



Modeller for simulering av miljøkonsekvenser av vannkraft

Atle Harby, SINTEF Energiforskning (red.)

5
2009



RAPPORT MILJØBASERT VANNFØRING

FoU-programmet Miljøbasert vannføring

Programmet Miljøbasert vannføring skal styrke det faglige grunnlaget for god forvaltning av regulerte vassdrag. Det skal bidra til at miljøhensyn blir ivaretatt på en balansert og åpen måte med spesiell fokus på fastsettelse av minstevannføring og andre avbøtende tiltak.

Miljøkunnskap er aktuelt i forbindelse med nye vassdragskonsesjoner, revisjon av vilkår i gamle konsesjoner, miljøtilsyn og oppfølging av vannressursloven og EUs vanndirektiv. Programmet finansieres av Olje- og energidepartementet, og er forankret i Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).

Programmets fase II har en tidsramme på fem år (2007-2011). Programmet er organisert med en styringsgruppe, bestående av representanter fra NVE, Direktoratet for naturforvaltning og energibransjen. Ressurspersoner fra nasjonale og regionale myndigheter bistår med fagkompetanse. Den daglige ledelsen av programmet er knyttet til Skred- og vassdragsavdelingen i NVE.

Modeller for simulering av miljøkonsekvenser av vannkraft

Rapport nr. 5 - 2009

Modeller for simulering av miljøkonsekvenser av vannkraft

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør: Atle Harby, SINTEF Energiforskning

Forfattere: Atle Harby, Knut Alfredsen, Tor Haakon Bakken, Jan Heggenes, Tommi Linnansaari, Ånund Killingtveit, Tuomo Saloranta, Svein Jakob Saltveit, Håkon Sundt, Torulv Tjomsland og Ola Ugedal

Trykk: NVEs hustrykkeri

Forsidefoto: Atle Harby

Sammendrag: Rapporten gir en oversikt av modeller og deres egnethet for forvaltning og andre interessenter i regulerte vassdrag. Den viser hvilke modeller som passer til ulike problemstillinger og inngrepstyper i vassdrag. For hver modell er det gitt en kort beskrivelse, en henvisning til mer informasjon og en vurdering av usikkerhet og egnethet for norske forhold. Rapporten foreslår en metodikk for å beskrive modellens egnethet samt kriterier for vurdering av modellbruk i konkrete analyser. Modellene IHA, SNTEMP, nMAG, Stathab og MyLake anbefales for oversiktsmessige analyser. Modellene nMAG, Stathab, MESOHABSIM, Mesohabitat og PIMCEFA anbefales for middels detaljerte studier. For utfyllende studier finnes det ofte flere gode modeller å velge mellom til hvert tema og vi anbefaler å bruke integrerte modeller der mange brukerinteresser er involvert. Viktige FoU-behov er å tilpasse og bruke flere av de nevnte modellene i Norge samt å videreutvikle NORSALMOD og modellverktøy som kan koble enkle og mer avanserte beregninger og analyser.

Emneord: Miljøkonsekvenser av vannkraft, simuleringmodeller.

ISSN: 1502-234X

Norges vassdrags- og energidirektorat
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

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

November 2009

Innhold

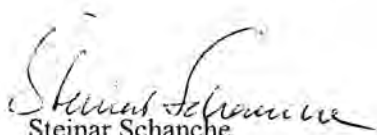
Innhold.....	5
Forord	7
Sammendrag	9
1. Innledning	11
1.1 Om prosjektet	11
1.2 Simuleringsmodeller	12
2. Kriterier for vurdering av vassdragsmodellens egnethet	14
2.1 Fremgangsmåten i vurdering av vassdragsmodellens egnethet	14
2.2 Generelle kriterier.....	16
2.3 Applikasjonsspesifikke kriterier	17
3. Problemstillinger og inngrepstyper.....	19
4. Oversikt over modeller	21
4.1 Hydrologiske modeller i nedbørfelt	22
4.2 Fysiske modeller for elver	23
4.3 Biologiske modeller for elver	24
4.4 Innsjømodeller.....	27
4.5 Integreerte modeller.....	29
5. Modeller for ulike inngrepstyper.....	31
6. Usikkerhet i modellresultater	33
7. Konklusjoner, egnethet og anbefalinger for bruk i Norge.....	36
8. Videre arbeid og FoU-behov	40
9. Referanser.....	42

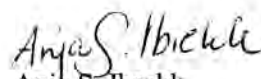
Forord

Modeller som simulerer miljøvirkninger kan være viktige verktøy for vurdere konsekvenser av inngrep og effekter av avbøtende tiltak i regulerte vassdrag. Det finnes mange ulike modeller for en rekke vurderingstemaer. Det kan være vanskelig å velge riktig modell, og å tolke og bruke resultater fra modellene i praktisk forvaltning.

Rapporten gir en nyttig oversikt over eksisterende modeller, i hvilken sammenheng de kan brukes og videre utviklingsmuligheter. Det foreslås en metode for å vurdere modellens egnethet til å belyse ulike problemstillinger.

Prosjektet er gjennomført i et samarbeid mellom modellutviklere og representanter fra forvaltningen. Det har vært ledet av Atle Harby, SINTEF Energiforskning.


Steinar Schanche
leder styringsgruppe


Anja S. Ibrekk
programleder

Sammendrag

Prosjektet ”Modeller for simulering av miljøkonsekvenser av vannkraft” har vært et samarbeidsprosjekt mellom forskningsinstitusjoner, universitet og forvaltning som bruker modellverktøy for simulering av miljøforhold i vassdrag. Med en modell i denne sammenheng, menes en samling og syntese av vitenskapelig kunnskap om et system (for eksempel et vassdrag), som oftest implementert i form av programvare. Denne rapporten gir en oversikt over modeller og deres egnethet for forvaltning og andre interessenter i regulerte vassdrag. Rapporten viser hvilke modeller som passer til ulike problemstillinger og inngrepstyper i vassdrag. For hver modell er det gitt en kort beskrivelse, en henvisning til mer informasjon og en vurdering av usikkerhet og egnethet for norske forhold.

Rapporten foreslår en metodikk for å beskrive modellens egnethet til å belyse ulike problemstillinger, som også tas i bruk for alle modeller vurdert i rapporten. Kriterier for vurdering av modellbruk i konkrete analyser er også foreslått. Kriteriene kan brukes til å velge den mest egnede modellen blant flere kandidater for en tenkt applikasjon, eventuelt til å vurdere egnetheten i etterkant av utførte studier.

Det er få modeller som er egnet for oversiktsmessige analyser. Modellene IHA, SNTMP, nMAG, Stathab og MyLake anbefales som gode modeller for sine problemstillinger.

For middels detaljerte studier er det flere egnede og godt egnede modeller å velge mellom. Det er imidlertid mange av modellene som bare er egnet eller godt egnet under visse forutsetninger. Modellene nMAG, Stathab, MESOHABSIM, Mesohabitat og PIMCEFA anbefales.

Det er mulig å finne flere gode modeller til å belyse aktuelle problemstillinger og inngrep for de fleste tema der utfyllende studier skal gjøres. I analyser med mange brukerinteresser og problemstillinger anbefaler vi å bruke integrerte modeller.

Flere av de anbefalte modellene er lite brukt i Norge og det er behov for noe mer testing, demonstrasjon og tilpasning til norske forhold. Økt bruk av integrerte modeller kan trolig bedre dette og vi anbefaler at modeller som DRIFT, BBM, PIMECFA og GEMSS trekkes aktivt inn i saksbehandlingen. En videreutviklet NORSALMOD kan også gi et mer helhetlig bilde av virkning på laks. Flere av modellene som er beskrevet som *korrelasjoner*, bygger på hypoteser som trolig kan utvikles til *funksjonelle sammenhenger*. Modellene kan da bli mer slagkraftige og kanskje også få en reell overføringsverdi. Mesohabitatmodeller og flere av de integrerte modellene har muligheter for å koble forenklede og avanserte metoder og modeller, noe som bør utnyttes bedre.

Det er få modeller som er godt egnet til oversiktsmessige analyser. Det reflekterer nok at mange problemstillinger ikke kan forenkles for mye. Det er da viktig å være klar over at det i mange saker er behov for en viss faglig kvalitet som også stiller visse ressurskrav, selv til oversiktsmessige analyser.

1. Innledning

1.1 Om prosjektet

Prosjektet ”Modeller for simulering av miljøkonsekvenser av vannkraft” har vært et samarbeidsprosjekt mellom forskningsinstitusjoner, universitet og forvaltning som bruker modellverktøy for simulering av miljøforhold i vassdrag. Følgende institusjoner og personer har deltatt i arbeidet i prosjektet:

Institusjon	Personer	Rolle
Centre for Ecology and Hydrology (CEH), Wallingford, Storbritannia	Mike Acreman	Forsker
Direktoratet for naturforvaltning (DN)	Roy Langåker	Forvalter, prosj.gr.
Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfisk (LFI), Oslo	Jan Heggenes Svein Jakob Saltveit	Forsker, forfatter Forsker, forfatter
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)	Knut T. Alfredsen Ånund Killingtveit	Forsker, forfatter Forsker, forfatter
Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)	John Brittain Eilif Brodtkorb Anja S. Ibrekk Carsten S. Jensen Jan H. L'Abée-Lund Marthe Pramli Jens Aabel	Forvalter Forvalter Forvalter, prog.leder Forvalter, prosj.gr. Forvalter, prosj.gr. Forvalter Forvalter
Norsk institutt for naturforskning (NINA)	Ola Ugedal	Forsker, forfatter
Norsk institutt for vannforskning (NIVA)	Tom Andersen Tuomo Saloranta Torulv Tjomsland	Forsker Forsker, forfatter Forsker, forfatter
SINTEF Energiforskning	Tor Haakon Bakken Hans-Petter Fjeldstad Atle Harby Tommi Linnansaari Håkon Sundt	Forsker, forfatter Forsker Forsker, forfatter Forsker, forfatter Forsker, forfatter

Det er arrangert tre arbeidsmøter og et arbeidsseminar i prosjektet. Fra forvaltningen har enkelte deltatt i utvalgte møter og diskusjoner, mens andre har deltatt aktivt i hele prosjektet gjennom en egen modellgruppe. De sistnevnte er merket med ”prosj.gr.” i tabellen over. All vesentlig informasjon og alle arbeidsdokumenter finnes i et prosjekthotell (eRoom).

Prosjektets målsetting er å etablere kriterier for å vurdere egnethet av simulering-modeller for analyse av miljøkonsekvenser og utforming av avbøtende tiltak i regulerte vassdrag. Prosjektet skal også gi:

- en oversikt over tilgjengelige modeller og modellverktøy
- vurdere modellenes egnethet for norske forhold
- vurdere modellenes usikkerhet og feilkilder
- vurdere tolkningsmulighetene av modellresultatene

Denne rapporten er ment som en oversikt og oppsummering over modeller og deres egnethet for forvaltning og andre interessenter i regulerte vassdrag. Rapporten vil også kunne gi forskere og andre som selv ønsker å bruke simuleringsmodeller en oversikt og noen anbefalinger.

1.2 Simuleringsmodeller

Modeller blir stadig mer brukt i miljøforvaltning som grunnlag for å fatte beslutninger. Modeller kan brukes til å predikere fremtidig tilstand, angi mulige utfallsrom av inngrep eller tiltak og mer generelt til å skape mer innsikt i fysiske, kjemiske og biologiske systemer. Tilgjengelig antall modeller har også økt og valg av "riktig modell" for en gitt problemstilling har blitt en relevant problemstilling.

Med en modell i denne sammenheng menes en samling og syntese av vitenskapelig kunnskap om et system (for eksempel et vassdrag), som oftest implementert i form av programvare. Denne muliggjør en reproducerbar analyse av hvordan systemet vil kunne respondere på ulike endringer i inngangsverdier, og vil på denne måten kunne anvendes også til å analysere situasjoner som tidligere ikke er observert. Dette kan for eksempel være endringer i klima, alternativ tappestrategi fra et kraftverk eller morfologiske endringer i elveløpet. En modell vil dessuten være et nyttig verktøy til å organisere, sammenfatte og analysere den kunnskapen som finnes om et system, og dermed generere ny innsikt.

En modell vil alltid være en forenkling av virkeligheten. Resultatene må tolkes kritisk og forsiktig, da en modell ikke kan analysere annet enn de prosesser som er representert og det datagrunnlaget modellen er utstyrt med. For å kunne bruke modellen på en forsvarlig måte og tolke resultatene best mulig, må modelløren ha tilstrekkelig kunnskap om modellen og kompetanse knyttet til systemet som skal modelleres. Modellørens kvalifikasjoner vil derfor være helt avgjørende for en vellykket modellstudie.

Utgangspunktet for å lage og anvende en modell i et bestemt vassdrag er vanligvis en generalisert modellkode (programvare)¹, der sammenhenger mellom de forskjellige delsystemer i form av likninger eller andre type regler beskrives. Når en generalisert modellkode overføres til ett bestemt vassdrag gjennom å legge inn stedsspesifikke data er det opprettet eller definert en bestemt *modellapplikasjon*. Hvis en modellapplikasjon ikke fungerer på en tilfredsstillende måte kan årsaken til dette være feil eller mangler i den generaliserte modellkoden eller svakheter i hvordan modellen er satt opp i det bestemte tilfellet. Årsaker kan for eksempel være mangler eller feil i datagrunnlaget, feil forutsetninger eller begrensede kvalifikasjoner hos modellør. På den annen side kan en modellkode med klare svakheter eller mangler gi tilsynelatende korrekte resultater. Det samme kan inntreffe ved at modellen "tvinges" gjennom kalibreringen til å stemme med observasjoner, på tross av feilaktige representerte prosesser eller årsakssammenhenger.

¹ Det finnes også modeller utviklet for utelukkende å analysere/predikere forholdene i én bestemt lokalitet, men disse anses som mindre relevant i dette oppdraget.

Det finnes mange modeller tilgjengelig, men ingen samlet oversikt over disse. En oversikt med vurdering av ressursbruk, utsagnskraft, usikkerhet og resultatformidling vil derfor være viktig for at forvaltningen skal kunne treffe riktig modellvalg. Modellresultatene vil være viktig underlag ved beslutning om hvilke tiltak som bør settes inn, og kan derfor være grunnlaget for store samfunnsmessige eller privatøkonomiske beslutninger. Det bør også nevnes at valg av modell i sin ytterste konsekvens kan påvirke hvilke tiltak modellstudien vil komme til å anbefale (Bakken et al., 2008).

I L'Abée-Lund et al. (2006) ble det presentert en del biologiske modeller, men oversikten her var ikke fullstendig. Det ble også konkludert med et behov for videreutvikling av eksisterende modeller, slik at de blir sikrere og vil kunne få en større anvendelse. Det "riktige" verktøyet vil ikke alltid være den mest avanserte modellen eller modellpakke som er tilgjengelig. Det er heller ikke gitt at en mer avansert modell med flere prosesser representert og høyere oppløsning i tid og rom nødvendigvis gir mer presise resultater. Erfaringene fra det EU-finansierte EUROHARP-prosjektet som var en storstilt sammenlikning av modeller for kvantifisering av avrenning av næringsstoff (www.euroharp.no), viste nettopp dette. Det bør også vurderes i hvilke tilfeller modeller ikke vil være egnet.

Det finnes en rekke erfaringer fra inn- og utland på god og riktig modellbruk, men også tilfeller med feil bruk av modellverktøy, noe som kan hjelpe oss til å lage kriterier for god bruk av modeller.

Til slutt bør det igjen nevnes at valg av modellør (eller oppdragsinstitutt) og valg av modell i mange tilfeller henger nøye sammen. Dette bygger på det faktum at mange modeller er så kompliserte å anvende at modellørens forkunnskaper og erfaringer med en bestemt modell, tilgang til kildekode for tilpasninger etc., vil være svært avgjørende for å få gode resultater. Siden modell, modellør og modellapplikasjon i de fleste tilfeller henger nøye sammen må en helhetsvurdering av alle disse faktorer gjøres i forkant av en modellstudie.

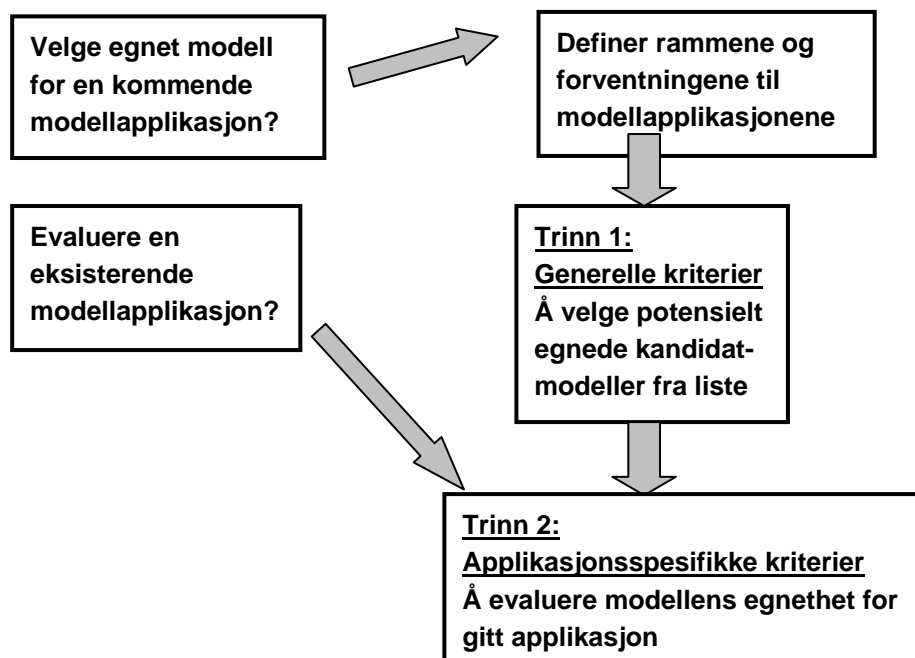
2. Kriterier for vurdering av vassdragsmodellens egnethet

I utviklingen av kriterier for vurdering av vassdragsmodellens egnethet har vi tatt utgangspunkt i kriteriesettet til Saloranta et al. (2003), som gir en kvalitativ vurdering av modellens egnethet for et gitt formål vha. et sett vurderingsspørsmål og et enkelt scoringsystem. Som i Saloranta et al. (2003) er ikke egnethetskriteriene ment å vurdere modellens generelle tekniske ytelse eller prediksjonsevne, dette fordi spørsmålet om en modellkode er god eller dårlig ofte vil være avhengig av den spesifikke applikasjonen. En modellapplikasjon har tre hovedelementer; i) modellkode, ii) inngangs-, kalibrerings- og evalueringsdata, samt iii) modelløren som bruker modellen. I tillegg er formidling og kommunikasjon av resultater og usikkerheter med oppdragsgiver viktige elementer. Dette bør tas i betraktning i vurdering av en modells egnethet.

Konseptet rundt egnethetskriterier er at det ikke skal være nødvendig å sette opp (innhente data, kalibrere osv.) den aktuelle modellen før dens egnethet kan vurderes, og kriteriene er utformet slik at de skal være nokså enkle, pragmatiske og lette å bruke. Kriterier kan brukes til å velge den mest egnede modellen blant flere kandidater for en tenkt applikasjon, eventuelt til å vurdere egnetheten i etterkant av utførte studier.

2.1 Fremgangsmåten i vurdering av vassdragsmodellens egnethet

Fremgangsmåten for bruk av egnethetskriterier er illustrert i figur 1. Skal en egnet modell for en applikasjon velges blant eksisterende modeller, starter man fra første trinn. Dersom modellen i en allerede eksisterende modellapplikasjon skal evalueres, går man direkte til andre trinn.



Figur 1. Fremgangsmåten for bruk av egnethetskriterier.

2.1.1 Trinn 1: Generelle kriterier

Før man setter i gang vurderingsprosessen, bør man definere; 1) sin modell-applikasjon/problemstilling, 2) om man vil bruke modellanalyseteknikker (f.eks. analyse av usikkerheter/følsomheter, automatisk kalibrering) og 3) tilgjengelige ressurser for modellering. Basert på oversikten over tilgjengelige modeller og de generelle egnethetskriteriene, velges da en eller flere modellkandidater som ser ut til å være best egnet til det tenkte formålet.

De generelle egnethetskriteriene fungerer m.a.o. som første ”screening” av potensielt passende modeller og vurderer følgende ikke-applikasjonsspesifikke aspekter om modellen:

- Generelt ressursbehov for modellapplikasjon
- Generelt kompetansekrav for modellapplikasjon
- Hvor anerkjent og veltestet er modellen?
 - Hva finnes av litteratur og dokumentasjon om modellen?
 - Hvor mye er modellen brukt i Norge?
- Kan modellanalyseteknikker anvendes?
 - Kan usikkerhetsanalyser brukes?
 - Blir usikkerheten kvantifisert?
 - Er det mulig å gjennomføre følsomhetsanalyser?
 - Er automatisk kalibrering og tilpasning mulig?
- Tilleggs-kriterier for empiriske modeller
 - Kan empirien underbygges av funksjonelle sammenhenger?
 - Beregnes konfidensintervall og prediksjonsevne?

2.1.2 Trinn 2: Applikasjonsspesifikke kriterier

Gitt at krav og ressurser til modellapplikasjon og problemstilling (se første trinn ovenfor) er definert og modellør for å gjennomføre modelleringen (eller som allerede har gjort det) er valgt, kan modellen(e) vurderes mot de applikasjonsspesifikke egnethetskriteriene (se neste kapittel). Disse kriterier består av ni spørsmål under to forskjellige tema:

1. Er modellen egnet til å analysere den definerte problemstilling?
2. Er nok data og kunnskap tilgjengelig?

Evalueringen av egnethet skjer alltid i lys av rammene for den definerte modell-applikasjonen og dens krav og tilgjengelige ressurser.

Evalueringen skjer ved hjelp av en tre-trinns ”score” som gir en positiv (+), nøytral (0) eller negativ (-) vurdering av modellens egenskaper. I scoringen tenker man at hvert spørsmål begynner med ordene ”I hvilken grad...”. Scorene er ment til å gjøre evalueringen mer oversiktlig og lett, og de gitte scorene bør helst også begrunnes kort skriftlig.

I neste kapittel er det, i tillegg til de ni spørsmålene, gitt refleksjoner og instruksjoner til spørsmålene, både for empiriske modeller (f.eks. statistisk regresjonsmodell) og mekanistiske modeller (ofte blanding av prosessbeskrivelser i form av likninger og empiriske relasjoner).

2.2 Generelle kriterier

Kriterier er gitt i form av spørsmål. Ved hvert kriterium diskuteres forholdet til tre viktige kvalitetsaspekter:

1. modellresultatenes vitenskapelig kvalitet (det vil si forskernes og/eller modellørens oppfatning av modellresultatenes kvalitet)
2. modellresultatenes nytteverdi blant sluttbrukere (ikke-ekspertenes oppfatning av modellresultatenes kvalitet)
3. ressursbehovet (som blant annet prosjektlederen vil være opptatt av)

Dette blir så vurdert ut fra modellørens, sluttbrukerens og prosjektlederens perspektiv. Forskernes/modellørens oppfatning av modellresultatenes kvalitet (skepsis eller tillit) deles ikke automatisk med kunden/forvalteren. Disse sluttbrukere vil kunne danne sin egen mening om modellresultatenes nytteverdi og troverdighet ofte med mindre strenge krav til resultatene enn forskeren. Det vil ofte være en sammenheng mellom ressursbruk og vitenskapelig kvalitet. Få tilgjengelige ressurser (data/kvalitet) i forhold til modellkodens og/eller modellapplikasjonens krav, vil påvirke modellresultatenes utsagnskraft, f.eks. ved at det ikke er ressurser til å gjennomføre alle viktige elementer i en god modelleringspraksis negativt (for eksempel følsomhets- og usikkerhetsanalyse) eller for lite data/datakvalitet.

I denne rapporten er vitenskapelig kvalitet og nytteverdi av mulige modellresultater bare vurdert av forskere. Ressursbehovet for typiske anvendelser av hver modell er også bare vurdert av forskere. I en fullstendig vurdering bør også vurderinger av sluttbrukere og prosjektledere legges til.

Vurderinger av ressursbehov og kompetansekrav for de ulike modellene er vurdert med hensyn på inngangsdata, kalibrering, simulering og resultater. Anerkjennelse er vurdert både nasjonalt og internasjonalt. Mulighet for modellanalyseteknikker er vurdert med hensyn på behandling av usikkerhet, mulighet for følsomhetsanalyser og automatisk kalibrering. For empiriske modeller er også overførbarhet til andre vassdrag vurdert. Vedlegg 1a-1d viser en oversikt over modellspesifikke kriterier for alle vurderte modeller.

2.3 Applikasjonsspesifikke kriterier

2.3.1 Tema 1: Er modellen egnet til å analysere den definerte problemstilling?

1. **Omfatter modellens gyldighetsområde den tenkte applikasjonen?**

For både empiriske og mekanistiske modeller: Er det forsvarlig å bruke modellen i den gitte applikasjonen, eller går dette utover gyldighetsområdet til modellen (dvs. geografisk område, type av vassdrag etc.)?

2. **Kan modellen simulere alle de ønskede variablene?**

Produserer de aktuelle modeller resultater som er direkte anvendbare eller indirekte gjennom surrogatvariable?

3. **Er alle antatte nøkkelfaktorer og –prosesser representert i modellen?**

For både empiriske og mekanistiske modeller: Dekker modellens utvalg av outputvariable de variablene som ønskes simulert, og er alle nøkkelprosesser i det simulerte systemet godt nok representert i modellen, enten mekanistisk i form av prosesslikninger eller implisitt i de empiriske relasjonene.

For mekanistiske modeller: For detaljert modell kan være upraktisk, for ressurskrevende eller for tung i bruk, spesielt i forhold til modellanalyseteknikker som kan kreve flere tusen modellkjøringer.

4. **Er modellresultatenes romlige oppløsning og utstrekning tilfredsstillende?**

For både empiriske og mekanistiske modeller: Hvis modellens romlig og/eller temporære oppløsning og utstrekning er lavere enn problemstillingens krav til detalj og oppløsning, kan dette fort redusere modellens nytteverdi. Tilsvarende må modellen støtte å simulere, eksplisitt eller implisitt, hele det aktuelle området over hele den aktuelle tidsperiode.

For mekanistiske modeller: For detaljert modell kan være upraktisk, for ressurskrevende eller for tung i bruk, selv om resultatene ofte kan aggregeres til lavere oppløsningsnivå.

5. **Er modellresultatenes temporære oppløsning og tidsrom tilfredsstillende?**

Se kommentar i punkt 4 over.

2.3.2 Tema 2: Er nok data og kunnskap tilgjengelig?

1. **Finnes det inngangsdata i riktig tidsmessig og romlig oppløsning som kreves for å kjøre modellen tilfredsstillende?**

Ref. punkt 4 og 5 over.

2. **Finnes det tilgjengelig kalibrerings-/evalueringsdata for modellen?**
For både empiriske og mekanistiske modeller: For lite kvalitetsmessig gode inngangsdata kan gjøre at modellen ikke kan brukes i praksis. Nok inngangsdata, men av dårlig kvalitet, kan negativt påvirke modellresultatenes vitenskapelige kvalitet. På samme måte kan for lite data for modellkalibrering og -evaluering negativt påvirke modellresultatenes vitenskapelige kvalitet og troverdighet. Hvis usikkerheten forbundet med data og kalibreringsmulighetene er godt kvantifisert i modellresultatene (vha. usikkerhets-/følsomhetsanalyse) kan dette likevel positivt påvirke modellresultatenes vitenskapelige kvalitet. Nytteverdien av modellresultater kan i dette tilfellet bli lav hvis de kvantifiserte usikkerhetene viser seg til å være for store slik at modellresultater ikke gir nok sikkerhet eller informasjon til å basere beslutninger på.
3. **Har modelløren kunnskap og erfaring om modellen og eventuelt om modellanalyseteknikker (usikkerhets-/følsomhetsanalyse, kalibrering) hvis disse skal brukes?**
For både empiriske og mekanistiske modeller: Manglende erfaring med kompliserte modeller og modellanalyseteknikker, samt manglende erfaring om hvordan resultater skal tolkes og presenteres, kan påvirke negativt både på modellresultatenes vitenskapelige kvalitet og nytteverdi for sluttbrukere.
4. **Finnes det liknende tidligere vellykkede og veldokumenterte modellapplikasjoner?**
For både empiriske og mekanistiske modeller: Eksisterende vellykkede og veldokumenterte applikasjoner som likner på ens egen modellapplikasjon gir økt tillit til modellens egnethet.

Aspekter som blir vurdert ved hvert kriterium er stort sett basert på kriteriesettet i Saloranta et al. (2003). I dette kapitlet menes det vanligvis ”modellkode” med ordet ”modell”, siden ingen modellapplikasjoner er antatt satt opp før vurdering av modellenes egnethet.

Vurdering av modellenes egnethet kan for eksempel gjøres i en tabell (se vedlegg 2). For hver av de fem temaene gis en positiv (+), nøytral (0) eller negativ (-) vurdering av modellens egenskaper, basert på spørsmål gitt under tema 1 og tema 2 i dette kapitlet. Basert på summen av plusser (teller som +1), nuller (teller som 0), og minuser (teller som -1), kan de forskjellige modellene rangeres, for eksempel i forhold til i hvilken grad det er samsvar mellom tilgjengelige ressurser og det en ønsket modellapplikasjon krever (økt ressursbehov betraktes her som ”minus”). Det kan også gis vurdering ”uegnet” som følgelig vurderer modellen uegnet.

Vedlegg 2 viser et eksempel på hvordan vurdering av to modellers egnethet kan gjøres i en tenkt problemstilling; beregning av vanndekket areal på en minstevannføringsstrekning.

3. Problemstillinger og inngrepstyper

Simuleringsmodeller er ofte utviklet for å studere bestemte fysiske og/eller biologiske forhold, eller bestemte problemstillinger. Eksempler på dette er en modell for sammenhengen mellom vanntemperatur og vekst hos laksefisk. Modellen studerer da den bestemte koblingen mellom vanntemperatur og vekst i ulike sesonger og verktøyet er godt egnet til å studere problemstillinger rundt inngrep som fører til sesongmessige endringer i vanntemperaturen.

Forvaltningen ønsker ofte å finne svar på effekten av ulike inngrep. Det kan da være vanskelig å vite hvilke modellverktøy som er egnet til studier av hvilke inngrepstyper. For å bedre oversikten har vi laget en matrise som kobler ulike problemstillinger med inngrepstyper (figur 2).

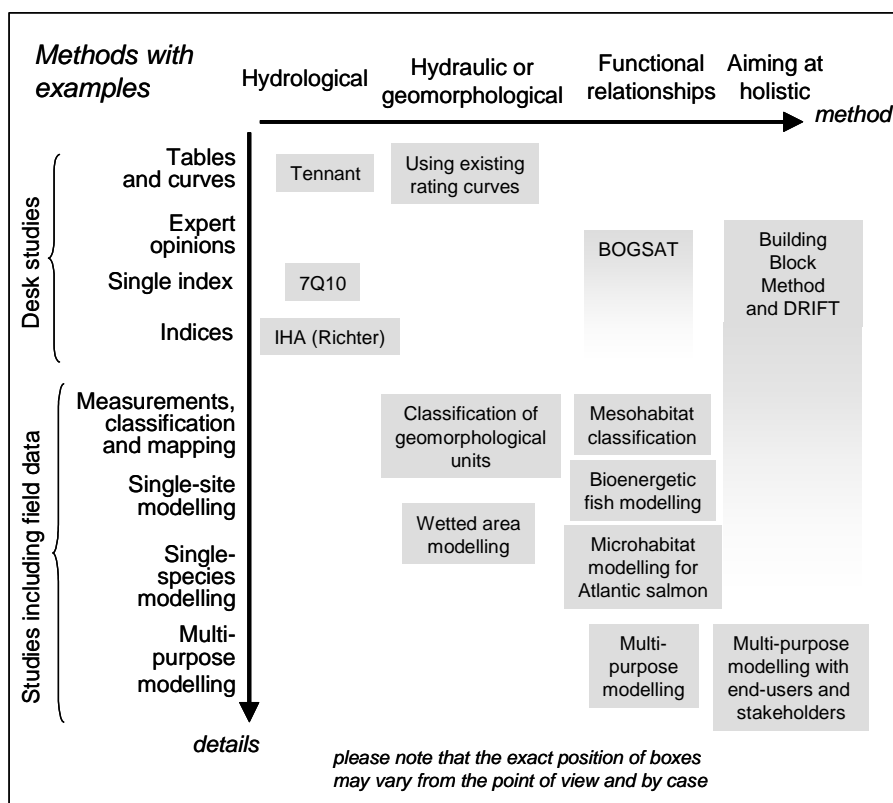
Det understrekes at modellene omtalt i denne rapporten er modeller som synes å ha en betydning i forbindelse med analyse av miljøvirkninger av vannkraft og vassdragsreguleringer. Det finnes et utall andre vassdragsmodeller som primært er utviklet for å analysere andre vassdragsrelaterte miljøproblemer, slik som eutrofiering, virkninger av langtransporterte forurensninger (sur nedbør) og andre miljøgifter. Disse er ikke omtalt her, med mindre de anses å ha en relevans i forbindelse med miljøvirkningene av vannkraft og vassdragsreguleringer.

Hovedproblem	Detalj	Inngrepstyper		Regulering		Flom-sik-ring	Miljøkonstruksjoner		Forurensning	Andre
		Spesifisering		Magasin-kraftverk	Andre		Terskler	Andre		
		Reguleringsmagasin								
		Elvestreking med fratørt vann								
		Elvestreking med endret vannføringsregime								
		Elvestreking med tilført vann								
		Elvestreking med endret regime								
		Elvekraftverk: Elvestreking med endret regime								
		Vandringshinder								
		Dam/demning til andre formål								
		Forbygning								
		Plastring og steinutlegging								
		Løsmasseterskel								
		Betongterskel								
		Syvdeterskel								
		Celleterskel								
		Buner/ledemurer								
		Trestokker								
		Utlagt stein								
		Sur nedbør								
		Landbruksavrenning								
		Kommunalt avløp								
		Annen kjemisk forurensning								
		Brukar og pilarer								
		Andre konstruksjoner								
Innlandsfisk og stasjonær laksefisk	Eggutvikling									
	Årsyngel									
	Ungfisk - sommerhabitat									
	Ungfisk - vinterhabitat									
	Ungfisk - vekst									
	Vandring voksen fisk									
	Gyting									
Anadrom laksefisk	Eggutvikling									
	Yngel									
	Ungfisk - sommerhabitat									
	Ungfisk - vinterhabitat									
	Ungfisk - vekst									
	Smoltutvandring									
	Vandring voksen fisk									
	Gyting									
Bunndyr	Eggutvikling									
	Vekst									
	Diversitet									
Akvatisk vegetasjon	Utbredelse									
	Arter									
Vannfugl										
Biologisk mangfold										
Kantvegetasjon										
Massetransport										
Isforhold	Isgang									
	Isdam (isdemning)									
	Bunnis									
	Overflateis									
	Is på konstruksjoner									
Sportsfiske										
Rekreasjon	Opplevelse av urørthet									
Estetikk	Vanddekket areal									
	Synlig fossefall									
	Lyd av fossefall									

Figur 2. Sammenhengen mellom problemstillinger og inngrepstyper i regulerte vassdrag.

4. Oversikt over modeller

Modeller kan deles inn etter *hva* de modellerer eller etter *hvordan* de modellerer. I praksis kombineres modellarbeid med annet analytisk arbeid og det finnes ingen entydig definisjon av hvordan en modell kan klassifiseres. Modeller er også ofte nært knyttet til *metode* for analyse. I figur 3 er ulike metoder for miljøanalyser i vassdrag forsøkt kategorisert etter hvor detaljert og hvor helhetlig de forsøker å belyse miljøforholdene.



Figur 3. De ulike metodene nevnt i figuren er i hovedsak listet og diskutert i denne rapporten. Et unntak er "BOGSAT", som er en lettere humoristisk betegnelse på ekspertmetoden, der ulike fagpersoner samles i en workshop for å komme fram til felles vurderinger (Halleraker and Harby, 2006).

Ofte deles modellverktøy inn i *empiriske* og *prosessbaserte* modeller. De *empiriske* modellene kan ta utgangspunkt i en hypotese om en sammenheng mellom årsak og virkning, som modellen bruker empiriske data til å bygge opp under. Eventuelt kan empiriske modeller bygge på statistiske sammenhenger, som er etablert gjennom et datasett bestående av fysiske, kjemiske eller biologiske data. *Prosessbaserte* modeller forsøker å beskrive prosesser i naturen med matematiske likninger, men vil alltid være en forenkling av naturen. I mange tilfeller vil en modell eller et modellsystem være en blanding av empiriske og prosessbaserte modeller.

I denne rapporten har vi forsøkt å dele inn modeller etter hva de modellerer. Vi har vinklet det mot hvilke fagtema som modelleres eller hvilke problemstillinger som kan analyseres.

4.1 Hydrologiske modeller i nedbørfelt

I Norge er bruken av prosessbaserte hydrologiske modeller (i motsetning til empiriske) svært dominerende. Slike modeller som beskriver et nedbørfelt på konsentrert form, har tradisjonelt vært brukt til tilsigsberegninger, flomprognoser, dimensjonering av kulverter/overvannssystem og andre anvendelser der avrenning eller andre hydrologiske variable skal beregnes. I den senere tid har bruken av distribuerte modeller blitt mer vanlig. Distribuerte modeller beregner hydrologiske prosesser i et rutenett (f.eks. med GIS som støtteverktøy) og kan dermed gi vannføring eller andre variable i et rutenett som resultat. Vannføring fra et nedbørfelt må dermed summeres gjennom rutenettet og transporteres ("rutes") til punkt som egne operasjoner. Valg av modelltype er avhengig av problemstilling og databehov. Det finnes en lang rekke nedbøravløpsmodeller tilgjengelig. Tabell 1 gir en oversikt over noen som er brukt i Norge.

En rekke hydrologiske metoder brukes for å bearbeide vannføringsdata slik at de gir meningsfulle resultater eller inngangsdata til analyse av økologiske forhold. Eksempler på dette er Q95 (NERC 1980), Tennant's method (Tennant 1976), alminnelig lavvannføring (se vannressurslovens paragraf 10) og IHA (Index of hydrological alteration, Richter et al. (1996). Disse metodene er ikke modeller, men mer en metode til å framstille data. Siden IHA finnes som programvare og er i bruk i svært mange land har vi likevel valgt å vurdere den.

Tabell 1. Hydrologiske modeller i nedbørfelt.

HBV-modellen
Modell for nedbør- og tilsigsberegninger. Setter opp system for et nedbørfelt. Anerkjent og i utstrakt bruk i Norge og internasjonalt. Finnes også som fordelt/distribuert modell.
Referanse: Bergstrøm (1976), Killingtonveit og Sælthun (1995)
LandPINE
Distribuert modell for nedbør- og tilsigsberegninger Kan kobles til elvenettverk og andre prosesser.
Referanse: Rinde (2000)
DemLAB
Distribuert modell for nedbør- og tilsigsberegninger. Kan brukes i vassdrag uten målinger og kan kobles til andre prosesser.
Referanse: Ikke ferdigstilt, under utvikling ved SINTEF Energiforskning
SWAT
Distribuert modell for nedbør- og tilsigsberegninger med stofftransport som kan inkludere mer enn hydrologi. Tilgjengelig for gratis nedlasting.
Referanse: http://www.brc.tamus.edu/swat/soft_model.html
IHA (Index of hydrological alteration)
Statistisk modell som benytter hydrologiske data (vannføring) til oppretting av økologisk relevant statistikk.
Referanse: Richter et al. 1996, www.nature.org/initiatives/freshwater/conservationtools

4.2 Fysiske modeller for elver

Hydrauliske modeller for elver brukes til beregninger av strømningsforhold, vannstand, vanndekket areal, erosjonsforhold. Innenfor kategorien fysiske modeller har vi også tatt med modeller som beregner vanntemperatur og isforhold samt modeller for håndtering av kraftproduksjon og vannhusholdning.

Tabell 2. Fysiske modeller for elver.

HEC-RAS (Hydraulic Engineering Center – River Analysis System)
En-dimensjonal hydraulisk modell som passer for lengre elvestrekninger (>1km). Stasjonær og ikke-stasjonær simulering. Kan simulere forgrenede vassdrag. Nyere versjoner inneholder vannkvalitet-moduler. Anerkjent og i utstrakt bruk. Brukervennlig grensesnitt. Integrasjon med GIS gjennom modulen GEORAS. Tilgjengelig for gratis nedlasting.
Referanse: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/
MIKE 11
En- og to-dimensjonal hydraulisk modell som passer for lengre elvestrekninger. Kan simulere forgrenede vassdrag. Anerkjent og i utstrakt bruk. Inneholder vann-temperatur-modul. Integrert med GIS. Brukervennlig grensesnitt. Kommersielt tilgjengelig.
Referanse: http://www.dhigroup.com/Software/WaterResources/MIKE11.aspx
RIVER 2D
To-dimensjonal hydraulisk modell basert på elementmetoden. Passer for kortere elvestrekninger. Brukervennlig grensesnitt, god dokumentasjon og mange eksempel på bruk. River2D har også en modul for økologisk simulering av fysisk habitat. Tilgjengelig for gratis nedlasting.
Referanse: Steffler et al. (2003) / http://www.river2d.ualberta.ca/
SSIIM
To- og tre-dimensjonal hydraulisk modell basert på endelig-volum-metoden. SSIIM har også en modul for sedimenttransport. SSIIM har et brukervennlig brukergrensesnitt med kobling mot grafiske verktøy. Anvendt først og fremst til FoU- og undervisningsformål i mange land. Tilgjengelig for gratis nedlasting.
Referanse: Olsen (2000) / http://folk.ntnu.no/nilsol/ssiim/
RICE (River ICE model)
To-dimensjonal elve-is-modell. God for store elver med lav gradient, utviklet for Niagara/St.Lawrence. Vanskelig å tilpasse for norske elver med høy gradient og skiftende strømningsmønster. Håndterer ikke hurtig varierende vannføring. ”RICEN” er en oppdatert versjon av ”RICE.”
Referanse: Shen et al. (1995) / http://people.clarkson.edu/~htshen/computer.htm

CE-QUAL-W2
To-dimensjonal modell som beregner fysiske og økologiske variable som funksjon av klima, stofftilførsler og vannføringer. Resultater: strømhastighet, temperatur, is, oksygeninnhold, partikkelkonsentrasjon, vannkjemi, bakterier, utveksling med sedimenter, algevekst m.m. Modellen er godt egnet for simuleringer i langstrakte innsjøer, elver og fjorder. Fritt tilgjengelig via internett fra Portland State University.
Referanse: Tjomsland og Rohrlack (2008) / www.ce.pdx.edu/w2
SNTemp
Stasjonær en-dimensjonal hydraulikk med forenklet energitilførsel og energibalanse som beregner vanntemperatur. Brukt som del av IFIM og SALMOD av USGS.
Referanse: Bartholow (1990)
nMAG
Fleksibel modell for kraftverkssystem med ett eller flere magasin. Inneholder ingen vannverdi. Simulering med tidoppløsning ett døgn, og kan distribuere effekt-hydrogram på timebasis. Brukt integrert med hydraulikk og habitatmodellering. Først og fremst et planleggingsverktøy framfor bruk i operativ drift.
Referanse: Killingtveit og Sælthun (1995)
VANSIMTAP / SIMTAP-Effekt / ICC
Produksjonsmodell for vannkraftverk som er i omfattende operativ bruk i Norge. Håndterer marked og produksjon godt. Må tilpasses for å håndtere vannføring og miljøforhold gjennom hele vassdraget.
Referanse: http://www.powel.no/templates/ProductNo.aspx?id=1388

4.3 Biologiske modeller for elver

Vi har valgt å dele inn aktuelle biologiske modeller for elver i fire typer:

- Funksjonelle sammenhenger
- Korrelasjoner
- Habitatmodeller
- Populasjonsmodeller

Funksjonelle sammenhenger beskriver sammenhengen mellom en fysisk årsak og en biologisk virkning.

Korrelasjoner er sammenhenger mellom fysiske og biologiske forhold som i utgangspunkt ikke trenger å bygge på en sammenheng mellom en fysisk årsak og en biologisk virkning.

Habitatmodeller og populasjonsmodeller prøver å beskrive prosesser som kobler fysiske forhold til habitat og populasjonsutvikling. De vanligste fysiske forholdene som studeres er vanddyp, vannhastighet, bunnforhold (substrat) og skjul. I populasjonsmodeller brukes tidsserier av vannføring til å beregne tidsserier av habitatforhold, vekst, dødelighet og andre vesentlige trekk ved utviklingen av en populasjon.

Tabell 3. Biologiske modeller for elver.

<p>Funksjonell sammenheng: Eggutvikling og "swim-up" for laksefisk</p> <p>Likninger som beskriver tiden det tar fra befruktning av et fiskeegg til eggene klekkes, og tiden det tar før plommeseekkyngelen kommer opp av grusen som funksjon av vanntemperatur. Hvis en har kunnskap om fiskens gyttetidspunkt kan tidspunkt for klekking og "swim up" beregnes.</p> <p>Referanse: Crisp (1981), Crisp (1988), Elliott et al. (1987), Jensen et al. (1989)</p>
<p>Funksjonell sammenheng: Vekstmodeller for laksefisk</p> <p>Likninger som beskriver vekst hos laksefisk som en funksjon av vanntemperatur. Det finnes modeller for laks, aure og røye. Modellene må kalibreres med steds-spesifikke vekstdata, hvis de skal brukes til å predikere sannsynlige vekstendringer som følge av endret vanntemperatur.</p> <p>Referanser: Elliott et al. (1995), Forseth et al. (2001), Jonsson et al. (2001), Larsson et al. (2005)</p>
<p>Funksjonell sammenheng: Eggutvikling og vekstmodeller for ferskvannsinsekter</p> <p>Likninger som beskriver eggutviklingstid og vekst hos ferskvannsinsekter som en funksjon av vanntemperatur. Modellene kan i prinsippet brukes til å predikere sannsynlige endringer i disse forholdene som følge av endret vanntemperatur.</p> <p>Referanse: Elliott et al. (1988), Brittain (1990), Lillehammer et al. (1989)</p>
<p>Korrelasjon: Smoltutvandringsmodell</p> <p>Sammenheng mellom tidsforløp for smoltutvandring og ulike omgivelsesfaktorer, som f.eks. vanntemperatur og vannføring. Modellene kan brukes til å forutsi smoltutvandringsforløp, gitt utvikling i de ulike omgivelsesfaktorene gjennom sesongen og således brukes aktivt i manøvrering av regulerte vassdrag. Foreløpig er bare elvespesifikke modeller publisert.</p> <p>Referanser: Hvidsten et al. (2004), Forseth et al. (2003), Arnekleiv et al. (2007)</p>
<p>Korrelasjon: Presmoltmodellen</p> <p>Sammenheng mellom tetthet av presmolt av laks og aure på el-fiskbare områder (med en viss type substrat) og elvestørrelse (med vannføring som "proxy" for elvestørrelse). Kan ikke benyttes til å predikere endringer i tetthet av presmolt (eller presmoltproduksjon), som følge av endringer i vannføring i regulerte vassdrag.</p> <p>Referanse: Sægrov et al. (2001), Sægrov & Hellen (2004), Fiske et al. (2004).</p>
<p>Habitat fra Vassdragssimulatoren</p> <p>To-dimensjonal modell for kobling mellom fysiske (dybde, vannhastighet og substratsammensetning) og biologiske parametere (for eksempel fisk). Resultater gis som økologisk rangering av habitat på en utvalgt elvestrekning.</p> <p>Referanse: Harby and Heggenes (1995)</p>

PHABSIM

System av programvare designet for å forutsi mikrohabitat-tilstanden (dybde, vannhastighet og andre indekser) i elver som funksjon av vannføring. Inneholder kobling opp mot biologiske preferanser. Inkluderer også vannkvalitetsmoduler (vanntemperatur, tilstrømning av næringsstoff og organisk materiale.) Tilgjengelig for gratis nedlasting.

Referanse: Waddle (2001) / <http://www.fort.usgs.gov/Products/Software/phabsim/>

CASIMIR

Et simuleringssystem for analyse av akvatiske habitat. Benytter seg av fysiske parametere som dybde, vannhastighet og substratsammensetning. Kobler fysiske resultater opp mot biologiske preferanser (for eksempel fisk). Tar i bruk "fuzzy logic", som definerer flytende grenser mellom habitatpreferanser. Tilgjengelig for gratis nedlasting.

Referanse: Schneider og Jorde (2003) / <http://www.casimir-software.de>

Stathab/Estimhab

En hydraulisk statistisk modell med kobling opp mot biologiske parametere (for eksempel fisk). Grunnleggende enkel og brukervennlig. Krever relativt lite datainnsamling, men fiskehabitat-resultater er kun grunnlag for tolkning.

Referanse: Lamouroux and Capra (2002)

Bioenergetisk modell

Enkel energetisk modell som rekner ut energipotensiale i ulike posisjoner i elva basert på 3D hastighetsfelt, drift og modell av energiomsetning.

Referanse: Alfredsen (1998)

NORSALMOD

Norsk laksemodell som er under utvikling. Simulering av utvikling av ungfisk-populasjon basert på temperatur med en enkel sjømodell. En delmodell som beregner vekst som funksjon av vanntemperatur ble benyttet for å simulere smolt-alder og relativ smoltproduksjon for et framtidig klimascenarie i Orkla (Vakle-prosjektet), og sammenlikne dette med et klimascenarie for dagens forhold.

Referanse: Ola Ugedal, NINA

MESOHABSIM

Vassdragsmodell som benytter den hydrauliske modellen Sim-stream som grunnlag for oppskalering fra mikro- til mesonivå (fra delstrekninger til hele elvestrekninger.)

Referanse: Parasiewicz (2001) / <http://www.mesohabsim.org/>

Mesohabitat Norge

Objektivt klassifiseringssystem for elver basert på feltobservasjoner. Brukt i mange vassdrag for ulike formål. Brukes for oversikt over vassdrag og sammensetning av habitater samt for å oppskalere data, resultater og annen modellbruk til større deler av vassdraget.

Referanse: Borsanyi et al. (2004)

4.4 Innsjømodeller

Vi har ikke prøvd å lage en fullstendig liste som omfatter ”alle” relevante modeller, da vi primært har forholdt oss til modeller som i dag blir benyttet i Norge. Disse modellene er valgt ut fra egnethet, tilgjengelighet og brukerstøtte. I tillegg har vi tatt med et par modellpakker som er lite benyttet i Norge, men mye brukt internasjonalt (”Mike og Delft-modeller”). Alle to- og tre-dimensjonale modeller kan også benyttes for elver.

Fosres er en enkel empirisk vannkvalitetsmodell. De øvrige er avanserte numeriske modeller. Alle de numeriske modellene beregner hydrodynamiske forhold, dvs. hastighet og temperatur. Deretter er det i ulik grad bygget moduler som omfatter sedimenter, spredning av ulike stoffer og vannkvalitet. De ulike modellene vi har beskrevet gjør tilsynelatende mye av de samme beregningene. Forskjellene ligger i hvor detaljert de ulike prosessene blir beregnet. 1-D modellen beregner middelverdien i dybderetning (z), dvs. like forhold i horisontalretningen (x,y), mens 3-D modellene beskriver variasjoner i alle retningene (x,y,z). 1-D modeller MyLake tar hensyn til avanserte prosesser, dog ikke så detaljert som 2-D modellen CE-QUAL-W2 eller 3-D modellen GEMSS. 1-D modellen bruker f.eks. et par minutter på å tilsynelatende gjøre de samme beregningene som de øvrige modellene kan bruke noen døgn på å utføre. 1-D modellen er derfor, i motsetning til 2-D og 3-D modellene, egnet til å gjøre analyse av usikkerhet og følsomhet. Da 1-D modellen i tillegg krever mindre datatilgang og forberedelser, er den langt å foretrekke dersom resultatene er tilfredsstillende. Hensikten med denne sammenlikningen er å peke på at det er nødvendig med avansert faglig innsikt både for valg av modell, bruk av modellen og tolkning av resultatene.

I en del tilfeller har vi i Norge modellert temperatur og is i innsjøer og magasiner. Problemstillingen har gjerne vært endrede temperaturforhold pga. reguleringer og dets betydning for fisk. I andre tilfeller inngår hastighet og temperatur som grunnlag for videre beregninger av andre komponenter. Det har i utstrakt grad blitt modeller for hvordan bakterier, patogener og til dels partikler spres i innsjøer under ulike betingelser. Dette har vært til hjelp for vannverk for å finne en optimal plassering av vanninntak og å vurdere tiltak ved eventuelle forurensende tilførsler ved uhell. Ved utforming av skjermende moloer for havneanlegg for småbåter eller kunstige bade-strender, kan modellene være til hjelp for å oppnå gunstige strøm-, bølge- og erosjonsforhold. De mest omfattende beregningene gjelder formodentlig alger, hvor det inngår en rekke fysiske, kjemiske og biologiske prosesser. Modellene har blitt benyttet for å prioritere tiltak for å redusere algeinnholdet i mange innsjøer. Modellene har et stort potensial til å forutsi endret vannkvalitet som følge av et endret fremtidig klima: temperatur, is, oksygen, bakterier, patogener, næringssalter, alger m.m.

I tillegg er modellene et utmerket pedagogisk redskap. Man kan lage figurer for karakteristiske situasjoner eller videoer som fortløpende viser strømforhold og hvordan vannkvaliteten endres som følge av skiftende vind- og temperaturforhold i løpet av året. Dette gir en utmerket anledning til å forstå helheten, få oversikt over hvordan de ulike prosessene påvirker hverandre og skille mellom viktige og mindre viktige fenomen.

Tabell 4. Innsjømodeller.

Fosres
Algers respons på fosfor og vannføring som funksjon av midlere årlig fosfor og vannføring, innsjøvolum. Meget enkel empirisk modell (formel) som krever meget små ressurser. Denne er primært en enkel regresjonsmodell som kan benyttes til å beregne forventet alge-biomasse som funksjon av fosforbelastning/-konsentrasjon. Den kan også benyttes til å anslå nødvendig fosfor-reduksjoner for å unngå uønskede algeoppblomstringer.
Referanse: Berge (1987)
MyLake
1-D termodynamikk, fosfor, klorofyll, alger. Tilrettelagt for følsomhet- og usikkerhetsanalyser. Relativ rask angående oppsett og bruk. Krever Matlab-kunnskaper. MyLake er primært anvendt til å analysere eutrofi-problematikk, men er også blitt anvendt for å simulere f.eks. klimaendringer og hvordan dette vil kunne påvirke hydro-fysiske forhold i innsjøer (endring i temperatur, sprangsjikt, islegging etc.). Mindre egnet ved analyse av magasiner, siden modellen ikke støtter scenarier for varierende uttak, varierende vannspeil etc.
Referanse: Saloranta and Andersen (2007)
SSIIM
3-D modell for hydrodynamikk, temperatur, vannkjemi, sedimenter, vannkvalitet. Stor datatilgang, høy brukerterskel. Fritt tilgjengelig via internett. Utviklet ved NTNU, v/ Nils Reidar Olsen.
Referanse: Olsen, N.R.B. (2000) / http://folk.ntnu.no/nilsol/ssiimwin/
MIKE-modeller
1-3D, Hydrodynamikk, temperatur, vannkjemi, klorofyll, partikler, sedimenter m.m. Innsamling av data krever store ressurser, kalibrering av spesielt alger er tidkrevende, høy brukerkompetanse, GIS integrasjon. Egnet for elver, innsjøer og fjorder. Kommersielt tilgjengelig fra DHI.
Referanse: www.dhigroup.com/Software.aspx
Delft modeller
1-3D, hydrodynamikk, temperatur, vannkjemi, klorofyll, partikler, sedimenter m.m. Innsamling av data krever store ressurser, kalibrering av spesielt alger er tidkrevende, høy brukerkompetanse, GIS integrasjon. Egnet for elver, innsjøer og fjorder. Kommersielt tilgjengelig fra Delft Hydraulic Software.
Referanse: http://delftsoftware.wldelft.nl/index.php
CE-QUAL-W2: Se "Fysiske modeller for elver"
GEMSS: Se "Integrerte modeller"

4.5 Integrerte modeller

Når flere modeller kobles sammen gjennom felles databaser eller andre strukturer, kan vi kalle det en integrert modell. Integrerte modeller er laget for å gjøre det enklere å belyse flerfaglige eller komplekse systemer eller problemstillinger og på tvers av tradisjonelle modell-domener (for eksempel gjennom kobling elv-innsjø-marint miljø). Utviklingen av integrerte modeller skjøt fart på slutten av 1980-tallet når regnekapasitet og lagringskapasitet ikke lenger nødvendigvis ble en begrensning for utnyttelse av databaser, presentasjonssystemer, brukergrensesnitt og andre felles ressurser.

Tabell 5. Integrerte modeller.

MIKE Basin
GIS-basert modellpakke for vannressurs- og vannmiljøforvaltning og -analyse. Objektorientert med åpen kode og muligheter for integrering med annen programvare. Omfatter flere elementer i et vassdrag, som brukere, magasin, vannkraft, overflatevann, grunnvann, nedbør og tilsig, i tillegg til vannkvalitet. Betalingsprogramvare som krever omfattende data input.
Referanse: http://www.dhigroup.com/Software/WaterResources/MIKEBASIN.aspx
HEC-HMS og HEC-GeoHMS
Nedbør- og tilsigsmodell for analyse av vann- og avløpssystemer. Bygget for å kunne integreres med andre HEC-modeller og GIS-systemer (f.eks. ArcGIS). Modellen inkluderer blant annet vanntilgjengelighet, urbanavrenning, vannførings- og flomvarsling, urbaniseringsprognoser, overløpsdesign for magasin, flomskade-reduceringstiltak, flomsletterregulering, systemdrift. Tilgjengelig for gratis nedlasting og krever omfattende data input. Innebygd database.
Referanse: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/
IFIM (Instream Flow Incremental Methodology)
System som benytter hydrologiske parametere og kobler dette opp mot tilknyttede modeller, som for eksempel PHABSIM. Omfatter en rekke elementer på mikro- og meso-nivå, som fiskehabitat, muligheter for rekreasjon, kant- og skogsvegetasjon, til bruk i alternative vannforvaltningsplaner. Parametere på mikronivå inkluderer vannhastigheter, vanddyb, bunndekke og bunnsubstrat-sammensetning, vann-temperatur, løst oksygen, alkalinitet, turbiditet og lysinntregning i vannkolonnen.
Referanse: Bovee (1982)
Vassdragssimulatoren
Vannforvaltningsverktøy for implementering og sammenkobling av en rekke ulike modeller, blant annet HBV, nMag, VANSIMTAP, i tillegg til hydrauliske, biologiske og vannkvalitetsmessige modeller, som HEC-2, DAMBRK, HEC-5, RICE (is), AKVASS (grunnvann), FINNECO (innsjø), QUAL2-E (elv), BIOLAKE (fisk), BIORIV (fisk), HABITAT og RECREATE (rekreasjon). Brukervennlig grensesnitt (ved opplæring). Kun enkelte modeller som er videreutviklet, blant annet HEC-RAS, SSIIM, RIVER2D, HABITAT og BIORIV.
Referanse: Alfredsen et al. (1995)

Hydra-systemet

Generelt verktøy for utvikling av vassdragsmodeller. Finnes kun som bibliotek for å skrive egen kode. Brukt i mange ulike sammenhenger, blant annet for flomstudier og som grunnlag for utvikling av habitatmodellen.

Referanse: Alfredsen og Sæther (2000)

GEMSS (Generalized Environmental Modeling System for Surface waters)

Modellsystem for integrering av en rekke overflatevann-modeller som omfatter vannkvalitet, sedimenttransport, forurensing, partikkelbevegelse, påvirkningsgrad av utslipp av olje og kjemiske stoffer, vanntemperatur, bakterie- og alge-sammensetning, i tillegg til medrivning (erosjon). Brukervennlig grensesnitt (ved opplæring). Tilgjengelig som gratis programvare for kvalifiserte brukere.

Referanse: Tjomsland og Tryland (2008) / <http://www.erm-smg.com/gemss.html>

Building Block Methodology

Foreskrevet system for design av vannføringsregimer som ivaretar økologiske faktorer, basert på tidligere, naturlige stadier i en elv. Detaljerte manualer/ beskrivelser er tilgjengelige. Krever minimal data input, men tolkning krever faglig innsikt. Systemet fokuserer på minstevannføringsregimer, variasjon på små vannføringer i tillegg til små og mellomstore flommer. Inkluderer usikkerhetsanalyser.

Referanse: Tharme, King (1998) / <http://www.fwr.org/wrcsa/tt13100.htm>

DRIFT (Downstream Response to Imposed Flow Transformations)

Metode for definering og vurdering av miljøbasert vannføring, basert på scenarie-utvikling. Omhandler biologiske og fysiske parametere i relasjon til overflatevann (vassdrag). Inkluderer moduler for behandling av sosio-økonomiske konsekvenser for brukere av vassdrag, basert på endringer i vassdragets tilstand. Det anbefales å kjøre en PPP (a Public Participation Process) parallelt med DRIFT.

Referanse: King og Tharme (2000)

PIMCEFA (Pressure-Impact Multiple Criteria Environmental Flow)

EU-prosjektet STRIVER har utviklet PIMCEFA-metoden for å fastsette minstevannføringer i forbindelse med nye kraftkonsesjoner eller vilkårsrevisjon. PIMCEFA er koblet mot kraftøkonomi for å vurdere avveininger mellom kostnadene ved tapt kraft, økologiske- og brukerverdier.

Referanse: Barton and Berge (2008)

5. Modeller for ulike inngreps-typer

Vi har forsøkt å beskrive hvilke modeller som egner seg for bruk til ulike inngreps-typer (figur 4) med en forklaring gitt i tabell 6. En del av de hydrologiske modellene samt modeller for regulering og kraftproduksjon er ikke tatt med i oversikten, da de kan være aktuelle i alle tilfeller der vassdragsregulering skal studeres. De integrerte modellene tar for seg mange ulike problemstillinger og kan derfor være aktuelle for bruk i alle inngrepstyper. Disse er heller ikke tatt med i figur 4 og tabell 6.

		Reguleringsmagasin	Elvestrekning med fraført vann	Elvestrekning med endret regime	Elvestrekning med tilført vann	Elvekraftverk	Vandringshinder	Dam/demning for andre forhold	Forbygning	Plastring og steinutlegging	Løsmasserørskel	Betongtørskel	Syvdetørskel	Celletørskel	Buner/ledemurer	Trestokker	Utlagt stein	Sur nedbør	Landbruksavrenning	Kommunalt avløp	Annen kjemisk forurensning	Brukar og pilarer	Andre konstruksjoner	
Innlandsfisk	Eggutvikling	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2						2	2
	Årsyngel		1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A						1A	1A
	Ungfisk - sommer		1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A						1A	1A
	Ungfisk - vinter		1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A						1A	1A
	Ungfisk - vekst	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2						2	2
	Vandring voksen fisk		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1	1
Gyting		1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A						1A	1A	
Anadrom fisk	Eggutvikling	4	2B	2B	2B	2B	2B	2B	2B	2B	2B	2B	2B	2B	2B	2B	2B						2B	2B
	Yngel		1C	1C	1C	1C	1C	1C	1C	1C	1C	1C	1C	1C	1C	1C	1C						1C	1C
	Ungfisk - sommer		1C	1C	1C	1C	1C	1C	1C	1C	1C	1C	1C	1C	1C	1C	1C						1C	1C
	Ungfisk - vinter		1C	1C	1C	1C	1C	1C	1C	1C	1C	1C	1C	1C	1C	1C	1C						1C	1C
	Ungfisk - vekst	4	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D						2D	2D
	Smoltutvandring		3E	3E	3E	3E	3E	3E	3E	3E	3E	3E	3E	3E	3E	3E	3E						3E	3E
	Vandring voksen fisk		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1	1
Gyting		1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A						1A	1A	
Bunndyr	Eggutvikling		2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F						2F	2F
	Vekst		2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F	2F						2F	2F
	Diversitet																							
Akvatisk vegetasjon	Utbredelse	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4	1	1
	Arter	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4	1	1
Vannfugl		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							1	1
Biologisk mangfold		6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6						6	6	
Kantvegetasjon		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1	1	
Massetransport		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5						5	5	
Isforhold	Isgang																							
	Isdam																							
	Bunnis																							
	Overflateis	2*	2*	2*	2*	2*	2*	2*	2*	2*	2*	2*	2*	2*	2*	2*	2*						2*	2*
Sportsfiske	Is på konstruksjoner																							
			G	G	G	G			G	G	G	G	G	G	G	G								
Rekreasjon	Opplevelse av urørthet		6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6						6	6
	Vanddekket areal		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2						2	2
Estetikk	Synlig fossefall		G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G							G	G
	Lyd av fossefall																							

Figur 4. En oversikt over hvilke modeller som egner seg for bruk til ulike inngreps-typer. Hver modell eller samling av modeller er gitt med tall- og bokstavkoder som er beskrevet i tabell 6. Helt blanke felt mangler modeller vurdert i denne rapporten. Felt uten bokstav mangler biologisk/økologisk modell tilgjengelig. De integrerte modellene er ikke tatt med, da de kan belyse mange ulike problemstillinger.

Tabell 6. Modeller for ulike inngrepstyper som forklaring til figur 4.

	Modeller
*	HEC-RAS, MIKE11, RIVER2D, SSIIM, CE-QUAL-W2
1	RICE, CE-QUAL-2W, SNTemp
2	HBV, LandPINE, DemLAB, SWAT, RICE, CE-QUAL-2W, SNTemp
3	CE-QUAL-2W, Fosres, MyLake, SSIIM, MIKE-modeller, Delft-modeller
4	HEC-RAS, SSIIM, MIKE-modeller, Delft-modeller
5	IHA
6	Habitat, PHABSIM, CASIMIR, Stathab, MESOHABSIM, Mesohabitat Norge
A	Funksjonell sammenheng; eggutvikling og "swim-up" for laksefisk
B	Habitat, PHABSIM, CASIMIR, Stathab, Bioenergetisk modell, NORSALMOD
C	Funksjonell sammenheng; vekstmodeller for laksefisk, NORSALMOD
D	Smoltutvandringmodell
E	Funksjonell sammenheng; eggutvikling og vekstmodell for ferskvannsinsekter
F	MESOHABSIM, Mesohabitat Norge
G	HEC-RAS, MIKE11, RIVER2D, SSIIM, CE-QUAL-W2

For å bestemme vannføring med modell kan modellene HBV, LandPINE, DemLAB og SWAT benyttes. nMAG og VANSIMTAP kan i tillegg brukes til å bestemme regulert vannføring. IHA er egnet for overslag og oversikt over hydrologiske endringer og kan brukes i alle tilfeller.

6. Usikkerhet i modellresultater

Modellering av fysiske, kjemiske og biologiske prosesser i vassdraget er beheftet med usikkerheter. Disse kan stamme fra en lang rekke kilder, der begrensninger i prosessforståelse, utfordringer knyttet til datarepresentativitet, unøyaktigheter i inngangsdata og numeriske problemer i modellene bare er noen få eksempler. Tilfredsstillende håndtering og analyse av usikkerhet er derfor meget viktig når modellresultater skal vurderes. Modellenes evne til å støtte slike analyser er av denne grunn essensielt for å vurdere deres egnethet til å underbygge beslutninger. Tabell 7 gir derfor en kort vurdering av mulighetene for dette for modellene som er listet i foregående kapitler.

Tabell 7. Usikkerhet i modeller og modellbruk.

Modell	Kvantifisering av usikkerhet	Usikkerhetsanalyser ved bruk av modellen
HBV	Gir R^2 -verdi for tilpasning	Godt egnet til usikkerhetsanalyser, men er overparameterisert
LandPINE	Gir R^2 -verdi for tilpasning	Godt egnet til usikkerhetsanalyser, men er overparameterisert
DemLAB	Gir R^2 -verdi for tilpasning	Godt egnet til usikkerhetsanalyser, men er overparameterisert
SWAT	Gir R^2 -verdi for tilpasning	Godt egnet til usikkerhetsanalyser, men er overparameterisert
IHA	Kvantifiserer usikkerhet i inngangsdata	Resultatmengden er stor, men er godt egnet til usikkerhetsanalyser
HEC-RAS	Kvantifiserer usikkerhet i kalibrering	Middels godt egnet til usikkerhetsanalyser
MIKE 11	Usikkerhet kan kvantifiseres	Egnet til usikkerhetsanalyse
River2D	Ingen intern usikkerhetsmodul	Middels godt egnet til usikkerhetsanalyser
SSIIM	Ingen intern usikkerhetsmodul	Middels godt egnet til usikkerhetsanalyser
RICE	Ingen intern usikkerhetsmodul	Middels godt egnet til usikkerhetsanalyser
SNTEMP	Ingen intern usikkerhetsmodul	Middels godt egnet til usikkerhetsanalyser
nMAG	Mulig å jobbe med ulike scenarier for kraftutbygging	Godt egnet til usikkerhetsanalyser

VANSIMTAP	Mulig å jobbe med ulike scenarier for kraftutbygging	Kompleks modell som ikke er direkte egnet til usikkerhetsanalyser
Eggutvikling og ”swim-up” for laksefisk	Variasjonsbredde kan kvantifiseres	Godt egnet til usikkerhetsanalyse
Vekst for laksefisk	Variasjonsbredde kan kvantifiseres	Godt egnet til usikkerhetsanalyse
Eggutvikling/vekst for ferskvannsinsekter	Variasjonsbredde kan kvantifiseres	Godt egnet til usikkerhetsanalyse
Smoltutvandringsmodell	Variasjonsbredde kan kvantifiseres	Godt egnet til usikkerhetsanalyse
Presmoltmodellen	Kvantifiserer ikke usikkerhet	Ikke egnet
HABITAT	Kvantifiserer ikke usikkerhet	Lite egnet til usikkerhetsanalyse
PHABSIM	Kvantifiserer ikke usikkerhet	Lite egnet til usikkerhetsanalyse
CASIMIR	Kvantifiserer ikke usikkerhet	Godt egnet til usikkerhetsanalyse
Stathab	Statistisk modell som meget godt kvantifiserer usikkerhet	Særdeles godt egnet til usikkerhetsanalyse
Bioenergetisk modell	Kvantifiserer ikke usikkerhet	Lite egnet til usikkerhetsanalyse
NORSALMOD	Under utvikling	Under utvikling
MESOHABSIM	Kvantifiserer ikke usikkerhet	Ikke aktuelt
Mesohabitat	Kvantifiserer ikke usikkerhet	Ikke aktuelt
Fosres	Usikkerhet ikke kvantifisert	I prinsipp godt egnet (krever ny statistisk analyse av regresjonen)
MyLake	Vha. egen modul for usikkerhetsanalyse	Godt egnet til usikkerhetsanalyse
CE-QUAL-W2	Kvantifiserer ikke usikkerhet	Lite egnet til usikkerhetsanalyse, men godt egnet til scenariesimuleringer
MIKE Basin	Ingen intern usikkerhetsmodul	Lite egnet til usikkerhetsanalyse, men godt egnet til scenariesimuleringer
HEC-HMS	Ingen direkte kvantifisering av usikkerhet	Lite egnet til usikkerhetsanalyse, men godt egnet til scenariesimuleringer
IFIM	Ingen direkte kvantifisering av usikkerhet	Lite egnet til usikkerhetsanalyse, men godt egnet til scenariesimuleringer

Vassdragssimulatoren	Ingen direkte kvantifisering av usikkerhet	Lite egnet til usikkerhetsanalyse, men godt egnet til scenariesimuleringer
Hydra	Kvantifiserer ikke usikkerhet, men kan kobles med metoder for å gjøre dette avhengig av oppsett og behov	Kan brukes i usikkerhetsanalyse og for scenariesimuleringer
GEMSS	Kvantifiserer ikke usikkerhet	Lite egnet til usikkerhetsanalyse, men godt egnet til scenariesimuleringer
BBM	Kun kvalitativ vurdering av usikkerhet mulig	Lite egnet til usikkerhetsanalyse, men godt egnet til scenariesimuleringer
DRIFT	Kun kvalitativ vurdering av usikkerhet mulig	Lite egnet til usikkerhetsanalyse, men godt egnet til scenariesimuleringer
PIMCEFA	Kun kvalitativ vurdering av usikkerhet mulig	Lite egnet til usikkerhetsanalyse, men godt egnet til scenariesimuleringer

7. Konklusjoner, egnethet og anbefalinger for bruk i Norge

Dette prosjektet har samlet fagfolk fra flere ulike FoU-institusjoner som bruker modeller og simuleringer ved vurdering av endringer i miljøforhold i vassdrag. Erfaring og kompetanse med aktuelle modeller er brukt til å vurdere modellenes egnethet til å analysere virkninger av inngrep og tiltak i vassdrag. Vi understreker at lista over modeller og vurderinger av disse på langt nær er komplett, da den ikke er basert på et bredt internasjonalt litteratursøk. Basert på disse forutsetninger gir vi noen anbefalinger om hvilke typer analyser og utredninger der bruk av simulering-modeller anses formålstjenlig.

Når ulike modeller skal vurderes for praktisk bruk, bør egnethetskriterier legges til grunn. Det er da viktig å skille mellom de modellspesifikke egnethetskriteriene og de applikasjonsspesifikke (anvendelsesspesifikke) kriteriene. De modellspesifikke er generelle, mens de applikasjonsspesifikke knytter seg til den konkrete anvendelsen i et gitt vassdrag på en (eller flere) gitt(e) problemstilling(er). Overgangen mellom hva som er generelle kriterier og hva som er applikasjonsspesifikke kan være glidende.

For praktisk bruk av denne rapporten har vi delt inn krav til dokumentasjon, grundighet, usikkerhet, detaljeringsgrad og treffsikkerhet i tre nivå; et oversiktsmessig nivå, et middels detaljert nivå og et utfyllende nivå. I praksis vil det på et tidlig stadium i et hvert tiltak eller inngrep være behov for å analysere problemstillinger på et *oversiktsmessig* nivå. Dersom det er en middels stor sak eller inngrep, eller dersom miljøkonsekvensen er forventet middels stor, vil det være behov for å belyse problemstillingen på et *middels detaljert* nivå. Dersom det er en stor sak eller stort inngrep, eller et inngrep med store forventede miljøkonsekvenser, er det behov for å belyse problemstillingen på et *utfyllende* nivå. Den politiske og samfunnsmessige oppmerksomheten en sak har, vil antageligvis også påvirke hvorvidt en konkret sak behandles på et oversiktsmessig, middels detaljert eller utfyllende nivå. Vi har vurdert de ulike modellenes egnethet generelt i forhold til disse tre nivå i tabell 8. Når en modell er vurdert uegnet er det gitt en tallkode som beskriver kort hvorfor den er vurdert uegnet. I tillegg bør det for hver modellapplikasjon (anvendelse av modeller) også gjøres en særskilt egnethetsvurdering.

Tabell 8. Vurdering av modellens egnethet. En kort begrunnelse for vurderingene er gitt som tallkoder og er forklart under tabellen.

Nivå:	Oversiktsmessig	Middels detaljert	Utfyllende
Modell			
HBV*	Uegnet (2)	Egnet	Godt egnet
LandPINE*	Uegnet (2)	Uegnet	Meget godt egnet
DemLAB*	Uegnet (1)	Uegnet	Meget godt egnet
SWAT^	Uegnet (1)	Uegnet	Godt egnet
IHA	Meget godt egnet	Egnet	Uegnet

HEC-RAS	Uegnet (1,2)	Egnet for spesielle deler av vassdraget	Meget godt egnet
MIKE 11	Uegnet (1,2,3)	Egnet for spesielle deler av vassdraget, men kostbar	Meget godt egnet
River2D	Uegnet (1,2)	Lite egnet, men egnet for spesielle deler av vassdraget	Meget godt egnet
SSIIM	Uegnet (1,2)	Uegnet (1,2)	Meget godt egnet for spesielle deler av vassdraget
RICE	Uegnet (1,2)	Egnet kun i spesielle vassdrag	Egnet kun i spesielle vassdrag
SNTEMP	Egnet	Middels godt egnet	Uegnet
nMAG*	Egnet	Meget godt egnet	Meget godt egnet
VANSIMTAP*	Uegnet (2,3)	Egnet med begrenset inngangsdata	Meget godt egnet
Eggutvikling og ”swim-up” for laksefisk*	Uegnet (1,2)	Godt egnet i vassdrag der overføring er mulig	Meget godt egnet
Vekst for laksefisk*	Uegnet (1,2)	Godt egnet i vassdrag der overføring er mulig	Godt egnet hvis modellen lages for det aktuelle vassdrag
Eggutvikling/vekst for ferskvannsinsekter	Uegnet (1,2)	Godt egnet i vassdrag der overføring er mulig	Godt egnet hvis modellen lages for det aktuelle vassdrag
Smoltutvandringsmodell*	Uegnet (1,2)	Godt egnet i vassdrag der overføring er mulig	Godt egnet hvis modellen lages for det aktuelle vassdrag
Presmoltmodellen*	Uegnet (1,2)	Uegnet (6)	Uegnet (6)
HABITAT*	Uegnet (1)	Egnet med begrenset inngangsdata og relativt stor usikkerhet i resultater	Meget godt egnet
PHABSIM	Uegnet (1)	Egnet med begrenset inngangsdata og relativt stor usikkerhet i resultater	Egnet

CASIMIR	Uegnet (1)	Egnet med begrenset inngangsdata og relativt stor usikkerhet i resultater	Meget godt egnet
Stathab	Egnet	Meget godt egnet	Uegnet (4)
Bioenergetisk modell (under utvikling)	Uegnet (1,2)	Uegnet (1,2)	Godt egnet for deler av vassdraget
NORSALMOD* (under utvikling)	Uegnet (1,2)	Egnet med begrenset inngangsdata og relativt stor usikkerhet i resultater	Under utvikling
MESOHABSIM^	Litt egnet	Meget godt egnet	Godt egnet koblet med andre modeller
Mesohabitat*	Litt egnet	Meget godt egnet	Meget godt egnet koblet med andre modeller
Fosres*	Litt egnet	Uegnet (4)	Uegnet (4)
MyLake*	Egnet	Godt egnet	Litt egnet
CE-QUAL-W2	Uegnet (1,2)	Egnet med begrenset inngangsdata og relativt stor usikkerhet i resultater	Meget godt egnet
MIKE Basin	Uegnet (1,2)	Uegnet (1,2)	Egnet
HEC-HMS	Uegnet (1,2)	Uegnet (1,2)	Egnet
IFIM	Uegnet (1,2)	Uegnet (1,2)	Egnet
Vassdragssimulatoren*	Uegnet (1,2)	Uegnet (1,2)	Meget godt egnet for enkelte problemstillinger
Hydra*	Uegnet (1,2)	Uegnet (1,2)	Meget godt egnet for enkelte problemstillinger
GEMSS	Uegnet (1,2)	Uegnet (1,2)	Meget godt egnet for enkelte problemstillinger
BBM ^	Uegnet (1,2,5)	Egnet	Meget godt egnet
DRIFT^	Uegnet (1,2,5)	Egnet	Meget godt egnet
PIMCEFA	Uegnet (1,2,5)	Egnet	Egnet

Modeller merket med * er spesielt tilpasset norske forhold.

Modeller merket med ^ er ikke kjent brukt i Norge.

Tallene i tabellen viser til:

1. Krever omfattende inngangsdata
2. Krever omfattende kalibrering
3. Kostbar i innkjøp og/eller opplæring/bruk
4. For stor usikkerhet, eller for liten detaljeringsgrad (opløsning i tid og rom)
5. Krever mange fagfolk ("eksperter")
6. Kan ikke benyttes til å predikere endringer i presmoltproduksjon som følge av endringer i vannføring i et regulert vassdrag.

Som konklusjon ser vi av tabell 8 at det er få modeller som er egnet, godt egnet eller meget godt egnet for oversiktsmessige analyser. Modellene IHA, SNTMP, nMAG, Stathab og MyLake anbefales som gode modeller for sine problemstillinger.

For middels detaljerte studier er det flere aktuelle modeller å velge mellom som er egnet, godt egnet eller meget godt egnet. Det er imidlertid mange av modellene som bare er egnet eller godt egnet under visse forutsetninger. Modellene nMAG, Stathab, MESOHABSIM, Mesohabitat og PIMCEFA anbefales som godt egnede, mens en del andre modeller kan være godt egnet for begrensede studier, i spesielle vassdrag og i vassdrag der overføring er mulig.

Det er få modeller som er uegnet til bruk ved utfyllende analyser og det er mulig å finne flere gode modeller til å belyse aktuelle problemstillinger og inngrep for de fleste tema. Det er imidlertid mange av de aktuelle modellene for utfyllende studier som har høye krav til ressurser og/eller kompetanse (se vedlegg 1), og valg av modell vil trolig bestemmes av mange forhold. I analyser med mange brukerinteresser og problemstillinger anbefaler vi å bruke integrerte modeller, mens det for omfattende spesialstudier også finnes mange godt egnede modeller.

8. Videre arbeid og FoU-behov

Flere av de anbefalte modellene i tabell 8 er lite brukt i Norge og det er behov for noe mer testing, demonstrasjon og tilpasning til norske forhold. Dette gjelder IHA, SNTEMP og Stathab. Det er trolig gunstig å utføre demonstrasjon og tilpasning i samarbeid med de miljøene som har utviklet modellene. Det bør da legges vekt på de spesielle forholdene vi har i Norge, som for eksempel vintersesongen med lave temperaturer, is, mørke, og en påfølgende vårsesong med mye snøsmelting.

I Norge har vi liten erfaring med å bruke integrerte modeller på mange problemstillinger i aktuelle vannkraftsaker. Slike modeller kan også brukes som en viktig del av prosessen med å involvere mange interessenter. Vi har gode tradisjoner for å vurdere mange brukerinteresser i Norge, men det er i mange saker vanskelig å kvantifisere avveining mellom interessene. Økt bruk av integrerte modeller kan trolig bedre dette og vi anbefaler at slike modeller som DRIFT, BBM, PIMECFA og GEMSS trekkes aktivt inn i saksbehandlingen. Det er da trolig også et FoU-behov om å videreutvikle og tilpasse metodene til norske forhold. Alfredsen et al. (2009) anbefaler for eksempel å bruke BBM for fastsetting av tilsigsstyrt minstevannføring.

Noen modeller er beskrevet som lovende og er under utvikling. Spesielt kan modellen NORSALMOD gi gode resultater hvis den ferdigutvikles, ettersom den vil integrere både vekst- og habitatmodeller for laks. Resultatene vil da gi et mer helhetlig bilde enn hva dagens vekst- og habitatmodeller klarer alene.

Flere av modellene som er beskrevet som *korrelasjoner* bygger på hypoteser som trolig kan utvikles til *funksjonelle sammenhenger*. Modellene kan da bli mer slagkraftige og kanskje også få en reell overføringsverdi. En FoU-innsats knyttet til eksperimentelle studier og utvidet datainnsamling i flere vassdrag, kan bringe oss videre til funksjonelle sammenhenger for mange biologiske modeller som i dag er korrelasjoner.

Mange ikke-kommersielle modeller er i dag lite brukervennlige og i praksis vanskelig for andre enn modellutvikleren selv å bruke. Bedre brukerstøtte bør derfor utvikles for en del av de anbefalte og lovende modellene. I dette ligger også utvikling av egnethetskriterier både for de som skal gjennomføre modellsimuleringer og for de som skal bruke resultatene. Det er også behov for mer systematisk bruk av teknikker for modellanalyse i modellapplikasjoner.

Mesohabitatmodeller og flere av de integrerte modellene har muligheter for å koble forenklede og avanserte metoder og modeller. Dette kan trolig utnyttes bedre, særlig i saker der det i første omgang er behov for oversiktsmessig modellering.

I forbindelse med implementering og oppfølging av Vanndirektivet vil det trolig være behov for en del modellbruk. Det er derfor gunstig om videreutvikling og bruk av modeller for Vanndirektivet til en viss grad samkjøres med behov for modeller knyttet til vannkraftsaker.

Det er få modeller som er godt egnet til oversiktsmessige analyser. Det reflekterer nok at mange problemstillinger ikke kan forenkles for mye. Det er da viktig å være klar over at det i mange saker er behov for en viss faglig kvalitet som også stiller visse ressurskrav, selv til oversiktsmessige analyser.

9. Referanser

- Alfredsen, K., Linnansaari, T., Harby, A. og Ugedal, O. (2009). Tilsigsstyrt minstevassføring – ein pilotstudie. NVE-rapport Miljøbasert vannføring nr. 2-2009.
- Alfredsen, K. (1998). Quantification of impacts of river regulation on fish: An energetic modelling approach. In: Proceedings from Hydroinformatics 98 A.A. Balkema.
- Alfredsen K., Bakken T.H. and Killingtveit, Å. (editors) 1995. The River System Simulator. User's Manual. SINTEF NHL report 1995.
- Arnekleiv, J.V., Rønning, L., Koksvik, J., Kjærstad, G., Alfredsen, K. og Berg, O.K. og Finstad, A.G. (2007). Fiskebiologiske undersøkelser i Stjørdalselva 1990-2006. Faglig oppsummering: kraftverksregulering, bunndyr, drivfauna, ungfisk og smolt. Vitenskapsmuseet Rapp. Zool. Ser. 2007, 1: 1-141.
- Bakken, T.H., Szomolányi, M., Lázár, A., Tjomsland, T. & Borgvang, S. (2008). Simulation of nutrient reduction scenarios with three different models. Does the selection of model affect the recommended set of measures? *Int. J. River Basin Management* Vol. 6, No. 2, pp. 1-8.
- Bartholow, J.M. (1990). Stream temperature model. Pages IV-20 to IV-47 in W.S. Platts ed. *Managing Fisheries and Wildlife on Rangelands Grazed by Livestock: A guidance and reference document for biologists*. W.S. Platts and Assoc. for the Nevada Department of Wildlife. December, 1990.
- Barton, D.N. & Berge, D. (2008): PIMCEFA Multi Criteria Environmental Flow Analysis. STRIVER Technical Brief No. 6.
- Berge, D. (1987). Fosforbelastning og respons i grunne og middels grunne innsjøer. NIVA-rapport O-85110.
- Bergström, S. (1976). "Development and Application of a Conceptual Runoff Model for Scandinavian Catchments," Ph.D. thesis, Lund Institute of Technology, Lund.
- Borsanyi, P., Alfredsen, K., Harby, A., Ugedal, O. & Kraxner, C.E. (2004). "A Meso-scale habitat classification method for population modeling of Atlantic salmon (*salmo salar*) in Norway. *Hydroecologie Applique* vol. 14 no 1, pp. 119-138.
- Bovee, K. (1982). A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology. Instream Flow Information Paper 12. U.S.D.I. Fish Wildl. Serv., Office of Biol. Serv. FWS/OBS-82/26: 248 pp.
- Brittain, J.E. (1990). Life history strategies in Ephemeroptera and Plecoptera. I: Mayflies and Stoneflies (I.C. Campbell, red.), s. 1-12. Kluwer Academic Publishers.

- Crisp, D.T. (1981). A desk study of the relationship between temperature and hatching time for eggs of five species of salmonid fishes. *Freshw. Biol.* 11: 361-368.
- Crisp, D.T. (1988). Prediction, from temperature, of eyeing, hatching and "swim-up" times for salmonid embryos. *Freshw. Biol.* 19: 41-48.
- Elliott, J.M., Humpesch, U.H. & Hurley, M.A. (1987). A comparative study of eight mathematical models for the relationship between water temperature and hatching time of eggs of freshwater fish. *Archiv für Hydrobiologie* 109, 257-277.
- Elliott, J.M., Humpesch, U.H. & Macan, T.T. (1988). Larvae of the British Ephemeroptera. *Scientific Publications of the Freshwater Biological Association* 49, 1-145.
- Elliott, J.M., Hurley, M.A. & Fryer, R.J. (1995). A new, improved growth model for brown trout, *Salmo trutta*. *Functional Ecology*, 9, 290-298.
- Fiske, P. & Jensen, A.J. 2004. Mot en modell for sammenhengen mellom vannføring og fiskeproduksjon. NVE-rapport Miljøbasert vannføring nr. 7-2004. 30 s.
- Forseth, T., Fiske, P., Hvidsten, N.A. & Saltveit, S.J. (2003). Smoltoverlevelse i Suldalslågen - miljøfaktorer som påvirker smoltutvandring og overlevelse i fjorden. *Suldalslågen - Miljørapport* 30: 1-59.
- Forseth, T., Hurley, M.A., Jensen, A.J. & Elliott, J.M. (2001). Functional models for growth and food composition of Atlantic salmon parr, *Salmo salar*, from a Norwegian river. *Freshw. Biol.* 46: 173-186.
- Halleraker, J.H. and Harby, A. (2006). Internasjonale metoder for å bestemme miljøbasert vannføring – hvilke egner seg for norske forhold? NVE-rapport Miljøbasert vannføring nr. 9-2006.
- Harby, A. and Heggenes, J. (1995). HABITAT User's Manual. In Alfredsen, K., Bakken, T.H. and Killingtveit, Å. 1995 (editors).
- 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 av bestandsregulerende faktorer hos laks. Samlerapport for perioden 1979 - 2002. NINA Fagrapport 079. 94 s.
- Jensen, A. J., Johnsen, B.O. & Saksgård, L. (1989). Temperature requirements in Atlantic salmon (*Salmo salar*), Brown trout (*Salmo trutta*), and Arctic char (*Salvelinus alpinus*) from hatching to initial feeding compared with geographic distribution. - *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46: 786-789.
- Jonsson, B., Forseth, T. & Jensen, A.J. (2001). Thermal performance in juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Funct. Ecol.* 15: 701-711.
- Killingtveit, Å. og Sælthun, N.R. (1995). Hydrology. Hydropower Development Series, vol. 7. Department of hydraulic and environmental engineering, NTNU.

King, J.M., Tharme, R.E. & De Villiers, M.S. (2000). Environmental flow assessments for river: manual for the building block methodology. Water Research Commission Report No TT 131/00, Pretoria.

L'Abée-Lund, J.H., Heggenes, J. & Brittain, J.E. (2006). Modeller for akvatiske organismer. S. 119-128. I: Saltveit, S.J. (red.). Økologiske forhold i vassdrag – konsekvenser av vassdragsreguleringer. NVE 2006.

Lamouroux, N., and Capra, H. 2002. Simple predictions of instream habitat model outputs for target fish populations. *Journal of Freshwater Biology* **47**:1543-1556.

Larsson, S., Forseth, T., Berglund, I., Jensen, A.J., Näslund, I., Elliott, J.M. & Jonsson, B. (2005). Thermal adaptation of Arctic charr: experimental studies of growth in eleven charr populations from Sweden, Norway and Britain. *Freshw. Biol.* **50**, 353-368.

Lillehammer, A., Brittain, J.E., Saltveit, S.J. & Nielsen, P.S. (1989). Egg development, nymphal growth and life cycle strategies in Plecoptera. *Holarctic Ecology* **12**, 173-186.

Natural Environment Research Council (NERC), (1980). Low flow studies report. Wallingford, UK.

Olsen, N.R.B. (2000). A three-dimensional numerical model of sediment movements in water intakes with multiblock option. Version 1.1 and 2.0 for OS/2 and Windows. User's Manual. Department of hydraulic and environmental engineering, NTNU, Trondheim, Norway.

Parasiewicz, P. and Dunbar, M. J. (2001). Physical habitat modelling for fish - a developing approach. *Archiv für Hydrobiologie Supplement*. 135/2-4: 1-30.

Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Powell, J. & Braun, D.P. (1996). A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation Biology* **10**: 1163-1174.

Rinde, T. (2000). LANDPINE. En hydrologisk modell for simulering av arealbruksendringers innvirkning på avrenningsforhold. Hydra rapport nr. N04, NVE.

Saloranta & Andersen (2007). MyLake – A multi-year lake simulation model suitable for uncertainty and sensitivity analysis simulations. *Ecological Modeling* **207**: 45-60.

Saloranta, T.M., Kämäri, J., Rekolainen, S. & Malve, O. (2003). Benchmark criteria: A tool for selecting appropriate models in the field of water management. *Environmental Management* **32**: 322-333, DOI: 10.1007/s00267-003-0069-3.

- Schneider, M. & Jorde, K. (2003). Fuzzy-Rule Based Models for the Evaluation of Fish Habitat Quality and Instream Flow Assessment. Proc. International IFIM Users Workshop, June 1-5, Ft. Collins, Colorado, 22 p.
- Shen, H.T., Wang, D.S. and Lal, A.M.W. (1995) Numerical simulation of river ice processes. *Journal of cold regions engineering* 9 (3): 107-118.
- Steffler, P., Ghanem, A. & Blackburn, J. (2003). River2D Version 0.90 computer program. University of Alberta, Canada. <http://www.River2D.ualberta.ca/index.htm>.
- Sægrov, H. & Hellen, B.A. (2004). Bestandsutvikling og produksjonspotensiale for laks i Suldalslågen. Sluttrapport for undersøkingar i perioden 1995 til 2003. Suldalslågen Miljørapport 43: 1-52.
- Sægrov, 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. *J. Freshw. Res.* 75: 99-108.
- Tennant, D.L. (1976). Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries* 1 (4): 6-10.
- Tharme, R.E. & King, J.M. (1998). Development of the Building Block Methodology for in stream flow assessments, and supporting research on the effects of different magnitude flows on riverine ecosystems. Water Research Commission Report No. 576/1/98. 452 pp.
- Tjomsland, T. & Rohrlack, T. (2008). Simulated effects on hydrophysics and water quality in lakes due to climate changes. NIVA-rapport. 5573-2008. 39 s.
- Tjomsland, T. & Tryland, I. (2008). Sårbarhetsanalyse av vanninntakene til de kommunale vannverkene i Mjøsa: Biri, Moelv, Gjøvik og Østre Toten. Simulering av bakteriologiske forhold ved bruk av strøm- og spredningsmodeller. NIVA-rapport 5610-2008. 58 s.
- Waddle, T.J., ed. (2001). PHABSIM for Windows: user's manual and exercises: U.S. Geological Survey Open-File Report 01-340. 288 p.

Vedlegg 1a. Egnethetskriterier: Ressursbehov

Modell	Ressursbehov for			
	Inngangsdata	Kalibrering	Simulering	Tolke res.
HBV	Middels	Middels	Lavt	Middels
LandPINE	Middels	Høyt	Lavt	Middels
DemLAB	Høyt	Høyt	Høyt	Middels
SWAT	Høyt	Høyt	Lavt	Middels
IHA	Middels	Lavt	Lavt	Middels
HEC-RAS	Høyt	Middels	Lavt	Middels
MIKE 11	Høyt	Middels	Lavt	Middels
River2D	Høyt	Middels	Middels	Middels
SSIIM	Høyt	Høyt	Høyt	Høyt
RICE	Middels	Høyt	Høyt	Høyt
SNTemp	Høyt	Middels	Lavt	Middels
nMAG	Lavt	Lavt	Lavt	Lavt
VANSIMTAP	Lavt	Lavt	Høyt	Høyt
Eggutvikling laksefisk	Høyt	Lavt	Lavt	Middels
Vekst for laksefisk	Høyt	Middels	Middels	Middels
Utvikling insekter	Høyt	Lavt	Lavt	Middels
Smoltutvandringsmodell	Høyt	Middels	Middels	Middels
Presmoltmodellen	Høyt	-	-	-
HABITAT	Høyt	Middels	Lavt	Middels
PHABSIM	Høyt	Middels	Lavt	Middels
CASIMIR	Høyt	Middels	Middels	Høyt
Stathab	Lavt	Middels	Lavt	Middels
Bioenergetisk modell	Høyt	Middels	Middels	Høyt
NORSALMOD	Høyt	Høyt	Høyt	Høyt
MESOHABSIM	Høyt	Lavt	Lavt	Middels
Mesohabitat	Middels	Lavt	Lavt	Lavt
Fosres	Lavt	Lavt	Lavt	Middels
MyLake	Middels	Middels	Middels	Middels
CE-QUAL-W2	Høyt	Høyt	Variierende	Høyt
MIKE Basin	Middels	Høyt	Lavt	Middels
HEC-HMS	Middels	Høyt	Lavt	Middels
IFIM	Høyt/variabelt	Middels	Variierende	Høyt
Vassdragssimulatoren*	Høyt/variabelt	Høyt	Variierende	Høyt
Hydra*	Høyt/variabelt	Høyt	Variierende	Høyt
GEMSS*	Høyt/variabelt	Høyt	Variierende	Høyt
BBM*	Høyt/variabelt	Høyt	Variierende	Høyt
DRIFT*	Høyt/variabelt	Høyt	Variierende	Høyt
PIMCEFA*	Høyt/variabelt	Høyt	Variierende	Høyt

*Vurderingene knyttet til disse modellene blir variierende avhengig av hvilke komponenter som brukes. Ressurskrav til kalibrering blir høyt pga. flerfaglighet.

Vedlegg 1b. Egnethetskriterier: Kompetansekrav

Modell	Kompetansekrav til			
	Inngangsdata	Kalibrering	Simulering	Tolke res.
HBV	Middels	Middels	Middels	Lavt
LandPINE	Middels	Høyt	Middels	Middels
DemLAB	Middels	Høyt	Middels	Middels
SWAT	Middels	Høyt	Middels	Høyt
IHA	Lavt	Lavt	Lavt	Middels
HEC-RAS	Middels	Høyt	Middels	Middels
MIKE 11	Middels	Høyt	Høyt	Middels
River2D	Middels	Høyt	Høyt	Middels
SSIIM	Middels	Høyt	Høyt	Middels
RICE	Middels	Høyt	Høyt	Middels
SNTemp	Middels	Middels	Middels	Middels
nMAG	Middels	Middels	Middels	Middels
VANSIMTAP	Middels	Middels	Høyt	Høyt
Eggutvikling laksefisk	Middels	Middels	Lavt	Høyt
Vekst for laksefisk	Middels	Middels	Lavt	Høyt
Utvikling insekter	Middels	Middels	Lavt	Høyt
Smoltutvandringsmodell	Middels	Middels	Lavt	Høyt
Presmoltmodellen	Middels	Høyt	Lavt	Høyt
HABITAT	Middels	Høyt	Middels	Middels
PHABSIM	Middels	Høyt	Middels	Middels
CASIMIR	Middels	Høyt	Høyt	Middels
Stathab	Lavt	Lavt	Middels	Høyt
Bioenergetisk modell	Høyt	Høyt	Høyt	Høyt
NORSALMOD	Høyt	Høyt	Høyt	Høyt
MESOHABSIM	Lavt	Lavt	Lavt	Middels
Mesohabitat	Lavt	Lavt	Lavt	Middels
Fosres	Lavt	Lavt	Lavt	Middels
MyLake	Lavt	Middels	Middels	Middels
CE-QUAL-W2	Middels	Høyt	Middels	Middels
MIKE Basin	Høyt	Middels	Middels	Middels
HEC-HMS	Middels	Høyt	Middels	Middels
IFIM	Middels	Høyt	Middels	Middels
Vassdragssimulatoren*	Høyt/variabelt	Høyt	Variierende	Høyt
Hydra*	Høyt/variabelt	Høyt	Variierende	Høyt
GEMSS*	Høyt/variabelt	Høyt	Variierende	Høyt
BBM*	Høyt/variabelt	Høyt	Variierende	Høyt
DRIFT*	Høyt/variabelt	Høyt	Variierende	Høyt
PIMCEFA*	Høyt/variabelt	Høyt	Variierende	Høyt

*Vurderingene knyttet til disse modellene blir varierende avhengig av hvilke komponenter som brukes. Kompetansekrav til kalibrering blir høyt pga. flerfaglighet.

Vedlegg 1c. Egnethetskriterier: Modellanalyseteknikker

Modell	Mulighet for modellanalyseteknikker			
	Usikkerhets-analyser	Følsomhets-analyser	Automatisk Kalibrering?	Kvantif.av usikkerhet
HBV	Ja	Ja	Ja	Ja
LandPINE	Ja	Ja	Ja	Ja
DemLAB	Ja	Ja	Ja	Ja
SWAT	Ja	Ja	Ja	Ja
IHA	Nei	Ja	Ikke behov	Nei
HEC-RAS	Nei	Mulig	Ja	Ja
MIKE 11	Ja	Mulig	Nei	Nei
River2D	Nei	Nei	Delvis	Nei
SSIIM	Nei	Nei	Nei	Nei
RICE	Nei	Nei	Ja	Nei
SNTEMP	Nei	Nei	Nei	Nei
nMAG	Nei	Mulig	Nei	Nei
VANSIMTAP	Nei	Mulig	Nei	Nei
Eggutvikling laksefisk	Mulig	Nei	Nei	Mulig
Vekst for laksefisk	Mulig	Nei	Nei	Mulig
Utvikling insekter	Mulig	Nei	Nei	Mulig
Smoltutvandringsmodell	Mulig	Nei	Nei	Mulig
Presmoltmodellen	Nei	Nei	Nei	Nei
HABITAT	Nei	Nei	Nei	Nei
PHABSIM	Nei	Nei	Nei	Nei
CASIMIR	Nei	Nei	Nei	Nei
Stathab	Ja	Ja	Ja	Ja
Bioenergetisk modell	Nei	Nei	Nei	Nei
NORSALMOD	Mulig	Mulig	Nei	Mulig
MESOHABSIM	Nei	Nei	Nei	Nei
Mesohabitat	Nei	Nei	Nei	Nei
Fosres	Nei	Nei	Nei	Nei
MyLake	Ja	Ja	Ja	Ja
CE-QUAL-W2	Nei	Mulig	Nei	Nei
MIKE Basin	Nei	Nei	Nei	Nei
HEC-HMS	Delvis	Delvis	Delvis	Delvis
IFIM	Delvis	Delvis	Delvis	Delvis
Vassdragssimulatoren	Delvis	Delvis	Delvis	Delvis
Hydra	Delvis	Delvis	Delvis	Delvis
GEMSS	Delvis	Delvis	Delvis	Delvis
BBM	Delvis	Delvis	Delvis	Delvis
DRIFT	Delvis	Delvis	Delvis	Delvis
PIMCEFA	Delvis	Delvis	Delvis	Delvis

Vedlegg 1d. Egnethetskriterier: Anerkjennelse

Modell	Anerkjennelse og anvendelse			Empiriske:
	Internasjonalt	I Norge	Anvendt	Overførbarhet
HBV	Stor	Stor	Ofte	God
LandPINE	Middels	Middels	Middels	God
DemLAB	Lovende	Lovende	Sjelden	Under utv.
SWAT	Stor	Middels	Ofte	
IHA	Stor	Lav	Ofte	God
HEC-RAS	Stor	Stor	Ofte	
MIKE 11	Stor	Stor	Ofte	
River2D	Stor	Middels	Middels	
SSIIM	Stor	Middels	Middels	
RICE	Middels	Lav	Sjelden	
SNTEMP	Middels	Lav	Sjelden	God
nMAG	Stor	Stor	Ofte	
VANSIMTAP	Stor	Stor	Ofte	
Eggutvikling laksefisk	Stor	Stor	Middels	God
Vekstmod. for laksefisk	Middels	Middels	Sjelden	Middels
Utvikling innsekter	Middels	Lovende	Sjelden	Under testing
Smoltutvandringsmodell	Middels	Middels	Sjelden	Lav
Presmoltmodellen	Ingen	Uenighet	Sjelden	Manglende
HABITAT	Stor	Middels	Middels	
PHABSIM	Stor	Middels	Ofte	
CASIMIR	Stor	Middels	Middels	Middels
Stathab	Middels	Middels	Middels	Middels
Bioenergetisk modell	Lovende	Lovende	Sjelden	Under utv.
NORSALMOD	Under utv.	Under utv.	Under utv.	
MESOHABSIM	Stor	Stor	Middels	
Mesohabitat	Stor	Stor	Middels	
Fosres	Liten	Stor	Ofte	
MyLake	Middels	Middels	Middels	
CE-QUAL-W2	Stor	Stor	Ofte	
MIKE Basin	Stor	Stor	Ofte	
HEC-HMS	Stor	Middels	Ofte	
IFIM	Middels	Middels	Ofte	
Vassdragssimulatoren	Middels	Middels	Sjelden	
Hydra	Middels	Stor	Sjelden	
GEMSS	Stor	Middels	Ofte	
BBM	Middels	Ikke brukt	Middels	
DRIFT	Middels	Ikke brukt	Middels	
PIMCEFA	Middels	Middels	Sjelden	

Vedlegg 2. Eksempel på applikasjonsspesifikke egnethetskriterier i tabellform

Modellapplikasjon/problemstilling:	<i>Miljøkonsekvenser av regulering i Akerselva</i>		
Modellør:	NIVA		
Modell:	Tysk modell	Amerikansk modell	Etc.
Modelltype (empirisk/mekanistisk):	Empirisk	Mekanistisk	Etc.
Tema #1: Er modellen egnet til å svare på det man vil finne ut?	SCORE	SCORE	SCORE
1.1 Omfatter modellens gyldighetsområde den tenkte applikasjonen?	+	-	0
1.2 Kan modellen simulere alle de ønskede variablene?	-	0	-
1.3 Er alle antatte nøkkelfaktorer og –prosesser (for eksempel islegging, substrattypen) representert i modellen?	0	+	0
1.4 Er modellresultatene romlige oppløsning tilfredsstillende?	+	0	+
1.5 Er modellresultatene temporære oppløsning tilfredsstillende?	+	0	+
Tema #2: Er nok data og kunnskap tilgjengelig?	SCORE	SCORE	SCORE
2.1 Har man tilgjengelig inngangsdata (i riktig tidsmessig og romlig oppløsning) som kreves for å kjøre modellen tilfredsstillende?	+	0	+
2.2 Har man tilgjengelig kalibrerings-/evalueringsdata for modellen?	-	0	-
2.3 Har modelløren kjennskap og erfaring om modellen og eventuelt om modellanalyseteknikker (usikkerhets-/følsomhetsanalyse, kalibrering), hvis disse skal brukes?	0	+	0
2.4 Finnes det lignende tidligere vellykkede og veldokumenterte modellapplikasjoner?	+	0	+

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

Utgitt i rapportserien Miljøbasert vannføring, fase II

- Nr. 1-09 Brian Glover, John Brittain og Svein Jakob Saltveit: Evaluering av ordningen med prøvereglement (49 s.)
- Nr. 2-09 Knut Alfredsen, Tommi Linnansaari, Atle Harby, Ola Ugedal: Pilotstudie tilsigsstyrt minstevassføring (41 s.)
- Nr. 3-09 Lars Størset: Miljøvirkninger av vannkraft - forslag til undersøkelsesmetodikk (51 s.)
- Nr. 4-09 Odd Inge Vistad, Joar Vittersø, Oddgeir Andersen, Hogne Øian, Tore Bjerke: Hvor viktig er vatn og vassføring for friluftsliv? Brukerstudier om aktiviteter, opplevelser, holdninger, kraftutbygging og konsesjonsvilkår (84 s.)
- Nr. 5-09 Atle Harby (red.): Modeller for simulering av miljøkonsekvenser av vannkraft (50 s.)