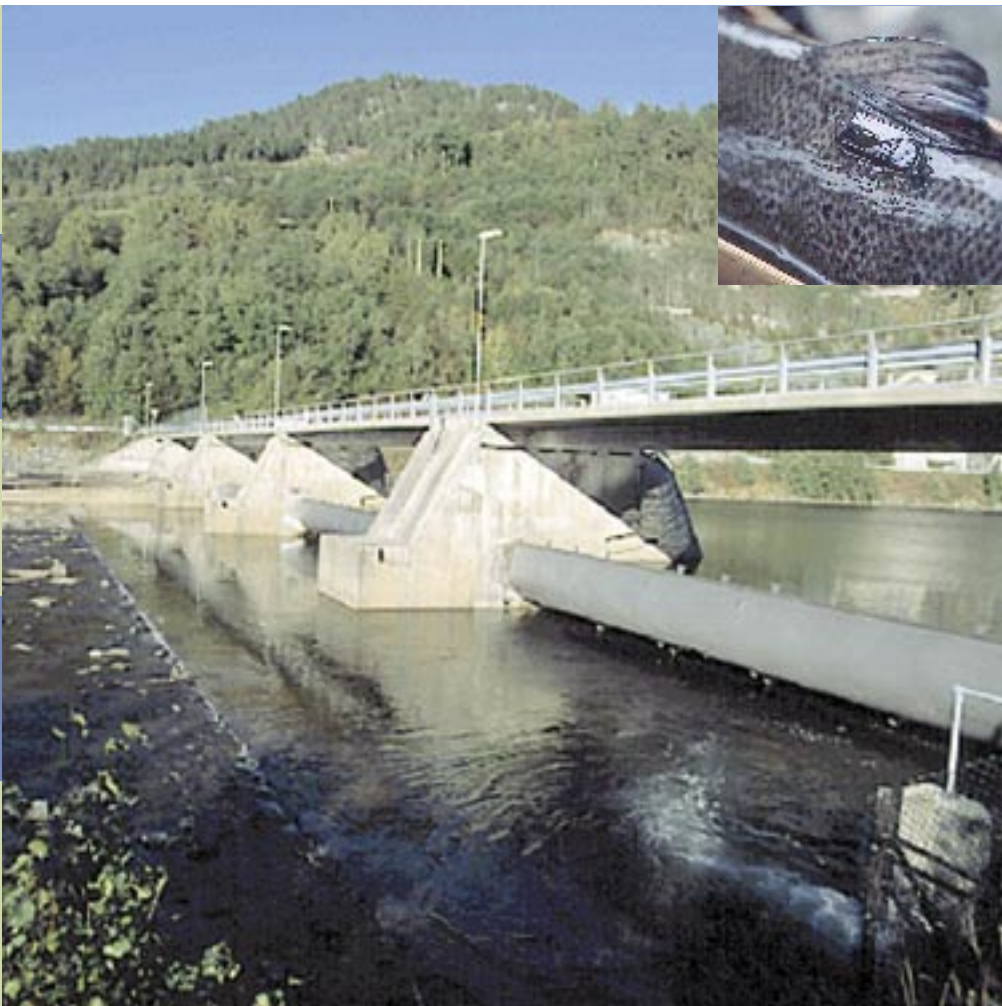




Oppvandring av laks i forhold til redusert vannføring og lokkeflommer i regulerte vassdrag

Eva B. Thorstad, Finn Økland, Nils Arne Hvidsten og Peder Fiske, NINA. Kim Aarestrup, Danmarks Fiskeriundersøgelser

1
2003



RAPPORT MILJØBASERT VANNFØRING

FoU-programmet Miljøbasert vannføring

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

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

Oppvandring av laks i forhold til redusert vannføring og lokkeflommer i regulerte vassdrag

Rapport nr. 1 – 2003 Miljøbasert vannføring

Oppvandring av laks i forhold til redusert vannføring og lokkeflommer i regulerte vassdrag

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfattere: Eva B. Thorstad¹, Finn Økland¹, Nils Arne Hvidsten¹, Peder Fiske¹, Kim Aarestrup²

¹Norsk institutt for naturforskning (NINA), Tungasletta 2, 7485 TRONDHEIM, tlf. 73 80 14 00, e-post: eva.thorstad@nina.no

² Danmarks Fiskeriundersøgelser, Afdeling for Ferskvandsfiskeri, Vejlsøvej 39, DK-8600 SILKEBORG, Danmark

Trykk: NVEs hustrykkeri

Forsidefoto: Bjørsetdammen i Orkla og laks med radiosender (Eva B.Thorstad)

ISSN: 1502-234X

ISBN: 82-410-0476-1

Sammendrag: Vannføring er den faktoren som oftest er omtalt som kontrollerende faktor i forhold til oppvandring av laks i elver. Økt kunnskap om effekter av redusert vannføring og lokkeflommer kan bidra til en mer effektiv utnyttelse av tilgjengelig vann i regulerte vassdrag. Oppvandring hos 34 radiomerkede laks (58-108 cm) ble undersøkt forbi Svorkmo kraftverk i Orkla, og resultatene sammenlignet med tilsvarende undersøkelser i Nidelva ved Arendal og Mandalselva. Kraftverksutløp medførte forsinkelser i oppvandringen, og laksens motivasjon ser ut til å være mest avgjørende for når laksen passerte. Det var ingen enkle sammenhenger mellom vannføring og passering av kraftverksutløp. Minstevannføring på 20 m³/s syntes ikke å redusere oppvandringshastigheten hos laks i minstevannføringsløpet i Orkla, i motsetning til ved den lavere minstevannføringen på 3 m³/s i Mandalselva og Nidelva. Dammer og terskler forsinket oppvandringen, selv i tilfeller hvor de ikke fremstod som et fysisk vanskelig hinder å passere. Lokkeflommer syntes å ha en begrenset betydning for passering av kraftverksutløp og vandringshindre.

Emneord: Laks, oppvandring, vannføring, lokkeflom, kraftregulering.

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

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

Juni 2003

Innhold

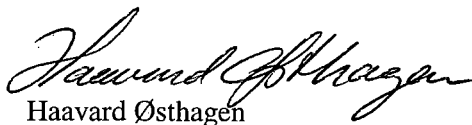
Forord	7
Forfatternes takk	8
Sammendrag	9
1 Innledning	11
2 Områdebeskrivelse	13
2.1 Orkla.....	13
2.2 Fiskebestander	13
2.3 Vannkraftutbygging.....	13
3 Materiale og metoder	15
3.1 Fangst og radiomerking av laks	15
3.2 Registrering av radiomerket laks etter merking og utsetting.....	15
3.3 Telling av fisk som passerte Bjørsetdammen.....	16
3.4 Vannføring, vanntemperatur og lokkeflommer	17
4 Resultater	19
4.1 Laksens skjebne etter merking	19
4.2 Atferd i Varghølen, ved utløpet fra Svorkmo kraftverk.....	19
4.3 Vandring i minstevannføringsløpet.....	22
4.4 Atferd ved Bjørsetdammen	22
4.5 Vandring i vassdraget ovenfor minstevannføringsløpet.....	22
4.7 Forflytning i forhold til tid på døgnet.....	23
4.8 Telling av fisk som passerte Bjørsetdammen.....	24
5 Diskusjon	29
5.1 Resultater fra Orkla	29
5.2 Mulige effekter av metoder benyttet i undersøkelsen	31
5.3 Sammenligning av resultater fra Mandalselva, Nidelva og Orkla	33
5.3.1 Kraftverksutløp.....	33
5.3.2 Minstevannføringsløp	36
5.3.3 Vandringshindre.....	38


6 Oppsummering og konklusjon.....	39
7 Referanser	41
Vedlegg.....	48

Forord

Vannføring er et sentralt tema i forhold til oppvandring av fisk i norske vassdrag. I regulerte vassdrag kan lokkeflommer brukes til å stimulere laks til å vandre oppstrøms. Siden tilgjengelig vannmengde er begrenset, må slike lokkeflommer benyttes på en så effektiv måte som mulig. FoU-programmet Miljøbasert vannføring har som mål å forbedre kunnskapsgrunnlaget for å kunne fastsette vannføring etter inngrep som reduserer den naturlige vannføringen. Prosjektet ”Oppvandring hos voksen laks i forhold til lavvannføring og lokkeflommer” er basert på å følge radiomerkede laks langs en minstevannsstrekning nedstrøms Svorkmo kraftverk i Orklavassdraget under perioder med kunstige lokkeflommer. Resultatene er sammenlignet med tidligere studier i andre vassdrag. Kunnskapen fra dette prosjektet vil gi viktige innspill til diskusjoner omkring lokkeflomproblematikken, og vil gi forvaltningen et forbedret grunnlag for å fastsette en best mulig miljøbasert vannføring.

Oslo, juni 2003


Haavard Østhagen
leder styringsgruppe


John Brittain
programleder

Forfatternes takk

Radiomerking av laks i Orkla ble gjennomført som en del av Norges vassdrags- og energidirektorats (NVE) program Miljøbasert vannføring. Norsk institutt for naturforskning (NINA) gjennomførte undersøkelsen i samarbeid med Kraftverkene i Orkla (KVO), Meldal Jakt- og Fiskarlag (MJFL), Orkla Fellesforvaltning, Orkla Jeger og Fiskerforening (OJFF) og Rennebu Jeger og Fiskerforening (RJFF). Telling av oppvandrende laks over Bjørsetdammen ble gjennomført i regi av prosjektet "Bestand og rekruttering av laks i Orkla" (Nils Arne Hvidsten, prosjektleder), som er finansiert av Direktoratet for naturforvaltning (DN), KVO, Energibedriftenes Landsforening (EBL), NVE og Orkla Fellesforvaltning.

Bernt Ole Knudsen (OJFF) og Morten Rødningen (MJFL) utførte fangst og peiling av fisken, deltok i organisering av feltarbeidet og bidro med opplysninger og innspill under hele prosjektet. Lars Olav Hoset og Jan Erik Asphaug (KVO) var behjelpelige under feltarbeidet, ved organisering av lokkeflommer, og skaffet til veie data om vannføring, vanntemperatur og lukestillinger på Bjørsetdammen. Rune Krogdahl (Orkla Fellesforvaltning) var behjelpelig under feltarbeidet og ved organisering av lokkeflommer. Grunneier Tor Moe stilte sitt private vald til disposisjon for fangst, oppbevaring og merking av fisk gjennom hele sesongen. Vi vil takke alle disse for svært god hjelp og for et godt samarbeid under gjennomføringen av prosjektet. Vi takker også Dag H. Karlsen, Gunnel Østborg (NINA) og Kari Sivertsen (NINA) for hjelp under prosjektet, og Ingvar Korsen (Fylkesmannen i Sør-Trøndelag) og Karl Olav Mærk (RJFF) for samarbeidet. Torbjørn Forseth, Morten Rødningen og medarbeidere i programmet Miljøbasert vannføring takkes for kommentarer til en tidligere versjon av rapporten. NVE takkes for finansiering av prosjektet.

Trondheim, april 2003

Eva B. Thorstad
prosjektleder, NINA

Sammendrag

Vannføring er den faktoren som oftest er omtalt som kontrollerende faktor i forhold til oppvandring av laks i elver. I vassdrag med muligheter til å kontrollere vannføringen kan kunstige lokkeflommer stimulere laks til å vandre oppstrøms. Siden tilgjengelige mengder vann for lokkeflommer og minstevannføring ofte er små, må vannet benyttes så effektivt som mulig. Økt kunnskap om effekter av redusert vannføring og lokkeflommer kan bidra til en mer effektiv utnyttelse av tilgjengelig vann i regulerte vassdrag. Undersøkelser av oppvandring hos radiomerket laks forbi kraftverk ble gjennomført i Nidelva i Arendalsvassdraget og Mandalselva i perioden 1996-1999. Undersøkelsene både i Nidelva og Mandalselva omfattet ikke-stedegen laks (laks som ikke hadde vokst opp i vassdraget), noe som kan ha påvirket resultatene. For å få økt kunnskap om effekter av lokkeflommer på oppvandring forbi kraftverksutløp og minstevannføringsløp, var det behov for undersøkelser i vassdrag med stedegen laks, og med større minstevannføring og muligheter for å slippe større lokkeflommer. Dette var motivasjonen for å gjennomføre en tilsvarende undersøkelse i Orkla.

I Orkla ble oppvandring hos 34 radiomerkede laks (58-108 cm) undersøkt forbi utløpet fra Svorkmo kraftverk og i det 22 km lange minstevannføringsløpet mellom kraftverksinntaket ved Bjørset og -utløpet i Varghølen ved Svorkmo. Resultater fra en fisketeller som registrerte all fisk som passerte Bjørsetdammen øverst i minstevannføringsløpet ble også analysert. Hovedformålene med undersøkelsen var å 1) øke kunnskapen om effekter av redusert vannføring på oppvandring hos laks, 2) analysere om kunstige lokkeflommer i Orkla hadde en stimulerende effekt på oppvandring hos laks forbi kraftverksutløp, minstevannføringsløp og demninger, og 3) sammenligne resultater fra Nidelva, Mandalselva og Orkla.

Laksen oppholdt seg ved kraftverksutløpet i Varghølen i gjennomsnittlig 42 dager før de vandret videre oppstrøms. Lokkeflommer hadde liten effekt på passering av kraftverksutløpet, da oppvandring hos bare én laks kunne relateres til lokkeflom. Av laksen som vandret oppover i vassdraget senere i sesongen ($n = 25$), oppholdt 17 (68 %) laks seg i Varghølen under én-fire lokkeflommer uten å passere i forbindelse med lokkeflommene. Oppvandringen fra Varghølen skjedde spredt i perioden 15. juni - 10. oktober og under en rekke ulike vannføringsforhold. Vannføringen fra Svorkmo kraftverk varierte mellom null og 2,8 ganger større enn vannføringen fra minstevannføringsløpet på oppvandringstidspunktet for individuelle fisk. Laksen syntes ikke å bli forsinket under vandring i minstevannføringsløpet. Vandringshastigheten i minstevannføringsløpet (3,1 km per døgn) var sammenlignbar med vandringshastigheten hos de samme individene videre oppstrøms i vassdraget (3,7 km per døgn), og hastighetene samsvarer med det som er funnet for laks i andre undersøkelser. Noen betydelig effekt av lokkeflommer på vandring hos laks i minstevannføringsløpet kunne ikke påvises. Laksen syntes å bli forsinket ved Bjørsetdammen (gjennomsnittlig opphold 11 dager). Dette var noe overraskende, fordi fisken kan passere gjennom ei brei luke i dammen uten særlig høydestigning, og

passeringsstedet framtrer ikke som et fysisk vandringshinder for laks. Forsinkelsen ser derfor ut til å være knyttet til ugunstige strømningsforhold nedenfor den åpne luka og laksens motivasjon til å passere gjennom dette området. Vannføringen hadde ingen signifikant effekt på fiskepasseringer over Bjørsetdammen, basert på analyser av fisketellerdata fra perioden 1996-2002.

Oppvandring hos til sammen 169 radiomerkede laks ble undersøkt forbi kraftverk i Mandalselva, Nidelva ved Arendal og Orkla. De tre kraftverkene som inngikk i undersøkelsene er like på den måten at de har både inntak og utløp i lakseførende strekning, med et minstevannføringsløp som laksen må passere mellom inntak og utløp. Lengde på minstevannføringsløpet varierte fra 2,6 km i Nidelva til 22 km i Orkla, og minstevannføringen var fra 3 m³/s i Mandalselva til 20 m³/s i Orkla. Minstevannføring på 20 m³/s syntes ikke å forsinke oppvandring hos laks i Orkla, i motsetning til store forsinkelser ved den mye lavere minstevannføringen på 3 m³/s i Mandalselva og Nidelva. Overgangen fra å oppholde seg i et stort vassdrag til å komme opp i et minstevannføringsløp med svært lav vannføring medførte at en del av laksen stanset opp, eller snudde og vandret nedstrøms igjen i Mandalselva og Nidelva, mens en slik atferd ikke ble registrert i Orkla. Store reduksjoner i vannføring ser dermed ut til å ha negative effekter på oppvandringshastigheten hos laks, mens moderate reduksjoner, som i Orkla, ikke ser ut til å ha særlige effekter på oppvandringshastigheten.

Kraftverksutløp syntes å medføre forsinkelser i oppvandringen både hos stedegen og ikke-stedegen laks. Laksens motivasjon ser ut til å være mest avgjørende for når laksen passerte utløpene. Det var ingen enkle sammenhenger mellom vannføring og passering av kraftverksutløp, og laksen passerte ved en rekke ulike vannføringsforhold. Dammer og terskler forsinket oppvandringen både hos stedegen og ikke-stedegen laks, selv i tilfeller hvor de ikke burde utgjøre et fysisk vanskelig hinder å passere. Det synes derfor som at laks generelt har liten motivasjon for å passere kunstige vandringshindre. Vurdert ut fra oppvandring hos laks, bør antall dammer, terskler og tilsvarende installasjoner begrenses til et minimum i lakseførende vassdrag.

Lokkeflommer syntes å ha begrenset betydning for passering av kraftverksutløp og minstevannføringsløp. Det kan derfor være grunn til å stille spørsmål ved bruk av ressurser på relativt små og kortvarige lokkeflommer for å stimulere laks til oppstrøms vandring. Undersøkelsene viste at det ikke finnes enkle sammenhenger mellom vannføring og vandring hos laks, og det er grunn til å tro at eventuelle effekter av vannføring er forskjellig på ulike vandringsstadier og dessuten knyttet til laksens motivasjon for vandring. Som et føre var prinsipp anbefales derfor et vannføringsregime med variasjoner i vannføring i løpet av sesongen i regulerte vassdrag, heller enn en statisk minstevannføring og en statisk kjøring av kraftverk, fordi dette øker sannsynligheten for å treffe med en gunstig vannføring når ulike individer er i ulike faser av oppvandringen og med ulik motivasjon for vandring.

1 INNLEDNING

Regulering av vassdrag for kraftproduksjon kan berøre vandring hos laksefisk på ulike måter. Utvandrende smolt kan skades og ha høy dødelighet ved passering over dammer og gjennom turbiner (f. eks. Raymond 1988, Hvidsten & Johnsen 1997), mens oppvandrende fisk på vei til gyteplassene kan hindres og forsinkes på grunn av endret vannføring, dammer, terskler, fiskepassasjer eller andre vandringshindre (f. eks. Webb 1990, Linnik *et al.* 1998, Laine *et al.* 2002, Karppinen *et al.* 2002). Kraftverksutløp kan også tiltrekke fisk og forsinke eller hindre oppvandringen (Andrew & Geen 1960, Brayshaw 1967, Arnekleiv & Kraabøl 1996).

Vannføring er den faktoren som oftest er omtalt som kontrollerende faktor i forhold til oppvandring av laks i elver (f. eks. Banks 1969, Jonsson 1991). Flere undersøkelser har registrert at økninger i vannføring medfører økning i antall oppvandrende laks fra sjø til elv eller raskere oppvandring, og at oppvandring forsinkes i perioder med lav vannføring (Huntsman 1948, Hayes 1953, Saunders 1960, Brayshaw 1967, Swain & Champion 1968, Alabaster 1970, Potter 1988, Jonsson *et al.* 1990, Clarke *et al.* 1991, Smith *et al.* 1994, Thorstad *et al.* 1998a). Vandring videre oppover i elv kan også stimuleres av økninger i vannføring (f. eks. Huntsman 1948, Hayes 1953, Dunkley & Shearer 1982, Laughton 1989, Webb & Hawkins 1989, Baglinière *et al.* 1990, Jensen *et al.* 1998, Thorstad *et al.* 1998a, Erkinaro *et al.* 1999). Effekter av vannføring kan imidlertid være modifisert av andre faktorer som vanntemperatur, turbiditet, atmosfæretrykk, skydekke, vannkvalitet og tidevann (Banks 1969, Jonsson, 1991). Resultater fra ulike undersøkelser spriker, og forholdet mellom vandring, vannføring og andre faktorer synes å være komplekse.

I regulerte elver med muligheter til å kontrollere vannføringen kan kunstige lokkeflommer stimulere laks til å vandre oppover elvene (se f. eks. Huntsman 1948, Hayes 1953, Banks 1969). Siden tilgjengelige mengder vann for lokkeflommer og minstevannføring ofte er små, må vannet benyttes så effektivt som mulig. Imidlertid eksisterer lite dokumentert kunnskap om effektene av lokkeflommer på oppvandring hos laks. Økt kunnskap om effekter av redusert vannføring og lokkeflommer kan bidra til en mer effektiv utnyttelse av tilgjengelig vann i regulerte vassdrag.

Tidligere undersøkelser av oppvandring hos laks i forhold til kunstige lokkeflommer er hovedsakelig basert på resultater fra fisketellere og fangster i sportsfisket (f. eks. Huntsman 1948, Hayes 1953, Swain & Champion 1968, Dunkley & Shearer 1982). Metodiske problemer er knyttet til begge disse metodene. Ulempen med å benytte resultater fra fisketellere er mangel av informasjon om hvor mye fisk som er tilgjengelig i området nedenfor telleren. Selv om vannføringen er gunstig i en periode, kan resultatene fra fisketelleren vise liten vandring fordi det for eksempel ikke finnes laks i området i denne perioden. På samme måte behøver ikke økning i antall fisk forbi telleren å bety at vannføringen er gunstig for oppvandring, hvis dette er en periode med mye fisk i området av andre årsaker. Fisketellere er dessuten oftest plassert i forbindelse med fisketrapper eller andre typer fiskepassasjer, og effekter av

vannføring kan være forskjellig mellom slike passasjer og øvrige elvestrekninger. Resultater basert på fangster i sportsfisket er dårlig egnet til denne type studier, fordi vi ikke vet i hvilken grad endring i bitevillighet samsvarer med endringer i vandring. Radiomerking er en metode som kan bidra til mer nøyaktig og detaljert informasjon om fiskevandring i forhold til endringer i vannføring.

Undersøkelser av oppvandring hos radiomerket laks forbi kraftverk ble gjennomført i Nidelva i Arendalsvassdraget og Mandalselva i perioden 1996-1999 (Thorstad & Heggberget 1997, 1998, Thorstad & Hårsaker 1998, Thorstad *et al.* 1998b, 2000a, 2003a). Undersøkelsene viste at laksen ble forsinket og hindret i oppvandring både ved kraftverksutløp og i minstevannføringsløp mellom kraftverksinntak og -utløp. Effekten av kunstige lokkeflommer ble undersøkt i Mandalselva, med varierende resultat. Lokkeflommene hadde en positiv effekt på oppvandringen i ett av to undersøkelsesår, ved at laksen foretok en høyere andel terskelpasseringer under og like etter lokkeflommer enn ved minstevannføring (se Thorstad & Heggberget 1998, Thorstad & Hårsaker 1998). Undersøkelsene både i Nidelva og Mandalselva omfattet ikke-stedegen laks (på grunn av sur vannkvalitet var det ikke egen produksjon av laks i disse vassdragene da undersøkelsene ble gjennomført), noe som kan ha påvirket resultatene. Vannføringen i minstevannføringsløpet i Nidelva og Mandalselva var lav (3-5 m³/s) i forhold til det som er tilfelle i mange vassdrag, og størrelsen på lokkeflommer i Mandalselva var begrenset (13 m³/s). For å få økt kunnskap om effekter av lokkeflommer på oppvandring forbi kraftverksutløp og minstevannføringsløp, var det behov for undersøkelser i vassdrag med stedegen laks, og med større minstevannføring og muligheter for å slippe større lokkeflommer. Dette var motivasjonen for å gjennomføre en tilsvarende undersøkelse i Orkla.

I denne undersøkelsen i Orkla ble oppvandring studert hos radiomerket laks forbi utløpet fra Svorkmo kraftverk og i minstevannføringsløpet mellom inntaket ved Bjørset og utløpet i Varghølen ved Svorkmo. Resultater fra en fisketeller som registrerte all fisk som passerte Bjørsetdammen øverst i minstevannføringsløpet ble også analysert. Hovedformålene med undersøkelsen var å:

1. Øke kunnskapen om effekter av redusert vannføring på oppvandring hos laks.
2. Analysere om kunstige lokkeflommer i Orkla har en stimulerende effekt på oppvandring hos laks forbi kraftverksutløp, minstevannføringsløp og demninger.
3. Teste effekter av ulike typer lokkeflommer.
4. Sammenligne resultater fra Nidelva (Arendalsvassdraget), Mandalselva og Orkla, som er ulike med hensyn til størrelse på minstevannføring og lokkeflommer, antall terskler og demninger i minstevannføringsløp, samt laksens opprinnelse (stedegen/ikke-stedegen).

2 OMRÅDEBESKRIVELSE

2.1 Orkla

Orkla (**figur 1**) ligger i Hedmark og Sør-Trøndelag fylker og er mer enn 170 km lang. Nedbørsfeltet for vassdraget er 3 053 km². Orkla har utspring i Store Orkelsjø (1060 m o.h.) i Oppdal, og renner gjennom kommunene Kvikne, Rennebu, Meldal og Orkdal. Elva renner ut i sjøen ved Orkanger (63°17' N, 9°50' Ø), hvor årlig middelvannføring er 71 m³/s. Vårflommer er vanligvis opp til 300 m³/s etter reguleringen.

2.2 Fiskebestander

Orkla er lakseførende til Stoenfossen i Rennebu, 88 km fra sjøen. I tillegg til laks er det bestander av sjøvandrende og stasjonær aure (*Salmo trutta*), ål (*Anguilla anguilla*), trepigget stingsild (*Gasterosteus aculeatus*) og skrubbe (*Platichthys flesus*) i vassdraget. Årlig fiskes omkring 15 tonn laks og 1,5 tonn sjøaure i Orkla, med rekordhøy fangst av > 36 tonn laks i 2002. Omfattende undersøkelser av laksunger og smolt er gjennomført i vassdraget, i tillegg til noen undersøkelser av voksen laks og laksefangster (f. eks. Hvidsten & Lund 1988, Hvidsten & Ugedal 1991, Hvidsten & Johnsen 1993, 1997, Hvidsten 1993, Hvidsten *et al.* 1994, 1995, 1996). Gyteperioden for laks er vanligvis i oktober. Gyting av laks ble observert 24. oktober 2002 ved Svorkmo og Meldal, mens det var svært mange gytegroper å se og fortsatt gyteaktivitet 30. oktober (Morten Rødningen pers. komm.).

2.3 Vannkraftutbygging

Orkla ble regulert for kraftproduksjon i 1983. Utbyggingen består av tre magasiner og fem kraftverk (**figur 1**), og omlag 39 % av nedslagsfeltet er regulert. Tre av kraftverkene ligger i øvre del av vassdraget, og disse er Ulset og Litjefossen i Tynset kommune og Brattset i Rennebu kommune (**figur 1**). I nedre del av elva omfatter reguleringen Svorkmo kraftverk i Orkdal kommune og Grana kraftverk som regulerer sideelva Grana i Rennebu kommune (**figur 1**). Brattset, Grana og Svorkmo kraftverkene har utløp på lakseførende del av Orkla.

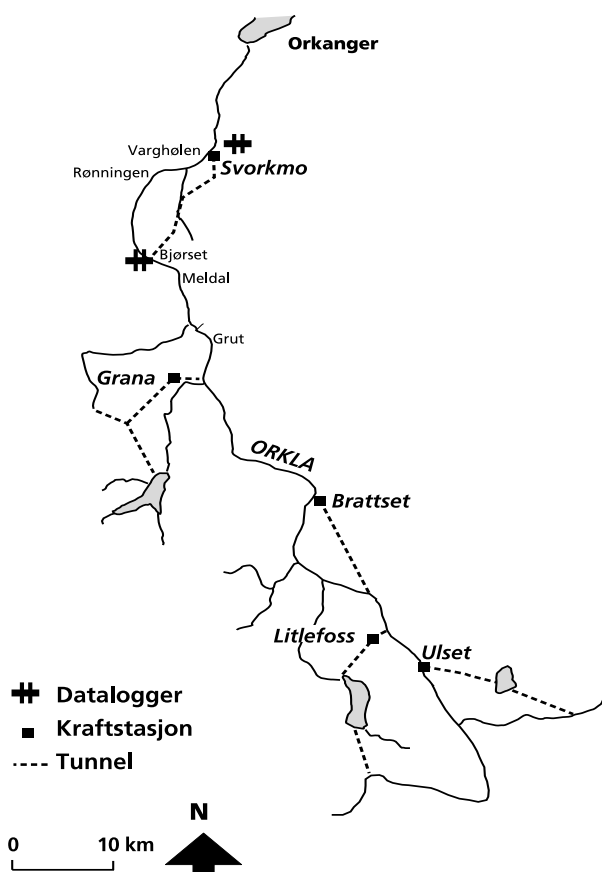
I følge manøvreringsreglementet skal minstevannføring gjennom året være 10 m³/s ved Brattset, som er vesentlig høyere enn uregulert vinteravrenning.

Kraftreguleringen har medført at vannføringen i Orkla har blitt jevnet ut, og at vannføringen om vinteren har økt. Vanntemperaturen er lavere om sommeren etter reguleringen, med størst reduksjon i juni og juli (Berge *et al.* 1982, Tvede 1992).

Svorkmo kraftverk har inntak i hovedelva ved Bjørset, 2 km nedstrøms Meldal sentrum (**figur 1**), og utnytter et fall på 99 m. Driftsvannet føres i en 15 km lang tunnel, som har utløp i hovedelva i Varghølen ved Svorkmo (**figur 1**). Tunnelutløpet er avstengt med ei fiskesperre i oppvandringssesongen for å hindre laks i å gå inn i

tunnelen. Tunnelutløpet renner ikke direkte ut i hovedelva, men via et sideløp på ca 100 m. Laks som vandrer oppstrøms må dreie svakt mot høyre for å vandre videre i minstevannføringsløpet, eller kan dreie mot venstre og via sideløpet til tunnelåpningen. Varghølen er en stor fiskekulp (ca 300-400 m lang), som tidligere var en god fiskeplass. Etter reguleringen er fiske forbudt i øvre del av hølen ved tunnelutløpet, bortsett fra at én grunneier på vestsida av elva selv kan fiske med ei stang.

Minstevannføringsløpet mellom Bjørset og Svorkmo er en 22 km lang elvestrekning (**figur 1**). I følge det gjeldende manøvreringsreglementet, skal vannføringen på denne strekningen være minst 20 m³/s fra vårflommens begynnelse til 1. september, og deretter minst 10 m³/s fram til gyteperioden er over i slutten av oktober. Fra 15. september kan vannføringen senkes til 8 m³/s for å kompensere for vannvolum som er benyttet til lokkeflommer tidligere i sesongen. Etter dette og fram til vårflommen skal vannføringen være minst 4 m³/s. Like nedenfor kraftverksinntaket ved Bjørset er det bygd en demning over elva. To laksetrappert i demningen er vanligvis stengt. Laksen passerer i dag gjennom ei åpen luke i dammen, hvor alt vannet i minstevannføringsløpet også passerer (se kap. 3.3 for beskrivelse av fisketeller i damluka).



Figur 1. Oversiktskart over Orkla, som renner ut i sjøen ved Orkanger. Kraftstasjoner og overføringer av vann er avmerket. To dataloggestasjoner for registrering av radiomerket laks i 2002 er også avmerket. Laksen ble fanget og merket i Varghølen, ved den nederste dataloggestasjonen.

3 MATERIALE OG METODER

3.1 Fangst og radiomerking av laks

Totalt ble 34 laks (58-108 cm, 24 hunner og 10 hanner) fanget og merket med radiosender i perioden 15. juni - 27. juli 2002 (**tabell 1**). Fisken ble fanget ved stangfiske i Varghølen like nedenfor utløpet fra Svorkmo kraftverk. Dette var det eneste området laks kunne fanges for merking uten å komme i konflikt med sportsfisket. Tolv laks ble umiddelbart merket og sluppet (fisk nr 21-32, **tabell 1**), mens 22 laks ble oppbevart i trekasser i elva i 1-6 dager etter fangst før de ble merket og sluppet. Trekassene (90 x 150 x 55 cm) var satt sammen av trespiler slik at vanngjennomstrømmingen ble god. Opp til seks laks ble oppbevart i samme kasse. All laksen ble sluppet i Varghølen etter merking, på samme sted som de ble fanget.

Undersøkelsen hadde 30 radiosendere til rådighet. Fire laks ble gjenfanget i sportsfisket (**tabell 1**), og senderne kunne brukes på nytt. Det ble gjort en stor innsats for å informere om prosjektet ved plakater, avisoppslag og informasjon på Internett. Dette medførte at fiskere eller grunneiere umiddelbart ga beskjed da radiomerket fisk ble gjenfanget.

Radiosenderne (modell F2040 fra Advanced Telemetry Systems, ATS, USA) ble festet eksternt til fisken med ståltråd gjennom ryggmuskulaturen. SENDERNE VAR 5,5 cm lange, 1,2 cm i diameter, veide 8 g i vann og 10 g i luft. Garantert levetid var 141 dager. Signalene var i frekvensområdet 142.012-142.494 MHz. Individuelle fisk kunne gjenkjennes ved at hver sender hadde en egen frekvens.

Laksen ble merket i tre runder (**tabell 1**); 10 laks ble merket i perioden 15.-20. juni, 10 laks i perioden 9.-11. juli og 13 laks i perioden 26.-27. juli. I tillegg ble én laks merket 21. august.

3.2 Registrering av radiomerket laks etter merking og utsetting

Radiomerket fisk ble peilet manuelt (mottaker modell R2100, ATS) annenhver dag i perioden 15. juni - 14. september, ca hver 6. dag i perioden 19. september - 30. oktober, samt 15. november. I tillegg ble fisken peilet 1-2 ganger i døgnet før, under og etter kunstige lokkeflommer. Ved peiling ble fisken posisjonert med en nøyaktighet på ± 150 m eller bedre. Posisjoner ble plottet på et kart med målestokk 1: 50 000, og på et mer detaljert kart i hølen ved kraftverksutløpet. Posisjoner ble senere beregnet som avstand langs midten av elva fra fangststedet i Varghølen. Posisjoner nedstrøms Varghølen fikk negativt fortegn og posisjoner oppstrøms Varghølen positivt fortegn.

Dataloggere (modell DCCII fra ATS) som automatisk og kontinuerlig registrerte radiomerket fisk ble installert ved kraftverksutløpet og ved Bjørsetdammen øverst i minstevannføringsløpet (**figur 1**). Dataloggerne registrerte hvor lenge fisken oppholdt

seg i Varghølen og nedenfor Bjørsetdammen, og til hvilke tidspunkt de forlot disse områdene. På grunn av radiostøy kunne ikke nøyaktig oppvandringstidspunkt bestemmes ut fra registreringer av dataloggeren ved Varghølen for fire fisk, men ved hjelp av manuelle peilinger kunne oppvandringstidspunktet bestemmes til innenfor en todagersperiode. Det samme gjaldt ved passering av Bjørsetdammen for én fisk.

Tabell 1. Radiomerket laks i Orkla 2002.

Fisk nr	Merke-dato	Utsettings-tidspunkt	Fre-kvens	Lengde (cm)	Kjønn	Antall dager i kasse fra fangst til utsetting	Gjenfangst
1	15.06.	16.00	321	95	hunn	5	
2	15.06.	16.06	214	82	hunn	4	
3	15.06.	15.43	153	85	hunn	2	Grythølen ved Motun i Meldal 24. juli
4	15.06.	15.34	283	101	hunn	2	
5	20.06.	19.39	484	91	hann	3-5	
6	20.06.	19.25	113	82	hunn	2	
7	20.06.	19.32	134	81	hunn	3-5	
8	20.06.	19.45	253	86	hunn	3-5	Grythølen ved Motun i Meldal 17. juli. Noe sår ved senderen
9	20.06.	19.58	273	84	hunn	3-5	
10	20.06.	19.51	352	96	hunn	2	
11	09.07.	17.50	494	108	hann	6	
12	09.07.	18.00	012	80	hunn	4-6	
13	09.07.	18.05	143	81	hunn	4-6	
14	09.07.	18.11	181	79	hunn	4-6	
15	09.07.	18.16	441	80	hunn	4-6	
16	11.07.	18.09	372	93	hunn	6	
17	11.07.	18.02	454	80	hann	5-6	
18	11.07.	17.57	392	88	hann	5-6	Varghølen i Orkdal 22. juli
19	11.07.	17.50	433	86	hunn	2-3	Forve i Orkdal 13. august
20	11.07.	17.40	413	87	hunn	2	
21	26.07.	20.00	223	88	hunn	0	
22	26.07.	21.55	161	100	hunn	0	
23	26.07.	22.40	392	58	hann	0	
24	26.07.	23.05	253	80	hunn	0	
25	26.07.	23.55	153	102	hunn	0	
26	27.07.	07.45	382	93	hunn	0	
27	27.07.	08.12	092	92	hunn	0	
28	27.07.	09.55	342	89	hann	0	
29	27.07.	10.25	313	103	hann	0	
30	27.07.	11.30	302	95	hann	0	
31	27.07.	12.20	052	85	hann	0	
32	27.07.	14.40	242	60	hann	0	
33	27.07.	14.50	193	77	hunn	1	
34	21.08.	09.45	433	83	hunn	5	

3.3 Telling av fisk som passerte Bjørsetdammen

Fisk som passerte Bjørsetdammen, ble registrert ved bruk av en Logieteller i perioden 1996-2002 (Aquantic Ltd, Dingwall, UK; tellesystemet er beskrevet i Lamberg *et al.* 2001). Telleren fungerer slik at den registrerer endringer i et elektrisk felt når fisken passerer, og den skiller mellom fisk som passerer på vei opp- eller nedover. Både laks

og sjøaure registreres av telleren, men bare en liten andel av fisken som passerer Bjørsetdammen, forventes å være sjøaure. Passeringspunktet ble også overvåket av fire kamera for å kontrollere telleren.

Fisketelleren var plassert på et 20 meter bredt og 1,5 m dypt passeringpunkt i tilknytning til terskelen ved østre damluka. All fisk som passerte dammen måtte passere dette stedet, med unntak av 24. juli og 6. august da damluka og fisketrappa på vestsida i dammen ble åpnet i forbindelse med utbedring av østre damluka. Dette utløste umiddelbart oppvandring av fisk over dammen (Bernt O. Knudsen og Morten Rødningen, pers. komm.). Fisken som passerte ved disse to tilfellene ble registrert ved manuelle tellinger ved passering på toppen av fisketrappa, og minimum 600 laks vandret opp fisketrappa 24. juli (557 laks ble telt manuelt, i tillegg til at noen laks passerte over damluka før tellingen startet) og ca 50 laks 6. august.

3.4 Vannføring, vanntemperatur og lokkeflommer

Vannføringsdata for hver time i perioden 1. juni til 31. oktober ble fremskaffet av Kraftverkene i Orkla (KVO). Vannføring ble registrert ved en måler øverst i minstevannføringsløpet like nedstrøms Bjørsetdammen (Storsteinhølen), mens vannføring nederst i minstevannføringsløpet (like oppstrøms utløpet fra Svorkmo kraftverk) ble beregnet basert på vannføring ved Bjørset, nedbør og forventet tilsig. I tillegg ble driftsvannføringen i Svorkmo kraftverk registrert, som tilsvarer vannføringen i tunnelutløpet fra kraftverket. Vannføringen i Orkla like nedstrøms tunnelutløpet ved Svorkmo (Varghølen) består dermed av vannføringen nederst i minstevannføringsløpet pluss driftsvannføringen i kraftverket. Vannføring og vanntemperatur ble i tillegg registrert ved Syrstad, 1 km ovenfor Meldal sentrum.

Fra 15. juni til 15. oktober var vannføringen øverst i minstevannføringsløpet gjennomsnittlig 17 m³/s (9-47), nederst i minstevannføringsløpet 20 m³/s (10-61), gjennom kraftverket 23 m³/s (0-60) og totalt nedstrøms kraftverksutløpet 43 m³/s (13-121). Vannføringen fra Svorkmo kraftverk var fra 0 til 3,6 ganger større enn vannføringen fra minstevannføringsløpet (gjennomsnittlig 1,25).

Fire lokkeflommer ble sluppet i minstevannføringsløpet i løpet av sesongen; tre av dem 4-15 dager etter hver merkerunde (se kap. 3.1), i tillegg til én lokkeflom i september (**tabell 2**). Ved lokkeflommene var det totalt 5-20 radiomerkede laks i Varghølen, hvorav 4-16 i løpet av sesongen vandret videre opp i vassdraget (**tabell 2**).

Tabell 2. Oversikt over og beskrivelse av kunstige lokkeflommer i minstevannføringsløpet ved Svorkmo kraftverk i 2002. Opplysninger om antall radiomerkede laks ved kraftverksutløpet i Varghølen ved start av hver lokkeflom er også inkludert.

Dato	Varighet (t)	Vannføring lokkeflom (m ³ /s)	Vannføring før og etter lokkeflom (m ³ /s)	Totalt antall laks i Varghølen	Antall laks i Varghølen som i løpet av sesongen vandret oppstrøms	Anmerkninger
24.06.	15	30	20	5	4	Lokkeflommen ble sluppet i forbindelse med regn. Ingen radiomerket laks vandret fra Varghølen og opp i minstevannføringsløpet. 97 fisk passerte telleren på Bjørset mot 30 dagen før og 35 dagen etter.
22.07.	7	29	20	10	6	Lokkeflom ble sluppet i forbindelse med en revisjon i kraftverket. Ingen radiomerket laks vandret fra Varghølen og opp i minstevannføringsløpet. 301 fisk passerte telleren på Bjørset mot 234 dagen før og 188 dagen etter.
10.08.	8	?	21	20	16	Lokkeflom ble varslet i forbindelse med stenging av kraftverket, men det framgår ikke av vannføringsregistreringer at det var økt vannføring i minstevannføringsløpet. Ved peiling i Varghølen ble det imidlertid registrert en klar vannføringsøkning som varte i åtte timer. Lokkeflommen kom samtidig med regn lengre opp i dalen, og vannet var grått. Radiomerket laks i Varghølen var urolig og forflyttet seg innen hølen i etterkant av flommen. Én merket laks vandret opp i minstevannføringsløpet under lokkeflommen. 47 fisk passerte telleren på Bjørset mot 51 dagen før og 73 dagen etter.
21.09.	6	23	10	11	6	Lokkeflom ble sluppet for å stimulere laks til å passere Bjørsetdammen på grunn av observasjon av mye fisk i området nedenfor. Ingen radiomerket laks vandret fra Varghølen og opp i minstevannføringsløpet. 23 fisk passerte telleren på Bjørset mot 24 dagen før og 22 dagen etter.

4 RESULTATER

4.1 Laksens skjebne etter merking

I løpet av sesongen vandret 25 laks oppstrøms fra merkestedet i Varghølen (**vedlegg 1**). Tre laks ble stående i området hvor de ble merket, én ble gjenfanget etter ti dager i merkeområdet og fem laks forflyttet seg nedstrøms (**vedlegg 1**). Det var ikke forskjeller i kroppsstørrelse mellom laks som vandret videre oppover i vassdraget og de som stod i ro eller vandret nedover (Mann-Whitney U test, $U = 108,5$, $p = 0,88$). De tre som oppholdt seg i Varghølen hele sesongen, var åpenbart i live. To av dem forflyttet seg innen hølen mellom peilinger, og den tredje (fisk no. 11) ble visuelt observert ved snorkling i hølen 10. september (M. Rødningen, pers. obs.) og vandret dessuten nedstrøms etter peiling 15. november og ble registrert ved Forve bru i Orkdal 7. januar 2003. Resultatene videre er fokusert på laksen som vandret oppstrøms, siden registrering av vandring forbi Svorkmo kraftverk var formålet med undersøkelsen.

Laksen vandret gjennomsnittlig 18 km opp fra merkestedet før gyttesesongen (variasjonsbredde 1-50). Sju laks passerte Bjørsetdammen øverst i minstevannføringsløpet (21,9 km fra merkestedet), mens ytterligere tre laks vandret opp til dammen uten å passere (**vedlegg 1**). Av de som vandret oppstrøms fra Varghølen, ble tre laks gjenfanget i sportsfisket ca én måned etter merking (**tabell 1**), slik at den totale gjenfangstraten av merket fisk var 12 % ($n = 4$).

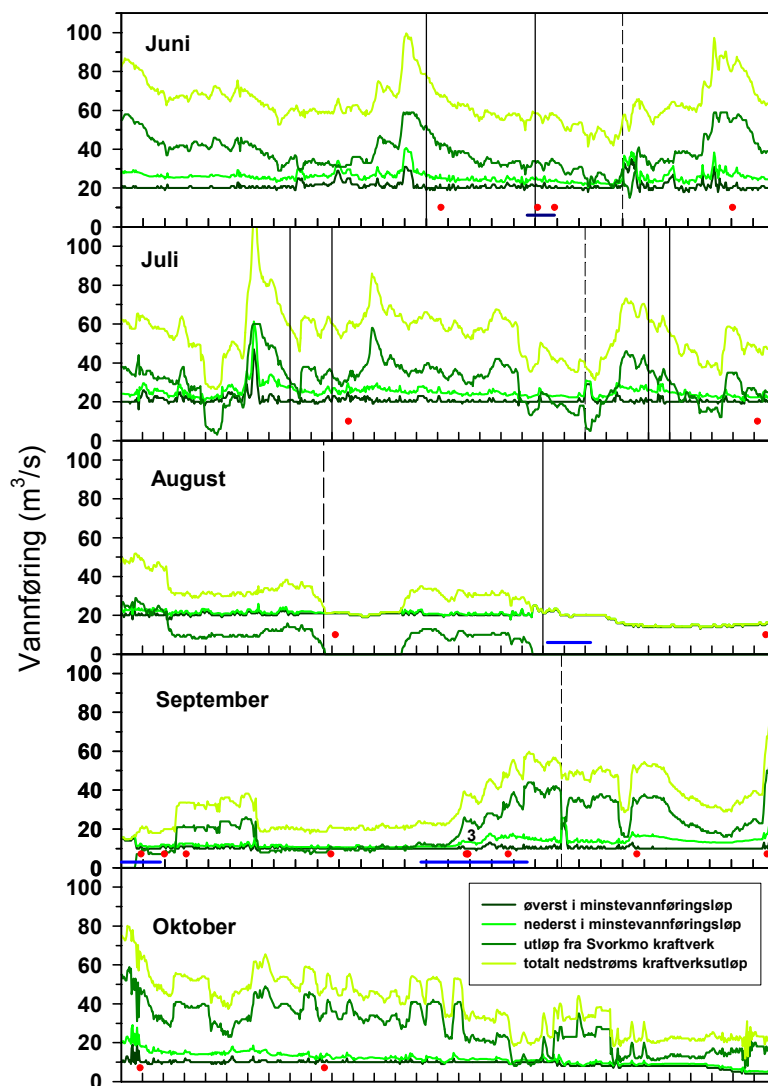
4.2 Atferd i Varghølen, ved utløpet fra Svorkmo kraftverk

Laksen oppholdt seg nedstrøms tunnelutløpet i Varghølen i gjennomsnittlig 42 dager (variasjonsbredde 0-101 dager, $n = 25$, s.d. = 29) før de vandret videre oppover i vassdraget (**vedlegg 1**). Lengde på oppholdet i Varghølen var verken avhengig av merkedato eller kroppslengde (lineær regresjon, dato: $r^2 = 0,004$, $P = 0,78$, lengde: $r^2 = 0,038$, $P = 0,52$). Varigheten av opphold i Varghølen var heller ikke avhengig av om fisken var oppbevart i kasse før merking eller ble sluppet umiddelbart etter fangst (Mann-Whitney U test, $U = 68,0$, $P = 0,65$), og var ikke avhengig av kjønn ($U = 58,0$, $P = 0,79$).

I Varghølen oppholdt laksen seg like nedenfor samløpet mellom minstevannføringsløpet og kraftverksutløpet. De ble hovedsakelig registrert på strekningen fra samløpet og 150-200 m nedover, men med noen registreringer i nedre Varghølen, ca 300 m nedstrøms samløpet. Laksen foretok en del forflytninger innen Varghølen, men ble aldri registrert like ved tunnelutløpet, eller i det 75-100 m lange sideløpet opp til utløpet.

Lokkeflommene hadde liten effekt på passering av kraftverksutløpet, da oppvandring hos bare én laks kunne knyttes til lokkeflom (10.-11. august, **figur 2, tabell 2**). Av

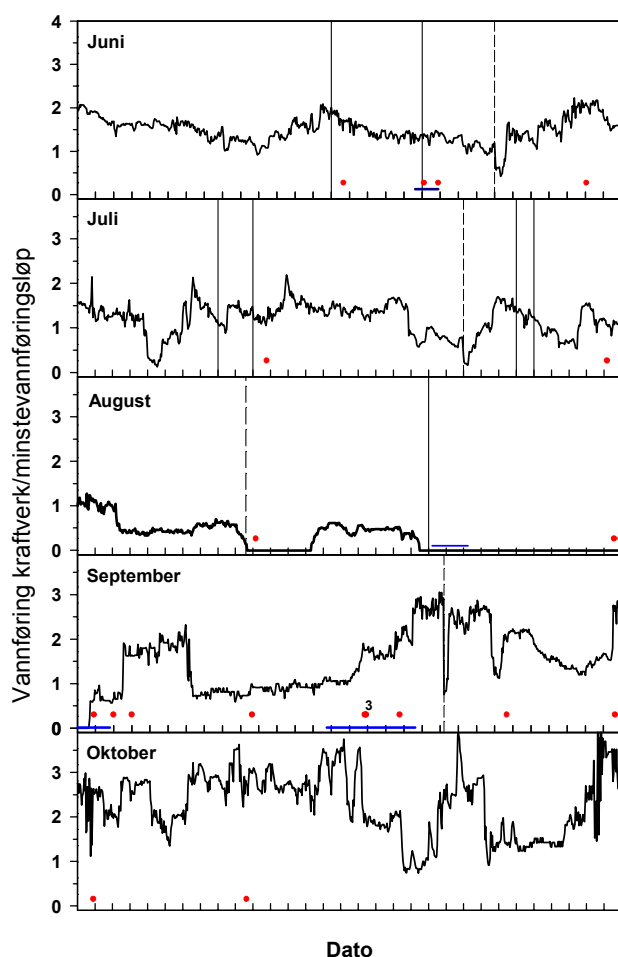
laksen som vandret videre oppover i vassdraget senere i sesongen, oppholdt 17 (68 %) laks seg i Varghølen under minst én lokkeflom uten å vandre videre i forbindelse med lokkeflommen (to laks opplevde fire lokkeflommer, to laks opplevde tre lokkeflommer, fire laks opplevde to lokkeflommer og åtte laks opplevde én lokkeflom uten å vandre i forbindelse med disse).



Figur 2. Vannføring målt i Orkla hver time i perioden 1. juni - 31. oktober 2002 (fremskaffet av Kraftverkene i Orkla, KVO). Data er vist for første til siste dato i hver måned. Vannføring er vist for a) øverst i minstevannføringsløpet rett nedenfor Bjørset dam, b) nederst i minstevannføringsløpet like oppstrøms utløpet fra Svorkmo kraftverk, c) utløpet fra kraftverket, og d) totalt i Orkla like nedstrøms kraftverksutløpet (= vannføring nederst i minstevannføringsløpet pluss fra kraftverket).

Tidspunkter for merking av laks (heltrukne vertikale linjer) og slipp av lokkeflommer (stiplede vertikale linjer) er vist. Tidspunkt for oppvandring av enkeltfisk fra hølen ved kraftverksutløpet og opp i minstevannføringsløpet er vist med røde prikker (tretall ved en rød prikk angir oppvandring av tre fisk samtidig). Oppvandring for fire laks med manglende registrering av nøyaktig oppvandringstidspunkt (se kap. 3.2) er vist med blå streker, som viser innenfor hvilken tidsperiode fisken har vandret opp.

Oppvandringen fra Varghølen skjedde spredt i perioden 15. juni - 10. oktober og under en rekke ulike vannføringsforhold (**figur 2 og 3**). Vannføringen nederst i minstevannføringsløpet varierte mellom 11 og 28 m³/s på oppvandringstidspunktet, fra kraftverksutløpet mellom 0 og 55 m³/s, og totalt i elva nedstrøms kraftverksutløpet mellom 16 og 81 m³/s (**figur 2**). Oppvandringen skjedde både i perioder med stigende vannføring i elva, med synkende vannføring, med variabel vannføring og i perioder med liten variasjon i vannføringen (**figur 2**). Det var ingen forskjell i fordelingen av ulike vannføringer målt gjennom sesongen (15. juni-10. oktober) og vannføring ved oppvandringstidspunktet for individuelle fisk, verken for vannføring nederst i minstevannføringsløpet (Kolmogorov-Smirnov Test, $Z = 1,2$, $P = 0,13$), i kraftverksutløpet ($Z = 0,65$, $P = 0,79$), eller totalt i elva nedstrøms utløpet ($Z = -0,20$, $P = 0,84$). Vannføringen fra Svorkmo kraftverk varierte fra null til 2,8 ganger større enn vannføringen fra minstevannføringsløpet på oppvandringstidspunktet for individuelle fisk (gjennomsnitt = 1,4, s.d. = 0,91, **figur 3**).



Figur 3. Forhold mellom vannføring fra Svorkmo kraftverk og fra minstevannføringsløpet 1. juni - 31. oktober 2002. Data er vist for første til siste dato i hver måned. Tidspunkter for merking av laks (heltrukne vertikale linjer) og slipp av lokkeflommer (stiplede vertikale linjer) er vist. Tidspunkt for oppvandring av enkeltfisk fra hølen ved kraftverksutløpet og opp i minstevannføringsløpet er vist med røde prikker (tretall ved en rød prikk angir oppvandring av tre fisk samtidig). Oppvandring for fire laks uten registrering av nøyaktig oppvandringstidspunkt (se kap. 3.2) er vist med blå streker, som viser innenfor hvilken tidsperiode fisken har vandret opp.

4.3 Vandring i minstevannføringsløpet

Laksen brukte gjennomsnittlig 14,5 dager (variasjonsbredde 4,0-29,0, $n = 9$, s.d. = 9,0) fra de vandret opp i minstevannføringsløpet til de ble registrert første gang av dataloggeren ved Bjørsetdammen, noe som tilsvarer en gjennomsnittlig vandringshastighet på 2,9 km per dag (variasjonsbredde 0,8-5,5, s.d. = 1,8). Laksen som passerte dammen og vandret videre oppover i vassdraget, brukte gjennomsnittlig 9,7 dager fra Varghølen til Bjørsetdammen, noe som tilsvarer en gjennomsnittlig vandringshastighet på 3,1 km per dag.

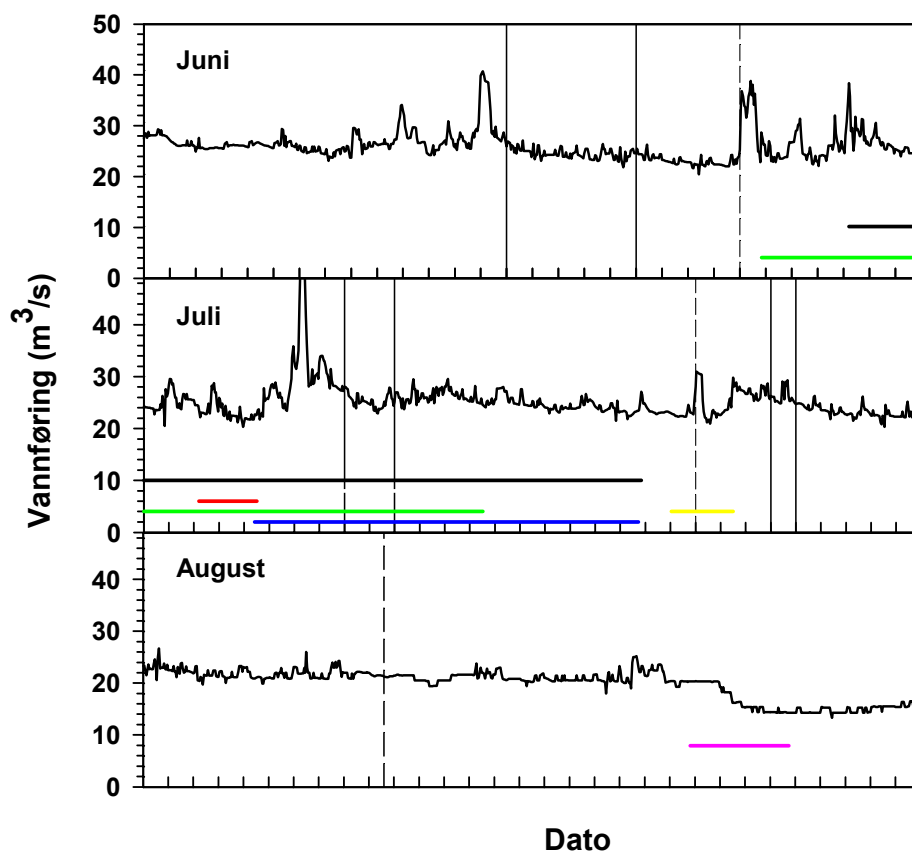
Lokkeflommene syntes ikke å ha noen særlig effekt på laks i minstevannføringsløpet, men antallet laks i minstevannføringsløpet under lokkeflommer var lavt, med unntak av den siste lokkeflommen. Under lokkeflom 24. juni, var tre laks i minstevannføringsløpet. Én av disse forflyttet seg ikke, mens to forflyttet seg henholdsvis 5,8 og 6,4 km i døgnet med lokkeflom, som var noe høyere enn de to døgnene før lokkeflommen (4,2 og 0 km) og i døgnet etter lokkeflommen (3,5 og 3,4 km). Under lokkeflommen 22. juli var ingen laks i minstevannføringsløpet. Under lokkeflom 10. august var én laks i minstevannføringsløpet, og denne forflyttet seg ikke. Under lokkeflom 21. september var 14 laks i minstevannføringsløpet. Det var ingen forskjell i forflytning mellom dagene før, under og etter lokkeflommen (Kruskal-Wallis test, $\chi^2 = 1,5$, $P = 0,46$). (Laks som hadde kommet opp til Bjørsetdammen ble ikke inkludert i analysene.)

4.4 Atferd ved Bjørsetdammen

Laksen syntes å bli forsinket ved Bjørsetdammen. Fra første registrering nedenfor Bjørsetdammen tok det gjennomsnittlig 11 dager (variasjonsbredde 2,3-24) før laksen passerte og vandret videre oppover i vassdraget (**figur 4**). Én radiomerket laks (no. 20) ble observert da den passerte dammen gjennom laksetrappa ved åpning av vestre damluke 24. juli (se kap. 3.3). Den hadde da stått nedenfor dammen i 2,5 dager.

4.5 Vandring i vassdraget ovenfor minstevannføringsløpet

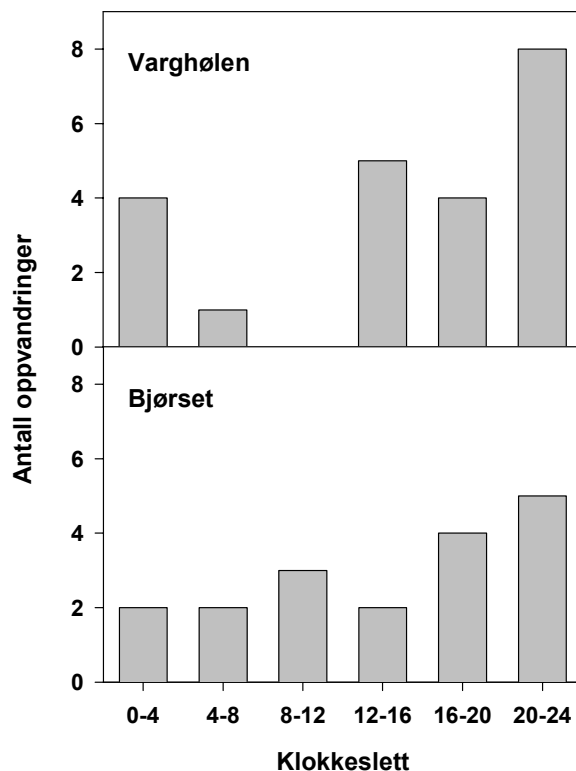
Laksen brukte gjennomsnittlig 23 dager (variasjonsbredde 1,3-77) fra passering av Bjørsetdammen til de ble registrert ved sin øverste posisjon i elva, noe som tilsvarer en gjennomsnittlig vandringshastighet på 3,7 km per dag (variasjonsbredde 0,7-11,0, s.d. = 4,5). Det var ingen forskjell mellom vandringshastighet i minstevannføringsløpet og vandringshastighet ovenfor Bjørsetdammen (Wilcoxon signed ranks test, $Z = -0,31$, $P = 0,75$).



Figur 4. Vannføring over Bjørsetdammen og tidsperioder da radiomerkede laks (horisontale linjer med individuelle fargekoder for enkeltfisk) ble registrert nedenfor Bjørsetdammen før de passerte og vandret videre oppstrøms. Data er vist for første til siste dato i hver måned. Tidspunkter for merking av laks (heltrukne vertikale linjer) og slipp av lokkeflommer (stiplede vertikale linjer) er vist. Resultater er vist for all laks som passerte Bjørsetdammen, unntatt én laks med usikkert passeringstidspunkt (ankom og passerte dammen i perioden 30. september - 6. oktober) på grunn av problemer med støy ved dataloggeren.

4.7 Forflytning i forhold til tid på døgnet

Vandringsaktivitet hos laksen ble registrert til alle tider av døgnet, basert på hvilke tidspunkter de vandret opp fra Varghølen og ankom eller vandret fra Bjørset ut fra dataloggerregistreringer (figur 5). Lite av oppvandringen fra Varghølen skjedde i tidsrommet kl. 4:00-12:00, men ellers skjedde oppvandringen spredt over resten av døgnet (figur 5). Ankomst eller vandring fra Bjørset skjedde spredt over hele døgnet. Både i Varghølen og ved Bjørsetdammen ble størst vandringsaktivitet registrert i perioden kl. 20:00-24:00 (figur 5).



Figur 5. Antall oppvandring av radiomerket laks fra Varghølen og antall ankomster eller vandring videre fra Bjørsetdammen til ulike tider av døgnet basert på resultater fra dataloggere i Orkla 2002.

4.8 Telling av fisk som passerte Bjørsetdammen

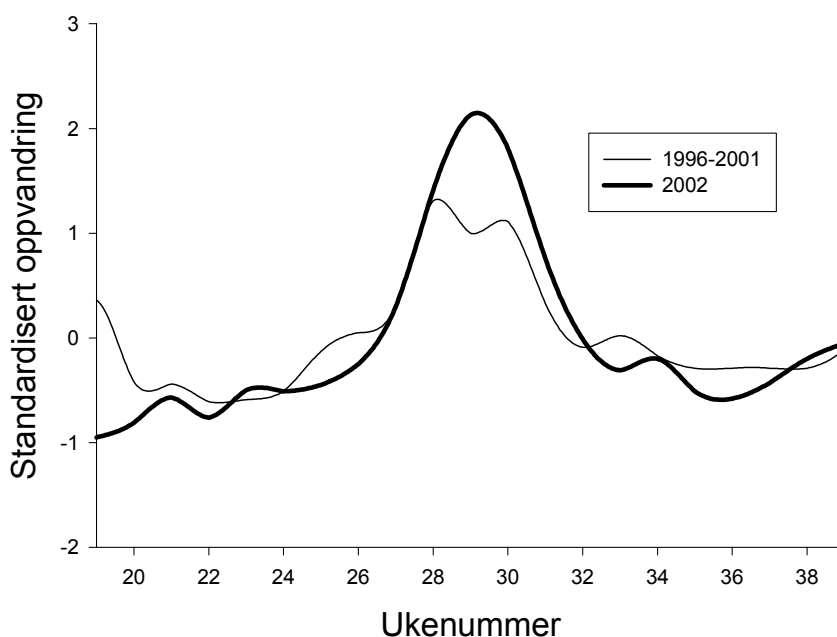
Dataene for tellinger i perioden 1996 til 2002 ble analysert mot vannføring og vanntemperatur på Syrstad og vannføring i Storsteinhølen. Fordi antall fisk som passerte varierte mellom år, ble fiskepasseringene først standardisert for hvert år. Denne standardiseringen ble gjort slik at gjennomsnittet per dag innen et år blir null og standardavviket blir én. På denne måten kan sammenhengen mellom passeringer og vannføring og vanntemperatur og vannføring sammenlignes mer direkte mellom år med ulikt antall oppvandrende fisk.

Analyser på hele materialet samlet

En kovariansanalyse med standardisert oppvandring som avhengig variabel, ukenummer som faktor, og vannføring og vanntemperatur ved Syrstad, samt vannføring ved Storsteinhølen som kovariater, viste en signifikant effekt av vanntemperatur ($F = 33,0$, $df = 1,295$, $p < 0,001$) og en signifikant interaksjonseffekt mellom uke og vanntemperatur ($F = 18,8$, $df = 22,295$, $p < 0,001$). Effekten av de to vannføringsmålene var ikke signifikant. Den signifikante interaksjonseffekten antyder at sammenhengen mellom vanntemperatur og oppvandring ikke var den samme gjennom hele sesongen. Denne analysen antyder en sammenheng mellom

fiskepasseringer på Bjørsetdammen og vanntemperatur, men at vi bør dele sesongen inn i ulike perioder for videre analyse.

Standardisert oppvandring over Bjørsetdammen som gjennomsnitt per uke i 2002 og 1996-2001 for perioden 12. mai - 30. september. Dataene er standardisert slik at daglig oppvandring får et gjennomsnitt på 0 og et standard avvik på 1 for hvert år.



Figur 6. Standardisert oppvandring i 2002 sesongen sammenlignet med gjennomsnittet for perioden 1996-2001. Kurvene er glattet ut.

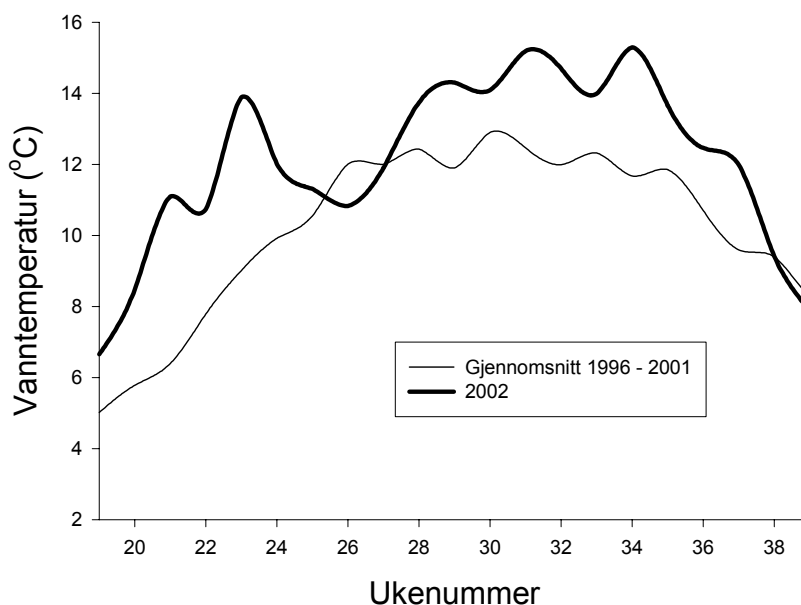
Inndeling av sesongen i perioder

Gjennomsnittlig oppvandring av fisk økte generelt framover mot andre uke i juli (uke 28) og var deretter relativt stabilt høy fram til slutten av juli (uke 30) (se **figur 6**). Gjennomsnittlig vanntemperatur økte også fram mot slutten av juni (uke 25), for så å holde seg relativt stabil framover til slutten av august (uke 35), og gå ned igjen i september (se **figur 7**). Gjennomsnittlig vannføring derimot var høyest tidlig i sesongen, gikk så jamt ned fram til begynnelsen av august (uke 31) og var lav gjennom august og september (**figur 8**). For å analysere noenlunde sammenlignbare perioder valgte vi derfor å dele inn i perioder med relativt lik vanntemperatur og oppvandring. Vi valgte derfor å se på perioden fra og med uke 28 til og med uke 30 (stabilt høy oppvandring og stabil gjennomsnittstemperatur) og perioden fra og med først i august (uke 32) til og med slutten av august (uke 35) som en periode med

lavere, men relativt stabil standardisert oppvandring og relativt stabil gjennomsnittlig vanntemperatur.

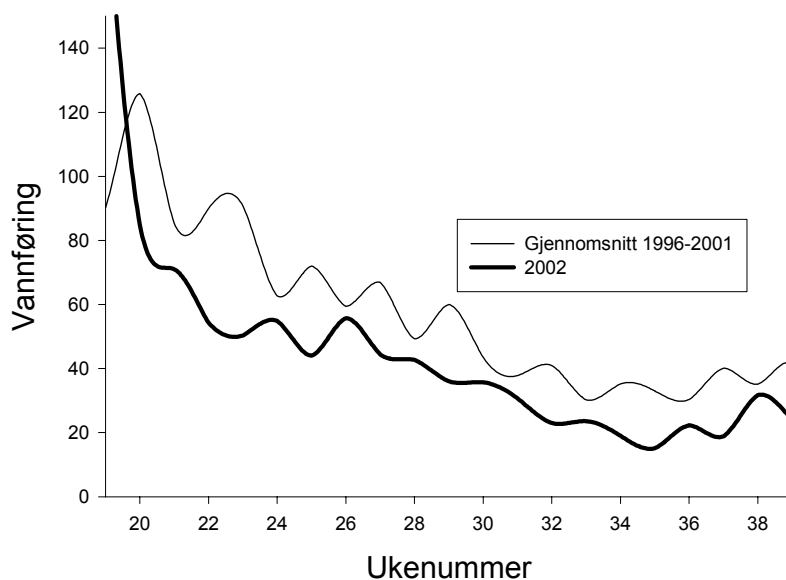
Stegvis multipel regresjon resulterte i en modell med vanntemperaturen målt på Syrstad som forklaringsvariabel i begge disse periodene. I juli (uke 28-30) forklarte modellen ca 17 % av variasjonen i oppvandring (**figur 9**), mens i august (uke 32-35) forklarte modellen ca 9 % av variasjonen (**figur 10**). De lave forklaringsprosentene viser at fisken passerte Bjørsetdammen ved mange ulike miljøforhold, men relativt flere fisk passerte på dager da vanntemperaturen var høy. For perioden før uke 28 viste oppvandringen en signifikant positiv sammenheng med temperatur og negativ med vannføring, men dette er vanskelig tolkbart siden dette var en periode med økende oppvandring og temperatur, samt avtagende vannføring. I uke 31-32 var det en signifikant positiv sammenheng med både vannføring og temperatur, men dette er også vanskelig tolkbart siden dette var en periode da både vannføringen og fiskeoppgangen avtok. I september var det ingen signifikante sammenhenger med noen av variablene.

Vanntemperatur som gjennomsnitt per uke i 2002 og 1996-2001 for perioden 12. mai - 30. september.



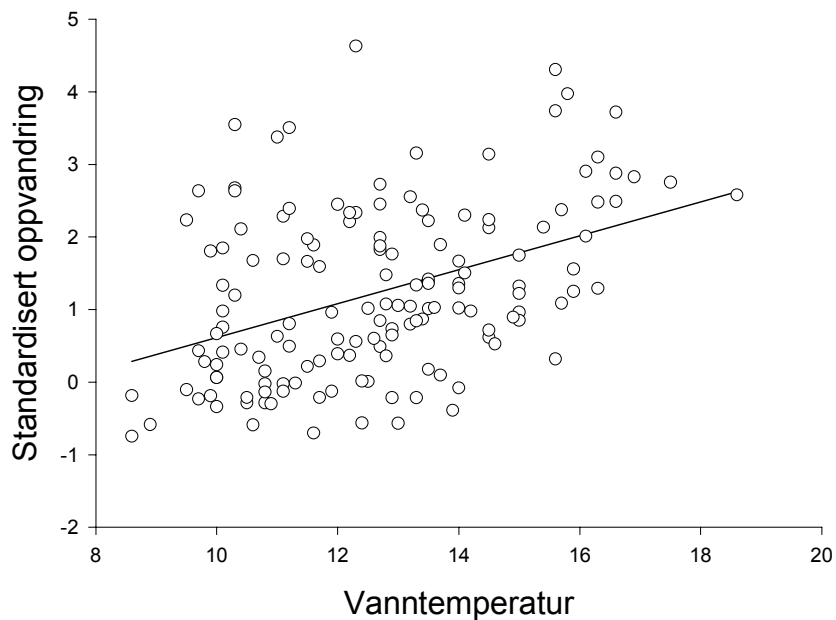
Figur 7. Ukentlig gjennomsnittlig vanntemperatur målt ved Syrstad i 2002 sammenlignet med perioden 1996-2001. Kurvene er glattet ut.

Vannføring ved Syrstad som gjennomsnitt per uke i 2002 og 1996-2001 for perioden 12. mai - 30. september.



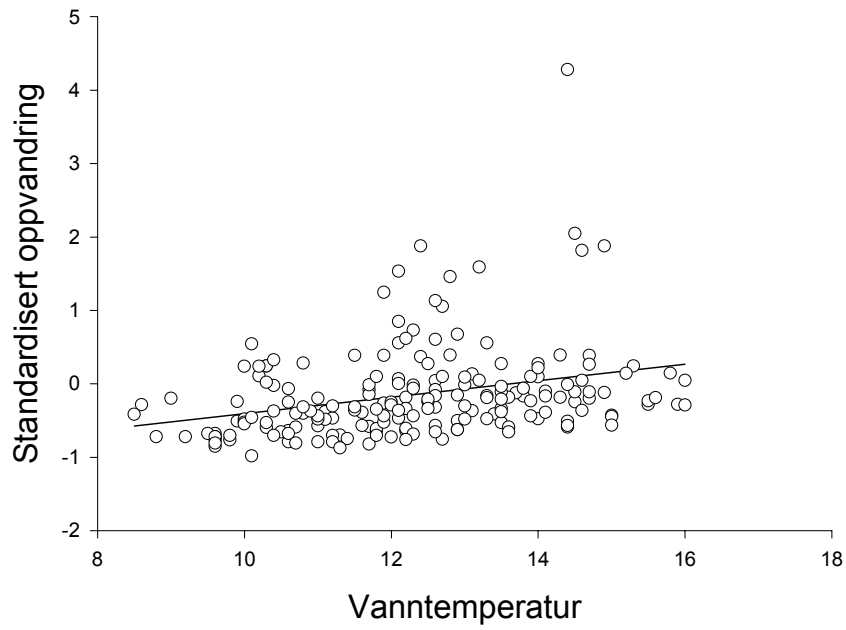
Figur 8. Ukentlig gjennomsnittlig vannføring per uke i 2002 sammenlignet med gjennomsnittet for perioden 1996 til 2001. Kurvene er glattet ut.

Uke 28 - 30 (juli) 1996-2002
 $y = 0,23x - 1,71, r^2 = 0,17$
 $F = 30,4, df = 1,145, p < 0,001$



Figur 9. Standardisert daglig oppvanding ved Bjørset som funksjon av vanntemperatur målt ved Syrstad for perioden 1996-2002 i uke 28-30 (juli).

Uke 32 - 35 (august) 1996-2002
 $y = 0,11x - 1,52$, $r^2 = 0,09$
 $F = 19,1$, $df = 1,192$, $p < 0,001$



Figur 10. Standardisert daglig oppvanding ved Bjørset som funksjon av vanntemperatur målt ved Sørstad for perioden 1996-2002 i uke 32-35 (august).

5 DISKUSJON

De fleste tidligere undersøkelser av effekter av vannføring på oppvandring hos laks er foretatt for oppvandring fra sjø til elv, eller på bakgrunn av registrering av laks forbi tellere i trapper eller andre vandringspassasjer (se referanser i innledningen). Effekter av vannføring kan imidlertid være forskjellig mellom oppvandring fra sjø til elv og videre oppstrøms vandring. Effekter av vannføring på uberørte elvestrekninger uten store vandringshindre kan også være forskjellig fra passering av naturlige eller menneskeskapte vandringshindre, fiskepassasjer, kraftverksutløp og elvestrekninger med redusert vannføring. Resultater fra oppvandring fra sjø til elv og tellinger i fiskepassasjer er derfor ikke nødvendigvis representative for alle faser av oppvandringen hos laks, og undersøkelser hvor individer følges under flere faser av oppvandringen er derfor et viktig supplement til slike undersøkelser.

5.1 Resultater fra Orkla

Denne undersøkelsen i Orkla omfattet vandring forbi et kraftverksutløp, et minstevannføringsløp, en dam og mer uberørte elvestrekninger videre oppover i vassdraget. Resultatene tyder på at laksen ble forsinket ved utløpet fra Svorkmo kraftverk, hvor gjennomsnittlig oppholdstid var 42 dager. Vi vet ikke hva som var normal oppholdstid for laksen i denne hølen før kraftutbyggingen. Oppholdet synes imidlertid langvarig i forhold til oppholdstida for oppvandrende laks ved Tana bru (gjennomsnittlig 9 og 5 dager) og Storfossen (gjennomsnittlig 5 og 6 dager) i Tanaelva, som var de mest benyttede hvileplassene under oppvandring gjennom to års undersøkelser (Økland *et al.* 2001). Spesielt Storfossen er en sammenlignbar høl med Varghølen.

Laksen syntes ikke å bli forsinket under videre vandring i minstevannføringsløpet i Orkla. Vandringshastigheten i minstevannføringsløpet (3,1 km per døgn) var sammenlignbar med vandringshastigheten hos de samme individene videre oppstrøms i vassdraget (3,7 km per døgn). Hastighetene samsvarer også med det som er funnet for laks i andre undersøkelser. I Mandalselva oppstrøms minstevannføringsløpet Laudal-Mannflåvann var gjennomsnittlig vandringshastighet 3,6 km per døgn (Thorstad & Heggberget 1997). I følge Smirnov (1971) var oppvandringshastigheter for Onega-laks sjelden mer enn 4 km per døgn. Laks som vandret opp en 64 km lang strekning i Miramichi, vandret med en hastighet på 4,3 km per døgn (Hayes 1953). De raskeste laksene i en undersøkelse i Suldalslågen ble registrert med en vandringshastighet på 6,5 km per døgn. Noen undersøkelser har vist raskere vandringshastigheter, som i Aberdeenshire Dee (> 10 km per døgn, Hawkins & Smith 1986), Indalselven (10-20 km per døgn, Lindroth 1952) og Gudena (8-12 km per døgn, Aarestrup *et al.* 2000). Sammenligning av vandringshastigheter mellom undersøkelser er imidlertid vanskelig, fordi hastigheten vil være avhengig av undersøkelsesmetode, kroppsstørrelse og hvor sterk strøm laksen svømmer mot.

Laksen syntes også å bli forsinket ved Bjørsetdammen (gjennomsnittlig oppholdstid 11 dager). Forsinkelsen ved dammen var noe overraskende, fordi fisken kan passere gjennom ei brei luke i dammen uten særlig høydestigning, og passeringsstedet ser ikke ut som et fysisk vandringshinder for laks. Forsinkelsen ser derfor ut til å være knyttet til ugunstige strømningsforhold nedenfor den åpne luka og laksens motivasjon til å passere gjennom dette området. Det ble observert mye laks i området nedenfor dammen gjennom hele sesongen, og flere hadde skjell- og skrapeskader som kunne tyde på at de skrubbet seg mot betongkanter i dammen (Bernt O. Knudsen og Morten Rødningen pers. komm.). Kraftverket, i samarbeid med Orkla fellesforvaltning og Fagrådet for Orkla, foretok utbedringer i løpet av sommeren for å endre strømningsforholdene nedenfor dammen, men effekten av dette er ukjent. At ca 600 laks passerte umiddelbart da vestre damluke og vestre laksetrapp ble åpnet i juli (se kap. 3.3), tyder også på at laks samlet seg nedenfor dammen. Endringer av strømningsforholdene nedenfor dammen med skifte av luke økte åpenbart laksens motivasjon for å passere. Resultatene tyder på at oppvandring hos laks kan bli forstyrret av kunstige vandringshindre, selv i tilfeller hvor passasjen ikke burde utgjøre et fysiske problem for laksen å passere.

Lokkeflommene hadde liten effekt på oppvandringen hos laks både ved kraftverksutløpet og i minstevannføringsløpet. Mange laks oppholdt seg ved tunnelutløpet gjennom flere av lokkeflommene og ulike vannføringer, både fra minstevannføringsløpet og kraftverket, uten å vandre videre. Når de endelig vandret, så skjedde dette under en rekke forskjellige vannføringsforhold. En kan tenke seg at både vannføring fra minstevannføringsløpet, kraftverket, forholdet mellom disse, samt total vannføring nedenfor samløpet mellom minstevannføringsløpet og kraftverket kan være viktig for passering av laks forbi kraftverksutløpet. Det var imidlertid ikke tydelige mønster i noen av disse faktorene i forhold til når laksen vandret oppstrøms fra Varghølen. Vannføringen fra kraftverket var vanligvis 1-2 ganger større enn vannføringen fra minstevannføringsløpet, og i noen dager med lite vann i august var kraftverket også stengt. Oppvandringen var ikke større da kraftverket var stengt enn i andre perioder, noe som kan skyldes at dette skjedde i perioder med varme og generelt liten vannføring. Det kan tenkes at en stenging av kraftverket i en periode med nedbør og større vannføring i elva i større grad ville stimulert til oppvandring. Det er ingen fysiske vandringshindre i området ved kraftverksutløpet, slik at passeringen av kraftverksutløpet åpenbart er knyttet til når fisken er motivert for videre vandring. Mange laks vandret opp fra Varghølen sent i sesongen, noe som kan tyde på at motivasjonen for å komme fram til gyteplassene øker mot gytesesongen. Vannføringen hadde heller ingen signifikant effekt på fiskepasseringer over Bjørsetdammen, basert på analyser av data fra fisketelleren i perioden 1996-2002. Det kan være verdt å merke seg at antall fisk som passerte dammen ved lokkeflom 24. juni var tredoblet i forhold til dagen før og dagen etter (**tabell 2**), men det er vanskelig å trekke konklusjoner ut fra dette siden de tre andre lokkeflommene ikke hadde en slik effekt, og det også ellers ble registrert en del variasjon i oppvandringen fra dag til dag.

Vandringsaktivitet hos laks i undersøkelsen ble registrert gjennom hele døgnet, men med en tendens til en økning om kvelden. I følge andre undersøkelser foregår oppvandring av laksefisk både fra sjø til elv og videre i elv hovedsakelig i de mørke timene av døgnet, mellom solnedgang og soloppgang; særlig om kvelden (f. eks. Hayes 1953, Lorz & Northcote 1965, Allan 1966, Swain & Champion 1968, Hellowell *et al.* 1974, Kristinsson & Alexandersdóttir 1978, Dunkley & Shearer 1982, Hawkins & Smith 1986, Potter 1988, Laughton 1989, Webb 1990, Jonsson 1991). Flere undersøkelser har imidlertid registrert større vandringsaktivitet på dagtid (f. eks. Chanseau *et al.* 1999), spesielt ved høye vannføringer og turbide forhold og nær gyteperioden (Munro & Balmain 1956, Hellowell *et al.* 1974, Dunkley & Shearer 1982, Potter 1988, Laughton 1989), mens Aarestrup & Jepsen (1998) ikke fant noe mønster i når på døgnet oppvandringen skjedde. Hawkins & Smith (1986) understreket at de fant individuelle forskjeller mellom fisk i sin radiomerkeundersøkelse, slik resultatene viser i Orkla.

5.2 Mulige effekter av metoder benyttet i undersøkelsen

Kan forsinkelsene ved kraftverksutløpet i Orkla og ved Bjørsetdammen være delvis forårsaket av metoden med fangst og radiomerking? Basert på NINAs erfaringer med fangst og radiomerking av voksen laks i 11 andre norske vassdrag, er dette lite sannsynlig.

Fangst av laks i sjøen med kilenot ser ut til å være den mest skånsomme fangstmetoden, men er mer kostbart enn ulike fangstmetoder i elv. Det er også vanskeligere å planlegge undersøkelsen, fordi det er mer uforutsigbart hvor mange av fiskene som vandrer opp i elva, og når de gjør det. Ved fangst og merking av fisk i elv, ser det ut til at noen laks reagerer på håndteringen med nedstrøms vandring (egne erfaringer, Mäkinen *et al.* 2000), men det finnes få undersøkelser som beskriver uberørt vandring hos laks i uberørte vassdrag, og det kan være vanskelig å vite hva som er et normalt vandringsmønster og ikke. Imidlertid ser det ut til at laks under oppvandring generelt vandrer målrettet oppstrøms før de stanser på et bestemt sted før og under gyteperioden (Hawkins & Smith 1986, Webb 1989, Baglinière *et al.* 1990, Heggberget *et al.* 1995, Johnsen *et al.* 1996, Økland *et al.* 1995), og at de under oppvandring veksler mellom oppvandringsetapper og stansperioder (Økland *et al.* 2001). Gode fiskeplasser, som Varghølen, er ofte områder hvor laks stanser en periode før de vandrer videre oppstrøms, eller velger å stå fram mot gyteperioden (Økland *et al.* 2001).

Når laksen kommer i nærheten av den senere gyteplassen, er det registrert en periode med opp- og nedstrøms vandring, gjerne over en flere kilometer lang elvestrekning, som er antatt å være en søkefase hvor fisken leter etter gyteområde, potensielle partnere eller et område å oppholde seg i fram mot gyting (Økland *et al.* 2001). Etter søkefasen kan laksen stå i det samme området fram til like før gyteperioden, og deretter vandre til gyteområder nedenfor eller ovenfor (Økland *et al.* 2001).

Nedstrøms vandring fra Varghølen etter fangst og merking i denne undersøkelsen kan altså være en effekt av håndteringen, eller at noen laks ble fanget under en søkefase og at de senere etablerte seg på "sin" gyteplass uavhengig av håndteringen. I Orkla er det gode gyteplasser både i og nedstrøms Varghølen, slik at en må forvente at en del av laksen som fanges og merkes i Varghølen ikke vandrer oppstrøms, men gyter på disse plassene. Villaks ser ut til å vende tilbake til oppvekstområdet sitt i elva når de skal gyte (Heggberget *et al.* 1986, 1988, Heggberget 1989). Hvorvidt vandringshindre, vanskelige vannføringsforhold eller håndtering reduserer motivasjonen for å vende tilbake til oppvekstområdet slik at de avbryter oppvandringen og gyter lengre nedstrøms, vet vi ikke.

Den lange oppholdstiden ved kraftverksutløpet for laks som senere vandret oppstrøms skyldes trolig ikke fangst, oppbevaring og merking. I alle tidligere undersøkelser hvor laks er fanget og radiomerket i elv, har de umiddelbart etter utsetting vandret oppstrøms, og ikke stanset opp slik de gjorde ved kraftverksutløpet i Orkla. I Nidelva ble laksen fanget i kilenot i elva eller tatt fra ei laksetrapp og transportert til utsettingsstedet i tank på lastebil (Thorstad *et al.* 1998b). Fisken ble oppbevart 2-5 dager i ei merd i elva før de ble radiomerket og satt ut. Etter ca ett døgn ble de registrert 2 km lengre oppstrøms. Ved undersøkelser i Mandalselva ble laksen fanget i ei felle og oppbevart i merd 1-8 dager etter fangst, før de ble radiomerket og sluppet i en stor kulp. Også disse vandret raskt etter merking oppstrøms til første vandringshinder (Thorstad & Heggberget 1997, Thorstad & Hårsaker 1998). En fisk som er fanget med stangredskap kan være utmattet etter fangsten, men stress etter håving og transport som i Nidelva, eller noen timers opphold i ei felle med sterk strøm som i Mandalselva, kan trolig sammenlignes med dette. I Altaelva ble dessuten atferd hos laks etter fangst og slipp undersøkt, og dette var under ordinært sportsfiske, og ikke med en skånsom fangst og håndtering som i Orkla (Thorstad *et al.* 2003b). I Altaelva hadde mer enn halvparten av fisken vandret opp til 2 km oppstrøms ei uke etter fangst og merking, selv om undersøkelsen ble foretatt øverst i lakseførende strekning og omfattet laks som hadde avsluttet eller var på slutten av oppvandringsfasen. På bakgrunn av disse undersøkelsene, er det derfor svært sannsynlig at forsinkelsene som ble registrert i Orkla skyldes forhold i elva og ikke metoden med fangst og håndtering av fisken.

Radiosendere medfører en ekstra vekt for fisken og endre det hydrauliske strømningsmønsteret rundt fisken. Vektøkningen utgjør imidlertid kun 0,4 % av kroppsvekten hos en laks som veier to kilo. Basert på undersøkelser i laboratoriet, synes ikke radiomerking å ha noen betydning for svømmekapasitet hos laks i ei elv uten betydelige vandringshindre, som i denne undersøkelsen i Orkla. Radiosendere av samme størrelse hadde ingen negativ effekt på svømmekapasitet hos laks (45-59 cm) i et svømmekammer (Thorstad *et al.* 2000b). Den radiomerkede laksen i Orkla ble også observert å delta i gytingen. Hannlaks nr. 32 ble observert i gyting under Svorkmo bru, og hannlaks nr 30 ble observert ved gytegrøp ved Meldal sentrum 24. oktober (Morten Rødningen, pers. komm.)

Fangst av fisken like nedenfor kraftverksutløpet kan medføre en selektivitet i hva slags fisk som inngår i undersøkelsen, for eksempel ved at fisk som har en tendens til å forsinkes ved utløpet hadde større sjanse for å bli fanget i området og inngå i undersøkelsen. Imidlertid tyder også andre observasjoner på at en stor mengde laks samlet seg opp i hølen ved kraftverksutløpet. Ved fiske i hølen, ble det fra juli ofte nevnt av fiskerne at det måtte stå svært mye fisk i hølen, blant annet basert på hvor mye fisk de var borti med snøret (Bernt Ole Knudsen og Morten Rødningen pers. komm.). Morten Rødningen svømte nedover hølen med dykkermaske 10. september og observerte flere hundre laks i stim. Tre radiomerkede laks ble også observert, og de hadde ingen avvikende atferd i forhold til de andre fiskene i stimen.

5.3 Sammenligning av resultater fra Mandalselva, Nidelva og Orkla

I perioden 1996-2002 ble oppvandring hos til sammen 169 radiomerkede laks undersøkt forbi kraftverk i Mandalselva, Nidelva ved Arendal og Orkla (**tabell 3**). De tre kraftverkene som inngikk i undersøkelsene er like på den måten at de har både inntak og utløp på lakseførende strekning, med et minstevannføringsløp som laksen må passere mellom inntak og utløp. Lengde på minstevannføringsløpet varierte fra 2,6 km i Nidelva til 22 km i Orkla, og vannføringen på strekningen varierte fra 3 m³/s i Mandalselva til 20 m³/s i Orkla (**tabell 3**). Her oppsummeres og diskuteres resultater fra de tre undersøkelsene i forhold til hverandre og i forhold til andre aktuelle undersøkelser. For detaljer fra undersøkelsene i Mandalselva og Nidelva henvises til tidligere rapporter (Thorstad & Heggberget 1997, 1998, Thorstad & Hårsaker 1998, Thorstad *et al.* 1998b, 2000, 2003a).

5.3.1 Kraftverksutløp

Oppvandring forbi kraftverksutløp ble undersøkt i Nidelva og Orkla, men ikke i Mandalselva (**tabell 3**). Laksen ble forsinket ved tunnelutløpet både i Orkla (gjennomsnittlig oppholdstid 42 dager) og i Nidelva (median oppholdstid 17-20 dager i 1997), selv om ingen av lokalitetene ser ut til å utgjøre et fysisk vanskelig hinder for laks å passere. Det kortere oppholdet i Nidelva i forhold til i Orkla kan skyldes at laksen i Nidelva ble merket senere i sesongen (11. september - 2. oktober), og dermed nærmere gyteperioden. I Nidelva, hvor det ikke er gitter som hindrer laks i å gå inn i tunnelen, oppholdt laksen seg store deler av tiden inne i kraftverkstunnelen, særlig det første året med minstevannføring på 3 m³/s. Ved økning av minstevannføring til 5 m³/s, oppholdt laksen seg i større grad i elva utenfor kraftverkstunnelen, men ble likevel forsinket og hindret i videre oppstrøms vandring. I Orkla ble laksen aldri registrert like utenfor tunnelåpningen, men like nedenfor samløpet mellom minstevannføringsløpet og sideløpet til kraftverksutløpet.

To faktorer kan forklare forskjellen på at laksen vandret inn i tunnelen i Nidelva, mens de i mindre grad ble tiltrukket tunnelutløpet i Orkla. Den ene faktoren er at utformingen av tunnelutløpene er forskjellig. I Nidelva leder den mest åpenbare

vandringsruten rett inn i tunnelen, mens fisken må svinge av mot høyre for å finne veien videre i minstevannføringsløpet. I Orkla, derimot, leder den mest naturlige vandringsruten opp i minstevannføringsløpet, mens laksen må svinge mer av mot venstre og opp i sideløpet for å komme til kraftverksutløpet. Den andre faktoren er at vannføringen fra kraftverket i Nidelva var betydelig større enn minstevannføringen, slik at strømmen fra minstevannføringsløpet i perioder ble svært liten i forhold til fra tunnelen. I Orkla var vannføringen fra kraftverket vanligvis bare 1-2 ganger større enn fra minstevannføringsløpet. Resultatene tyder altså på at utformingen av tunnelutløpet og forholdet mellom vannføring fra kraftverksutløpet og minstevannføringsløpet har en betydning for graden av tiltrekning mot selve kraftverksutløpet. Selv om laksen i Orkla ikke vandret helt opp til kraftverksutløpet, synes imidlertid samløpet av vann fra kraftverket og minstevannføringsløpet å medføre en forsinkelse i dette området.

Tabell 3. Oversikt over undersøkelser av radiomerket laks forbi Laudal kraftverk i Mandalselva, Rygene kraftverk i Nidelva ved Arendal og Svorkmo kraftverk i Orkla. Opplysninger om vannføringer gjelder for perioden da undersøkelsene pågikk, unntatt årlig middelvannføring.

	Mandalselva	Nidelva	Orkla
Årlig middelvannføring (m ³ /s)	88	123	71
Minstevannføring i minstevannføringsløp (m ³ /s)	3	3-5	10-20
Vannføring i kraftverk (m ³ /s)	0-110	36-176	0-60
Lengde på minstevannføringsløp (km)	6	2,6	22
Antall terskler/dammer i minstevannføringsløp	12	4	1
Gitter ved tunnelutløp	ja	nei	ja
Undersøkelsesår	1996 og 1997	1997 og 1999	2002
Antall laks radiomerket	76	59	34
Laksens opprinnelse	ikke-stedegen	ikke-stedegen	stedegen
Størrelse på fisk merket (cm)	51-96	52-108	58-108
Fangstmetode	fiskefelle	kilenot og fisketrapp	stangfiske
Undersøkelser foretatt ved tunnelutløp	nei	ja	ja
Undersøkelser foretatt i minstevannføringsløp	ja	ja	ja
Undersøkelse av lokkeflommer	ja	nei	ja
Vannføring under lokkeflommer (m ³ /s)	8-13	-	23-30
Vannføring i minstevannføringsløp før lokkeflom (m ³ /s)	3	-	10-21
Varighet på lokkeflommer (t)	8-48	-	6-15

Forsinkelsene ved kraftverksutløpet i Nidelva og Orkla er i samsvar med observasjoner i andre vassdrag. Allerede i 1958 rapporterte Canadian Department of Fisheries at stillehavslaks ble tiltrukket av og samlet seg opp ved et kraftverksutløp i Puntledge River på Vancouver Island (siteret i Andrew & Geen 1960). I følge Andrew & Geen (1960) forsinkes oppvandring av laks av minstevannføringsløp som har relativt liten vannføring i forhold til vannføringen ut fra et kraftverksutløp. Laks velger generelt ikke små kunstige sideløp med liten vannføring under oppvandring i elv, med mindre hovedstrømmen er blokkert (med gitter e.l.), og det kan være problemer med å lede laksen opp små sideløp selv når hovedstrømmen er blokkert (Andrew & Geen 1960). Også Brayshaw (1967), Webb (1990), Carlsson *et al.* (1996) og Chanseau & Larinier (1999) har beskrevet forsinkelser av laks ved kraftverksutløp.

Både i Nidelva og Orkla ble det registrert at laksen vandret videre oppstrøms fra kraftverksutløpet under ulike vannføringsforhold. Det ble ikke funnet klare mønster i hva slags vannføringer som stimulerte laksen til å passere kraftverksutløpet. Lokkeflommene i Orkla syntes ikke å ha en særlig positiv effekt på passering av kraftverksutløpet. I følge Baxter (1961) kan lokkeflommer være mer effektive når det regner. To av lokkeflommene i Orkla ble derfor sluppet i forbindelse med regn, men heller ikke disse hadde noen særlig effekt i å stimulere laks til å vandre opp i minstevannføringsløpet. Lokkeflommene i Orkla var av relativ kort varighet og med en begrenset vannføringsøkning, slik at det kan hende lokkeflommer av større varighet og med en større økning i vannføring ville hatt en større effekt. Det ble ikke sluppet kunstige lokkeflommer i Nidelva i løpet av undersøkelsen.

Kraabøl & Arnekleiv (1992) og Arnekleiv & Kraabøl (1996) gjennomførte tilsvarende undersøkelser av vandring hos stوراure i Gudbrandsdalslågen forbi utløpet fra Hunderfossen kraftverk. Fra kraftverket var vannføringen 120-300 m³/s. I minstevannføringsløpet var vannføringen vanligvis mellom 5 og 20 m³/s. De fant at auren ikke passerte tunnelutløpet ved vannføringer mindre enn 20 m³/s i minstevannføringsløpet, men at all auren passerte etter en stans på noen timer til 8-10 dager ved vannføringer over 20 m³/s. Ved vannføringer mellom 2 og 15 m³/s i minstevannføringsløpet ble auren stående mer enn 20 dager i tunnelutløpet. Noen av dem som ble stående vandret videre oppover i elva under seinere høstflommer, mens andre vandret nedover i elva igjen, noen helt tilbake til Mjøsa. Ved vannføringer mellom 2 og 15 m³/s hadde auren større tendens til å vandre inn i kraftverkstunnelen enn ved vannføringer over 20 m³/s. To forsøk med lokkeflommer ned minstevannføringsløpet ble gjennomført:

1. Lokkeflom på 60 m³/s i 24 timer resulterte i at 50 % av auren som stod i tunnelutløpet (6 av 12) vandret opp minstevannføringsløpet.
2. Lokkeflom på 60 m³/s i 24 timer etterfulgt av lokkeflom på 30 m³/s i 24 timer to døgn senere resulterte i at 85 % av auren som stod i tunnelutløpet (11 av 13) vandret opp under første lokkeflom (60 m³/s) og 13 % (1 av 8) under andre lokkeflom (30 m³/s).

De konkluderte at størrelsen på lokkeflommer burde være minst 60 m³/s for å ha noen effekt i å lede aure forbi tunnelutløpet ved Hunderfossen kraftverk. Dette er betydelig større lokkeflommer enn det som ble sluppet i Orkla, men samtidig var vannføringen fra kraftverket også større. En annen årsak til den store effekten av lokkeflommene kan være den lange varigheten på lokkeflommene.

Det er nærliggende å tro at forholdet mellom vannføring fra minstevannføringsløp og kraftverksutløp har en betydning for laksens oppvandring forbi tunnelutløp. Imidlertid kan det tenkes at den totale vannføringen også har en betydning ved at perioder med nedbør og høy vannføring generelt stimulerer til oppvandring. Det ble ikke funnet en slik sammenheng i undersøkelsen i Orkla, men sesongen 2002 var usedvanlig varm og tørr, slik at vannføringen var generelt lav hele sesongen sammenlignet med normalår.

5.3.2 Minstevannføringsløp

Når laksen først vandret opp i minstevannføringsløpet i Orkla, syntes de ikke å bli forsinket i oppvandringen, i motsetning til i Mandalselva og Nidelva. Dette har sannsynligvis sammenheng med at minstevannføringen var større i Orkla enn i de to andre elvene. At høyere vannføring i minstevannføringsløp hadde en positiv betydning for oppvandringen, ble også demonstrert i Mandalselva. En minstevannføring på 3,0 m³/s viste seg å være en forbedring av forholdene for oppvandrende laks i forhold til tidligere års lavere minstevannføring (0,25-1,5 m³/s), ved at en større andel av laksen som vandret opp i minstevannføringsløpet, passerte hele strekningen og vandret videre i vassdraget (16 % i forhold til < 4 %).

I Mandalselva og Nidelva var det en tendens til at laksen stanset opp like etter at de kom opp i minstevannføringsløpet, eller snudde og vandret nedstrøms til tunnelutløpet igjen, noe som ikke ble registrert i Orkla. Denne atferden har trolig sammenheng med at laksen kom opp i en elvestrekning med svært lav vannføring sammenlignet med den høye vannføringen i elva nedenfor tunnelutløpet hvor de kom fra. En slik atferd med nedstrøms vandring i fiskepassasjer ble også registrert i en dansk undersøkelse av sjøaure, og det ble spekulert i at dette hadde sammenheng med at fisken prøvde å finne en alternativ rute, eller bestemte seg for å vente på bedre forhold (Aarestrup *et al.* 2003).

Det finnes eksempler på at storvokst laks og sjøaure vandrer opp i små vassdrag med lav vannføring tilsynelatende uten problemer. I Danmark er det for eksempel mange vassdrag hvor stor sjøaure eller laks vandrer opp ved vannføringer lavere enn 3-5 m³/s. Problemet med minstevannføringsløp med redusert vannføring som i Mandalselva og Nidelva er trolig knyttet til at fisken vandret opp i et stort vassdrag og så plutselig befinner seg på en elvestrekning med forholdsmessig svært lav vannføring. Problemene kan også være knyttet til at laks fra store vassdrag er preget på eller tilpasset en høyere vannføring (uten at vi kjenner opprinnelsen til laksen som inngikk i undersøkelsen i Mandalselva og Nidelva).

Effekter av lokkeflommer på oppvandring i minstevannføringsløpet ble undersøkt både i Mandalselva og Orkla. Lokkeflommer hadde en positiv effekt på vandring hos laks i Mandalselva, men denne effekten var statistisk signifikant i bare ett av studieårene når parvise tester ble benyttet. I Orkla hadde ikke lokkeflommene en påviselig effekt på oppvandringen i minstevannføringsløpet. Som diskutert i kapitlet ovenfor, kan manglende effekt skyldes at lokkeflommene var av for kort varighet eller med en for liten økning i vannføring. Resultatene tyder også på at det ikke er en enkel sammenheng mellom oppvandring og vannføring, og store individuelle forskjeller i atferd har blitt registrert i disse undersøkelsene.

Andre undersøkelser har funnet ulike sammenhenger mellom oppvandring av laks og naturlige eller kunstige økninger i vannføring. Alabaster (1970) fant at laks vandret opp i elver som direkte respons på økning i vannføring uavhengig av størrelsen på den tidligere vannføringen, eller at de vandret opp i etterkant av økningen i vannføring. Smith *et al.* (1994) fant at oppvandring ble stimulert av økninger i vannføring i perioder med vannføring lavere enn gjennomsnittet for gjeldende måned, men at oppvandring fant sted uavhengig av økninger i vannføring i perioder med høyere vannføring enn gjennomsnittet for gjeldende måned. Erkinaro *et al.* (1999) fant ingen forskjell i endring i vannføring mellom dager da laksen vandret og stod i ro, men at økning i vannføring var assosiert med økt svømmeaktivitet under aktiv oppvandring. Høy vannføring for å stimulere oppvandring av laks kan være viktigere for større fisk enn for små fisk (van den Berghe & Gross 1989 (coho laks), Jonsson *et al.* 1990). Flere undersøkelser registrerte de største antallene oppvandrende laks ved fallende vannføring i *etterkant* av lokkeflommer (Huntsman 1948, Allan 1966, Swain & Champion 1968, Dunkley & Shearer 1982, Lawson *et al.* 1991). Jensen *et al.* (1986) registrerte imidlertid flest oppvandrende laks *før* vannføringen hadde nådd høyden. De forklarte disse forskjellene i resultater mellom undersøkelser med at en økning i vannføring utløser vandring hos laks, og at laksen vil vandre en viss periode uansett varighet på lokkeflommen. Ved lokkeflommer som varer noen få timer, vil fisk som aktiveres ikke nødvendigvis nå feller og telleapparater før vannføringen er på vei ned igjen. En tilsvarende forklaring ble framsatt av Allan (1966). Fiske *et al.* (2001) fant at laksen holdt seg mer i ro i perioder med høy andel vann fra sidebekkene i Suldalslågen, men foreslo at resultatene kunne være en effekt av variasjon i vannkvalitet.

Hawkins & Smith (1986) og McKinnell *et al.* (1994) undersøkte elvevandring hos radiomerket laks uten å finne sammenheng mellom vandring og vannføring. Pyefinch & Mills (1963) registrerte at kunstige lokkeflommer hadde liten effekt på vandring hos laks i forhold til effekten av regn. Påfallende få undersøkelser rapporterer imidlertid om manglende sammenheng mellom vannføring og vandring, noe som kan skyldes at det generelt er en under-rapportering av studier som ikke viser en signifikant sammenheng mellom undersøkte variabler. Hvis bare undersøkelser som viser en sammenheng mellom økt vannføring og vandring rapporteres og publiseres, kan betydningen av denne effekten være overdrevet.

5.3.3 Vandringshindre

I tillegg til en lavere minstevannføring i Mandalselva og Nidelva i forhold til i Orkla, hadde de større forsinkelsene i minstevannføringsløpet trolig sammenheng med alle vandringshindrene i form av terskler og dammer i disse to vassdragene (**tabell 3**). Tersklene er hovedsakelig bygd for å beholde vannspeil og gi et rimelig stort vanddekt areal for fisk. Terskler kan skape et rikere og mer variert miljø i regulerte elver, men de representerer også en fysisk sperre som kan være til hinder for vandrende fisk. Verken i Mandalselva eller Nidelva ble det funnet at noen av tersklene utgjorde totale eller svært vanskelige fysiske vandringshindre. Det var ingen terskler hvor all laksen stanset opp eller kun passerte under økninger i vannføring, og lokkeflommene syntes primært å påvirke motivasjonen for terskelpasseringer. Ut fra undersøkelsene i Mandalselva og Nidelva ble det konkludert med at en kombinasjon av lav vannføring og mange små vandringshindre reduserte laksens motivasjon for å vandre videre, selv om tersklene fysisk sett ikke var vanskelige å passere.

Fisken i Mandalselva og Nidelva var ikke stedegen, det vil si at de ikke hadde klekket og vokst opp i vassdraget, men var laks fra naboelver, klekkerier eller oppdrettsanlegg. Det ble derfor diskutert om laks som har vokst opp i et vassdrag, har større motivasjon for å passere vandringshindre og vende tilbake til oppvekstplassen i elva. Resultatene fra Orkla viste imidlertid at også stedegen laks kan forsinkes ved vandringshindre, selv om vandringshindrene ikke representerer et fysisk vanskelig hinder å passere. Resultatene fra disse tre vassdragene viser dermed at tilsynelatende uproblematisk passeringer kan medføre en forsinkelse i oppvandringen. Ovidio & Philippart (2002) konkluderte på samme måte etter en femårig undersøkelse i Belgia; at noen små, tilsynelatende ubetydelige vandringshindre ikke var så uproblematisk som tidligere antatt, og viste seg å forsinke eller hindre oppvandringen av fisk.

Betydningen av forsinkelser i oppvandringen kan skape konflikter i organiseringen av sportsfisket innen et vassdrag at laks ankommer de øvre elvestrekninger senere i sesongen etter bygging av kunstige vandringshindre. Når det gjelder den biologiske betydningen, så har det åpenbart negative effekter hvis et høyt antall vandringshindre i et vassdrag medfører at laksen ankommer gyteområdene for sent i forhold til gytesesongen. Imidlertid vandrer laksen gjerne opp i elvene i flere måneder før gyteperioden, og de kan stå i ro på gyteplassen i én til to måneder før gyting (Økland *et al.* 2001). Hvorfor laksen vandrer så tidlig opp i elvene vet vi ikke (Fleming 1996), og betydningen av forsinkelser som ikke går utover gyteperioden er dermed heller ikke kjent. Hvis den tidlige oppvandringen er knyttet til fordeler for fisken, vil forsinkelser under oppvandringen ha tilsvarende negative effekter.

6 OPPSUMMERING OG KONKLUSJON

- Minstevannføring på 20 m³/s syntes ikke å senke oppvandringshastigheten i minstevannføringsløpet hos laks i Orkla, mens vandringshastigheten var svært lav i minstevannføringsløpene i Mandalselva og Nidelva, der vannføringen kun var 3 m³/s. Overgangen fra å oppholde seg i et stort vassdrag til å komme opp i et minstevannføringsløp med svært lav vannføring medførte at en del av laksen stanset opp, eller snudde og vandret nedstrøms igjen i Mandalselva og Nidelva, mens en slik atferd ikke ble registrert i Orkla. Store reduksjoner i vannføring ser dermed ut til å senke oppvandringshastigheten hos laks, og i verste fall hindre oppvandringen, mens moderate reduksjoner, som i Orkla, ikke påvirket vandringshastigheten tilsvarende.
- Kraftverksutløp medførte forsinkelser i oppvandringen både hos stedege og ikke-stedege laks, selv om de ikke framtrer som et fysisk vanskelig hinder å passere. Utformingen av samløpet der vannet fra kraftverket ledes tilbake til elva ser ut til å ha en betydning for fiskens atferd og oppholdssted i området. Laksens motivasjon ser ut til å være mest avgjørende for når laksen passerte kraftverksutløpene. Det var ingen enkle sammenhenger mellom vannføring og passering av kraftverksutløp, og laksen passerte ved en rekke ulike vannføringsforhold. At vannføring har en betydning for passering av kraftverksutløp, kan likevel ikke avvises. Det kan tenkes at kompliserte sammenhenger finnes, og at endringer på en svært liten skala både i tid og rom er avgjørende, eller at vannføringen er viktig først når fisken har nådd et visst stadium av motivasjon.
- Dammer og terskler forsinket oppvandringen både hos stedege og ikke-stedege laks, selv i tilfeller hvor de ikke utgjorde et fysisk vanskelig hinder å passere. Det synes derfor som at laks generelt har liten motivasjon for å passere kunstige vandringshindre. Laksen vandrer av ukjente årsaker opp i elvene flere måneder før gyteperioden, og den biologiske betydninger av forsinkelser som ikke går utover gyteperioden, er ikke kjent. Hvis en tidlig oppvandring er knyttet til fordeler for fisken, vil forsinkelser under oppvandringen ha tilsvarende negative effekter. Mange vandringshindre i et vassdrag kan dessuten bety forsinkelser som til sammen går utover gyteperioden. Vurdert ut fra oppvandring hos laks, bør antall dammer, terskler og tilsvarende installasjoner begrenses til et minimum i lakseførende vassdrag.
- I Orkla hadde lokkeflommer ingen påvisbar betydning for passering av kraftverksutløpet og videre vandring i minstevannføringsløpet, selv om lokkeflommer ble sluppet både i perioder med og uten nedbør. I Mandalselva økte motivasjonen for vandring og terskelpasseringer hos laks i minstevannføringsløpet i forbindelse med lokkeflommer i ett av to studieår, men til tross for dette ble laksen betydelig forsinket i passeringen av

minstevannføringsløpet. Det kan derfor være grunn til å stille spørsmål ved bruk av ressurser på relativt små og kortvarige lokkeflommer for å stimulere laks til oppstrøms vandring. Alternativt kan det undersøkes om færre, men større og mer langvarige lokkeflommer, har bedre effekt. Sesongen 2002 var spesielt varm og tørr i Orkla, og undersøkelsen omfattet et begrenset antall fisk. Siden andre undersøkelser finner sammenhenger mellom vannføring og oppvandring, bør undersøkelser under ulike vannføringsforhold gjennomføres før endelige konklusjoner vedrørende effekter av lokkeflommer trekkes.

- Vannføringen hadde ingen signifikant effekt på fiskepasseringer over Bjørsetdammen i perioden 1996-2002. Oppvandringen økte med økende vanntemperatur, men forklaringsgraden i modellen var lav (17 % i juli og 9 % i august), slik at hovedkonklusjonen er at fisken passerte Bjørsetdammen ved mange ulike miljøforhold. Analyser tydet dessuten på at sammenheng mellom vanntemperatur og oppvandring ikke var den samme gjennom hele sesongen.
- Undersøkelsene i Mandalselva, Nidelva og Orkla har vist at det ikke finnes enkle sammenhenger mellom vannføring og vandring hos laks. Det er grunn til å tro at eventuelle effekter av vannføring virker forskjellig på ulike vandringsstadier og dessuten knyttet til laksens motivasjon for vandring. Som et føre var prinsipp anbefales derfor et vannføringsregime med variasjoner i vannføring i løpet av sesongen i regulerte vassdrag, heller enn en statisk minstevannføring og en statisk kjøring av kraftverk. Variasjoner i vannføring øker sannsynligheten for å treffe med en gunstig vannføring når ulike individer er i ulike faser av oppvandringen og med ulik motivasjon for vandring.

7 REFERANSER

- Aarestrup, K. & Jepsen, N. 1998. Spawning migration of sea trout (*Salmo trutta* (L)) in a Danish river. *Hydrobiologia* 371/372: 275-281.
- Aarestrup, K., Lucas, M.C. & Hansen, J.A. 2003. Efficiency of a nature-like bypass channel for sea trout (*Salmo trutta*) ascending a small Danish stream studied by PIT telemetry. *Ecology Freshw. Fish*, til trykking.
- Aarestrup, K., Jepsen, N., Rasmussen, G., Økland, F., Thorstad, E.B. & Holdensgaard, G. 2000. Prespawning migratory behaviour and spawning success of sea-ranched Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in the River Gudena, Denmark. *Fish. Mgmt. Ecol.* 7: 387-400.
- Alabaster, J.S. 1970. River flow and upstream movement and catch of migratory salmonids. *J. Fish Biol.* 2: 1-13.
- Allan, I.R.H. 1966. Counting fences for salmon and sea trout, and what can be learned from them. *Salm. Trout Mag.* 176: 19-26.
- Andrew, F.J. & Geen, G.H. 1960. Sockeye and pink salmon production in relation to proposed dams in the Fraser River system. *Bull. Int. Pac. Salm. Fish. Comm.* 11: 10-30.
- Arnekleiv, J.V. & Kraabøl, M. 1996. Migratory behaviour of adult fast-growing brown trout (*Salmo trutta*, L.) in relation to water flow in a regulated Norwegian river. *Reg. Riv. Res. Mgmt.* 12: 39-49.
- Baglinière, J.L., Maise, G. & Nihouarn, A. 1990. Migratory and reproductive behaviour of female adult Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in a spawning stream. *J. Fish Biol.* 36: 511-520.
- Banks, J.W. 1969. A review of the literature on the upstream migration of adult salmonids. *J. Fish Biol.* 1: 85-136.
- Baxter, G. 1961. River utilization and the preservation of migratory fish life. *Proc. Instn. civ. Engrs.* 18: 225-244.
- Berge, F.S., Stang, O. & Thendrup, A. 1982. Temperatureendringer i Orkla som følge av kraftutbygging - III. Utgave nr 2 (med vedlegg). Norges Hydrodynamiske Laboratorier. Rapport. NHL 2 81091. 70 s + vedlegg.
- Brayshaw, J.D. 1967. The effects of river discharge on inland fisheries. I: P.G. Isaac (red.) *River Management*. London: MacLaren, s. 102-118.
- Carlsson, U., Lundqvist, H., Eriksson, T. & Nilsson, J. 1996. Lekvandring hos vindelälvslox i Umeälvens nedre del: Redovisning av telemetriförsöken 1995. PM 1996-01-18: 1-10, Utredningskontoret, Härnösand.

- Chanseau, M. & Larinier, M. 1999. The behaviour of returning adult Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in the vicinity of Baigts hydroelectric power plant on the Pau River as determined by radiotelemetry. Bull. Fr. Pêche Piscic. 353/354: 239-262. (På fransk med engelsk sammendrag.)
- Chanseau, M., Croze, O. & Larinier, M. 1999. The impact of obstacles on the Pau River (France) on the upstream migration of returning adult Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Bull. Fr. Pêche Piscic. 353/354: 211-237. (På fransk med engelsk sammendrag.)
- Clarke, D., Purvis, W.K. & Mee, D. 1991. Use of telemetric tracking to examine environmental influence on catch effort indices. A case study of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in the River Tywi, South Wales. I: I.G. Cowx (red.) Catch effort sampling strategies: their application in freshwater fisheries management. London: Blackwell, s. 33-48.
- Dunkley, D.A. & Shearer, W.M. 1982. An assessment of the performance of a resistivity fish counter. J. Fish Biol. 20: 717-737.
- Erkinaro, J., Økland, F., Moen, K., Niemelä, E. & Rahiala, M. 1999. Return migration of Atlantic salmon in the River Tana: the role of environmental factors. J. Fish Biol. 55: 506-516.
- Fiske, P., Thorstad, E.B., Økland, F. & Johnsen, B.O. 2001. Oppvandring hos radiomerket laks i Suldalslågen i forhold til vannføring, vannkvalitet og vanntemperatur. NINA Oppdragsmelding 675: 1-42.
- Fleming, I.A. 1996. Reproductive strategies of Atlantic salmon: ecology and evolution. Rev. Fish Biol. Fish. 6: 379-416.
- Hawkins, A.D. & Smith, G.W. 1986. Radio-tracking observations on Atlantic salmon ascending the Aberdeenshire Dee. Scott. Fish. Res. Rep. 36: 1-24.
- Hayes, F.R. 1953. Artificial freshets and other factors controlling the ascent and population of Atlantic salmon in the LaHave River, Nova Scotia. Bull. Biol. Board Can. 99: 1-47.
- Heggberget, T.G. 1989. The population structure and migration system of Atlantic salmon *Salmo salar*, in the River Alta, North Norway. A summary of the studies 1981-86. Salmon migration and distribution symposium (2:1987: Proceedings of the salmonid migration and distribution). University of Washington, Seattle, pp. 124-139.
- Heggberget, T.G., Hansen, L.P. & Næsje, T.F. 1988. Within-river spawning migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45: 1691-1698.

- Heggberget, T.G., Økland, F. & Ugedal, O. 1995. Prespawning migratory behaviour of wild and farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) in a North Norwegian river. *Aquacult. Res.* 27: 313-322.
- Heggberget, T.G., Lund, R.A., Ryman, N. & Ståhl, G. 1986. Growth and genetic variation of Atlantic salmon (*Salmo salar*) from different sections of the River Alta, North Norway. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43: 1828-1835.
- Hellawell, J.M., Leatham, H. & Williams, G.I. 1974. The upstream migratory behaviour of salmonids in the River Frome, Dorset. *J. Fish Biol.* 6: 729-744.
- Huntsman, A.G. 1948. Freshets and fish. *Trans. Am. Fish. Soc.* 75: 257-266.
- Hvidsten, N.A. 1993. High winter discharge after regulation increases production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts in the River Orkla, Norway, p 175-177. I: R.J. Gibson & R.E. Cutting (red.) *Production of juvenile Atlantic salmon, Salmo salar, in natural waters.* *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*: 118.
- Hvidsten, N.A. & Johnsen, B.O. 1993. Increased recapture rate of adult Atlantic salmon released as smolts into shoals of wild smolts in the River Orkla, Norway. *North Am. J. Fish. Mgmt.* 13: 272-276.
- Hvidsten, N.A. & Johnsen, B.O. 1997. Screening of descending Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts from a hydropower intake in the River Orkla, Norway. *Nordic J. Freshw. Res.* 73: 44-49.
- Hvidsten, N.A. & Lund, R.A. 1988. Predation on hatchery reared and wild smolts Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in the estuary of River Orkla, Norway. *J. Fish Biol.* 33: 121-126.
- Hvidsten, N.A. & Ugedal, O. 1991. Increased densities of Atlantic salmon smolts (*Salmo salar* L.) in the River Orkla, Norway, after regulation for hydro-power production. *Trans. Am. Fish. Soc. Symp.* 10: 219-225.
- Hvidsten, N.A., Heggberget, T.G. & Hansen, L.P. 1994. Homing and straying of hatchery reared Atlantic salmon released in three rivers in Norway. *Aquacult. Fish. Mgmt.* 25 (Suppl. 2): 9-16.
- Hvidsten, N.A., Jensen, A.J., Johnsen, B.O. & Jensås, J.G. 1996. Bestand og rekruttering av laks i Orkla. NINA Oppdragsmelding 389: 1-27.
- Hvidsten, N.A., Jensen, A.J., Vivås, H., Bakke, Ø. & Heggberget, T.G. 1995. Downstream migration of Atlantic salmon smolts in relation water flow, water temperature, moon phase and social interaction. *Nordic J. Freshw. Res.* 70: 38-48.
- Jensen, A.J., Heggberget, T.G. & Johnsen, B.O. 1986. Upstream migration of adult Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in the River Vefsna, northern Norway. *J. Fish Biol.* 29: 459-465.

- Jensen, A.J., Hvidsten, N.A. & Johnsen, B.O. 1998. Effects of temperature and flow on the upstream migration of adult Atlantic salmon in two Norwegian rivers. I: M. Jungwirth, S. Schmutz & S. Weiss (red.) Fish Migration and Fish Bypasses. Oxford: Fishing News Books, s. 45-54.
- Johnsen, B.O., Økland, F., Lamberg, A., Thorstad, E.B. & Jensen, A.J. 1996. Undersøkelser av laksens vandringer i Sandsfjordsystemet og i Suldalslågen i 1995 ved hjelp av radiotelemetri. NINA Oppdragsmelding 421: 1-44.
- Jonsson, N. 1991. Influence of water flow, water temperature and light on fish migration in rivers. Nordic J. Freshw. Res. 66: 20-35.
- Jonsson, N., Jonsson, B. & Hansen, L.P. 1990. Partial segregation in the timing of migration of Atlantic salmon of different ages. Anim. Behav. 40: 313-321.
- Karppinen, P., Mäkinen, T.S., Erkinaro, J., Kostin, V.V., Sadkovskij, R.V., Lupandin, A.I. & Kaukoranta, M. 2002. Migratory and route seeking behaviour of ascending Atlantic salmon in the regulated River Tuloma. Hydrobiologia 483: 23-30.
- Kraabøl, M. & Arnekleiv, J.V. 1992. Gytevandring hos Hunderørret. - Nordisk seminar om forvaltning av storørret. DN-Rapp. 1992-4: 74-87.
- Kristinsson, B. & Alexandersdóttir, M. 1978. Design and calibration of a salmon counter. J. Agr. Res. Icel. 10: 57-66.
- Laine, A., Jokivirta, T. & Katopodis, C. 2002. Atlantic salmon, *Salmo salar* L., and sea trout, *Salmo trutta* L., passage in a regulated northern river - fishway efficiency, fish entrance and environmental factors. Fish. Mgmt. Ecol. 9: 65-77.
- Lamberg, A., Fiske, P. & Hvidsten, N.A. 2001. Forsøk med videoregistrering av anadrom fisk i elv. NINA Oppdragsmelding 715: 1-26.
- Laughton, R. 1989. The movements of adult salmon within the River Spey. Scott. Fish. Res. Rep. 41: 1-19.
- Lawson, J.D., Sambrook, H.T., Solomon, D.J. & Weilding, G. 1991. The Roadford scheme: minimizing environmental impact on affected catchments. Water Environ. Mgmt. 5: 671-681.
- Lindroth, A. 1952. Salmon tagging experiments in Sundsvall Bay of the Baltic in 1950. Rep. Inst. Freshw. Res., Drottningholm 33: 57-69.
- Linnik, V.D., Malinin, L.K., Wozniowski, M., Sych, R. & Dembowski, P. 1998. Movements of adult sea trout *Salmo trutta* L. in the tailrace of a low-head dam at Wloclawek hydroelectric station on the Vistula River, Poland. Hydrobiologia, 371/372, 335-337.

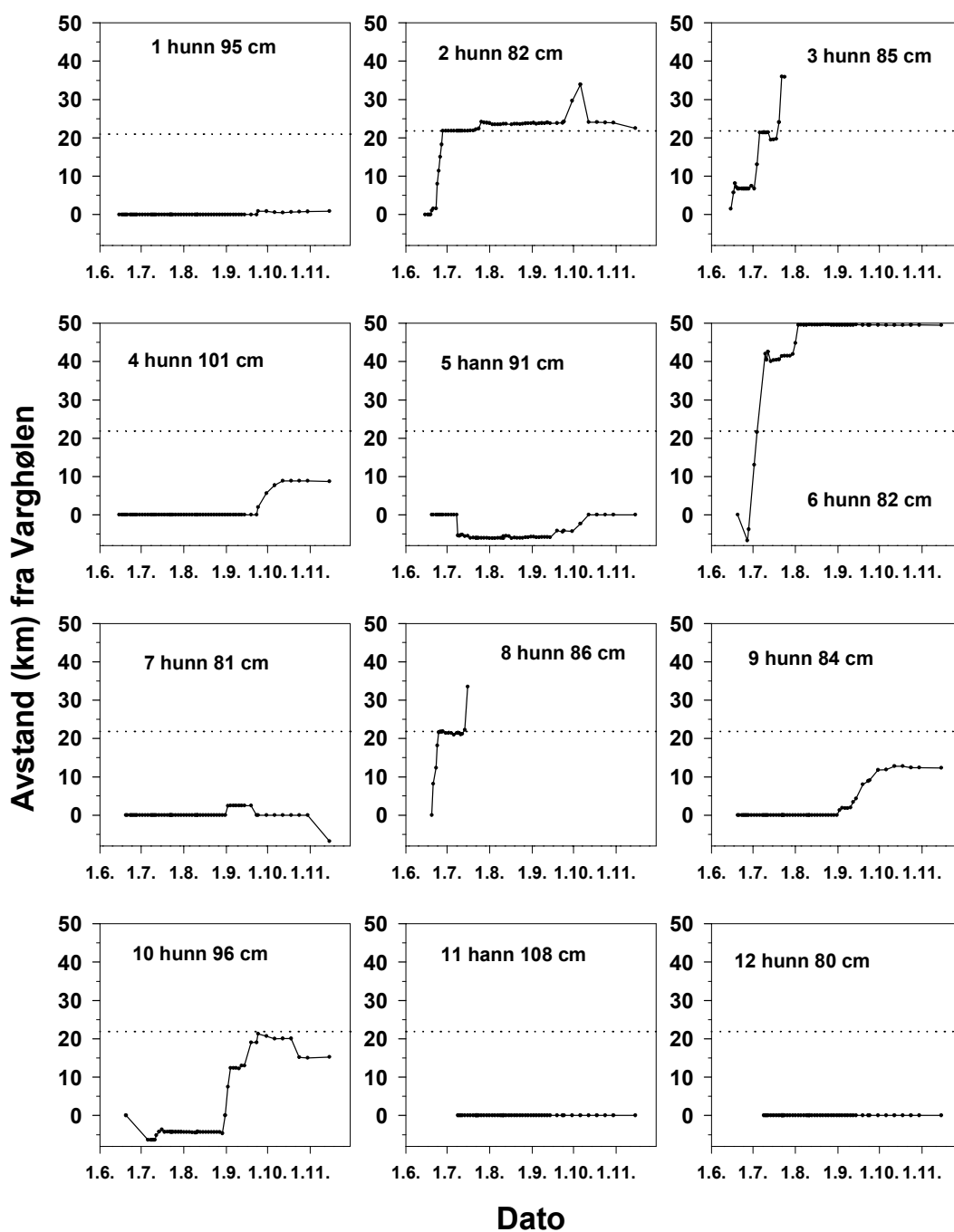
- Lorz, H.W. & Northcote, T.G. 1965. Factors affecting stream location, and timing and intensity of entry by spawning kokanee (*Oncorhynchus nerka*) into an inlet of Nicola Lake, British Columbia. J. Fish. Res. Bd. Can. 22: 665-687.
- Mäkinen, T.S., Niemelä, E., Moen, K. & Lindström, R. 2000. Behaviour of gill-net and rod-captured Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) during upstream migration and following radio tagging. Fish. Res. 45: 117-127.
- McKinnell, S., Lundqvist, H. & Johansson, H. 1994. Biological characteristics of the upstream migration of naturally and hatchery-reared Baltic salmon, *Salmo salar* L. Aquacult. Fish. Manage. 25 (Suppl. 2): 45-63.
- Munro, W.R. & Balmain, K.H. 1956. Observations on the spawning runs of brown trout in the South Queich, Loch Leven. Freshw. Salm. Fish. Res. 13: 1-17.
- Ovidio, M. & Philippart, J.-C. 2002. The impact of small physical obstacles on upstream movements of six species of fish. Hydrobiologia 483: 55-69.
- Potter, E.C.E. 1988. Movements of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in an estuary in South-west England. J. Fish Biol. 33 (Suppl. A): 153-159.
- Pyefinch, K.A. & Mills, D.H. 1963. Observations on the movements of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in the River Conon and the River Meig, Ross-shire. Freshw. Salm. Fish. Res. 31: 1-24.
- Raymond, H.L. 1988. Effects of hydroelectric development and fisheries enhancement on spring and summer chinook salmon and steelhead in the Columbia River basin. N. Am. J. Fish. Mgmt. 8: 1-24.
- Saunders, J.W. 1960. The effect of impoundment on the population and movement of Atlantic salmon in the Ellerslie Brook, Prince Edward Island. J. Fish. Res. Bd. Can. 17: 453-473.
- Smironov, Y.A. 1971. Salmon of Lake Onega. Fish. Res. Bd. Can. Transl. Ser. 2137: 1-212.
- Smith, G.W., Smith, I.P. & Armstrong, S.M. 1994. The relationship between river flow and entry to the Aberdeenshire Dee by returning adult Atlantic salmon. J. Fish Biol. 45: 953-960.
- Swain, A. & Champion, A.S. 1968. Upstream movements of migratory salmonids in relation to river flows on the River Axe, Devon. I.C.E.S. Anadromous and Catadromous Fish Committee. CM 1868/M 9: 1-7.
- Thorstad, E.B. & Heggberget, T.G. 1997. Oppvandring hos radiomerket laks og sjørret i Mandalsvassdraget i forhold til minstevannføring, terskler og kalking. NINA Oppdragsmelding 470: 1-41.
- Thorstad, E.B. & Heggberget, T.G. 1998. Migration of adult Atlantic salmon (*Salmo salar*); the effects of artificial freshets. Hydrobiologia 371/372: 339-346.

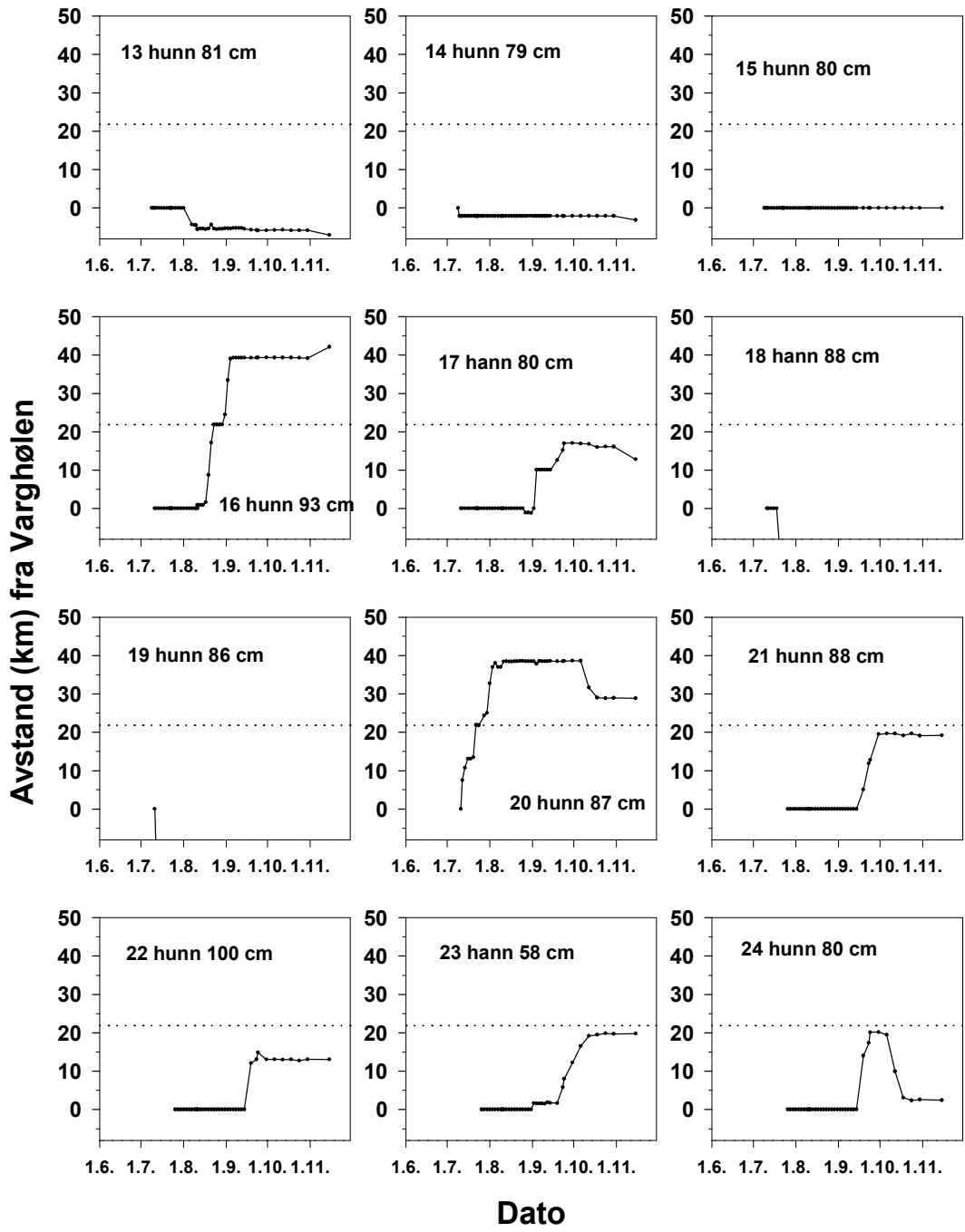
- Thorstad, E.B. & Hårsaker, K. 1998. Vandring hos radiomerket laks i Mandalselva i forhold til minstevannføring, lokkeflommer, terskler og kalking - videreføring av tidligere undersøkelser. NINA Oppdragsmelding 541: 1-31.
- Thorstad, E.B., Heggberget, T.G. & Økland, F. 1998a. Migratory behaviour of adult wild and escaped farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L., before, during and after spawning in a Norwegian river. *Aquacult. Res.* 29: 419-428.
- Thorstad, E.B., Økland, F. & Finstad, B. 2000b. Effects of telemetry transmitters on swimming performance of adult Atlantic salmon. *J. Fish Biol.* 57: 531-535.
- Thorstad, E.B., Økland, F. & Kroglund, F. 1998b. Vandring hos laks og sjørret ved Rygene kraftverk i Nidelva, Aust-Agder - telemetriundersøkelser 1997. NINA Oppdragsmelding 545: 1-25.
- Thorstad, E.B., Næsje, T.F., Fiske, P. & Finstad, B. 2003b. Effects of catch and release on Atlantic salmon in the River Alta, northern Norway. *Fish. Res.* 60: 293-307.
- Thorstad, E.B., Økland, F., Berger, H.M. & Kroglund, F. 2000a. Vandring hos laks ved Rygene kraftverk - telemetriundersøkelser 1999. NINA Oppdragsmelding 654: 1-30.
- Thorstad, E.B., Økland, F., Kroglund, F. & Jepsen, N. 2003a. Upstream migration of Atlantic salmon at a power station on the River Nidelva, Southern Norway. In press, *Fish. Mgmt. Ecol.*
- Tvede, A.M. 1992. Is- og vanntemperaturforhold. I: G. Berg & P.E. Faugli (red.) FoU-prosjekter i Orkla. Oppsummerende prosjektmøte. Norges vassdrags- og energiverk. Publikasjon 2, 1992, s. 41-51.
- Van den Berghe, E.P. & Gross, M.R. 1989. Natural selection resulting from female breeding competition in a Pacific salmon (coho: *Oncorhynchus kisutch*). *Evolution* 43: 125-140.
- Webb, J. 1989. The movements of adult Atlantic salmon in the River Tay. *Scott. Fish. Res. Rep.* 44: 1-32.
- Webb, J. 1990. The behaviour of adult Atlantic salmon ascending the Rivers Tay and Tummel to Pitlochry dam. *Scott. Fish. Res. Rep.* 48: 1-27.
- Webb, J.H. & Hawkins, A.D. 1989. The movements and spawning behaviour of adult salmon in the Girnock Burn, a tributary of the Aberdeenshire Dee, 1986. *Scott. Fish. Res. Rep.* 40: 1-42.
- Økland, F., Heggberget, T.G. & Jonsson, B. 1995. Migratory behaviour of wild and farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) during spawning. *J. Fish Biol.* 46: 1-7.

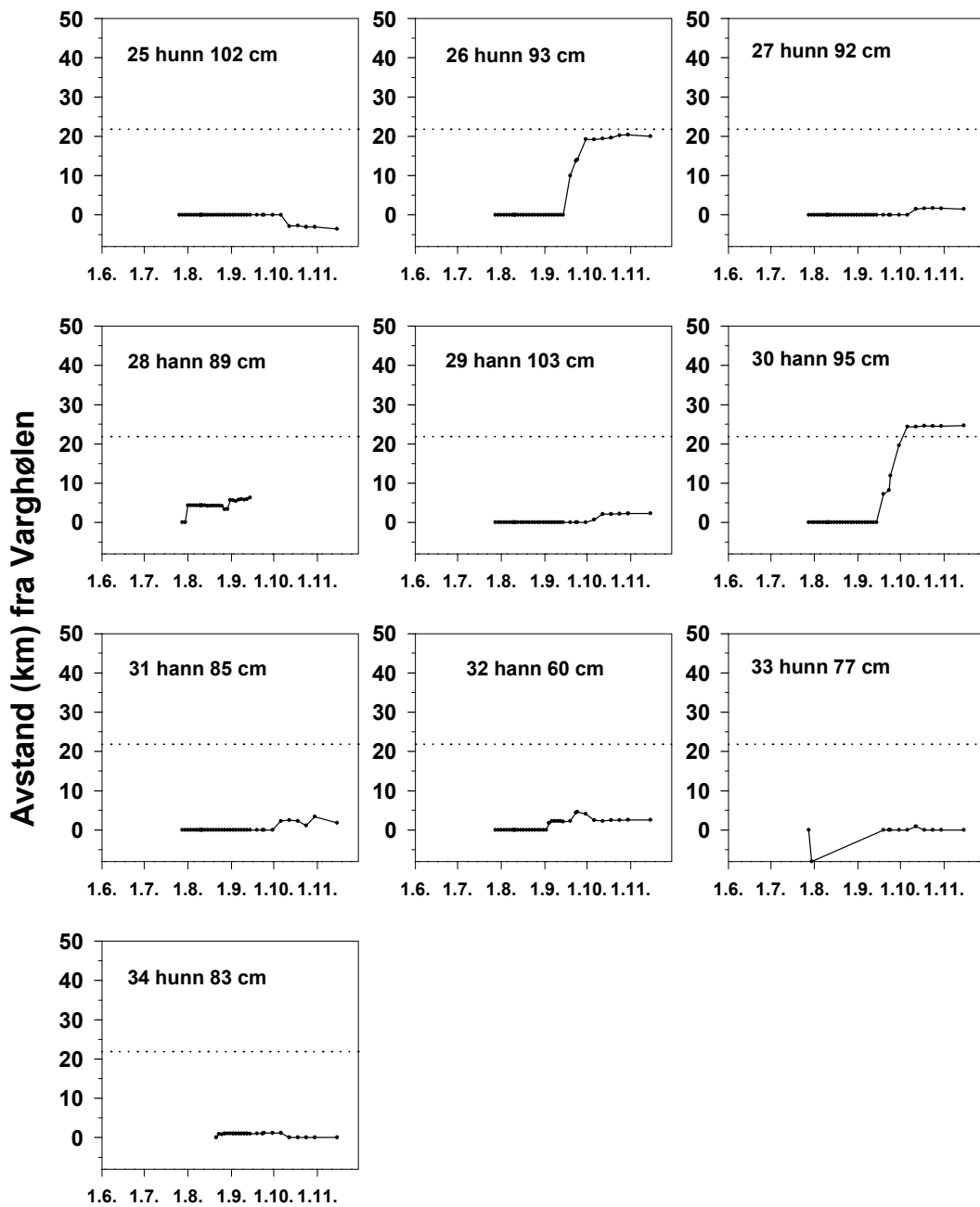
Økland, F., Erkinaro, J., Moen, K., Niemelä, E., Fiske, P., McKinley, R.S. & Thorstad, E.B. 2001. Return migration of Atlantic salmon in the River Tana: phases of migratory behaviour. *J. Fish Biol.* 59: 862-874.

VEDLEGG

Vedlegg 1. Vandring hos radiomerket laks i Orkla fra utsetting til siste peiling 15. november 2002. Posisjoner er angitt som avstand fra merkestedet i Varghølen, like nedstrøms utløpet fra Svorkmo kraftverk. Positive verdier er oppstrøms Varghølen og negative verdier er nedstrøms. Registreringer lengre enn 8 km nedstrøms merkestedet er ikke inkludert i figurene. Stiplet linje angir Bjørsetdammen øverst i minste vannføringsløpet, like nedstrøms inntaket til Svorkmo kraftverk.

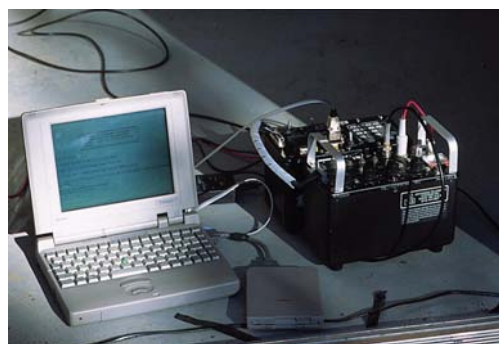






Dato

Vedlegg 2. Bilder fra prosjektet i Orkla.



Øverst til venstre: Fangst av laks for radiomerking i Varghølen, like nedstrøms utløpet fra Svorkmo kraftverk. Foto: Rune Krogdahl

Øverst til høyre: Laksen ble holdt i vann i et plastrør under radiomerkingen. Radiosenderen ble festet ved ryggfinneren. Foto: Rune Krogdahl

Nederst til venstre: Peiling av radiomerket laks i Varghølen, like nedstrøms utløpet fra Svorkmo kraftverk. Foto: John Olav Rædergård, Avisa Sør-Trøndelag

Nederst til høyre: Datalogger som registrerte radiomerket laks i Varghølen og ved Bjørsetdammen. Foto: Eva B. Thorstad



Øverst til venstre: Samløpet der vannet fra Svorkmo kraftverk ledes tilbake til elva i Varghølen. Bildet er tatt oppover elva. Sideløpet fra kraftverksutløpet kommer inn til venstre i bildet, mens minstevannføringsløpet kommer ned i høyre halvdel av bildet. Foto: Eva B. Thorstad

Øverst til høyre: Foto fra utløpet ved Svorkmo kraftverk mot hovedløpet av elva. Foto: Eva B. Thorstad

Nederst til venstre: Fra minstevannføringsløpet forbi Svorkmo kraftverk. Foto: Eva B. Thorstad

Nederst til høyre: Fisketelleren ved Bjørsetdammen. Telleren sees som et lysere bånd tvers over dammen, mens videokamera for overvåking henger på rekkverket over. Foto: Eva B. Thorstad

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

Utgitt i rapportserien Miljøbasert vannføring:

Nr. 1-02 Thomas Skaugen, Marit Astrup, Zelalem Mengistu og Bjarne Krokli:
Lavvannføring - estimering og konsesjonsgrunnlag (28 s.)

Nr. 1-03 Eva B. Thorstad, Finn Økland, Nils Arne Hvidsten, Peder Fiske, Kim Aarestrup: Oppvandring av laks i forhold til redusert vannføring og lokkeflommer i regulerte vassdrag (51 s.)