvist nær sammenheng mellom WUA ved middelvannføringen sommerstid og mengden voksen ørret (Souchon & Capra, 2004). Lengden på kritiske vannføringer ift. WUA etter gyting og tettheten av årsyngel av ørret er også funnet (Capra, 1995). For norske forhold er det funnet betydelig høyere tetthet av laks i deler av Stjørdalsvassdraget, på en strekning med optimaliserte habitatforhold sammenlignet med en uberørt minstevannføringsstrekning (Harby & Arnekleiv, 1994). Det er fortsatt få generelle sammenhenger mellom de optimale habitatforholdene (fra en habitat modell) og maksimal biomasse for norske forhold, men heller ikke nok undersøkelser som kan underkjenne metoden.

Mangel på andre gode alternativer?

Habitatmodellering har blitt brukt svært mange steder fordi den anses som eneste metoden som kunne *kvantifisere* relative forskjeller i kvaliteten på leveområdene for nøkkelarter av en endring i vannføring. I flere stater i USA er det lovpålagt å benytte denne tilnærmingen for å finne kritiske vannføringsnivåer i forhold til rødlistede dyre- og plantearter. Metoden har derfor vært populær i forbindelse med konsekvensutredninger og spesielt i forhandlinger om fastsettelse av en nedre akseptabel grense for minstevannføring. Fremdeles er det vanskelig å finne andre metoder som kan kvantifisere eller predikere virkninger i forhold til nøkkelarter av endret vannføring på en objektiv måte.

Habitatmodellering behandler som regel bare et utvalg av de fysiske viktige forholdene som beskriver habitat, noe som er en forenkling. Likeledes beskrives ikke direkte biotiske forhold som konkurranse, predasjon eller næringstilgang. Disse forholdene kommer bare indirekte og ikke konsistent til uttrykk gjennom preferanser, og eventuelle endringer i slike forhold som følge av andre endringer fanges ikke opp (Gore & Nestler, 1988).

Selv om habitatmodellering i prinsippet kan anvendes for alle arter eller kohorter man ønsker i et vassdrag, blir det i svært mange tilfeller bare anvendt på et fåtall arter og størrelsesgrupper. I Norge har de fleste anvendelsene vært rettet mot laks- og ørretunger, men også bunndyr er forsøkt modellert (Fjellheim, 1994). Det har derfor så langt ikke vært mulig å beskrive det akvatiske økosystemet i sin helhet med habitatmodellering.

Styrken til habitatmodellering ligger først og fremst i muligheten til å kvantifisere og sammenligne ulike vannføringsforhold. Gode anvendelser av habitatmodellering tar hensyn til dette og sammenligner forholdene over tid ved bruk av tidsserier for vannføring samtidig som usikkerhet og følsomhet diskuteres. I en sammenligning av tre ulike habitatmodeller som brukte hver sine hydrauliske modeller ble den viktigste årsaken til ulike modellresultater klart definert som biologiske inngangsdata (Scruton et al., 1998). Det er viktig å huske på at kvaliteten ut av en modell ikke blir bedre enn kvaliteten på inngangsdata. Det er også viktig å huske på at alle modellresultater må tolkes og analyseres av fagfolk som har evne til å sette resultatene inn i en sammenheng. Betydningen av enkelthendelser, dynamikken (effektkjøring) og årstidsvariasjoner er også trukket fram som avgjørende faktorer (Heggenes, 1996). Slike faktorer er viktige å trekke inn i analysen av resultatene før det foreslås konkrete størrelser på miljøbasert vannføring.

Selv om ikke alle styrker og svakheter ved metodikken er tilstrekkelig dokumentert, så er klassisk mikrohabitatmodellering den best definerte og utprøvde av alle MBV-metoder som finnes (Dunbar et al., 1998). Like fullt er metoden (i full skala) såpass ressurskrevende at den ikke kan benyttes i mindre vassdragsaker eller i lite konfliktfylte saker, men generaliserte og forenklede tilnærminger er nå tilgjengelige og omtales i neste kapittel.

Videreutvikling innen habitatmodellering

Habitatmodellering på større skala

I de senere år har også utvikling av habitatmodeller blitt overført til en mesoskala (større ensartede elvetyper) for å predikere sammenhenger mellom vannføring og habitatforhold på nedbørfeltnivå, f.eks. MesoHABSIM¹⁰ (Parasiewicz, 2001), Vassdragssimulatoren med mesohabitatkartlegging (Borsanyi et al., 2004) eller MesoCASIMIR (Eisner et al., 2005). Generelt kan metodene på mesoskala brukes som en direkte oppskalering av mikrohabitatmodellering eller til reell modellering på en større skala. Mesohabitatkartlegging kan være en kostnadseffektiv metode, men det er fortsatt behov for

¹⁰ <http://www.neihp.org/mesohabsim/index.htm>

bedre kobling av biologisk respons til mesohabitatene eller elvetyper som er definerte. Dette jobbes det med for norske forhold som et av prosjektene i Villaksprogrammet til Norges forskningsråd. Bonitering av elver og kartlegging av det fysiske produksjonsarealet for laksefisk kan også være nyttige metoder i seg selv for å beskrive situasjonen ved en gitt vannføring (Gravem & Jensen, 2004), eller avklare om det er visse elvetyper som ikke lenger finnes i et regulert vassdrag. Tilsvarende som for å sikre hydrologisk variasjon er det grunn til å anta at det er viktig med hydraulisk variasjon for å sikre biologisk mangfold i et regulert system.

Forenklet habitatmodellering

En fullskala habitatmodellering på mikroskala innebærer detaljert oppmåling av et representativt utvalg stasjoner i det aktuelle vassdraget. Dersom stedegne preferansedata med sesongvariasjoner skal danne det biologiske grunnlaget, kreves det stor arbeidsinnsats i felt. Klassisk habitatmodellering anses ofte for ressurskrevende og kostbart. I Frankrike har Cemagref derfor videreutviklet og forenklet habitatmodellering gjennom statistiske metoder. Statistisk hydraulisk modellering kan gjøres med langt mindre arbeidsinnsats i felt og ved modellering (f.eks. ved bruk av Stathab fra Lamouroux et al. (1998)). Stathab¹¹ genererer foredlingen av de hydrauliske forholdene ved et sett av vannføringer, og kan kombineres med tradisjonelle preferansefunksjoner. En videreutvikling av Stathab kan også modellere habitatkvalitet som funksjon av vannføring (resultatet av habitatmodeller), gjennom den statistiske metoden Estimhab (Lamouroux & Capra, 2002). Estimhab gir tilsvarende grafiske resultater som klassisk habitatmodellering, dvs. vektet gunstig habitatforhold som funksjon av vannføring. Så vel Estimhab som Stathab kan lastes gratis ned fra Internet¹². Begge trenger kun to sett med dybde- og breddemålinger for representative delstrekninger, fra minst to forskjellige vannføringer, samt helst substratkartlegging. Estimhab forutsetter imidlertid at det er utført klassisk habitatmodellering i et utvalg sammenlignbare elver, der de biologiske preferansene er kjent. Arbeidsinnsatsen ved å benytte Estimhab er trolig mindre enn 10 prosent av en full habitatmodellering med EVHA, og forvaltningen får tilnærmet like godt svar (H. Capra pers. med.). Fordi dette er en effektiv metode med liten feltinnsats er det mulig å utføre modelleringen på mange delstrekninger, og dermed dekke et større spekter av elvestrekninger. Estimhab/Stathab er lovende metoder som bør vurderes tilpasset for norske forhold, slik det bl.a. er gjort for New Zealand (Lamouroux & Jowett, 2004; Lamouroux & Jowett, 2005). På sikt kan dette danne grunnlag for generelle tommelfingerregler om habitatverdien for et spekter av ferskvannarter som

¹¹ <http://www.lyon.cemagref.fr/bea/lhq/stathabENG.shtml>

¹² <http://www.lyon.cemagref.fr/bea/lhq/estimhabENG.shtml>

funksjon av vannføring slik Lamouroux & Jowet (2005) antyder. I new zealandske elver fant de at optimale habitatforhold var ved vannføringer på ca. 30 % av middelbredden (målt ved årlig middelvannføring).

Fysiske forhold og populasjonsutvikling

En videreføring av habitatmodellering er bruk av populasjonsmodeller for fisk, for eksempel SALMOD (Bartholow & Waddle, 1995). Slike kalibrerte modeller kan simulere utviklingen av en bestand som følge av forskjellige vannføringsregimer over år. I SALMOD er det lagt inn sammenhenger mellom dødelighet, forflytning og vekst hos ulike stadier av laks og vannføring. Dette er en videreutvikling av klassisk habitatmodellering. Både tidsutvikling, rekken av livsstadier og skalaen (dvs. hele elvesystemer) er innbakt i modellene, og brukes bl.a. til å beregne produksjonspotensialet av laksefisk. Populasjonsmodeller framfor mer klassiske habitat modellering er pålitelige til å predikere tidsutviklingen i bestander over år, inkludert virkningen av næringstilgang, temperatur effekter, konkurranse både innen og mellom arter (Van Winkle, 1998). Den norske populasjonsmodellen NORSALMOD er under utvikling av NINA, NTNU og SINTEF. Modellen har så langt vist lovende resultater for Orkla. Imidlertid er det vanskelig å modellere hva som skjer i sjøfasen og NORSALMOD tar utgangspunkt i empiriske verdier for sjøoverlevelse (Borsanyi et al., 2004).

8. Holistiske metoder

På den sørlige halvkule har MBV-forskere i Sør-Afrika og Australia lansert holistiske metoder (eller rammeverk) som det mest lovende for å komme fram til bærekraftig ”riktige” MBV-regimer. Metodene er i stor grad tverrfaglig og scenaribaserte der bruk av eksperter i arbeidsgrupper (dvs. tverrfaglige diskusjonsbaserte workshop) er sentralt. Det finnes minst 16 ulike metoder som er definert i denne kategorien (Tharme, 2003). Så langt er metodene kun benyttet i det sørlige Afrika og Australia. Typiske bruksområde er elver med lite vannføringsdata og stor variasjon i vannføring mellom år, og gjerne for vassdrag som helt eller delvis er tørrlagte i perioder. Det er særlig i komplekse systemer med mange arter og få åpenbart økonomisk betydningsfulle arter at metoden har fått sin popularitet. Konseptet er en strukturert evaluering av sammensatte ekspertvurderinger, som også er anbefalt for videre utvikling og tilpasning for britiske forhold (Dunbar et al., 1998).

Metodene går ut på å finne en sammensatt MBV som er tilpasset alle komponentene og egenskapene i økosystemet som blir berørt av en regulering. Ulike MBV-anbefalinger gis for tørre og våte år. De mest kjente metodene

ligner på hverandre. Alle forutsetter at enkelte vannføringshendelser er viktigere enn andre for å opprettholde sentrale funksjoner og prosesser for fastsatte mål for elveøkosystemet (King et al., 1999).

Mest utbredt har vært den sør-afrikanske ”Building Block Methodology” (BBM), som bygger opp et vannføringsbehov på månedsbasis for hver art eller økologisk funksjon i vassdraget (Hughes et al., 1997). Dette er en omfattende sammenstilling av et elveøkosystem, som er velegnet for å samle kunnskap, dokumentere og strukturere ekspertvurderinger, og gjøre MBV-anbefalingene etterprøvbare. Metoden forutsetter tilstrekkelig innsamling av grunnlagsdata, som hver ekspert bringer inn i tverrfaglig arbeidsgrupper. Ekspertene skal i samarbeid komme fram til en konsensus om vannføringsbehovet for å ivareta miljømål i elva best mulig. Alle sentrale komponenter får et vannføringsønske pr. måned, og usikkerheten i estimatet blir kvantifisert. Metoden er fleksibel og kan bygge på grunnlagsdata fra både detaljerte simuleringer (f.eks. en IFIM-studie) eller skjønnsmessige ekspertvurderinger. BBM har en detaljert manual med krav til inngangsdata og prosessen rundt (King et al, 2000 referert i King et al, 2003), og benyttes rutinemessig i Sør-Afrika til å overholde den sør-afrikanske vannloven fra 1998 (Acreman & Dunbar, 2004). Hovedforskjellen mellom BBM og IFIM er ifølge (Dunbar et al., 1998) at:

- BBM benytter ikke hydrauliske preferansedata (i motsetning til klassisk habitatmodellering).
- BBM gir anbefalte MBV-er for en rekke vannføringshendelser (minimums- vannføring pr. måned er bare en av mange), funksjoner og arter.
- BBM bygges opp månedsbasert, og tar høyde for klimatiske forskjeller mellom år.
- BBM kommer fram til en omforent MBV i et flerfaglig ekspertpanel.

Styrke og svakheter

Flere andre holistiske metoder er i bruk i Australia. Disse baseres på sammenstilling av ekspertvurderinger i arbeidsgrupper uten rene kvantitative betraktninger. Hovedstyrken til holistiske metoder er at de tilstreber å inkludere alle komponentene av et elveøkosystem, og de betrakter metodene til som pragmatiske, fleksible, robuste og etterprøvbare (King et al., 1999). På linje med de fleste nasjonalt utviklede MBV-metodene har heller ikke de holistiske metodene vært gjenstand for tilstrekkelig verifisering. Vi kjenner heller ikke til studier som sammenligner MBV-anbefalingene fra holistiske metoder med utfallet fra andre metoder. Forutsetningen ved holistiske metoder at MBV-anbefalingen skal komme som et omforent forslag etter konsensusprinsippet er interessant og relevant for norsk vassdragsforvaltning. Dette

medfører at et tverrfaglig ekspertpanel må være samlet til rundt-bordet-diskusjoner, gjerne over flere dager (J. King pers. med.). Konsensus og en samlet uttalelse fra fagpersoner er også kjent fra andre fagmiljøer som bl.a. medisin, der komplekse faglige vurderinger settes ut til et fagpanel som må komme til enighet. I Norge er ekspertvurderinger en utbredt metode for å finne en akseptabel minstevannføring, basert på varierende grad av kvalifisert gjetting, og i liten grad en standardisert framgangsmåte. Diskusjonsbaserte prosesser har vært forsøkt, men nå dominerer ekspertvurderinger i rapportform, der ofte forvaltningen selv til slutt er de som må gjøre en skjønnsmessig gjetting av en ”passelig” miljøbasert vannføring. Datagrunnlaget og de forskjellige ekspertuttalelsene som inngår i BBM samles i en database (Brown & King, 2000). Det gjør det hele etterprøvbart, slik at beslutningstakerne også kan få opp et nytt MBV-scenario dersom politikerne ønsker å vektlegge miljømål annerledes. I utgangspunktet er holistiske metoder forholdsvis kostbare da mange ulike fageksperter må samles over lengre tid.

9. Hybride modellrammeverk

Det er flere eksisterende modellrammeverk som omfatter modeller og framgangsmåter for å kvantifisere miljøvirkninger på tvers av de foregående grupperte temaene.

RiverSmart (Egger et al., 2005) er et slikt modellrammeverk, som er tilpasset å gi svar på et spekter av miljøvirkningene på et noe overordnet nivå. Hovedformålet er å finne den relative innvirkningen av ulike avbøtende tiltak, som biotopjusteringer, habitatforbedringer eller endringer av vannføringsregime. RiverSmart egner seg godt for å optimalisere vassdragsvise forvaltningsplaner, der også kraftversøkonomi kvantifiseres. RiverSmart retter seg derfor også inn mot implementeringen av EUs vanddirektiv. Dette planleggingsverktøyet er fleksibelt og benytter et spekter av data til kalibrering og tilpasning, så vel biologiske overvåkingsdata som hydrauliske datasett (Egger et al., 2005).

River System Simulator (RSS -Vassdragssimulatoren) er en norsk samlet programpakke, basert på en serie med numeriske simuleringsmodeller. Den var laget for å analysere og gi svar på virkninger av ulike vannføringsscenarier på økonomiske, fysiske, kjemiske, biologiske og rekreasjonsmessigen forhold. Vassdragssimulatoren inneholder modeller for hydrologi, kraftproduksjon, vannkjemi i innsjøer og rennende vann, erosjon, sedimenttransport, vann-temperatur, isforhold, grunnvannsforhold, fiskehabitat, fiskevekst i innsjøer og rennende vann, bading, padling og annen rekreasjon. En av de mest

omfattende anvendelsene av flere delmodeller i Vassdragssimulatoren er i Måna (Harby, 2000). Modellene for hydrauliske forhold, fiskehabitat og fiskevekst i Vassdragssimulatoren (Harby et al., 1994), er imidlertid de som er mest anvendt og det fulle potensialet er så langt i liten grad blitt benyttet i stor skala.

På slutten av 1970-tallet og starten av 1980-tallet vokste modellkonseptet "Instream Flow Incremental Methodology" (IFIM) fram (Bovee, 1986; Stalnaker et al., 1995; Bovee et al., 1998). IFIM er allerede nevnt under kapitlet om habitatmodeller, og er tidligere oversatt til "Metoden for skrittvis fastsettelse av minstevannføring". IFIM-vurderinger var allerede fram til 1980-tallet benyttet i mer enn 1000 vassdragssaker i USA (Ziegler, 1986). Dette er et tverrfaglig modellrammeverk og en beslutningsprosess som er langt mer enn bare habitatmodellen PHABSIM. Det finnes grundig dokumentasjon av teoriene bak IFIM og anvendelse av de ulike delmodellene. Mange av modellene kan lastes gratis ned fra Internett¹³. US Geological Survey tilbyr kursing i bruk av IFIM og sammenstiller anvendelsen av modellrammeverket. Rammeverket i modifiserte versjoner og mange av delmodellene i IFIM er fortsatt i utstrakt bruk, spesielt i USA.

IFIM inkluderer bruk av hydrologiske data og modeller for å studere variasjon i vannføring, metodikk for å velge ut representative stasjoner eller tverrprofiler, hydrauliske modeller for å studere variasjon i hydrofysiske forhold som vannhastighet, vanddyp, substratforhold og skjul på de utvalgte stasjoner, studier av sedimenttransport og erosjon og metodikk for å utarbeide preferanser for fisk og andre organismer. Alt dette kobles gjennom ulike modellverktøy og metoder for analyser .

Det er et planleggingsverktøy som et redskap for problemløsning mer enn et reint KU-verktøy. De som har utviklet IFIM- konseptet presiserer at IFIM er en prosess, bestående av mange faser og delmodeller (Stalnaker et al., 1995). Pakken egner seg til å kvantifisere miljøvirkninger av endret vannføring både på mikro- og makroskala i et vassdrag. Dette er en av de mest bredspektrede modellrammeverktoyene som er i utstrakt bruk innen MBV (Dunbar et al., 1998), som også ble funnet velegnet for Norge av Ziegler (1986), men i hovedsak for å ivareta utvalgte nøkkelarter eller funksjoner mer enn å sikre biodiversitet slik holistiske metoder er laget for (Bovee et al., 1998).

¹³ <http://www.fort.usgs.gov/products/software/ifim/ifim.asp>

Styrke og svakheter

Hybride modellrammeverk er på linje med holistiske metoder omfattende og kan lett bli veldig ressurskrevende, særlig dersom det legges opp til å gjennomføre modellering av funksjonelle sammenhenger mellom fysiske forhold og en rekke arter og/eller sentrale prosesser i et vassdrag. IFIM er imidlertid en prosess, der det er laget en systematisk framgangsmåte over en rekke sentrale aspekter som skal sjekkes ut. Således kan IFIM bli veldig omfattende om miljøvirkningene antas store. IFIM kan imidlertid være et verktøy for å avgrense fokus i en KU og behovet for MBV på et tidlig stadium. I en prosess for å finne miljøoptimale løsninger ved en vassdragsak vil hybride modellrammeverk være velegnet, og gjerne der det potensielt er store miljøkonflikter.

10. Bruk av MBV-metoder og forvaltningspraksis i et utvalg land

Dette kapitlet er hovedsakelig basert på innkomne svar på vår rundspørring ut fra spørsmålene gjengitt i vedlegg og andre internasjonale gjennomganger (Dunbar et al., 1998; King et al., 1999; Tharme, 2003). Sistnevnte arbeid har også resultert i en web-basert database¹⁴ over alle MBV-metoder og anvendelser av disse som de har samlet informasjon om, rik på referanser.

I den direkte spørreundersøkelse fikk vi direkte svar fra minst en MBV-ekspert i fra Australia, Canada, Frankrike, Japan, Nederland, New Zealand, Portugal, Storbritannia, Spania, Sverige, Sør-Afrika, USA, Venezuela og Østerrike. Kontaktpersonene er listet i vedlegget. Flere nyttige rapporter med litteraturgjennomgang av MBV-metoder fikk vi også tilsendt. I det følgende forsøker vi å oppsummere relevante metoder og standarder internasjonalt. Vi har så gjort våre egne vurderinger for metodenes egnethet for bruk i Norge, og hva som eventuelt må til for å ta dem i bruk.

Vi sendte ut en spørreundersøkelse til en del av vårt internasjonale kontaktnett. Det var forholdsvis kort svarfrist og vi purret opp svar bare en gang. Vi sendte ut informasjon om prosjektet og litt om bakgrunn for våre spørsmål. Fullstendig spørreskjema med bakgrunn finnes i vedlegg 1. En oppsummering av svarene følger her.

¹⁴ <http://www.lk.iwmi.org/ehdb/EFM/efm.asp>

Australia

Det har pågått en omfattende FoU for å utvikle gode metoder for å angi miljøbasert vannføring i Australia. Flere omfattende holistiske metoder er tilgjengelig og i bruk for australske vassdrag. Artsmangfoldet vektlegges ofte mer enn enkelt arter i Australia, noe som gjør at klassisk habitatmodellering i liten grad er benyttet her (Stewardson & Gippel, 2005). Forskningsmiljøer har samarbeidet nært med sør-afrikanske miljø om å utvikle holistiske metoder, som benyttes for å komme med kvalifiserte MBV-anbefalinger i flere store vassdragsaker. Hver australsk stat har egen lovgiving, og i de fleste stater brukes en holistisk tilnærming. Selv om en rekke MBV-metoder er benyttet og tilgjengelige, så er det ingen spesiell metode som har fått allmenn anerkjennelse for bruk i Australia (M. Stewardsson pers. med).

Canada

Lovgivningen (fiskeloven) i Canada krever "environmental flows", men ingen metoder er lovpålagt. Metodevalg varierer mellom statene, og er opp til det lokale forvaltningsorganet å avgjøre. I de østlige maritime statene ("Maritimes") er enkelte hydrologiske metoder lovpålagt, og i Alberta er bl.a. presentering av varighetskurver for vannføring og habitatforhold lovpålagt (Associates, 2005).

Det er etablert en "no-net-loss"-prinsipp for forvaltning av fiskehabitat i Canada forbundet med vassdragsregulering. Praksis for å komme fram til vannføringsregimer for å ivareta dette prinsippet om å opprettholde fiskeproduksjonen har vært å tilpasse effektive metoder som er rettferdige og kan forsvares vitenskapelig med adaptiv forvaltning. Klassisk habitatmodellering har vært mye brukt til dette (Scruton & Katopopdis, 2005).

Historisk har enkle hydrologiske metoder blitt benyttet for fastsetting av minstevannføringskrav, der 25 % prosent av årsmiddel er den mest benyttet for minstevannføring i Atlantisk Canada (Caissie & El-Jabi, 1995). Det har i 2004/2005 pågått flere parallelle utredninger for å komme fram til standardiserte metoder og kriterier for vannuttak fra kanadiske elver (Associates, 2005; Scruton & Katopopdis, 2005; Skinner & Curry, 2005). Valg av metoder og fastsetting av minstevannføringer i stor grad er opp til hver enkelt provins (Scruton & Katopopdis, 2005). Videre framheves det at store miljøforbedringer kan oppnås om de i større grad klarer å opprettholde variable vannføringsregimer framfor stabile minstevannføringer. Flere lovende metoder blir anbefalt, og de anbefaler gode etterundersøkelser koblet til adaptiv forvaltning av elvene. Bedre biologisk modellering, integrering av mange aspekter av elveøkosystemet, forbedring i oppløsningen av de hydrauliske modellene, og

forbedrete metoder for store elver og vinterforhold trekkes fram som områder som trenger FoU innen MBV for kanadiske forhold. Dette er sammenlignbart med Norge.

Frankrike

Lovgivingen i Frankrike fra 1992 definerer et krav til minstevannføring tilsvarende 10 prosent av årlig døgnmiddelvannføring. Det snakkes mye om å etablere miljøbasert vannføring, men praksis så langt er at kun minstevannføringer etableres. Bruk av den franske habitatmodellen EVHA har blitt en standard metode i praksis, men den er ikke lovpålagt. Utviklerne av EVHA (Cemagref) tilbyr kursing av de som benytter metoden. Habitatmodellering er fortsatt den eneste anerkjente metoden i Frankrike for å predikere miljøvirkninger ved endret vannføring. De har utviklet generelle fiskepreferanser for et utvalg arter basert på elektrofisking (Lamouroux & Jowett, 2005). Foreløpig er ikke Estimhab i utstrakt bruk, men siden den er langt mindre ressurskrevende enn en komplett habitatmodellering og like fullt har vist seg å gi "godt nok svar", vil den trolig bli mye benyttet, og er særlig egnet i mindre vassdragssaker (H. Capra pers. med).

Japan

I Japan er det to lover med som regulerer minstevannføringspåleggene. Dette er "Obligated Conservation Flow Release (OCFR)" som målt ved vannkraftdammer gir en vannføring på 0,01-0,03 l/s km². "Normality Preservation Flow (NPF)" er vanligvis 10 x OCFR. Habitatmodellering basert på klassisk PHABSIM benyttes også en del.

Nederland

I Nederland har metoder for evaluering av habitat blitt allment akseptert for å gjøre økologiske konsekvensundersøkelser av elver og innsjøer. En økosystemmodell- tilnærming er etablert der konsekvenser av habitatforbedrende tiltak blir kvantifisert for både akvatiske organismer, våtmark og tilgrensende områder (flomsletter, kantvegetasjon etc.). De kan derfor evaluere habitatforbedringer både mht. ulike vannføringsstrategier og fysiske utbedringer i vassdragene sine for en rekke arter og samfunn. Troverdigheten til modelleringene dokumenteres gjennom usikkerhetsanalyser (Duel et al., 2003). Flere av modelleringsteknikkene som benyttes rutinemessig i Nederland er relativt omfattende og kvantifiserer virkninger på mange deler av økosystemet, som også viser utfallet av ulike beslutningsalternativer tydelig (Dunbar et al., 1998).

New Zealand

New Zealand har en generell lovtekst som omhandler minstevannføring der hver region bestemmer selv ut fra en blanding av politiske, hydrologiske, habitatmessige metoder og ekspertvurderinger (I. Jowett pers. med). En bredt sammensatt ekspertgruppe har laget en manual som gir retningslinjer for hvordan man kan komme fram til miljøbasert vannføring. Denne manualen er funnet velegnet for å finne MBV-anbefalinger også for britiske forhold (Snelder et al, 1996 referert i (Dunbar et al., 1998)).

Hovedsakelig benyttes mikrohabitatmodellen RYEHABSIM, utviklet i New Zealand. RYEHABSIM er en variant av PHABSIM, men med færre valgmuligheter. Den utstrakte bruken av habitat- hydrauliske metoder i New Zealand har vist at små elver trenger en større andel av middelvannføringen for å oppnå optimale habitatforhold enn store elver (Jowett, 1997). De har også tilpasset generaliserte habitatmodeller for en rekke fiskearter (Lamouroux & Jowett, 2005). I denne studien av nærmere 100 vassdrag av ulike størrelse fant de en tommelfingerregel som tilsier at optimal habitatkvalitet for en rekke ferskvannarter oppnås ved $Q = 0,3 \times W$ (Q er vannføring i m³/s, W er middelbredden av elva i meter).

Det er også utført flere banebrytende regionale økohydrologiske undersøkelser av sammenhenger mellom bunndyrsamfunn og hydrologiske regimer på New Zealand (Clausen & Biggs, 1997). Studien viste at flomfrekvens (3 ganger medianvannføringen), var den mest betydningsfulle hydrologiske parameteren for bunndyrsamfunnene. Beregning av den vannføringen som skal til for å oppnå substratforflytning i et utvalg New Zealandske elver er også sentrale modellvinklinger for bedre å kunne tilpasse MBV (Clausen & Plew, 2004).

Portugal

Metoden som er sedvane i "National Water Plan" er basert på ekspertuttalelser og koblet til noen utvalgte hydrologiske parametere. De har etablert en praksis i alle større utbyggingssaker (dvs. vannkraftmagasin større enn 100 000 m³), at MBV skal tilpasses fastsatte miljømål for utvalgte arter nedstrøms. MBV skal justeres etter miljøoppnåelse målt på overvåkingsstasjoner. I mindre saker er det praktiseres minimumsverdier for vannføring pr. kalendermåned som persentiler av månedsmiddel. Slike tabeller er laget for hver region (M. H. Alves pers. med.)

Spania

Spania er et tørt land med forholdsvis mange og kraftig gjennomregulerte vassdrag med over 1200 dammer. I 1999 ble vannloven modifisert slik at en økologisk minimumsvannføring ble etablert, for å tillate ethvert vannuttak. Størrelsen på minimumsvannføringen er imidlertid ikke definert med hensyn til mengde eller varighet. I praksis er det bare etablert et krav om minimums-vannføring, og ikke et krav om økologisk vannføringsregime (Garcia de Jalón, 2003).

Følgende tre metoder har blitt benyttet mest i Spania (omtalt i tidligere kapitler):

1. Basisvannføring
2. Basque-metoden
3. Tradisjonell habitatmodellering iht PHABSIM.

I vassdrag med stor stedegen fiskestamme er fisk valgt som indikatororganisme for habitatmodellering, siden den er på topp av den trofiske pyramidene. Habitatpreferanser for ulike livsstadier av bl.a. ørret, laks og karpe er samlet inn. I temporære elver (tørrelagges tider av året) uten fisk er makroinvertebrater benyttet som indikatororganisme. De har etablert klare regler og praksis for tolkning av resultatene fra habitatmodellering, og bl.a. definert vannføringsstørrelser med økologisk betydning som basisvannføring (minimumsvannføring for å opprettholde populasjonene) og optimal vannføring (vannføring som sikrer det maksimale potensielle området med gunstig habitat) (Garcia de Jalón, 2003).

Storbritannia

Habitatmodellen PHABSIM er i utstrakt bruk ift. fisk, ofte med generelle preferanser (ikke stamme spesifikke). Ekspertmetoden både med og uten felldata er ofte brukt, og dette har trolig vært den mest sentrale metoden. Environment Agency for Storbritannia har jobbet med å utvikle standarder for valg av metoder og har kommet fram til optimale "River Flow Objectives". Et spekter av metoder fra rene ekspertvurderinger til mer omfattende hybridmetoder benyttes (Dunbar et al., 1998). De har gjort mange gode utredninger og avklaringer av egnede metoder for å fastsette MBV i Storbritannia, og de kan anses for å være kommet langt innen dette tema. I teorien skal habitatmodeller benyttes i vassdragsaker der rødlistearter kan bli berørt, men det har ofte vært vanskelig å etablere preferansekurver for sjeldne arter (M. Dunbar pers. med.).

Sør-Afrika

Sør-Afrika er et land med vannknapphet. I forhold til Norge er også lovverket for forvaltning av vannressursene strengere, og det kreves omfattende dokumentasjon omkring konsekvensvurderinger før vannuttak tillates. Det er i liten grad fokus på enkeltarter, mens snarere på hele økosystemer så langt det lar seg gjøre.

Forvaltningen i Sør-Afrika krever nå at holistiske metoder benyttes, selv om disse normalt er ressurskrevende og involverer mange eksperter. Metodene må være publisert i internasjonale tidsskrift med ”referee” for å bli godkjent i vassdragsaker. Det er mange eksempler på at MBV-rådene fra disse holistiske metodene blir fulgt opp av beslutningstakere for fastsetting av MBV-regimet (King pers. med). Dette har også gjort at Sør-Afrika er langt framme innen FoU på MBV, og arrangerte også den internasjonale ”Environmental Flows”-konferansen i Cape Town i 2002. Flere forskere fra Sør-Afrika er mye benyttet som MBV-eksperter for Verdensbanken (King et al., 1999).

Tyskland

Historisk har enkle hydrologiske indekser eller rene ekspertvurderinger uten feltdata blitt benyttet til fastsetting av minstevannføring i Tyskland. Etter hvert er det satset mer på utviklingen av mer metoder som inkluderer økologiske forhold. Habitatmodellen CASIMIR kan modellere habitatkvaliteten til både bunnlevende organsimer (Jorde & Bratrich, 1998), fisk og forhold i kantsonen kan også modelleres (Eastman, 2001). CASIMIR har fått økende anerkjennelse i den senere tid (Dunbar et al., 1998). Likevel er det et fåtalls vassdragsaker at habitatmodellering har dannet grunnlaget for minstevannføringsanbefalinger. CASIMIR har en dynamisk og noe spesiell måte å lage de biologiske preferansekurvene som benytter kombinasjonen av fuzzy logiske datasett og fuzzy logiske regler (det vil i denne sammenhengen si omsetting av skjønnsmessige vurderinger av biologiske preferanser til mer eksakte fysiske størrelser på en etterprøvable måte). Det pågår en kontinuerlig videreutvikling av CASIMIR (Jorde, 1996a), både mht. dynamisk modellering av sedimentforhold og betydningen av substratsforhold (Eastman, 2001), og for oppskalering av resultater fra habitatmodellering (Eisner et al., 2005).

USA

USA har lenge vært langt framme i å utvikle modellverktøy, rammeverk og standarder for konsekvensvurderinger for hvor mye vann en elv trenger, og fastsetting av minstevannføring. En rekke lover har tvunget fram metoder, og vannressursforvaltningen i USA har måttet ta valg mht. hvilke metoder som

bør benyttes (Dunbar et al., 1998). Allikevel sås det tvil om hvor godt alle "Instream Flow"-programmene virker (Lamb, 1995). Hensynet til å ivareta truede dyre- og plantearter gjennom "Endangered Species Act", og med stor grad av sikkerhet vite virkningene på rødlistearter av vannuttak, blir trukket fram som de viktigste årsakene til den omfattende bruk av habitatmodellering i USA (R. C. Addley pers. med.).

IFIM-metoden var banebrytende da den ble utviklet tidlig på 1980-tallet, og mest brukt er mikrohabitatmodellen PHABSIM (Stalnaker et al., 1995). Deler av IFIM med fokus på PHABSIM er i praksis blitt standard metoder i vassdragssaker i mange amerikanske stater, og foretrukket metode alle steder der truede arter er berørt. Flere institusjoner har vært sentrale for videreutvikling av omfattende habitatmodellverktøy, og tilpasning av effektive feltinstrumentering til å dekke større deler av vassdragene (Hardy, 1998). Eksempelvis er det laget habitatmodeller som er dynamiske og har innarbeidet funksjoner for interaksjoner mellom arter (for eksempel predasjon) som er i bruk (Hardy & Addley, 2003). Tennant-metoden (1976) har blitt rutinemessig benyttet i mindre og lite konfliktfylte vassdragssaker i 16 amerikanske stater. Liknende metoder som bygger på intens felddatainnsamling for kalibrering og bl.a. standardisert metoder for fotodokumentasjon av et vassdrag, er benyttet i enkelte av statene.

Østerrike

En paragraf i "vannloven" definerer et krav om at det skal etableres minstevannføring forbundet med regulering av elver i Østerrike. Det er ikke angitt noen føringer eller praksis om hvilke metoder som skal benyttes (H. Mader pers. kom.). Metodevalg avhenger av kunnskapsnivået til oppdragsgiver og/eller forvalteren i den aktuelle regionen av Østerrike der vassdragsreguleringen skal skje. Dvs. at metodebruk varierer fra enkle ekspertvurderinger til mer omfattende modellrammeverk som River Smart (Egger et al., 2005).

Samlede anbefalinger fra FoU-eksperter innen MBV internasjonalt

- Bruk holistiske metoder selv om det tar tid og krever stor bemanning (eksperter og andre). I enkle vassdragssaker trengs lite ressurser, mens i komplekse systemer er det nettopp helhetstenkninger som er nødvendig.
- Bruk habitatmodellering hvis man er ute etter å studere en art med spesiell fokus (rødlistearter, økonomisk interessant art).
- Hvert vassdrag er unikt med egne behov og metoder.

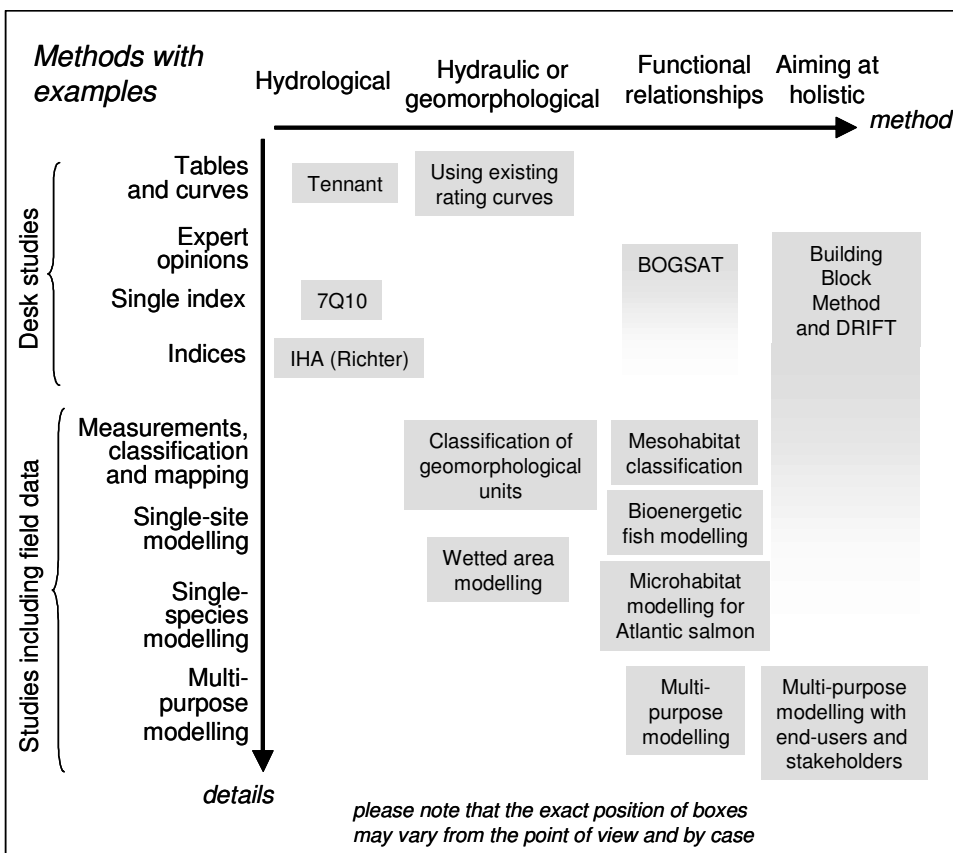
- Krystallklare retningslinjer for hvordan undersøkelser skal gjennomføres er viktig.
- Hydrologi, geomorfologi, biologi, vannkvalitet og kontinuitet er de viktigste forhold i elver – tverrfaglighet bør inkluderes i alle studier.
- Hva folk vil ha svar på, hva vitenskapen sier vi kan svare på og hva lovverk og politikk tillater eller pålegger er ikke alltid sammenfallende.
- En sammenligning med referansevassdrag er ønskelig og kan i mange tilfeller være en passende metode.
- Det er viktig med dynamiske tilnærminger – vassdrag og akvatiske økosystemer er aldri statiske! En dynamisk tilnærming er nødvendig der før- og etter-situasjonen undersøkes. Dersom prediksjoner av hvordan inngrep og forvaltning skulle virke inn ikke stemmer, bør forvaltningen justere MBV.
- Oversvømmelse av flomslettene er i mange tilfeller viktigere enn hva som skjer i hovedløpet i enkelte land.
- Elver med is og vassdrag med effektkjøring bør studeres spesielt!
- Mange land gjennomfører litteraturstudier om MBV-metoder. Beslutningstakere ønsker seg et utvalg med foretrukne metoder som bør bli en standard. Det er ikke mulig å trekke fram en metode som er best for alle forhold, men derimot å enes om den mest anvendbare MBV-metode til en spesiell vassdragssak mener mange er mulig.

11. Diskusjon

Valg av MBV-metoder og miljøoppnåelse

Tidligere litteraturgjennomganger av MBV (miljøbaserte vannføring)-metoder kategoriserer dem delvis på hver sin måte. Det er også vanskelig å legge de ulike metodene i hver sin bås, og en slik kategorisering vil alltid bli litt subjektiv. Tharme et al. (2003) bruker seks ulike kategorier, mens Acreman and Dunbar (2004) bruker fire. Dette har vært utgangspunkt for disse kategoriseringene i figur 2 som illustrasjon på de prinsipielle forskjellene mellom de ulike grupperte metodene. Vi har valgt å lage to akser som beskriver type metode, omfanget av databehov og eventuelle simuleringer som trengs.

Vi har i de foregående kapitlene omtalt et utvalg av de internasjonalt mest anvendte og for norske forhold mest aktuelle MBV-metodene. Tharme (2003) har identifisert mer enn 200 separate MBV-metoder. Acreman & Dunbar (2004) framhever at det ikke er enkelt å trekke fram den beste eller mest egnede metoden, da dette er avhengig av hovedhensikten med og omfanget av MBV-vurderingen. Det er vanskelig å sette opp generelle allmenngyldige regler for gode og dårlige metoder for å vurdere behov og virkning av MBV i



Figur 2. Skisse for kategorisering av metoder som grunnlag for MBV vurderinger med eksempler, benyttet i utsendt spørreundersøkelse. BOGSAT er forkortelsen for "Bunch of Guys Sitting Around a Table", dvs. vurderinger som ikke er basert på en etterprøvable metode.

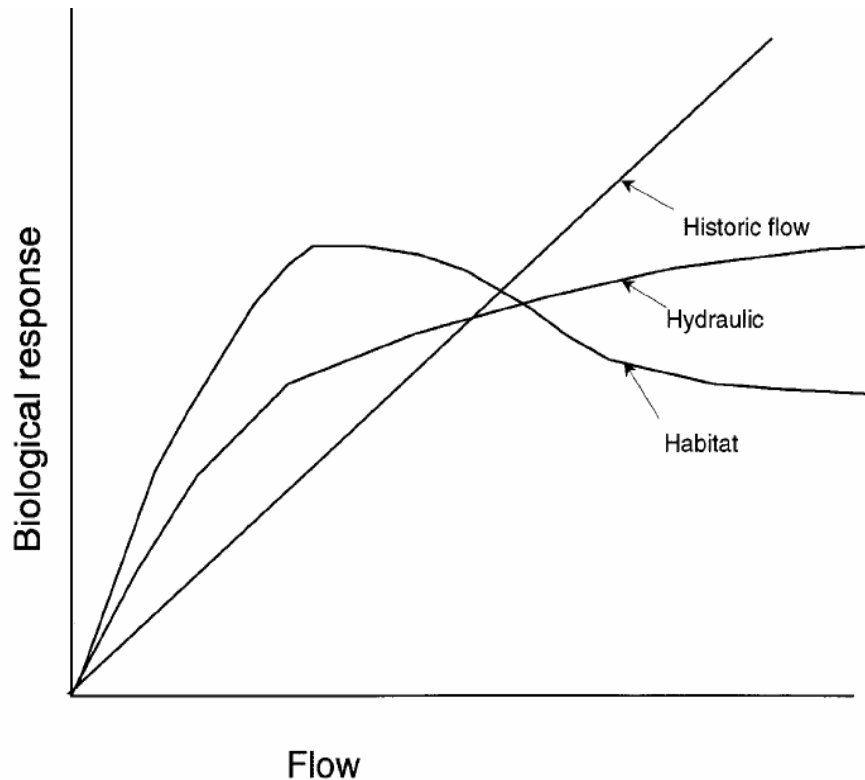
vassdragssaker. Rett valg av metode er avhengig av tilgjengelige ressurser, data og hvilke miljøverdier som prioriteres høyest. Hver metode og påfølgende MBV-anbefaling må uansett settes inn i en beslutningsrelevant sammenheng (Acreman & Dunbar, 2004). Antatt vannføringskrav for å ivareta en miljøkvalitet (f. eks. fisk, estetikk, biologisk mangfold) må veies opp mot samfunnsnyttene av et vannuttak. Følgende sentrale kriterier for valg av vellykkede MBV-metoder kan imidlertid trekkes fram (Ziegler, 1985, 1986; Dunbar et al., 1998):

- være etterprøvbare
- være anerkjent og publisert (kunne referere til lignende anvendelse)
- være omforente og ha klare miljømål
- være gjennomiktig og lett å forstå (ikke for mye "black-box")
- kunne sannsynliggjøre sammenhenger mellom vannmengde og miljøvirkning på en god måte
- ha klare forutsetninger og begrensninger
- ha klare retningslinjer og helst bruke et sett av metoder
- involvere mange brukerinteresser i MBV-prosessen.

Det er få eksempler og vanskelig å spore grad av suksess mht. ivaretagelse av miljømål for hver enkelt elv med en gjennomført MBV-undersøkelse (King et al., 1999). Det er temmelig universelt at beslutningsprosessen som følger etter en MBV-undersøkelse med et anbefalt vannføringsregime er mangelfullt dokumentert. I de tilfeller der anbefalingene er fulgt er det få gode undersøkelser som dokumenterer grad av miljømålsoppnåelse, noe som etterspørres av flere (Lamb, 1995; King et al., 1999).

Jowett (1997) har i sin sammenligning av hovedgruppene hydrologiske metoder, hydrauliske metoder og habitatmodellering innen MBV illustrert hvordan metodene i prinsippene gir relativt forskjellige anbefalinger (figur 3). Ulike metoder gir ulikt svar, og det bør også poengteres at selv resultatene av en habitatmodellering må tolkes, selv om denne metoden som oftest gir en optimumsvannføring utifra kurven. Dette er det viktig å være klar over, og det er derfor kanskje heller ikke så overraskende at ulike fagmiljøer kan gi sprikende anbefalinger. I Suldalslågen har ivaretagelsen av laksestammen vært hovedmålet. Statkraft (2005)¹⁵ trekker fram nettopp det faktum at anbefalingene har vært divergerende. Vi tror større grad av rundebordsdiskusjoner for å komme til konsensus rundt MBV-anbefalingene, slik de gjør i Sør-Afrika, hadde vært formålstjenelig.

¹⁵ http://www.statkraft.no/Images/S%C3%B8knadsrapport_tcm3-1050.pdf



Figur 3. Sammenheng mellom vannføring og biologisk respons for en hypotetisk elv, basert på tre ulike metoder for MBV (Jowett, 1997).

Den perfekte universelle MBV-metoden er nok ikke oppfunnet ennå, men MBV-metoder er i rivende utvikling. Økohydrologi, som er koblingen av ferskvannsøkologisk respons fra hydrologiske endringer, er en relativt ung vitenskap med få entydige sannheter. Likefullt har eksisterende metoder og modellrammeverk demonstrert potensialet for å predikere forbedringer og opprettholdelse av økosystemene i regulerte vassdrag på en tilfredsstillende måte ifølge Acreman (2001). Usikkerheter i de prediktive egenskapene til metodene gjør at det er et betydelig FoU-behov innen økohydrologisk forskning. En av de få studiene der et stort sett av hydrologiske parametere er knyttet til biologiske overvåkingsdata for norske forhold er gjort som en del av VAKLE prosjektet (Tøfte et al., 2004).

Jowett (1997) anser at hydrologiske eller rene hydrauliske MBV-metoder passer best i vassdragssaker der det er dårlig kjennskap til elveøkosystemet eller der vassdraget i stor grad skal holdes intakt. Habitatmetoder er velegnet der det er fokusert på få nøkkelarter eller tydelige forvaltningsmål. Han trekker også fram at det er usannsynlig at vi med stor grad av sikkerhet utifra dagens kunnskapsnivå innen økohydrologi kan prediktere miljøvirkninger på populasjonsnivå ved regulering.

Standardisering av metoder

Mange land søker etter å standardisere MBV-metodene og komme fram til de mest optimale MBV-metodene for å ivareta miljømål i sine regulerte vassdrag (Jowett & Hayes, 2004; Associates, 2005; Stewardson & Gippel, 2005). Dette innebærer gjerne at metodene skal være generelle, gi lettforståelige svar og være kostnadseffektive. I Frankrike kreves det i praksis at habitatmodellering benyttes før vannuttak, mens i USA er bruk av habitatmodeller nedfelt i lov for å unngå tap av rødlistede arter som er avhengig av rennende vann. På New Zealand benyttes en tverrfaglig utarbeidet manual som gir retningslinjer for hvilke metoder som skal benyttes for å komme fram til miljøbasert vannføring, men også her er habitatmodellering sentralt i mange vassdragssaker (Jowett & Hayes, 2004). Mange land pålegger minstevannføringer i sine nyere vassdragsreguleringer, men få praktiserer miljøbasert vannføring. Sør-Afrika og flere stater i Australia er blant de få som i praksis håndhever miljøbasert vannføring i flere større regulerte vassdrag. Resultatet fra bruken av holistiske metoder har i flere større vassdragssaker vært lagt til grunn for å designe MBV-er. Vassdragsnaturen er imidlertid lite sammenlignbar med norske forhold i mange av disse sakene. Vi tror like fullt at det er erfaringer å hente herfra i vassdrag der det f.eks. er relativt komplekse systemer eller der det biologiske mangfoldet skal sikres.

Habitatmodeller – utbredt men kritisert

Habitatmodellering har hatt en stor utbredelse internasjonalt til å finne kritiske vannføringer for ulike livsstadier av spesielt fisk, men også andre vannlevende arter. I MBV-studier der det er et fåtall nøkkelarter har habitatmodellering vært og er fremdeles den dominerende metoden, og i flere land er dette standard (Dunbar et al., 1998; King et al., 1999; Tharme, 2003). Dette er på tross av at anvendelsen av habitatmodellering har vært gjenstand for omfattende kritikk (Gore & Nestler, 1988). Kritikken og påpeking av svakheter går i stor grad på alt metoden ikke gjør. Det har kommet forslag til forbedringer (se bl.a. (Heggenes, 1996). PHABSIM har også blitt videreutviklet i ulike retninger i flere modellverktøy. Det har imidlertid i vår gjennomgang og rundspørring i dette prosjektet ikke kommet fram åpenbart bedre MBV-metoder enn habitatmodellering når det skal predikeres kritiske vannføringsgrenser for nøkkelarter. Habitatmodeller ble også nylig trukket fram som en nyttig metode for norske forhold for å finne vannføringsanbefalinger for laksefisk (Fiske & Jensen, 2004). Ideelt sett skal disse preferansekurvene utvikles for den lokale bestanden, og preferansene er funnet å variere mellom bestander og årstider (Harby et al., 1999). Dette skyldes trolig lokale tilpasninger (Fiske & Jensen, 2004). Dynamikken i elvesystemene må også innarbeides mer i habitatmodellene for å gi bedre prediksjoner

(Heggenes, 1996). Preferansene varierer med bl.a. vanntemperatur, lys og vannføring, som han fremhever at må innarbeides i modellene. Forbedringer og videreutvikling av så vel hydrauliske som habitatmessige modeller muliggjør dette sammen med effektive feltinnsamlingsmetoder (Hardy, 1998). PIT merking av fisk (Roussel et al., 2000; Roussel et al., 2004) er en annen lovende teknologi som kan gi svar på dynamikken i habitatbruk til ungfisk gjennom sesonger, inkludert under is, som er der kunnskapen er dårligst.

Fullskala habitatmodellering med etablering av stedegne preferansekurver er like fullt relativt kostnadskrevede. I vassdragssaker der kostnadene ikke tillater dette mener vi at de franske forenklete habitatmodellene Stathab og Estimhab er velegnet for vassdrag som kan sammenlignes med norske forhold (Lamouroux & Jowett, 2005), men trenger da kalibrering. Man må da være klar over at disse modellene trolig gir prediksjoner med lavere utsagnskraft, men trolig likevel gode holdepunkter for å definere kritiske vannføringsnivå ift. fisk.

Opprettholde hydrologisk variasjon

Vi mener at i utgangspunktet bør den hydrologiske variasjonen før og etter en regulering presenteres på en enhetlig måte i form av sammenfattet statistikk i alle vassdragssaker. Dette kan gjøres som rene skrivebordsstudier, og standardiserte metoder er tilgjengelige. Indikatorer for hydrologisk variasjon (IHV) (Richter et al., 1998) er velegnet til dette, men helst i utvidet versjon tilpasset norske forhold (Tøfte et al., 2004). Forvaltningen vil da få et godt utgangspunkt for å definere miljøbaserte vannføringsregimer og få kvantifisert sesongmessige hydrologiske parametere, og variasjoner mellom år, som er viktig for å sikre sentrale deler av det hydrologiske regimet for å ivareta det stedegne elveøkosystemet. Anvendelsen av IHV parametere i Norge gjør det mulig å sammenligne med praksis i andre land, og på sikt i større grad sammenfatte biologisk respons på endringer av ulike hydrologiske variable fra etterundersøkelser. Dette kan også danne grunnlag for en regionalt tilpasset oppslagstabell lik den Tennant (1976) utviklet.

MBV i vassdrag med antatt store miljøvirkninger

I vassdragssaker med antatt store miljøvirkninger, som gjerne er komplekse med fokus på det biologiske mangfoldet, anbefaler vi norsk vassdragsforvaltning å prøve ut holistiske metoder utviklet på den sørlig halvkule for å etablere en MBV. Ulike vannføringsscenarier legges inn i systemet, slik at alle sentrale miljøaspekter (inkludert kantvegetasjon og elvebanker) får en kvantifisert miljøvirkning. De har laget systemer for å rangere usikkerhet i estimatene, og alle vurderinger forutsetter tverrfaglige ekspertpanel. En full-

skala diskusjonsbasert holistisk metode kan være kostnadskrevene, men i flere vassdragsaker er også forenklede versjoner i bruk (J. King pers. med.)

Behov for justeringer av norsk forvaltningspraksis?

Vi mener bestemt at det er behov for å justere norsk forvaltningspraksis av vassdrag som er eller søkes utbygd. Pr. i dag benytter vi i Norge i liten grad "best praksis" av tilgjengelige MBV-metoder som finnes internasjonalt i KUEr. Det er utøvende myndighet (NVE) som bør være premissleverandør, og sikre at viktige samfunnsbeslutninger ikke tas på sviktende eller mangelfullt grunnlag. MBV er unntaksvis blitt foreslått i norske vassdragsaker. Det er sjelden mer enn minstevannføringer det fokuseres på. Vi ser et stort potensial med MBV til å oppnå bærekraftig utnyttelse av våre regulerte vassdrag.

Adaptiv forvaltning

Betydelige habitatforbedringer i regulerte elver er mulig med omdisponering av vannmengden og ved å tillate en mer naturlig sesongvariasjon i vannføring og vanntemperatur. Stanford et al. (1996) kaller dette restaurering til "normative" habitatforhold, der standarden som kan oppnås er sett i forhold til reguleringen. Stanford et al. (1996) tar videre til orde for å benytte tilpasset (adaptiv) forvaltning av økosystemene i regulerte vassdrag. Med adaptiv forvaltning mener de at konsesjonsvilkår fastsettes etter en stegvis dynamisk prosess der både lokalbefolkning og forskningsmiljø kommer med innspill. Usikkerhet innen MBV er en kjensgjerning og dette gjør adaptiv forvaltning nødvendig (King, 2004).

En effektiv overvåking og fortløpende evaluering av forvaltningsstrategiene for vassdraget bør inngå i den adaptive forvaltningen, og mange av svarene vi fikk i vår rundspørning poengterte dette sterkt. Dette praktiseres delvis gjennom prøvereglement i enkelte nyere regulerte vassdrag i Norge (Brittain, 2002). Det virker imidlertid litt tilfeldig hvor godt prøvereglement følges opp. Omfanget på biologiske undersøkelser bør i stor grad koblet til hydrologiske hendelser for å finne funksjonelle sammenhenger.

Potensialet med avbøtende tiltak

Vi vil hevde at så vel vassdragsforvaltningen som vannkraftbransjen er tjent med en økt fokus på potensialet i miljøforbedringer med avbøtende tiltak i forbindelse med vassdragsregulering. Dette både for å oppnå maksimalt økologisk potensial, slik EUs vanddirektivet har målsetninger om, og for å realisere flere kontroversielle vannkraftprosjekter.

Avbøtende tiltak i form av habitatforbedrende tiltak med en tilpasset miljøbasert vannføring og eventuelt temperatur i regulerte elver har sammen med kultiveringstiltak stort potensial til å gi veldig skånsomme miljøvirkninger lokalt. Det er sågar eksempler på at vassdragsreguleringer har medført miljøforbedringer i forhold til fiskeproduksjon i Orkla, som tilskrives økt vinter-vannføring (Hvidsten et al., 2004). Videre er det fortsatt betydelige fangster av laksefisk i mange av våre regulerte vassdrag (NOU, 1999; Saltveit et al., 2004). Habitatforbedrende tiltak tilpasset det regulerte vannføringsregimet kan øke andelen med gunstige habitatforhold betydelig, og øke fisketetthetene (Harby & Arnekleiv, 1994). Gitt at bestemte habitatforhold skal oppnås kan habitatmodellering anvendes til å finne optimale utforminger av elveleiet for gitte vannføringer (se bl.a. Stickler et al., 2003). Det er også mulig å kvantifisere nivået på MBV selv for å ivareta f.eks. utøvelsen friluftsliv (Rood et al., 2006), selv om dette kan medføre dårlig bedriftsøkonomi for regulant.

Vårt inntrykk er at i de fleste vassdragssaker (både konsesjonssøknader og kategorisering av vannkraftprosjekter i Samla plan) så er det overfokuset på selve konsesjonsspørsmålet og for lite på potensialet i avbøtende tiltak. I praksis godtar forvaltningen at mulige avbøtende tiltak som terskler og minstevannføring kun nevnes og drøftes i en konsesjonssøknad (NVE, 1998). Det er ikke lagt noen føringer hvorvidt virkningene av disse avbøtende tiltak skal sannsynliggjøres eller kvantifiseres, noe som gir for romslige muligheter for ukvalifiserte gjetninger, og mulige beslutninger på feilaktige grunnlag.

I Samla plan skal vurderingene gjøres på et overordnet nivå, og det har tidligere i veldig liten grad vært vurdert flere utbyggingsalternativer med varierende MBV. I konsesjonssaker er det ifølge forvaltningen ofte en god beskrivelse av naturtilstanden før et tiltak. På prosjektmøtet den 3. juni 2005 fremhevet representanter fra både NVE og DN at utredninger i vassdragssaker ofte er mangelfull mht. å sannsynliggjøre konsekvenser av hydrologiske endringer og virkningene av avbøtende tiltak. Videre brukes det ofte mye tid og plass på lite beslutningsrelevante tema, og for ofte benyttes usikre metodiske tilnærminger som ikke er etterprøvbare. Reint skjønnsmessige vurderinger legges ofte til grunn, og kunnskapsnivået og vurderingsevnen til konsulenten er derfor avgjørende for de anbefalinger som eventuelt kommer. Dette tror vi fører til at viktige samfunnsbeslutninger tas på sviktende eller mangelfullt grunnlag.

Hva forvaltningen bør kreve i vassdragssaker

Vi har i foregående kapitler vist at erfaringsgrunnlaget og anvendbare metoder for å sikre gode grunnlag for utforming av miljøtilpasset vassdragsdrift har økt internasjonalt og i Norge i de senere år. Norsk vassdragsforvaltning bør

skjerpe kvalitetskravene i vassdragssaker og i større grad standardisere metodebruken. Det bør kreves at anerkjente metoder benyttes og at miljøvirkninger av endrede fysiske forhold sannsynliggjøres og kvantifiseres så vidt dette er mulig. Dette bør komme tydelig fram i veiledere og i meldingsfasen til alle vassdragssaker. Tydeligere krav fra forvaltningen vil trolig gi større forutsigbarhet for regulanter ift. forvaltningspraksis, og kanskje motivere for å lage gode konsekvensvurderinger. Klare retningslinjer for valg av metode bør på plass. Vi har skissert flere aktuelle kriterier for vellykkede MBV-metoder først i diskusjonskapitlet. Konsekvensvurderinger uten referanse til noen andre tilsvarende vurderinger er lite tillitsvekkende.

En større fokusering på beslutningsrelevante tema ved å tone ned utredningskravet til lite relevante tema vil trolig gi bedre beslutninger. Antatt betydelige miljøvirkninger av et tiltak bør føre til en vesentlig mer omfattende utredning. Søknader i to trinn slik at potensielle store miljøvirkninger som eventuelt påvises underveis (f.eks. funn av rødlistearter, prioriterte naturtyper) bør skjerpe krav til dokumentasjon av virkninger og detaljering mht. MBV. I saker med fravær av kunnskap om stedegne miljøforhold har det etter hvert blitt vanlig å foreslå at alminnelig lavvannføring skal legges til grunn, uten noen sesongtilpasninger. Dette er trolig ikke holdbart dersom hensikten er å sikre det lokale biologiske mangfoldet på sikt. Sesongtilpassede lavvannsparemetere bør heller etableres, og en regionalt tilpasset tabell basert på historiske vannføringer med månedlige typiske 7 dagers minimum vil for eksempel egnes seg til dette.

I dagens norske vassdragsforvaltning er det kun unntaksvis forsøkt å etablere en miljøbasert vannføring som tar mest mulig hensyn til økosystemets helhet og integritet, ulike brukerinteresser, og det fremtidige ressursgrunnlaget i vassdraget, slik MBV er definert. I praksis dreier de fleste saker seg om å komme fram til nedre akseptable grenser for minstevannføringer eller eventuelt å avslå å gi konsesjon. En mer bærekraftig vassdragsforvaltning, som også blir mer i tråd med føringer fra EUs vanndirektiv vil trolig være å etablere MBV. For å kunne utforme MBV trenger forvaltningen å få presentert mer enn bare middelvannføring og alminnelig lavvannføring. Et minimum er sammenfattede data om typisk vannføring pr. måned. Vi foreslår at en standardisert IHV analyse presenteres i alle saker. Dette inkluderer sammenfattet statistikk av så vel korttidsvirkninger (månedlige minstevannføringsbehov, hastigheten på raske endringer) som langtidsvirkninger (størrelsen på spyleflommer etc.).

Sertifisering av MBV ”eksperter”

Dersom forvaltningen viderefører praksis med at ekspertvurderinger skal være dominerende metode for konsekvensvurderinger i vassdragssaker, så mener vi at en form for sertifisering av utøvende konsulenter bør på plass. På denne måten sikrer forvaltningen at vurderingene gjøres av fagpersoner med minimumskrav til kompetanse innen MBV-tema. Obligatorisk kurs i regi av forvaltningen bør da kreves. Dette kan sidestilles med krav til vassdrags-tekniske ansvarlige innen damsikkerhet. Et andre alternativ kan være at en kort CV om forfatter(ne) alltid skal inkluderes i vassdragsrapporter.

Anbefalinger og konklusjoner

Vi mener det er behov for å justere faktagrunnlaget for norsk forvaltnings-praksis av vassdrag som er eller søkes utbygd. I norske konsekvensutredninger av vassdragssaker benyttes i liten grad ”best praksis” av tilgjengelige MBV-metoder som finnes internasjonalt. Det er utøvende myndighet (NVE) sammen med høringspartene som bør være premissleverandør, og sikre at viktige samfunnsbeslutninger ikke tas på sviktende eller mangelfullt grunnlag. MBV er unntaksvis blitt foreslått i norske vassdragssaker. Det er sjelden mer enn minstevannføringer det fokuseres på, og ofte veldig lave sådanne (alminnelig lavvannføring). Vi ser et stort potensial med å implementere MBV til å oppnå bærekraftig utnyttelse av våre regulerte vassdrag.

Det eksisterer mer enn 200 ulike metoder for å vurdere MBV (miljøbasert vannføring). Den beste eller mest egnede metoden avhenger av hoved-hensikten med og omfanget av MBV-vurderingen. Følgende sentrale kriterier foreslås som standard for valg av metode i norske vassdragssaker der MBV-vurderinger skal gjøres:

- være anerkjent, etterprøvbart og publisert (kunne referere til lignende anvendelse)
- være omforent og ha klare miljømål
- være gjennomiktig og lett å forstå (ikke for mye ”black-box”)
- kunne sannsynliggjøre godt sammenhenger mellom vannmengde og miljøvirkning
- ha klare forutsetninger og begrensninger
- ha klare retningslinjer og helst bruke et sett av metoder for å sikre tverrfaglighet
- involvere mange brukerinteresser i MBV-prosessen.

Vi mener det er behov for en oppdatert veileder for vassdragssaker, der ansvarlig myndighet velger ut et sett av metoder som grunnlag for hvordan konsekvensvurderinger ved MBV skal gjøres. Det er ikke tilrådelig å basere

viktige samfunnsavgjørelser som fastsetting av MBV på reine ekspertvurderinger som ikke lar seg etterprøve. En sertifisering av slike eksperter bør i hvert fall da vurderes.

Vi hevder at så vel vassdragsforvaltningen som vannkraftbransjen er tjent med en økt fokus på potensialet med avbøtende tiltak i forbindelse med vassdragsregulering. Avbøtende tiltak i form av habitatforbedrende tiltak med en tilpasset miljøbasert vannføring i regulerte elver har sammen med kultiverings-tiltak store potensialer til å gi veldig skånsomme miljøvirkninger lokalt.

Forvaltningen bør kreves at anerkjente metoder benyttes og at miljøvirkninger av endrede fysiske forhold sannsynliggjøres og helst kvantifiseres så vidt dette er mulig. Det er viktig at problemstillinger avgrenses i meldingsfasen. Mer fokus på beslutningsrelevante tema, som utredes grundig, med klare minimumskrav til metodevalg, er hensiktsmessig.

Usikkerheten forbundet med økohydrologi tilsier bruk av adaptiv forvaltning (prøvereglement) i regulerte vassdrag. For å kunne utforme MBV trenger forvaltningen å få presentert sammenfattet statistikk over sesongmessige hydrologiske parametere i alle vassdragssaker. Vi foreslår at en standardisert IHV analyse tilpasset norske forhold presenteres i alle vassdragssaker der MBV er aktuelt å implementere.

I vassdragssaker med antatt store miljøvirkninger anbefales det å prøve ut holistiske metoder utviklet på den sørlig halvkule for å etablere en MBV som ivaretar det biologiske mangfoldet.

Habitatmodellering har vært og er fortsatt foretrukket metode i mange land der kritiske vannføringsgrenser skal fastsettes for nøkkelarter. Fullskala habitatmodellering bør utføres dynamisk og baseres på stedegne preferanser. En lovende utvikling med tanke på bruk av ressurser er å anvende forenklete statistiske habitatmodeller utviklet i Frankrike, som med litt tilpasning trolig kan egne seg for norske forhold. På sikt kan dette danne grunnlag for tommelfingerregler om habitatverdien for ulike ferskvannsararter som funksjon av vannføring slik Lamouroux & Jowet (2005) antyder.

12. Forfatternes takk

For å sikre oppdatert kunnskap om dagens forvaltningspraksis ble det opprettet en diskusjonsgruppe som har vært med på å evaluere metodens egnethet for norsk forvaltningspraksis og eventuelle behov for endringer i forvaltningen. Odd Kristian Selboe og Steinar Sandøy fra DN, Rune Flatby, Jan Henning L'Abée-Lund og John Brittain fra NVE og Tormod Schei fra Statkraft Energi har deltatt på møte og/eller kommentert på deler av denne rapporten. De har deltatt gjennom utveksling av synspunkter på e-post, og i diskusjoner på et arbeidsmøte som ble arrangert i Trondheim 3. juni 2005, og takkes for alle innspill.

FoU kontaktnettet fra "COST Action 626 - European Aquatic Modelling Network" (www.eamn.org) og andre kontakter til SINTEF Energiforskning er blitt benyttet til å samle informasjon om rådende metoder og kriterier for fastsetting av miljøbasert vannføring i et utvalg land. En takk til alle våre kontakter som svarte på vårt spørreskjema, selv om de hadde fått noe lignende spørsmål tidligere.

Takk til våre kollegaer Hans-Petter Fjeldstad (SINTEF) og amanuensis Knut Alfredsen ved NTNU, som har bidratt med innspill underveis. Prosjektet er hovedsakelig finansiert av NVEs FoU-program Miljøbasert vannføring, med delfinansiering fra strategiske midler fra SINTEF Energiforskning AS. NVE takkes for oppdraget og finansieringen.

Desember 2005

Jo H. Halleraker
prosjektleder, SINTEF

13. Referanser

- Acreman, M. C., Ed. 2001. Hydro-ecology: linking hydrology and aquatic ecology. IAHS Publication no 266.
- Acreman, M. C. & Dunbar, M. J. 2004. Defining environmental river flow requirements - a review. *Hydrology and Earth System Science* **8**(5): 861-876.
- Alfredsen, K. 1999. An object oriented framework for application development and integration in hydroinformatics. Institutt for vassbygging, Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet, Trondheim.
- Alfredsen, K. T., Stickler, M. & Linnansaari, T. P. 2006. Verknader av is på habitat for fisk i elver med habitattiltak og minstevassføring. NVE Rapport Miljøbasert vannføring 1 – 2006.
- Associates, L. G. 2005. Technical review of current methods for instream flow needs and related science gaps. hydrology and hydraulic models for the major agricultural regions of Canada. Environment Canada, Calgary, Alberta, Golder Associates.
- Bartholow, J. M. & Waddle, T. J. 1995. The search for an optimum flow regime using a salmon population model. *Waterpower - The International Conference on Hydropower*, ASCE.
- Bergan, P. I., Jensen, C. S., Gravem, F. R., L'Abée-Lund, J. H., Lamberg, A. & Fiske, P. 2003. Krav til vannføring og temperatur for oppvandring av laks og sjørret. NVE Miljøbasert vannføring nr 2 2003: 63 s.
- Bogen, J., Bremnes, T., Bønsnes, T., Heggenes, J., Johansen, S. W. & Saltveit, S. J. 2004. Fishhabitat in river Suldalslågen: A study of sedimentation dynamics, fouling, available habitat and use of fish. (In Norwegian). Suldalslågen - Miljørapport nr 46.
- Borsanyi, P., Alfredsen, K., Harby, A., Ugedal, O. & Kraxner, C. 2004. A meso-scale habitat classification method for production modelling of Atlantic salmon in Norway. *Hydroécol. Appl.* **1**(Tome 14): 119-138.
- Bovee, K. D. 1986. Development and evaluation of habitat suitability criteria for use in the Instream Flow Incremental Methodology, U.S.Fish Wildl. Serv.
- Bovee, K. D., Lamb, B. L., Bartholow, J. M., Stalnaker, C. B., Taylor, J. & Henriksen, J. 1998. Stream Habitat Analysis Using the Instream Flow Incremental Methodology. Information and Technology Report USGS/BRD/ITR-1998-0004. Fort Collins, CO:, U.S. Geological Survey-BRD.: 130 p.
- Brekken, O. 2001. Vannressursloven - kommentarutgave, Kommuneforlaget.
- Brittain, J. E. 2002. The Norwegian research programme for environmental flows. *Enviro Flows 2002 4th Ecohydraulics*, Cape Town, South Africa.
- Brown, C. & King, J. 2000. A summary of the drift process. Southern water information report, Southern Waters: 26.
- Caissie, D. & El-Jabi, N. 1995. Comparison and regionalization of hydrologically based instream flow techniques in Atlantic Canada. *Canadian Journal of Civil Engineering* **22**: 235-246.
- Capra, H., Breil, P., Souchon, Y. 1995. A new tool to interpret magnitude and duration of fish habitat variations. *Regulated Rivers: Research and Management* **10**: 281-289.
- Clausen, B. & Biggs, B. J. F. 1997. Relationships between benthic biota and hydrological indices in New Zealand streams. *Freshwater Biology* **38**(2): 327-342.
- Clausen, B. & Plew, D. 2004. How high are bed-moving flows in New Zealand rivers? *J of Hydrology* **43**: 19-38.
- Duel, H., Guda, E. M., Penning, W. E. & Baptist, M. 2003. Habitat modelling of rivers and lakes in the Netherlands: An ecosystem approach. *Canadian Water Resources Journal* **28**(2): 231-248.

- Dunbar, M. J., Gustard, A., Acreman, M. C. & Elliott, C. R. N. 1998. Overseas approaches to the setting River Flow Objectives. Environment Agency R & D. Technical report W6-161. Wallingford, UK., Institute of Hydrology: 83.
- Dunbar, M. J., Acreman, M. C. & Kirk, S. 2004. Environmental flow setting in England and Wales - Strategies for managing abstraction in catchments. *CIWEM journal* **18**(1): 5-10.
- Eastman, K. 2001. Effects of Embeddedness on Fish Habitats: An Approach for Implementation in the Habitat Simulation Model CASiMiR. Institut für Wasserbau, University of Stuttgart.
- Egger, G., Angermann, K., Kerle, F., Gabriel, C., Mader, H., Schneider, M., Schmutz, S. & Muhar, S. 2005. RiverSmart: A DSS for River Restoration Planning. COST 626 European Aquatic Modelling Network, Silkeborg, Denmark.
- Eisner, A., Young, C., Schneider, M. & Kopecki, I. 2005. MesoCasimir - new mapping method and comparison with other current approaches. Final meeting in the European Aquatic Modelling Network, Silkeborg, Denmark.
- Faugli, P. E., Erlandsen, A. H. & Eikenæs, O., Eds. 1993. Inngrep i vassdrag : konsekvenser og tiltak : en kunnskapsoppsummering. NVE publikasjon nr 13 1993.
- Finstad, A. G. 2005. Salmon fishes in a changing climate: The winter challenge. Dep of Biology. Trondheim, Ph D. thesis at NTNU.
- Fiske, P. & Jensen, A. J. 2004. Mot en modell for sammenhengen mellom vannføring og fiskeproduksjon. NVE Miljøbasert vannføring. Oslo, NVE.
- Fjeldstad, H.-P., Olsen, N. R. B. & Fergus, T. 2005. Habitatforbedrende tiltak - geomorfologiske prosesser, sedimenttransport, erosjon og simulering av optimale forhold for fisk. NVE Miljøbasert vannføring 1-2005.
- Fjellheim, A. 1994. Distribution of benthic invertebrates in relation to stream flow characteristics in a Norwegian river. Proceedings, IAHR 1st International Symposium on Habitat Hydraulics, Trondheim 18-20 August, 1994.
- Garcia de Jalón, G. 2003. The Spanish Experience in Determining Minimum Flow Regimes in Regulated Streams. *Canadian Water Resources Journal* **28**(2): 185-198.
- Gippel, C. J. & Stewardson, M. J. 1998a. Use of wetted perimeter in defining minimum environmental flows. *Journal of Regulated Rivers* **14**: 53-67.
- Gippel, C. J. & Stewardson, M. J. 1998b. Use of wetted perimeter in defining minimum environmental flows. *Regulated Rivers: Research & Management* **14**(1): 53-67.
- Gore, J. A. & Nestler, J. M. 1988. Instream flow studies in perspective. *Regulated Rivers: Research and Management* **2**: 93-101.
- Gravem, F. & Jensen, C. 2004. Bonitering av oppvekst og gyteområder for laks og aure i Suldalslågen og 6 sidebekker. Suldalslågen miljørapport nr 28.
- Halleraker, J. H., Daae, T. C. & Fjeldstad, H. P. 2000. Økologisk optimalisert vannføring i regulerte vassdrag. SINTEF rapport nr STF22A00411. Trondheim, SINTEF Bygg og miljøteknikk: 1-30.
- Halleraker, J. H., Saltveit, S. J., Harby, A., Arnekleiv, J. V., Fjeldstad, H. P. & Kohler, B. 2003. Factors influencing stranding of wild juvenile brown trout (*Salmo trutta*) during rapid and frequent flow decreases in an artificial stream. *River Research and Applications* **19**: 589-603.
- Halleraker, J. H., Johnsen, B. O., Lund, R. A., Sundt, H., Forseth, T. & Harby, A. 2005. Vurdering av stranding av ungfisk i Surna ved utfall av Trollheim kraftverk i august 2005. SINTEF rapport TR A6220.
- Halleraker, J. H., Sundt, H. & Alfredsen, K. 2006. Optimalisering av fiskeforhold og kraftproduksjon i Surna - Hovedrapport om videreutvikling og anvendelse av simuleringsverktøy fra samløp Rinna til Skei. SINTEF rapport TR A6264.

- Harby, A. & Arnekleiv, J. V. 1994. Biotop improvement analysis in the river Dalåa with the river system simulator. Proceedings of the 1st International Symposium on Habitat Hydraulics, Trondheim.
- Harby, A., Bakken, T. H., Heggenes, J. & Saltveit, S. J. 1994. Utprøving av Vassdragssimulatoren i Stjørdalsvassdraget. Simuleringer av ungfiskhabitat i Dalåa med modellene HEC-2, ELV og BIORIV. SINTEF NHL rapport STF60 A94039, Trondheim.
- Harby, A., Alfredsen, K., Bakken, T. H. & Sæther, B. 1997. Videreutvikling av Vassdragssimulatoren til et brukervennlig system på PC. SINTEF rapport STF22 F97409.
- Harby, A., Vaskinn, K. A., Alfredsen, K., Killinhtveit, Å., Erlandsen, A., Heggenes, J., Saltveit, S. J. & Lingaas, O. 1999. Methods and applications of fish habitat modelling in Norway. 3rd int. Symp on Ecohydraulics, Salt lake City.
- Harby, A. 2000. Vassdragssimulatoren for Måna - hovedrapport. SINTEF rapport STF22 A00407: 16.
- Harby, A., Alfredsen, K. T., Arnekleiv, J. V., Flodmark, L. E. W., Halleraker, J. H., Johansen, S. & Saltveit, S. J. 2004. Raske vannstandsendringer i elver - Virkninger på fisk, bunndyr og begroing. SINTEF TR A5932.
- Harby, A., Baptist, M., Dunbar, M. & Schmutz, S., Eds. 2005. State-of-the-art in data sampling, modelling analysis and applications of river habitat modelling. COST Action 626 report.
- Hardy, T. B. 1998. The future of habitat modeling and instream flow assessment techniques. *Regulated Rivers: Research and Management* **14**: 405-420.
- Hardy, T. B. & Addley, R. C. 2003. Instream flow assessment modelling: combining physical and behavioural-based approaches. *Canadian Water Resources Journal* **28**(2): 273-282.
- Heggenes, J. 1996. Habitat selection by brown trout (*Salmo trutta*) and young Atlantic salmon (*S. Salar*) in streams: static and dynamic hydraulic modelling. *Regulated Rivers: Research and Management* **12**: 155-169.
- Hughes, D. A., O'Keeffe, J. & King, J. 1997. Development of a reservoir release operating rule model to simulate demands for instream flow requirements and water resources. *IAHS Publication* **240**: 321-329.
- Hunter, M. A. 1992. Hydropower flow fluctuations and salmonids: a review of the biological effects, mechanical causes and options for mitigation. State of Washington, Department of Fisheries, Technical Report No. 119.
- Hvidsten, N. A., Johnsen, B. O., Jensen, A. J., Fiske, P., Ugedal, O., Thorstad, E. B., Jensås, J. G., Bakke, Ø. & Forseth, T. 2004. Orkla- et nasjonalt referansevassdrag for studier avbestandsregulerende faktorer av laks. NINA Fagrapport 079: 1-96.
- Jensen, A. J. 1990. Growth of young migratory brown trout *salmo trutta* correlated with water temperature in Norwegian rivers. *Journal of Animal Ecology* **59**: 603-614.
- Jensen, A. J. 2003. Atlantic salmon (*Salmo salar*) in the regulated river Alta: Effects of altered water temperature on parr growth. *River Research and Applications* **19**: 733-747.
- Jorde, K. 1996a. Mindestwasserregelungen in Ausleitungsstrecken: Ein Simulationsmodell zur Beurteilung ökologischer und ökonomischer Auswirkungen. (Minimum Flow Requirements in Diverted Streams: A Simulation Model for the Assessment of Ecologic and Economic Impacts.). *Wasserwirtschaft* **86**: 302-308.
- Jorde, K. 1996b. Ecological evaluation of instream flow regulations based on temporal and spatial variability of bottom shear stress and hydraulic habitat quality. *Ecohydraulics 2000, 2nd International Symposium on Habitat Hydraulics, Quebec.*

- Jorde, K. & Bratrich, C. 1998. River bed morphology and flow regulations in diverted streams: effects on bottom shear stress patterns and hydraulic habitat. *Advances in River Bottom Ecology*: 47-63.
- Jowett, I. G. & Richardson, J. 1990. Microhabitat preferences of benthic invertebrates in a New Zealand river and the development of in-stream flow-habitat models for *Deleatidium* spp. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* **24**: 19-30.
- Jowett, I. G. 1992. Models of the abundance of large brown trout in New Zealand rivers. *North American Journal of Fisheries Management* **12**(3): 417-432.
- Jowett, I. G. 1997. Instream flow methods: a comparison of approaches. *Regulated Rivers: Research and Management* **13**: 115-127.
- Jowett, I. G. & Hayes, J. W. 2004. Review of methods for setting water quantity conditions in the Environment Southland Draft Regional Water Plan. NIWA Client Report, NIWA.
- King, J., Tharme, R. E. & Brown, C. 1999. Definition and implementation of instream flows. *World commission on dams. Thematic report*.
- King, J. 2004. Environmental flows for fluvial maintenance and conservation. Fifth International symposium on Ecohydraulics, Madrid sept 2004.
- Kyläkorpä, L., Rydgren, B., Ellegård, A., Miliander, S. & Gruse, E. 2005. Biotopmetoden 2005 - Metod för att beräkna påverkan av markanvändning på biologisk mångfald. Rapport från Vattenfall AB.
- Lamb, B. L. 1995. Criteria for evaluating state instream-flow programs: deciding what works. *Journal of Water Resources Planning and Management* **12**: 270-274.
- Lamouroux, N., Capra, H. & Pouilly, M. 1998. Predicting habitat suitability for lotic fish: linking statistical hydraulic models with multivariate habitat use models. *Regulated Rivers: Research and Management* **14**(1): 1-11.
- Lamouroux, N., Capra, H., Pouilly, M. & Souchon, Y. 1999. Fish habitat preferences in large streams of southern France. *Freshwater Biology* **42**: 673-687.
- Lamouroux, N. & Capra, H. 2002. Simple predictions of instream habitat model outputs for target fish populations. *Journal of Freshwater Biology* **47**: 1543-1556.
- Lamouroux, N. & Jowett, I. G. 2004. Generalised instream habitat models, applications and warnings. Fifth International Symposium on Ecohydraulics, Madrid, Spain, September 12-17 2004.
- Lamouroux, N. & Jowett, I. G. 2005. Generalized instream habitat models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **62**: 7-14.
- Lura, H. 2003. Biologiske forutsetninger for styring av Rødne Kraftverk. Ambio rapport nr. 25305-1.
- Moore, M. 2004. Perceptions and interpretations of environmental flows and implications for future water resource management - A survey study. Dep of water and environmental studies, Lindköping University, Sweden: 67.
- Nehring, R. B. & Anderson, R. M. 1993. Determination of population-limiting critical Salmonid habitats in Colorado streams using the Physical Habitat Simulation System. *Rivers* **4**(1): 1-19.
- NOU 1999. Til laks åt alla kan ingen gjera?
- NVE 1998. Konesjonsbehandling av vannkraftsaker. Veileder i utforming av meldinger, konsekvensundersøkelser og konesjonssøknader. NVE veileder Nr 1/98.
- Olden, J. D. & Poff, N. L. 2003. Redundancy and the choice of hydrologic indices for characterizing streamflow regimes. *River Research and Applications* **19**: 101-121.
- Parasiewicz, P. 2001. MesoHABSIM: A concept for application of instream flow models in river restoration planning. *Fisheries* **26**(9): 6-12.

- Parasiewicz, P. & Dunbar, M. J. 2001. Physical habitat modelling for fish - a development approach. *Large Rivers* **12**(2-4): 129-268.
- Petts, G. E. 1996. Water allocation to protect river ecosystems. *Regulated Rivers: Research & Management* **12**(4-5): 353-365.
- Poff, N. L., Allan, J. D., Palmer, M. A., Hart, D. D., Richter, B. D., Arthington, A. H., Rogers, K. H., Meyer, J. L. & Stanford, J. A. 2003. River flows and water wars: emerging science for environmental decision making. *Front Ecol Environ* **1**(6): 298-306.
- Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Wigington, R. & Braun, D. P. 1997. How much water does a river need? *Freshwater Biology* **37**: 231-249.
- Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Braun, D. P. & Powell, J. 1998. A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network. *Regulated Rivers: Research and Management* **14**: 329-340.
- Rood, S. B., Tymensen, W. & Middleton, R. 2003. A comparison of methods for evaluating instream flow needs for recreation along rivers in southern Alberta, Canada. *River Research and Applications* **19**(2): 123-135.
- Rood, S. B., George, C., George, B. & Tymensen, W. 2006. Instream flows for recreation are closely correlated with mean discharge for rivers of western North America. *River Research and Applications* **22**(1): 91-108.
- Roussel, J.-M., Haro, A. & Cunjak, R. A. 2000. Field test of a new method for tracking small fishes in shallow rivers using passive integrated transponder (PIT) technology. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **57**: 1326-1329.
- Roussel, J.-M., Cunjak, R. A., Newbury, R., Caissie, D. & Haro, A. 2004. Movements and habitat use by PIT-tagged Atlantic salmon parr in early winter: the influence of anchor ice. *Freshwater Biology* **49**: 1026-1035.
- Sabatón, C. 2002. Development and use of fish habitat and population dynamics models as management tools for hydropower plants: Overview of Electricité de France experience. *Enviro Flow 2002 - 4th Int Ecohydraulics Symp*, Cape Town, South-Africa.
- Saltveit, S. J., Halleraker, J. H., Arnekleiv, J. V. & Harby, A. 2001. Field experiments on stranding in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) during rapid flow decreases caused by hydropeaking. *Regulated Rivers: Research and Management* **17**: 609-622.
- Saltveit, S. J., Fiske, P., Brabrand, Å., Sægrov, H. & Ugedal, O. 2004. Bruk av fangststatistikk for å belyse effekt av endret vannføring på fisk. NVE rapport Miljøbasert vannføring Nr 6 - 04.
- Scruton, D. A., Heggenes, J., Valentin, S., Harby, A. & Bakken, T. H. 1998. Field sampling design and spatial scale in habitat-hydraulic modelling: comparison of three models. *Fisheries Management and Ecology* **5**: 225-240.
- Scruton, D. A. & Katopodis, C. 2005. Flow modification assessment methods related to fish, fish habitat and hydroelectric development: A review of the state of the science, knowledge gaps, and research priorities for Fisheries and Oceans Canada (DFO) and the Canadian Electricity Association (CEA). *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat.*
- Scruton, D. A., Pennell, C. J., Robertson, M. J., Ollerhead, L. N. M., Clarke, K. D., Alfredsen, K., Harby, A. & McKinley, S. R. 2005. Seasonal response of juvenile Atlantic salmon to experimental hydropeaking power generation in Newfoundland, Canada. *North American Journal of Fisheries Management* **25**: 964-974.
- Skaugen, T., Astrup, M., Mengistu, Z. & Krokli, B. 2002. Lavvannføring - estimering og konsesjonsgrunnlag. NVE Miljøbasert vannføring nr 1 2002.
- Skinner, M. A. & Curry, R. A. 2005. Threats from excessive water removal to the maintenance of ecological integrity of watersheds in major agricultural regions of Canada. *Environment Canada Report*.

- Souchon, Y. & Capra, H. 2004. Aquatic habitat modelling: biological validations of IFIM/Phabsim methodology and new perspectives. *Hydroécologie Appliquée* **14**(1): 9-25.
- Stalnaker, C. B., Lamb, B. L., Henriksen, J., Bovee, K. & Bartholow, J. 1995. The Instream Flow Incremental Methodology: A Primer for IFIM. U.S. Geological Survey. Biological Report 29. Washington, DC: 45 p.
- Stanford, J. A., Ward, J. V., Liss, W. J., Frissell, C. A., Williams, R. N., Lichatowich, J. A. & Coutant, C. C. 1996. A general protocol for restoration of regulated rivers. *Regulated Rivers: Resources and Management* **12**: 391-413.
- Stewardson, M. & Gippel, C. J. 2005. In-stream environmental flow design: a review. Report to Hydro-Electric Corporation, Tasmania.
- Stickler, M., Halleraker, J. H., Fjeldstad, H.-P. & Harby, A. 2003. Optimalisering av leveområdene for laks ved Sande i Surna, Møre og Romsdal. SINTEF TR A5886.
- Stickler, M., Alfredsen, K., Scruton, D. A., Pennell, C., Harby, A. & Økland, F. 2006. Mid winter activity and movement of Atlantic salmon parr during ice formation events in a Norwegian regulated river. *Hydrobiologia* **In press**.
- Sægvog, H., Urdal, K., Hellen, B. A., Kålås, S. & Saltveit, S. J. 2001. Estimating carrying capacity and presmolt production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and anadromous brown trout (*Salmo trutta*) in west Norwegian rivers. *Nordic Journal Freshwater Research* **75**: 99-108.
- Tennant, T. 1976. Instream flow regimes for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries* **1**: 6-10.
- Tharme, R. E. 2003. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Applications* **19**: 397-441.
- Thorstad, E. B., Økland, F., Hvidsten, N. A., Fiske, P. & Aarestrup, K. 2003. Oppvandring av laks i forhold til redusert vannføring og lokkeflommer i regulerte vassdrag. NVE Miljøbasert vannføring nr 1 2003: 51 s.
- Tjomsland, T. 2004. Abiotiske effekter i reguleringsmagasiner. Temperatur- og isforhold i Follsjøen og i vassdraget nedenfor. NVE rapport Miljøbasert vannføring. Nr 5-04: 24.
- Tøfte, L. S. & Jensen, A. 2004. Does climate change scenarios recreate biological relevant parameters in discharge series? EGU General Assembly, Nice, France, 26-30 April 2004. Abstract in Geophysical Research Abstracts **6**.
- Tøfte, L. S., Jensen, A. & Harby, A. 2004. Development of parameters for assessing hydrologic variation and their impact on fish populations. Methods and applications in Norway. 5th International Symposium on Ecohydraulics, Madrid, Spain, 13-17 September.
- Van Winkle, W. 1998. Individual based model of sympatric populations of brown and rainbow trout for instream flow assessment: Model description and calibration. *Ecological Modelling* **110**: 175-207.
- Vaskinn, K. A. 1985. Fysisk beskrivende vassdragsmodell. Miljøvirkninger av Vassdragsutbygging MVU rapp A1. Trondheim, SINTEF NHL.
- Væringstad, T. & Hisdal, H. 2005. Estimering av alminnelig lavvannføring i umålte felt. NVE Miljøbasert vannføring Rapport nr 6- 2005.
- Ziegler, T., Ed. 1985. Seminar om fleksibel manøvrering 20. og 21. September 1985., NTNF.
- Ziegler, T., Ed. 1986. Fleksibel manøvrering, rapport fra arbeidsgruppen for MVU-prosjektet "Fleksibel manøvrering og variabel minstevannføring". NTNF.

14. Vedlegg

Spørreskjema som ble sendt ut til vårt nettverk av FoU-kontakter innen MBV-metoder internasjonalt:

1. *Do you know about other relevant recent literature doing review, comparison or description of methods for setting environmental flow – including grey literature from your country or elsewhere?*
2. *Do you have any standardised requirements on which method to use for setting/studying environmental flows in your country/state? Defined by law?*
3. *Quite subjectively, can you A) rank the species or condition (Atlantic salmon, riparian vegetation, floodplains, endangered species, etc) that are most important factor for setting environmental flow in your country the last 20 years? B) recommend the best method(s) for quantifying environmental flow requirement for these, and why?*
4. *Can you list some methods for setting environmental flows being used to assess different kinds of impacts (hydropower, water supply, constructions in water, area planning, etc) – if there are any clear guidelines/standardisation in your region.*
5. *Do you have some examples of methods used to set environmental flows that actually were taken into account by the decision-makers in the end? Do you have any examples of the opposite?*
6. *Other comments - recommendations?*

Liste over internasjonale informanter innen MBV, som har bidratt i prosjektet og gitt respons på vårt spørreskjema;

Navn	Institusjon
David A. Scruton	Environment Canada, Fisheries and Oceans, St John's, Newfoundland, Canada
Jaqueline King	Southern Waters, University of Cape Town, South Africa
Ian Jowett	National Institute for Water and Atmospheric Research Ltd, New Zealand
Tom Annear	Wyoming Game and Fish Department, USA og Instream Flow Council, USA
Michael Stewardson	CRC for Catchment Hydrology, School of Anthropology, Geography and Environmental Studies (SAGES) The University of Melbourne, Australia
Harm Duel	Delft Hydraulics, Delft, Nederland
Chris Katapodis	Freshwater Institute, University of Winnipeg, Canada
Edilberto Guevara	University of Venezuela
Maria Teresa Ferreira	Dept. Forestry, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, Portugal
Michael Moore	Stockholm International Water Institute, Stockholm, Sverige
Hervé Capra	Cemagref, Lyon, Frankrike
Matthias Schneider	University of Stuttgart/Schneider-Jorde Engineering, Stuttgart, Tyskland
Maria Helena Alves	Institute of Water, Lisboa, Portugal
Helmut Mader	University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Wien, Østerrike
Mike Dunbar	Center for Ecology and Hydrology, Wallingford, Storbritannia
Larry Greenberg	University of Karlstad, Sverige
Shunroku Nakamura	Toyohashi University of Technology, Japan

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Utgitt i rapportserien Miljøbasert vannføring:

- Nr. 1-02 Thomas Skaugen, Marit Astrup, Zelalem Mengistu, Bjarne Krokli: Lavvannføring - estimering og konsesjonsgrunnlag (28 s.)
- Nr. 1-03 Eva B. Thorstad, Finn Økland, Nils Arne Hvidsten, Peder Fiske, Kim Aarestrup: Oppvandring av laks i forhold til redusert vannføring og lokkeflommer i regulerte vassdrag (51 s.)
- Nr. 2-03 Per Ivar Bergan, Carsten S. Jensen, Finn R. Gravem, Jan Henning L'Abée-Lund, Anders Lamberg, Peder Fiske: Krav til vannføring og temperatur for oppvandring av laks og sjørret (63 s.)
- Nr. 1-04 Hervé Colleuille, Tor Simon Pedersen, Panagiotis Dimakis: Elv og grunnvann. Analyse av interaksjon mellom et grunnvannsmagasin og Glomma på Rena, Hedmark (002.Z) Rapport 1. Formål og metoder (67 s.)
- Nr. 2-04 Hervé Colleuille, Tor Simon Pedersen, Panagiotis Dimakis, Bjørn Frengstad: Elv og grunnvann. Analyse av interaksjon mellom et grunnvannsmagasin og Glomma på Rena, Hedmark (002.Z). Rapport 2. Materiale og feltmålinger (113 s.)
- Nr. 3-04 Hervé Colleuille, Wai Kwok Wong, Panagiotis Dimakis: Analyse av interaksjon mellom et grunnvannsmagasin og Glomma på Rena, Hedmark (002.Z). Rapport 3. Grunnvannsmodellering (114 s.)
- Nr. 4-04 Bjørn Ove Johnsen og Nils Arne Hvidsten: Krav til vannføring i sterkt regulerte smålaksvassdrag (68 s.)
- Nr. 5-04 Torulv Tjomsland: Abiotiske effekter i reguleringsmagasiner. Temperatur- og isforhold i Follsjøen og i vassdraget nedenfor (25 s.)
- Nr. 6-04 Svein Jakob Saltveit, Peder Fiske, Åge Brabrand, Harald Sægrov, Ola Ugedal: Bruk av fangststatistikk for å belyse effekt av endret vannføring på fisk (46 s.)
- Nr. 7-04 Peder Fiske, Arne Johan Jensen: Mot en modell for sammenhengen mellom vannføring og fiskeproduksjon. Fase 1 - Evaluering av presmoltsammenhenger (30 s.)
- Nr. 1-05 Hans-Petter Fjeldstad, Tharan Fergus, Nils Reidar Bøe Olsen: Habitatforbedrende tiltak - geomorfologiske prosesser, sedimenttransport, erosjon og simulering av optimale forhold for fisk (34 s.)
- Nr. 2-05 Åge Brabrand, Trond Bremnes, Svein Jakob Saltveit, Andreas G. Koestler, Jim Bogen: Økologisk betydning av grunnvann for bunndyr og fisk (64 s.)
- Nr. 3-05 Gunnar G. Raddum, Arne Fjellheim, Gaute Velle: Populasjonsstrukturen hos bunndyr i Aurlandselva i relasjon til endringer i vannføring og temperatur (48 s.)
- Nr. 4-05 Arve Misund, Hervé Colleuille, Oddmund Soldal: Elv og grunnvann. Analyse av interaksjon mellom grunnvann og elvevann i et typisk vestlandsdalføre: Osa, Hordaland (84 s.)
- Nr. 5-05 Wai Kwok Wong, Hervé Colleuille: Elv og grunnvann. Estimering av grunnvannsbidrag til det totale avløpet ved hydrogramseparering (62 s.)
- Nr. 6-05 Thomas Væringstad, Hege Hisdal: Estimering av alminnelig lavvannføring i umålte felt (40 s.)
- Nr. 7-05 Hege Hisdal: Regional metodikk for estimering av lavvannskaraktetika (53 s.)
- Nr. 8-05 Hervé Colleuille, Panagiotis Dimakis, Wai Kwok Wong: Elv og grunnvann. Sluttrapport - Oppsummering og anbefalinger (41 s.)

- Nr. 1-06 Knut Alfredsen, Morten Stickler, Tommi Linnansaari: Verknader av is på habitat for fisk i elver med habitattiltak og minstevassføring (43 s.)
- Nr. 2-06 Finn R. Gravem, Jan-Petter Magnell, Kjetil Sandsbråten: Tilsigsstyrt minstevannføring (42 s.)
- Nr. 3-06 Jo Vegar Arnekleiv, Gunnar G. Raddum, Tore Olav Sandnæs, Arne Fjellheim, Tharan Fergus: Evaluering av terskler som avbøtende tiltak i et utvalg vassdrag i Midt- og Vest-Norge (79 s.)
- Nr. 4-06 Sven Erik Gabrielsen, Torbjørn Kirkhorn, Bjørn T. Barlaup, Sigve Næss: Habitatprosjektet i Modalen. Bruk av datamodeller for å beskrive kvalitative og kvantitative endringer i leveområdene for aure før og etter terskelbygging i regulert vassdrag (63 s.)
- Nr. 5-06 Bror Jonsson, Nina Jonsson: Betydningen av miljøforhold for oppvandring hos kjønnsmoden laks (31 s.)
- Nr. 6-06 Bjørn T. Barlaup, Sven Erik Gabrielsen, Helge Skoglund, Tore Wiers: Utlegging av gytegrus i tilknytning til terskler som habitatforbedrende tiltak for aure og laks (30 s.)
- Nr. 7-06 Edgar Vegge, Ørnulf Haraldstad: Krypsiv i sørlandsvassdrag. Årsaker og tiltak (34 s.)
- Nr. 8-06 Stein W. Johansen: Vekst av krypsiv i elver. Betydningen av redusert vannføring i forhold til andre miljøendringer (61 s.)
- Nr. 9-06 Jo Halvard Halleraker, Atle Harby: Internasjonale metoder for å bestemme miljøbasert vannføring – hvilke egner seg for norske forhold? (67 s.)