

Håndbok for miljødesign i regulerte laksevassdrag

Redaktører:

Torbjørn Forseth og Atle Harby

CEDREN

Centre for Environmental Design of Renewable Energy



Håndbok for miljødesign i regulerte laksevassdrag

Redaktører:

Torbjørn Forseth¹ og Atle Harby²

Medforfattere:

Ola Ugedal¹, Ulrich Pulg³, Hans-Petter Fjeldstad²,
Grethe Robertsen¹, Bjørn Barlaup³, Knut Alfredsen⁴,
Håkon Sundt², Svein Jakob Saltveit⁵, Helge Skoglund³,
Eli Kvingedal¹, Line Elisabeth Sundt-Hansen¹, Anders
Gravbrøt Finstad¹, Sigurd Einum⁴ og Jo Vegar Arnekleiv⁴

NINA¹ SINTEF² Uni Miljø³ NTNU⁴ UiO⁵



Forseth, T. & Harby, A. (red.). 2013. Håndbok for miljødesign i regulerte laksevassdrag. - NINA Temahefte 52. 1-90 s.

Trondheim, september 2013

ISSN: 0804-421X

ISBN: 978-82-426-2589-2

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

GRAFISK FORMGIVING

Kari Sivertsen/NINA

OMSLAGSFOTO

Anders G. Finstad/NINA og Bjørn Barlaup/Uni Miljø
Fotomontasje

OPPLAG

350



KONTAKTOPPLYSNINGER

Norsk institutt for naturforskning (NINA)

Postadresse: Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim

Besøksadresse: Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00

<http://www.nina.no>

CEDREN

SINTEF Energi AS,

Postadresse: Postboks 4761 Sluppen, 7465 Trondheim

Besøksadresse: Sem Sælands vei 11, 7034 Trondheim

Telefon 73 59 72 00

www.cedren.no

CEDREN - Centre for Environmental Design of Renewable Energy: Forskning for teknisk og miljøriktig utvikling av vannkraft, vindkraft, overføringslinjer og gjennomføring av miljø- og energipolitikk.

SINTEF Energi, NINA og NTNU er hovedforskningspartnere, med en rekke energiselskaper, norske og internasjonale FoU-institutter og universiteter som partnere.

Senteret finansieres av Forskningsrådet, energiselskaper og forvaltning gjennom ordningen med forskningssentre for miljøvennlig energi (FME). FME-ordningen består av tidsbegrensede forskningssentre som har en konsentrert, fokusert og langsiktig forskningsinnsats på høyt internasjonalt nivå for å løse utpekte utfordringer på energi- og miljøområdet.

Innhold

Innhold	4
Forord	6
Om håndboka	8
Til leseren	12
Viktig om lakseproduksjon.....	14
Noen begrep og definisjoner	16
Del I – Diagnose	18
Laksebestanden	20
Habitatflaskehalsen.....	21
Hydrologiske flaskehalsen.....	24
Informasjon fra bestandsdata.....	33
Samlet vurdering av produksjonsforhold og flaskehalsen.....	33
Kraftproduksjon	36
Installasjoner.....	37
Restriksjoner for kraftproduksjon.....	38
Alternative driftsmønstre	38
Type påvirkningseffekt fra regulering.....	39
Andre reguleringseffekter	40
Muligheter for endringer og utvidelse.....	42
Samlet beskrivelse av kraftproduksjonssystemet og miljøeffekter.....	43
Metodeverktøy for diagnose	44
D1 Kartlegging av elveklasse, substrat og skjul.....	44
D2 Kartlegging av gytehabitat	50
D3 Vanddekt areal ved ulike vannføringer.....	52
D4 Hydrologisk variasjonsanalyse.....	53
D5 Temperaturmodellering.....	55
D6 Temperaturrespons	57
D7 Innsamling av bestandsdata.....	60

Del 2 – Designløsninger	62
Vannbruk.....	64
Vanntemperatur.....	64
Vannføring og vannbank.....	64
Utvidelser.....	71
Vannforhandlinger.....	73
Habitattiltak.....	74
Samlet tiltaksplan.....	76
Tiltaksmetodikk.....	78
T1 Rensing av nedaurede grusbanker og oppvekstområder.....	78
T2 Utlekking av gytegrus.....	78
T3 Etablering av skjul.....	82
T4 Restaurering av naturlig grustransport og fjerning av terskler.....	86
T5 Omforming av elveløpet til "elv i elva".....	87
Lesestoff	88

Forord

Håndbok for miljødesign i regulerte laksevassdrag er det viktigste sluttproduktet fra prosjektet EnviDORR (Environmentally Designed Operation of Regulated Rivers), populært kalt “mer laks og mer kraft”. Gjennom tverrfaglig forskning har vi i sett på mulighetene til å forene hensynet til både laks og kraftproduksjon, og håndboka viser hvordan dette kan gjøres. For å få til dette har forskerne bak boka måttet være dristige. Vi har svært sterke fagmiljø innenfor laksebiologi, ingeniør- og geofag knyttet til vannkraft i Norge, men fortsatt vet vi ikke vet alt om de komplekse sammenhengene mellom kraftproduksjon, miljøforhold og bestandsdynamikk hos laks. Samtidig skal forvaltning og industri i de nærmeste årene ta viktige avveininger mellom miljø og kraftproduksjon i en rekke vassdrag. Forskergruppa har derfor måtte gjøre noen valg, basert på «det beste vi nå vet». Vi håper imidlertid at dette i seg selv skal være drivende for videre utvikling av kunnskap, og at håndboka skal bli et dynamisk produkt som utvikles ettersom ny kunnskap tilkommer.

EnviDORR har vært finansiert av RENERGI-programmet i Norges forskningsråd, og ble en del av forskningssentret CEDREN da det ble opprettet i 2009. Prosjektet har mottatt betydelig finansiering fra vannkraftindustrien og forvaltningen, og jeg vil benytte anledningen til å takke våre brukerpartnere for både økonomiske og faglige bidrag: Statkraft, Agder Energi, BKK, E-CO Vannkraft, Sira-Kvina kraftselskap, TrønderEnergi, Energi Norge (med flere medlemsbedrifter), Norges vassdrags- og energidirektorat og Direktoratet for naturforvaltning (nå Miljødirektoratet). I tillegg har Hydro, Statnett og Eidsiva bidratt som industripartnere i CEDREN

Det er mange som har bidratt for at denne håndboka skulle realiseres, og ikke alle er medforfattere. Jeg vil spesielt nevne og takke Maxim Teichert (PhD-student i prosjektet), Lena S. Tøfte, Arne J. Jensen, Nils-Arne Hvidsten, Sven Erik Gabrielsen og Julie Charmasson som på ulike måter har bidratt til at prosjektet nådde sine mål og til håndboka. Jeg takker også de av våre brukerpartnere som bidro med konstruktive kommentarer til tidligere utkast. Vi har underveis presentert konseptet for CEDRENs vitenskapelige komite og fått nyttige kommentarer, spesielt fra Klaus Jorde og Daniel Boisclair. Jostein Skurdal har vært flittig korrekturleser i innspurten.

Lillehammer, september 2013

Torbjørn Forseth
Prosjektleder



Foto: Ulrich Pulg

Om håndboka

Håndbok for miljødesign i regulerte laksevassdrag beskriver hvordan man kan utrede, utvikle og gjennomføre tiltak som bedrer forholdene for laks i regulerte vassdrag samtidig som man tar hensyn til kraftproduksjon. Miljødesign for laks er et konsept hvor man i regulerte vassdrag spesialtilpasser miljøforholdene etter laksens krav. Håndboka er primært skrevet for de som skal utføre analyser og utredninger av problematikk knyttet til laks i regulerte vassdrag, men vil også gi en god oversikt over problematikk, metoder, verktøy og løsninger for regulanter, forvaltere og andre interessenter. Forvaltere kan også bruke håndboka som utgangspunkt for påleggsundersøkelser, mens vannkraftbedrifter kan bruke den i bestilling av undersøkelser. Håndboka vil også forhåpentligvis gi bedre innsikt i mulighetsrommet for å forbedre forholdene for laks samtidig som kraftproduksjon så langt som mulig kan opprettholdes eller økes.

Kraftproduksjon og vassdragsreguleringer endrer de fysiske forholdene i vassdrag og dermed miljøbetingelsene for laksebestander. En regulering åpner imidlertid samtidig for muligheten til å designe miljøforhold som er gunstige for laks. Noen vassdragsreguleringer og inngrep i Norge har vært svært negative for laks, andre har gitt moderate reduksjoner i lakseproduksjon eller ingen endringer, mens det i et fåtall vassdrag er sannsynliggjort at lakseproduksjonen har økt etter regulering. En rekke samfunnsforhold tilsier at det bør arbeides med å redusere tilfeller med dårlige miljøbetingelser for laks. Samtidig er det på grunn av klimautfordringene et uttalt mål at produksjonen av fornybar kraft skal økes. Derfor er det viktig at bedring av lokale miljøforhold skjer med så lite tap i kraftproduksjon som mulig. Myndighetene fokuserer også på mulighetene for utvidelser av kraftproduksjon i forbindelse med tiltak for å bedre miljøforhold. Forhold for laks er et prioritert tema i konsesjons- og revisjonssaker. Denne håndboka beskriver metodiske tilnærminger for å finne de gode løsningene både for laks og kraftproduksjon. Selv om håndboka primært omhandler forhold for laks, vil mange elementer være overførbart til andre fiskearter, spesielt sjøaure.

Håndboka bygger i stor grad på arbeidet som er utført i prosjektet EnviDORR (Environmentally Designed Operation of Regulated Rivers) innen forsknings-sentret CEDREN (Centre for Environmental Design of Renewable Energy). EnviDORR er finansiert av RENERGI-programmet i Norges forskningsråd med betydelig finansiering fra vannkraftindustrien og forvaltningen. I dette prosjektet



Foto: Helge Skoglund

har vi fylt viktige kunnskapshull om miljødesign og i utvalgte vassdrag demonstrert at man med god kunnskap og tverrfaglig samarbeid (økologi, hydrologi og kraftverksdrift) kan finne gode løsninger. Håndboka bygger også på eksisterende kunnskap om økologi og bestandsdynamikk hos laks, både internasjonalt og nasjonalt. I Norge har vi en hundreårig historie med forskning på laks, og fagmiljøene som er etablert er ledende internasjonalt. Fagmiljøene har gjennom de siste 50 årene gjennomført utallige utrednings- og forskningsprosjekter knyttet spesifikt til laks i regulerte vassdrag. På grunn av Norges satsing på vannkraft har vi også meget sterke fagmiljøer innenfor ingeniør- og geofag knyttet til vannkraft. Tradisjonelt har disse fagmiljøene ofte arbeidet hver for seg, men gjennom de siste år er det bygd opp et tverrfaglig samarbeid som er et viktig grunnlag for tankegangen om miljødesign, og som nå er organisert som et eget forskningssenter – CEDREN.

Fortsatt er det slik at vi ikke vet alt om de svært komplekse sammenhengene mellom miljøforhold og bestandsdynamikk hos laks, og det er mye vi skulle hatt mer kunnskap om. Dette kan imidlertid ikke være til hinder for at vi som forskere må gi råd nå, i en tid der forvaltning og industri skal ta viktige avgjørelser om forholdet mellom miljøforhold og kraftproduksjon i en rekke vassdrag. Revisjoner av vilkår, vanndirektivet og ny lovgiving tilsier at «toget går nå». Forskergruppa har derfor valgt å lage denne håndboka, basert på «det beste vi nå vet». I denne prosessen må vi gjøre valg om hvordan vi tror sammenhengene mest sannsynlig er og hva som er de viktigste flaskehalsene for lakseproduksjon. Håndboka bygger derfor også på forskerseminar som har vært gjennomført innen EnviDORR, og de mange fagdiskusjonene som har foregått innen og mellom de ulike faggruppene.

«Miljødesign i regulerte laksevassdrag» er en innovasjonsprosess. Ideene og konseptet er utviklet og til en viss grad evaluert i noen vassdrag. Først når løsninger er implementert og etterprøvd over tid har vi et fullt utviklet innovasjonsprodukt. Denne håndboka er således en første versjon, som er planlagt revidert ettersom det bygges opp erfaring fra praktisk bruk og ny kunnskap tilkommer.

For at håndboka ikke skal få for mye form av en lærebok, for å gi bedre lesbarhet og for å holde volumet nede har vi valgt ikke å inkludere omfattende faglige begrunnelser og referanser. Kunnskapen er dokumentert gjennom primærlitteraturen og litteraturoppsummeringer i rapport og bokform. Utvalgte og særlig relevante artikler, bøker og rapporter er gitt bakerst i boka. I tillegg presenterer vi innledningsvis litt viktig og ny kunnskap om laks som har spesielt stor betydning i håndboka.

Håndboka er organisert i to hoveddeler som beskriver henholdsvis hvordan man kan stille en diagnose og hva slags designløsninger man kan bruke. Til hver av delene er det knyttet konkrete beskrivelser av metodikken som benyttes.

Samlet sett gir håndboka et program for hvordan man i et regulert laksevassdrag kan utrede grunnlaget for og utvikle forslag til løsninger som på best mulig måte ivaretar hensynet til både laks og kraft. Programmet baserer seg på en tverrfaglig tilnærming og vil kreve kompetanse både på lakseøkologi, hydrologi, hydraulikk og kraftverksdrift.

EnviDORR har også hatt omfattende aktivitet knyttet til toveis laksevandringer forbi kraftverksinstallasjoner. Vi har imidlertid valgt ikke å inkludere dette temaet i håndboka. Det er planlagt en betydelig opptrapping av aktiviteten på dette temaet, og dersom aktiviteten blir finansiert (Forskningsrådet, kraftbransjen og forvaltning) vil det komme en egen håndbok på designløsninger for fiskevandringer i regulerte vassdrag. I den foreliggende håndboka forutsetter vi i utgangspunktet at tekniske løsninger for oppvandring av voksen laks og utvandring av smolt og vinterstøinger er løst eller vil bli løst.

CEDREN har også en stor aktivitet knyttet til hurtige endringer i vannføring og vannstand (effektkjøring) og virkninger på laks gjennom prosjektet EnviPEAK. Resultater og råd for kraftverksdrift knyttet til effektkjøring og variasjoner i vannføring og vannstand vil bli presentert i egne rapporter fra dette prosjektet, og vi beskriver derfor ikke verken effekter eller tiltak knyttet til hurtige vannstandsendringer i denne håndboka.

Til leseren

For å lette lesingen og gi en bedre forståelse av prosedyrene fram til gode tiltak i regulerte laksevassdrag beskriver vi i **figur 1** den overordnede strukturen for miljødesignkonseptet. Håndboka er organisert i to hoveddeler. Del 1 beskriver hvordan man kan stille en diagnose, og del 2 beskriver hvordan gode designløsninger kan utvikles og gjennomføres.

Prosedyren fram til en diagnose er beskrevet i del 1 – Diagnose, og starter med datainnsamling om habitatforhold, hydrologi, laksebestanden og kraftverkssystemet. Flere klassifiseringssystemer bygger deretter systematisk opp mot en oppsummerende tabell hvor de habitatmessige og hydrologiske flaskehalsene for lakseproduksjon identifiseres og rangeres. Denne tabellen er diagnosen, som sammen med en tilsvarende tabell for kraftproduksjon og regulerings effekter er hovedgrunnlaget for vurdering av tiltak. I håndboka er verktøy som benyttes til datainnsamling og analyse beskrevet i egne kapitler (merket **D1** til **D7**) bakerst i diagnosedelen (del 1). Disse er først og fremst skrevet for de som skal gjennomføre kartleggingen, men er selvsagt nyttige for de som bestiller eller pålegger undersøkelser.

Når diagnosen er stilt skal det utvikles designløsninger. Prosedyrene for å finne gode løsninger og metodikken for å gjennomføre disse er beskrevet i håndbokas del 2 – Designløsninger. I utgangspunktet kan de identifiserte habitatflaskehalsene håndteres med habitattiltak og de hydrologiske flaskehalsene med vannbruk (endringer i vannføring eller vanntemperatur). Imidlertid ligger ofte de beste løsningene i kombinasjoner av flere tiltak, hvor kostnader ved vannbruk veies mot gevinsten for laksebestanden slik at vannet brukes når det trengs mest. I noen tilfeller kan kostbart vannbruk erstattes av habitattiltak, og i andre tilfeller kan utvidelser i kraftproduksjonssystemet gi økte muligheter for miljødesignet vannbruk. I arbeidet fram mot de beste løsningene for vannbruk kan flere hjelpeverktøy brukes. Verktøyene hjelper til å gjøre avveininger (rett tiltak til rett tid og på rett plass), og gjør det mulig å estimere effekter av ulike tiltakspakker. Når en samlet tiltaksplan er utviklet kan habitattiltakene gjennomføres i tråd med tiltaksmetodikk, beskrevet i egne kapitler (merket **T1** til **T5**) bakerst i del 2.

Figur 1. Strukturen i miljødesignkonseptet som presenteres i håndboka med henvisning til bokas hoveddeler. Merk at fargekodingen i diagrammet er den samme som i bokas hoveddeler.

Del 1 – Diagnose

Verktøy (D1-D7)

DATAINNSAMLING OG VERKTØY

- Kartlegging av elveklasser, substrat og skjul
- Kartlegging av forekomst og spredning av gytehabitat
- Sammenheng mellom vanndekt areal og vannføring
- Hydrologisk variasjonsanalyse
- Temperaturdata eller modellering
- Innsamling av bestandsdata
- Beskrivelse av kraftproduksjonssystemet og regulerings effekter

SYSTEMATISERING OG KLASSIFISERING

- Laksebestanden
- Kraftproduksjon

DIAGNOSE

Habitatflaskehals

- Skjul
- Gyteområder

Hydrologiske flaskehals

- Vannføring:
 - sommer- og vintervannføring
 - gytevannstand
 - smoltvannføring
 - 0+ habitat
 - homogenisering av elveløp
 - habitatforringelse
- Vanntemperatur:
 - 0+ vekst
 - smoltalder

Del 2 – Designløsninger

Tiltaksmetodikk (T1-T5)

DESIGNLØSNINGER OG TILTAKSMETODIKK

Habitattiltak

- Skjul
 - rensing av grusbanks
 - etablering av skjul
 - terskjelfjerning og annen restaurering
 - "elv i elv"
- Gytehabitat
 - rensing
 - utlegging av gytegrus

Vannbruk

- Vanntemperatur
 - fleksible tappeløsninger
 - vannmengder i nøkkelperioder
 - ulike vannveier
- Vannføring
 - økt minste vannføring
 - omfordeling
 - gytevannføring
 - situasjonsavhengige slipp
 - utvidelser

HJELPEVERKTØY

- Byggeklossmetoden
- Vannbank
- Varighetskurver for vannføring
- Prioriteringstabell
- Vannforhandlinger
- Effektestimater for vannbruk
- Effektestimater for habitattiltak

Viktig om lakseproduksjon

Sentrale mekanismer i produksjonen av laksesmolt er bestandsreguleringen som oppstår på grunn av tetthetsavhengig vekst og overlevelse. Kunnskap om disse mekanismene, som har økt betydelig de siste åra, er helt sentral i håndbokas valg av tilnærminger og klassifiseringssystemer. Bestandsregulering er de mekanismer som gjør at bestandsstørrelsen ikke svinger ukontrollert i takt med miljøforholdene og er grunnlaget for at vi kan definere et vassdrags bærekapasitet for laks. Veksten og overlevelsen til fisken er på den ene siden avhengig av antall fisk i et område (bestandstetthet), og på den annen side, tilgang på ressurser i form av habitat og næring. Dersom tettheten er høy i forhold til ressurstilgangen kan vekst og overlevelse bli lavere og bestandsstørrelsen tilpasses miljøets bærekapasitet. Bestanden har da vært gjennom en tetthetsavhengig flaskehals. Slike flaskehals kan forekomme i ulike stadier av fiskens liv - under gyting, første sommer etter klekking og på parrstadiet. Hver bestand og hvert vassdrag er unikt, og det er nødvendig å identifisere stadiene for bestandsregulering og de begrensende ressursene for hvert vassdrag og for hver strekning innen et vassdrag.

Nyere forskning har avdekket at bestandsreguleringen i hovedsak foregår på en mye mindre skala enn på vassdragsnivå. Spredningen av gyteområder har stor effekt på fiskeproduksjonen fordi yngelen har begrenset evne til å flytte seg. Den lokale tettheten og dermed den tetthetsavhengige dødeligheten hos avkommet (yngelen) kan bli høy nær gyteområdet, samtidig som områder noe lengre unna gyteområdene har få eller ingen yngel.

For lakseparr er det vist at tilgang til skjul, i form av hulrom mellom steiner, kvist, røtter og vegetasjon er svært viktig for å unngå predasjon og for å redusere energiforbruket (få hvile). Selv om mobiliteten øker ettersom laksungene vokser er det også vist at ikke bare mengden av skjul for lakseparr, men også den romlige fordelinga i vassdraget har betydning for smoltproduksjonen. Også for parr foregår mye av bestandsreguleringen altså på en betydelig mindre romlig skala enn hele vassdraget, fordi parr ofte ikke sprer seg slik at alle skjulmuligheter i et vassdrag utnyttes maksimalt. Tetthetene av parr i noen områder, særlig nær gyteområdene, blir således spesielt høye (med redusert vekst og høy dødelighet som resultat) mens andre områder har tettheter under bærekapasiteten. Årsaken til begrenset spredning er trolig dels at lengre forflytninger er kostbare

eller risikofylte (slik at fisken helst unngår å vandre langt), og dels kan vanskelige vandringsforhold og vandringshindre (på grunn av begrenset svømmekapasitet) gjøre at ungfiskbestanden blir fragmentert. En ideell lakseelv har således godt spredte og store nok gyteplasser og god tilgang til skjulområder i nærhet av gyteplassene. I begge tilfellene ovenfor har bestanden vært gjennom en flaskehals, med henholdsvis forekomst og spredning av gyteplasser og skjul som begrensende ressurser. Vi kaller dette habitatflaskehals.

Fordi tetthetsavhengig vekst og overlevelse er så viktig for laksebestander og fordi hydrologiske forhold er viktig for fisketetthet, kan vi også snakke om hydrologiske flaskehals. Det er opplagt at vannføring gjennom å bestemme vanndekt areal påvirker tettheten av fisk på en strekning. Når vannføringen er høy og det vanndekte arealet er stort fordeles fiskene over et stort område og tettheten er lav, mens når vannføringen og vanndekt areal avtar så øker tettheten (gitt at andre forhold er likt). Lavvannsperioder om vinteren og sommeren kan således utgjøre flaskehals som på grunn av tetthetsavhengig dødelighet presser bestandsstørrelsen ned til et nivå lavere enn habitatforholdene ellers tilsier.

Selv om andre miljøfaktorer ikke er like opplagt knyttet til fisketetthet som faktorene som er beskrevet ovenfor, og ofte benevnes som tetthetsuavhengige eller begrensende faktorer, er skillet mellom tetthetsavhengige og uavhengige faktorer sjelden klart. Flere faktorer som intuitivt framstår som tetthetsuavhengige (som for eksempel flommer som kan gi dødelighet hos nyklekket yngel) kan også ha tetthetsrelaterte komponenter (tilgang til skjul som gjør at dødeligheten er avhengig av fisketettheten før flommen). Et hovedprinsipp er at variasjon (for eksempel mellom år) i miljøfaktorer (som vanntemperatur, vannføringsforhold, næringstilførsel) gir variasjon i bærekapasiteten til miljøet, og tetthetsavhengige prosesser gjør at bestandsstørrelsen følger denne variasjonen. I håndboka omtaler vi alle faktorer som på ulike måter begrenser lakseproduksjonen som flaskhals.

Noen begrep og definisjoner

I håndboka definerer og bruker vi noen begreper som er samlet i denne lista. Begrepsbruken og definisjonene er tilpasset bruken i håndboka, og samsvarer ikke alltid helt med mer generelle definisjoner og bruk av begrepene.

Elvestrekning: En del av et vassdrag som har samme reguleringseffekt og lignende vannføring- og vanntemperaturforhold.

Elvesegment: En del (som oftest 500-1000 m lang) av en elvestrekning som har relativt homogene habitatforhold og der det ikke er vandringshindre for ungfisk.

Habitat: Brukes om fysiske forhold i elva og elvebunnen.

Restvannstreking: En elvestrekning hvor vannføringen er redusert fordi vann er fraført og hvor det ikke er pålegg om slipp av vann.

Minstevannstreking: En elvestekning hvor vannføringen er redusert fordi vann er fraført, men hvor det er pålegg om slipp av minstevann.

Nedstrømsstreking: En elvestrekning nedstrøms utløp fra et kraftverk der vannføringen er avhengig av lagringskapasitet i magasinene og vannsystemet, og hvor vannføringen enten er a) tilnærmet naturlig, b) omfordelt mellom sesonger eller c) både økt og omfordelt mellom sesonger.

Gytevannstand: Er forholdet mellom vannstand under gyteperioden (i cm) og laveste ukemiddel (og i noen tilfeller døgnmiddel) vannstand påfølgende vinter.

Vinteren: Perioden fra temperaturen i gjennomsnitt kommer under seks grader om høsten til den passerer seks grader om våren.

Smoltutvandringsperioden: En fire ukers periode om våren når det aller meste av smolten vandrer ut fra et vassdrag. Starten kan variere mellom år.

Vekstperioden: Fire til seks uker etter swim-up eller temperaturøkningen om våren, når det meste av veksten til henholdsvis årsyngel og parr foregår.

Bestandsflaskehalser eller bare flaskehalser: Brukes relativt bredt om miljøfaktorer som bidrar til redusert bestandsstørrelse i løpet av laksens liv i vassdragene. Inkluderer både klart tetthetsavhengige flaskehalser (som i perioder gir store reduksjoner i bestandsstørrelse) og mer eller mindre tetthets uavhengige miljøfaktorer som reduserer bestandsstørrelser (som også kan kalles begrensende faktorer).

Laksyngel: Årsyngelen (0+) den første sommeren i elva.

Laksepar: Samlebetegnelse for eldre laksunger.

Presmolt: Parr som er store nok om høsten til at de trolig vil vandre ut som smolt våren etter.



Foto: Helge Skoglund

Del I — Diagnose

I diagnosefasen gjøres det separate vurderinger av laksebestanden og kraftverks-systemet. Hovedformålet er å identifisere flaskehals for lakseproduksjonen, og å identifisere restriksjoner og muligheter innenfor kraftproduksjonssystemet. I denne fasen kan man vurdere hva som vil være gunstig for laksebestanden og kraftproduksjonen hver for seg. I håndboka deles vassdrag opp i *strekninger* som har like hydrologiske forhold, og *segmenter* innenfor hver strekning som er habitatmessige enheter (**figur 2**). Når vi i denne håndboka bruker begrepet habitat mener vi fysiske forhold i elva og elvebunnen.

En *elvestrekning* defineres som en del av elva som har samme reguleringseffekt og lignende vannføring- og vanntemperaturforhold. Det skal således verken være kraftverksutløp, inntak eller demninger på strekningen, eller sidevassdrag som bidrar vesentlig til økt vannføring eller endret temperatur. Avhengig av totalstrekningens størrelse og lengde anbefales det som hovedregel at strekningene deles i *segmenter* med lengder på mellom ca 500 og 1000 m. Små vassdrag har kortere segmenter enn store, og segmentene trenger ikke å være like lange (og er i noen tilfeller kortere eller lengre enn hovedregelen). Følgende kriterier brukes som grunnlag for inndelingen:

- 1 Det skal ikke være vandringshindre for ungfisk innenfor et segment (kraftige stryk eller mindre fosser som voksen fisk passerer, men som er vanskelige for ungfisk)
- 2 Habitatforholdene, i form av substratstørrelser og skjultilgang (se **D2**), skal være så like som mulig. Det skal for eksempel ikke være klare skifter fra områder med stor stein og mye skjul til større områder dominert av sand eller berg innen et segment.

Inndelinger i strekninger og segment kan skisseres ut fra flyfoto (ortofoto) og fastsettes endelig under kartlegging av habitat og elveklasser. Inndelingen gjelder for all datainnsamling og alle analyser i denne håndboka, både for biologiske, habitatmessige og hydrologiske forhold.

I de neste kapitlene beskriver vi hvordan laksebestanden og kraftproduksjonssystemet bør kartlegges og vurderes.

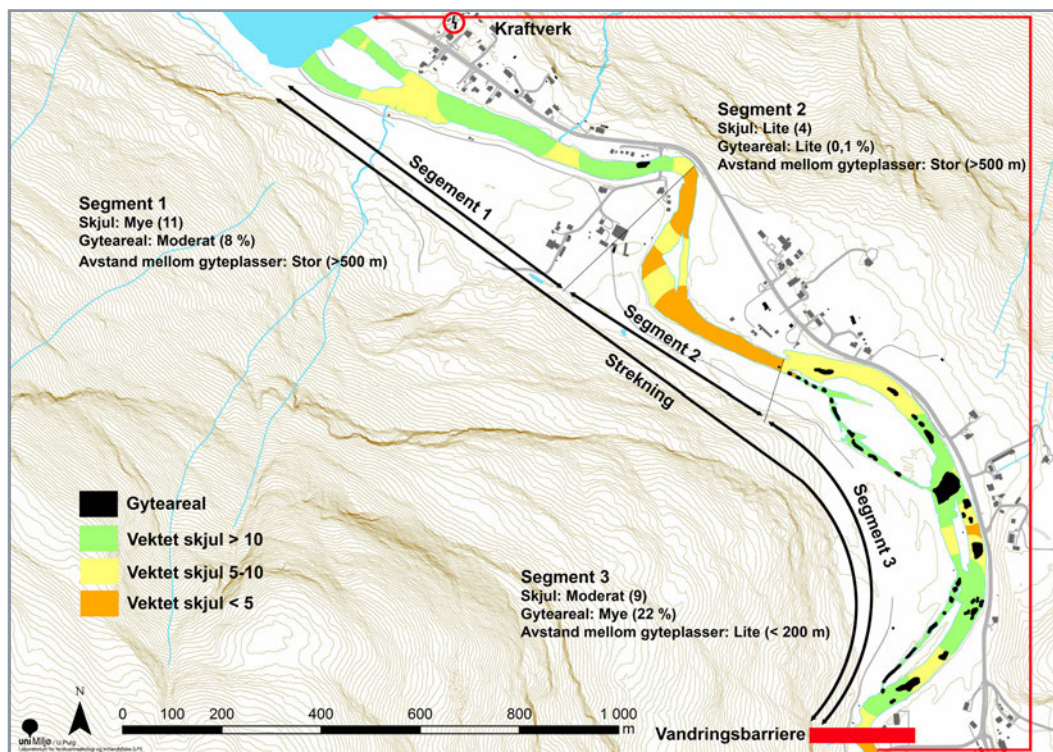


Foto: Anders G. Finstad

Laksebestanden

Hovedmålet med diagnosen er å identifisere habitatmessige og hydrologiske flaskehalsar for lakseproduksjonen samt flaskehalsar som oppstår i samspill mellom habitatforhold og hydrologiske forhold. For å få til det må man identifisere på hvilket stadium eller hvilke stadier når bestandsreguleringen i hovedsak foregår. En tilnærming til dette er å kartlegge habitatforhold og gjennomføre hydrologiske analyser. Tetthetsavhengige flaskehalsar kan forekomme under gyting, første sommer etter klekking og senere i ungfiskens liv. Hver bestand og hvert vassdrag er unikt, og det er nødvendig å identifisere stadiene for bestandsregulering og de begrensende ressursene for hvert vassdrag. Det kan også være slik at stadium for bestandsregulering varierer mellom ulike deler av et vassdrag.

Figur 2. Illustrasjon av inndeling i strekninger og segment og eksempel på hvordan forekomst av skjul og gyteområder kan illustreres på kart.



Habitatflaskehals

Stadium for bestandsregulering og således habitatflaskehalsene kan utredes gjennom kartlegging av habitat. Ytterligere informasjon kan innhentes ved å samle inn data om aldersstruktur i ungfiskbestanden (se Informasjon fra bestandsdata). De to viktigste habitatfaktorene (ressursene) som må kartlegges i felt er skjul (D1) og gytehabitat (D2). For begge ressursene må man beregne den totale mengden og beskrive den romlige fordelingen (spredningen) i elvestrekningene. Det kan være nyttig å tegne fordelingen av ressursene på kart, for eksempel som illustrert i **figur 2**, som grunnlag for en vurdering av ressursen på både strekning og segmentnivå.

Spredningen av gyteområdene har stor effekt på fiskeproduksjonen fordi yngelen har begrenset evne til å flytte seg. Dette medfører at den lokale tettheten og dermed den tetthetsavhengige dødeligheten kan bli høy (nær gyteområdet), samtidig som områder noe lengre unna gyteområdene har få eller ingen yngel. I **tabell 1** har vi utviklet et system hvor vi både vurderer gytehabitatets størrelse og spredning (avstand mellom gyteområdene) til en samlet klassifisering av gytehabitat for hvert elvesegment.

Foto: Ulrich Pulg



Tabell 1. Et system for samlet klassifisering av gytehabitat basert på gytearealets størrelse (innenfor hvert segment) og spredning (gjennomsnittlig avstand mellom gytehabitat, på tvers av segmenter). Grenseverdiene for lite, moderat og mye gytehabitat er foreløpige, og kan bli justert når det foreligger flere erfaringstall fra norske vassdrag.

		Mengde av gytehabitat som % av elveareal		
		Lite (<1 %)	Moderat (1-10 %)	Mye (>10 %)
Avstand mellom gytehabitat (på tvers av segment)	Stor (>500 m)	Lite	Lite	Moderat
	Moderat (200-500 m)	Lite	Moderat	Mye
	Liten (<200 m)	Moderat	Mye	Mye

Skjul måles direkte i felt (DI) og klassifiseres ut fra gjennomsnittlig skjultilgang (tabell 2). Den romlige fordelingen (spredningen) innenfor strekningene framkommer ut fra fordelingen av skjul i hvert segment innenfor strekningen.

Tabell 2. Et system for klassifisering av skjultilgang basert på feltmålinger av skjul (DI) og beregning av veid (med dybden på skjul) gjennomsnittlig skjulmengde (antall) innenfor hver elvesegment.

Skjultilgang (antall veid med dybde)		
Lite	Moderat	Mye
<5	5-10	>10

Basert på kartleggingen og klassifiseringen av mengde og spredning av gytehabitat og skjul (tabell 1 og 2) kan man identifisere på hvilket stadium bestandsreguleringen mest sannsynlig skjer (tabell 3). Med utgangspunkt i samme kartlegging og klassifisering kan man også anslå vassdragets sannsynlige produktivitet og om flaskehalsene er knyttet primært til tilgang på gytehabitat eller til tilgang på skjul, til begge ressursene eller til «ingen» av dem (tabell 4).

Tabell 3. Identifisering av sannsynlig stadium for bestandsregulering ut fra klassifisering av mengde og fordeling av gytehabitat og skjultilgang. Yngel er årssyngelen (0+) den første sommer i elva, mens parr er en samlebetegnelse for eldre laksunger. Det foregår bestandsregulering også der det er både mye skjul og mye gytehabitat, og den begrensede faktoren og stadium for regulering er i tabellen beskrevet som Ukjent.

		Gytehabitat		
		Lite	Moderat	Mye
Skjul	Lite	Yngel+Parr	Parr+Yngel	Parr
	Moderat	Yngel	Yngel+Parr	Parr
	Mye	Yngel	Yngel	Ukjent

Tabell 4. Klassifisering av elvesegmentets produktivitet for laks (blått er lavproduktivt, gult er moderat produktivt og grønt er høyproduktivt) ut fra forekomst og fordeling av gytehabitat og skjul. Begrensende habitatfaktor er Gyte= gytehabitat, Skjul=skjultilgang, eller Begge=både skjul og gytehabitat. Ingen begrensende faktor betyr at hverken skjul eller gytehabitat er viktige begrensende faktorer.

		Gytehabitat		
		Lite	Moderat	Mye
Skjul	Lite (<5)	Begge	Skjul	Skjul
	Moderat (5-10)	Gyte	Begge	Skjul
	Mye (>10)	Gyte	Gyte	Ingen

Det er ikke bare mengden og den romlige fordelingen av gytehabitat og skjul hver for seg som er viktig for produksjonen, men også om det er god romlig sammenheng mellom forekomst av gyteområder og skjul. Årsaken til dette er at både yngel og parr har begrenset mobilitet, og flytter seg kort og gradvis fra klekkestedet, særlig i yngelstadiet (første sommer). Med økende størrelse og alder øker mobiliteten. For optimal fiskeproduksjon bør både gyteområder og skjulmuligheter finnes innenfor hvert segment, og vassdrag eller strekninger der det er stor avstand mellom gyteområder og områder med mye skjul kan ha lavere fiskeproduksjon. Tabellen ovenfor må derfor fylles ut for elvesegmenter. En segmentvis framstilling (se eksempel i **tabell 5**) gir en beskrivelse av produktivitet (gitt av fargekodene i **tabell 4**) i ulike deler av vassdraget som også er sentralt når man skal vurdere både vannføringsmessige og habitatmessige tiltak.

Tabell 5. Eksempel på klassifisering av produktivitet (blått=lav, gult=moderat og grønt=høy) på elvesegmentnivå (500-1000 m lange) og den viktigste habitatflaskehalsen i segmentene.

Segment	Produktivitet	Habitatflaskehals
1	Lav	Skjul
2	Lav	Skjul
3	Moderat	Gytehabitat
4	Lav	Skjul
5	Høy	Gytehabitat
6	Høy	Ingen
7	Høy	Ingen
8	Høy	Ingen
osv.	Høy	Ingen

Hydrologiske flaskehalsar

Vi har ovenfor beskrevet hvordan fysiske forhold i elvebunnen kan gi habitatmessige flaskehalsar. Hydrologiske forhold gir på samme måte grunnlag for flaskehalsar ved at de bestemmer størrelsen på det totale leveområdet for bestanden (vanndekt areal) og kvaliteten på området (temperatur og vannhastighet). Mens de habitatmessige flaskehalsene må beskrives på segmentskala (500-1000 meter lange), kan flere av de hydrologiske flaskehalsene beskrives og klassifiseres på en større romlig strekningskala med like hydrologiske forhold (vannføring og vanntemperatur). Til grunn for å identifisere hydrologiske flaskehalsar ligger analyser av vanndekt areal som funksjon av vannføring (D3), en hydrologisk variasjonsanalyse (D4), modellering av temperaturendringer (D5) og biologiske effekter av temperaturendringene (D6).

Vannføring

Vanndekt areal er den ytre rammen for lakseproduksjonen i et vassdrag. Vanndekt areal varierer med vannføringen, men formen på sammenhengen er avhengig av elvesengas profil og bør således beskrives på segmentnivå. Vi tar som utgangspunkt at det er tilnærmet proporsjonalitet mellom vanndekt areal og fiskeproduksjon, slik at om vanndekt areal øker med 20 % så øker lakseproduksjonen også med 20 %. Dette forutsetter at nye arealer som blir tilgjengelig har tilnærmet samme habitatkvalitet som eksisterende areal. Vi antar at dette er gyldig til vannføringen blir så stor at arealet domineres av vannhastigheter som overskrider kritiske grenser for nyklekket yngel (se nedenfor). Når sammenhengen mellom vanndekt areal og vannføring er etablert for representative segmenter og samlet for strekningene kan man for de relevante vannføringsområdene (fra lav til høy vannføring) klassifisere hvor avhengig fiskeproduksjonen er av vannføring (tabell 6).

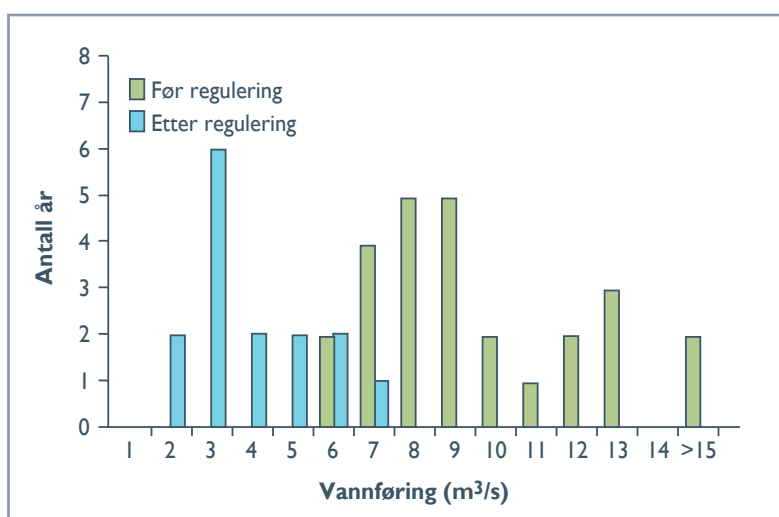
Klassifiseringen kan aggregeres fra segment til strekningsskala og hele vassdraget. Dersom vanndekt areal samlet sett endres mye med vannføring vil vannføringsnivåer i seg selv være viktig for vassdragets eller strekningens lakseproduksjon, og der endringene er små vil vannføring være en mindre viktig faktor.

Tabell 6. Klassifisering av hvor stor betydning vannføring har for fiskeproduksjonen, ut fra hvor mye vanndekt areal endres når vannføringen endres, innenfor relevante vannføringsintervall.

Endring i vanndekt areal som funksjon av vannføring	Betydningen av vannføring og vanndekt areal
Slak sammenheng som gir små endringer	Liten
Moderat bratt sammenheng	Moderat
Bratt sammenheng som gir store endringer	Stor

Vannføring og vanndekt areal varierer imidlertid gjennom året og mellom år. For å identifisere hydrologiske flaskehalsar må man derfor definere hvilke perioder av året flaskehalsene oppstår og varighet av disse. Dette gjøres gjennom den hydrologiske variasjonsanalysen (D4). Analysene knyttet til produksjon av laks fokuserer på lavvannsperioder om sommeren, lavvannsperioder om vinteren og forholdet mellom vannstand i gyteperioden og lavvannsperioder i løpet av den påfølgende vinteren (gytevannstand). Lavvannsperioder både om sommeren og vinteren gir redusert areal (avhengig av sammenhengen med vannføring) og økt fisketetthet, som kan gi redusert vekst (sommer) og/eller overlevelse (både sommer og vinter). Høy vannføring i gytetida etterfulgt av lav vannføring om vinteren kan gi stranding og dødelighet av rogn. For disse tre faktorene antas det at en ukes varighet er tilstrekkelig til å gi negativ effekt, og analysene baseres normalt på gjennomsnittlig vannføring på ukebasis (ukemiddel). Fordi det antas at laksebestanden er tilpasset forholdene før regulering sammenlignes laveste ukemiddel vannføring om sommeren og vinteren før og etter regulering som illustrert i figur 3. Dersom strekningen er utsatt for effektkjøring eller på annet vis utsettes for korte perioder med sterkt redusert vannføring i perioden må dette analyseres separat. Grunnvann kan bidra til bedre eggoverlevelse i perioder med lav vannføring om vinteren, og der det er sannsynlig at det er mye grunnvann må dette kartlegges.

De hydrologiske analysene danner grunnlag for å klassifisere i hvilken grad lavvannsperioder på grunn av regulering representerer flaskehalsar (tabell 7). Lavvannsperioder kan representere flaskehalsar selv om reguleringen ikke har endret forekomsten av slike perioder. I vassdrag som typisk har lave



Figur 3. Eksempel på frekvensfordeling (antall år) av laveste ukemiddel vintervannføring før (grønne søyler) og etter (blå søyler) regulering fra Kvinavassdraget i Aust-Agder. Søylen lengst til venstre viser altså antall år da laveste ukemiddel vannføring var mindre enn 1,5 m³/s (vannføring 1) og den neste antall år med mellom 1,5 og 2,5 m³/s (vannføring 2), og så videre.

vintervannføringer (på grunn av frost og lavt vintertilslig) er det antatt at lavvannsperioder om vinteren representerer sterkere flaskehals enn lavvannsperioder om sommeren. I vassdrag i varmere strøk (typisk kystnære lavlandsvassdrag i Sør- og Vest-Norge) uten særlig frost og snø kan lavvannsperioder om sommeren være viktigere.

Tabell 7. Et system for å klassifisere (ut fra prosentvis endring i median ukemiddel minste vannføring) om og i hvilken grad endring i laveste ukemiddel vannføring fra uregulert til regulert tilstand om sommeren og vinteren representerer en flaskehals for laksebestanden. Dersom reguleringen har økt minstevannføringene er dette antatt å ha positiv effekt på laksebestanden. Denne tabellen gjelder for vassdrag med naturlig lav vintervannføring, og kan reverseres (bytte sommer og vinter) for lavlandsvassdrag i Sør-Norge der sommervannføringen er mer kritisk.

Sesong	Endring i laveste ukemiddel	Bestandseffekt
Sommer	Økt	Positiv effekt
	Redusert < 20 %	Ingen flaskehals
	Redusert 20-40 %	Svak flaskehals
	Redusert 41-60 %	Moderat flaskehals
	Redusert > 60 %	Sterk flaskehals
Vinter	Økt	Positiv effekt
	Redusert < 10 %	Ingen flaskehals
	Redusert 10-30 %	Svak flaskehals
	Redusert 31-50 %	Moderat flaskehals
	Redusert > 50 %	Sterk flaskehals

Vi bruker begrepet gytevanntilstand for forholdet mellom vannstand i gyteperioden og lavvannsperioder påfølgende vinter. Dersom vannstanden faller mye etter gyting kan dødeligheten bli stor på egg og plommesekkyngel som ligger i grusen. Effekten av slik ekstra dødelighet er avhengig av i hvilken grad tilgjengelighet og fordeling av gytehabitat er en flaskehals for bestanden. Fordi overlevelsen av egg ikke er knyttet til vannføring i seg selv, men til om eggene forblir vanndekte fram til klekking, bruker vi vannstand (i cm) under gyting og gjennom vinteren i klassifiseringen. Basert på endringen i vannstand fra gjennomsnittet i gyteperioden til laveste ukemiddel vannstand om vinteren kan man klassifisere i hvilken grad eggoverlevelse på grunn av tørrelegging/frysing er en vesentlig flaskehals (**tabell 8**). I noen vassdrag, og særlig der lavvannsperiodene forekommer i perioder med streng kulde, kan også kortere perioder med lavvann gi dødelighet. Dersom dette er tilfelle, og laveste døgnmiddel vannstand er vesentlig lavere enn laveste ukemiddel, må laveste døgnmiddel gjennom vinteren brukes i klassifiseringen.

Tabell 8. Et system for å klassifisere om og i hvilken grad forholdet mellom vannføring i gyteperioden og lavvannføring påfølgende vinter er en flaskehals for eggoverlevelse, basert på forekomsten og fordeling av gytehabitat og vannstandsreduksjon fra gjennomsnittet i gyteperioden til laveste ukemiddel i løpet av vinteren (gjennomsnittlig over år).

Vannstandsreduksjon		Gytehabitat		
		Lite	Moderat	Mye
	<30 cm	Moderat flaskehals	Svak flaskehals	Ingen flaskehals
	30-50 cm	Sterk flaskehals	Moderat flaskehals	Svak flaskehals
	>50 cm	Sterk flaskehals	Sterk flaskehals	Moderat flaskehals

Klassifiseringen kan modifiseres ut fra kunnskap om hvor dypt gyteområdene ligger ved typisk vannføring under gytetida (se **D2**). Klassifiseringen gjøres på segmentnivå.

Som nevnt ovenfor kan vannføring i kritiske perioder (unntatt korte flomepisodes) bli så høy at elvearealet domineres av vannhastigheter som overskrider det som er gunstig for nyklekket yngel. Dette setter en øvre grense for gunstige vannføringsforhold for lakseproduksjon. Yngel som nettopp har kommet opp av grusen vokser godt den første måneden dersom vannhastighetene der de lever er mellom 0,2 og 0,4 m/s, mens den kan ha dårlig vekst eller vekttap ved lavere eller høyere vannhastigheter. Vi tar som utgangspunkt at det er for høye vannhastigheter som primært kan utgjøre en flaskehals. Det er ikke etablert noen enkel metode for å kunne estimere hvor store områder som har gunstige vannhastigheter for årsyngel. Det er mulig å måle eller benytte hydrauliske modeller, men det er tidkrevende å modellere representative strekninger. Vi har derfor valgt å anbefale enklere klassifisering av sannsynligheten for at tilgang på egnet habitat for årsyngel er en flaskehals, basert på hvor stri elvestrekningene er med dagens vannføringsnivå om sommeren (**tabell 9**). Vurderingene kan baseres på en kvalitativ beskrivelse (ut fra befaring eller flyfoto) og/eller en mer kvantitativ beskrivelse av dominerende elveklasser (**D1**). Ved hjelp av denne klassifiseringen er det mulig å identifisere strekninger eller elver hvor tilgjengelighet av egnede vannhastigheter for årsyngel kan være en flaskehals.

Tabell 9. Et system for å klassifisere om og i hvilken grad det er sannsynlig at forekomst av tilstrekkelig store områder med egnede vannhastigheter (lavere enn 0,4 m/s) er en flaskehals for vekst og overlevelse til nyklekket årsyngel (etter at den har kommet opp av grusen), basert på en kvalitativ beskrivelse av strekningenes fallforhold eller strekningens sammensetning av elveklasser eller mesohabitat (se DI).

Beskrivelse av elvestrekningen	Dominerende elveklasser	Sannsynlighet for flaskehals
Slak elveprofil med store områder med moderate og lave vannhastigheter	Kulp og grunnområder (kun mesohabitat C, D)	Ingen
Moderat bratt elveprofil med blanding av stryk og stillere områder	Glattstrøm, kulp og grunnområder (blanding av mesohabitat A, B1, B2, C, D)	Lav
Bratt elveprofil med mye stryk og få stille områder	Glattstrøm, kvitstryk, kulp (mesohabitat A, B1, B2, E, F og lite C)	Moderat
Svært bratt elveprofil dominert av strie stryk	Kvitstryk (kun mesohabitat E, F)	Høy

Vannføringsforhold kan også påvirke laksebestanden på andre måter enn gjennom å påvirke smoltproduksjonen. Vannføring under smoltens utvandring om våren kan påvirke overlevelsen til smolten både under utvandringen og i fjorden (når vassdraget har utløp i fjord). Vi tar som utgangspunkt at høy og variabel vannføring i smoltutvandringsperioden gir rask og synkron utvandring i løpet av relativt få dager og således bedre overlevelse enn lav og stabil vannføring med jevn utvandring i hele perioden. I noen vassdrag er temperaturøkning den primære miljøfaktoren som bestemmer tidspunkt for og synkronisering av smoltutvandringen, men vi antar at endringer i temperaturforhold på grunn av regulering sjelden er et vesentlig problem for utvandringen. Smoltutvandringsperioden er definert til fire uker i løpet av våren og tidspunkt må fastsettes ut fra undersøkelser i vassdraget eller estimeres fra regionale mønstre. Endring i gjennomsnittlig vannføring med variasjonsmål (CV, variasjonskoeffisienten) for de fire ukene (D4) brukes som grunnlag for å klassifisere om endringer i vannføring under utvandringen etter regulering kan ha effekt på smoltens overlevelse (tabell 10).

Tabell 10. Et system for å klassifisere om og i hvilken grad endringer i vannføringsforhold under smoltutvandringen har effekt på smoltens overlevelse, vurdert ut fra prosentvis endring i gjennomsnittlig vannføring i utvandringsperioden (før til etter regulering) og variasjonen i vannføring i samme periode (målt som variasjonskoeffisienten).

Vannføring- endring		Variasjon i vannføring (CV)		
		>60 %	10-60 %	<10 %
	<10 %	Ingen	Liten	Moderat
	10-50 %	Liten	Moderat	Stor
	>50 %	Moderat	Stor	Stor
	Økt	Positiv	Ingen	Liten

I et lengre tidsperspektiv kan redusert flom medføre redusert habitatkvalitet, både i form av nedslamming av gytehabitat og tetting av skjul. Slike habitatforringelser vil kunne avdekkes av habitatkartleggingene (D1 og D2). Lave skjulverdier i områder med grovkornet substrat (stein og stor stein) og lite gyteareal i områder med ellers egnede kornstørrelser (1-10 cm) tyder på tetting av skjul og nedslamming av gytehabitat. En hydrologisk analyse av flommer før og etter regulering (D4) vil i tillegg være et grunnlag for å sannsynliggjøre at reduksjoner i flom har eller kan (i framtida) redusere langsiktig produksjon gjennom redusert habitatkvalitet (tabell 11).

Tabell 11. Et system for å klassifisere om det er sannsynlig at endringer i flomforhold etter regulering bidrar til forringelse av habitatet, basert på endringer i flomfrekvens og størrelse (fra før til etter regulering).

Reduksjon i flomstørrelse		Reduksjon i flomfrekvens		
		Liten	Middels	Stor
	Liten	Lav	Moderat	Moderat
	Middels	Lav	Moderat	Høy
	Stor	Moderat	Høy	Høy

Elveløpet

I kombinasjon med de naturgitte landskapsforholdene påvirker vannføring i elver også sammensetningen av elvehabitat på en større romlig skala. Det er sammenheng mellom fysiske forhold og levekår for laks på flere ulike romlige skalaer. En laks forholder seg alltid til sine nærmeste omgivelser som ofte betegnes som *mikrohabitat*. Her finner den skjul og mat. Laks forholder seg også til en større del av sine omgivelser, som den kan veksle mellom på døgn- eller sesongbasis og gjennom livsløpet. Laksen forholder seg da til *elveklasser* (som for eksempel stryk og kulper; D1).

Selv om vi har begrenset kunnskap på dette feltet så er det sannsynlig at sammensetningen av elveklasser som stryk, kulper og grunnområder (se **DI**) kan ha betydning for produktiviteten i en elvestrekning. Elvestrekninger som veksler mellom kulper, stryk og grunnområder regnes ofte som mer egnet for laks enn mer homogene strekninger, fordi slike strekninger samlet sett gir et bedre tilbud både for gytefisk, yngel og parr av ulike størrelser slik at produksjonen samlet sett blir høyere. Fordi regulerte vassdrag kan ha mistet noe av denne variasjonen, spesielt der vannføringen er redusert eller elva har blitt kanalisert eller forbygget, kan sammensetningen av elvehabitat på strekningsnivå være en flaskehals. I strekninger med redusert vannføringen kan det bli mangel på dypere kulper (for overvintring og som standplasser for voksen fisk) og dominans av grunne og sakteflytende områder. Motsatt, der vannføringen har økt kan det bli for få og små grunnområder med lave vannhastigheter som er egnet for nyklekket yngel og for mye strie stryk og få refugier i forbindelse med flom. Slike endringer kan beskrives ved å kartlegge elveklasser på vannføringer representative for forholdene før og etter regulering, eller ved mer subjektive vurderinger. Inntil videre klassifiseres graden av homogenisering ut fra kvalitative beskrivelser av endringer i elveløpet etter regulering (**tabell 12**).

Dersom vannføringen i gjennomsnitt er den samme, men har en annen fordeling slik at typisk vannføring er endret, kan **tabell 12** også brukes. Dersom den typiske vannføringen er redusert følges systemet for «Redusert vannføring» i tabellen,

Tabell 12. Et system for å klassifisere om det er sannsynlig at homogenisering av elveløpet på grunn av regulering er en flaskehals for fiskeproduksjon ut fra en kvalitativ beskrivelse av endringer i habitatsammensetning etter regulering når vannføringen er redusert eller økt.

Redusert vannføring:		
Grad av homogenisering	Type endring	Sannsynlighet for flaskehals
Svakt homogenisert	Grunnere og mindre kulper, ingen endring i grunnområder	Lav
Moderat homogenisert	Grunnere kulper og mindre stryk, moderat økning av grunnområder	Moderat
Sterkt homogenisert	Grunnere kulper, mindre stryk, og dominans av stilleflytende grunnområder	Høy
Økt vannføring:		
Grad av homogenisering	Type endring	Sannsynlighet for flaskehals
Svakt homogenisert	Moderat reduksjon i grunnområder	Lav
Moderat homogenisert	Reduksjon i grunnområder og stryk og økning i kvitstryk	Moderat
Sterkt homogenisert	Dominans av stryk og dypstryk og lite grunnområder og kulper med lav hastighet	Høy

og dersom den typiske vannføring har økt følges systemet for «Økt vannføring». Habitatforbedrende tiltak påvirker elveløpet og fordeling av elveklasser direkte, men samme system kan brukes likevel.

Vanntemperatur

Vanntemperatur påvirker utviklingshastigheter (fra egg til yngel) samt laksungenes veksthastighet og dermed også hvor lenge laksen blir i ferskvann før den går ut som smolt. Fordi dødeligheten er høy og tetthetsavhengig i elvefasen vil lave temperaturer som gir høyere smoltalder gi færre smolt, mens høye temperaturer vil gi yngre og flere smolt, gitt at andre forhold er like. Temperatur er en miljøfaktor som ofte endres ved vassdragsregulering og det er viktig å beskrive disse endringene. I mange tilfeller vil det foreligge temperaturdata før og etter utbygging som kan brukes direkte, men for elver hvor slik informasjon ikke foreligger må temperaturdata framskaffes gjennom modellering (D5). Vi antar at fiskebestanden er tilpasset temperaturforholdene før regulering, og fokuserer på endringer etter regulering. Dette betyr imidlertid ikke at vanntemperatur også kan ha vært en flaskehals for lakseproduksjonen før regulering. I Norge er det nesten alltid slik at det er reduserte vanntemperaturer som gir effekter på lakseproduksjon (vanntemperaturene er generelt lave), men i noen tilfeller kan lave vannføringer kombinert med høye vanntemperaturer være en utfordring.

Vanntemperatur kan være en flaskehals i den grad første års vekst (for årsyngelen) blir så lav at yngelen vokser seg sakte ut av den mest sårbare tidlige livsfasen. Dette kan resultere i økt dødelighet gjennom den første vekstsesongen. I tillegg vil lav vekst føre til at yngelen er liten og har lave energilagre når den går inn i vinteren, med økt dødelighet som resultat. Videre påvirkes produksjonen dersom veksten avtar så mye at smoltalderen øker. Basert på observerte eller modellerte temperaturdata (D5) estimeres tidspunkt for når yngelen kommer opp av grusen før og etter regulering ut fra kunnskap om tidspunkt for gyting og eggutviklingsmodeller (D6). Vi tar som utgangspunkt at modellert endring i tidspunkt og miljøforhold når yngelen kommer opp av grusen vil ha betydning for tidlig overlevelse dersom temperaturene resulterer i sen vekst gjennom sommeren. De estimerte tidspunktene (før og etter regulering) for når yngelen kommer opp av grusen og begynner å spise og vokse brukes derfor primært som utgangspunkt for vekstmodellering (D6). Vekstmodellene benyttes først til å vurdere om det er sannsynlig at yngelens vekst er redusert så mye etter regulering at det kan påvirke overlevelsen den første vinteren. Den faktiske størrelsen på årsyngelen om høsten, som må undersøkes ved innsamling av fisk (D7), brukes til å klassifisere i hvilken grad redusert vanntemperatur på grunn av reguleringen er en flaskehals for bestanden (tabell 13).

Tabell 13. Et system for å klassifisere om og i hvilken grad redusert vanntemperatur på grunn av reguleringen er en flaskehals for bestanden, basert på om det har skjedd en endring i vekst eller ikke (basert på vekstmodellering) og ut fra størrelsen på årsyngelen om høsten (målt i felt).

Endring i vekst	0+ størrelse om høsten (mm)			
		>45 mm	40-45 mm	<40 mm
	Ingen endring	Ingen flaskehals	Ingen flaskehals	Ingen flaskehals
	Redusert	Ingen flaskehals	Moderat flaskehals	Sterk flaskehals

Vekstmodellene benyttes videre til å sammenligne vekst og smoltalder før og etter regulering, for å kunne klassifisere i hvilken grad smoltproduksjonen eventuelt er redusert på grunn av redusert vanntemperatur i vekstsesongen og veksthastighet fram til smoltifisering (D6; tabell 14). Analyser av skjellprøver (før og etter regulering) og/eller aldersbestemming av ungfisk eller smolt kan supplere og verifisere beregningene.

Økt vanntemperatur om vinteren i nedstrømsstrekninger kan i noen tilfeller gi endringer i forhold som påvirker vinteroverlevelsen til lakseparr. Dette gjelder særlig når overflateisen forsvinner i nordlige vassdrag som før regulering hadde solid isdekke gjennom vinteren, og i vassdrag der reguleringen gir økt sarrproduksjon og bunnis. I minste- og restvannstrekninger kan isproduksjonen øke – både i form av sarr og overflateis. Det er ikke utviklet noe klassifiseringssystem for denne potensielle flaskehalsen, og slike problemstillinger må eventuelt behandles separat og inngå i vurderingene av designløsninger.

Tabell 14. Et system for klassifisering av bestandseffekter som skyldes redusert vanntemperatur etter regulering ut fra modellert økning i gjennomsnittlig smoltalder (D6b).

Økning i smoltalder	Bestandseffekt
< 0,1 år	Ingen reduksjon
0,1-0,25 år	Liten reduksjon
0,25-0,75 år	Moderat reduksjon
>0,75 år	Stor reduksjon

Tabell 15. Et system for å identifisere om laksebestanden på en strekning primært er rekrutteringsbegrenset eller parrbegrenset ut fra forholdet (brøken) mellom relativ forekomst av årsyngel (0+) og 1+ parr. Ingen begrensende stadium angir en situasjon hvor det ikke er spesielt avvikende forhold mellom forekomsten av årsyngel og parr. I klart rekrutteringsbegrensede strekninger vil ungfisktetthetene generelt være lave, og dette er tatt inn som ekstrakriterium.

Forholdet årsyngel/parr	Begrensende stadium
< 1 og lave tettheter	Rekruttering
1-2,5	Ingen
>2,5	Parr

Informasjon fra bestandsdata

Innsamling av lakseunger ved hjelp av el-fiske på mange stasjoner med god romlig spredning (**D7**) kan både understøtte vurderinger av habitat- og hydrologiske flaskehalsar, gi mer detaljert informasjon om stadium for bestandsregulering og flaskehalsene, og gi viktig informasjon om vekstforhold. Med tilfredsstillende romlig oppløsning, fangsteffektivitet og fiskeforhold kan man oppskalere estimerte tettheter ved å beregne gjennomsnitt for delstreknings eller hele vassdraget. Dersom det er relativt lite årsyngel i forhold til eldre laksunger er bestanden trolig mest begrenset av tilgang på gyteområder; rognas overlevelse gjennom vinteren eller tilgangen til egnet habitat for yngelen etter at den har kommet opp av grusen. Vi beskriver en slik bestand som rekrutteringsbegrenset. Dersom det er lite eldre laksunger i forhold til årsyngel er bestanden trolig mest begrenset av skjultilgang. Vi kaller en slik bestand parrbegrenset. Fordi parr ettersom de vokser kan flytte seg fra områder med lite skjul til områder med mer skjul, må klassifiseringen baseres på gjennomsnitt på strekningsnivå (**tabell 15**).

Denne klassifiseringen gir indikasjon på om bestanden på de ulike delstrekningsene primært er rekrutterings- eller parrbegrenset. Årsakene til begrensningene kan avdekkes av klassifiseringen av habitat- og hydrologiske flaskehalsar ovenfor.

I tillegg er det, dersom vanntemperaturen er redusert etter regulering, nødvendig å samle data for størrelse på årsyngelen om høsten (se **tabell 13**).

Samlet vurdering av produksjonsforhold og flaskehalsar

Nedenfor har vi satt sammen og systematisert de ulike klassifiseringene (**tabell 16**). Kartlegging av habitatforhold og eventuelt bestandskartlegging ved el-fiske gir samlet grunnlag for å identifisere stadiet for bestandsreguleringen. Habitatkartleggingen gir samtidig også grunnlag for å identifisere den viktigste habitatflaskehalsen (minimumsfaktoren for produksjon), og gjennom å klassifisere forekomst av gyteareal og skjul kan man klassifisere vassdragets sannsynlige produksjonskapasitet ut fra de fysiske forholdene i elvebunnen. Fordi vannføring gjennom å bestemme det vanndekte arealet bestemmer det totale leveområdet er det grunnleggende i diagnosen å vurdere hvor viktig vannføring i seg selv er for vassdragets produksjonskapasitet. Med dette som bakgrunn kan man se nærmere på de hydrologiske flaskehalsene som altså kan begrense smoltproduksjonen fra det nivået habitatflaskehalsene tilsier. Dette er faktorer som dels er knyttet til fisketetthet (på grunn av fortetting av fisk) og dels er knyttet direkte til fysiske forhold (temperatur og fysiske forhold som overskrider tålegrenser – høye vannhastigheter, isprosesser osv.). Endelig er det noen faktorer som umiddelbart eller på lengre sikt reduserer antall smolt som vandrer ut (bestandsreduserende).

Tabell 16. Oppsummering av de ulike klassifiseringssystemene som brukes til å bestemme henholdsvis stadium for bestandsregulering, habitatflaskehals og produktivitet, betydningen av vannføring for totalproduksjonen (bærekapasiteten), hydrologiske flaskehals og faktorer som reduserer bestandsstørrelsen (smoltproduksjon og overlevelse) og bærekapasiteten. Grunnlaget for klassifiseringen er gitt i tabellene 1-14. For de graderte klassifiseringene er det gitt tallverdier (0 til 3) som brukes i hoveddiagnosen (**tabell 17**). + betyr at reguleringen har hatt positiv effekt.

Bestandsregulering	Stadium for regulering - fra habitatkartlegging	Yngel/parr/ingen
	Stadium for regulering - fra bestandskartlegging	Yngel/parr/ingen
	Samlet vurdering stadium for regulering	Yngel/parr/ingen
Habitatflaskehals	Begrensende habitatfaktor	Ingen/gyteareal/skjul/begge
Produktivitet ut fra habitatforhold		Lav/moderat/høy (1-3)
Vannføring & totalproduksjon	Betydning av vannføring for produksjon	Liten/middels/stor (1-3)
Hydrologiske flaskehals	Sommervannføring som flaskehals	Økt, ingen/svak/moderat/sterk (+, 0-3)
	Vintervannføring som flaskehals	Økt, ingen/svak/moderat/ sterk (+, 0-3)
	Gytevannstand som flaskehals	Ingen/svak/moderat/sterk (0-3)
	Sannsynlighet for 0+ habitat som flaskehals	Ingen/lav/moderat/høy (0-3)
	0+ vekst som flaskehals på grunn av lav temperatur	Ingen/moderat/sterk (0,2,3)
Kombinerte flaskehals	Sannsynlighet for homogenisering av elveløpet som flaskehals	Ingen/lav/moderat/høy (0-3)
Bestandsreducerende faktorer	Redusert smoltproduksjon på grunn av temperatur	Ingen/liten/moderat/stor (0-3)
	Redusert smoltoverlevelse under utvandring	Økt, ingen/ liten/moderat/ stor (+, 0-3)
	Sannsynlighet for habitatforringelse	Ingen/lav/moderat/høy (0-3)

Ved å oversette klassifiseringene med gradert betydning til tallverdier (0-3) kan man lage en oversikt over vassdraget, inndelt i strekninger og vassdragssegmenter. Denne oversikten (**tabell 17**) er diagnosen, på en egnet romlig skala, som er hovedgrunnlaget for vurdering av tiltak.

Tabell 17. Diagnosen for laksebestanden på en egnet romlig skala (strekning og segment) for et tenkt vassdrag. Diagnosen angir det mest sannsynlige stadium for bestandsregulering (yngel=årsyngel, parr=eldre laksunger), habitatflaskehals (Gyte= forekomst og fordeling av gytehabitat, Skjul= forekomst av skjul) og samlet vurderingen av produktivitet (ut fra habitatforhold), betydningen av vannføring for fiskeproduksjonen (bærekapasiteten) samt klassifisering av sannsynlighet for eller styrken av hydrologiske flaskehals og faktorer som reduserer produksjonen. T er temperatur. Betydningen av tallverdiene er gitt i **tabell 16**.

Strekning	Lengde (m)	Segment	Lengde (m)	Stadium regulering	Habitatflaskehals	Produktivitet (1-3)	Betydning av vannføring (1-3)	Gytevannstand (0-3)	Sommervannføring (+, 0-3)	Vintervannføring (+, 0-3)	0+ vekst (0, 2, 3)	0+ habitat (0-3)	T og smoltproduksjon (0-3)	Smoltvannføring (+, 0-3)	Habitatforringelse (0-3)	Homogenisering elveløp (0-3)
1	4000	1	800	Yngel	Gyte	1	3	2	0	2	2	0	3	0	0	1
		2	1000	Yngel	Gyte	1	3	2								
		3	600	Yngel	Gyte	1	3	3								
		4	900	yngel	Gyte	2	2	2								
		5	700	Yngel/parr	Begge	1	2	3								
2	3500	6	500	Yngel/parr	Begge	1	1	3	3	3	2	0	1	0	2	0
		7	600	Parr	Skjul	2	1	1								
		8	800	Parr	Skjul	2	1	1								
		9	500	Parr	Skjul	2	1	2								
		10	600	Ingen	Ingen	3	3	2								
		11	500	Ingen	Ingen	3	3	2								
3	2300	12	1000	Yngel	Gyte	2	2	2	2	3	0	1	0	2	2	0
		13	800	Yngel	Gyte	1	2	1								
		14	500	Yngel	Gyte	2	3	2								
osv.		osv.														

Denne tabellen kan også aggregeres for å se på betydningen av de ulike faktorene på delstrekning- og vassdragsnivå ved å bruke veid (med lengde eller eventuelt areal) gjennomsnitt (de med tallverdier) eller frekvensfordelinger. For eksempel vil veid gjennomsnittlig produktivitet i eksemplet i tabellen være 1,66, som plasserer vassdraget mellom lavt og moderat produktivt, mens produksjonen i vassdraget er moderat avhengig av vannføring (veid gjennomsnitt på 2,2). Vintervannføring og vanntemperaturens virkning på smoltproduksjonen framstår som viktigste flaskehals.

Kraftproduksjon

Det er viktig å samle all relevant informasjon om kraftverkssystemet for å få et godt grunnlag for diagnosen og for å vurdere mulige tiltak. Normalt har kraftverkseierne illustrert systemet med magasin (volum og moh.), vannveier og kraftverk (effekt og slukeevne) som gir en god oversikt over kraftverkssystemet i vassdraget (se **figur 4** for et eksempel). Fra denne og annen informasjonsinnhenting fra regulant(er) må man systematisere kunnskapen om systemet som har relevans for den lakseførende strekning, direkte eller indirekte. Dette gjelder installasjoner, type regulerings effekt på de ulike strekningene og gjeldende restriksjoner, men også hva slags muligheter som finnes for endringer og utvidelser av kraftsystemet.



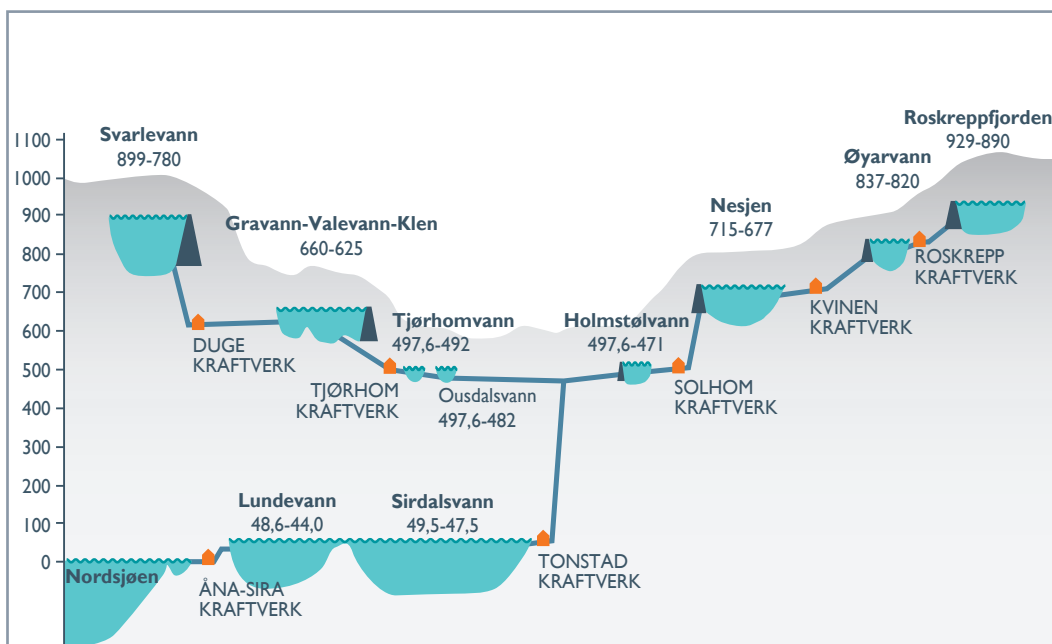
Foto: Ånund Killingtveit

Installasjoner

Her gis en detaljert beskrivelse av installasjonene i kraftverkssystemet, både oppstrøms og på lakseførende strekning. Oppstrøms lakseførende strekning må alle magasin beskrives, med informasjon om typiske tappe- og fyllstrategier og eventuelle restriksjoner i forhold til høyeste og laveste regulerte vannstand (HRV/LRV), om det tappes bunnvann og om det finnes alternative tappemuligheter. Installasjoner på lakseførende del beskrives på strekningsnivå og inkluderer:

- Inntak til kraftverk (tilleggsinformasjon: Finnes installasjoner for å hindre fisk i å gå inn i kraftverket?).
- Utløp fra kraftverk (tilleggsinformasjon: Finnes omløpsventil ved utfall, sperregrind som hindrer fisk å gå inn i utløpstunnelen?).
- Dammer, terskler, luker og andre konstruksjoner i forbindelse med drift av kraftverkene
- Fisketrapper og andre installasjoner for å bedre miljøforholdene

Figur 4. Eksempel på beskrivelse av kraftverkssystem med magasin (med laveste og høyeste regulerte vannstand i moh.), kraftverk og vannveiene. Fra Sira-Kvina anleggene i Vest-Agder.



Restriksjoner for kraftproduksjon

Infrastrukturen i et vannkraftsystem er valgt ut fra en optimalisert utnyttelse av vannressursene kombinert med restriksjoner i forhold til krav gitt av konsesjonen. I tillegg vil produksjonen optimaliseres i forhold til i energiprisene, som varierer både gjennom døgnet og gjennom sesongen. Vilårsrestriksjoner, slik som krav om bestemte magasinnivå eller pålagte vannslipp til miljøformål, er prinsipielt alltid forbundet med redusert elektrisitetsproduksjon. I flomsituasjoner kan også myndighetene sette krav til disponering av magasiner for å redusere flomfaren. Størst negativ konsekvens for kraftproduksjon har de restriksjonene som gir lavest grad av fleksibilitet, enten i tid eller omfang. Ut fra kraftproduksjonshensyn er det ønskelig med:

- 1 Minimalisert vannslipp utenom turbiner og
- 2 utnyttelse av magasiner, slik at disse kan disponeres økonomisk optimalt og uten flomtap

Disse to punktene henger også sammen, fordi ineffektiv magasinutnyttelse ofte medfører økt flomtap. Tilsiget kan variere ganske mye mellom år, noe som sammen med restriksjoner, markedet og vannverdier kan gi svært ulike driftsmønstre fra år til år.

Turbiner, luker og andre installasjoner har fysiske begrensninger i forhold til vannføring. En turbin har et arbeidsområde den kan produsere innenfor, og både under og over dette området må vann enten holdes tilbake i magasin eller slippes forbi. De fleste turbiner har et optimalt område for vannføringer hvor de opererer mest effektivt, og dersom turbinen må kjøres på andre vannføringer går effektiviteten ned. Dette medfører også slitasje på turbinen som igjen gjør den mindre effektiv og utsatt for hyppigere vedlikehold. I tillegg vil et krav om en bestemt vannføring på en delstrekning kunne påvirke disponering av andre kraftstasjoner eller magasiner i systemet.

Alternative driftsmønstre

For å analysere konsekvensene av forskjellige driftsstrategier og optimalisere produksjonen på kort og lang sikt, brukes kraftproduksjonsmodeller. Her inngår informasjon om tilsig, magasininnhold, vannveier og kraftpriser. For framtidige planer er det usikkerhet knyttet til tilsig, som på kort og lang sikt kan baseres på snømålinger og prognoser for nedbør og temperatur. Gitt at man har historiske data for tilsig og kraftproduksjon kan man med relativt god presisjon beregne

kostnader for forskjellige miljøtilpassede restriksjoner. Et grunnlag for å bestemme hvilke tiltak som er spesielt kostnadskrevende, og hvor mer nøyaktige miljøvurderinger bør gjøres for å minimalisere kostnadene. I noen tilfeller legger miljørestriksjoner sterke bånd på driftsmønsteret i perioder, og det er viktig å vurdere nytten av slike restriksjoner opp mot alternativ drift og tiltak i andre perioder som samlet sett kan gi større miljøgevinst. Mange anlegg har også begrensede tekniske muligheter for å slippe vann eller endre vannføringen til miljøforhold. Eksempelvis vil et nøyaktig minstevannføringsslipp kreve en tappeluke kombinert med vannføringsmålinger, oftest med mulighet for fjernmåling og fjernstyring. En annen begrensning er at magasinet med tappemulighet i mange tilfeller kan befinne seg langt oppe i vassdraget i forhold til strekningen hvor vannslippet skal gi positiv effekt. Denne forsinkelsen er generelt negativt fordi man i praksis må slippe mer vann enn nødvendig for å gardere seg mot å komme i konflikt med restriksjonen.

Type påvirkningseffekt fra regulering

De ulike kraftverksinstallasjonene, magasinene og vannveiene gir ulike miljøeffekter på ulike elvestrekninger. Her definerer og kategoriserer vi ulike regulerings-effektene på strekningsnivå ut fra hvordan vannføringen er endret etter regulering:

- 1 **Restvannstrekning:** En strekning hvor vannføringen er redusert fordi vann er fraført (til et kraftverk med utløp lengre nede eller til et annet nedbørfelt,) og hvor det ikke er pålegg om slipp av vann. Vannføringen varierer naturlig med tilsiget i restfeltet.
- 2 **Minstevannstrekning:** En strekning hvor vannføringen er redusert fordi vann er fraført (til et kraftverk med utløp lengre nede eller til et annet nedbørfelt) og hvor det er pålegg om slipp av minstevann. Avhengig av lokalfeltets størrelse kan det være ulik grad av naturlig vannføringsvariasjon på toppen av slippene, og ved overløp fra magasin og stort tilsig kan det bli flomsituasjoner. I noen tilfeller er restfeltet så lite og magasin-kapasiteten så stor at vannføringene nesten alltid er tinærmet lik minstevannbestemmelsene.
- 3 **Nedstrømsstrekning:** En strekning nedstrøms utløp fra et kraftverk som avhengig av lagringskapasitet i magasinene og vannsystemet for øvrig har:
 - a Tilnærmet naturlig vannføring fordi lagringskapasiteten er liten (typisk elvekraftverk),
 - b vannføring som er omfordelt mellom sesonger på grunn av fylling og tapping av magasiner med lagringskapasitet. Typiske omfordelinger medfører redusert vårflom og vannføring om forsommeren og økt vannføring gjennom vinteren. Som oftest tappes det bunnvann fra magasinet, og vanntemperaturen er økt om vinteren og redusert om sommeren (særlig første halvdel), og
 - c vannføring som både er økt på grunn av overføring fra nabovassdrag og omfordelt mellom sesonger. Slike strekninger vil som oftest ha samme type omfordeling, men forskjellene både i vannføring og ofte også temperatur er generelt forsterket.

Disse generelle kategoriseringene brukes videre som hovedverktøy i diagnosen, men må selvsagt beskrives i mer detalj for å beskrive graden av miljøendringer (som kan være fra store til neglisjerbare). I noen tilfeller kan også kraftverket brukes til effektregulering i større eller mindre grad, noe som kan gi hurtige endringer i vannføring og vannstand nedstrøms.

Andre reguleringseffekter

I tillegg til de generelle endringene i vannføring og vanntemperatur kan vassdragsreguleringer også gi andre både direkte og indirekte endringer i miljøforhold av betydning for lakseproduksjon. Is kan være en viktig habitatfaktor for laksunger og isforhold kan endres etter regulering. Overflateis kan gi beskyttelse mot predasjon fra fugl og pattedyr og reduserer fiskens energibruk gjennom vinteren, mens sarr og bunnis kan redusere habitattilgang og vinteroverlevelse. Sarr er ispartikler som dannes i åpent og underkjølt vann, typisk i strykstrekninger, og som kan feste seg til objekter og i noen tilfeller danne bunnis. Redusert isdekke er særlig et problem i nordlige vassdrag som naturlig har en lang vinter med isdekke, mens økt sarr- og bunnisdannelse kan være et problem også lengre sør. I restvann- og minstevannstrekninger kan forekomsten av is øke. I vassdrag som ikke hadde nevneverdige isdannelser før regulering vil dette i liten grad være aktuelle problemstillinger.

Når vann overføres fra ett vassdrag til et annet, når vannføringen fordeles annerledes over året eller når vann fra magasin føres direkte ned i elvestrekninger kan vannkjemiske forhold endres. Endret næringsrikhet (med potensielt både positive og negative effekter på lakseproduksjon) og tilførsel av forsuret eller på andre måter forurenset vann kan påvirke produksjonsgrunnlaget for fisk, og er viktig å vurdere når kraftverksdrift eller vannveier skal endres. Brevann eller på andre måter blakket vann kan også føres inn i elvestrekning som opprinnelig hadde klart vann og påvirke produktiviteten. Eventuelt kan blakket vann føres vekk fra strekninger og direkte til innsjø eller hav, og gi klarere vann.

I noen tilfeller er det gjort morfologiske endringer i forbindelse med etablering av kraftverksanlegg. Disse kan være direkte knyttet til kraftverksdriften, som kanalisering nedstrøms kraftverksutløp, men også indirekte som avbøtende tiltak, som for eksempel bygging av terskler for å opprettholde vannspeil der vannføringen er sterkt redusert. I noen tilfeller er elvestrekninger sterkt forbygd, og selv om dette ikke trenger å ha noe med kraftproduksjon å gjøre er dette morfologiske endringer som kan påvirke fiskeproduksjonen.



Foto: Anders G. Finstad

Muligheter for endringer og utvidelse

Kraftverksdriften kan endres for å tilpasses moderne krav i forhold til endret tilsig, miljørestriksjoner eller et ønske om å tilpasse driften bedre til markedet. Dette kan medføre at turbinkapasiteten endres og at driftsmønsteret over døgn, sesong eller år endres.

Vannkraftsystemet kan utvides på flere måter der de vanligste er:

- A gjennom å øke installert effekt i eksisterende kraftverk (større og flere turbiner og utvidelse av vannveier)
- B gjennom å overføre vann fra nabofelt
- C gjennom nye inntaksordninger eller endret kapasitet på turbiner som gir større mulighet til å regulere kraftproduksjonen fleksibelt, herunder også for eksempel installering av minikraftverk for å utnytte fall ved minstevannføringsslipp

Ofte vil en kombinasjon av disse være aktuelt, og da gjerne i forbindelse med behov for vedlikehold, revisjon eller erstatning av eksisterende maskiner, utstyr og vannveier.

Eksempelvis kan ytterligere regulering gi større fleksibilitet, hvor vannet også kan disponeres til miljøformål ved å slippe det i ønskede perioder. Overføring av vann fra et nabovassdrag kan også gi større mulighet for å disponere vann til miljøformål, men samtidig blir det mindre vann tilgjengelig i nabovassdraget. I andre sammenhenger kan man erstatte en overføring med et mindre kraftverk, og dermed slippe vannet høyere opp i vassdraget. I seg selv kan dette innebære redusert kraftproduksjon, men samtidig være et kostnadseffektivt tiltak for laksen sammenliknet med andre løsninger. Utvidelse av kapasitet (slukeevne) i kraftverk eller installering av flere turbiner og aggregater kan gi større fleksibilitet som kan virke både positivt og negativt på laksen. For eksempel vil installering av turbiner som opererer godt på lave vannføring gi en mulighet til å produsere kraft samtidig som man imøtegår krav om nedstrøms vannføring i perioder med lite tilsig eller lave kraftpriser. Dersom man har større fleksibilitet i hvilke vannføringer det er mulig å produsere kraft på, gir dette også bedre muligheter til å unngå hurtige endringer i vannføring og vannstand nedstrøms kraftverk.

Samlet beskrivelse av kraftproduksjonssystemet og miljøeffekter

Etter at alle data om kraftproduksjonssystemet er innhentet og systematisert lages en samlet oversikt på strekningsnivå (tilsvarende **tabell 17**) over reguleringseffekter, vannføring, vanntemperatur, isforhold og morfologiske endringer. I tillegg beskrives restriksjoner og muligheter for utvidelser stikkordsmessig. Dette er hoveddiagnosen med hensyn på kraftproduksjon og miljøeffekter, og et eksempel er vist i **tabell 18**.

Tabell 18. Oversikt på strekningsnivå for type reguleringseffekt, kraftverksinstallasjoner, miljøendringer (vannføring, temperatur, is og vannkjem) og morfologiske endringer i elveløpet, samt gjeldene restriksjoner og muligheter for utvidelser i kraftproduksjonssystemet. Se teksten foran i kapitlet for grunnlaget for beskrivelsene.

Strekning	Lengde (m)	Type reguleringseffekt	Kraftverkinstallasjoner	Vannføringsendring	Temperaturendring sommer	Temperaturendring vinter	Endringer i isforhold	Morfologiske endringer	Vannkjemiske endringer	Restriksjoner	Muligheter for utvidelse
1	4000	Minste- vann	Ned- strøms dam	Sterkt red.	Økt	Red.	Økt overflateis, red. bunnis	Terskel	Ingen	Minste- vann 2 m ³ /s	Minikraft- verk
2	3500	Ned- strøms type b	Utløp	Om- fordelt	Red.	Økt	Borte	Ingen	Ingen	Myke over- ganger	Øke turbin- kapasitet Ny overføring
3	2300	Ned- strøms type b	Dam & inntak	Om- fordelt	Red.	Økt	Red.	Kanalisering	Ingen	Minste- vann 15 m ³ /s	Ingen
OSV.											

Metodeverktøy for diagnose

DI Kartlegging av elveklasse, substrat og skjul

For å skaffe god oversikt over vassdraget og de relevante fysiske forholdene anbefaler vi å starte diagnosen med kartlegging av elveklasser, substrat og skjul. Elveklasser kan som en forenkling klassifiseres direkte eller mer presist via kartlegging av mesohabitat som deretter slås sammen til elveklasser. Kartleggingen starter ved den øvre grensen for anadrom strekning hvor et veipunkt blir lagret på en GPS før man går nedover elva. Ved hvert skifte i substratklasse og elveklasse (eller mesohabitat) tas et nytt veipunkt. Veipunktet navngis slik at man vet om det er overgang mellom elveklasse eller substratklasse. Slik fortsetter man å ta nye veipunkt hver gang habitatkarakteristikk endres. I tillegg kartlegges skjultilgang i transekter med faste avstander (f. eks hver 100 m). Der substratforholdene endrer seg raskt eller markant legges det ut ekstra skjultransekter. Fordi skjul er nært knyttet til substratsammensetningen er målsetningen at skjulmålingene skal være representative for strekninger som er homogene i forhold til substrat (substratklassene).

Det er denne kartleggingen som danner grunnlaget for den endelige inndelingen i segmenter, etter de kriterier som er satt opp (se **figur 5**) og ut fra en samlet vurdering av elveklasse, substrat og skjul.

Elveklasser

Inndeling i elveklasser baserer seg på en metode for klassifisering av såkalte mesohabitater. Klassifiseringen er tilpasset laksefisk og er basert på fire fysiske kriterier: størrelsen på overflatebølger, helningsgrad, vannhastighet og dybde (**tabell 19**). Mesohabitat skal gi et bilde av hvordan de fysiske forholdene påvirker leveområdene for fisk, og for laks bruker vi følgende grenser: Overflaten betegnes som turbulent dersom bølgene er større enn 5 cm, og glatt dersom bølgene er lavere enn 5 cm. Helningsgraden klassifiseres som bratt dersom den er større enn 4 % og moderat dersom den er mindre. Vannhastigheten klassifiseres som hurtig når den er større enn 0,5 m/s og langsam dersom den er lavere enn dette. Ved mer enn 70 cm dyp betegnes et område som dypt. Ved mindre dybder betegnes de som grunne. Lengden på mesohabitatene kan variere, men må minst være like lang som en elvebredde, for å unngå en for detaljert og lite brukervennlig oversikt. Sammensetning og utbredelse av ulike mesohabitat varierer med vannføringen, og i mange tilfeller er det nødvendig å kartlegge disse på ulike vannføringer. Kartleggingen bør utføres ved befaring langs elva til fots eller i båt, eller i noen tilfeller bare ved bruk av kart og flyfoto. Mesohabitat og eventuelt andre notater (substrat, skjul, merknader) tegnes inn på kart eller direkte

i et GIS-verktøy, mens posisjon lagres ved hjelp av GPS. Mesohabitatene (A, BI, B2, osv.) slås deretter sammen til elveklasser med norske populærnavn (**tabell 20**), og det er disse som vi bruker i håndboka (**figur 5**). En forenklet, men noe grovere tilnærming, er å klassifisere direkte til elveklasse.



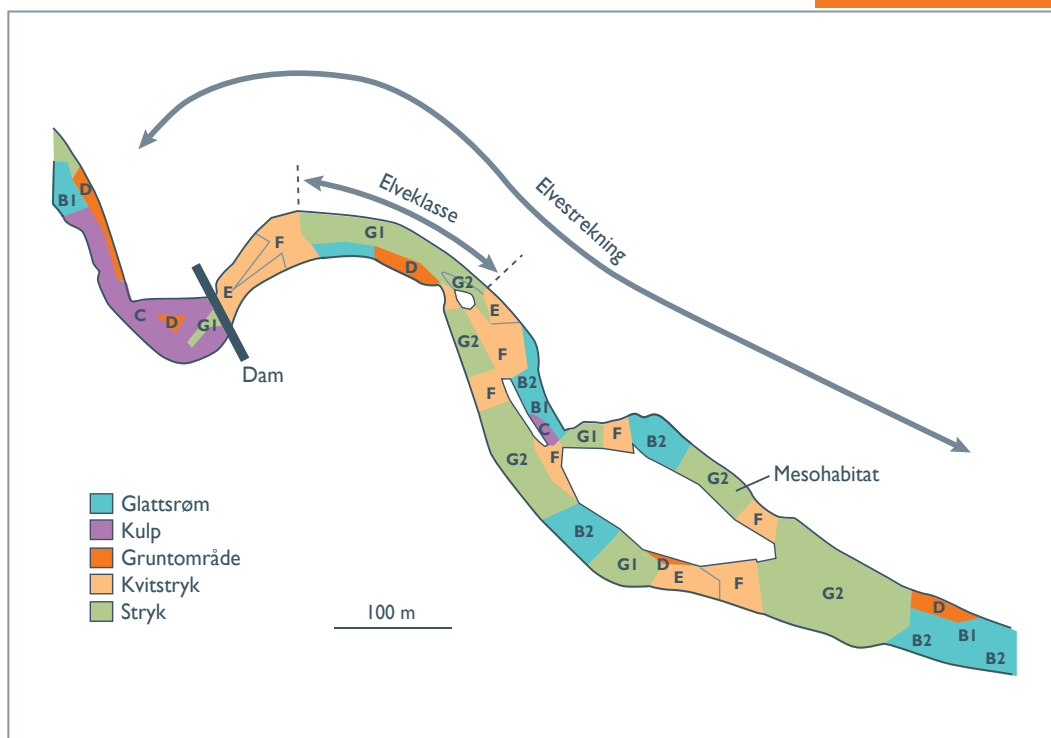
Foto: Håkon Sundt

Tabell 19. Klassifisering av mesohabitat ut fra fysiske karakterer. Overflater som er glatt eller kun har små krusninger kategoriseres som glatt. Dersom overflaten har krusninger eller er brutt regnes denne som turbulent. Helningsgradient på over 4 % regnes som bratt, og under 4 % som moderat. Vannhastigheter over og under 0,5 m/s regnes hhv. raske og langsomme. Vanndybder på over og under 70 cm regnes som hhv. dype og grunne.

Kriterier	Overflate- struktur	Helnings- gradient	Vann- hastighet	Vanndybde	Klasse
Avgjørelse	Glatt / Småriller	Bratt	Hurtig	Dyp	A
				Grunn	
			Sakte	Dyp	
				Grunn	
		Moderat	Hurtig	Dyp	BI
				Grunn	B2
			Sakte	Dyp	C
				Grunn	D
	Brutt / Ubrutte stående bølger	Bratt	Hurtig	Dyp	E
				Grunn	F
			Sakte	Dyp	
				Grunn	
		Moderat	Hurtig	Dyp	GI
				Grunn	G2
			Sakte	Dyp	
				Grunn	
				Grunn	H

Tabell 20. Klassifisering av elveklasser ut fra fysiske karakterer, ved å slå sammen flere mesohabitat til klasser (tabell 19).

Elveklasse	Mesohabitat	Overflatemønster	Helningsgradient	Vannhastighet	Vanndybde
Glattstrøm	A+BI+B2	Glatt	Moderat	Rask	Grunn/Dyp
Kulp	C	Glatt	Moderat	Langsom	Dyp
Grunnområde	D	Glatt	Moderat	Langsom	Grunn
Kvitstryk	E+F	Turbulent	Bratt	Rask	Dyp/Grunn
Stryk	H+GI+G2	Turbulent	Moderat	Rask	Grunn/Dyp



Figur 5. Eksempel på inndeling av en elvestrekning i elveklasser basert på klassifisering av mesohabitat som slås sammen til elveklasser (se tabell 19 og 20).

Substrat

Strekninger med relativt ensartet habitat klassifiseres i henhold til hvilke substratstørrelser som er dominerende og sub-dominerende. Substrat deles inn i følgende kategorier:

- 1: Silt, sand og fin grus (< 2 cm)
- 2: Grus og småstein (2 - 12 cm)
- 3: Stein (12 - 29 cm)
- 4: Stor stein og blokk (≥ 30 cm)
- 5: Fast fjell

Denne kategoriseringen er tilpasset laksens habitatkrav. Kategori 1 og 5 er tilnærmede nullområder, der det er svært lite ungfisk av laks. Kategori 2 er områder med egnet gytesubstrat, mens kategori 3 og 4 er leveområder for parr av ulik størrelse. Hvor gode områdene er innenfor substratklassene bestemmes ved skjulmålinger, og substratkartleggingen er primært et utgangspunkt for slike direkte målinger.

Skjulmålinger

Tilgangen til skjul i form av hulrom mellom steiner er viktig for vekst og overlevelse, og laksunger tilbringer mye av oppveksten mellom steiner i substratet (figur 6).

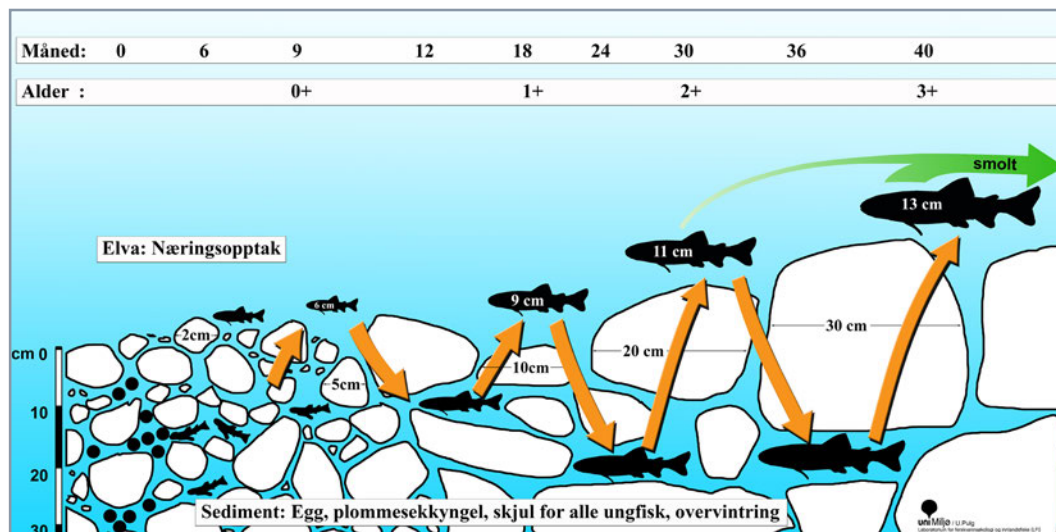
Antall og størrelse på skjul kvantifiseres ved å måle hvor mange ganger en 13 mm tykk plastslange kan føres inn i hulrom mellom steiner innenfor en stålramme på 0,25 m² (figur 7). Størrelsen på hulrommene blir bestemt ut fra hvor langt ned mellom steinene plastslangen kan stikkes, og deles opp i tre skjulkategorier; **S1**: 2-5 cm, **S2**: 5-10 cm, og **S3**: > 10 cm.

Tre skjulmålinger (en nær bredden, en så langt ut mot midten av elven som det er praktisk mulig å gå, og en midt mellom disse) gjøres i «transekt». Innenfor dette måleområdet plasseres målepunktet «tilfeldig» ved å kaste ut stålramma i elva. Ved hvert transekt blir det tatt et waypoint på en GPS. Gjennomsnittlig antall skjul for hver av de tre kategoriene beregnes for hvert transekt. Disse verdiene blir deretter summert opp som følger for å gi en verdi for «vektet skjul»:

$$S1 + S2 \times 2 + S3 \times 3$$

I henhold til verdier for vektet skjul klassifiseres hvert segment til å ha lite skjul (< 5), middels skjul (5-10) og mye skjul (> 10).

Figur 6. Ungfisk av laks bruker hele det øvre elvebunnlaget (ca. 0-30 cm) i oppveksten. Skjulsteder (hulrom) i sediment er viktig for å unngå predasjon, overvintring og som refugium ved flom.



Avstanden mellom hvert transekt velges for å få et mest mulig representativt bilde av skjulforholdene i hele elva uten at feltarbeidet blir for omfattende. Først blir avstanden mellom såkalte «faste transekt» forhåndsdefinert ut fra lengden på elva. Eksempelvis kan det i korte elver være aktuelt å gjøre skjulmålinger med 100 meters mellomrom, mens det i lange elver ikke vil være aktuelt med en hyppighet på mer enn ett transekt per 500 meter. I tillegg til disse faste transektene skal det gjøres ekstramålinger når det er sannsynlig at de faste transektene ikke fanger opp variasjonen i substratsammensetning (når det for eksempel er et større område med spesielt godt substrat midt mellom to faste transekter med dårligere substrat).

Figur 7. Måling av skjul ved hjelp av en 13 mm tykk plastslange som føres inn i hulrom mellom steinene innenfor en kvadratisk metallramme på 50 x 50 cm.

Foto: Anders G. Finstad

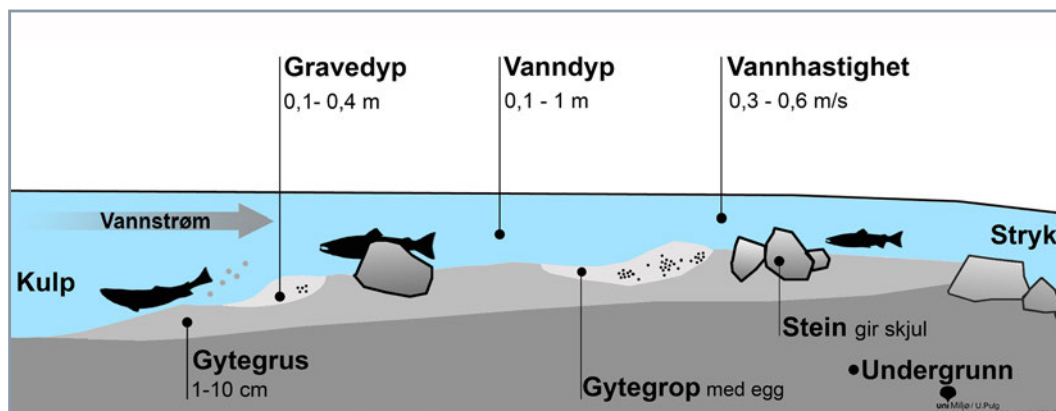


D2 Kartlegging av gytehabitat

Ved kartlegging defineres gytehabitat som det arealet hvor kombinasjonen av bunnforhold (substratsammensetning) og hydrologiske forhold (i denne sammenheng vanddyp og vannhastighet) samlet gir forhold som er egnet for gyting av laks (**figur 8**). Substratet er det sikreste og mest robuste kjennetegnet på en gyteplass siden substratsammensetningen er et resultat av hydrologien på stedet og siden vanddyp og vannhastighet vil variere mye avhengig av vannføring. Egnet substratsammensetning for gyting er en blanding av grus og stein. Kornstørrelsen varierer normalt fra 1 til 10 cm og øker med størrelsen på gytefisk. Generelt vil laksens gyteplasser inkludere kategoriene grus, småstein og noe større stein. Vanddyp og vannhastighet vil også variere med kroppsstørrelse der større fisk generelt vil kunne gyte på mer hurtigrennende vann sammenliknet med mindre fisk. I all hovedsak vil gytingen foregå innenfor vanddyp fra kroppshøyde (10-30 cm) og til ca. 1 m dyp. I noen tilfeller vil fisken også gyte dypere. Vannhastigheter ligger mellom ca. 0,1 og 1 m/s, oftest mellom 0,3 og 0,6 m/s. Klassiske gyteområder finner en som regel i grusbanker som ligger på utløpet av kulper, renner eller innsjøer hvor bunntopografien gjør at vannhastighetene akselererer. Laks gyter generelt i grovere substrat og på dypere og mer hurtigrennende vann enn sjøaure. Det er imidlertid et stort overlapp i gytehabitat mellom de to artene, og det er i praksis ofte ikke mulig å skille mellom gytehabitatet for laks og sjøaure.

Gytearealet kartlegges ved inspeksjon fra land i kombinasjon med vading eller snorkling. I de fleste større elver, hvor en ikke kan vade over hele elveprofilen, vil det være nødvendig å snorkle. Gytearealet identifiseres basert på nevnte kriterier og måles inn ved bruk av GPS, eller måles opp manuelt og overføres til kart eller ortofoto. Dette gir et kart som viser omfanget og fordelingen av tilgjengelige gytehabitat i vassdraget. For å redusere sannsynligheten for feilbestemmelse må kartleggingen

Figur 8. Typisk gyteplass for laks og sjøaure sett i lengdeprofil.



gjøres av trenet personell som har erfaring med identifisering av gyteområder. Det anbefales at registreringen sammenholdes med registrering av faktiske gytegroper og/eller observasjoner av gytefisk. I mange tilfeller kan gytegroper observeres som lysere partier med omrørt substrat på elvebunnen i flere uker/måneder etter gyting. Det er imidlertid ikke alltid mulig å identifisere gytegroperne visuelt etter gyting. I slike tilfeller kan en identifisere gytegroper vinterstid ved å søke forsiktig etter egg i substratet med en spesiallagd spade. Observasjonen av groper og/eller påvisning av egg er viktig tilleggsinformasjon som brukes til å verifisere at en «treffer» med vurderingen av tilgjengelig gytehabitat. Presisjonen på bestemmelsen av tilgjengelig gytehabitat vil øke med økende kunnskap om aktive gyteplasser.

Erfaringsmessig finnes gyteområder i de fleste elveklassene. De mest typiske gyteområdene finner en på brekk på utløp av hølør med egnet gytesubstrat. Det er imidlertid vanlig å finne at fisken også gyter i hølør, renner og stryk dersom bunnsubstratet og hydrauliske forhold er tilstrekkelige for gyting. Av denne grunn vil også utstrekningen til gyteområdene kunne variere betydelig. I grusrike elvepartier kan store deler av elvestrekningen være tilgjengelig for gyting, selv om mye av gytingen da ofte er konsentrert på brekk eller andre partier med spesielt gunstige hydrauliske forhold. I andre elvetyper kan en imidlertid finne lange elvestrekninger med lite eller ingen gyteområder, for eksempel som følge av at substratet består av grov stein eller blokk, sandbunn, bart fjell, eller vegetasjon, og/eller at vannhastigheten er for høy eller lav for gyting. Det er ikke uvanlig at laksen da vil gyte spredt på små felter (1-10 m²) hvor det finnes tilgjengelig gytesubstrat. Selv om slike små felter kan utgjøre et begrenset areal, kan slike gruslommer utgjøre en stor del av gyteområdene i mange elver, og særlig i elver med høy gradient. Dersom slike små felter helt mangler kan det bety at store områder av elven forblir uten gyting.

Vassdragsregulering har ofte direkte effekter på forekomst av gyteplasser: Demninger kan stanse grustransport og føre til grusmangel nedstrøms, forbygninger langs bredden vil redusere sideerosjon og grustilførsel derifra, endringer i vannføring har konsekvenser for sedimentasjon og erosjon av grus. Dette er nærmere beskrevet i tiltaksdelen hvor tiltak er tilpasset de ulike typene påvirkninger.

Etter endt kartlegging beregnes forekomst av gyteareal som % av totalt elveareal i hvert av segmentene. Totalt elveareal beregnes ved "normalvannføring", som vanligvis tilsvarer medianvannføringen. Utgjør gytehabitat 1 % eller mindre per segment betraktes dette som lite, verdier mellom 1 % og 10 % som middel og verdier over 10 % som mye. Summeres resultatene for hele den lakseførende strekningen får en da

et mål for forekomst av gytehabitat for det totale elvearealet. Grenseverdiene som her er satt for lite, middels og mye gytehabitat er foreløpige, og kan bli noe justert når det er opparbeidet flere erfaringstall fra norske vassdrag.

Spredningen av gytehabitatene har stor effekt på fiskeproduksjonen siden yngelen har en begrenset spredningsevne og tettheten av yngel derfor vil avta relativt raskt med avstand fra gytehabitatet. På grunn av sterk konkurranse mellom yngelen vil tetthetsavhengig dødelighet føre til at flere spredte gyteområder gir større rekrutteringen til bestanden enn få, store gytehabitat med dårlig spredning. Elvesegment som har svært lite eller fraværende muligheter for gyting kan derfor virke begrensende for rekrutteringen. Vi antar at yngelen i hovedsak etablerer seg innenfor 200 m fra gyteområdet. Er avstanden mellom gyteområdene større enn 200 m er det sannsynlig at yngelen ikke sprer seg nok til at bærenivået for yngel blir utnyttet.

D3 Vanndekt areal ved ulike vannføringer

Det er en direkte sammenheng mellom vannføring og vanndekt areal i et vassdrag, og sammenhengen avhenger av topografiske forhold, som kan variere i stor grad i forskjellige deler av elva. Denne sammenhengen kan finnes gjennom innmåling av vannkantene ved forskjellige vannføringer eller ved å kalibrere en hydraulisk modell for den aktuelle strekningen. Hvilken metode som velges er i stor grad avhengig av en vassdragsspesifikk vurdering av hva som er mest kostnadseffektivt og teknisk overkommelig. Innmåling av elvetopografien kan gjennomføres på ulike måter: Ved bruk av differensiell GPS kan man ved håndholdt teknologi samle inn topografiske data manuelt ved velge ut og måle punkter i terrenget i og utenfor elva. Man kan benytte ortografiske bilder og etteranalyse av disse for å oppnå en grov topografisk skisse over området, avhengig av oppløsningen på bildene og analyseverktøy tilgjengelig for bildebehandling. Værforhold vil også kunne påvirke bilde kvaliteten. En annen løsning er bruk av droner (fjernstyrte mikrofly og helikoptre) for å kartlegge med laser eller ta bilder (med høy oppløselighet). Moderne droner er av små størrelser og kan manøvreres til egnede lokaliteter over elva. For høyoppløselige topografiske data av elveleiet (med unntak av under vann) kan laserinnmåling benyttes. **Tabell 21** gir en oppsummering og vurdering av de ulike metodene. Når man har funnet sammenhengen mellom vannføring og vanndekt areal kan dette koples sammen med tilsigsseriene og analyser hvordan vanndekket areal varierer over tid. Samlet vurdering av slike forhold i de ulike elvesegmentene vil angi hvilke strekninger som er spesielt utsatt ved lavvannsperioder.

Tabell 21. Utvalgte metoder for innmåling av elvetopografi og deres fordeler og ulemper.

Metode for innmåling av elvetopografi	Fordeler	Ulemper
Landmåling (trigonometri og avstandsmåling)	Lite forarbeid, høydetaljerte data	Krever fri siktelinje fra oppstillingspunkt
Differensiell GPS	Lite forarbeid, høydetaljerte data	Krever satellitt-tilgang, ikke tilgang til dypere deler av elva uten båt/kajakk
Ortografiske bilder	Lite forarbeid, sikkerhet. Ved bruk av CPOS og lignende er det ikke krav til lokale fastpunkt og basestasjon	Lavere detaljgrad på data
Dronekartlegging	Sikkerhet og tilgjengelighet	Krever en del forarbeid, lavere detaljgrad på data
Laserscanner	Høydetaljerte data over vann	Mye etterarbeid med databehandling, krever fri siktlinje fra base

D4 Hydrologisk variasjonsanalyse

Grunnlaget for vannføringsanalyser er historiske målinger eller beregninger av vannføring og tilsig. Beregnede serier kan etableres der man mangler målinger, basert på andre tilgjengelige data. Måleserier kan skaleres fra nabovassdrag eller beregnes ved hjelp av hydrologisk modellering der nedbør og lufttemperatur er viktige inngangsparametere.

Systematiske analyser av vannføring gir statistiske verdier som minimum, maksimum, middel og median for ulike varigheter (momentanverdi, time, døgn, flere døgn, måned, år) og beregnet for ulike tidsperioder (år, sesong, måned, osv).

Ved å rangere vannføringsdata fra høyest til lavest kan en varighetskurve lages. Den viser i hvor stor del av tiden vannføringen er over eller under en viss verdi (se **figur 13**). Dette kan gjøres for ulike perioder som over et år eller over alle år med tilgjengelige data, eventuelt hver sesong for seg.

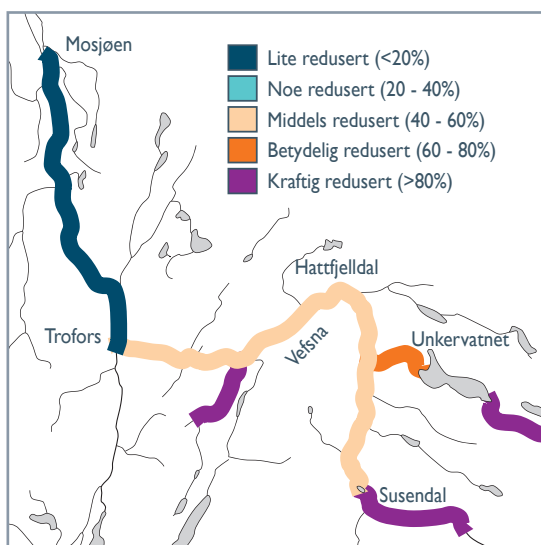
Statistiske verdier og varighetskurver for vannføring gir indikasjon på størrelser og varigheter av ulike vannføringsforhold og gir f.eks. et godt grunnlag for å sammenligne to vassdrag. En rekke parametere eller hydrologiske indekser kan beregnes for å gi mer informasjon om økologisk relevante vannføringsforhold og anbefales gjennomført der det finnes minst 10 år med historisk eller beregnet datagrunnlag.

De mest anerkjente metodene for hydrologiske indekser deler dem inn i fem forskjellige grupper:

- 1 Størrelse på middelvannføringer (ofte månedlig), som blir det samme som statistiske verdier
- 2 Størrelse og varighet på ekstremvannføringer
- 3 Tidspunkt for årlige ekstremvannføringer
- 4 Frekvens og varighet av høye og lave vannføringer
- 5 Hastighet og frekvens av skiftende vannføringsforhold (hvor hurtig og hvor ofte endrer vannføringen seg fra stigende til synkende)

En av de mest relevante indeksene for norske forhold og laks er 7-døgns lavvannføring (den laveste gjennomsnittsvannføringen for 7 påfølgende dager) - kalt laveste ukemiddel i håndboka, samt enkelte indekser for størrelse, varighet og tidspunkt for ekstremvannføringer, samt indekser for skiftende vannføring som også vil dekke effektkjøring.

Det er også nyttig å vise de generelle hydrologiske endringene i hele kraftsystemet og berørte vassdrag med for eksempel fargekoder på et oversiktskart (figur 9). Det vil lette inndelingen i strekninger og samtidig gi en umiddelbar oversikt over vannføringsendringene. Likevel må man huske på at oversikter over gjennomsnittlige endringer ikke gir et fullverdig bilde, da laksen til en hver tid forholder seg til aktuell og ikke gjennomsnittlig vannføring. I de fleste både naturlige og regulerte vassdrag er aktuelle vannføring noe lavere enn gjennomsnittet i store perioder og betydelig høyere enn gjennomsnittet i korte perioder (flom).



Figur 9. Eksempel på illustrasjon av hydrologiske endringer i ulike strekninger i komplekse vassdrag (fra en utredning i Vefsna). De ulike fargene viser ulike strekninger av vassdraget.

D5 Temperaturmodellering

Vanntemperaturen i elver og innsjøer er avhengig av forskjellige fysiske forhold, slik som:

- Klimatiske forhold (primært lufttemperatur og solinnsstråling) – styrer tilførsel av energi til vannflaten
- Vannføringsforhold – transport i elver, og tilførsel og tapping av vann til/fra innsjøer og magasin.
- Størrelse og oppholdstid i innsjøer og magasiner og utløpets plassering
- Grunnvann

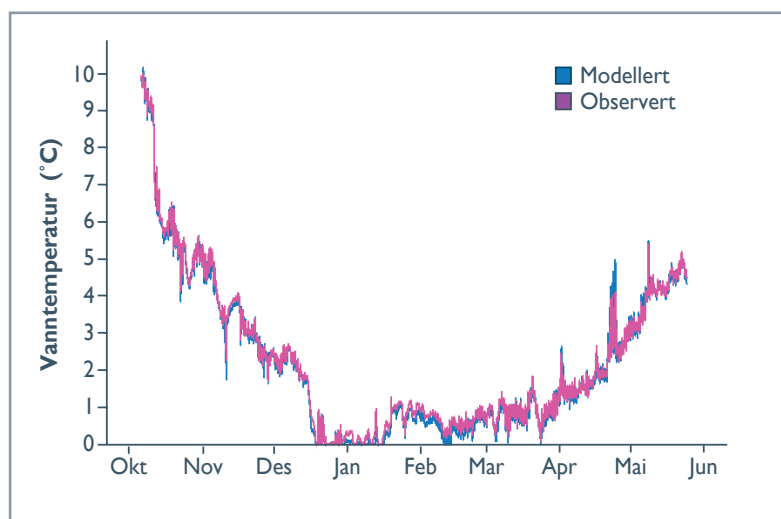
Vassdragsreguleringer kan føre til endrede temperatur og isforhold gjennom tilførsel av magasin vann eller forbitapping av vann i deler av vassdraget som i sin tur påvirker økosystemet. Tapping av vann fra magasiner kan resultere i endringer i vanntemperaturens variasjon over året, med høyere vanntemperaturer om vinteren og lavere vanntemperaturer om sommeren. På strekninger med sterkt redusert vannføring kan endringene bli omvendte, med varmere vann om sommeren og kaldere vann om vinteren. Grunnvann kan imidlertid få økt betydning for vanntemperaturen i noen vassdrag.

Virkningen av vassdragsreguleringer på vanntemperatur kan både måles og beregnes. Beregningsmodeller kan omfatte enkle blandingsberegninger eller mer sofistikerte metoder som inkluderer energibalanselikninger der stråling og lufttemperatur er viktige inngangsdata. I forbindelse med miljødesignet vannkraftsdrift vil man kunne gjøre relativt presise beregninger av ulike vannslipp-scenarier dersom man har historiske data både for magasinet det skal tappes fra, og elven nedenfor. Mulige modellverktøy kan deles i følgende grupper:

- Hydrauliske vanntemperaturmodeller: Disse modellene simulerer vanntemperatur i elvestrekningen som en funksjon av 1) energibalansen til vannstrengen, 2) vannføringsforhold i elven og 3) temperaturen på vannet inn i elvestrekningen. Det finnes en rekke modeller som kan utføre slike simuleringer, for eksempel HEC-RAS, MIKE11, RICE og SNTMP. Disse modellene vil kunne gi detaljerte temperatursimuleringer (**figur 10**), men modellene er relativt omfattende å sette opp siden de krever tverrprofiler og gode klimadata for å gi gode resultat.

- For innsjøer og magasiner finnes et tilsvarende stort utvalg av modeller som bygger på en fysisk systembeskrivelse. På samme måte som for modellene for elver krever disse også klimadata og detaljerte data om sjøen/magasinet for å gi gode resultat, og utfordringene ved bruk er omtrent de samme selv om en innsjø ofte har enklere hydraulikk. Eksempler på slike modeller er GEMS, QUAL-2W og MyLake.
- Forenklete temperaturmodeller for elver: Det finnes flere forenklete modeller for å regne vanntemperatur som funksjon av ulike klimatiske og fysiske variable. Disse modellene knytter ofte forenklete energitilførselsmetoder mot overflateareal i elven eller innsjøen. Metodene krever mindre data enn de mer komplekse modellene, men er til gjengjeld mer følsomme for variasjoner i systemvariable.
- Regresjonsmodeller for elver: I situasjoner der en har observasjoner av vanntemperatur for en periode kan statistiske modeller tilpasses og brukes for å simulere vanntemperatur. Et eksempel på en statistisk modell er regresjonsmodeller, for eksempel mot klima- og tappedata.

For detaljerte temperaturberegninger - spesielt der man skal beregne temperatur som funksjon av endrede vannføringsforhold på grunn av reguleringer - er detaljerte temperaturmodeller de som gir best resultat. Det har også vist seg at i situasjoner der man har gode data som utgangspunkt, så kan regresjonsmodeller også gi bra resultat gitt at man holder seg innenfor området de er utviklet for.



Figur 10. Eksempel på simulert (blå) og observert (rød) vanntemperatur ved Marienborg i Nidelva, Trondheim. Simuleringen er gjort ved hjelp av programmet HEC-RAS.

D6 Temperaturrepons

Eggutviklingsmodeller

Effekter av endret temperaturregime på eggutvikling og tidspunkt for første næringsopptak ("swim-up") kan estimeres ved bruk av Crisp sin modell for utviklingshastighet for egg og plommeseekkyngel. Dette gjøres ved å ta utgangspunkt i den følgende modellen som beskriver tiden fra befruktning og frem til klekking:

$$\log D = b \log (T - \alpha) + \log a$$

der D er antall dager fra gyting til 50 % av eggene klekker, T er temperatur og b , a og α er konstanter. For laks brukes følgende konstanter: $b = -2.6562$, $a = 5.1908$, $\alpha = -11.0$. Ved å bruke døgnmiddeltemperatur kan den daglige eggutviklingen beregnes i prosent ved å bruke $100/D$. For å beregne tidspunktet for "swim-up" summeres de daglige summene for utvikling ($100/D$) fra gytetidspunktet og utover i utviklingsperioden. Det estimerte tidspunktet for eggeklekking vil være når summen for utvikling når 100 %, mens det estimerte tidspunktet for swimup er når utviklingen når 170 %. Et eksempel på oppsett av modellen for beregning av utvikling er vist i **tabell 22**.

Dersom gyteperioden er kjent, kan tidspunkt for klekking og "swim-up" beregnes både for egg gytt i starten, under gytetoppen og ved slutt av gyteperioden. Dersom gyteperioden ikke er kjent, beregnes utvikling fra det tidspunktet når en antar at gytingen er på det mest intensive (gytetoppen) i vassdraget.

Tabell 22. Eksempel for estimering av tidspunkt for swimup med Crisp modellen ut i fra døgnmiddeltemperatur (T), ved et tenkt gytetidspunkt 1. november. Median klekketidspunkt for egg er når summen av $100/D$ når 100 %, mens estimert tidspunkt for median "swim-up" er når summen når 170 %.

Dato	T	D	100/D	Sum (100/D)	
1.nov.	4.3	110.7	0.9	0.9	← gytetidspunkt
2.nov.	4.3	110.7	0.9	1.8	
3.nov.	4.2	112.6	0.9	2.7	
.	.	.	.	.	
.	.	.	.	.	
.	.	.	.	100	← eggeklekking
.	.	.	.	.	
.	.	.	.	.	
.	.	.	.	170	← swimup

Vekstmodellering

Effekter av endret temperaturregime på vekst hos fiskeunger kan estimeres ved bruk av laboratoriebaserte vekstmodeller som kan predikere fiskeungenes vekst ut fra vanntemperaturen. Dette kan gjøres ved å ta utgangspunkt i den følgende modellen som beskriver vektøkning hos fiskeunger som en funksjon av vanntemperaturen:

$$\begin{cases} M_t = M_{t-1} & T < T_L \text{ eller } T > T_U \\ M_t = \left(M_{t-1}^b + b \left(\frac{(t \times d)(T - T_L)(1 - e^{g(T - T_U)})}{100} \right) \right)^{(1/b)} & T \geq T_U \text{ \& } T \leq T_U \end{cases}$$

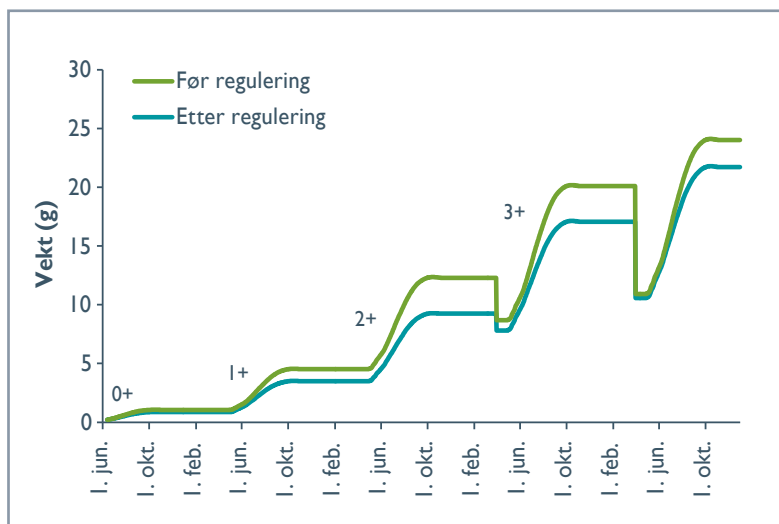
Hvor M_t og M_{t-1} er fiskens vekt ved to påfølgende tidspunkter (t og $t-1$), t er antall dager mellom disse tidspunktene, T er gjennomsnittlig vanntemperatur (døgnmiddelverdier) for denne tidsperioden, T_L og T_U er henholdsvis nedre og øvre temperatur for vekst, b er veksten til en 1 g stor fisk på optimaltemperaturen mens d og g er to parametre som i seg selv ikke kan gis noen biologisk forklaring. Beregningene av fiskens vektøkning gjøres vanligvis på daglig basis, det vil si $t = 1$, men erfaringer tilsier av beregninger på ukebasis ($t = 7$) gir tilnærmet samme resultat.

Det er utarbeidet slike laboratoriebaserte vekstmodeller for flere norske laks- og aurebestander. Erfaringer tilsier at en vekstmodell for moderat raskt voksende laksunger fra Stryneelva gir et godt utgangspunkt for å modellere gjennomsnittlig vekst hos laksunger i flere norske elver. Denne modellen har følgende parametre: $d = 0,374$, $g = 0,201$, $T_L = 6,9$, $T_U = 24,3$. Forsøk har vist at skaleringsfaktoren $b = 0,31$ for laks. Ved praktisk bruk bør vekstmodellen kalibreres med stedegne vekstdata. Dette kan lettest gjøres ved å variere d -parameteren i modellen slik at det predikerte vekstforløpet blir så likt observert vekstforløp som mulig for den situasjonen en tar som utgangspunkt for modellering.

Det er også behov for kunnskap om hvordan endrede vekstforhold etter regulering har påvirket laksungenes alder ved smoltutvandring og dermed også smoltproduksjonen, og effekten av tiltak som endrer vanntemperatur (se Designløsninger). Dette kan gjøres ved å koble vekstmodellen til en individuell populasjonsmodell (med for eksempel 1000 fisk), som i tillegg til anslag over årlig overlevelse, inneholder bestemmelsesregler for sammenhenger mellom ungfiskstørrelse og sannsynlighet for smoltutvandring. For å få en realistisk vurdering av mulige bestandseffekter må en ta

hensyn til at veksten varierer mellom individer og introdusere en realistisk variasjon i størrelse ved alder. Slik variasjon kan modelleres ved å la vekstparameteren d variere mellom individer gjennom livsløpet. Hver fisk i modellen får sin vekstparameter (d) som trekkes fra en fordeling (generert fra for eksempel en normalfordeling med et gitt standardavvik). Alternativt kan en introdusere variasjon i fiskestørrelse for hver årsklasse (etter endt vekstsesong) og bruke denne for å forutsi hvor stor andel av årsklassen som er store nok til å vandre ut som smolt om våren ved ulike aldre i livsløpet. Variasjon i størrelse ved alder bør kalibreres med stedegne data for den bestanden som modelleres (typisk standardavvik i størrelse for hver aldersgruppe). Bestemmelsesregler for sammenhenger mellom størrelse og sannsynlighet for smoltutvandring varierer trolig mellom bestander slik at det må gjøres en vurdering av dette i hvert enkelt tilfelle hvor en ønsker å gjøre en modellmessig vurdering av hvordan endringer i vekstforhold påvirker smoltalder og smoltproduksjon. Sannsynligheten for smoltutvandring kan for eksempel uttrykkes ved hjelp av en logistisk regresjonsmodell basert på data fra bestanden eller lånt fra lignende bestander.

En slik enkel populasjonsmodell (som kan settes opp på et regneark eller programmeres) vil kunne gi vekstforløp under ulike temperaturforhold (før og etter regulering eller temperaturscenarier for ulike tiltak; **figur 11**), smoltaldersfordeling og estimater av endringer i smoltproduksjon.



Figur 11. Eksempel på vekstforløp før og etter regulering basert på vekst- og bestandsmodellering. I eksemplet er temperaturen lavere etter regulering. Figuren viser median størrelse (i gram) og reduksjon i medianvekter etter alder 2+ og 3+ skyldes at de største fiskene (i modellen) har vandret ut som smolt.

D7 Innsamling av bestandsdata

For å få kunnskap om stadium for bestandsregulering og identifisere bestandsflaskerhalser er det viktig å samle inn bestandsdata med en god romlig fordeling. Slike data bør samles ved elektrisk fiske på mange stasjoner fordelt på en systematisk måte i elvestrekningene (stratifisert). Basert på kartlegging av skjul (se **D2**) velges stasjoner i et utvalg av segmenter som har høy, moderat og lav forekomst av skjul. Hvert segment (se **tabell 17**) må være representert med minst en stasjon og det bør i utgangspunktet være tre stasjoner pr km elvestrekning. Samlet sett bør de ulike skjulklassene være proporsjonalt representert i forhold til total andel på elvestrekningen. Det er således viktig også å fiske stasjoner som tradisjonelt har vært oppfattet som "dårlige". I de fleste vassdrag kan innsamlingen gjennomføres med ryggsekkbaserte elfiskeapparat. Stasjonenes størrelse kan variere fra et minimum på 60 m² til opp mot 200 m². I generelt tynne bestander må stasjonene være større enn i tette bestander. Der kantsonen inn mot land avviker fra den generelle skjulklassifisering, legges stasjonen utenfor denne. For å få et uttrykk for den romlige variasjonen i fisketetthet og den relative styrken av aldersklassene er det ikke nødvendig å benytte flere gangers overfiske. Dersom man skulle ønske å ønske å oppskalere til bestandsstørrelser kan man benytte erfaringstall for fangsteffektivitet (0,4 for årsyngel og 0,6 for 1+ og eldre), eventuelt kombinert med estimater fra utvalgte stasjoner. Fisket bør gjennomføres om høsten før temperaturen faller under 5 grader. Det kan brukes små håver i stilleflytende områder, mens i striere områder må det brukes store oppsamlingshåver/nett.

I store vassdrag med mye dypere og mer stilleflytende områder kan det være nødvendig å benytte elfiskebåt. Med elfiskebåt kan relativt lange transekter fiskes og fangst pr. tidsenhet kan brukes som et relativt mål for fisketetthet.

I diagnosesystemet er det forholdet mellom tetthet av årsyngel og ettåringer som er den viktigste bestandsparameteren. Normalt skal det være greit identifisere årsyngel basert på lengdefordelinger. Det kan være noe overlapp mellom ettåringer og toåringer, og det kan være nødvendig å analysere skjellprøver for å sette en størrelsesgrense mellom ettåringer og eldre laksunger. All innsamlet fisk (med unntak av sikre årsyngel for prøvestørrelser over 20 fisk på en stasjon) må således lengdemåles (vi anbefaler totallengde) og skjellprøver tas fra et utvalg av fisk i sannsynlig overgangsstørrelse mellom ettåringer og eldre. Det er fullt mulig å ta skjellprøver fra bedøvet fisk. All fisk kan således settes tilbake i vassdraget. I den grad det er mulig kan man også se på styrkeforholdet mellom andre aldersklasser, men dette krever at mye av fisken aldersbestemmes. For å studere forholdet

mellom årsyngel og ettåringer i de ulike delene av vassdraget må det samles inn fisk over to påfølgende år, slik at samme årsklasse følges.

Når feltinnsamlingene skjer om høsten kan størrelsen på årsyngelen brukes, sammen med vekstmodellering (D6), til å vurdere om redusert vanntemperatur på grunn av reguleringen (som gir redusert vekst hos årsyngelen) er en flaskehals for bestanden.

Foto: Ulrich Pulg



Del 2 — Designløsninger

Basert på diagnosene for fiskebestanden, hydrologien og kraftproduksjonssystemet kan det utvikles designløsninger som skal optimalisere forholdet mellom lakseproduksjon og kraftproduksjon. Avhengig av forutsetningen kan optimalisering innebære både vinn-vinn og vinn-minimumstap løsninger. Vinn-minimumstap innebærer at man søker etter maksimal miljøgevinst (økt lakseproduksjon) for minimum tap i kraftproduksjon. Erfaringer tilsier at vinn-vinn løsninger er mest sannsynlig der det finnes muligheter til å utvide kraftproduksjonssystemet. Den kunnskap som er framskaffet gjennom diagnosen gir et grunnlag for å lete etter nye løsninger. I håndboka kan vi ikke beskrive de ulike løsningene, fordi de vil variere fra system til system. Vi vil imidlertid beskrive hvordan man kan analysere situasjonen for å finne løsningene gjennom å bruke ulike hjelpeverktøy og gi beskrivelse av hvordan flere av tiltakene rent praktisk kan gjennomføres.

Løsningene ligger i det vi omtaler som *vannbruk* for å håndtere hydrologiske flaskehalser og i *habitatiltak* for å håndtere habitatflaskehalser. Begrepet vannbruk inkluderer både mengde vann (vannføring) og fordeling over året, samt vanntemperatur i den grad dette kan påvirkes av kilde (magasin og inntak), manøvrering og vannveier (oppvarming/avkjøling).

I noen tilfeller vil vannbruk være viktigst og i andre tilfeller vil habitatiltak være viktigere – ofte vil kombinasjoner være riktig og nødvendig. Der vannbruk er kostbart kan habitatiltak i noen tilfeller erstatte tap forårsaket av hydrologiske flaskehalser. Nedenfor går vi gjennom hjelpeverktøyene som brukes for å utvikle forslag til endringer i vannbruk og/eller habitatiltak. Metodisk baserer analysene seg på å gå gjennom de identifiserte flaskehalsene og/eller bestandsreducerende faktorene en for en og bruke ulike hjelpeverktøy for å finne og prioritere tiltak og anslå effekten av ulike tiltak.



Foto: Håkon Sundt

Vannbruk

Vanntemperatur

Dersom vanntemperatur er identifisert som en flaskehals for 0+ overlevelse og vekst, eller at økt smoltalder reduserer produksjonen må man se nærmere på mulighetene for å endre vanntemperaturen gjennom tiltak. Vanntemperatur i et regulert vassdrag kan påvirkes på ulike måter:

- Vannet kan hentes fra ulike magasin med ulike temperaturforhold eller fra ulike dyp i magasinene ved bruk av fleksible tappeløsninger eller metoder for blanding av vann fra ulike lag.
- Vannføringsmengdene som tappes i nøkkelperioder kan påvirke vanntemperaturen gjennom ulik oppvarming og avkjøling.
- Ulike vannveier (lange eller korte) kan gi ulik oppvarming eller avkjøling. Tapping av vann gjennom naturlige vannveier kan gi oppvarming om sommeren og avkjøling om vinteren.

Dersom kraftproduksjonssystemet har muligheter til å endre på en av disse (med dagens system eller ved nye installasjoner) kan man bruke målinger og temperaturmodelleringer (**D5**) etterfulgt av temperaturresponsmodeller (**D6**) til å sammenligne dagens situasjon med nye situasjoner. Den første metoden (veksling mellom magasin eller fleksible tappeløsninger) er den som har størst potensiale for effekt. De to andre metodene vil ofte innebære større inngrep i dagens tapperegime for at de skal ha effekt. Fordi mye av veksten hos årsyngel og laksunger foregår i løpet av fire til seks uker etter henholdsvis "swim-up" (når yngelen kommer opp av grusen) og temperaturøkningen om våren, kan det ofte oppnås betydelig gevinst ved økt temperatur i denne relativt korte perioden.

Vannføring og vannbank

På strekninger hvor vann er ført bort er det ofte gitt bestemmelser om faste minstevannføringer om vinteren og/eller om sommeren i manøvreringsreglementet. Disse bestemmelsene er nesten alltid ugunstige for kraftproduksjonen, og ofte også utilstrekkelig for god lakseproduksjon. På strekninger nedstrøms kraftverk, der det ikke er bortført vann, kan det være minstevannføringsbestemmelser som gjør at det må produseres og slippes vann i perioder som ikke er forsyningsmessig eller økonomisk gunstige. I andre tilfeller er det også krav om mer kortvarige slipp til bestemte datoer (lokkeflommer, spyleflommer) som ikke alltid er knyttet til

naturlige vannføringsforhold. I de tilfellene hvor det er identifisert viktige hydrologiske flaskehalsar for laksebestanden er det et sentralt tema i miljødesign å se på hvordan den totale vannmengden som ligger inne i manøvreringsreglementet kan brukes på en bedre måte. Spørsmålet blir da om vann fra andre deler av systemet kan brukes til å redusere effektene av flaskehalsene (se også Utvidelser og Vannforhandlinger) og eventuelt hvor mye ekstra vann som trengs for å oppnå en gitt bedring for laksebestanden. Det er også et mål å utarbeide forslag til andre typer situasjonsavhengige vannslipp som sikrer god smoltutvandring eller til habitatvedlikehold. For å systematisere dette arbeidet anbefaler vi at man benytter byggeklossmetoden, som er et nyttig hjelpeverktøy for å illustrere utfordringer og for å utvikle designløsninger.

I byggeklossmetoden deles vassdragets årlige vannsyklus inn etter laksens viktigste utfordringer gjennom året (både ungfisk, smolt og voksenfisk), og det er disse som utgjør byggeklossene. Byggeklossene skal også illustrere de hydrologiske flaskehalsene og produksjonsreduserende faktorene. Der habitatforringelse på grunn av redusert flom er identifisert som et problem kan spyleflommer inntegnes som en smal boks der regulert vannføring er høy (men ikke i perioden

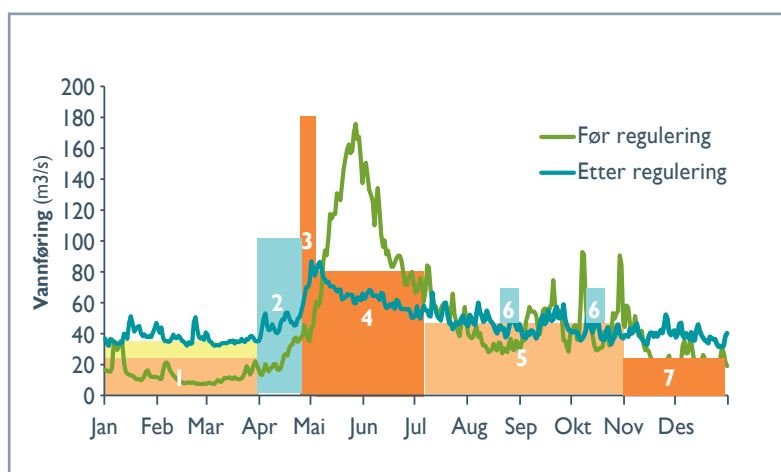
Foto: Tor Haakon Bakken



når yngelen kommer opp av grusen). Døgnmiddel eller ukemiddel vannføringer før og etter regulering tegnes under boksene slik at man samtidig kan avlese det naturlige og regulerte vannføringsregimet i vassdraget, slik det er illustrert i **figur 12**. Dersom vassdraget inneholder hydrologiske og reguleringsmessige ulike strekninger må det lages en figur for hver strekning. Lokale data fra vassdraget brukes til å bestemme bredden (når de ulike periodene starter og slutter) og høyden (mengden vann) på boksene. Perioden for smoltutvandring, tidspunkt for når yngelen kommer opp av grusen og gytetidspunktet skal være identifisert gjennom diagnosearbeidet. Vinteren er i denne håndboka definert som perioden fra temperaturen i gjennomsnitt kommer under seks grader om høsten til den passerer 6 grader om våren. Den viktigste delen av vekstsesongen starter når vinteren er slutt (temperaturen har passert 6 grader) og slutter seks uker etter at yngelen har kommet opp av grusen. I noen tilfeller vil vekstsesongen og smoltutvandring overlappe.

Figur 12. Eksempel på byggeklossmetoden med vannføringskurve før og etter regulering og viktige vannføringsbokser. Varighet (x-aksen) og vannføring (y-aksen) gir vannslippets størrelse (areal av boksene) som samlet summeres til strekningens vannbank. 1=eggoverlevelse og vinterhabitat, 2=smoltutvandring, 3=spyleflommer, 4=ungfiskvekst, 5=ungfiskhabitat, 6=lokkeflommer for fiske/gytevandring, 7=gyting. Fargene angir prioritering (fra orange som er høyt prioritert til blått som er lavt prioritert) ut fra identifiserte hydrologiske flaskehalsar og styrken av disse.

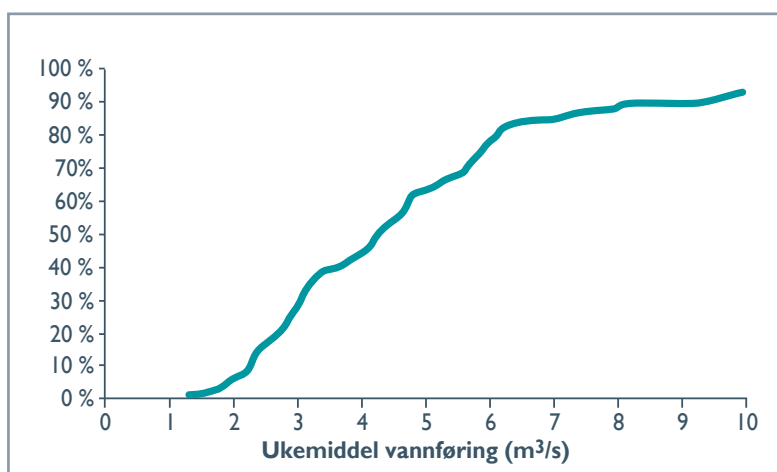
Høyden på boksene benyttes som en beskrivelse av gjennomsnittlig eller totalt vannslipp i den aktuelle perioden, og ved å benytte summen av arealene av boksene (vannmengden eller vannbanken) kan man lage ulike forslag til løsninger med samme vannbank. Ved å bruke den oppsummerende diagnosetabellen (**tabell 17**) kan man gradere betydningen av de ulike boksene ved hjelp av farger (ingen til sterk), slik som i eksemplet i **figur 12**. I figuren kan også datoene for overgang mellom boksene angis og dagens eventuelle minstevannføringskrav tegnes inn.



Neste steg er å definere vannmengder tilgjengelig til miljødesignet vannføring. Nedstrøms kraftverk på strekninger uten bortført vann er vannføringen i utgangspunktet bestemt av tilsiget og tapping fra magasinene der slike finnes, og det er ikke en konstant og definerbar vannmengde tilgjengelig for miljødesign (slik det er i eksemplet i **figur 12**). Man må da basere seg på vannmengder i tørre, normale og våte år. På aktuelle minste vannstrekninger beregnes det totale vannslippet som i dagens situasjon gjennomføres for å oppfylle minste vannføringskravene. Denne vannmengden (m^3) defineres som strekningens vannbank. I noen tilfeller kan denne vannbanken økes gjennom utvidelser eller ved å flytte vann fra andre deler av systemet etter «vannforhandlinger» (se Utvidelser og Vannforhandlinger).

Minste vannstrekninger har ofte restfelt som bidrar på toppen av minste vannslippene. Et nyttig hjelpeverktøy for å se på hvor mye vann som trengs for å øke vannføringene i spesifikke perioder er varighetskurver basert på historiske data for ukemiddel vannføringer (se eksempel i **figur 13**). Ut fra slike kurver kan man lese hvor mange uker man må øke vannføringen for å nå høyere minste vannføringer. Slike varighetskurver lages for hver av de identifiserte hydrologiske flaskehalsene for de relevante periodene av året, slik de er definert i byggeklossfiguren. I mange tilfeller er det nødvendig med relativt små mengder vann i kortere perioder for å få betydelig effekt på fiskeproduksjonen. I andre tilfeller er vannforbruket større.

Som et siste hjelpeverktøy i prosessen kan det utvikles en tabell som illustrerer forholdet mellom betydningen/styrken av flaskehalsene og vannforbruket i vannbanken for å redusere effekten av flaskehalsen (**tabell 23**). Kombinasjoner nede til



Figur 13. Eksempel på varighetskurve for ukemiddel vannføring i vintermånedene oktober til og med mars. Kurven leses ved at i "Y" prosent (angitt på Y-aksen) av tiden i den valgte perioden, her fra oktober til og med mars, er vannføringen lavere enn "X" (angitt på x-aksen). Kurven viser vannføringer under $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

venstre (grønt) er de «lavest hengende fruktene» og har førsteprioritet i forhold til vannbruk, den nede til høyre (blå) krever mye vann, men flaskehalsene er sterke og har andreprioritet. Faktorene som ligger oppe til venstre (rødt) krever mye vann og flaskehalsene er svake til moderate, og for disse må det vurderes om habitattiltak kan benyttes som alternativ. Den siste kombinasjonen (gul) bør vurderes dersom det ikke er andre mer prioriterte (grønne) flaskehals. Nedenfor presenterer vi mulige løsninger og, der det er mulig, hvor stor effekt de ulike vannføringstiltakene kan ha.

Tabell 23. Prioritering av vannbruk i vannbanken basert på klassifisering av vannforbruket (lavt til høyt) for å håndtere flaskehalsene og styrken på flaskehalsene (svake til sterke). Grønne kombinasjoner har førsteprioritet, blå andreprioritet, fulgt av rødt og gult. For illustrasjonen er det satt inn tenkte vannføringstiltak.

Styrken på flaskehals		Vannforbruk		
		Lavt	Moderat	Høyt
	Svak	Renseflom	Smoltvannføring	Minstevannføring sommer
	Moderat		Minstevannføring sommer	
	Sterk	Gytevannstand		

Når man har kommet fram til et skjema som viser vannføringskrav som byggeklosser for et normalår, er det også mulig å modifisere dette i forhold til spesielt våte og tørre år. Da kan det være aktuelt å angi en variasjonshøyde (vannføringskravet) på boksene, f.eks. en absolutt minste verdi, en absolutt største verdi og en ønsket middelvei. Det samme kan også gjøres med bredden (tidsperioden) på boksene, men da må man huske på at de ulike boksene henger sammen med hverandre.

Minstevannføringer sommer og vinter

Et sentralt spørsmål er hvor mye man må øke minstevannføringen for å få en god effekt på lakseproduksjonen på en strekning der vinter- eller sommervannføringen er viktige flaskehals. Dette spørsmålet har ikke noe entydig svar (hva er «god effekt»?). Vi bruker følgende tommelfingerregler for å anslå effekten av ulike økninger:

1. En økning i laveste ukemiddel sommervannføring antas å gi en bestandseffekt som er direkte proporsjonal med økningen i vanddekt areal. Det vil si at om vanddekt areal øker med for eksempel 20 % så øker fiskeproduksjonen med 20 %. Denne enkle tommelfingerregelen kan modifiseres dersom det

er sannsynlig at det nye habitatet som blir tilgjengelig (nytt vanndekt area) er av bedre eller dårligere kvalitet enn det som er tilgjengelig ved dagens vannføring, og dersom økt vannføring gir redusert vanntemperatur kan gevinsten reduseres eller forsvinne.

2. Effekten av å øke laveste ukemiddel vintervannføring er avhengig av hvor sterk vannføringsreduksjonen etter regulering er:

a. Minste ukemiddel vintervannføring er mindre enn halvert: bestandseffekten antas å være i størrelsesorden 0,4 til 0,6 ganger økningen i vintervannføring. Det vil si at om laveste vintervannføring økes med for eksempel 30 % (0,3 ganger) så øker fiskeproduksjonen med fra $0,3 * 0,4 = 0,12$ til $0,3 * 0,6 = 0,18$, det vil si mellom 12 og 18 %.

b. Minste ukemiddel vintervannføring er mer enn halvert: bestandseffekten antas å være i størrelsesorden 0,1 til 0,2 ganger økningen i vintervannføring. Det vil si at om laveste vintervannføring øker med for eksempel 150 % (1,5 ganger) så øker fiskeproduksjonen med fra $1,5 * 0,1 = 0,15$ til $1,5 * 0,2 = 0,3$, det vil si mellom 15 og 30 %.

Dette er tommelfingerregler som antyder størrelsesorden på effektene, og videre evaluering av innførte tiltak er viktig for å underbygge eller revidere reglene. På grunn av mangelfull kunnskap om de underliggende mekanismene er usikkerheten særlig stor for effektestimaterne for økt vintervannføring.

Gytevannstand

I de tilfellene når gytevannstand er identifisert som flaskehals er det et misforhold mellom vannføring under gyting og etterfølgende vannføring gjennom vinteren. Denne flaskehalsen kan således løses på to måter:

- 1 Redusere (om mulig) vannføringen i gytetida slik at fisken gyter på områder som forblir vanndekte gjennom vinteren. Denne løsningen forutsetter at de viktige gyteområdene kan brukes selv om vannføringen reduseres – det vil si at disse områdene ikke tørrelegges, blir liggende for grunt eller at vannhastighetene blir for lave (se **T2** for grenser). Et slikt tiltak er særlig aktuelt dersom vintervannføringen ikke er en spesielt sterk flaskehals og/eller vannforbruket er høyt (jfr. **tabell 23**).
- 2 Øke vintervannføringen. Et slikt tiltak må sees i sammenheng med en økning i vintervannføring for å bedre vinteroverlevelsen til yngel og parr (se ovenfor), og er særlig aktuelt dersom vintervannføring er en sterk flaskehals og/eller vannforbruket er lavt eller moderat (jfr. **tabell 23**).

For begge tiltakene gjelder at flaskehalsen kan reduseres betydelig dersom vannstandsreduksjonen reduseres til 30 cm eller mindre (se **tabell 8**).

Situasjonsavhengige vannslipp

Det er særlig to typer vannslipp som ikke trenger å være årlige eller til bestemte datoer – og som vi kaller situasjonsavhengige. Dette er slipp for å sikre synkron utvandring av smolt ved høy vannføring, og flomslipp som bidrar til å vedlikeholde strekningens habitatkvalitet. Dersom smoltvannføringen er vurdert som en viktig flaskehals kan man slippe vann i løpet av utvandningsperioden for å gi vannfø-ringsøkninger som stimulerer utvandring. Slike slipp er imidlertid ikke nødvendige i år der vannføringen allerede er høy og variabel, men viktig om vannføringen er liten og stabil. Situasjonen kan for eksempel vurderes etter at halvparten av smoltutvandningsperioden er over, og et eksempel på et kriteriesett for slipp kan være (jfr. **tabell 10**):

- 1 Vannføringen har vært høy (i gjennomsnitt mer enn 80 % av vannføringen før regulering) og variabel (CV større enn 50 %): ingen slipp.
- 2 Vannføringen har vært moderat høy (50-80 % av vannføringen før regulering) og moderat variabel (CV 25-40 %): ett slipp
- 3 Vannføringen har vært lav (mindre enn 50 % av vannføringen før regulering) og lite variabel (CV under 20 %): to slipp med en ukes mellomrom.

Dette er et tenkt eksempel og kriteriesettet må tilpasses de lokale forholdene og reguleringsgraden. Så langt som mulig bør slipp tilpasses værforhold (regn og/eller overskyet vær er best) og naturlige variasjoner i vannføring (det er best å forsterke en naturlig vannføringsøkning), og vannføringsøkningen (inklusive den naturlige) bør være minst 30 % av utgangsvannføringen.

Dersom det er sannsynlig at redusert flomfrekvens og størrelse bidrar til forringelse av habitatforhold gjennom lagring av finstoff og tetting av hulrom, kan det være aktuelt med vannslipp til renseflommer – enten årlig eller med noe lengre mellomrom. Slike slipp bør gjennomføres i perioder når det allerede er flomtopper (ofte om våren eller høsten) slik at slippene forsterker naturlige topper. Man kan for eksempel ha bestemmelser som innebærer ett slipp i løpet av tre år, og at slippene gjennomføres når det oppstår vannføringsforhold som allerede er gunstige. Slippene bør gjennomføres slik at totalvannføringen kommer opp i en flom som er i stand til å bevege bunnsubstratet. Ofte vil dette være tilsvarende en

middelflom (gjennomsnittet av den største vannføringen hvert år, før regulering), som statistisk sett som regel forekommer med 1,5 – 2 års mellomrom. Dersom slike kommer naturlig i løpet av perioden, er det ikke nødvendig å gjennomføre slippene. Som for smoltslipp må kriteriesettene tilpasses lokale forhold i hvert vassdrag. Slipp bør ikke gjennomføres under eller i de tre ukene etter at yngelen kommer opp av grusen (se **D6** for beregning av tidspunkt). Ettersom sedimentasjonsprosesser og gjengroing har en selvforsterkende effekt, vil størrelsen på nødvendig renseflom være avhengig av hvor ofte slike flommer slippes eller kommer naturlig. Lange intervall mellom renseflommer øker behovet for størrelse på flommen. Hvor mye sedimenter som tilføres vassdraget fra uregulerte sideelver og andre kilder som for eksempel jordbruksavrenning, virker også inn på behovet for renseflommer. I noen vassdrag bidrar isganger og skuring til mobilisering av bunnsubstratet, og det vil kanskje ikke være behov for renseflom. Dette må vurderes i hvert enkelt vassdrag.

Situasjonsbestemte slipp kan også gjennomføres for å bedre fiskemuligheter, men slike slipp omtales ikke i denne håndboka.

Utvidelser

Med utvidelser mener vi her både utvidelser i kraftproduksjonssystemet og områder for lakseproduksjon. Dersom det er mulig å utvide disse kan det skapes et nytt og annerledes grunnlag for å utarbeide tiltak som samlet sett er positivt både for kraft- og lakseproduksjon.

Det er lang tradisjon for å øke lakseførende strekning for å øke lakseproduksjonen og fisket i Norge, særlig i uregulerte vassdrag. I dag er miljømyndighetene generelt mer restriktive til slike utvidelser enn tidligere, men dette betyr ikke at utvidelse av lakseførende strekning ikke lengre er mulig – og spesielt ikke som tiltak i regulerte vassdrag. Utvidelsen kan omfatte sidevassdrag eller deler av hovedvassdraget som ligger ovenfor vandringshindre, der tiltak for å etablere oppvandring og utvandring kan kompensere for regulerings effekter og/eller kombineres med økt produksjon. For å kunne ta i bruk slike områder må det søkes om tillatelse fra miljømyndighetene, og følgende problemstillinger må normalt behandles:

- I Mulige konsekvenser for andre fiskebestander og fiske, både biologisk og samfunnsmessig, av å introdusere laks (og dermed ofte også sjørøret) på strekningen.

- 2 Mulige effekter på biologisk mangfold – det vil si effekten på resten av økosystemet ved å introdusere laks.
- 3 Mulige problemstillinger knyttet til fiskesykdommer.
- 4 Konsekvenser av endret forvaltningsregime (fra innlandsfisk til laks)

I tillegg til å ta i bruk nye områder er det i noen tilfeller mulig å øke produksjonsarealet ved å gjenåpne gamle elveløp (se **TI**).

Det er ikke denne håndbokas ambisjon å presentere en full oversikt for hvordan eksisterende kraftanlegg kan utvides. Vi tar som utgangspunkt at både energi- og miljømyndighetene har pekt på mulighetene for utvidelse av eksisterende anlegg generelt, og særlig i forbindelse med revisjoner av vilkår for å bedre miljøforholdene. Utvidelse av eksisterende anlegg kan ofte gjennomføres uten eller med små inngrep i et allerede påvirket system. Når vi omtaler utvidelser er det som del av tiltak som bedrer forholdene for laks. Dette kan skje gjennom:

- at utvidelsen gir mer fleksibilitet og en større vannbank som kan benyttes til miljødesignende vannslipp,
- at utvidelsen gir grunnlag for en bedre fordeling av vannet gjennom året, eller
- at det kan gjennomføres vannslipp uten at kraftproduksjonen reduseres mye.

Av spesielt relevante utvidelser kan nevnes:

- Overføring av vann fra nye nedbørsfelt til eksisterende magasin – og at deler av det ekstra vannet inngår i vassdragets miljømessige vannbank.
- Installasjon av småkraftverk som utnytter eksisterende og økte slipp til minstevannføring for laks.
- Installasjon av småkraftverk som utnytter nye miljødesignede slipp i alternative deler av vassdraget (for eksempel i restvannstrekninger).
- Økt og mer fleksibel kapasitet i kraftverk for å utnytte flomvannføringer (som kan øke på grunn av klimaendringer) eller større muligheter for produksjon på lave vannføringer. Dette kan kompensere for tap ved økt minstevannslipp.

Slike utvidelser kan gi vinn-situasjoner (mer laks og mer kraft), vinn-nulltap og vinn-minimumstap avhengig av lokale forhold. Noen av utvidelsene kan selvsagt ha andre miljø- og samfunnsmessige effekter som må utredes på vanlig måte gjennom konsekvensutredninger.

Vannforhandlinger

Med begrepet "vannforhandlinger" mener vi en prosess hvor vi ser kritisk på manøvreringsbestemmelser og resulterende vannføringsforhold for å se om en annen fordeling eller bruk av vannet kan være mer gunstig for fiskeproduksjon, og i noen tilfeller også mer gunstig for kraftproduksjonen.

Ut fra analysene av produksjonsforhold og flaskehalser i fiskebestanden (oppsummert i **tabell 17**), beskrivelsen av kraftproduksjonssystemet med identifiserte restriksjoner og muligheter for utvidelser (**tabell 18**) sammen med ulike løsninger skissert ved hjelp av byggeklossmetoden (**figur 12**), kan man:

- Identifisere slipp eller andre bestemmelser som er ugunstige for kraftproduksjon og som ikke er viktige for laksen for om mulig å flytte vann mellom perioder;
- utrede om økt kraftproduksjon i deler av systemet eller deler av året kan byttes mot økt vannslipp i særlig viktige deler av vassdraget eller perioder av året;
- identifisere om man ved hjelp av fysiske tiltak i noen deler av vassdraget kan oppnå samme effekt som med vannslipp, for om mulig å flytte vannslipp til andre deler av vassdraget eller til andre perioder på året, og
- undersøke om det er restriksjoner knyttet til magasinifylling som gir driftsmønstre med ugunstig virkning på lakseførende strekninger, og om det i en samlet vurdering (effekter i magasin og elv) er mulig å endre på disse.

Habitattiltak

Habitattiltak kan gjennomføres som supplement eller alternativ til økt vannbruk. Habitattiltak er særlig aktuelt som alternativ der det kreves mye vann for å redusere flaskehalsen knyttet til vannføring (se **tabell 23**). Det er imidlertid viktig å merke seg at habitattiltak ikke nødvendigvis får full effekt dersom det fortsatt er sterke vannføringsmessige flaskehalsen, slik at det som oftest er nødvendig å bruke begge tiltakstypene.

Habitattiltak skal redusere effekten av habitatflaskehalsen, og utgangspunktet for tiltakene er den samlede diagnosetabellen (**tabell 17**). Tiltakene kan være fra små til moderat store, som restaurering eller etablering av gytehabitat eller skjul (**T1-T3**), eller mer omfattende som fjerning av terskler og konstruksjon av "elv i elv" (**T4-T5**). Prinsippene for planlegging av de mindre tiltakene er enkle:

- I strekninger der produktiviteten er lav på grunn av mangel på gyteplasser, restaureres eksisterende gyteområder (**T1**) eller det legges ut ny gytegrus (**T2**). Dette er særlig aktuelt på strekninger der gytehabitat er identifisert som viktig habitatflaskehals i mange etterfølgende vassdragssegment innenfor strekningen (se **tabell 17**).
- I strekninger der produktiviteten er lav på grunn mangel på skjulplasser for parr, restaureres eksisterende områder med nedauret skjul (**T1**) eller det etableres nye områder med skjul ved utlegging av stein (**T3**). Dette er særlig aktuelt i strekninger der mange etterfølgende segmenter har skjulmangel som viktig flaskehals, men fordi parr kan vandre lengre er terskelen for å innføre tiltak for å bedre skjultilgangen noe høyere enn for gytehabitat.

Effekten av tiltakene kan grovt vurderes ved å anta at tiltakene gjør at produktiviteten til segmentene og strekningen oppgraderes fra for eksempel kategori 1 til 2 eller 3. Dersom det finnes bestandsdata (som tetthet av parr eller presmolt) som kan knyttes til klassifisering av produktivitet, kan man også anslå gevinsten ved tiltakene i smolt-enheter. Uten slike lokale bestandsdata er en grovere tilnærming å ta utgangspunkt i erfaringstall fra andre vassdrag for smoltproduksjon i forhold til habitatkvalitet:

- Lavproduktive strekninger (kategori 1): 2-4 smolt/100 m²
- Mellomproduktive strekninger (kategori 2): 5-9 smolt/100 m²
- Høyproduktive strekninger (kategori 3): 7-13 smolt/100 m²

I noen tilfeller er habitatet så endret etter regulering at det er nødvendig med større tiltak. Dette gjelder spesielt der det er bygd terskler for å opprettholde vannspeil eller der en restvannføring er spredt over ei bred elveseng. Dette gir ofte grunne elvestrekninger med lave vannhastigheter, noe som generelt er ugunstig for laks. Der det er bygd terskler på minstevannstrekninger tilsier nyere erfaringer at gode resultater oppnås ved å fjerne tersklene (**T4**). Dypere terskelmagasin kan i noen tilfeller være viktige oppholdssteder for gytefisk fram til gyting. Dersom det blir få eller små dypområder om alle tersklene fjernes, kan det vurderes å beholde noen. I tilfeller der det etter fjerning av tersklene fortsatt er grunne og sakteflytende strekninger, eller i restvannstrekninger med lite vann i stor elveseng, er det også mulig å lage ei "elv i elva" ved å innsnevre vannløpet og lage kulper og svinger innenfor elvesenga (**T5**).

På grunn av at finsedimenter ofte samles i terskelbasseng og grunne og stilleflytende områder kan det også etter slike mer omfattende tiltak være nødvendig å gjennomføre ytterlige tiltak for å etablere gyteområder og skjul (**T1-T3**). På samme måte som ovenfor kan effekten grovt vurderes ut fra å anta oppgradert produktivitet. I begge tilfellene må det tas hensyn til at gevinsten kan bli mindre dersom de vannføringsmessige flaskehalsene ikke er håndtert.



Foto: Ulrich Pulg

Samlet tiltaksplan

Metodikken i håndboka baserer seg på å identifisere flaskehalsen og finne tiltak som reduserer eller fjerner flaskehalsene. Det vil alltid være noe som begrenser produksjonen av både laks og kraft, og det er derfor viktig at man tenker helhetlig. En diagnose brutt ned på enkeltelementer og gode enkelttiltak for laksen må ikke føre til at man bare forflytter flaskehalsene.

For å komme fram til den beste samlede tiltaksplanen, som ofte vil kombinere habitattiltak og vannbruk, vil man som regel måtte vurdere ulike scenarier i en iterativ prosess. Dette betyr at man utarbeider ulike tiltakspakker, estimerer den samlede effekten på lakseproduksjonen og sammenligner pakkene (scenarier). Så langt som råd bør man være kvantitative, i form av estimater for smoltproduksjon i antall eller prosentvis endringer. Dette kan oppnås ved å bruke de tommelfingerreglene og metodene som er beskrevet i de foregående kapitlene. For vannbruk kan det være smart å bruke ulike nivåer (for minstevannføringer eller andre miljøvannføringer) i de ulike scenarioene. Noen av habitattiltakene vil ha både investerings- og vedlikeholdskostnader. Endringer i vannbruk vil påvirke kraftproduksjon og lønnsomhet for produsenten og større endringer i kraftproduksjonssystemet vil selvsagt både kreve investeringer og påvirke kraftproduksjonen. Noen ganger vil kostnadene til investering og drift være så store at tiltakene vurderes som lite aktuelle, og det er nødvendig å gå tilbake og lete etter andre løsninger og tiltakspakker (iterasjoner).

Når man skal sammenligne ulike tiltakspakker er det ofte nødvendig å få kunnskap om hva de innebærer for kraftproduksjon og lønnsomhet. Dette kan beregnes med simuleringsmodeller for kraftproduksjon. Modellanalyser kan gjøres av den som gjennomfører utredningen (gitt tilstrekkelig kompetanse om modellverktøyene og kraftmarkedet), men ofte vil det være produksjonsplanleggere hos regjeringen som kan gjøre simuleringer og presentere resultatene.

I tillegg til de faktorene som er omtalt i denne håndboka må man vurdere effekten av, og eventuelt sette grenser for, hurtige vannstandsendringer og effektkjøring. Mulige effekter på oppvandring av gytefisk og utvandring av vinterstøinger og smolt må selvsagt også vurderes.

Når alle avveininger er gjort og man har kommet fram til den eller de mest aktuelle tiltakspakkene bør det lages en samlet tiltaksplan som identifiserer hvor

og hvordan tiltakene skal gjennomføres. En oversikt kan lages ved å benytte diagnosetabellen (**tabell 17**). Detaljeringen i en slik samlet tiltaksplan vil være avhengig av hvor langt man er kommet i prosessen fram mot en ny miljødesign. Særlig for habitattiltakene vil det ofte være nødvendig med supplerende undersøkelser, beregninger eller modellering for nøyaktig plassering og utforming av tiltakene.

Foto: Atle Harby



Tiltaksmetodikk

T1 Rensing av nedaurede grusbanker og oppvekstområder

Om det finnes grus eller rullesteiner i elvebunnen med kornfordeling egnet til gyting (se **T2**) eller oppvekst som er sedimentert ned (armeringslag) eller begrodd kan rensing av bunnforholdene være en effektiv måte å gjenskape gyteplasser eller skjul (**figur 14**). I praksis gjennomføres et slikt tiltak med harving (graving) med gravemaskin. I tilfeller der sedimentering eller begroing er på et relativt tidlig stadium kan en også vurdere å harve opp eller løse grusen ved bruk av høytrykksspyling eller krafse/rake. Ved harving etterlignes naturlige flommer og finsediment vaskes ut og ren og løs grus blir liggende igjen. Metoden krever vedlikehold dersom ikke årsakene til sedimentering og gjengroing fjernes. Gjentakelsesintervallene kan avkortes dersom det gjøres tiltak for eksempel med hjelp av buner (se nedenfor) for å oppnå mer gunstige hydrauliske forhold på gyteplassen eller oppvekstområdet, eller ved å redusere tilførselen av finpartikler eller eventuell forurensing i vannet. Dette reduserer sedimentasjon og gjengroing og samtidig vedlikeholdsbehovet.

T2 Utlekking av gytegrus

Dersom gytesubstrat er begrensende for gyting og større elverestaureringer ikke kan gjennomføres, kan gyteområder etableres ved å legge ut gytesubstrat. Om tiltaket gjennomføres riktig viser erfaringene at utlegging av grus er et relativt robust og kostnadseffektivt tiltak. En fordel med et godt planlagt tiltak er at en kan styre plasseringen av grusutlegget slik at en oppnår både økte gytearealer og en god fordeling av gyteplassene innad i elva. I tillegg kan en "styre" fisken til å gyte på områder hvor gytegapene ligger trygt i forhold til tørrlegging ved lave vannføringer eller utspyling ved flom.

Den største utfordringen med tiltaket er at den utlagte grusen er utsatt for utspyling eller sedimentering av finstoff dersom den ikke legges ut på hydraulisk egnede områder. Erfaringsmessig kan utspytt grus ofte spres over for store områder til at det dannes nye gyteområder nedstrøms. Noen ganger er det registrert at utspytt gytesubstrat blir liggende på tørrfallsområder, og dette kan føre til at laksen blir lokket til å gyte på områder hvor gytegapene risikerer å bli tørrlagt ved lave vannføringer vinterstid. Dersom utspyling forekommer i tidsperioden når egg/plommesekkkyngel ligger i grusen kan en risikere et betydelig tap av egg, og dermed at tiltaket virker mot sin hensikt. Dette utfallet unngås ved godt forarbeid. På den andre siden skal det også være nok vannstrøm for å sikre oksygentilførsel til



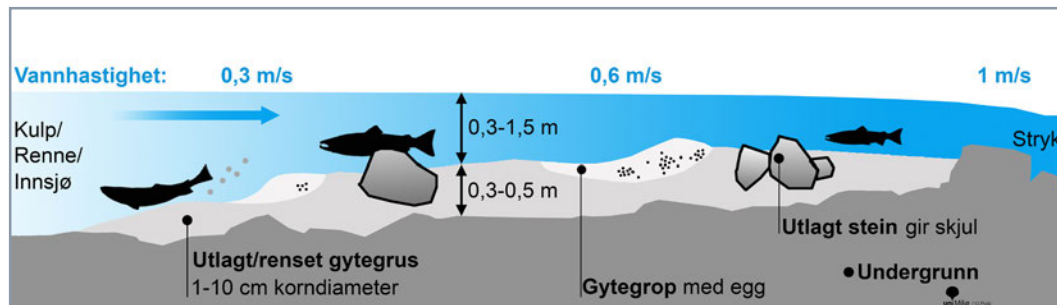
Figur 14. Eksempel på rensing av grusbanker (fra Aurlandselva i Sogn og Fjordane). Utgangssituasjonen var en armert og begrodd elvebunn med lite skjul (øverst til venstre), tiltaket var harving med gravemaskin (øverst til høyre), og resultatet var et substrat med mye hulrom (nederst) og flekkvis gytegrus. Foto: Ulrich Pulg

eggene og til å hindre sedimentering og begroing. Ved planlegging og utforming av tiltak er det derfor svært viktig å vurdere både hydrauliske forhold og egnethet i forhold til laksens habitatkrav for gyting (se **figur 15**). Særlig må følgende forhold tas i betraktning:

- Gyteplassen bør ligge stabilt nok til å motstå utspyling under normale flommer (som minimum bør tiltaket tåle en tiårsflom). Spesielt viktig er det at utspyling ikke forekommer i inkubasjonsperioden fra oktober til juli
- Gyteplassen bør ligge strømutsett nok til å sikre vanngjennomstrømning og gode oksygenforhold for egg, samt til å minimere sedimentasjon av finsediment og begroing
- Gyteplassen må ikke bli tørrlagt ved lave vannføringer i inkubasjonstiden fra oktober til juli
- Vandndyp og vannhastighet må tilfredsstille laksens krav til gytehabitat, og bør typisk ligge innenfor rammene 30-150 cm vandndyp og 30-60 cm/sek vannhastighet. Gode gyteplasser ligger ofte i utløp av kulper og renner, såkalte «brekk», hvor vannhastigheten er akselererende
- Sammensetningen av gytegrusen må ha riktig kornfordeling, og bør ha følgende vektfordeling: 20 % 8-16 mm, 60 % 16-32 mm og 20 % 32-64 mm (se utdyping angående gytegrus nedenfor)

Figur 15. Restaurert gyteplass for laks sett i lengdeprofil med typiske egenskaper. Grusen er lagt ut på et typisk «brekk» i overgangen fra kulp, renne eller innsjø til nedenforliggende strykparti. En slik plassering gir gunstige hydrauliske forhold for gyting.

En riktig kornfordeling er en forutsetning for å lykkes med tiltaket. Fortrinnsvis brukes avrundet grus fra morene- eller elveavsetninger. For å få riktig kornfordeling på grusen må den siktes. Sammensetning er avhengig av fiskenes størrelse og hydrauliske forhold. Grusen må alltid bestå av en blanding av forskjellige kornstørrelser ikke bare av en enkelt kornfraksjon. For laks bør grusen blandes fra grussorteringene 8-16 mm, 16-32 mm og 32-64 mm med en vektfordeling



som nevnt i kulepunktet ovenfor. Men denne vektfordelingen kan dreies mer i retning av den groveste fraksjonen dersom gytefisker er stor eller når faren for erosjon er høy (avhengig av elvegradient og vannføringsdynamikk). Andelen finsediment (<1 mm) bør være minst mulig og om grusen virker skitten eller preget av finsediment, bør grusen spyles eller vaskes før utlegging.

Selve gjennomføringen er avhengig av planlagt størrelse på tiltaket og praktiske forhold som mulighet for atkomst. Grusen bør legges ut ved lav vannføring, når tilkomsten i vassdraget er enklest og man kan sikre at grusen ikke blir lagt ut på områder som blir tørrlagt. Fortrinnsvis bør grusen legges ut i god tid før gytesesongen, gjerne i vinterhalvåret, for å sikre at en får en tilstrekkelig lang periode med flere vannføringstopper, og at grus som bli liggende ekstra eksponert eventuelt blir spylt ut før fisken gyter i den.

Ved utlegging avpasses grusmengde og plassering til lokale forhold. Ved etablering av et nytt gyteareal på ca. 100 m^2 vil det typisk være behov for ca. 3-5 lastebillaster 10 m^3 grus som transporteres så nært som mulig til stedet hvor grusen skal legges ut. Grusen legges ut med gravemaskin og grusen "ristes" ut. Om det ikke er direkte atkomst kan grusen transporteres i storsekk (ca. 600-800 kg grus per sekk) i båt eller med helikopter til stedet den skal legges ut. Uansett metode bør det stå kvalifisert personell ute i elva i dykkerdrakt, som snorkler og fortløpende anviser hvor grusen skal plasseres (**figur 16**). Snorkelutstyr er nødvendig for å få oversikt over bunnforholdene og nøyaktig hvor grusen bør legges. Dette sikrer



Figur 16. Fra utlegging av gytegrus med gravemaskin i Aurlandselva. Kvalifisert personell i snorkelutstyr angir plassering og mengde til maskinfører, og finfordeler grusen med rive/grafse. Foto: Bjørn Barlaup

en god fordeling av grusen hvor en drar nytte av lokale strøm- og bunnforhold. Grusmengden bør ikke overdimensjoneres i forhold til utleggingsområdet eller legges ut i for store hauger. Et 30-50 cm tykt lag på elvebunnen vil være egnet på de fleste lokaliteter. Grusen bør plasseres i renner og på brekk og avpasses topografien på elvebunnen slik at en best mulig etterligner naturlige gyteplasser. Den eksisterende substratfordelingen på lokaliteten kan brukes som en rettesnor for de hydrauliske forholdene på elvebunnen. Gode resultater oppnås dersom en kan legge ut grusen på områder av elven der det fra før ligger noe grus og stein med tilsvarende kornfordeling.

Etter at grusen er lagt ut bør den finfordeles ved bruk av rake/krafse. Det er positivt om både gytefisker og senere yngelen kan finne skjul i tilknytning til gyteplassen. En kan sørge for en slik effekt ved å legge ut gytegrusen i mindre felter (5-10 m²) mellom steiner. Om slik stein mangler og den tillagede gyteplassen gir inntrykk av en åpen og homogen flate bør dette motvirkes ved å tilføre rullestein og/eller blokker etter at grusen er lagt ut. Dette sørger både for å gi fisken skjul og for å skape hydraulisk varierende forhold på gyteplassen.

Siden grusutlegg alene vanligvis ikke fjerner årsakene til tap av gyteplasser kreves ofte en form for vedlikehold. Grusutleggene må suppleres eller gjentas dersom deler av grusen over tid spyles ut. Om den ligger utsatt til for sedimentering kan det være at den må renses for finsediment eller begroing. Funksjonsvarigheten er avhengig av lokale forhold og kan variere fra noen få år til årtier. Om det årlig forekommer gyting på den utlagte grusen vil gytefisker ofte selv stå for vedlikeholdet og holder grusen ren for finpartikler og begroing.

T3 Etablering av skjul

Mangel på skjul i substratet skyldes enten at elvebunnmaterialet er for finkornet, eller at finmateriale (særlig sand) har tettet hulrommet mellom steinene. Begge deler er typisk for elvestrekninger med lave vannhastigheter. Selv om det finnes en god del erfaring fra ulike metoder for å skape skjulplasser for laks, så er kunnskapsgrunnlaget per i dag dårligere enn for etablering av gyteplasser. Hovedprinsippet er imidlertid at dersom det ikke er mulig å restaurere eksisterende habitat (se **T1**) så må det tilføres stein som legges ut slik at det dannes hulrom mellom dem som fisken kan bruke som skjul (**figur 17**). Det finnes lite kunnskap om hva slags tiltak som gir mest skjulplasser per kubikk stein, men følgende strategier er aktuelle:

- 1 Etablering av buner (steinrygger) fra elvebredden ut i elva. Buner bygges ofte som et tiltak for erosjonssikring, men med riktig steinstørrelse kan de også danne gode habitater for ungfisk. Steinene gir skjul i seg selv, og i tillegg vil bunene danne et strømningsbilde som i større grad skaper en brutt vannoverflate. Sidehelningen på bunene skal ikke være for bratt (1:1,5 - 1:2). I lengderetningen er helningsvinkelen slakere (1:15 - 1:200), avhengig av de stedlige forholdene. Bunene skal i størst mulig grad være neddykket ved normal lavvannføring, men starter og forankres oppe på elvebrinken (høyere enn vannstand ved 50-årsflom). Plastringslaget i bunens overflate bygges av steiner (dominert av steiner med diameter 0,4-0,7 m). Steinstørrelsen må også vurderes i forhold til dimensjonerende krefter. Eksisterende elvebunnmateriale kan benyttes i bunens kjerne, dersom påkjenningene fra vann og is tillater dette. For optimal erosjonssikring benyttes buner som skal være kortere enn 3 x vannndybde ved flom eller ¼ av overflatebredden på elva. For å skape ungfiskhabitat kan de imidlertid være lengre. Avstand mellom bunene er avhengig av den stedlige topografien, men er typisk 3-10 ganger lengden på bunene. Jo mer bunene vinkles oppstrøms jo mer vil bunene kunne påvirke strømningsmønsteret (og skape attraktive strømningsvariasjoner). Økende vannhastighet over bunnene skal hindre at de nedaures av fínsedimenter. Dette tiltaket er særlig aktuelt der det er moderate til høye vannhastigheter.
- 2 Etablering av steingrupper bestående av 1-3 større steiner (0,7-1,5 m) omgitt av mindre steiner (0,3-0,5 m) i klynge. Dette er tiltak som kan være aktuelle i relativt dype områder med lave vannhastigheter.
- 3 Etablering av langsgående steinrygger. Dette er rekker av stein (0,4-0,6 m) som fundamenteres og legges parallelt med strømmen ute i elvesenga og som skal være permanent vanddekte. Slike steinrygger kan være relativt lange. Ryggens tverrprofil er tilnærmet horisontal (avrundet) på midten (50 cm bredde) og skråner ned til elvebunnen slik at vinkelen er ca 45°. Utformingen skal hindre at fínsedimenter samles og fyller hulrommene. Tiltaket er egnet for områder med moderate vannhastigheter.
- 4 Etablering av celleterskler bestående av stein (0,4-0,6 m, samt noen større til fundamentering) lagt ut i slik at de danner celler som i en bikube, men med en "organisk" utforming (**figur 18**). Deler av cellene kan stikke over vannoverflate på normalvannstand. Vannet kan ved å justere plassering og høyde på cellene styres slik at vannstrømmer hindrer nedauring og sikrer oppvandringsmuligheter for gytefisk. Tiltaket er særlig egnet for områder med moderate til høye vannhastigheter.

5 I de fleste tilfeller vil en elvestrekning optimaliseres med en kombinasjon av tiltakene 1-4. Dette vil skape variasjon i topografien som skal etterligne kvaliteten i et naturlig, godt ungfiskhabitat, i tillegg til at det ivaretar estetiske forhold. Planting av kantvegetasjon (der dette er fjernet) og utlegging av døde trær, store kvister og røtter kan også virke bra, særlig i små vassdrag og sideløp (figur 19).

Figur 17. Eksempel på steinutlegging for å skape skjul og et mer variabelt elvemiljø i en homogen og kanalisert elvestrekning. Fra Fraffjordelva i Rogaland.
Foto: Ulrich Pulg



tiltak



Figur 18. Eksempel på strekning hvor celleterskler har skapt et dynamisk vanmiljø med mye skjul. Fra Sima i Hordaland. Foto: Ulrich Pulg



Figur 19. Eksempel på at også kvister og døde trær fungerer som skjul – i dette tilfellet for aureunger. Foto: Ulrich Pulg

T4 Restaurering av naturlig grustransport og fjerning av terskler

Dersom fysiske inngrep er årsaken til dårlige gyte- og oppvekstforhold bør man i første omgang vurdere muligheten for å fjerne årsakene. I mange tilfeller vil det mest effektive tiltaket være å restaurere opprinnelige elveløp, fjerne overflødig erosjonsbeskyttelse og å legge til rette for en mer naturlig sedimentdynamikk. For eksempel har bygging av terskler ført til ødeleggelse av gyteområder ved å endre vannhastigheter og vanddyp slik at de ikke lenger er forenlige med fiskens krav til gytehabitat. Samtidig kan tersklene ha gitt redusert skjultilgang fordi terskelmagasin fungerer som sedimentfeller. I mange tilfeller ble tersklene dimensjonert for å gi et stort vanddekket areal av estetiske hensyn med mindre hensyn til biologiske forhold. Flere studier har vist at fjerning eller senking av terskler kan være et effektivt tiltak for å gjenskape eller bedre gyte- og oppvekstforhold (**figur 20**). De økte vannhastighetene som oppnås kan i seg selv være nok til at laksen igjen vil gyte på strekningene. Fjerning av terskler kan også bedre gyteforholdene nedstrøms om en får i gang den naturlige grustransporten som ofte stopper opp fordi større terskler fungerer som sedimenteringsbasseng. Tilsvarende tiltak for å restaurere opprinnelige elveløp og naturlig dynamikk kan gjøres i forhold til kanalisering, steinsetting og andre fysiske inngrep. Ved planlegging av slike tiltak er det viktig å ta hensyn til hydrauliske forhold. Da kan man sikre at tiltaket får den ønskede biologiske effekten ved å optimalisere habitatkvalitet og vanddekket areal. Som planleggingsverktøy anbefales hydraulisk modellering basert på terreng- og vannføringsdata. Ved mindre

Figur 20. Eksempel på gjenskaping av elvestrekning egnet for laks etter fjerning av terskel. Eksemplet er fra en minstevannstreking i Nidelva ved Arendal, der en betongterskel ble fjernet.

Foto: Svein Haugland



anlegg kan terskler eller annen forbygging justeres på stedet inntil effektene er som ønsket. Dersom det ikke forekommer egnet gytesubstrat på det aktuelle området, kan modifisering av terskler eller forbygging kombineres med utlegging av gytegrus.

T5 Omforming av elveløpet til "elv i elva"

På strekninger med sterkt redusert vannføring og minstevann vil det naturlige elveløpet ikke lenger være tilpasset vannføringen. Da blir også det fysiske miljøet vesentlig endret, og vi får typisk lav vannhastighet, lite vanddyp og oppsamling av finstoff. Dette er en naturlig utvikling som kan endres ved tiltak i elveløpet som i korte trekk går ut på å gjøre elva smalere og introdusere vekselvis stryk- og kulpstrekninger - en "elv i elva". Ved hjelp av buner, forbygninger og steinutlegging innsnevres elva slik at vannhastighetene øker og elva svinger mer innenfor elvesenga. Om nødvendig og mulig graves det ut kulper og anlegges små terskler slik at elva kan veksle mer mellom kulp- og strykstrekninger. Det er også mulig å bruke celleterskelstrukturer. De samme tiltakene som er beskrevet i **T1-T4** er alle aktuelle i kombinasjon med en innsnevring av elveløpet. Vanndekt areal vil da reduseres betraktelig, og dette er bare aktuelt på strekninger med sterkt redusert vannføring. Det vil også være behov for vedlikehold av slike tiltak, spesielt dersom strekningen berøres av naturlige flommer eller overløp. **Figur 21** viser et eksempel på en strekning hvor "elv i elva" er konstruert.



Figur 21. Eksempel på "elv i elv" tiltak i en elvestreking med sterkt redusert vannføring og brei elveseng. Fra Dalåa i Stjørdalsvassdraget, Nord-Trøndelag. Den restaurerte elvestrekningen svinger seg i elveløpet og veksler mellom små stryk og kulper.
Foto: Knut Alfredsen

Lesestoff

Her gir vi noen utvalgte referanser til litteratur som håndboka bygger på og som gir mer omfattende gjennomganger av tematikk og metoder.

Bøker og større oppsummeringer:

Killingtveit, Å. (red.) 2005. Hydropower Development. Book series with 17 volumes. Norwegian University of Science and Technology, Department of Hydraulic and Environmental Engineering, Trondheim.

Saltveit, S.J. (red.) 2006. Økologiske forhold i vassdrag – konsekvenser av vannføringsendringer. En sammenstilling av dagens kunnskap. Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo. 152 s.

Fergus, T., Hoseth, K. A., & Sæterbø, E. 2010. Vassdragshåndboka. Håndbok i vassdrags-teknikk. Tapir Akademiske forlag. ISBN 978-82-519-2425-2. 428 s.

Johnsen, B.O. (red), Arnekleiv, J.V., Asplin, L., Barlaup, B.T., Næsjø, T.F., Rosseland, B.O. & Saltveit, S.J. 2010. Effekter av vassdragsregulering på villaks. Kunnskapsserien for laks og vannmiljø 3. Kunnskapssenteret for Laks og Vannmiljø, Namsos. 111 s.

Jonsson, B. & Jonsson, N. 2011. Ecology of Atlantic Salmon and Brown Trout. Habitat as a template for life histories. Fish and Fisheries Series 33, Springer. 680 s.

Aas, Ø., Einum, S., Klemetsen, A. & Skurdal, J. (red.) 2011. Atlantic Salmon Ecology. Blackwell Publishing Ltd. Oxford. 467 s.

Maddock, I., Harby, A., Kemp, P. & Wood, P.J. (red.) 2013. Ecohydraulics: An integrated Approach. Wiley-Blackwell. 426 s.

Relevante rapporter fra Miljøbasert vannføring (NVE):

Harby, A. (red.) 2009. Modeller for simulering av miljøkonsekvenser av vannkraft. Rapport Miljøbasert Vannføring 5: 2009. Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo. 53 s.

Vaskinn, K.A. 2010. Temperaturforhold i elver og innsjøer. Tiltak for regulering av temperatur. Simuleringsmodeller. Rapport Miljøbasert Vannføring 3: 2010. Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo. 89 s.

Arnekleiv, J.V. 2012. Evaluering av celleterskler som avbøtende tiltak. Rapport Miljøbasert Vannføring 6: 2012. Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo. 74 s.

Noen viktige norske eksempler:

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 79. 96 s.

Saltveit, S.J. & Bremnes, T. 2004. Effekter på bunndyr og fisk av ulike vannføringsregimer i Suldalslågen. Sluttrapport. Suldalslågen – Miljørapport 42. 157 s.

Næsje, T.F., Fiske, P., Forseth, T., Thorstad, E.B., Ugedal, O., Finstad, A.G., Hvidsten, N.A., Jensen, A.J. & Saksgård, L. 2005. Biologiske undersøkelser i Altaelva. Faglig oppsummering og kommentarer til forslag om varig manøvreringsreglement. NINA-rapport 80, 99 s.

Forseth, T., Robertsen, G., Gabrielsen, S.E., Sundt, H., Skår, B. & Ugedal, O. 2012. Tilbake til historisk smoltproduksjon i Kvina. En utredning av mulighetene - NINA Rapport 847. 60 s.

Noen sentrale nye vitenskapelige artikler:

Einum, S., Nislow, K.H. Reynolds, J.D. & Sutherland, W.J. 2008. Predicting population responses to restoration of breeding habitat in Atlantic salmon. *Journal of Applied Ecology* 45: 930–938.

Finstad, A.G., Einum, S., Ugedal, O. & Forseth, T. 2009. Spatial distribution of limited resources and local density regulation in juvenile Atlantic salmon. *Journal of Animal Ecology* 78: 226-235.

Armstrong, J.D., & Nislow, K.H. 2012. Modelling approaches for relating effects of change in river flow to populations of Atlantic salmon and brown trout. *Fisheries Management and Ecology* 19: 527-536.

Foldvik, A., Teichert, M.A.K., Finstad, A.G., Ugedal, O., Forseth, T. & Einum, S. 2012. Correspondence in the spatial distribution of a cohort of juvenile Atlantic salmon from age 0+ to 1+. *Journal of Fish Biology* 81: 1059-1069.

Nislow, K.H. & Armstrong, J.D. 2012. Towards a life history-based management framework for the effects of flow on juvenile salmonids in streams and rivers. *Fisheries Management and Ecology* 19: 451-463..

Vitenskapelige artikler fra EnviDORR prosjektet:

Barlaup, B.T., Gabrielsen, S.E., Skoglund, H. & Wiers, T. 2008. Addition of spawning gravel - A means to restore spawning habitat of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.), and anadromous and resident brown trout (*Salmo trutta* L.) in regulated rivers. *River Research and Applications* 24: 543-550

Teichert, M.A.K., Kvingedal, E., Forseth, T., Ugedal, O. & Finstad, A.G. 2010. Effects of discharge and local density on the growth of juvenile Atlantic salmon *Salmo salar*. *Journal of Fish Biology* 76: 1751-1769.

Pulg, U., Barlaup, B.T., Sternecker, K., Trepl, L. & Unfer, G. 2011. Restoration of Spawning Habitats of Brown Trout (*Salmo trutta*) in a Regulated Chalk Stream. *River Research and Applications* 29: 172-182.

Skoglund, H., Einum, S., Forseth, T. & Barlaup, B.T. 2011. Phenotypic plasticity in physiological status at emergence from nests as a response to temperature in Atlantic salmon. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 68: 1470-1479.

Skoglund, H., Einum, S., Forseth, T. & Barlaup, B.T. 2011. The penalty for arriving late in emerging salmonid juveniles: differences between species correspond to their inter-specific competitive ability. *Functional Ecology* 26: 104-111.

- Skoglund, H., Einum, S. & Robertsen, G. 2011. Competitive interaction shape offspring performance in relation to seasonal timing of emergence in Atlantic salmon. *Journal of Animal Ecology* 80: 365-374.
- Teichert, M.A.K., Foldvik, A., Forseth, T., Ugedal, O., Einum, S., Finstad, A.G., Hedger, R.D. & Bellier, E. 2011. Effects of spawning distribution on juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) density and growth. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 68: 43-50.
- Alfredsen, K., Harby, A., Linnansaari, T. & Ugedal, O. 2012. Development of an inflow-controlled environmental flow regime for a Norwegian river. *River Research and Applications* 28: 731-739.
- Fjeldstad, H.-P., Barlaup, B. T., Stickler, M., Gabrielsen, S. E. & Alfredsen, K. 2012. Removal of weirs and the influence on physical habitat for salmonids in a Norwegian river. *River Research and Applications* 28: 753-763
- Fjeldstad, H.-P., Alfredsen, K & Boissy, T. 2013. Optimising Atlantic salmon smolt survival by use of hydropower simulation modelling in a regulated river. *Fisheries Management and Ecology*. DOI: 10.1111/fme.12044
- Saltveit, S.J. & Brabrand, Å. 2013. Incubation, hatching and survival of eggs of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in spawning redds influenced by groundwater. *Limnologica* 43: 325-331
- Teichert, M.A.K., Einum, S., Finstad, A.G., Ugedal, O. & Forseth, T. 2013. Ontogenetic timing of density dependence: location-specific patterns reflect distribution of a limiting resource. *Population Ecology*. DOI: 10.1007/s10144-013-0387-0.
- PhD avhandling i EnviDORR-prosjektet*
- Skoglund, H. 2011. Seasonal timing of emergence from nests - Effects of temperature and competition on offspring performance in salmonid fishes. PhD Dissertation, University of Bergen.
- Teichert, M.A.K. 2011. Regulation in Atlantic salmon (*Salmo salar*): The interaction between habitat and density. Doctoral theses at NTNU, Trondheim.
- Fjeldstad, H-P. 2012. Atlantic salmon Migration Past Barriers. Doctoral theses at NTNU, Trondheim.

NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er en elektronisk serie fra 2005 som erstatter de tidligere seriene NINA Fagrapport, NINA Oppdragsmelding og NINA Project Report. Normalt er dette NINAs rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på annet språk når det er hensiktsmessig.

NINA Temahefte

Som navnet angir behandler temaheftene spesielle emner. Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. NINA Temahefte gis vanligvis en populærvitenskapelig form med mer vekt på illustrasjoner enn NINA Rapport.

NINA Fakta

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. De sendes til presse, ideelle organisasjoner, naturforvaltningen på ulike nivå, politikere og andre spesielt interesserte. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

Annen publisering

I tillegg til rapporteringen i NINAs egne serier publiserer instituttets ansatte en stor del av sine vitenskapelige resultater i internasjonale journaler, populærfaglige bøker og tidsskrifter.

*"Håndbok for miljødesign
i regulerte laksevassdrag
beskriver hvordan man
kan utrede, utvikle og
gjennomføre tiltak som
bedrer forholdene for laks i
regulerte vassdrag samtidig
som man tar hensyn til
kraftproduksjon."*

ISSN 0804-421X

ISBN 978-82-426-2589-2

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Sluppen, NO-7485 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00, Telefaks: 73 80 14 01

E-post: firmapost@nina.no

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>



Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger