

■ www.sintef.no ■

**SINTEF Energiforskning AS**

Postadresse: 7465 Trondheim
Resepsjon: Sem Sælands vei 11
Telefon: 73 59 72 00
Telefaks: 73 59 72 50

www.energy.sintef.no

Foretaksregisteret:

NO 939 350 675 MVA

TEKNISK RAPPORT

SAK/OPPGAVE (tittel)

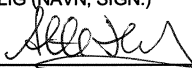

**Raske vannstandsendringer i elver
- Virkninger på fisk, bunndyr og begroing**

SAKSBEARBEIDER(E)

A. Harby¹, K. Alfredsen², J.V. Arnekleiv³, L.E.W. Flodmark⁴,
J.H. Halleraker¹, S. Johansen⁵, S.J. Saltveit⁶

OPPDRAAGSGIVER(E)

Agder Energi, Bergenshalvøens kommunale kraftselskap,
Direktoratet for naturforvaltning, EBL, Nord-Trøndelag
elektrisitetsselskap, Norges forskningsråd, Norges vassdrags- og
energidirektorat, Sogn og Fjordane energiverk, Statkraft og
Trondheim energiverk

TR NR.	DATO	OPPDRAAGSGIVER(E)S REF.	PROSJEKTNR.
TR A5932	2004-02-24	Arne Erlandsen (leder av styringsgruppa)	22E037
ELEKTRONISK ARKIVKODE		PROSJEKTANSVARLIG (NAVN, SIGN.)	GRADERING
040126STLU122641		Atle Harby 	Åpen
ISBN NR.	RAPPORTTYPE	FORSKNINGSSJEF (NAVN, SIGN.)	OPPLAG SIDER
82-594-2616-1		Petter Støa 	200 39
AVDELING	BESØKSADRESSE	LOKAL TELEFAKS	
Energisystemer	Sem Sælands vei 11	73 59 72 50	

RESULTAT (sammendrag)

Økt effektkjøring av kraftverk med utløp i elv vil medføre flere hurtige og hyppige endringer i vannføring. Stranding av fisk er et av de mest omtalte problemene i elver med unaturlige vannstandsreduksjoner. Ved hjelp av forsøk i innhegninger i to vassdrag og i laboratoriet Gurobekken, har vi funnet at stranding hos ungfisk av laks og ørret kan reduseres betraktelig når vannstanden ikke faller hurtigere enn 13 cm per time. Strandingsrisikoen er betydelig større i dagslys enn i mørket for laksunger om vinteren. Vel 40 prosent av fiskene som ble utsatt for gjentatte nedtappinger i laboratoriet strandet aldri. En betydelig andel fisk kan derfor overleve gjentatte nedtappinger trolig takket være individuelle variasjoner i atferdsmønstre. Større fisk er mindre utsatt enn små fisk. Stranding vil heller ikke alltid føre til dødelighet, fisk kan overleve i flere timer nede i et fuktig substrat. Når habitatet blir mindre gunstig som følge av en endring i vannføringen, vil fisken som regel flytte seg raskt til et område med bedre forhold. Når vannstanden stiger raskt som følge av effektkjøring vil området som settes under vann kunne brukes av ungfisk umiddelbart. Forsøk med radiomerking av ca 12 cm laksunger viste ingen tendens til at fisken vandrer mer ved hurtige og hyppige endringer i vannføring enn under stabile forhold. Studier av stress hos ungfisk av ørret viste at de raskt venner seg til betydelige døgnvariasjoner i vannføringen så lenge ikke elvesenga tørregges. Etter jevnlig effektkjøring i Nidelva ble bunndyrsamfunnet sterkt svekket i området som kun settes under vann periodevis. Ved overgang til stabil vannføring var en normal bunnsfauna etablert etter om lag en måned. Jevnlig effektkjøring med liten minste vannføring fører til en mer spesialisert begroing der mer spesialiserte arter av vannlevende moser og alger vil dominere. Effektkjøring kan føre til økt utspyling og trolig økt produksjon av vannvegetasjon på grunn av raskere gjenvekst. Rapporten gir generelle råd for drift av kraftverk med effektkjøring og viser hvordan stedegne undersøkelser av virkninger av raske vannstandsendringer kan gjennomføres.

STIKKORD

EGENVALGTE	Miljøvirkninger	Effektkjøring
	Fisk	Vannressurser

1) SINTEF Energiforskning, 2) NTNU, 3) NTNU-LFI Trondheim, 4) Universitetet i Oslo, 5) NIVA, 6) LFI Oslo

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
1	INNLEDNING 7
1.1	ØKOLOGISK BETYDNING AV VANNSTANSENDRINGER 7
1.2	RESULTATFORMIDLING 8
2	BEGREPER OG DEFINISJONER 9
3	STUDIEVASSDRAG, LABORATORIER OG MODELLVERKTØY 11
3.1	NIDELVA 12
3.2	DALEELVA 13
3.3	MANDALSVASSDRAGET VED SMELAND 14
3.4	MANDALSVASSDRAGET VED LAUDAL 14
3.5	WEST SALMON RIVER 15
3.6	LABORATORIER 15
3.6.1	Renner i Finland 15
3.6.2	Gurobekken 15
3.7	MODELLVERKTØY 16
4	VIRKINGER PÅ FISK 17
4.1	STRANDING AV UNGFISK 17
4.1.1	Metodikk for strandingsstudier 17
4.1.2	Effekt av årstid 17
4.1.3	Effekt av nedtappingshastighet 17
4.1.4	Effekter av de lokale levestandardene (habitat) 18
4.1.5	Dødelighet 19
4.1.6	Individuelle forskjeller i stranding 19
4.2	HABITATFORHOLD OG ATFERD HOS UNGFISK 20
4.2.1	Metodikk for studier av habitatbruk og atferd 20
4.2.2	Resultater 21
4.3	STRESS HOS UNGFISK 24
5	VIRKNING PÅ BUNNDYR OG DRIV 25
5.1	METODIKK FOR STUDIER AV BUNNDYR OG DRIV 25
5.2	EFFEKTER PÅ BUNNDYR 25
5.3	EFFEKTER PÅ DRIV 25
6	VIRKNINGER PÅ BEGROING 27
6.1	METODIKK FOR STUDIER AV BEGROING 27
6.2	EFFEKT AV DYP OG STRØMHASTIGHET 27
6.3	TIDSUTVIKLING I PERIODEN 1998-2001 27
7	RÅD FOR DRIFT AV KRAFTVERK 29
8	UNDERSØKELSER OM EFFEKTKJØRING ER TILRÅDELIIG I NYE VASSDRAG 30
8.1	INNLEDENDE UNDERSØKELSER 30
8.2	DETALJERTE UNDERSØKELSER 30
9	REFERANSER 32

Sammendrag

Økt effektkjøring vil medføre flere hurtige og hyppige endringer i vannføring i elver nedstrøms kraftverk som effektkjøres. Virkningen på økosystemet i elva er relativt lite kjent, og det finnes bare enkelte undersøkelser fra Nord-Amerika og Frankrike i litteraturen. Dette delprosjektet under EFFEKT-programmet har hatt som hovedmål å framskaffe ny viten og et metodisk grunnlag for å vurdere konsekvenser av økt effektkjøring på økosystemer i rennende vann.

Stranding av fisk er et av de mest omtalte problemene i elver som effektregeres. Med stranding menes fisk som blir liggende igjen på tørt land eller fanget i små pytter når vannstanden senkes. Problemet rammer først og fremst ungfisk ettersom disse som regel oppholder seg nær elvebredden. Ved hjelp av feltforsøk i innhegninger i to vassdrag og laboratorieundersøkelser, har vi funnet at stranding kan reduseres betraktelig når vannstanden ikke faller hurtigere enn 13 cm per time. Strandingsrisikoen er betydelig større i dagslys enn i mørket for laksunger om vinteren. I sommerhalvåret er risikoen for stranding mindre enn om vinteren og omtrent like stor dag og natt. Grovt bunnmateriale med gode skjulemuligheter øker risikoen for stranding. Stranding vil ikke alltid medføre dødelighet. I feltforsøkene kunne fiskeunger overleve flere timer nede i en tilsynelatende tørrlagt elvebunn på lave vanntemperaturer.

Vel 40 prosent av fiskene som ble utsatt for gjentatte nedtappinger i laboratoriet strandet aldri. Av de fiskene som strandet, strandet 55 - 66 prosent bare en gang. En betydelig andel fisk kan derfor overleve gjentatte strandingsepisoder trolig takket være individuelle variasjoner i atferdsmønster.

Når levetilstandene (habitatforholdene) blir mindre gunstige som følge av en endring i vannføringen, vil fisken som regel flytte seg raskt til et område med bedre habitatforhold. Når vannstanden stiger raskt som følge av effektkjøring vil området som settes under vann kunne brukes av ungfisk umiddelbart. Dette gjelder spesielt i sommerhalvåret når fisken aktivt søker næring. Telemetriforsøk fant ingen påviselig tendens til at ungfisk av laks vandrer mer ved hurtige og hyppige endringer i vannføring enn under stabile forhold.

Ungfisk av ørret venner seg raskt til betydelige døgnvariasjoner i vannføringen så lenge ikke elvesenga tørrlegges helt. Fysiologiske undersøkelser av stresshormonet kortisol i blodet til ettårig ørret viste at allerede etter det tredje døgnet med vannstandsfluktuasjoner var nivået gått tilbake tilsvarende ustresst fisk. Ørreten virker således å tilpasse seg raskt til jevnlig variasjoner i det fysiske leveområdet.

Bunndyrsamfunnet i en effektregeret elv vil være sterkt svekket i området som kun settes under vann periodevis. Ved overgang til stabil vannføring i sommerhalvåret, var en normal bunnfauna etablert etter om lag en måned i forsøkselva Nidelva.

Jevnlig effektkjøring fører til en mer spesialisert begroing der mer spesialiserte arter av vannlevende moser og alger vil dominere. Effektkjøring gir trolig en viss økt produksjon av vannvegetasjon gjennom gjentatte utspylinger av biomasse som fører til raskere gjenvekst.

Forord

Denne rapporten oppsummerer resultater fra prosjektet ”Konsekvenser av effektkjøring på økosystemer i rennende vann” som har vært et brukerstyrt prosjekt i Norges forskningsråd (prosjekt nr. 12677/212) i perioden 1997-2002. Flere andre formidlingstiltak brukes for å dokumentere prosjektet. Denne rapporten gir en oversikt over problemstillinger, resultater og analyser. Grundigere og mer detaljert rapportering finnes i vitenskapelige artikler og rapporter.

Prosjektet har vært et samarbeid mellom SINTEF Energiforskning (tidligere SINTEF Bygg og miljøteknikk), Høgskolen i Telemark, Laboratorium for innlandsfisk og ferskvannsekologi (LFI) i Oslo og Trondheim, Norges landbrukshøgskole (NLH), Norsk institutt for naturforskning (NINA), Norsk institutt for vannforskning (NIVA), Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) og Universitetet i Oslo (UiO). I tillegg har prosjektet samarbeidet med Department of Fisheries and Oceans, Newfoundland, Canada, Finnish Game and Fisheries Research Institute, Paltamo, Finland og Universitetet i Stuttgart, Tyskland. SINTEF Energiforskning har ledet prosjektet der Atle Harby har vært prosjektleder. Jo Halvard Halleraker var prosjektleder i 1999 under Atle Harbys permisjon.

Følgende personer har deltatt i prosjektarbeidet og bidratt til datainnsamling, analyser og diskusjoner: Knut Alfredsen, Jo Vegar Arnekleiv, Tor Haakon Bakken, Gitle Berland, Finn Berntsen, Per Ludvig Bjerke, Péter Borsányi, Trond Bremnes, Keith Clarke, Tuva Cathrine Daae, Zofia Dzikowska, Hans-Petter Fjeldstad, Lars Flodmark, Torbjørn Forseth, Klemet Godtland, Jo Halvard Halleraker, Atle Harby, Arne Haug, Jan Heggenes, Torhild Hessevik, Martha Hiscock, Nils Arne Hvidsten, Stein Johansen, Klaus Jorde, Ånund Killingtveit, Birgitte Kjelsberg, Gaute Kjærstad, Torstein Kristensen, Beate Kohler, Jarl Koksvik, Aki Mäki-Petays, Tore Nickelsen, Torben Ott, Henning Pavels, Curtis Pennell, Donna Perry, Lars Rønning, Svein Jakob Saltveit, David A. Scruton, Eduard Stephenson, Siri Stokseth, Håkon Sundt, Arnt-Inge Sætern, Henning Urke, Kjetil Arne Vaskinn, Teppo Vehanen, Asbjørn Vøllestad og Tore Wiers.

Styringsgruppa for prosjektet har hatt følgende sammensetning:

Arne Helge Erlandsen (leder)	Energibedriftenes landsforening
Odd Guttormsen (fra 1999)	Trondheim energiverk
Svein Haugland	Flerbruksplan Mandalsvassdraget/Agder Energi
Bjørn Høgaas	Nord-Trøndelag elektrisitetsverk
Jan Henning L'Abée-Lund	Norges vassdrags- og energidirektorat
Ola Lingaas	Sogn og Fjordane energiverk
Ingvald Midtun	Bergenshalvøens kommunale kraftselskap
Leif Nordseth (til og med 1998)	Trondheim energiverk
Steinar Sandøy	Direktoratet for naturforvaltning
Tormod Schei (fra 2000)	Statkraft

Arne Erlandsen, Svein Haugland og Jan-Henning L'Abée-Lund har vært styringsgruppas arbeidsutvalg. I hele prosjektperioden har det vært holdt 12 møter i styringsgruppa og 3 møter i arbeidsutvalget. Norges forskningsråd har finansiert prosjektet sammen med alle institusjoner med representanter i styringsgruppa.

1 INNLEDNING

Effektkjøring av kraftverk ble aktualisert med den nye energiloven i 1991 som åpnet for et fritt energimarked i Norge. Energibransjen forventet at en større prisforskjell på elektrisk strøm mellom dag og natt kunne få flere norske kraftverk til å endre driftsmønsteret til større bruk av effektkjøring. Dette har bare delvis slått til. Hvis vi regner med at alle kraftverk med brukstid under 4000 timer pr. år driver effektkjøring, hadde vi i Norge 191 slike kraftverk, 8 pumpekraftverk og 16 pumper med en maksimal ytelse på 11 540 MW og årsmiddelproduksjon på 33 900 GWh i 2001. Til sammenligning var den totale årsmiddelproduksjonen fra samtlige norske kraftverk 118 200 GWh med en maksimal ytelse på 27 596 MW i samme år.

Det brukerstyrte prosjektet ”Konsekvenser av effektkjøring på økosystemer i rennende vann” har vært et samarbeid mellom en rekke vannfaglige forskningsmiljø under ledelse av SINTEF. Prosjektet var en del av EFJEKT- programmet til Norges forskningsråd. Prosjektperioden var fra 1997 til 2002 med et budsjettet på omlag 10 millioner kroner. Prosjektet har hovedsakelig studert virkninger av hurtige og hyppige endringer i vannstand på elveøkosystemer, og således utfylt tema dekket av prosjektet ”Effektkjøring og konfliktreduserende tiltak” som ble ledet av NVE/Statkraft Grøner¹⁰.

Hovedmålsettingen for prosjektet var:

- 1) å kvantifisere de økologiske konsekvensene for fisk, bunndyr og begroing av mose og alger som følge av hyppige vannstandsendringer, og
- 2) å utarbeide og videreutvikle beslutningsverktøy og retningslinjer for effektkjøring av kraftverk med utløp til rennende vann med vekt på redusering av skadevirkninger.

En viktig føring i prosjektet har vært å arbeide med anadrom laks og ørret.

1.1 ØKOLOGISK BETYDNING AV VANNSTANSENDRINGER

Store endringer i vannføringen gjennom året og mellom år er naturlig i norske elver. Dynamikken i elver med både lavvannføring og flommer regnes for å være sentrale mekanismer for å opprettholde et sunt økosystem^{21, 26}.

Under normale forhold skjer endringer i vannstanden relativt langsomt, noe de fleste vannlevende organismene er tilpasset. Det er sjelden observert hurtigere senking av vannstanden enn 5-10 cm per time i naturlige elver av en viss størrelse. I regulerte elver med variable driftsforhold kan imidlertid vannføringen endre seg hurtig og noen ganger momentant. Effektkjøring fører ofte til drastiske fysiske endringer nedstrøms utløpet av kraftverkene. Stans i kraftproduksjonen kan føre til delvis tørrlagte elveleier, mens hurtige vannstandsøkninger kan føre til utspyling av organismer. Slike unaturlige vannstandsendringer er generelt uheldig for organismer som lever på rennende vann^{8,15}. De negative konsekvensene vil som regel være tydeligst rett nedstrøms utløp av effektregulerte kraftverk der variasjonen i vannføring er størst og skjer hurtigst.

Undersøkelser i Nord-amerikanske vassdrag har dokumentert ulike biologiske virkninger av effektkjøring som oppsummeres¹⁸. Noen avbøtende tiltak foreslås¹⁵. I Frankrike fant Valentin et al²⁷ store negative konsekvenser av effektkjøring i vassdrag med lave minstevannføringer. Lauters et al¹⁷ fant alvorlige negative virkninger av effektkjøring i elver der de fysiske forholdene var homogene. I Norge dokumenterte Hvidsten¹⁶ store tap av årsunger av laks og ørret i Nidelva, og han forklarte dårlig rekruttering hos ørret som en konsekvens av effektkjøring. Effektkjøring i Nidelva førte også til en betydelig sonering i bunndyrfauna⁴. I Drammenselva fant Schei²⁵ at effektkjøring der vannføring alltid økes om morgenen og senkes påfølgende ettermiddag trolig ikke påvirker ørret negativt, men derimot ble bestanden av ørekyt trolig redusert.

Tradisjonelt regulerte vassdrag har ofte mer stabil vannføring og mindre hydrologisk variasjon enn man naturlige vassdrag. Effektreulerte vassdrag vil ofte gi mer ustabile vannføringsforhold enn både naturlige og tradisjonelt regulerte vassdrag. Prosjektet har hatt som hypotese at økologiske forhold i regulerte vassdrag med veldig stabile vannføringsforhold kan forbedres ved en skånsom effektkjøring. Målsettingen har da også vært å gi råd til hvordan skånsom effektkjøring kan gjennomføres.

1.2 RESULTATFORMIDLING

Resultatene fra prosjektet oppsummeres i denne rapporten. De fleste resultater så vel som metoder og forutsetninger er tidligere presentert på konferanser, seminarer og konkrete besøk hos enkelte brukere. Flere populærvitenskapelige artikler, Internett-sider, avisoppslag samt innslag på radio og TV har bidratt til å spre resultater til så mange som mulig. Undersøkelser i alle delprosjekter er enten publisert eller i ferd med å bli publisert i internasjonale vitenskapelige tidsskrifter. Vitenskapelig publisering og deltakelse på internasjonale konferanser sikrer også at det faglige innholdet er tilstrekkelig. Gjennom disse tiltakene håper både utøvende forskere og styringsgruppa for prosjektet at et bredt publikum får kjennskap til ny kunnskap om miljøvirkningene av effektkjøring.

2 BEGREPER OG DEFINISJONER

Effektkjøring brukes vanligvis om vannkraftverk som over en kort periode produserer mye elektrisitet og i visse perioder settes ut av drift. Vi kan ha regelmessig effektkjøring som for eksempel døgnvariasjon korrelert med forbruksmønsteret, for eksempel kraftproduksjon mellom kl 6 og 18 og ingen produksjon fra kl 18 til kl 6. Uregelmessig effektregulering er også utbredt. Vanligvis vil et effektregulert kraftverk ha lavere brukstid enn et tradisjonelt regulert kraftverk.

Med *stranding* mener vi vannlevende organismer som blir liggende igjen på tørt land når vannføringen reduseres hurtig. De kan fanges i små pytter og sideløp som mister kontakten med hovedløpet eller bare bli liggende igjen på elvebunnen når vannet forsvinner.

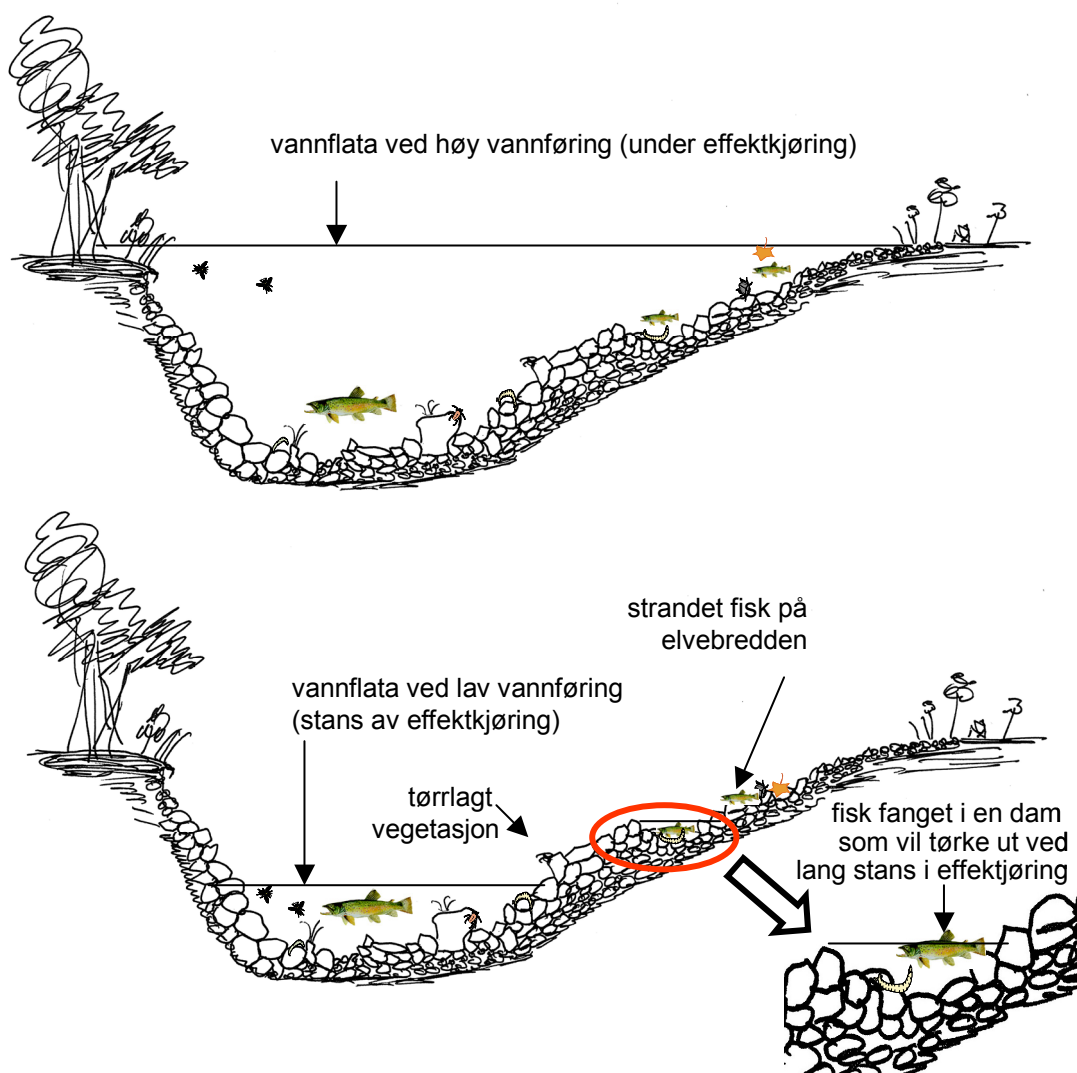
Med *nedtappingshastighet* mener vi tiden det tar fra en vannstand starter å synke til den stabiliserer seg på et lavere nivå eller begynner å stige igjen.

Bunndyr er invertebrater som lever i og på bunnen i elver, bekker, tjern og innsjøer. I nordiske elver og bekker er størstedelen av bunndyrene insektlarver av døgnfluer, steinfluer, vårfluer, fjærmygg og knott. De fleste artene lever som nymfer eller larver om lag et år før de klekker til voksne, flyvende insekter som forplanter seg og legger egg i ellevannet. I tillegg består bunndyr av snegler, muslinger, vannmidd og fåbørstemark. Bunndyrene kan forekomme i store tettheter, ofte opp mot 20 000 individer pr m² elvebunn, og er viktige næringsdyr for fisk.

Vanligvis vil vi finne at en del bunndyr driver av sted med vannmassene - såkalt *driv* eller *drift*. Det kan skje ved at bunndyrene aktivt søker opp i vannmassene for å spre seg eller flykte fra en predator, eksempelvis en fisk, eller de kan komme i drift mer på grunn av tilfeldigheter eller plutselig økning i vannhastigheten. Stort sett finner vi de samme dyregruppene og artene i drivet som på bunnen.

Begroing er i denne sammenheng en samlebetegnelse for fastsittende alger, moser og karplanter som har elvebunnen som substrat og voksested.

En del av disse begrepene er illustrert i Figur 1.



Figur 1: Skisse av et elvetverrsnitt under effektkjøring (øverst) med høy vannføring og etter stans av effektkjøring (nederst) ved lav vannføring. To typer stranding er tegnet inn på den nederste figuren; stranding direkte på elvebredden og fisk fanget i en dam som vil tørke ut etter hvert.

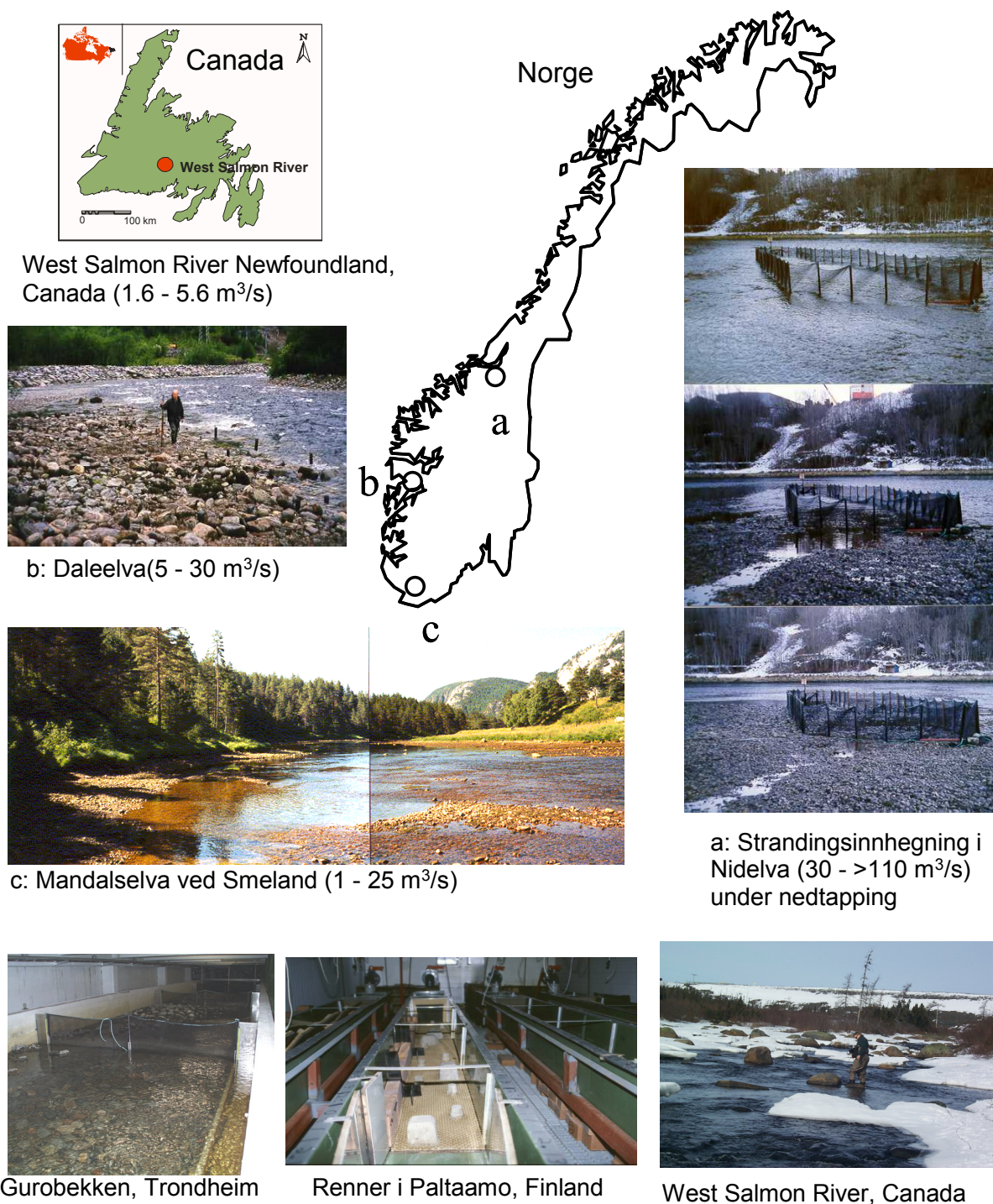
3 STUDIEVASSDRAG, LABORATORIER OG MODELLVERKTØY

Arbeidet i prosjektet har vært konsentrert om hypotesetesting ved hjelp av kontrollerte forsøk og systematisk datainnsamling i naturlige vassdrag som i dag har varierende vannføring. Etter hvert som enkelte problemstillinger ble avklart, ble noen avgrensede problemstillinger undersøkt i laboratorium. Tabell 1 viser en oversikt over feltlokalitetene og noen viktige data. Figur 2 viser hvor studievassdragene befinner seg sammen med bilder av felt lokalitetene og laboratoriene.

Tabell 1. Noen nøkkeldata for vassdragene med forsøksvirksomhet i Effekt prosjektet.

Navn	Kommune	Vannføring (min. – normal driftsvannf.) [maks driftsvannf.]	Viktigste fiskearter	Normal grad av effektkjøring ned mot minstevannføring i prosjektperioden
Nidelva	Trondheim	30 – 110 m ³ /s [150 m ³ /s]	Laks, Ørret	Sjelden ned mot minstevannføring
Daleelva	Vaksdal	5 (3) – 30 m ³ /s [44 m ³ /s]	Laks, Ørret	Variabelt, ofte ned mot 5 m ³ /s
Mandalselva ved Smeland	Åseral	0,2 / 0,6– 30 m ³ /s	Kanadisk bekkerøye, Ørret	Veldig hyppig (flere ganger pr uke)
Mandalselva ved Laudal	Marnardal	1,5 / 3,0 m ³ /s* [13 m ³ /s]	Ørret, laks	Ingen, kun minstevannføring sluppet fra dam Mannflå
West Salmon River	New-foundland, Canada	1,3/ 5.6 m ³ /s* [5,6 m ³ /s]	Kanadisk bekkerøye, laks	Ikke normalt, men vannføringsmønsteret ble tilpasset forsøkene

* Minstevannføringsstrekning: krav til vannføring vinter/sommer



Figur 2: Kart og bilder fra studievassdrag og laboratorier.

3.1 NIDELVA

Nidelva renner fra Selbusjøen til Trondheimsfjorden ved Trondheim i Sør-Trøndelag. Nedbørfeltet til Nidelva-Nea-vassdraget er på 3110 km^2 . Avstanden fra utspringet nær Sylane til fjorden er 160 km. Trondheim Energiverk har 14 kraftverk i vassdraget, der Nedre Leirfoss befinner seg lengst nedstrøms. I tillegg henter Bratsberg kraftverk vann direkte fra Selbusjøen og slipper det ut i Nidelva ved undervann i Nedre Leirfoss kraftverk. Bratsberg kraftverk

effektreguleres i perioder, men kraftverket kan også gå med konstant vannføring over mange uker. Maksimal produksjonsvannføring er på ca 150 m³/s.

Nidelva har anadrom laksefisk på den 6 km lange strekningen fra Nedre Leirfoss til utløp i fjorden. Nidelva nedstrøms Nedre Leirfoss har en solid laksebestand og en liten sjørretbestand. Denne delen av Nidelva har en konsesjonsbestemt minstevannføring på 30 m³/s. Årlig middelvannføring ved utløpet i fjorden er 95 m³/s. Fangstene av laks i Nidelva bruker å være blant de 10 største i Norge, og var i 2001 på 9 723 kg og 5 016 kg i 2002.

Om lag 2 km nedstrøms Nedre Leirfoss finner vi lokaliteten ”Trekanten”. I en lang venstresving har Nidelva dannet en grusør i innersving og en dypål i yttersving. Ved minstevannføring tørlegges mesteparten av grusøra. På Trekanten ble det bygget en forsøksinnhegning for eksperimentelle studier av stranding. Om lag 75 m² av grusøra ble gjerdet inn med fiskenot og vinkeljern som stakk tilstrekkelig dypt ned i grusen til å hindre flukt av fisk. Innhegningen hadde en notpose i nedstrøms ende ut mot området som alltid var vanddekket. Notposen fanget opp fisk som flytter seg under nedtappingsforsøk.

Forsøksinnhegningen ble montert i de avgrensede periodene når forsøk pågikk. Området på Trekanten ble også detaljert målt opp, og strømningsforholdene på ulike vannføringer ble modellert. Habitatbruk hos ungfisk av laks og ørret samt bunndyr på ulike årstider er studert på Trekanten. Observasjonene innsamlet gjennom dykkestudier, telemetri eller sparkeprøver er koblet til de fysiske forholdene. Hvordan driv og begroing har fordelt seg har også blitt undersøkt.

3.2 DALEELVA

Daleelva er den nedre delen av Bergsdalvassdraget som ligger i Vaksdal kommune i Hordaland. Vassdraget har et samlet nedbørfelt på 248,6 km². Vannressursene i Bergsdalen utnyttes til kraftproduksjon med tre kraftverk som Bergenshalvøens kommunale kraftselskap driver. Storefossen er inntaksmagasinet til Dale kraftverk som ligger nederst i vassdraget.

Daleelva har en anadrom strekning på ca 5,5 km. Oppstrøms utløpet av Dale kraftverk slippes det inntil 300 l/s fra magasinet for å sikre minstevannføringen, dersom tilsiget ikke er tilstrekkelig. Fra utløpet av kraftverket renner det til en hver tid en konsesjonspålagt minstevannføring på 3 m³/s. Maksimal produksjonsvannføring er på ca 44 m³/s.

Vannkvaliteten har i perioder blitt vurdert til å være marginal for laks, men tilstrekkelig for sjørreten. Tettheten av ungfisk hos begge arter har imidlertid vært høy, noe som har blitt tilskrevet omfattende utsetting og naturlig rekruttering. I perioden 1969 til 1995 ble det i gjennomsnitt fanget 96 kg laks og 214 kg sjørret pr år.

Prosjektet fikk bygget en forsøksinnhegning for strandingsstudier av ørret, i sonen som periodevis tørlegges i Daleelva. Denne lokaliteten hadde høyere vannhastigheter, grovere substrat og en raskere responstid på nedtappingene enn i Nidelva og relativt mye hulrom og grunnvann.

Innhegningen ble inndelt i tre seksjoner som hver er på 30 m², slik at parallelle forsøk kunne utføres.

3.3 MANDALSVASSDRAGET VED SMELAND

Mandalselva har sitt utspring i fjellet ca 130 km nord for Mandal, og har et totalt nedbørfelt på ca 1800 km² ved utløp i havet. Vassdraget er sterkt berørt av regulering og har vært betydelig rammet av forsuring.

For å gjøre undersøkelser omkring effektkjøring og virkninger på vannvegetasjon, ble en delstrekning i øvre deler av Mandalselva i Åseral kommune, Vest-Agder valgt som lokalitet. Lokaliteten ligger nedstrøms Smeland kraftstasjon som har blitt jevnlig effektkjørt siden 1985. Normal drift av Smeland kraftstasjon innebærer full kjøring (30 m³/s) om dagen og full stans om natten. Lengden av stansperioden varierer gjennom året. Det er pålagt minstevannføring nedstrøms kraftverket på 0,2 m³/s fra 1 oktober til 1 mai og 0,6 m³/s i sommerhalvåret. I tillegg kommer tilsiget fra et uregulert restfelt på 6,8 km² med middelavrenning på 40 l/s km². Dette gjør at lokaliteten aldri er helt tørrlagt selv om kraftverket ikke er i drift.

Lokaliteten ligger 300 – 500 meter nedstrøms utløpet av Smeland kraftverk, og er delt inn i to delstrekninger på henholdsvis ca 60 x 30 m og 90 x 40 m (1920 m² og 3870 m²). Her er det tatt bildeserier av begroingssamfunnene som er analysert med hensyn på forekomst og dekningsgrad av synlig begroing. Det er i tillegg tatt biomasseprøver av grønnalger. Data om vannvegetasjonen er så koblet til detaljerte data om dyp og strømhastighet fra den tredimensjonal strømningsmodellen SSIIM.

3.4 MANDALSVASSDRAGET VED LAUDAL

Laudal kraftverk i Marnardal kommune er det nederste kraftverket til Agder Energi i Mandalsvassdraget. Maksimal kapasitet er 110 m³/s for Laudal kraftverk som har inntaksmagasin i Mannflåvann. Strekningen dam Mannflå - Laudal på 5.9 km får i dag minstevannføring på 1.5 m³/s i vinterhalvåret og 3 m³/s i sommerhalvåret. I det gamle elveløpet fra Mannflåvann til Laudal er det bygget ti terskler, noen av dem med innebygd laksetrapp. Laksestammen har tatt seg sterkt opp de senere år etter fullkalking av elva i 1997.

I en periode i mai 2000 ble vannføringen variert mellom 1.5 m³/s og 12 m³/s. Bevegelsene til omlag 16 laksunger ble fulgt ved hver endring i vannføring ved hjelp av høy presisjons telemetri. En større del av strekningen mellom Mannflå og Laudal ble målt opp og de fysiske forholdene ble kartlagt og modellert, for å finne ut hvilke deler av elva ungfisken benyttet under og mellom vannstandsendringene.

3.5 WEST SALMON RIVER

West Salmon River er en regulert elv som kommer fra West Salmon Dam. Elva renner ut i havet i Bay d'Espoir på sørsiden av Newfoundland i østre Canada. Vannføringen i elva varierer normalt i liten grad. Fra juni til november har elva en minstevannføring på 2,6 m³/s som tilsvarer 40 prosent av den årlige uregulerte middelvannføringen, og 1,3 m³/s resten av året.

West Salmon River ble valgt som prøvevassdrag først og fremst på grunn av de gode mulighetene til å variere vannføringen kunstig mellom om lag 1.5 m³/s og 8 m³/s. Forsøksstrekningen på ca 200 m som er brukt i dette prosjektet er om lag 400 m nedstrøms dammen, der bredden på elva varierte fra 20 til 45 meter ved 2,6 m³/s, med et variert tilbud av strømningstyper, substrat og vannhastigheter. West Salmon River har en god bestand av både relikte atlantisk laks og kanadisk bekkerøye (*Salvelinus fontinalis*).

3.6 LABORATORIER

3.6.1 Renner i Finland

I lokalene til Finnish Game and Fisheries Research Institute i Paltamo, Finland, ble fire små innendørs renner tatt i bruk til atferdsstudier av ung ørret under varierende vannføring. Rennene er 6 m lange og 37 cm brede med maksimal dybde på 30 cm og en konstant bunnhelning på 1,5 prosent. Rennene var utstyrt med ulike typer skjul for å studere hvordan ørretunger brukte ulike skjul ved fluktuerende vannføring. Rennene ble kontinuerlig overvåket med videokamera.

3.6.2 Gurobekken

En elvelignende kanal kalt Gurobekken ble bygget i SINTEFs lokaler i Trondheim slik at den etterligner en halv elv. Gurobekken er 21 m lang og 4 m bred og er fylt med elvegrus og noe mose. Vannføringen kan varieres opp til mer enn 300 l/s med vannhastigheter opp mot 50 cm/s i overflaten, og om lag 30 cm/s i gjennomsnitt ved høy vannføring. Elvebunnen skråner ned mot dypålen, som er utformet som ei renne uten grus på den ene siden. Elvevannet resirkuleres med to datastyrte pumper, og en lem i nedstrøms ende regulerer vannstanden. Vanntemperaturen ble variert mellom 6 og 12 °C avhengig av ferskvannstilførselen og tid på året. Lysforholdene ble tilpasset den naturlige døgnlengden.

Gurobekken er brukt til strandingsstudier og stressfysiologiske studier av ungfisk. Arnekleiv et al (2004) fant at ungfisk av ørret og laks som fanges med elektrosjokk i Nidelva og overføres til Gurobekken raskt venner seg til forholdene innendørs. Allerede etter 24 timer med stabil vannføring i Gurobekken tilsvarte nivået på stresshormonet kortisol hos ørret bakgrunnsnivået i Nidelva. I 2001 fikk fiskene passive identifikasjonsmerker ("PIT" merker) i bukhalen, slik at hver fisk kunne følges gjennom gjentatte nedtappingsforsøk, og strandet fisk kunne letes opp med antenner.

3.7 MODELLVERKTØY

En rekke enkeltstående simuleringsmodeller er brukt i forskningsarbeidet. De viktigste modellene er nMAG, DAMBRK, SSIIM og HABITAT som alle inngår i Vassdragssimulatoren. En kort beskrivelse av modellene følger:

- nMAG:** Modellen beregner kraftproduksjon samt vannføring og vannstand i utvalgte punkter på elvestrekninger og i magasin i et gitt kraftverkssystem. nMAG er brukt til å beskrive kraftverkssystemet i Nidelva og Surna. nMAG er utviklet ved NTNU.
- DAMBRK:** Modellen beregner ikke-stasjonær strømming på bakgrunn av terrengdata gitt som tverrprofiler. DAMBRK er brukt til å simulere hvordan hurtige senkninger og økninger i vannføringen forplanter seg langs Nidelva. DAMBRK er utviklet ved National Weather Services i USA.
- SSIIM:** Modellen beregner strømningsforhold i tre dimensjoner basert på Navier-Stokes ligninger og en turbulensmodell. Bunntopografien på en elvestrekning er viktige inngangsdata. Modellen er brukt til å simulere mikroskala strømhastigheter og vandyp på en elvestrekning inkludert innhegningen ved Trekanten i Nidelva, forsøksstrekningene ved både Smeland og Laudal-Mannflå i Mandalsvassdrag og i Gurobekken. SSIIM er utviklet ved NTNU.
- River2D:** Den to-dimensjonale strømningsmodellen River2D er utviklet ved University of Alberta i Canada og beregner dybde og strømming langs og på tvers av elvas lengderetning. Beregningene i modellen baserer seg på bevaring av masse og impuls og antar en uniform strømningsfordeling i dybden. Den må derfor ikke brukes til detaljstudier i dybderetning. Bunntopografi på en elvestrekning er viktige inngangsdata. River2D er brukt til å simulere strømningsmønster i West Salmon River til studier av atferd og habitatvalg.
- HABITAT:** Modellen beregner habitatforhold med hensyn vandyp, vannhastighet og substrat ut fra målinger eller resultater fra strømningsmodeller som HEC-RAS eller SSIIM. HABITAT er i tillegg avhengig av preferansedata for fisk. HABITAT er brukt i detalj for en elvestrekning inkludert innhegningen ved Trekanten i Nidelva, samt på en grovere skala i Nidelva og Surna. HABITAT er utviklet ved SINTEF, NTNU og LFI Oslo.

En integrert simuleringsmodell som beregner produsert vannkraft, inntekter av produsert vannkraft, strømningsforhold og fiskeforhold er testet ut i Nidelva i Trondheim og Surna i Møre og Romsdal gjennom en periode med varierende vannføring. Resultater fra detaljerte undersøkelser av fiskehabitat på noen lokaliteter er fordelt til en større del av vassdraget ved bruk av GIS og elveklassifisering. Hovedinnsatsen for utvikling av modellverktøy gjøres som et dr ing studium ved NTNU som ikke slutføres før utgangen av 2003, og rapporteres ikke her. En bioenergetisk simuleringsmodell der energibudsjett for fisk beregnes er utviklet i prosjektet². Den bioenergetisk modellen bygger på habitatmodellen men inkluderer i tillegg driv, svømmeferdigheter, synbarhet og fangbarhet slik at energetiske kostnader ved fødeopptak og metabolisme beregnes og sammenlignes med energiinntaket.

4 VIRKINGER PÅ FISK

4.1 STRANDING AV UNGFISK

Stranding kan forårsake høy dødelighet hos ørret- og laksunger, som er dokumentert fra flere norske^{16, 23, 5, 9, 24, 11} og utenlandske elver^{14, 15, 7, 6, 27}. Det er imidlertid gjort få forsøk på å kvantifisere dødelighet og effekter på fiskebestander.

4.1.1 Metodikk for strandingsstudier

Eksperimentelle feltundersøkelser ble gjennomført i de spesialbygde innhegningene i Nidelva og Daleelva. Det ble også utført mange strandingsforsøk i elvelaboratoriet Gurobekken. Ved høy vannføring ble det satt ut et kjent antall ungfisk, som varierte avhengig av fiskens størrelse og årsklasse (en til to fisk pr m²). Etter innledende forsøk med settefisk, ble vill fisk brukt. Det viste seg at atferden til settefisk var meget ulik villfisk med dagaktivitet og liten vilje til å etablere standplass i substratet.

Fisk ble gruppemerket for å kunne skille mellom forsøk. Antall strandet fisk ble beregnet ved å telle overlevd fisk som trakk ut av tørreleggingssonen. I tillegg ble det i de fleste forsøk søkt etter fisk i det tørrelagte substratet. Forsøk med ulike aldersklasser og tettheter av laks og ørret ble gjennomført. Fisk ble utsatt for nedtappinger om dagen og om natten, ved ulike temperaturer (sommer/vinter), samt varierende grad av skjul, nedtappingshastighet og tid mellom hver nedtapping.

4.1.2 Effekt av årstid

Forsøkene viste at betydelige mengder av både årsunger (0+) og fjorårsunger (1+) av laks og ørret strandet i enkelte forsøk. Vanntemperaturen er en av hovedfaktorene som styrer omfanget av stranding. Midtvinters strandet opptil 50 prosent av ungfisken. Generelt strandet flest laks og ørret ved lav temperatur om vinteren (< 4.5° C). Lave vanntemperaturer om våren ga ikke like stor stranding, mens lavest stranding skjedde ved høy temperatur på seinsommeren og høsten. Denne årstidsvariasjonen skyldes lavere aktivitet hos fisk om vinteren, fordi fisk da i større grad gjemmer seg i elvebunnen¹³. Strandingsresultatene sommerstid ved høyere temperaturer (> 9° C) var mindre entydige og ga ingen klar forskjell mellom dag og natt. Laboratorieforsøkene viste imidlertid lavest stranding ved nedtappinger i mørket om sommeren. Figur 3 viser resultatene fra strandingsstudier ved ulike årstider i lys og mørke.

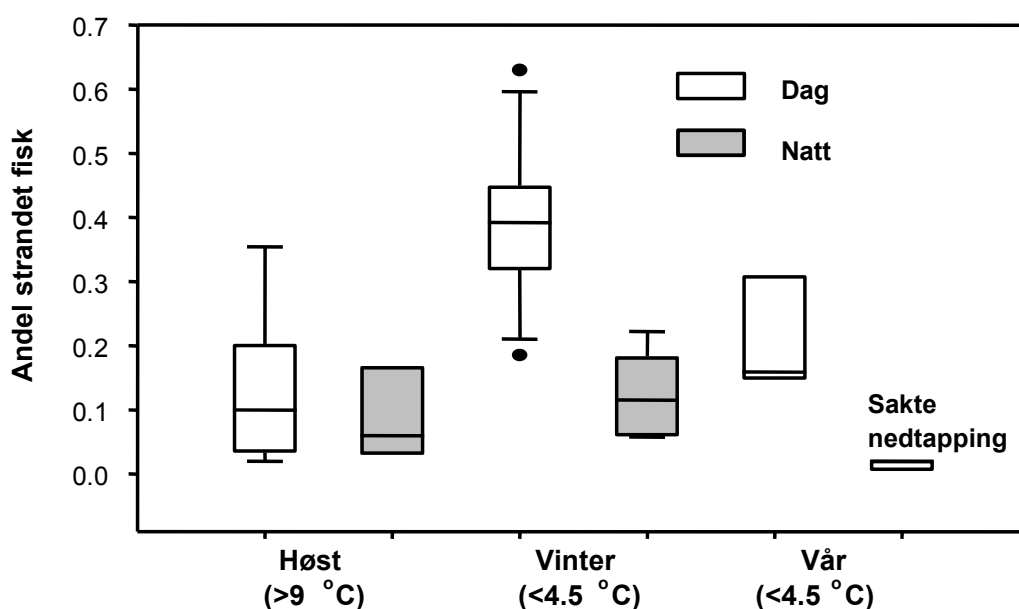
4.1.3 Effekt av nedtappingshastighet

Normalt praktiseres en tilnærmet momentan avstengning av kraftverk. Dette tilsier hurtig reduksjon i vannstand. Hastigheten på nedtappingen avtar imidlertid med økende avstand fra utløpstunnelen. For laks ble det om vinteren ikke funnet noen klar reduksjon i strandingsfrekvens der vannstanden ble senket mellom 18 og 84 cm pr time, verken dag eller natt. Senere forsøk med ekstraordinær lang nedtappingstid om våren førte til redusert stranding i feltforsøkene. Forsøk i Gurobekken viste at en redusert nedtappingshastighet fra vel 60 cm/time til ca 20 cm/time reduserte stranding av de minste ørretene med over 50 prosent og at stranding av fjorårsunger (1+)

tilnærmet ble eliminert. Selv senkninger av vannstanden saktere enn 10 cm pr time sommerstid innebar likevel at enkelte årsunger strandet i mange forsøk.

Stranding kan reduseres betydelig ved senkningshastigheter lavere enn 13 cm pr time ved at fisk gis mulighet til å forflytte seg. Den kritiske grensen for nedtappingshastighet vil variere avhengig av art, størrelse, skjulmulighetene og oppvekstområdets utforming. Forsøksseriene ga også en indikasjon på at stranding økte med tiden mellom hver nedtappingssekvens.

Observasjoner av atferd viste at fisken i stor grad venter mot slutten av en nedtappingssekvens med å trekke mot dypere vann. Vi fant at de ofte panisk søkte mot dypere vann først når ryggfinnen delvis stakk over vann. Den siste del av nedtappingen like før substratet tørlegges virker således til å være den mest kritiske fasen.



Kommentar til grafen: Resultatene framstilles ved hjelp av såkalt "boksplott". Rektangelet viser de innerste 50 prosent av data der streken i midten representerer medianverdien. Den horisontale streken over og under rektangelet viser ytterpunktene av data mens en sirkel utenfor der igjen viser statistiske "uteliggere" som ikke kan regnes med.

Figur 3: Andel strandet fisk ved ulike årstider i lys og mørke.

4.1.4 Effekter av de lokale leveforholdene (habitat)

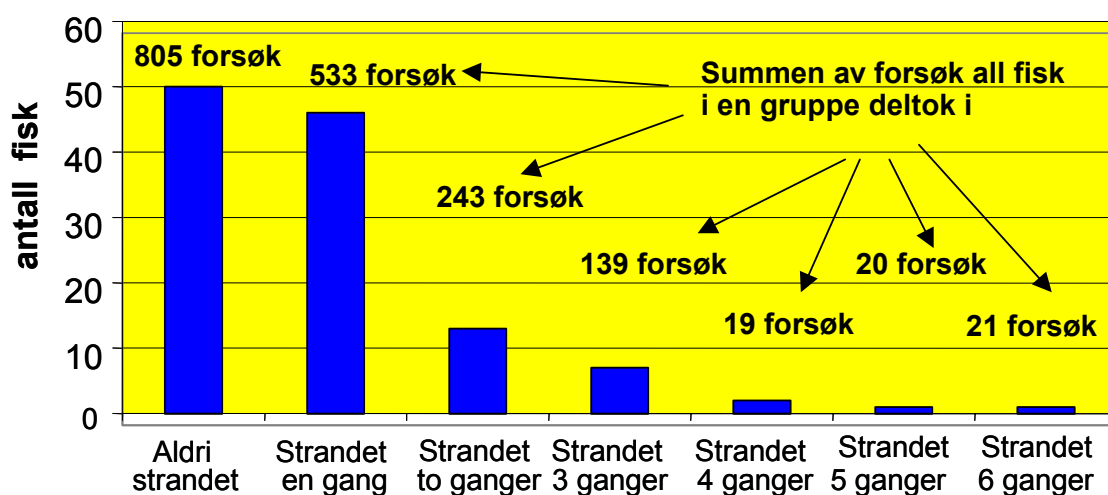
I enkelte forsøk ble skjulmulighetene økt ved å legge ut takheller. Ved hurtige nedtappinger ble det ikke funnet synlige forskjeller i stranding mellom forsøk gjort ved normalt substrat og forsøk med økt skjul. Økte skjulmuligheter ga imidlertid høyere stranding ved meget langsomme reduksjoner i vannføring. Forsøkene har dessuten vist at de fysiske forholdene som skjul, vannhastigheter og helning på reguleringssonen er av størst betydning for stranding på kaldt vann.

4.1.5 Dødelighet

Forsøkene viste at det å beregne dødelighet som følge av vannstandsreduksjon ved å telle strandet fisk i reguleringssonen kan gi et feilaktig resultat. Ofte ble en betydelig andel strandet fisk ikke funnet igjen, selv etter at to mann lette i en time hver innenfor et område på 75 m². Levende fisk fra tidligere forsøk ble funnet i påfølgende forsøk, noe som viste at strandet laks og ørret kunne overleve flere timer i fuktig elvegrus. I Daleelva overlevde 10 til 20 prosent av den ørreten som strandet en til fire påfølgende strandingsepisoder. Grunnvannstilsig og strømningsforhold i og nær bunnen er trolig sentralt for overlevelsen. Andelen fisk som overlevde varierte med tid på året, dvs temperatur, og typen bunnmateriale. Utforming av elvebunnen spiller en sentral rolle og porøsiteten er trolig viktig. Overlevelsen var størst om vinteren. Ved hurtige og kortvarige reduksjoner i vannføring vil derfor stranding ikke være ensbetydende med dødelighet, og flere av de forsøkene som er gjennomført kvantifiserer derfor strengt tatt heller ikke dødelighet, med mindre reguleringssonen tørregges over lang tid.

4.1.6 Individuelle forskjeller i stranding

Flere grupper av ørret og noen laksunger (hovedsakelig fjorårsunger) ble merket med unike ID-merker (PIT-merker) i bukhulen før de ble utsatt for fluktuerende vannføringer i Gurobekken. De såkalte PIT-merkene var 2 x 11 mm store, og en unik ID kode leses av med en antenne som holdes maksimalt 15 cm fra merket. Dette ble gjort for å studere individuelle forskjeller i atferd til ungfish under nedtappingssekvenser, samt for å lete fram strandet fisk og beskrive strandingslokalitetene. Forsøkene viste store forskjeller mellom ulike forsøk og fra fisk til fisk. Vel 40 prosent av fiskene som ble utsatt for gjentatte nedtappinger strandet aldri. Av de fiskene som strandet, strandet 55 - 66 prosent bare én gang. En betydelig andel fisk kan derfor overleve gjentatte strandingsepisoder trolig takket være individuelle variasjoner i atferdsmønster. Figur 4 viser noen resultater fra de individuelle strandingsstudiene.



Figur 4: Stranding av individmerkede fisk i laboratoriet.

4.2 HABITATFORHOLD OG ATFERD HOS UNGFISK

Effektkjøring kan føre til direkte dødelighet som f.eks. ved stranding. Fisk kan også utsettes for andre belastninger som ikke gir direkte dødelighet på kort sikt, men som på lang sikt kan få betydelig innvirkning på en fiskebestand. Endringer i leveforholdene (habitatforholdene) og påvirkning av småskala vandring hos ungfisk kan være slike påvirkninger.

4.2.1 Metodikk for studier av habitatbruk og atferd

Habitatbruk til laks og ørret ble undersøkt ved dykking og snorkling i Nidelva ved Trekanten i flere tidsrom før, under og etter økning og senking av vannføring til ulike tider på året i mørke og dagslys. Fysiske forhold på steder det ble observert fisk ble målt inn i ettertid. Enkelte feltundersøkelser med dykking og snorkling ble også gjennomført i Daleelva. Basert på resultatene fra dykking i Nidelva ble det utarbeidet preferansekurver for ørret og laks for ulike årstider og for fisk større og mindre enn 71 mm.

Habitatbruk, adferd og vandringsmønster til ungfisk av laks større enn 10 cm ble undersøkt vha telemetri på et noe større område i Nidelva om sommeren. Fiskenes posisjon ble peilet fire ganger i døgnet i en tre ukers periode med regelmessig effektkjøring. Vannføringen ble økt om morgenen og senket om kvelden. Det ble også gjennomført en serie med telemetriforsøk innenfor innhegningen i Nidelva.

Tilsvarende undersøkelser med telemetri av laksunger større enn 10 cm ble gjennomført i Mandalselva ved Laudal på våren med lav vanntemperatur. Vannføringen ble kunstig variert mellom 1,5 og 10 m³/s etter to ulike mønstre med heving og senking av vannføringen. Fiskeposisjon ble peilet opp til 16 ganger i døgnet og alltid både før og etter hver endring i vannføring. Figur 5 viser hvordan arbeidet med fanging, merking og peiling av fisk foregikk.

I samarbeid med Department of Fisheries and Oceans, Canada, ble det gjennomført telemetri og habitatstudier på en effektkjørt strekning i West Salmon River på Newfoundland. Vannføringen ble variert mellom 1,3 og 5,6 m³/s. Ungfisk av relikat atlantisk laks og kanadisk bekkerøye (*salvelinus fontinalis*) ble merket og fulgt igjennom døgnet. Stasjonen ble målt opp og simulert hydraulisk med programmet River2D. Det er utført studier av adferd og habitatvalg under variable vannføringsforhold²⁰.

I renneforsøk i Finland ble skjul systematisk variert i renner med fluktuerende vannføring der ørret ble videofilmet for analyser av skjulbruk i et miljø med fluktuerende vannføring. Habitatforholdene ble beskrevet ved direkte målinger.



1. Elektrisk fiskeapparat for å fange fisk



2. Vekt og mål av hver enkelt fisk noteres



3. Implantering av radiosender i bukhalen



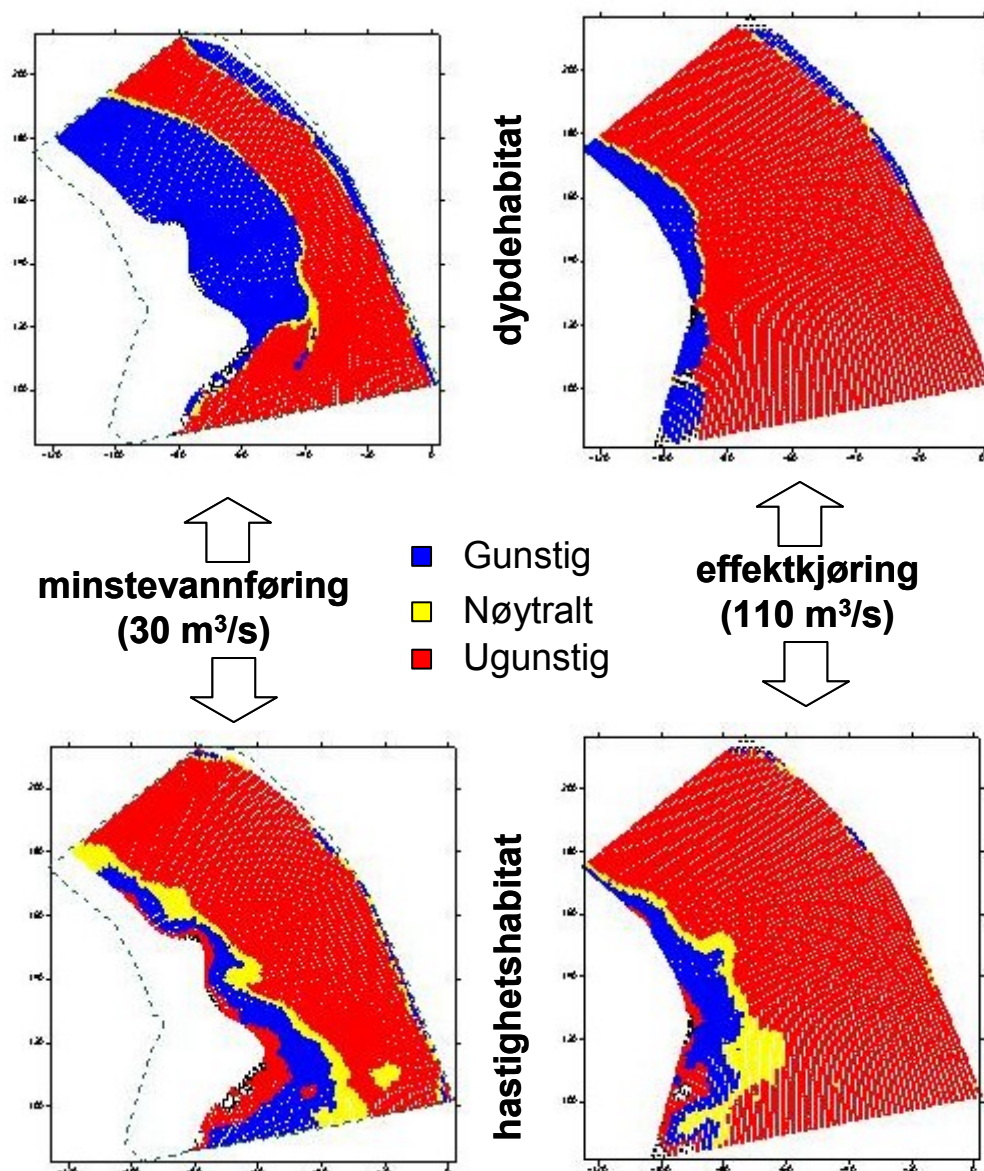
4. Peiling av fisk med "H"-antenne

Figur 5: Fangst, merking og peiling av fisk i Mandalselva.

Elvetopografi og kalibreringsdata for hydrauliske simulering ble samlet inn i Nidelva ved hjelp av totalstasjon og hastighetsmålere med vekt på å samle inn detaljerte data fra området som blir tørrlagt ved lav vannføring. Hydrauliske forhold i Nidelva og Mandalselva ble modellert ved hjelp av SSIIM¹⁹ for flere vannføringer mellom 30 m³/s og 110 m³/s. Både to- og tredimensjonale hastighetsfelt ble beregnet. De todimensjonale resultatene er brukt i habitatanalysene, og de tredimensjonale er brukt for å prøve ut en bioenergetisk modell denne strekningen. Målte dybde og hastighetsdata ble brukt til å verifisere simuleringen. Programsystemet HABITAT¹ ble brukt for å kjøre habitatanalysene for de ulike vannføringene.

4.2.2 Resultater

Habitatkart for dyp, hastighet og substrat for ungfisk er produsert for alle de simulerte vannføringene. For vannføringer over minstevannføringen på 30 m³/s er habitatet delt inn i tørrlagt og permanent vanndekt område. Disse analysene viser at størstedelen av tilgjengelig gunstig habitat ligger i området som er utsatt for varierende vannstand under effektkjøringen. Figur 6 viser habitatkart for dybde og hastighet på to typiske vannføringer.



Figur 6. Habitatkart for dybde- og hastighetsforhold i Nidelva på minstevannføring og under effektkjøring.

En bioenergetisk modell^{1,3} er også brukt for å klassifisere habitat basert på drivdata (Kapittel 5.3), hydrauliske data og temperaturdata. I denne modellen er det gjort en antagelse om at høyt netto energinivå er gunstig habitat for fisken. Netto energinivå er funnet som energi gjennom fødeopptak fratrukket kostnader ved utskillelse av avfall og metabolisme. Simuleringer med denne modellen viser samme trend som den preferansebaserte modellen når det gjelder plassering og utbredelse av gunstig habitat.

Når levetilstandene (habitatforholdene) blir mindre gunstige som følge av en endring i vannføringen, vil fisken som regel flytte seg raskt til et område med bedre habitatforhold. Når vannstanden stiger raskt som følge av effektkjøring, vil området som settes under vann kunne brukes av ungfish umiddelbart. Dykkeobservasjonene fra Nidelva viser at fisken raskt tar i bruk de tørrlagte områdene etter at vannstanden var hevet. Dette gjelder spesielt i sommerhalvåret når fisken aktivt søker næring.

I Nidelva ble det ikke funnet forskjeller i antall vandringer, vandringslengde eller størrelse på det såkalte "hjemmeområde" til ungfisk av laks under perioder med varierende vannføring kontra perioder med stabil vannføring. Resultatene fra Nidelva tyder på mye vandring innenfor hjemmeområdet hele tiden, uavhengig av variasjoner i vannføring. Dette kan indikere at fisken er stresset av endringene og bruker hjemmeområdet sitt mer aktivt på grunn av hyppige habitat-hydrauliske endringer.

Telemetriforsøk fant ingen påviselig tendens til at ungfisk av laks vandrer mer ved hurtige og hyppige endringer i vannføring enn under stabile forhold. Resultatene bekreftes fra forsøk på store laksunger i Nidelva på høye vanntemperaturer om sommeren, i Mandalselva på lave vanntemperaturer om våren og både sommer og høst i West Salmon River.

I Mandalselva var det heller ingen signifikante ulikheter i antall forflytninger under varierende vannføring sammenlignet med stabile forhold. Fisk som oppholdt seg i en stor kulp med liten grad av variasjon i habitat beveget seg langt mindre enn fisk som oppholdt seg i et fragmentert habitat både under stabile og varierende vannføringer. Fisk flyttet seg når habitatforholdene ble kraftig forverret etter en endring i vannføring, men ikke nødvendigvis som følge av en beskjeden habitatendring. Fisk hadde også en tendens til å bevege seg mindre under en økning av vannføringen sammenlignet med stabil eller synkende vannføring. Fisken kan likevel ha flyttet seg noe lokalt, antakelig noe nærmere bunnen eller ned i substratet.

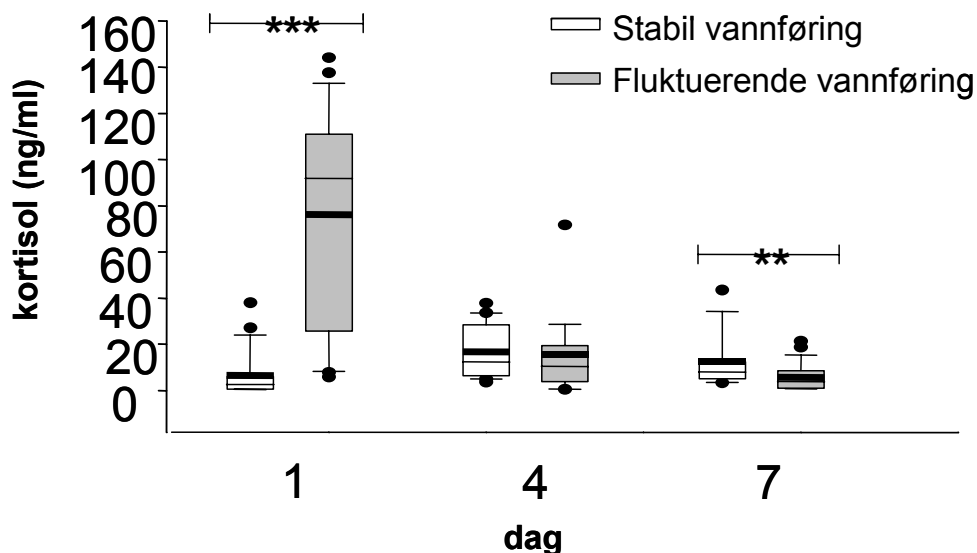
I West Salmon River viste forsøkene at habitatpreferanser endret seg lite ved endringer i vannføringen, men det var en viss tendens til at fisken foretrakk større vanddyp ved høyere vannføring. Ved høy vannføring viste undersøkelsene at fisken holdt seg nærmere bunnen og brukte buk- og brystfinner for å holde posisjonen. Det stemmer godt med observasjonene i Mandalselva der fisk trolig søkte ned i substratet under økning av vannføringen.

Renneforsøk av ørret i Finland viste at ulike former for hastighetsskjul er viktig for fisk som lever i et miljø med hurtige og hyppige endringer i vannføring. Forsøkene med ganske stor endring i vannhastighet og vannstand viste at en stor andel av fisk forflyttet seg under endringen. Det virker som den første kraftige økningen i vannføring er mer kritisk med hensyn på utspyling enn påfølgende oppkjøringer, men vi har ikke studert langtidseffekter av kraftig effektkjøring. Fisk kan også restituere seg på lav vannføring etter en periode med høy vannføring, og oppføre seg normalt igjen. Renneforsøkene viste også at aggressiviteten på lave vanntemperaturer holdt seg lav under skiftende vannføringer, men den er noe høyere like etter en endring i vannføring.

4.3 STRESS HOS UNGFISK

Dannelse av kortisol i blodet hos fisk indikerer stress. Kortisol er et steroidhormon av samme type som østrogen og testosteron. Hormonet setter organismen i en alarmberedskap og har glukosemobiliserende effekt som varer opp til et par døgn etter stresstilfellet. Kortisol fungerer dermed som en forlengning av den hurtige adrenalinreaksjonen som også avtar svært raskt. Normalt er kortisol forhøyet noen få timer etter at reaksjonen startet. Et forhøyet nivå av stresshormon over lengre tid (uker, måneder, år) har en rekke negative effekter som eksempelvis redusert vekst og forplantningsevne og nedsatt immunforsvar, noe som vil øke risikoen for sykdommer og dødelighet.

Hurtige og hyppige endringer i vannstand og vannføring kan gi fisk et kronisk høyt kortisolnivå som i sin tur kan gi negative langtidseffekter. Laboratoriebekken Gurobekken hos SINTEF ble derfor brukt til å simulere hvordan effektkjøring påvirket stress hos ørretunger. Under en periode på sju døgn ble fisken daglig utsatt for kraftige reduksjoner og økninger i vannføring og dermed vannstand, dog uten strandingsrisiko. Stressreaksjonen etter den første senkingen fulgte det typiske mønsteret med en relativt hurtig økning i kortisol. Etter to timer fulgte en langsamt avtakende kortisolkonsentrasjon tilbake til de normale startverdiene 6-12 timer etter vannføringsreduksjonen. Imidlertid uteble denne kortisolreaksjonen helt allerede ved den fjerde vannføringssenkningen. Det virker derfor som fisken rakst ble vant til vannføringsendring uten påviselig stressreaksjon. Figur 7 viser en grafisk framstilling av kortisolinnhold i blodet til fisk som var utsatt for fluktuerende vannføring sammenlignet med fisk som hadde stabile vannføringsforhold. Se for øvrig figur 3 for kommentarer til denne typen graf ("boksplott").



Figur 7. Kortisolinnhold i blodet til ørret utsatt for fluktuerende vannføring sammenlignet med kortisolinnhold i blodet til ørret under stabil vannføring.

Laboratorieforholdene i Gurobekken gir gode standplasser for ungfisk med skjulmuligheter og vi kan derfor anta at ørretunger under liknende forhold i naturen vil reagere omtrent på samme vis. Vi kan derfor konkludere med at det ikke foreligger indikasjoner på at kronisk høye stressnivå oppstår hos ørretunger ved effektkjøring, så lenge fiskens standplasser ikke tørlegges.

5 VIRKNING PÅ BUNNDYR OG DRIV

Bunndyrene er sentrale elementer i elveøkosystemet. De har stor betydning for omsetning av dødt organisk materiale og er hovednæringa til laksefisk i rennende vann.

5.1 METODIKK FOR STUDIER AV BUNNDYR OG DRIV

For å studere virkningen av effektkjøring på bunnfaunaen, ble det i Nidelva tatt kvantitative bunndyrprøver i to tverrprofiler. Prøvene ble tatt rett før, under og etter stans i Bratsberg kraftverk. Prøvene dekket bunnprofilen i elva som i varierende grad var utsatt for tørregging (sone 1 nær land, og sone 2) og det bunnområdet som var permanent vanddekket (sone 3) på grunn av minstevannføring. Når begge maskinene i kraftverket stanset ble sone 1 og 2 tørrlagt. Bunnfaunaen ble undersøkt i 7 tidspunkter gjennom året og dekket tidsperioder med både hyppig effekregulering og stabile vannføringsforhold. I de samme sonene ble det også i flere perioder tatt prøver av drivfaunaen før, under og etter stans og oppstart av produksjonen i Bratsberg kraftverk.

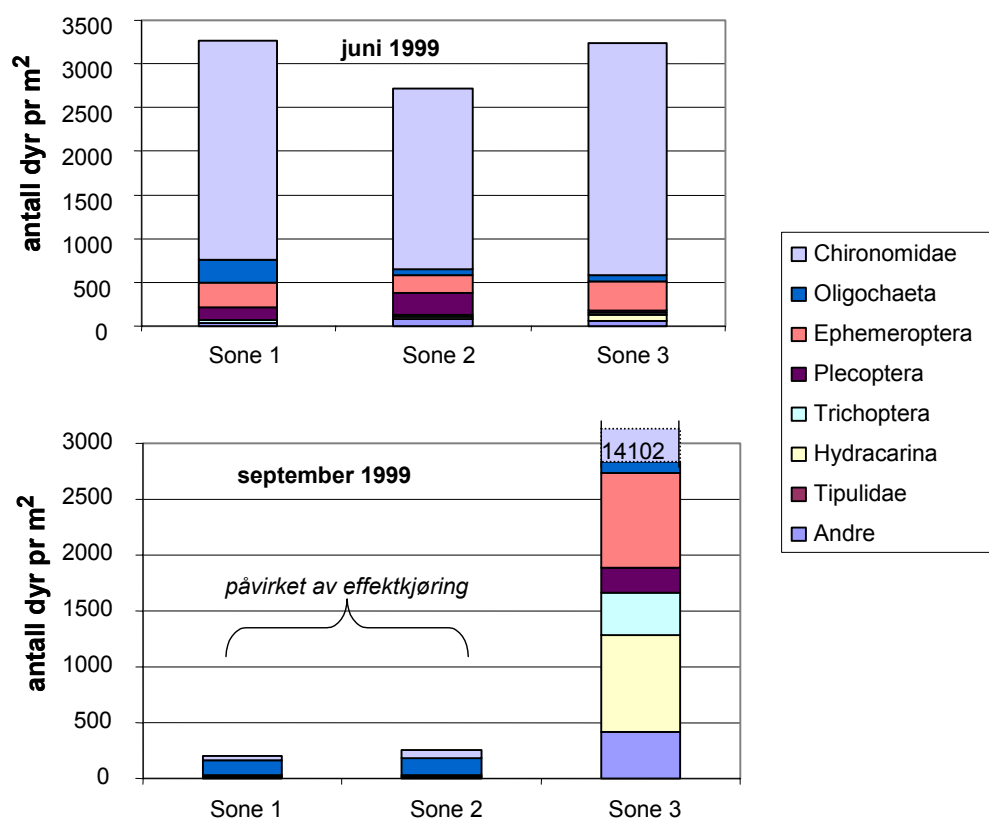
5.2 EFFEKTER PÅ BUNNDYR

Resultatene viser at bunnfaunaen i sone 3 (permanent vanddekket areal) var artsrik og med høye tettheter gjennom hele året. Det var en klar negativ sammenheng mellom antall tørreggingsepisoder og bunndyrmengde på berørte bunnområder. Bunnfaunaen i sone 1 og 2 ble negativt påvirket av effektkjøring av kraftverket. Bunndyrmengdene (totalt for hele året) i sone 1 som var hyppigst utsatt for tørregging, var bare 10 prosent av bunndyrmengdene i permanent vanddekket areal (sone 3). Allerede etter 5 døgn med effekregulering var faunaen i områdene som ble vekselvis tørrlagt og vanddekket betydelig redusert, og etter en måned med døgnlig effekregulering var det bare en restfauna av fåbørstemark og fjærmygg tilbake i ”reguleringssonen”. Figur 8 viser dette grafisk. Da effekreguleringen opphørte i begynnelsen av november og vannføringen ble stabilt høy utover høsten og vinteren, foregikk det en gradvis rekolonisering av faunaen i sone 1 og 2. Prøver tatt etter 30 døgn med stabil, høy vannføring viste at tetthetene av bunndyr var tilbake til nivået før effekregulering startet, men tetthetene var betydelig lavere enn i sonen med permanent vanddekke. Artsmangfoldet ble også sterkt negativt påvirket av effekregulering, og mange arter innen gruppene døgnfluer, steinfluer og vårfluer forsvant fra områdene med varierende tørregging og vanddekke i perioder med effekregulering.

5.3 EFFEKTER PÅ DRIV

I en elv vil noe av bunndyrene til enhver tid finnes drivende i vannmassene (drivfauna). I tillegg kan en finne dyreplankton som kommer fra ovenforliggende innsjøer og kraftverksmagasin. Drivfaunaen har stor betydning som næring for laks- og ørretunger. Mengden drivfauna vil variere gjennom døgnet og året og er vanligvis lavest om vinteren. Effektkjøring av kraftverk påvirker

drivfaunaen i elv. Vannstandsøkning (oppstart av kraftverket) ga større mengder dødt organisk materiale (planterester av moser, alger, blader etc.) og større mangfold av bunndyr i drivet enn vannstandssenkning (stopp av kraftverket). I drivet var det ingen endring av dyreplankton under opp- og nedkjøring av kraftverket. I en periode med døgnvariasjon i vannføringen i september 1999 var det større drivmengder av både bunndyr og dyreplankton i sone 3 enn i sone 1 og 2. I Nidelva dominerte dyreplankton antallsmessig i drivet og sammensetningen varierte gjennom året. Blant bunndyra i drivet var det større næringsobjekter om våren enn om høsten. Jevnlig effektregulering kan redusere både mengde og mangfold i bunnfaunaen betraktelig, og det er derfor viktig at effektregulerte elver også har en viss minstevannføring. Vi er imidlertid ikke i stand til å kvantifisere eller anslå terskelverdier i vannføring for når drivmengden endrer seg markant.



Figur 8. Bunndyrfauna i soner påvirket av effektregulering (sone 1-2) og sone hvor det alltid renner vann (sone 3) etter en periode med stabil vannføring (øverst) og en periode med effektkjøring (nederst).

6 VIRKNINGER PÅ BEGROING

Undersøkelser av begroing ble lagt til et område rett nedstrøms Smeland kraftstasjon i Mandalsvassdraget, som har drevet effektkjøring som døgnregulering siden 1985. Normal døgnregulering ved Smeland innebærer full drift om dagen (30 m³/s) og stans på natten (0 m³/s). En pålagt minstevannføring (0,2 m³/s om vinteren og 0,6 m³/s om sommeren) sørger for at elveleiet aldri blir helt tørrlagt ved driftsstans.

6.1 METODIKK FOR STUDIER AV BEGROING

Begroingsart og -dekningsgrad ble bestemt med undervannsfotografering av bestemte felt og transekter. Biomasse av grønnalger ble målt som tørrvekt og klorofyllmengde pr arealenhet. Strømningsforholdene der bildene ble tatt ble modellert vha den tredimensjonale hydrauliske modellen SSIIM. Metoden må sies å være både avansert og tidkrevende. Det er muligheter for å hente ut svært detaljert informasjon og metoden inneholder de grunnleggende elementer som må til for å kunne gjøre en konsekvensvurdering av fremtidige effekter av effektregulering på elvestrenger med hensyn på begroing. En forutsetning er imidlertid at modellen får tilstrekkelig med gode inngangsdata for en optimal kalibrering. En forenklet metode basert på erfaringer fra dette prosjektet bør gjennomføres før detaljerte simuleringer med SSIIM og nøye stedfestede fotografier i nye undersøkelser. Trinn to i nye undersøkelser av hvordan begroing forventes påvirket av effektkjøring kan gjennomføres som dette prosjektet.

6.2 EFFEKT AV DYP OG STRØMHASTIGHET

Både moser og grønnalger som etablerer seg på mose, kan vokse i hele dybdegradienten og har ingen preferanse for strømhastighet. Likevel har mose en tendens til økende forekomst med økende dyp, og det er en tendens til større algedekning på mose på permanent vanndekt areal.

Grønnalger som vokser på stein er begrenset til dybdesonen som periodisk tørregges, mens rødalger er begrenset til dybdesonen som aldri tørregges. Verken grønnalger som vokser på stein eller rødalger har noen preferanse for strømhastighet.

Krypsiv kan vokse i hele dybdegradienten og har ingen preferanse for strømhastighet. De største bestander finnes på arealer som er permanent vanndekt.

6.3 TIDSUTVIKLING I PERIODEN 1998-2001

Utbredelsen av moser var stabil eller jevnt avtagende i noen områder både på permanent vanndekt og periodisk tørrlagt areal. Endringer i mosedekningen skyldtes i vesentlig grad bevegelser i finsubstrat-fraksjonene sand/grus og små stein. Dette førte til vekslende overlaging og videre forflytning av materiale oppå de eksisterende moseteppene. Større flommer og is i bevegelse sørget for erosjon i mosedekket og perioder med ustabil substrat. Effektkjøringen sørget for over tid å stabilisere substratet igjen før en ny erosjonsepisode.

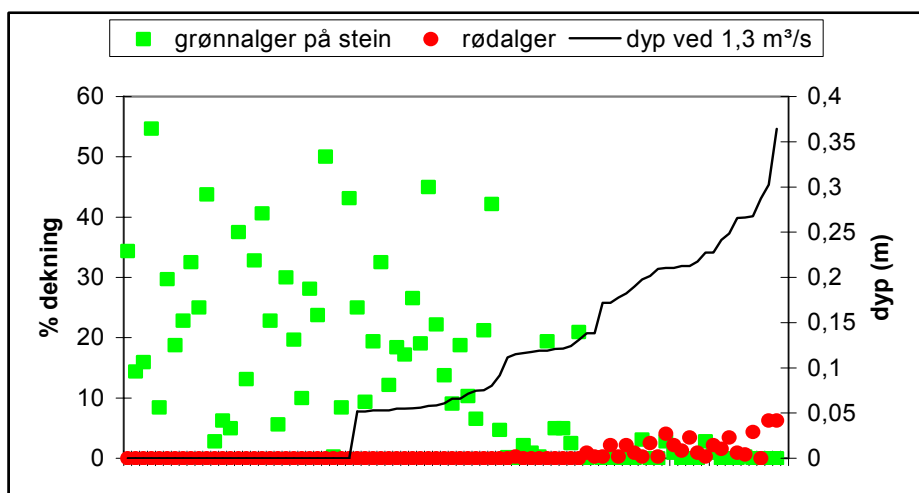
Grønnalger på mose viste klar årstidsvariasjon med størst forekomst i september hvert år. Grønnalger på mose hadde størst mulighet for biomasseoppbygging på permanent vanndekt areal. Nåværende effektkjøringsmønster synes å kunne begrense maksimalt oppnåelig biomassenivå på substratet ved at lange tråder med grønnalger ikke får vokse fram men eroderes og avkortes kontinuerlig. Brutto produksjon av algebiomasse kan likevel være stor i system påvirket av effektkjøring.

Grønnalger på stein (*Klebsormidium* sp.) viste en utpreget årstidsvariasjon med størst forekomst på våren og minst på sommeren og tidlig høst. Algen var hele tiden begrenset til dybdesonen som periodisk tørrlegges og både stor dekningsgrad og høye biomassenivåer viste at effektkjøringen var styrende for denne algens vekst. Forekomsten av *Klebsormidium* var det klareste eksempel på en alge som får økt forekomst pga effektkjøring.

Rødalger (*Batrachospermum* sp.) viste en økt utbredelse i perioden etter en episode med tørrlegging. Effektkjøringen er med på å kontrollere og konsentrere utbredelsen av denne algen til den permanent vanndekte sonen av elveleiet.

Makrofytter (krypsiv) hadde en beskjeden forekomst på de undersøkte arealer og viste tegn til tilvekst i perioden mai-september og avgang i vinterhalvåret. Nåværende effektkjøringsmønster gir brukbare vekstforhold for denne planten, men ikke spesielt gode.

Det ble ikke registrert tilfang av nye arter eller bortfall av eksisterende arter i undersøkelsesperioden. Dette kunne en heller ikke forvente på den valgte lokaliteten, siden området hadde vært påvirket av effektkjøring i en lengre periode (12 år) før denne undersøkelsen startet.



Figur 9. Eksempel på sonasjon i algebegroing som følge av effektkjøring. Grønnalger på stein (*Klebsormidium* sp.) var begrenset til dybdesonen som periodisk tørrlegges mens rødalger (*Batrachospermum* sp.) var knyttet til den permanent vanndekte sonen av elveleiet.

7 RÅD FOR DRIFT AV KRAFTVERK

Gjennom driftsmessige tilpasninger av kraftverkene er det mulig å redusere negative miljøvirkninger av effektkjøring betydelig. Lokale forhold vil være av avgjørende betydning, og lokale undersøkelser bør alltid gjennomføres (se kapittel 8). Prosjektet har gitt oss generell kunnskap og noen generell råd for drift av effektregrulerte kraftverk gis under:

- En tendens til større strandingsfare etter en lengre periode med stabil høy vannføring og høyt stressnivå til fisk som overlever vannstandsfluktuasjoner tilsier at særskilt skånsomme vannføringsendringer bør utføres i starten av en periode med effektkjøring.
- Senkning av vannstanden i mørke er å foretrekke for å redusere stranding. Dette gjelder spesielt om vinteren.
- Variasjoner i vannføringer innenfor breddfull elv (dvs uten nevneverdig reduksjon i vanndekt areal), har trolig svært liten effekt på livet i elva.
- Vanntemperatur i kombinasjon med lys er styrende faktorer for atferd og således stranding av laksefisk. Størst stranding av yngel og parr av laksefisk skjer ved raske vannstandssenkninger større enn 60 cm pr time om dagen på steder med grovt bunnmateriale og kaldt vann med temperatur lavere enn 4,5 °C.
- Senkning av vannstanden med 13 cm pr time reduserer risikoen for stranding av yngel, men forsøk har vist at stranding av årsyngel likevel skjer på utsatte steder med høye vannhastigheter, grovt materiale dominert av stein med mye hulrom og slak sidehelning på lavere enn 5 prosent. For å unngå stranding på strandingsutsatte lokaliteter, bør ekstra langsomme nedtappinger langsommere enn 6 cm pr time utføres, men det er ikke alltid mulig å fullstendig eliminere strandingsfaren.
- I perioder med hyppige vannstandsendringer i vinterhalvåret anbefales vannstandsøkninger som øker vanndekt areal betydelig fortrinnsvis skjer på dagtid. Fisk er da mindre aktiv og vil i mindre grad følge vannkanten og forflytte seg innover på strandingsutsatte områder.
- Strandet fisk er ikke alltid synonymt med død fisk. Grunnvann og fuktighet gjør at strandet fisk og bunndyr noen ganger kan overleve flere timer nede i substratet med tilsynelatende tørrlagt elv. Dette vil imidlertid variere mye avhengig av værforhold og lokale bunnforhold.
- Man kan forvente en utarming av bunndyrfauna i området som vekselvis tørrlegges og settes under vann. For å opprettholde en bunndyrfauna er det viktig å bevare et område med minste vannføring som er tilstrekkelig til å gi et mangfoldig og ønsket bunndyrsamfunn.
- Begroingen vil bli mer spesialisert og vil for enkelte elementer kunne øke noe i mengde i vassdrag som effektregruleres jevnlig. En større mengde løsrevet biomasse av begroing forventes og tiltak for å begrense uønsket driv av begroing bør vurderes.

Fra litteraturen kan vi legge til følgende råd:

- Rogn fra laksefisk kan tolerere daglig tørrlegging (opptil 22 timer 20 påfølgende dager) uten at dødeligheten økte. Gyteområder bør ikke være uten vannføring lengre enn disse grensene.
- Perioden fra klekking av laks og ørret til de som yngel svømmer opp fra grusen er en særlig kritisk fase, fordi det i regulerede elver normalt sammenfaller med lave vanntemperaturer. Effektregrulering bør derfor gjøres svært skånsomt i denne perioden.

8 UNDERSØKELSER OM EFFEKTKJØRING ER TILRÅDELIG I NYE VASSDRAG

Lokale forhold vil være av avgjørende betydning for å vurdere virkningen av effektkjøring, og stedegne undersøkelser bør alltid gjennomføres. En kartlegging av fysiske og biologiske forhold i elva bør utføres. Vurderinger basert på generell kunnskap fra litteraturen og dette prosjektet kan med fordel kobles til bruken av simuleringsmodeller for å forutsi hvordan effektkjøring vil virke inn på de ulike deler av økosystemet. En helhetsvurdering bør alltid gjennomføres av personer med forståelse for hvordan både fysiske og biologiske forhold påvirkes av raske vannstandsendringer.

8.1 INNLEDENDE UNDERSØKELSER

En innledende undersøkelse i et vassdrag som vurderes effektreulert, bør inneholde følgende momenter:

- En oppsummering av eksisterende datagrunnlag og analyser som vurderer status for vassdraget med tanke på fysiske, kjemiske og biologiske forhold. I regulerte vassdrag foreligger det som regel mange undersøkelser i forbindelse med utbygging og konsesjonssøknader, men mange av disse kan være lite oppdatert. Undersøkelser i nabovassdrag og andre relevante undersøkelser kan også inngå.
- Oversikt over planlagt effektkjøringsmønster og hvordan vannføring og vanntemperatur vil bli nedstrøms effektreulerte kraftverk i vassdraget. Produksjonsplanleggingsverktøy kan brukes til dette. Som regel vil en teknisk-økonomisk analyse der også vannføring beregnes, allerede være utført i vassdraget.
- Viktige områder, perioder og arter bør kunne identifiseres ut fra informasjonen i punktene over samt en innledende befaring. På bakgrunn av generell kunnskap om virkningen av effektkjøring, lokal informasjon og befaring bør det kunne gis en vurdering av hvorvidt det vil være mulig å komme fram til en effektreulering som ikke påfører miljøet for stor skade

Hvis de innledende undersøkelsene konkluderer med at det kan være mulig å etablere en miljøvennlig effektreulering, bør mer detaljerte undersøkelser gjennomføres.

8.2 DETALJERTE UNDERSØKELSER

Detaljerte undersøkelser må gjennomføres for å beskrive de lokale forholdene slik at generell kunnskap kan knyttes til vassdraget. Ofte vil også deler av de lokale undersøkelsene allerede være gjennomført. Eksempler på dette kan være tverrprofilmålinger, beregninger av vanndekket areal, kartlegging av fiskebestanden og lignende.

De mer detaljerte undersøkelsene bør inneholde følgende momenter:

- Beregninger av vanndekt areal ved ulike vannføringer.
- Beregninger av hvordan vannstandsvariasjonen blir på viktige steder i vassdraget etter planlagte effektkjøringsmønstre.
- En oversikt over strandingsutsatte områder bør dokumenteres og kobles til hvordan vannstandsvariasjonen forventes i vassdraget. Bunnmateriale på potensielle strandingslokaliteter må beskrives.
- Detaljert kunnskap om habitatbruk til nøkkelarter gjennom året vil videre styrke beslutningsgrunnlaget betydelig. Det er spesielt sentralt å kartlegge hvordan områder som tørrlegges ved minstevannføring brukes av fisk.
- En oversikt over bunndyrfauna til ulike tider av året bør utarbeides. Vurdering av tilført drivmateriale fra eventuelle ovenforliggende magasin bør også inngå.
- En kartlegging av begroingssamfunnet i vassdraget bør sammenlignes med begroing i nærliggende representative vassdrag.

Vi påpeker også at flere biologiske effekter knyttet til hurtige og hyppige endringer i vannføring, vannstand og vanntemperatur fortsatt er lite kjent. Dette gjelder spesielt fysiologiske langtidseffekter av ikke-dødelig stranding, langtidseffekter av fluktuasjoner i vannføring på vekst og overlevelse av fisk og bunndyr, i hvilken grad strandingsutsatte områder brukes av fisk når de blir utsatt for jevnlig vannstandsfluktuasjoner samt direkte og indirekte virkninger på voksen fisk og gyting. Sekundære biologiske effekter som følge av fysiske endringer i vassdrag som for eksempel endrede erosjonsforhold er heller ikke godt kjent.

9 REFERANSER

- [1] Alfredsen, K. 1999. An object oriented framework for application development and integration in hydroinformatics. Doktor ingeniør thesis. Institute for hydraulic and environmental engineering, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.
- [2] Alfredsen, K. 1998. Quantification of impacts of river regulation on fish: An energetic modelling approach. Presented at *Hydroinformatics 98*, Copenhagen, Denmark.
- [3] Alfredsen, K. and Arnekleiv, J.V. Quantification of impacts of river regulations on fish: An energetic modelling approach. Submitted to *Journal of Hydroinformatics*.
- [4] Arnekleiv, J.V., Urke, H.A, Kristensen, T., Halleraker, J.H. and Flodmark, L.E.W. 2004. Recovery from various stressors of wild, juvenile brown trout (*Salmo trutta* L.): Respond of electroshock, handling, flow fluctuations and transfer from natural river conditions to an artificial stream channel. *Journal of Fish Biology (in press)*.
- [5] Arnekleiv J.V., Koksvik J.I., Hvidsten N.A. og Jensen A.J. 1994. Virkninger av Bratsberg-reguleringen (Bratsberg kraftverk) på bunndyr og fisk i Nidelva, Trondheim (1982-1986). Vitenskapsmuseet, Rapport Zoologisk Serie 1994-8.
- [6] Bradford, M. J. 1997. An experimental study of stranding of juvenile salmonids on gravel bars and in side channels during rapid flow decreases. *Journal of Regulated Rivers* **13**: 395-401.
- [7] Bradford, M. J., Taylor, G. C., Allan, A. and Higgins, P. S. 1995. An experimental study of the stranding of juvenile Coho Salmon and Rainbow Trout during rapid flow decreases under winter condition. *North American Journal of Fisheries Management* **15**: 473-479.
- [8] Cushman, R.M. 1985. Review of ecological effects of rapidly varying flows downstream from hydroelectric facilities. *North American Journal of Fisheries Management* **5**: 330-339.
- [9] Forseth, T., Næsje, T., Jensen, A.J., Saksgård, L. and Hvidsten, N.A. 1996. The effects of new diversion valves in Alta hydro-power station on the population of Atlantic salmon. NINA Oppdragsmelding 392: 1-26 (In Norwegian).
- [10] Førde, E. and Brodtkorb, E. 2001. Sluttrapport for FoU-prosjektet "Effektregulering – Miljøvirkninger og konfliktreduserende tiltak. Rapport nr 20, Statkraft Grøner.
- [11] Halleraker, J.H., Saltveit, S. J., Harby, A., Arnekleiv, J.V., Fjeldstad, H.P. and Kohler, B. 2003. Factors influencing stranding of wild juvenile brown trout (*Salmo trutta*) during rapid and frequent flow decreases in an artificial stream. *Journal of Rivers Research and Applications*, **19**:589-603.

- [12] Halleraker, J.H., Harby, A., Hessevik, T. and Saltveit, S.J. 2002. Individual response of juvenile Atlantic salmon and brown trout on rapid and frequent flow fluctuations. Presented at *Environmental flows and 4th Int. Symposium on Ecohydraulics*, Cape Town, South Africa, March 3-8, 2002.
- [13] Heggenes, J., Krog, O.M.W., Lindås, O.R., Dokk, J.G. and Bremnes, T. 1993. Homeostatic behavioural responses in a changing environment: brown trout (*Salmo trutta*) become nocturnal during winter. *Journal of Animal Ecology* **62**: 295-308.
- [14] Higgins, P. S. and Bradford, M. 1996. Evaluation of a large-scale fish salvage to reduce the impacts of controlled flow reduction in a regulated river. *North American Journal of Fisheries Management* **16**: 666-673.
- [15] Hunter, M. A. 1992. Hydropower flow fluctuations and salmonids: A review of the biological effects, mechanical causes and options for mitigation. *State of Washington, Department of Fisheries*, Technical Report No. 119.
- [16] Hvidsten, N.A. 1985. Mortality of pre-smolt Atlantic salmon, *Salmo salar* L., and brown trout, *Salmo trutta* L., caused by rapidly fluctuating water levels in the regulated River Nidelva, central Norway. *Journal of Fish Biology* **27**: 711-718.
- [17] Lauters, F., Lavandier, P., Lim, P., Sabaton, C. and Belaud, A. 1996. Influence of hydropeaking on invertebrates and their relationship with fish feeding habitats in a Pyrenean river. *Journal of Regulated Rivers*, **12**: 155-169.
- [18] Morrison, H. A. and Smokorowski, K. E. 2000. The application of various frameworks and models for assessing the effects of hydropeaking on the productivity of aquatic ecosystems. Canadian technical report of fisheries and aquatic sciences no. 2322.
- [19] Olsen, N. R. B. 1996. SSIIM User's Manual Version 1.4. Trondheim, Division of Hydraulic and Environmental Engineering, NTNU.
- [20] Perry, D.M., Scruton, D.A., McKinley R.S., Clarke, K.D. 1999. Validation of habitat hydraulic modelling: A telemetry study of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brook trout (*salvelinus fontinalis*) movements and habitat use in relation to flow changes on the West Salmon River, Newfoundland, Canada. Presented at *3rd International Symposium on Ecohydraulics*, Salt Lake City, USA.
- [21] Poff, N.L., Allan, D., Bain, M., Karr, J.R., Prestegard, K.L., Richter, B.D., Sparks, R.E., and Stromberg, J.C. 1997. The natural flow regime. A paradigm for river conservation and restoration. *BioScience* **47**, No.11.
- [22] Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Wigington, R., Braun, D. P. 1997. How much water does a river need? *Freshwater Biology* **37**: 231-249.
- [23] Saltveit, S.J. 1990. Effect of decreased temperature on growth and smoltification of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) in a Norwegian regulated river. *Journal of Regulated Rivers*, **5**: 295-303.

- [24] Saltveit, S.J., Halleraker, J.H., Arnekleiv, J.V. and Harby, A. 2001. Field experiments on stranding in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) during rapid flow decreases caused by hydropeaking. *Journal of Regulated Rivers* **17**: 609-622.
- [25] Schei, T.A. 2000. Drammensvassdraget. Forsøk med ulike vannføringer og virkninger av raske, akutte fall i vannstanden. ENCO Environmental Consultants as rapport nr 466-00.
- [26] Stanford, J.A., Ward, J.V., Liss, W.J., Frissell, C.A., Williams, R.N., Lichatowich, J.A., Coutant, C.C.. 1996. A general protocol for restoration of regulated rivers. *Journal of Regulated Rivers* **12**: 391-413.
- [27] Valentin S., Lauters F., Sabaton C., Breil P., Souchon Y. 1996. Modelling temporal variations of physical habitat for brown trout (*Salmo trutta*) in hydropeaking situations. *Journal of Regulated Rivers*, **12**: 317-330.

Publikasjoner fra prosjektet:

- Alfredsen, K. and Arnekleiv, J.V. Quantification of impacts of river regulations on fish: An energetic modelling approach. Submitted to *Journal of Hydroinformatics*.
- Alfredsen, K. 1999. An object oriented framework for application development and integration in hydroinformatics. Doktor ingeniør thesis. Institute for hydraulic and environmental engineering, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.
- Alfredsen, K., Borsányi, P., Halleraker, J.H., Harby, A., Fjeldstad, H.P., Arnekleiv, J.V. and Saltveit, S.J. 1999. Physical habitat modelling in a Norwegian hydropeaking river. Presented at *3rd International Symposium on Ecohydraulics*, Salt Lake City, USA.
- Alfredsen, K. 1998. Quantification of impacts of river regulation on fish: An energetic modelling approach. Presented at *Hydroinformatics 98*, Copenhagen, Denmark.
- Arnekleiv, J.V., Urke, H.A., Kristensen, T., Halleraker, J.H. and Flodmark, L.E.W. 2004. Recovery from various stressors of wild, juvenile brown trout (*Salmo trutta* L.): Respond of electroshock, handling, flow fluctuations and transfer from natural river conditions to an artificial stream channel. *Journal of Fish Biology* (in press).
- Arnekleiv, J.V. og Halleraker, J.H. 1999. Effektkjøring av kraftverk - hvordan påvirker det fiskeproduksjonen i elvene? I *TOFA årbok 1998*, utgitt av Trondheim og omegn fiskeadministrasjon.
- Berland, G., Nickelsen, T., Heggenes, J., Økland, F., Thorstad, E. and Halleraker, J.H. 2004. Movements of wild Atlantic salmon parr in relation to peaking flows below a power station. *Journal of Rivers Research and Applications* (accepted).
- Berland, G., Nickelsen, T., Heggenes, J., Økland, F. and Thorstad, E. 2001. Behaviour of wild Atlantic salmon parr in relation to peaking flows below a power station. *Fourth conference on fish telemetry in Europe*, Trondheim, Norway, June 26-30.
- Berland, G. og Nickelsen, T. 2000. Atferdsrespons hos stor parr av laks ved effektkjøring av kraftverk. Hovedoppgave ved Høgskolen i Telemark, Bø.
- Borsányi, P., Killingtveit, Å. and Alfredsen, K.T. 2001. A decision support system for hydropower peaking operation. Proceedings of *Hydropower 2001*, Bergen, Norway.
- Borsányi, P. 2001. Linking of models, approach for decision supporting in hydropower peaking operation. *NORAD seminar*, Trondheim, Norway.

- Borsányi, P. 1998. Physical habitat modelling in Nidelva, Norway. Diploma thesis, Department of Hydraulic and Environmental Engineering, NTNU.
- Flodmark, L., Urke, H. A., Halleraker, J. H., Arnekleiv, J. V., Vøllestad, L. A. and Poléo, A. B. S. 2002. Cortisol and glucose responses in juvenile brown trout subjected to a fluctuating flow regime in an artificial stream. *Journal of Fish Biology*, **60**: 238-248.
- Flodmark, L.E.W. 2000. Beteendemässig respons hos juvenil öring vid snabba vatttemståndsändringar i strömmande vatten. Foredragsnotat til Enfo Fiskesymposiet, Ålesund.
- Flodmark, L.E.W., Forseth, T., Fleming, I.A., l'Abée-Lund, J.H. and Vøllestad, L.A. 2000. Behaviour of brown trout subjected to regular and frequent fluctuations of water level and flow. Presented at *EISORS*, Toulouse, France.
- Flodmark, L., Urke, H. A., Halleraker, J. H., Vøllestad, L. A., Poléo, A. B. S. and Arnekleiv, J. V. 2000. The stress response in juvenile brown trout (*Salmo trutta* L.) subjected to a fluctuating flow. Presented at *EISORS*, Toulouse, France.
- Halleraker, J.H., Saltveit, S. J., Harby, A., Arnekleiv, J.V., Fjeldstad, H.P. and Kohler, B. 2003. Factors influencing stranding of wild juvenile brown trout (*Salmo trutta*) during rapid and frequent flow decreases in an artificial stream. *Journal of Rivers Research and Applications*, **19**:589-603.
- Halleraker, J.H., Harby, A., Hessevik, T. and Saltveit, S.J. 2002. Individual response of juvenile Atlantic salmon and brown trout of rapid and frequent flow fluctuations. Presented at *Environmental flows and 4th Int. Symposium on Ecohydraulics*, Cape Town, South Africa, March 3-8, 2002.
- Halleraker, J.H., Saltveit, S.J., Arnekleiv, J.V., Fjeldstad, H.P., Forseth, T., Harby A. and Kohler, B. 2000. Effects on juvenile brown trout during rapid and frequent flow decreases in an artificial channel. Abstract and poster at *EISORS*, Toulouse, France.
- Halleraker, J.H., Alfredsén, K., Arnekleiv, J.V., Fjeldstad, H.P., Flodmark, L., Forseth, T., Harby, A., Heggenes, J., Johansen, S. og Saltveit, S. 2000. Økologiske konsekvenser av varierende vannføring. Presentert under *Verdens vanddag, Norsk Hydrologiråd*.
- Halleraker, J.H., Alfredsén, K., Arnekleiv, J.V., Fjeldstad, H.P., Harby, A., Johansen, S. og S. J. Saltveit 1999. Konsekvenser av effektkjøring på økosystemer i rennende vann - noen resultater så langt. *Enfo Produksjonsteknisk konferanse*.
- Halleraker, J.H., Alfredsén, K., Arnekleiv, J.V., Fjeldstad, H.P., Harby, A., Johansen, S. og S. J. Saltveit 1999. Environmental impacts of hydropеaking - with emphasis on river Nidelva. Presented at *Optimum Use Of Run-Of-River Hydropower Schemes*, International Center for Hydropower, Trondheim.
- Halleraker, J.H. and Harby, A. 1998. Environmental impacts of hydropеaking on Norwegian riverine ecosystems. Presented at *SINTEF-CERI International workshop on environmental hydrodynamics and ecological river restoration in cold regions*, Trondheim, Norway.
- Harby, A. and Halleraker, J.H. 2002. Ecological impacts of hydro peaking in rivers. Poster at *Environmental flows and 4th Int. Symposium on Ecohydraulics*, Cape Town, South Africa, March 3-8, 2002.
- Harby, A., Halleraker, J.H. og Hessevik, T. 2002. Effektkjøring i vassdrag og stranding av fisk: "Survival of the smartest?". *EBL Fiskesymposiet*, 14-15 februar 2002 Gardermoen, Norge.
- Harby, A. and Halleraker, J. H. 2001. Ecological impacts of hydro peaking in rivers. *Hydropower and Dams*, 4: 132 -134.

- Harby, A., Alfredsen, K., Fjeldstad, H.P., Halleraker, J.H., Arnekleiv, J.V., Borsányi, P., Flodmark, L.E.W., Saltveit, S.J., Johansen, S., Vehanen, T., Huusko, A., Clarke, K. and Scruton, D. 2001. Ecological impacts of hydropеaking in rivers. Proceedings, *Hydropower 2001*, Bergen, Norway.
- Harby, A., Clarke, K., Pennell, C., Scruton, D.A., Stephenson, E., Ott, T., Haugland, S. and Heggnes, J. 2001. Habitat use and movement patterns of Atlantic salmon parr (*Salmo salar*) during rapid variations in discharge. Presented at *the Fourth Conference of Fish Telemetry in Europe*, Trondheim, Norway.
- Harby, A. og Halleraker, J.H. 2001. Virkninger av effektregulering på fisk, bunndyr og begroing i elver. *EBL Produksjonsteknisk konferanse*, mars 2001, Gardermoen, Norge.
- Harby, A., Alfredsen, K., Fjeldstad, H.P., Halleraker, J.H., Arnekleiv, J.V., Heggnes, J., Saltveit, S.J., Flodmark, L., Forseth, T. and Johansen, S. 2000. Økologiske konsekvenser av varierende vannføring. Foredrag på Verdens vanndag, Norsk hydrologiråd.
- Harby, A., Alfredsen, K., Arnekleiv, J.V., Halleraker, J.H., Johansen, S. and Saltveit, S.J. 1999. Impacts of hydropеaking on Norwegian riverine ecosystems. Presented at *3rd International Symposium on Ecohydraulics*, Salt Lake City, USA.
- Harby, A., Arnekleiv, J.V., Halleraker, J.H., Hvidsten, N.A., Johansen, S. and Saltveit, S.J. 1998. Konsekvenser av effektkjøring på økosystemer i rennende vann. *Enfo Fiskesymposiet*, Enfo publikasjon 281-1998.
- Harby, A., Arnekleiv, J.V., Halleraker, J.H., Hvidsten, N.A., Johansen, S. and Saltveit, S.J. 1998. Konsekvenser av effektkjøring på økosystemer i rennende vann. Presentert under *Verdens vanndag*, Norsk hydrologiråd, Oslo.
- Hessevik, T. 2002. Stranding and behaviour of wild juvenile brown trout (*Salmo trutta*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) during rapid flow decreases in an artificial stream channel. Experiments performed with individually tagged fish. Master's thesis, the Agricultural University of Norway.
- Hiscock, M. J., Scruton, D. A., Brown, J. A. and Pennell, C.J. 2002. Diel activity patterns of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) in early and late winter. *Hydrobiologia* **483**:161-165.
- Hiscock, M. J., Scruton, D. A., Brown, J. A. and Pennell, C.J. 2002. Diel activity patterns of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) in early and late winter. p. 161-165, In: Thorstad, E.B., I.A. Fleming, and T.F. Næsje (eds.). *Aquatic Telemetry. Proceedings of the Fourth Conference on Fish Telemetry in Europe*. Kluwer Academic Publishers, London. xii.
- Johansen, S.W. 2000 Konsekvenser av effektkjøring på økosystemer i rennende vann. Effekter på ulike begroingssamfunn. NIVA-rapport 4322-2000, 63 sider.
- Kohler, B. 2001. Hydraulic parameters controlling fish behaviour and stranding in a laboratory river. Diploma thesis at Dep. of Hydraulics, University of Stuttgart. Germany.
- Ott, T. 2001. Juvenile salmon behaviour as a response to the flow manipulation in Mandal River and fuzzy-rule based habitat simulation. Master's thesis, University of Stuttgart, Germany.
- Perry, D.M., Scruton, D.A., McKinley R.S., Clarke, K.D. 1999. Validation of habitat hydraulic modelling: A telemetry study of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brook trout (*salvelinus fontinalis*) movements and habitat use in relation to flow changes on the West Salmon River, Newfoundland, Canada. Presented at *3rd International Symposium on Ecohydraulics*, Salt Lake City, USA.

- Saltveit, S.J., Halleraker, J.H., Arnekleiv, J.V and Harby, A. 2001. Field experiments on stranding in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) during rapid flow decreases caused by hydropeaking. *Journal of Regulated Rivers*, **17**: 609-622.
- Saltveit, S.J., Arnekleiv, J.V., Halleraker, J.H. and Harby, A. 2000. Stranding effects on juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) from rapid flow decreases. Presented at *EISORS*, Toulouse, France.
- Saltveit, S.J., Arnekleiv, J.V, Halleraker, J.H. og Harby, A. 2000. Effektkjøring av kraftverk og stranding av fisk. Foredragsnotat til *Enfo Fiskesymposiet*, Ålesund.
- Saltveit, S.J., Halleraker, J.H., Arnekleiv, J.V., and Harby, A. 1999. Experimental studies on the effect of rapid flow decreases on juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*). Presented at *3rd International Symposium on Ecohydraulics*, Salt Lake City, USA.
- Scruton, D.A., Pennell, C.J., Robertson, M.J., Ollerhead, N.L.M., Clarke, K.D., Alfredsen, K., Harby, A. and McKinley, R.S. 2004. Seasonal response of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) to experimental hydro peaking power generation on a Newfoundland, Canada river. *Journal of Rivers Research and Applications* (in print).
- Scruton, D.A., Ollerhead, N.L.M., Clarke, K.D., Pennell, C., Alfredsen, K., Harby, A. and Kelley, D. 2003. The behavioural response of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brook trout (*Salvelinus fontinalis*) to experimental hydropeaking on a Newfoundland (Canada) river. *Journal of Rivers Research and Applications*, **19**: 577-587.
- Scruton, D.A., Clarke, K.D., Ollerhead, L.M.N., Perry, D., McKinley, R.S., Alfredsen, K. and Harby, A. 2002. Use of telemetry in the development and application of biological criteria for habitat hydraulic modeling. *Hydrobiologia* **483**: 71-82.
- Scruton, D.A., Ollerhead, N.L.M., Alfredsen, K., Clarke, K.D., Harby, A., McKinley, R.S. and Kelley, D. 2002. Influence of seasonally and discharge explicit habitat suitability criteria on habitat hydraulic simulations and model validation. Presented at *Environmental flows and 4th International Symposium on Ecohydraulics*, Cape Town, South Africa.
- Scruton, D.A., Ollerhead, N.L.M., Clarke, K.D., Pennell, C., Alfredsen, K., Harby, A. and Kelley, D. 2002. The response of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brook trout (*Salvelinus fontinalis*) to experimental hydro peaking on a Newfoundland (Canada) river. Presented at *Environmental flows and 4th International Symposium on Ecohydraulics*, Cape Town, South Africa.
- Scruton, D.A., Clarke, K.D., Ollerhead, N.L.M., Perry, D., McKinley, R.S., Alfredsen, K. and Harby, A. 2002. Use of telemetry in the development and application of biological criteria for habitat hydraulic modelling, p. 71-82, in: Thorstad, E.B., I.A. Fleming, and T.F. Næsje (eds.). *Aquatic Telemetry. Proceedings of the Fourth Conference on Fish Telemetry in Europe*. Kluwer Academic Publishers, London. xii.
- Stephenson, E. 2000. Response and SSIIM based habitat simulation of juvenile salmon due to flow manipulation in the Mandal river. Master's thesis, University of Stuttgart, Germany.
- Vehanen, T., Bjerke, P. L., Heggenes, J., Huusko, A. and Mäki-Petäys A. 2000. Effect of fluctuating flow and temperature on cover type selection and behaviour by juvenile brown trout in artificial flumes. *Journal of Fish Biology* **56**: 923-937.

Vehanen, T., Bjerke, P. L., Heggenes, J., Huusko, A. and Mäki-Petäys A. 1999. Shelter type selection and behavioural responses by brown trout under variable flow: A laboratory experiment. Presented at *3rd International Symposium on Ecohydraulics*, Salt Lake City, USA.

Andre relevante referanser:

- Bull, C.D., Metcalfe, N.B. and Mangel, M. 1996. Seasonal matching of foraging to anticipated energy requirements in anorexic juvenile salmon. *Proceedings of the Royal Society of London B* **263**: 13-18.
- Clarke, K. and Scruton, D. 1999. Observations of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) behaviour under low temperatures in an artificial stream tank. *3rd international Symposium on Ecohydraulics, Salt Lake City, 12-16 July 1999*.
- Cunjak, R.A., Prowse, T.D. and Parrish, D.L. 1998. Atlantic salmon (*Salmo salar*) in winter: “the season of parr discontent”? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **55** (suppl. 1): 161-180.
- Cunjak, R.A. and Power, G. 1986. Winter habitat utilization by stream resident brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and brown trout (*Salmo trutta*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **43**: 1970-1981.
- Egglishaw, H.J. and Shackley, P.E. 1985. Factors governing the production of juvenile Atlantic salmon in Scottish streams. *Journal of Fish Biology* **27**, Suppl. A.: 27-33.
- Fraser, N., Metcalfe, N.B. and Thorpe, J.E. 1993. Temperature-dependent switch between diurnal and nocturnal foraging in salmon. *Proceedings of the Royal Society London, B* **252**: 135-139.
- Fraser, N., Heggenes, J., Metcalfe, N.B. and Thorpe, J.E. 1995. Low summer temperatures cause juvenile Atlantic salmon to become nocturnal. *Canadian Journal of Zoology* **73**: 446-451.
- Gibson, R.J. 1993. The Atlantic salmon in fresh water: spawning, rearing and production. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **3**: 39-73.
- Heggenes, J., Baglinière, J.L. and Cunjak, E. 1999. Spatial niche variability for young Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) in heterogeneous streams. *Ecology of Freshwater Fish* **8**: 1-21.
- Heggenes, J. and Saltveit, S.J. 1990. Seasonal and spatial microhabitat selection and segregation in young Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and brown trout (*Salmo trutta* L.) in a Norwegian river. *Journal of Fish Biology* **36**: 707-720.
- Heggenes, J. 1989. Physical habitat selection by brown trout (*Salmo trutta*) in riverine systems. *Nordic Journal of Freshwater Research* **64**: 74-90.
- Heggenes, J. 1988. Effects of short-term flow fluctuations on displacement of, and habitat use by brown trout in a small stream. *Transactions of American Fisheries Society* **117**: 336-344.
- Huntingford, F. A., Aird, D., Joiner, P., Thorpe, K. E., Braithwaite, V. A. & Armstrong, J. D. 1999. How juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L., respond to falling water levels: experiments in an artificial stream. *Fisheries Management and Ecology* **6**: 357-364.
- Jensen, A.J. and Johnsen, B.O. 1999. The functional relationship between peak spring floods and survival and growth of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*). *Functional Ecology* **13**: 778-785.
- Karlström, Ö. 1977. Habitat selection and population densities of salmon (*Salmo salar* L.) and trout (*Salmo trutta* L.) parr in Swedish rivers with some references to human activities. *Acta Universita Upsaliensis* **404**: 1-12.

- Kennedy, G.J.A. and Strange, C.D. 1982. The distribution of salmonids in upland streams in relation to depth and gradient. *Journal of Fish Biology* **20**: 579-591.
- Metcalf, N.B. and Thorpe, J. 1992. Anorexia and defended energy-levels in overwintering juvenile salmon. *Journal of Animal Ecology* **61**: 175-181.
- Monk, C.L. 1989. Factors that influence stranding of juvenile Chinook salmon and steelhead trout. Ms. Scient. thesis, University of Washington, 81 pp.
- Morantz, D.L., Sweeney, R.K., Shirvell, C.S. and Longard, D.A. 1987. Selection of microhabitat in summer by juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **44**: 120-129.
- Morrison, H. A. and Smokorowski, K. E. 2000. The application of various frameworks and models for assessing the effects of hydropeaking on the productivity of aquatic ecosystems. Canadian technical report of fisheries and aquatic sciences no. 2322
- Olson, F. W. and Metzgar, R. G. 1987. Downramping to minimize stranding of salmonid fry. *Waterpower* **87**: 691-701.
- Reid Adams, S., Keevin, T.M, Killgore, K.J. and J. J. Hoover. 1999. Stranding potential of young fishes subjected to simulated vessel-induced drawdown. Transactions of the American Fisheries Society 128: 1230-1234.
- Saltveit S.J., Bremnes T. and Lindås O.R. 1995. Effect of sudden increase in discharge in a large river on newly emerged Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) fry. *Ecology of Freshwater Fish* **4**: 168-174.
- Valentin, S., Wasson, J.G. and Philippe, M. 1995. Effects of hydropower peaking on epilithon and invertebrate community trophic structure. *Journal of Regulated Rivers* **10**: 105-119.

SINTEF Energi AS
SINTEF Energy Research

No-7465 Trondheim
Telephone: + 47 73 59 72 00
energy.research@sintef.no
www.sintef.no/energy