

## Produksjonspotensial for laks i Mandalselva og vurdering av tap som følge av kraftutbygging

Ola Ugedal  
Bjørn Mejdell Larsen  
Torbjørn Forseth  
Bjørn Ove Johnsen





## **NINAs publikasjoner**

### **NINA Rapport**

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

### **NINA Temahefte**

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

### **NINA Fakta**

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

### **Annen publisering**

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



**Norsk institutt for naturforskning**

# **Produksjonspotensial for laks i Mandalselva og vurdering av tap som følge av kraftutbygging**

Ola Ugedal  
Bjørn Mejdell Larsen  
Torbjørn Forseth  
Bjørn Ove Johnsen

Ugedal, O., Larsen, B.M., Forseth, T. & Johnsen, B.O. 2006. Produksjonspotensial for laks i Mandalselva og vurdering av tap som følge av kraftutbygging. NINA Rapport 146. 46 pp.

Trondheim, april 2006

ISSN: 1504-3312

ISBN: 82-426-1697-3

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

REDAKSJON

Ola Ugedal

KVALITETSSIKRET AV

Odd Terje Sandlund

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningssjef Odd Terje Sandlund

OPPDRAGSGIVER(E)

Flerbruksplan Mandalsvassdraget

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER

Svein Haugland

FORSIDEBILDE

Bjørn Mejdell Larsen

NØKKEWORD

- Mandalselva, laks, smoltproduksjon, vannkraftregulering

KEY WORDS

- River Mandalselva, Atlantic salmon, smolt production, hydro power development

#### KONTAKTOPPLYSNINGER

**NINA Trondheim**

NO-7485 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 73 80 14 01

**NINA Oslo**

Postboks 736 Sentrum

NO-0105 Oslo

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 22 33 11 01

**NINA Tromsø**

Polarmiljøsenderet

NO-9296 Tromsø

Telefon: 77 75 04 00

Telefaks: 77 75 04 01

**NINA Lillehammer**

Fakkeldgården

NO-2624 Lillehammer

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 61 22 22 15

<http://www.nina.no>

## Sammendrag

Ugedal, O., Larsen, B.M., Forseth, T. & Johnsen, B.O. 2006. Produksjonspotensial for laks i Mandalselva og vurdering av tap som følge av kraftutbygging. NINA Rapport 146. 45 pp.

I denne rapporten anslår vi produksjonskapasiteten for laks i Mandalselva og vurderer mulige endringer i kapasitet på grunn av kraftutbyggingen. For å anslå produksjonskapasiteten har vi benyttet fysisk kartlegging av vassdraget (dominerende substrat, vannhastighet og dyp), tetthetsestimater for ungfisk fra overvåkingen i vassdraget, og erfaringstall fra andre elver. I tillegg har vi benyttet fangststatistikk til å vurdere realismen i våre anslag. Med utgangspunkt i erfaringstall for smoltproduksjon fra andre elver på 3-6 smolt pr 100 m<sup>2</sup> og elvens totale areal blir forventet smoltproduksjon i Mandalselva mellom 81 000 og 162 000 smolt (uregulerte sidevassdrag og Mannflåvann unntatt). Denne beregningsmåten tar ikke hensyn til at produktiviteten varierer mellom elver og at deler av vassdraget er spesielt hardt påvirket av regulering.

Tar vi utgangspunkt i habitatkartleggingen og bruker ulike smolttettheter i ulike deler av elva, anslår vi potensialet for produksjon i Mandalselva i dag til å ligge mellom 54 500 og 118 500 smolt, tilsvarende tettheter på 1,8 - 3,8 smolt pr. 100 m<sup>2</sup> elveareal hvis vi holder smolten som produseres i Mannflåvann og i uregulerte sidevassdrag utenom beregningene. Den største usikkerheten er knyttet til hvor mye smolt som kan vokse opp i Mannflåvann (grovt anslått til 5000 - 15 000 smolt). Produksjonskapasiteten ned til utløpet av Mannflåvann utgjør omlag 35 % av totalen, og noe av denne smolten kan gå tapt i Laudal kraftverk. Basert på en typisk sjøoverlevelse på 10 % og en total beskatningsrate på 50 % (derav 75 % i elv) gir den anslåtte smoltproduksjonen elvefangster (5 - 11 tonn) som ligger i underkant av det som er rapportert i de senere år. Beregningene er imidlertid svært følsomme for variasjoner i laksens sjøoverlevelse, og en sjøoverlevelse på 20 % vil gi en forventet elvefangst på fra 10 til 22 tonn. Resultater fra andre elver antyder at sjøoverlevelsen kan ha vært så høy i deler av perioden 1997-2004, og våre anslag for produksjon framstår derfor som realistiske.

Effekten av kraftutbygging på produksjonen av laks i vassdraget ble anslått ut fra endringer i vannføring, vanntemperatur og habitatforhold i ulike deler av vassdraget. Vi har også vurdert hvordan endringer i vandringsforhold kan påvirke produksjonen, og effekten av smolt-tap i Laudal kraftverk er grovt anslått. Vi har ikke vurdert mulige tap som følge av raske vannstandsendringer som skyldes planlagt eller uforutsett stopp i kraftproduksjonen. Det er ikke bortført vann fra nedbørsfeltet, men det er to strekninger med minstevannføring hvor det meste av vannet går i tunnel. På de delene der hele vannføringen går i elva er miljøendringene relativt små. Vannføringen er lavere om våren og høyere om vinteren og sommeren. Høyere minste vinter- og sommervannføring kan isolert sett ha virket positivt, mens noe lavere sommertemperaturer kan ha virket svakt negativt. Vi har ikke grunnlag for med sikkerhet å fastslå om det har vært en positiv eller negativ effekt, og betrakter derfor reguleringseffekten på disse strekningene som nøytral. I de to minstevannføringsstrekningene har tap av vanndeckt areal, redusert habitatkvalitet (terskelbasseng med akkumulering av finsubstrat) og tap av gyteområder virket negativt på produksjonen, mens økt vanntemperatur og derav bedre vekst har virket positivt. På strekningen fra Kavfossen til utløpet av Bjelland kraftverk anslår vi at produksjonskapasiteten er redusert med mellom 40 og 60 %. På den nederste minstevannføringsstrekningen mellom Mannflåvann og Laudal anslår vi tapet til mellom 50 og 75 %. I tillegg kommer tap av smolt i Laudal kraftverk. Ut fra usikre antagelser anslår vi dette tapet til å utgjøre mellom 15 til 65 % av smolten produsert på oversiden av inntaket i Mannflåvann, i størrelsesorden 2 500 - 26 000 smolt. Tiltak kan potensielt redusere dette tapet.

Vi anslår at reguleringen har redusert produksjonskapasiteten for smolt i vassdraget med 20 til 40 %. Antall smolt som potensielt har gått tapt som følge av reguleringen avhenger av hvor stor produksjonskapasiteten i vassdraget er i dag. Hvis vi tar utgangspunkt i et gjennomsnittsoverslag for produksjonskapasiteten i dag, 86 500 smolt, anslår vi det årlige tapet på grunn av reguleringen til mellom 19 000 og 52 500 smolt. I tillegg kommer et gjennomsnittlig tap av smolt i Laudal kraftverk på 4000 - 19 000 smolt.

Ola Ugedal, Bjørn Mejdell Larsen, Torbjørn Forseth og Bjørn Ove Johnsen, Norsk institutt for naturforskning, Tungasletta 2, 7485 Trondheim. [ola.ugedal@nina.no](mailto:ola.ugedal@nina.no);



## Abstract

Ugedal, O., Larsen, B.M., Forseth, T. & Johnsen, B.O. 2006. The production capacity for Atlantic salmon and estimated losses due to hydropower regulation in the River Mandalselva. NINA Report 146. 46 pp.

Maps of physical conditions (substrate, velocities, depths), juvenile density estimates and smolt production estimates from other Norwegian salmon rivers were used to estimate the production capacity for salmon in the River Mandalselva. The estimate was validated by evaluation of the official salmon catch statistics. Typically, smolt densities in Norwegian salmon rivers range from 3 to 6 smolts pr 100 m<sup>2</sup>, indicating that between 81 000 and 162 000 smolts can be produced in the river. However, this simple calculation does not consider variable habitat quality or the fact that parts of the river are heavily influenced by the hydropower regulation. By using on site estimated presmolt densities and the habitat maps, the estimated production capacity was reduced to between 54 500 and 118 500 smolts, corresponding to densities at 1.8 to 3.8 smolts pr 100 m<sup>2</sup> river bed. The potential and unexplored smolt production in the relatively large lake section of the river (the Lake Mannflåvann) adds particular uncertainty to the estimate. Production above the Lake Mannflåvann constitutes approximately 35 % of the total production, and the downstream migrating smolts may experience mortality in the turbines of the Laudal Power station.

Based on survival at sea and total adult harvest rates along the coast and in the river fisheries at 50 %, the estimated smolt run should support river catches between 5 and 11 metric tons, somewhat lower than the reported catch in recent years. This estimate is however highly sensitive to the applied survival at sea, and results from other rivers indicate higher survival in some of the recent years. Thus our estimates appear reasonable.

Effects of the hydropower regulation were estimated by evaluating changes in water flow, temperature and habitat conditions. Changes in upstream migration pattern and smolt losses in the power stations were also considered, whereas potential losses due to rapid changes in water flow and stranding was not. No water has been removed from the watershed, but there are two major reduced in-stream flow stretches where the environmental changes are substantial. Elsewhere, the changes are small, and higher minimum winter and summer water flows have potentially increased production, whereas somewhat lower temperatures during summer have potentially reduced production. The net effect is thus probably neutral. In the two residual flow stretches, reduced wetted areas, reduced habitat quality (accumulation of fine sediments) and losses of spawning areas, have reduced production capacity by in the order of 40 to 75 %. In addition, 15 to 65 % of the smolts produced above the Laudal Hydropower station may be lost in the turbines. This loss may be reduced by measures in the power station inlet area.

Based on the above considerations we estimate that the production capacity for salmon smolts in the River Mandalselva is reduced by 20 to 40 % due to the hydropower regulation.

Ola Ugedal, Bjørn Mejdell Larsen, Torbjørn Forseth og Bjørn Ove Johnsen, Norwegian Institute for Nature Research, Tungasletta 2, No-7485 Trondheim, Norway.  
ola.ugedal@nina.no

# Innhold

<b>Sammendrag .....</b>	<b>3</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>5</b>
<b>Innhold.....</b>	<b>6</b>
<b>Forord .....</b>	<b>7</b>
<b>1 Innledning.....</b>	<b>8</b>
<b>2 Områdebeskrivelse.....</b>	<b>9</b>
<b>3 Utvikling i bestandene av laks og sjørøret etter kalking .....</b>	<b>11</b>
<b>4 Kartlegging av vassdraget - arealer .....</b>	<b>16</b>
4.1 Metoder.....	16
4.2 Arealer av ulike habitattyper.....	17
4.3 Habitattyper på de ulike elvestrekningene .....	18
<b>5 Vurdering av produksjonspotensial.....</b>	<b>21</b>
5.1 Historiske og nåtidige fangster.....	21
5.2 Produksjonsvurdering ut fra arealet på elva.....	22
5.3 Produksjonsvurdering basert på habitatkartlegging .....	23
5.4 Produksjonsvurdering basert på fangst av laks.....	26
5.5 Diskusjon .....	28
<b>6 Effekter av kraftutbyggingen .....</b>	<b>31</b>
6.1 Vannføring .....	31
6.1.1 Vannføring på strekninger uten fraført vann .....	32
6.1.2 Vannføring på minstevannføringsstrekningene .....	33
6.1.3 Effekter av vannføringsendringer på fiskeproduksjonen.....	33
6.2 Vanntemperatur .....	35
6.3 Oppvandring og utvandring .....	38
6.3.1 Oppvandring av voksen laks .....	38
6.3.2 Smolttap i turbinene på Laudal.....	38
6.4 Samlet vurdering av de ulike strekningene .....	40
6.5 Tap som følge av kraftverksreguleringen .....	42
<b>7 Referanser .....</b>	<b>44</b>

## Forord

Reetablering av en ny laksestamme i Mandalsvassdraget etter at vassdraget ble fullkalket er kommet godt igang og vassdraget har de siste årene gitt gode fangster av laks. Flerbruksplan Mandalsvassdraget (FBP) har reist spørsmål om hvor stort potensial vassdraget har med hensyn på produksjon av laks. I tillegg ønsket FBP en vurdering av hvor mye av produksjonskapasiteten i vassdraget som er tapt som følge av kraftutbyggingen. Dessuten ønsket man en vurdering av mulige tap som følge av at smolt som vandrer ut fra de øverste delene av vassdraget risikerer å gå gjennom kraftverkstunnelen og turbinene ved Laudal kraftverk.

Flerbruksplan Mandalsvassdraget var oppdragsgiver og finansierte prosjektet. Svein Haugland var vår kontaktperson hos oppdragsgiver. Et viktig grunnlag for mange av våre vurderinger er kartleggingen av vassdraget med hensyn på fysiske forhold (dominerende bunnssubstrat, vannhastighet og dyp) som ble gjennomført i 2003 - 2005. Hans Mack Berger var ansvarlig for denne kartleggingen og har også bidratt med sin kunnskap om vassdraget under utarbeidelsen av denne rapporten. Frank Hanssen gjennomførte arealberegninger av de øverste delene av vassdraget. Kari Sivertsen laget figur 1. Vi vil takke alle disse for god hjelp og et godt samarbeid.

Trondheim, april 2006, Ola Ugedal

# 1 Innledning

Mandalsvassdraget (**figur 1**) er sterkt negativt påvirket av sur nedbør. Elva var tidligere ei god lakseelv, men den stedegne laksestammen er utdødd på grunn av forsurenningen. Etter fullkalking av vassdraget er målsettingen å få tilbake et tilnærmet normalt fungerende økosystem i vassdraget, slik det var før forsurenningen startet. Et delmål er å bygge opp igjen en selvreproduserende laksebestand (*Salmo salar* L.). Ungfiskundersøkelser i perioden fra 1997 til 2005 viser at retableringen av laksen i vassdraget har kommet godt igang (Larsen m. fl. 2005, 2006). Det samme viser utviklingen i fangster av voksen laks.

Flerbruksplan Mandalsvassdraget ønsket en vurdering av vassdragets potensial for produksjon av laks. I denne rapporten gjør vi en vurdering av dette spørsmålet. Vi har benyttet ulike tilnærminger i våre vurderinger. Hovedvurderingen er gjort med grunnlag i en fysisk kartlegging av vassdraget med hensyn på dominerende bunnsubstrat, vannhastighet og dyp. Vi har benyttet tetthetsestimater for ungfisk fra overvåkingen i Mandalselva, kunnskap om tetthet av laksunger fra andre vassdrag, og erfaringstall for produksjon av laksesmolt fra andre elver. I tillegg har vi benyttet fangststatistikk til å vurdere realismen i våre anslag. Usikkerheter ved våre vurderinger blir også diskutert.

Flerbruksplan Mandalsvassdraget ønsket også en vurdering av tap i lakseproduksjonen som følge av kraftutbyggingen i vassdraget. I Mandalselva er det bygd 6 kraftverk, og på lakseførende del av vassdraget er det to kraftverk, Bjelland og Laudal (**figur 1**) og to minstevannføringsstrekninger: Kavfossen - Bjelland og Mannflåvann - Laudal. På disse to strekningene er det bygd flere terskler. Inngrepene og endringen i vannføring på minstevannføringsstrekningene er betydelige, og det er all grunn til å tro at reguleringen har medført tapt produksjonskapasitet for laks i vassdraget. I tillegg kan smolten som blir produsert ovenfor inntaket til Laudal kraftverk risikere å gå igjennom kraftverket når den vandrer ut og dette kan gi en betydelig dødelighet.

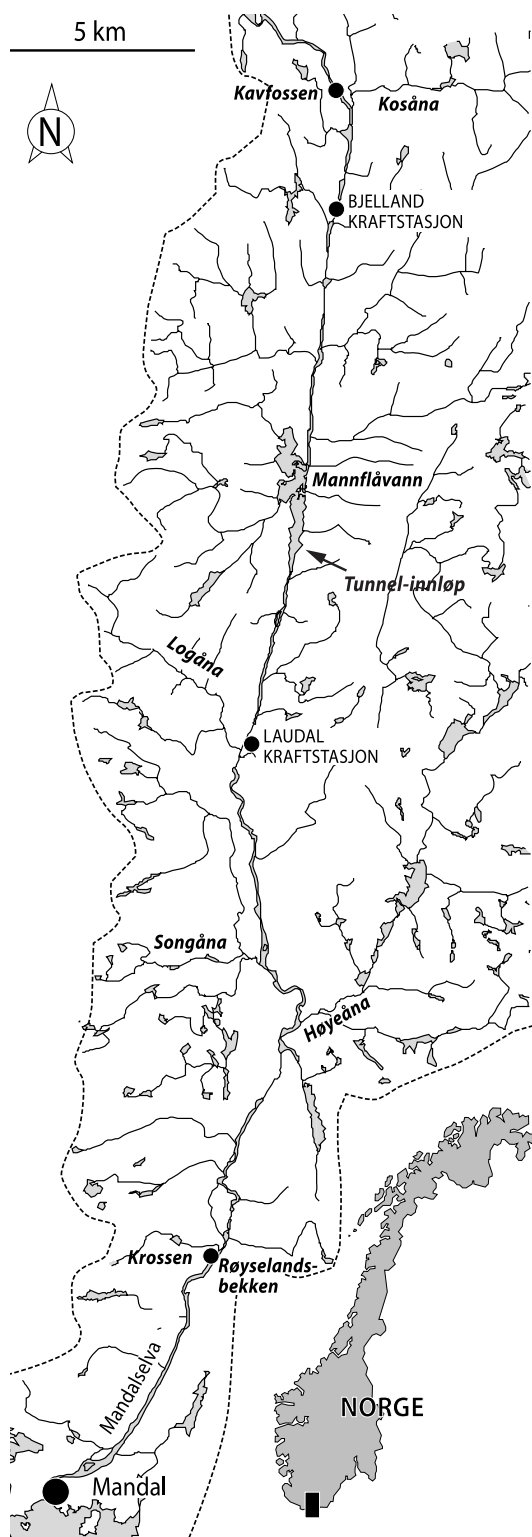
Ved vurderingen av tapt produksjon som følge av kraftverksutbygging i Mandalselva har vi tatt utgangspunkt i hvordan kraftverksreguleringen har påvirket vannføringsforholdene og hvordan reguleringen kan ha påvirket vanntemperaturforholdene i vassdraget på lakseførende strekning. Videre har vi vurdert hvordan endringer i fysiske forhold på minstevannføringsstrekningene kan ha påvirket produksjonsforholdene, og hvor stort smolttap en kan få fra de øvre deler av vassdraget som følge av at smolt går ut gjennom turbinene i Laudal kraftverk. Ved vurderingen av endrede vannføringsforhold har vi basert oss på døgnmidler. Vi har ikke vurdert mulige effekter av endret vannføring som følge av planlagte eller uforutsatte stopp i kraftproduksjonen. Vi har heller ikke vurdert om endret vannføringsregime har ført til forandringer i sedimenttransport og andre slike prosesser som kan tenkes å innvirke på produksjonsforholdene for fiskunger i elva.

## 2 Områdebeskrivelse

Mandalsvassdraget (**figur 1**) har utspring i fjellene mellom Ose i Setesdalen og øvre Sirdal og ligger i fylkene Vest-Agder og Aust-Agder. Vassdraget er 115 km langt og har et nedbørsfelt på 1 800 km<sup>2</sup>. Mandalselva renner ut fra Ørevann og gjennom kommunene Åseral, Audnedal, Marnardal og Mandal. Utløpet ved Mandal har middelvannføring på ca 88 m<sup>3</sup>/s. Blant store tilløpselver til Mandalselva er Monn, Logna, Skjerka, Kosåna og Logåna.

Det første kraftverket i Mandalsvassdraget, Skjerka kraftverk i Åseral, stod ferdig allerede i 1932. Senere er det bygget 5 kraftverk: Håverstad i 1955, Logna i 1961, Bjelland i 1975, Laudal i 1981 og Smeland i 1985. Bjelland og Laudal kraftverk er lokalisert på lakseførende strekning av vassdraget. Total reguleringsgrad, det vil si hvor stor del av den gjennomsnittlige årsvannføringen som kan lagres i magasiner, er 14 % for Mandalsvassdraget (Haugland & Haraldstad 2003).

På strekningen mellom inntaket og utløpet til Bjelland Kraftstasjon, har vannføringen bestått av kun naturlig tilsig fra Kosåna. På denne strekningen er det bygd to terskler. Fra og med 1997 ble det bestemt at vannføring på denne strekningen aldri skal være mindre enn 2 m<sup>3</sup>/s om sommeren og 1 m<sup>3</sup>/s om vinteren. På den seks km lange elvestrekningen mellom inntaket til Laudal kraftstasjon ved Mannflåvann og utløpet ved Laudal er minstevannføringen 3,0 m<sup>3</sup>/s om sommeren og 1,5 m<sup>3</sup>/s om vinteren. På strekningen Laudal-Mannflåvann er det bygd 12 terskler. En nærmere beskrivelse av hvordan reguleringen har påvirket vannføringsforholdene i vassdraget er gitt i kapittel 6.



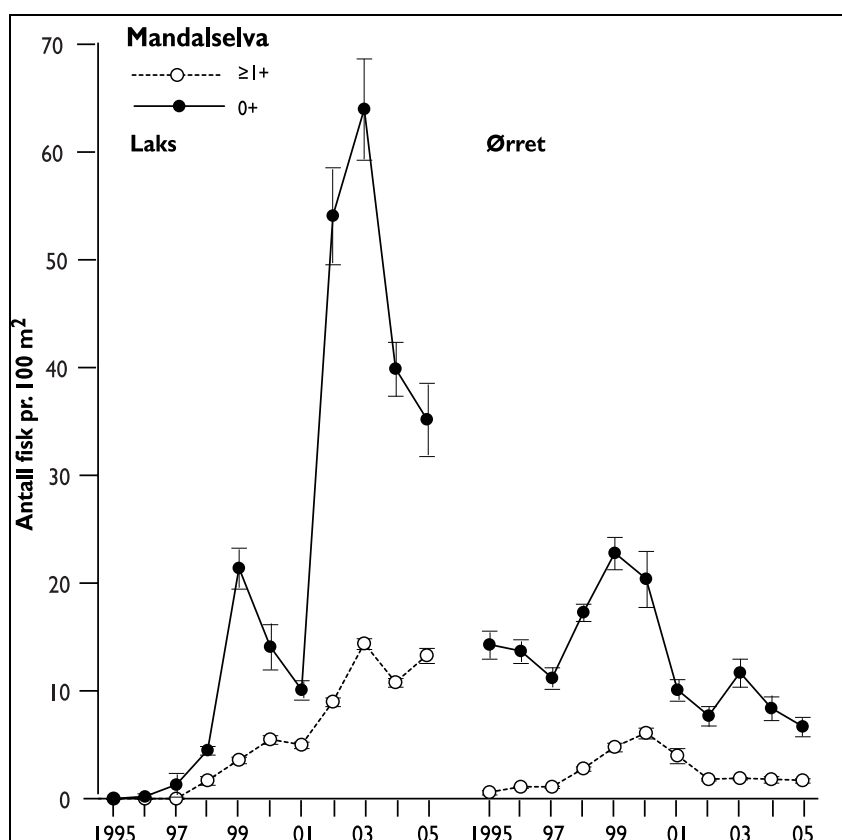
**Figur 1.** Lakseførende strekning i Mandalselva fra utløpet ved Mandal og opp til Kavfossen.

### 3 Utvikling i bestandene av laks og sjørøtt etter kalking

Selv om det ble fisket en del laks på 1970- og 1980-tallet i Mandalselva ble det ikke påvist laksunger i noen del av vassdraget på den tiden (Saltveit 1980, 1984, Heggenes & Saltveit 1992). Den opprinnelige laksestammen anses som utdødd (Sivertsen 1989), og laks som ble fanget var sannsynligvis et resultat av smoltutsetninger i Mandalselva eller i andre vassdrag, feilvandrede villaks og rømt oppdrettslaks (Heggenes & Saltveit 1992, Johnsen m.fl. 1999).

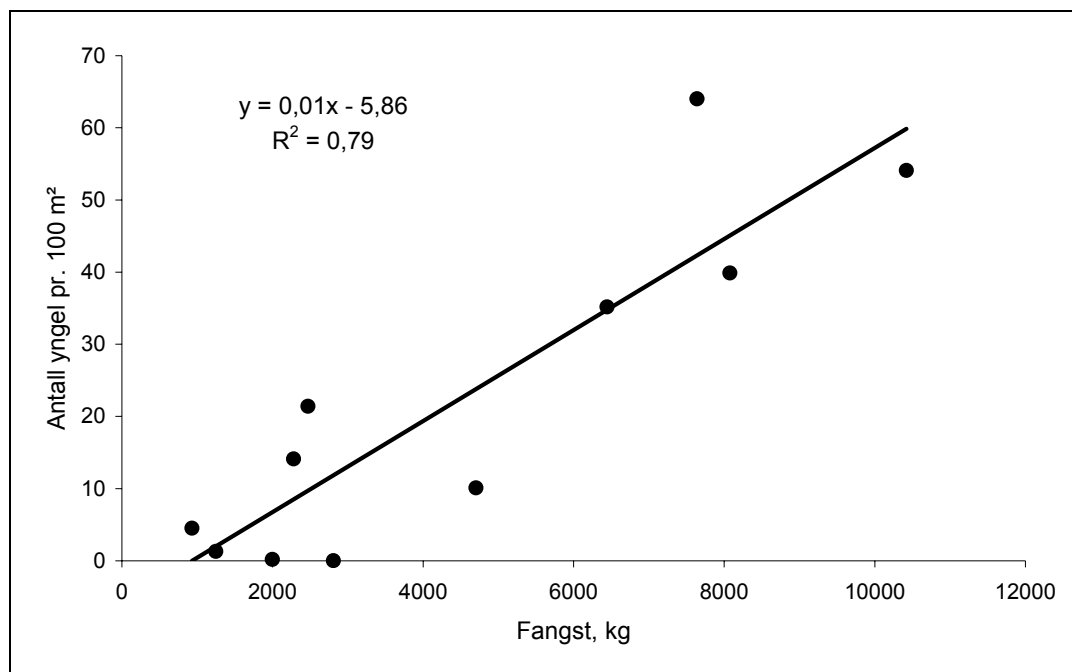
Det ble startet en overvåking av ungfiskbestandene av laks og ørret i lakseførende del av Mandalselva i 1995 i forbindelse med de planlagte kalkingstiltakene i vassdraget (Kaste m.fl. 1998). Senere er det gjennomført årlige fiskeundersøkelser på 18 faste overvåkingsstasjoner i lakseførende del av vassdraget og nedre del av Kosåna i perioden 1996-2005.

Det ble ikke påvist laksunger i Mandalselva i 1995, men i 1996 ble det for første gang funnet laksyngel på to stasjoner i vassdraget. Etter at kalkingen kom i gang for fullt i løpet av 1997 ble det allerede i 1998 funnet laksyngel på 11 av 18 stasjoner fordelt på hele den lakseførende strekningen. Senere har utbredelsen økt ytterligere, og det er funnet laksyngel på alle stasjonene fra og med 2002 (Larsen m.fl. 2005, 2006).



**Figur 2.** Tetthet pr. 100 m² av laks og ørret i lakseførende del av Mandalselva i 1995-2005. Fra Larsen m.fl. (2006).

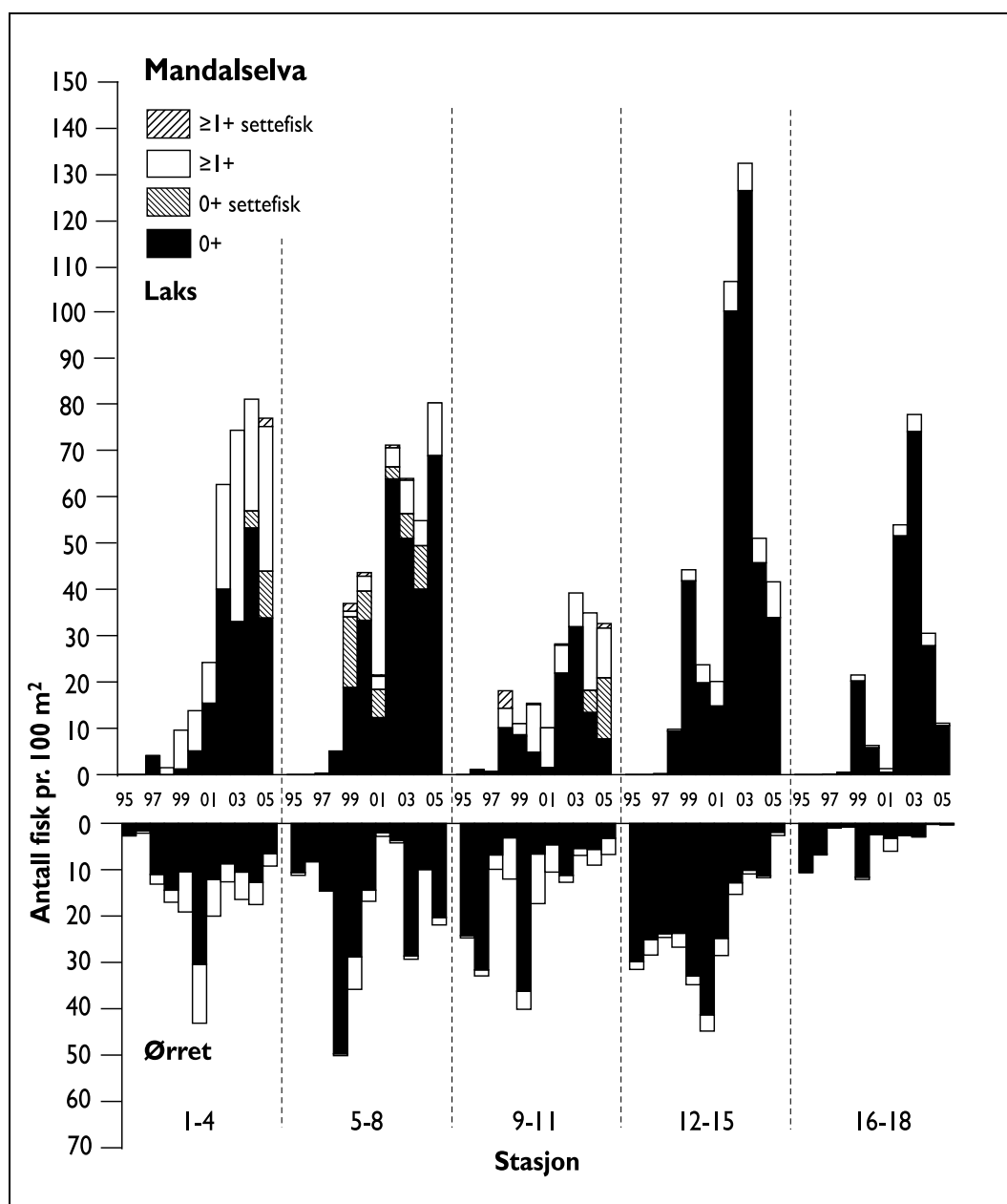
Tettheten av laksyngel varierte noe i de første årene etter kalking, men den gjennomsnittlige tettheten var oppe i 20 individer pr. 100 m<sup>2</sup> allerede i 1999 (**figur 2**). I 2002 og 2003 var det en markert økning i tettheten av laksyngel i hele vassdraget (henholdsvis 54 og 64 individer pr. 100 m<sup>2</sup>) før det ble en moderat nedgang igjen i 2004 og 2005 (35-40 laksyngel pr. 100 m<sup>2</sup> i gjennomsnitt). At tettheten av laksyngel gikk noe ned i 2004 og 2005 kan henge sammen med noe lavere antall gytefisk høsten 2003 og 2004 om vi legger fangststatistikken til grunn. Det er en god sammenheng mellom fangstutbyttet av laks i 1994-2004 og tetthet av laksyngel året etter (1995-2005) i Mandalselva (**figur 3**). Dette indikerer at produksjonen av årsyngel foreløpig er begrenset av gytebestanden. Nedgangen i tetthet av laksyngel i 2004 og 2005 var størst på strekningen mellom Laudal og Holum (**figur 4**), og potensialet er høyere der enn det resultatene foreløpig viser. Selv om antall laksyngel fortsatt vil variere litt mellom år er laks reetablert i hele vassdraget, og utviklingen har vært entydig positiv i årene etter kalking. I 2005 ble det tatt om lag 11 tonn laks (**figur 5**), og hvis sammenhengen mellom fangstutbytte og tetthet av årsyngel holder, forventes tettheten av laksyngel å øke til mer enn 60 individer pr. 100 m<sup>2</sup> i 2006.



**Figur 3.** Tetthet av laksyngel (0+) i 1995-2005 i forhold til oppfisket mengde laks året før (1994-2004) i Mandalselva. Fra Larsen m.fl. (2006).

I Mandalselva ble det ikke funnet eldre laksunger i årene 1995-97 eller ved noen av de tidligere undersøkelsene. Men allerede i 1998 ble det funnet eldre laksunger på 44 % av stasjonene, selv om tettheten var lav (2 individer pr. 100 m<sup>2</sup>, **figur 2**). Fram til 2003-2005 har gjennomsnittlig tetthet av eldre laksunger økt til 10-15 individer pr. 100 m<sup>2</sup>, og det er funnet eldre laksunger på 89-94 % av stasjonene. Det var størst tetthet av eldre laksunger i Kossåna og på strekningen ned til utløpet av Bjelland kraftverk i 2005 (**figur 4**), og øvre del av vassdraget forsterker posisjonen som det viktigste oppvekstområdet for laksunger i Mandalselva.





**Figur 4.** Tetthet pr. 100 m<sup>2</sup> av laks og ørret i ulike deler av lakseførende del av Mandalselva i 1995-2005. Stasjon 1-4: Kosåna og Kavfossen-Monan, stasjon 5-8: Monan-Mannflåvann, stasjon 9-11: Mannflåvann-Laudal, stasjon 12-15: Laudal-Øyslebø og stasjon 16-18: Øyslebø-Holum. Fra Larsen m.fl. (2006).

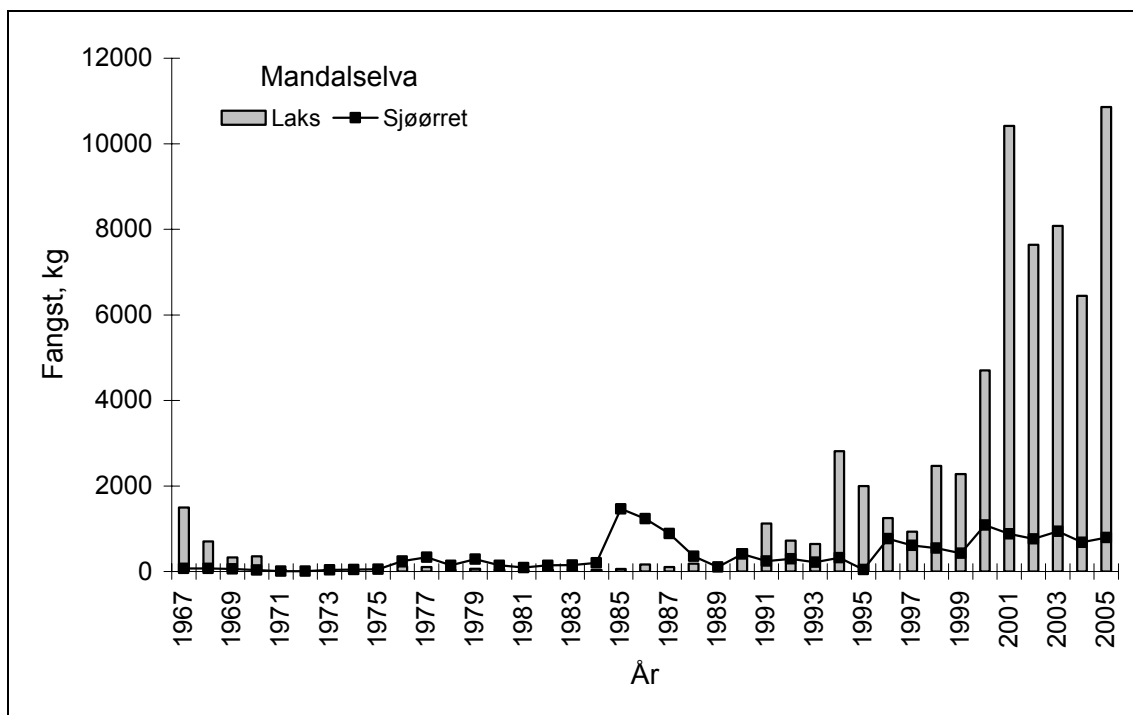
Laksyngel fra Kosåna og øvre del av hovedvassdraget ned til Bjelland kraftstasjon vokser raskere enn yngel fra resten av vassdraget (se figur i kapittel 6). Veksten er også bedre i terskelområdet ovenfor Laudal sammenlignet med områdene ovenfor og nedenfor denne minste vannføringsstrekningen. Dette vekstmønsteret er relativt likt fra år til år (jf. Larsen m.fl. 2003, 2004). Forskjellen i gjennomsnittslengde mellom øvre og nedre del av Mandalselva har vært om lag 20 mm i alle år.

Den gjennomsnittlige lengden av ettårige laksunger har avtatt betydelig i løpet av de siste sju årene, og de ettårige laksungene var i gjennomsnitt 22 mm kortere i 2004 og 2005 sammenlignet med 1998 (Larsen m.fl. 2006). Dette innebærer at flere laksunger nå må stå ett år ekstra på elva før de smoltifiserer. På grunn av de store vekstforskjellene innad i vassdraget vil smoltalderen også variere mellom de ulike delene av elva. Ovenfor Bjelland vil det være en dominerende andel av toårig smolt i Kosåna og på strekningen ned til Monan. Nedenfor Laudal derimot vil lavere veksthastighet resultere i en dominans av treårig og eldre smolt. Dette vil ha betydning for mengden utvandrende smolt fra de ulike delene av elva da dødeligheten gjennom ett ekstra år på elva kan være betydelig. Det vil dessuten ha betydning for hvor raskt reetableringen går i ulike deler av Mandalselva.

Det har vært en jevnt høy forekomst av ørretynge i Mandalselva helt siden undersøkelsene startet i 1995, og yngel er påvist på 83-100 % av stasjonene. Tettheten av ørretynge økte de første årene etter kalking (1998-2000) (**figur 2**), men senere har tettheten avtatt igjen i alle deler av vassdraget (**figur 4**). Gjennomsnittlig tetthet av ørretynge var bare 7 individer pr. 100 m<sup>2</sup> i 2005, og dette var den laveste tettheten som er funnet i vassdraget i løpet av de siste elleve årene.

Utbredelsen av eldre ørretunger økte fra 30-40 % av stasjonene før kalking til 60-80 % de første årene etter kalking. De siste årene har utbredelsen avtatt noe igjen. Det var en økning i antall eldre ørretunger i en periode fra 1998 til 2000, men denne trenden er nå snudd. Tettheten har ikke vært spesielt høy i noen av årene, men gjennomsnittlig tetthet av eldre ørretunger har nå vært ca 2 individer pr. 100 m<sup>2</sup> i de fire siste årene (**figur 2**). Denne reduksjonen i tetthet samsvarer med nedgangen i antall ørretynge.

Mandalselva var tidligere en svært god laks- og sjøørretelv, men fra 1900 til 1920 var det en sterk nedgang i fangstene (Haraldstad & Hesthagen 2003). Denne nedgangen fortsatte fram til 1970-tallet. Etter 1976, i en periode fram til 1990, ble det fanget mer sjøørret enn laks (**figur 5**). Fra 1990 og framover har fangstene av laks økt igjen. Det antas at lite av laksen som ble fanget før 1998 har vokst opp i Mandalselva. I de siste årene derimot skyldes økningen i fangstresultatet en økt tilbakevandring av voksen laks som er produsert og vokst opp i vassdraget. Fangstresultatet har variert mellom 6 og 11 tonn i 2001-2005. Fra en årlig fangst på 200-400 kg sjøørret på begynnelsen av 1990-tallet var det en økning i fangstutbyttet fra 1996, og i 2000 nådde det opp i nær 1,1 tonn. I 2005 ble det meldt inn ca 800 kg sjøørret (**figur 5**).



**Figur 5.** Årlig oppfisket kvantum av laks og sjørørret i Mandalselva i perioden 1967-2005 (Norges Offisielle Statistikk). Oppfisket kvantum i 1995 er korrigert i henhold til opplysninger fra Fylkesmannen i Vest-Agder (se også Flerbruksplan Mandalsvassdraget 2000). Fra Larsen m.fl. (2006).

## 4 Kartlegging av vassdraget - arealer

Det er gjennomført en kartlegging (bonitering) av elvestrekningen på lakseførende del fra Krossen (ved flomålet) og opp til Kavfossen. Kartleggingen innebærer en fysisk beskrivelse av vassdraget med hensyn på vannhastighet, dominerende bunnsubstrat og dyp. Denne kartleggingen er brukt som utgangspunkt for å beregne arealer av ulike habitattyper på de ulike elvestrekningene. Disse arealberegningene av ulike habitattyper i elva danner et viktig grunnlag for vår vurdering av vassdragets produksjonspotensial for laks. Kartleggingen er ment å gi en grov pekepinn på hvordan forholdene er på den strekningen av elva som er kartlagt. Nøyaktigheten i klassifiseringen er best der elva er bred og relativt grunn, og ikke fullt så god der elva er smal og dyp og vannhastigheten høy.

### 4.1 Metoder

Strekningen fra Kavfossen og ned til Laudal kraftverk ble befart i 2003 (Berger m.fl. 2003), mens elva nedenfor utløpet av Laudal kraftverk ble befart i 2005 (Ugedal m.fl. 2005). Ved befaringen ble elva kartlagt med hensyn på vannhastighet, dominerende substrat og dyp. Dyp er ikke videre behandlet i denne rapporten, men dybdeangivelser finnes på de kartene som er fremstilt fra de ulike delene av vassdraget.

#### Vannhastighet

Med utgangspunkt i fallgradient og vannhastighet i overflaten blir elvestrekningene inndelt i fire kategorier:

- 1) Foss - markert fallgradient og svært høy vannhastighet.
- 2) Stritt stryk - høy fallgradient og vannhastighet ( $> 1$  m/s), men ikke så markert som i foss.
- 3) Moderat stryk - liten fallgradient med variert moderat vannhastighet (0,2 - 1 m/s).
- 4) Stilleflytende - områder med relativt stillestående vann med liten eller moderat vanngjennomstrømning og lav vannhastighet (0 - 0,2 m/s).

Vannhastigheten i overflata er selvsagt avhengig av vannføringen. Kartleggingen av elva ovenfor Laudal ble gjennomført i juni 2003 ved en vannføring på ca  $1,4 \text{ m}^3/\text{s}$  på strekningen Kavfossen - Monan, ca  $3\text{-}10 \text{ m}^3/\text{s}$  på strekningen Mannflåvann - Laudal, og ca  $40 \text{ m}^3/\text{s}$  på strekningen Monan - Mannflåvann (Berger m.fl. 2003). Kartleggingen av elva nedenfor Laudal kraftverk ble gjennomført i februar og mars 2005 ved en vannføring på mellom 40 -  $70 \text{ m}^3/\text{s}$  målt ved Kjøleemo (Ugedal m.fl. 2005).

#### Bunnsubstrat

Dominerende bunnsubstrat ble klassifisert etter en firedelt skala: **svært fin grus**, **sand eller silt** (partikkelstørrelse  $< 2$  cm), **grus** (partikkelstørrelse 2 cm - 16 cm), **stein** (partikkelstørrelse 16 cm - 35 cm), **stor stein og blokk** (partikkelstørrelse  $> 35$  cm). Ved kartleggingen i de øvre deler av elva ble det skilt mellom **fin grus** (partikkelstørrelse 2 cm - 6 cm) og **grov grus** (partikkelstørrelse 6 cm - 16 cm). Grov grus som det betegnes i dette systemet vil betegnes som små stein i norsk dagligtale. Områder med dominerende bunnsubstrat større enn 16 cm, dvs. **stein/storstein/blokk** er slått sammen til en kategori ved arealberegningene i denne rapporten. Flomløp og elvearealer som åpenbart er tørrlagt mesteparten av året ble notert under befaringen. I dypområder og kulper ble substrat klassifisert på bakgrunn av det substratet en sist observerte ved vading utover mot dypet eller fra båt.

#### Arealberegning

På bakgrunn av kartleggingen av vannhastighet og substrat ble det utarbeidet kart over vannhastighet og dominerende bunnsubstrat. Med utgangspunkt i disse kartene er det

foretatt en beregning av arealet av ulike habitattyper i elva. Grunnlaget er digitalt økonomisk kart. Arealene er beregnet med den antakelse at elveflatene slik de er registrert stemmer med nåtiden. Alder på gjeldene økonomisk kartblad er ikke kjent. Det ble arbeidet med samme datum og koordinatsone som på underliggende økonomisk kart, slik at alle flater skal være flatekorrekte (med tanke på arealberegning) og korrekt geografisk plassert. Totalarealet i elvestrengen og arealet av ulike elveklasser og substrattyper ble beregnet fra kartene ved hjelp av GIS-programmer.

## 4.2 Arealer av ulike habitattyper

Totalarealet av elvestrekningene fra Kavfossen og ned til flomålet ved Krossen ble beregnet til omlag 2 700 000 m<sup>2</sup>, eller 270 ha (**tabell 1**). I tillegg kommer Mannflåvann som har et overflateareal på 2 km<sup>2</sup> (200 ha). I tillegg produseres det laks i Kosåna og noen andre sidevassdrag. Kosåna er lakseførende i ca 1,5 km og har en bredde på om lag 20 m. Dette gir et lakseproduserende areal i Kosåna på om lag 30 000 m<sup>2</sup>. Arealet av lakseførende strekning i andre sideelver og bekker er ikke kjent.

**Tabell 1.** Beregnet areal (m<sup>2</sup>) av elvestrekninger med ulik vannhastighet i Mandalselva mellom Kavfossen og Krossen (flomålet). Arealene er beregnet ut fra angitt vanndekket areal på økonomisk kartverk, med fratrekk av områder som er tørrelagte ved normal vannføring på minstevannføringsstrekningene. Lengden av de ulike elvestrekningene er omtrentlige.

Strekning	Elve- lengde (km)	Foss	Stritt stryk	Moderat stryk	Stille- flytende	Totalt	% av totalt areal
Kavfossen – Monan	4	500	7200	4800	235900	284400	10,5
Monan – Mannflåvann	8	300	54300	27000	242000	567600	21,0
Mannflåvann – Laudal	6	900	9900	46600	194100	251500	9,3
Laudal - Krossen	20	5400	64900	1216700	313900	1600900	59,2
<b>Sum</b>	<b>38</b>	<b>7100</b>	<b>136300</b>	<b>1575100</b>	<b>985900</b>	<b>2704400</b>	
% av sum		0,3	5,0	58,2	36,5		

Arealmessig sett er strekningen fra Laudal og ned til Krossen den største, og 60 % av totalt vanndekket areal finnes her. Elva mellom utløpet av Bjelland kraftverk ved Monan og ned til Mannflåvann har 20 % av arealet, mens de to minstevannføringsstrekningene hver seg har 10 % av vanndekket areal som elva framstår i dag. Moderate stryk utgjør totalt sett 59 % av elvearealet, mens stilleflytende områder dekker 37 % og strie stryk 5 % av elvearealet.

Arealberegninger av dominerende bunnsubstrat viser at Mandalselva har store områder med finkornet substrat (**tabell 2**). Områder dominert av sand, silt og svært fin grus (partikkelstørrelse < 2 cm) dekker 55 % av det totale arealet. Områder dominert av grus (partikkelstørrelse 2 - 16 cm) dekker 25 % av arealet, mens resten av arealet (20 %) er dominert av grovt substrat, stein/storstein/blokk (partikkelstørrelse > 16 cm).

**Tabell 2.** Beregnet areal ( $m^2$ ) av elvestrekninger med ulikt dominerende bunnssubstrat i Mandalselva mellom Kavfossen og Krossen (flomålet). Arealene er beregnet ut fra angitt vanndekket areal på økonomisk kartverk, med fratrekk av områder som er tørrlagte ved normal vannføring på minstevannføringsstrekningene..

Strekning	Sand, silt og svært fin grus (< 2 cm)	Grus (2-16 cm)	Stein/storstein/blokk (> 16 cm)	Totalt	% av totalt areal
Kavfossen - Monan	152400	77100	56000	285500	10,6
Monan – Mannflåvann	411000	83100	76000	570100	21,1
Mannflåvann - Laudal	0	177300	69200	246500	9,1
Laudal - Krossen	932100	323700	348200	1084400	59,2
<b>Sum</b>	1495500	661200	549400	2706100	
% av sum	55,3	24,4	20,3		

### 4.3 Habitattyper på de ulike elvestrekningene

#### Kavfossen - utløpet av Bjelland kraftverk ved Monan

Denne strekningen av elva er fraført vann som følge av utbyggingen og det er bygget to terskler. De to terskelbassengene gjør at elva blir dominert av stilleflytende områder (ca 80 % av arealet, **tabell 3**). I terskelbassengene er det mye finkornet substrat og samlet sett ble halvparten av arealet karakterisert å ha slikt substrat som dominerende.

**Tabell 3.** Beregnet areal ( $m^2$ ) av elvestrekninger med ulike kombinasjoner av vannhastighet og dominerende bunnssubstrat i Mandalselva fra Kavfossen og ned til utløpet av Bjelland kraftverk ved Monan. Arealene er beregnet ut fra angitt vanndekket areal på økonomisk kartverk, med fratrekk av områder som er tørrlagte ved normal vannføring.

Vannhastighet/ dom. substrat	Stille-Flytende		Moderat stryk		Stritt stryk		Foss	
	Areal ( $m^2$ )	%	Areal ( $m^2$ )	%	Areal ( $m^2$ )	%	Areal ( $m^2$ )	%
Sand/svært fin grus	152100	53,5	100	0,0	100	0,0	100	0,0
Fin grus	17700	6,2	3700	1,3	200	0,1	0	0,0
Grov grus	35800	12,6	18300	6,4	1400	0,5	0	0,0
Stein/storstein/blokk	30400	10,7	18700	6,6	5300	1,9	500	0,2

#### Utløpet av Bjelland kraftverk ved Monan - Mannflåvann

Arealberegningen (**tabell 4**) viser at strekningen mellom Monan og Mannflåvann består av omtrent like store deler stilleflytende områder og områder karakterisert som moderat stryk (omlag 45 % av hver). Resten av strekningen består av stritt stryk. Arealberegningen av ulike typer bunnssubstrat viser at den kartlagte strekningen har finkornet substrat (sand og svært fin grus) som dominerende bunnssubstrat (72 %), mens områder dominert av henholdsvis grus og stein/storstein/blokk utgjør 14 % hver.

**Tabell 4.** Beregnet areal ( $m^2$ ) av elvestrekninger med ulike kombinasjoner av vannhastighet og dominerende bunnssubstrat i Mandalselva fra Monan og ned til Mannflåvann. Arealene er beregnet ut fra angitt vanndekket areal på økonomisk kartverk.

Vannhastighet/ dom. substrat	Stille- Flytende		Moderat stryk		Stritt stryk		Foss	
	Areal ( $m^2$ )	%	Areal ( $m^2$ )	%	Areal ( $m^2$ )	%	Areal ( $m^2$ )	%
Sand/svært fin grus	189000	33,4	199700	35,3	18400	3,3	0	0,0
Fin grus	12800	2,3	26200	4,6	2400	0,4	0	0,0
Grov grus	19100	3,4	17500	3,1	4800	0,8	0	0,0
Stein/storstein/blokk	19800	3,5	27200	4,8	28800	5,1	300	0,1

#### Mannflåvann - Laudal

Denne strekningen er sterkt modifisert som følge av utbyggingen. Det er bygget ialt 12 terskler. Den omfattende terskelbyggingen har gjort at elva idag er dominert av stilleflytende områder (ca 75 %, **tabell 5**). Elvestrekningen har et relativt grovt substrat, hvor områder med grov grus (6-16 cm) som dominerende substrat utgjør ca 70 % av arealet mens områder med stein/storstein/blokk utgjør ca 25 % av arealet.

**Tabell 5.** Beregnet areal ( $m^2$ ) av elvestrekninger med ulike kombinasjoner av vannhastighet og dominerende bunnssubstrat i Mandalselva fra Mannflåvatn og ned til Laudal. Arealene er beregnet ut fra angitt vanndekket areal på økonomisk kartverk, med fratrekk av områder som er tørrlagte ved normal vannføring.

Vannhastighet/ dom. substrat	Stille- Flytende		Moderat stryk		Stritt stryk		Foss	
	Areal ( $m^2$ )	%	Areal ( $m^2$ )	%	Areal ( $m^2$ )	%	Areal ( $m^2$ )	%
Sand/svært fin grus	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Fin grus	5800	2,5	3900	1,7	200	0,1	0	0,0
Grov grus	145000	61,9	19000	8,1	1200	0,5	0	0,0
Stein/storstein/blokk	30800	13,1	19700	8,4	8100	3,5	700	0,3

Laudal - Krossen

Arealberegningen viser at mesteparten av strekningen mellom Laudal og Krossen kan karakteriseres som moderat stryk (ca 75 %), det vil si med en vannhastighet i overflata på mellom 0,2 til 1,0 m/s (**tabell 6**). Arealberegningen av ulike typer bunnssubstrat viser at den kartlagte strekningen har finkornet substrat (sand og svært fin grus) som dominerende bunnssubstrat (60 %), mens områder dominert av henholdsvis grus og stein/storstein/blokk utgjør 20 % hver.

**Tabell 6.** Beregnet areal ( $m^2$ ) av elvestrekninger med ulike kombinasjoner av vannhastighet og dominerende bunnssubstrat i Mandalselva fra Laudal og ned til Krossen. Arealene er beregnet ut fra angitt vanndekket areal på økonomisk kartverk.

Vannhastighet/ dom. substrat	Stille- Flytende		Moderat stryk		Stritt stryk		Foss	
	Areal ( $m^2$ )	%	Areal ( $m^2$ )	%	Areal ( $m^2$ )	%	Areal ( $m^2$ )	%
Sand/svært fin grus	235200	14,7	676700	42,3	17300	1,1	600	0,0
Fin og grov grus	14600	0,9	298400	18,7	10000	0,6	0	0,0
Stein/storstein/blokk	63000	3,9	241600	15,1	37600	2,4	4800	0,3



## 5 Vurdering av produksjonspotensial

Produksjonen av laks i et vassdrag er avhengig av en rekke faktorer, hvorav klima, hydrologiske forhold, fiskefauna, geologi, vannkjemi og vassdragets størrelse er av de viktigste (Gibson 1993). Variasjonen i smoltproduksjon er stor mellom vassdrag. Smoltproduksjonen antas blant annet å avhenge av smoltens alder (Symons 1979). Dødelighet hos laksunger er ofte 80-90 % fra gytt rogn fram til årsyngel på høsten neste år, med årlig dødelighet på 40-60 % de påfølgende år (Symons 1979). Hvis årlig tilvekst er lav vil smoltalderen øke, noe som gir økt dødelighet fram til smoltstadiet. En forventer derfor gjennomgående en lavere smoltproduksjon i elver hvor smoltalderen er høyere. Smoltalderen i Mandalselva er hovedsakelig 2 og 3 år, avhengig av hvor i elva smolten vokser opp (se kapittel 3).

I dette kapitlet vil produksjonspotensialet for laksesmolt i Mandalselva bli vurdert. For å anslå produksjonskapasiteten har vi benyttet fysisk kartlegging av vassdraget (dominerende substrat, vannhastighet og dyp), tetthetsestimater for ungfisk fra overvåkingen i Mandalselva, kunnskap om tetthet av laksunger fra andre vassdrag, og erfaringstall for produksjon av laksesmolt fra andre elver. I tillegg har vi benyttet fangststatistikk til å vurdere realismen i våre anslag. Usikkerhet og begrensninger ved våre vurderinger blir diskutert, og til slutt i kapitlet gjør vi en sammenfattende diskusjon av vurderingene.

### 5.1 Historiske og nåtidige fangster

I perioden 1880-1899 ble det innrapportert en gjennomsnittsfangst på 18 400 kg laks og sjørørret i Mandalselva (Dahl & Dahl 1942). Rapportert fangst varierte i disse årene mellom 10 800 kg i 1890 og 34 700 kg i 1884. Vi kjenner ikke andelen sjørørret i de historiske fangstene. De siste årene (fra og med 2001) har andelen sjørørret i sportsfiskefangster fra Mandalsvassdraget variert mellom 7 og 10 % av den totale fangsten i vekt. I tillegg til fangsten i Mandalselva ble laksen også beskattet i de nære kystområder på slutten av 1800-tallet. Ut fra fangststatistikk var sjøbeskatningen noe høyere enn elvebeskatningen på Agderkysten på den tiden (Dannevig 1930, Hesthagen & Hansen 1991). Det vil si at den totale rapporterte fangsten av Mandalslaks på slutten av 1800-tallet kunne være nær 40 000 kg per år i gjennomsnitt.

Det er flere usikkerheter knyttet til det å bruke disse fangstallene for å si noe om Mandalsvassdragets opprinnelige produksjonskapasitet for laks før forurning, kraftutbygging og eventuelt andre inngrep av betydning for vassdragets produksjonsevne begynte å gjøre seg gjeldende. For det første kjenner vi ikke kvaliteten til fangststatistikken på slutten av 1800-tallet, verken i elv eller sjø. Det er derfor vanskelig å vurdere i ettertid hvor store de urapporterte fangstene var. For det andre vet vi lite om beskatningsratene i denne perioden. Fisket i elv ble drevet med en rekke forskjellige redskaper i tillegg til sportsfiske (Haraldstad & Hesthagen 2003). I tillegg til elvefangstene ble det drevet et omfattende sjøfiske på Sørlandskysten i denne perioden (Dannevig 1930). Den totale beskatningsraten kan derfor ha vært høyere på den tiden enn hva den er i dag. For det tredje har vi liten eller ingen kunnskap om laksens sjøoverlevelse i denne perioden. Beregninger av smoltproduksjon ut fra fangster av voksen laks er svært følsomme for variasjoner i sjøoverlevelse. Disse usikkerhetene gjør også at det kan være vanskelig å fastslå forventet fangst i vassdraget i dag ut fra historiske fangster kombinert med vurderinger av hvor mye av produksjonsevnen som har gått tapt som følge av kraftutbygging.

Fra 1990 og framover har fangstene av laks i Mandalsvassdraget økt etter å ha vært nede på et lavmål i en årrekke. Det antas at lite av laksen som ble fanget før 1998 har vokst opp i Mandalselva. I de siste årene derimot skyldes økningen i fangstresultatet en økt tilbakevandring av laks som er vokst opp i vassdraget (Johnsen 2006). Fangstene av laks i vassdraget økte merkbart i 2001, og fangsten har variert mellom 6 og 11 tonn i perioden 2001-2005. I samme periode har prosentandelen villaks i fangstene økt og andelen utsatt laks gått ned. I skjellprøver av laks fra 2005 utgjorde villaks 93 % av fangsten (Johnsen 2006). Det er imidlertid noe usikkert om all laksen som fanges i Mandalselva er produsert i vassdraget da gjenfangster av merket smolt (både utsatt og vill fisk) tyder på en omfattende feilvandring av fisk mellom vassdrag i området (Johnsen 2006).

## 5.2 Produksjonsvurdering ut fra arealet på elva

Potensialet for produksjon av laks i Mandalselva kan grovt vurderes ved å overføre erfaringstall for smoltproduksjon fra andre elver til Mandalselva. Overføring av produksjonstall for smolt skjer vanligvis med basis i arealet av oppvekstområder på lakseførende strekning. Overføringsverdien er størst hvis en kan sammenlikne med vassdrag som produksjonsmessig kan anses å likne på Mandalsvassdraget.

Ved vurderinger av produksjonskapasitet i store elver på Sørlandet og andre steder i Norge har det vært vanlig å bruke et erfaringstall for smoltproduksjon i slike elver på fra 3 - 6 smolt pr. 100 m<sup>2</sup> elveareal (f.eks. Hesthagen & Hansen 1991, Larsen & Hesthagen 2004). Dette erfaringstallet er basert på smoltproduksjonsestimater fra norske elver som for eksempel Orkla. Smoltproduksjon i elver angis ofte som antall smolt pr. 100 m<sup>2</sup> areal uten at det oppgis ved hvilken vannføring areal er beregnet. I Orkla er vanndekket areal uten vegetasjon beregnet ut fra kart lagt til grunn for arealberegningen av elva (Hvidsten m.fl. 2004). I vårt tilfelle er arealberegningene basert på digitalt økonomisk kart. Det er noe usikkerhet knyttet til hva slags vannføring arealene beregnet ut fra økonomisk kartverk refererer til. Arealene er beregnet med den antakelse at elveflatene slik de er registrert stemmer med nåtiden. Dette representerer sannsynligvis breddfull elv. På minstevannføringsstrekningene i Mandalselva er det under kartleggingen avmerket arealer som åpenbart er tørrlagt ved normal lav vannføring. Vi antar at vår arealberegning overensstemmer noenlunde med prinsippene for arealberegninger i Orkla.

Arealet av lakseførende elvestrekninger i Mandalselva fra flomålet ved Krossen og opp til Kavfossen ble beregnet til omlag 2 700 000 m<sup>2</sup> (**tabell 1**). Et smoltproduksjonsmål basert på mellom 3 - 6 smolt pr. 100 m<sup>2</sup> elveareal gir en forventet smoltproduksjon i Mandalselva på 81 000 - 162 000 smolt. I tillegg produseres det smolt i Kosåna og andre sideelver. Arealet på lakseførende strekning i Kosåna (1,5 km lengde, ca 20 m bredde) er om lag 30 000 m<sup>2</sup>. Hvis vi anvender samme produksjonsmål her som i resten av elva gir dette en tilleggsproduksjon på fra 900 - 1800 smolt. Det lakseproduserende arealet i andre sideelver er sannsynligvis så begrenset at det utgjør lite totalt sett. Smoltproduksjonsmålet på 3 - 6 smolt pr. 100 m<sup>2</sup> inkluderer ikke produksjon i innsjøer på lakseførende strekning. Vi mangler erfaringstall for smoltproduksjonsmål i innsjøer. Vi vil komme tilbake til en vurdering av dette i kapittel 5.3.

En beregningen av smoltproduksjon med basis i erfaringstall fra andre elver tar som utgangspunkt at produksjonen er noenlunde lik mellom sammenliknbare elver uansett hvordan elvene ser ut fysisk. Dette er neppe tilfelle. Smoltproduksjonsmålet tar heller ikke hensyn til at ulike elver er påvirket av forskjellige menneskelige påvirkninger som kan påvirke produksjonen både i positiv og negativ retning. Mandalselva er påvirket av reguleringsinngrep som har påvirket produksjonen i negativ retning. Det er derfor grunn til å anta at da-

gens produksjon av laksesmolt i vassdraget kan være forskjellig fra det som forventes ut fra et generelt produksjonsmål.

### 5.3 Produksjonsvurdering basert på habitatkartlegging

En annen måte å vurdere produksjonspotensialet i Mandalselva på er å bruke de beregnede arealene for ulike substrattyper og vannhastigheter i elva. Substrat, vannhastighet og dyp antas å være de viktigste fysiske faktorene som bestemmer hvor velegnet en elvestrekning er som leveområde for ungfisk av laks og ørret. Fisken stiller krav til økende størrelse på substratet ettersom den vokser. De beste leveområdene for større ungfisk og de høyeste tetthetene av de eldste årsklassene (presmolt og smolt) finnes på de områdene av elva som har stein/storstein/blokk som dominerende substrat. Vi har valgt å se bort fra kartleggingen av vannhastighet ved beregningene av smolttetthet i Mandalselva. Dette fordi større laksunger synes å ha et svært fleksibelt habitatvalg. De lever godt i stillestående områder som innsjøer (jfr. Mannflåvann) og blir også funnet ved elfiske i de stillestående partier av terskelbassengene på minstevannføringsstrekningene i Mandalselva.

For å anslå produksjonskapasiteten for smolt i Mandalselva har vi tilordnet sannsynlige tettheter for smolt til områder med ulikt dominerende substrat. Verdiene som vi har brukt ved beregning av dagens potensial for smoltproduksjon i elva er gitt i **tabell 7**. Vi har valgt å gjøre bergningene med en variasjonsbredde for tetthet på hver substratklasse for å ta høyde for at det er variasjoner i produksjonskapasitet innen områder med samme dominerende bunnssubstrat, og at det er knyttet usikkerheter til hva slags tetthet av smolt som finnes på de ulike habitatene i Mandalselva. Denne måten å regne på gjør at det for hvert område av elva framkommer en nedre og en øvre skranke for produksjonspotensial som angir usikkerheter i overslaget. Det er imidlertid ikke nødvendigvis slik at det mest sannsynlige resultatet er gjennomsnittet av nedre og øvre skranke.

**Tabell 7.** Sannsynlige tettheter av smolt pr. 100 m<sup>2</sup> på arealer med ulikt dominerende bunnssubstrat. Disse tetthetene er brukt til å anslå dagens produksjonspotensial for laksesmolt i Mandalsvassdraget.

Dominerende bunnssubstrat	Elvestrekning		
	Kavfossen - Monan	Mannflåvann - Laudal	Monan - Mannflå Nedenfor Laudal
Sand, silt, svært fin grus (< 2 cm)	0,1 - 0,5	0,1 - 0,5	0,1 - 0,5
Fin og grov grus (2 - 16 cm)	2 - 4	2 - 4	2 - 4
Stein/storstein/blokk (> 16 cm)	7,5 - 15	7,5 - 15	6 - 12

Områder med sand, silt eller svært fin grus (< 2 cm) må anses å ha små tettheter av smolt siden skjulmulighetene for større laksunger er nærmest fraværende i et slikt bunnssubstrat. Habitatkartlegging slik den er gjennomført i Mandalselva, er imidlertid en grov metode, slik at det finnes mindre arealer med bedre levevilkår for større laksunger innen områder av elva som er karakterisert å ha fint substrat. Dessuten kan vannvegetasjon som begroinger av teppemose og krypsiv gi skjulmuligheter for laksunger. Vi anser imidlertid at det finnes

liten tetthet av smolt i slike områder og har variert smolttettheten mellom 0,1 og 0,5 pr. 100 m<sup>2</sup> bunnareal.

Områder som ved habitatkartleggingen ble karakterisert å ha fin grus (2 - 6 cm) som dominerende substrat er å anse som gode leveområder for årsyngel av laks og aure. Partier med grovere grus (6 - 15 cm) vil også være egnet som oppvekstområde for større ungfisk enn årsyngel. Ved habitatkartleggingen av Mandalselva nedenfor Laudal ble det ikke skilt mellom fin og grov grus. Vi har derfor valgt å slå sammen områder med fin og grov grus også i de øvre deler av elva ved beregning av antall smolt. I denne substrattypen har vi i utgangspunktet i tetthetsregistreringene fra Mandalselva og vurdering av presmolttetthet fra andre vassdrag variert smolttettheten mellom 2 og 4 pr. 100 m<sup>2</sup> bunnareal. På strekningen Mannflåvann - Laudal er grov grus dominerende bunns substrat i terskelbassengene.

De beste leveområdene for større ungfisk finnes på de områdene av elva som har stein eller storstein og blokk som dominerende substrat. De høyeste tetthetene av de eldste årsklassene av ungfisk (presmolt og smolt) finnes vanligvis i områder med stort innslag av større stein og blokk. Ved overvåkningsundersøkelsene i Mandalselva har de største tetthetene av eldre laksunger blitt funnet i de øvre deler av lakseførende strekning, på tre stasjoner fra nederst i Kosåna og ned til Sundet, omtrent midt mellom Kavfossen og Monan. Her har gjennomsnittstettheten av presmolt (laksunger  $\geq 95$  mm i slutten av august) vært om lag 20 individ pr. 100 m<sup>2</sup> i årene 2002 - 2005. Disse tallene antyder at tettheten av smolt (avhengig av hvor stor dødelighet det er den siste vinteren) på slike områder kan være i størrelsesorden 10-15 smolt pr. 100 m<sup>2</sup>. Det er begrensede gytemuligheter øverst i Mandalselva opp mot Kavfossen. Det kan derfor stilles spørsmål om disse områdene er fullrekruttert med rogn og årsyngel, slik at en kan forvente en ytterligere økning av presmolt på disse områdene. Dette området har et bunns substrat som gjør at området må anses å være av de mest egnede leveområdene for store laksunger i hele elva. Vi er mer usikre på kvaliteten av andre områder i elva som er karakterisert å ha stein/storstein/blokk som dominerende substrat, for eksempel på strekningen Mannflåvann - Laudal. Produksjonskapasiteten for laksunger på minstevannføringstrekningene må også anses å være begrenset av lengre perioder med lav vannføring både vinter og sommer. Vi har likevel valgt å variere smolttettheten mellom 7,5 og 15 pr. 100 m<sup>2</sup> bunnareal i denne substrattypen for begge minstevannføringstrekningene. Vekstforholdene varierer gjennom vassdraget (se kapittel 6). Veksten er best på de to minstevannføringsstrekningene, og her kan det forventes en stor andel 2-årig smolt. Veksten er vesentlig dårligere på strekningene som ikke er fraført vann, Monan - Mannflå og nedenfor Laudal. I disse delene av elva vil vi ha en overvekt av 3-årig smolt. Dårligere vekstforhold og høyere smoltalder gjør at vi forventer en lavere smolttetthet i områdene med grovt substrat på disse to elvestrekningene. Dessuten synes ikke alle områdene med grovt bunns substrat i disse delene av elva å ha like gode leveområder for store laksunger som for eksempel områdene øverst på strekningen Kavfossen - Monan. I motsetning til på minstevannføringsstrekningene anser vi ikke at produksjonskapasiteten på disse delene av elva er begrenset av vannføringsforhold. Vi har derfor valgt å variere smolttettheten mellom 6 og 12 pr. 100 m<sup>2</sup> bunnareal på disse strekningene av elva.

Det produseres laksesmolt også i Mannflåvann. Prøvefiske med garn har vist at Mannflåvann kan være et viktig oppvekstområde for laksunger (Hesthagen & Johnsen 2004, 2006). I følge Lura (2005) er tettheten av laksesmolt i innsjøer som er undersøkt i Norge mindre enn 13 individ pr. 100 m<sup>2</sup> produktivt areal, og i de fleste innsjøene i Sør-Norge ligger tettheten i intervallet 1-4 smolt pr. 100 m<sup>2</sup>. Med produktivt areal menes bunnareal mellom 0-3 m dyp, fordi laksungene hovedsakelig fanges på grunt vann. Dette samsvarer med resultatene fra Mannflåvann, der prøvefisket viste en vesentlig høyere tetthet av laksunger på 0-3 m dyp enn på 3-6 m dyp (Hesthagen & Johnsen 2006). Dette anslaget over smolttetthet er basert på en uverifisert sammenheng mellom fangst på en spesiell type

garn og tetthet av fisk (Lura 2002, 2005), slik at sammenhengens gyldighet er usikker. I mangel av annen kunnskap forsøker vi likevel å bruke denne relasjonen for å si noe om mulige mengder smolt i Mannflåvann.

Fangstutbyttet av laksunger i Mannflåvann høsten 2005 var på om lag samme nivå som fangstutbyttet i Molaugsvatnet i Rogaland (Lura 2005). Etter Luras metode har Molaugsvatnet en presmolttetthet på 2 individ pr. 100 m<sup>2</sup> produktivt areal. Vi kjenner ikke dybdeforholdene i Mannflåvann så godt at vi kan vurdere hvor store arealer som ligger på 0-3 m dyp. Innsjøen har imidlertid en lang strandlinje, slik at dette arealet kan være betydelig. Mannflåvann har et overflateareal på 2 km<sup>2</sup> (200 ha). Hvis 10 % av overflatearealet i Mannflåvann ligger i dybdeintervallet 0-3 m så vil en presmolttetthet på 2 individ pr. 100 m<sup>2</sup> bety en total bestand på 4 000 presmolt i innsjøen. Hvis det produktive arealet er 25 % av overflatearealet betyr det at bestanden av presmolt er 10 000. Hesthagen & Johnsen (2006) forventer en økt tetthet av laksunger i innsjøen i åra som kommer. Hvis presmolttettheten øker til 4 individ pr. 100 m<sup>2</sup> produktivt areal vil totalbestanden i innsjøen øke til 8 000 eller 20 000 for et produktivt areal på henholdsvis 10 eller 25 % av overflatearealet. En stor del av de laksungene som ble fanget ved prøvefisket i Mannflåvann var av en slik størrelse at de sannsynligvis ville vandret ut som smolt året etter. I de videre beregninger har vi skjønnsmessig antatt at smoltantallet i Mannflåvann vil være et sted mellom 5 000 - 15 000 individer.

**Tabell 8.** Beregning av potensialet for smoltproduksjon i Mandalselva inkludert Mannflåvann. Anslaget angir antall smolt i ulike deler av Mandalsvassdraget. Beregningene bygger på antagelser vedrørende tetthet av smolt i områder med ulikt dominerende bunnsubstrat og en grov vurdering av forekomsten av smolt i Mannflåvann. For hvert område er det beregnet en nedre og øvre skranke for produksjonens kapasiteten.

Strekning	Estimert antall smolt	
	Nedre skranke	Øvre skranke
Kavfossen - Monan (4 km)	6000	12000
Monan - Mannflåvann (8 km)	6500	14500
Mannflåvann	5000	15000
Mannflåvann - Laudal (7 km)	8500	17500
Laudal - Krossen (20 km)	28500	59500
Sum for elva	54500	118500
Sum ovenfor inntak Laudal kraftverk	17500	41500

Med basis i anslagene for smolttetthet på arealer med ulikt bunnsubstrat på elvestrekningene av Mandalselva (**tabell 7**) og en gjetning av mulig smoltproduksjon i Mannflåvann har vi beregnet potensialet for smoltproduksjon i Mandalselva i dag til å være et sted mellom 54 500 til 118 500 smolt (**tabell 8**). Hvis vi ser bort fra antatt produksjon i Mannflåvann tilsvarer dette mellom 1,8 og 3,8 smolt pr. 100 m<sup>2</sup> elveareal.

Den største usikkerheten i dette anslaget er mangelen på kunnskap om hvor mye smolt som produseres i Mannflåvann. En mer detaljert undersøkelse av dybdeforhold og substratforhold i innsjøen kunne gi et bedre grunnlag for å vurdere dagens smoltproduksjon i innsjøen. Det er også usikkert om antallet laksunger i Mannflåvann vil fortsette å øke i årene fremover, og eventuelt hvor høyt antallet kan bli.

Den største usikkerheten i anslagene over smoltproduksjon på elvestrekningene ligger i mangelen på kunnskap om tettheter av større laksunger i de ulike habitatyper i nedre del av elva. Vi har ingen observasjoner over tettheten av store laksunger i de smalere og striere delene av elva, verken på strekningen Monan - Mannflåvann eller på strekningen nedenfor Laudal. Det er hovedsakelig i disse partiene av elva vi finner det groveste substratet som må forventes å ha de største tetthetene av presmolt/smolt. Overvåkingsundersøkelsene med hensyn på utvikling i bestandene etter kalking er ikke primært designet for å samle inn laksunger på flest mulige habitatyper. Dessuten er elfiske lite egnet for tetthetsestimater i strie, dype deler av elva. Undersøkelsene foregår også til en tid på året, slutten av august, med høye vanntemperaturer. Fangbarheten av eldre laksunger ved elfiske under slike forhold er lave, spesielt i striere og dypere elvepartier. Mer kunnskap om den faktiske tettheten av fisk i disse habitatene ville gjort overslagene noe sikrere.

Våre beregninger gjelder potensialet for smoltproduksjon. For at dette potensialet skal kunne realiseres må det finnes tilstrekkelig antall egnede gyteområder, og det må være nok gytefisk til at disse gyteområdene utnyttes. På de to minstevannføringsstrekningene synes det i dag å være noe begrenset med egnede gyteområder. En full utnyttelse av produksjonskapasiteten i Mannflåvann betinger også at det er store nok gyteområder på oversiden av innsjøen.

Produksjonspotensialet for laks kan også anslås ut fra beregninger av totalt antall årsyngel i vassdraget. Vi har benyttet gjennomsnittlig tetthet av laksyngel i 2002 - 2005 på de fire delstrekningene av elva, og beregnet oppvekstarealet som sum av områdene med fin grus, grov grus og stein/storstein/blokk. En slik beregning gir en gjennomsnittlig totalproduksjon for årene 2002 - 2005 på noe over 600 000 laksyngel i Mandalselva. På grunn av ulik vekst på de forskjellige delstrekningene (se kapittel 3 og 7) har vi regnet med at laksungene smoltifiserer som toårig smolt på strekningene Kavfossen-Monan og Mannflåvann-Laudal, men som treårig smolt på de to andre strekningene. Dødelighet hos laksunger er ofte 90 % første sommeren etter klekking, med årlig dødelighet på 40-60 % de påfølgende år (Symons 1979). Tettheten av laksyngel er undersøkt i august, og i beregningene våre antar vi 50 % dødelighet hvert år i ett eller to år (avhengig av delstrekning), og en dødelighet på 30 % fra august og fram til smoltifisering neste vår. Med disse forutsetningene vil antall laksyngel som produseres i Mandalselva i dag kunne gi opphav til nærmere 125 000 smolt. Dette tilsvarer en forventet gjennomsnittlig tetthet på 4,6 smolt pr. 100 m<sup>2</sup>, altså noe høyere enn produksjonskapasiteten beregnet ut fra antagelser om smolttetthet i ulike habitater av elva. Beregningene basert på årsyngel er imidlertid beheftet med stor usikkerhet fordi vi ikke kjenner dødeligheten til laksunger i elva. Dessuten er årsyngelen mer klumpvis fordelt i elva, slik at det er vanskelig å oppskalere fra prøveflater til hele elva.

## 5.4 Produksjonsvurdering basert på fangst av laks

En måte å kontrollere våre produksjonsanslag for de øverste delene av Mandalsvassdraget er å benytte tellingene av oppvandrende laks over dammen i Mannflåvann i 2005 (Lura 2006a) til å beregne smoltproduksjonen i denne delen av vassdraget. Ved å gjøre antagelser omkring beskatningsrater og laksens tilhørighet kan vi bruke antallet laks som vandret forbi dammen til å anslå hvor mange smolt som må til for å gi så mange voksne laks. Det ble talt 1 093 oppvandrende fisk over dammen i 2005, og Lura (2006a) anslår totaloppvandringen (korrigert for hull i observasjonene) til 1 329 fram til 10. oktober. Fangststatistikken ovenfor Mannflåvann antyder at andelen av ørret blant den oppvandrende fisken var lav (ca 3 % ørret). Det kan også ha vandret opp noe fisk etter 10. oktober, og anslår vi dette til å utgjøre 5 % får vi et anslag på 1 350 laks som passerte dammen. Av disse ble 214 laks rapportert fanget. Av laksen som passerte dammen ved Mannflåvann var derfor om-

lag 1 150 i live etter fiskesesongen. For å forenkle beregningen vil vi anta at all oppvandrende laks er én-sjø-vinter laks og at fisken dermed gikk ut som smolt våren 2004. Fordi laksebestanden i Mandalselva er så dominert av smålaks (gjennomsnittstørrelse 2,2 kg, og 85 % av fisken mindre enn 3 kg i 2005), og derfor trolig én-sjøvinter-laks, har denne forutsetningen liten betydning for resultatet av beregningene. Videre vil vi anta at all laksen som gikk opp forbi dammen er produsert på oversida, og at all laks som hører til på oversida vandrer dit så sant den ikke blir fanget i de nedre deler av vassdraget.

Vi kjenner ikke beskatningsratene for laks i Mandalselva, men beskatningsrater på 30 - 50 % er vanlig når beskatningen regnes for hele elver (Fiske & Aas 2001, Hvidsten m.fl. 2004). I tillegg beskattes laksen i sjøen. Vi regner derfor i første omgang med en totalbeskatning av laks hjemmehørende på oversida av dammen i Mannflåvann på 50 % i elve- og sjøfisket. Dette innebærer at 2 300 laks, som var produsert på oversida, overlevde fra smolt fram til beskatning. Basert på estimer for sjøoverlevelsen til utvandrende smolt i lmsa i 2004 (Hansen m.fl. 2006), korrigert for merkedødelighet (Hansen 1988), anslår vi det ikke usannsynlig med en overlevelse fram til sjøfiskeriene på 15 % for smolt som vandret ut i 2004 (se kapittel 5.5). Fra Mandalselva vandret det derfor ut om lag 15 000 smolt som var produsert ovenfor dammen i Mannflåvann våren 2004. Basert på radiotelemetri gikk om lag halvparten av smolten som vandret ut fra de øvre deler av vassdraget gjennom kraftverket våren 2004 (Uglem m.fl. 2005), og vi antar (i mangel på faktisk kunnskap) at halvparten av disse døde som følge av dette (se kapittel 6.3). Denne antagelsen betyr at 25 % av smolten som ble produsert på oversida døde i kraftverket. Korrigert for denne dødeligheten var antallet smolt på oversida av kraftverket våren 2004 om lag 20 000 individ. Dette anslaget ligger nært nedre skranke (17 500) for vårt overslag over produksjonskapasiteten i vassdraget ovenfor inntaket til Laudal kraftverk (**tabell 8**). Anslaget er sensitivt for usikkerhet i sjøoverlevelse, og med 10 % sjøoverlevelse blir anslaget 30 000 smolt (midt mellom øvre og nedre skranke) og med 20 % sjøoverlevelse blir anslaget 15 000 smolt (nær nedre skranke). Anslaget er mindre sensitivt for de totale beskatningsratene. Hvis vi regner med 15 % sjøoverlevelse, gir en total beskatningsrate på 60 % (sum av beskatning i elv og sjø), 17 000 smolt, mens en beskatningsrate på 40 % gir 25 000 smolt. Vi anser det som svært lite sannsynlig at den totale beskatningsraten av Mandalslaks er lavere enn 40 % (se også neste avsnitt). Disse beregningene er basert på flere usikre antagelser, men resultatene stemmer rimelig godt med våre anslag for produksjonskapasitet basert på habitatkartleggingen, spesielt hvis vi tar i betraktning at laksebestanden er under reetablering og at en økning i produksjonen er forventet. Hvor stor denne økningen kan tenkes å bli er imidlertid usikkert.

Tellingene av oppvandrende laks over dammen i Mannflåvann, og våre anslag for hvor mye av laksen som kan produseres fra utløpet av Mannflåvann og opp, gir imidlertid også et grunnlag for å anslå beskatningsraten for denne fisken i Mandalselva i 2005. Vurderingene av produksjonskapasitet i ulike deler av vassdraget (se **tabell 8**) tilsier at omlag 34 % av produksjonen vil foregå ovenfor dammen i Mannflåvann. Vi vet ikke hvor stor del av produksjonskapasiteten som er realisert i de ulike deler av elva. Det er ingenting fra overvåkingen som tyder på at øverste delene av vassdraget har kommet kortere i reetableringsprosessen (se kapittel 3), og vi antar som utgangspunkt at 34 % av produksjonen i dag foregår på oversida av dammen i Mannflåvann. Vi antar at 25 % av smolten som ble produsert i de øvre deler av elva ble drept i kraftverket våren 2004. Korrigerer vi for denne dødeligheten, utgjorde smolt produsert ovenfor dammen i Mannflåvann 26 % av den smolten som vandret ut av Mandalselva våren 2004. Av en total fangst på omlag 5 150 laks i 2005, ble om lag 4 950 laks fisket nedenfor Laudal. Hvis vi antar lik fangstrate for laks produsert på oversida av dammen i Mannflåvann som i de nedre deler av vassdraget, var om lag 1 300 av laksen (26 %) som ble fanget nedenfor Laudal, produsert i de øvre deler av vassdraget. I tillegg ble ca 200 laks rapportert fanget i de øvre deler. Totalt for gir dette en fangst av 1 500 laks produsert ovenfor dammen i Mannflåvann, mens 1 150 laks fra de

øvre deler av elva ikke ble fanget. Dette regnestykket gir en beskatningsrate av laks hjemmehørende i øvre deler av elva på omlag 57 % i 2005. Beskatningsrater opp mot 60 % er høyt, men ikke ekstremt høyt. En mulig forklaring på den høye beskatningen kan være hardt fiske i elva. I tillegg kan laks fra øvre områder samles opp på strekningen nedenfor Laudal kraftverk og minstevannføringsløpet mellom Laudal og Mannflåvann. Det er kjent fra andre elver at beskatningen av laks nedenfor vandringshindre kan bli høy. Fangstene på fiskestrekningene nedstrøms Laudal (sone 3), utgjorde i størrelsesorden 60 % av totalfangsten i 2005. Disse beregningene av beskatningsrater er basert på flere usikre antagelser, men uansett tyder beregningene på at beskatningsraten av laksen i elva er relativt høy. Hvis vi undervurderer betydningen av produksjonen i de øvre deler av elva relativt til de nedre deler blir beskatningsraten høyere, og omvendt. En høy beskatningsrate innebærer at en relativt lav smoltproduksjon i antall, likevel kan gi et relativt høyt antall voksen laks fanget. Høy beskatningsrate kan derfor være med på å forklare de høye fangstene av laks i Mandalselva selv om vassdraget fremdeles er under reetablering.

## 5.5 Diskusjon

Produksjonskapasiteten for smolt i Mandalselva i dag ble ut fra habitatkartleggingen anslått å være et sted mellom 54 500 til 118 500. Hvis vi ser bort fra antatt produksjon i Mannflåvann, tilsvarer anslaget mellom 1,8 og 3,8 smolt pr. 100 m<sup>2</sup> elveareal. Dette anslaget er på samme nivå som estimert smoltproduksjon i de to regulerte elvene Suldalslågen (2,1 - 3,3 individer per 100 m<sup>2</sup>, Saltveit & Bremnes 2004) og Eira (3,1 - 4,0 individer per 100 m<sup>2</sup>, Jensen m.fl. 2004). Begge disse elvene har en gjennomsnittlig smoltalder på om lag 3 år, ikke så ulikt Mandalselva. Begge elvene har redusert produksjon som følge av kraftutbygging eller andre forhold i vassdraget. Etter den siste reguleringen har Suldalslågen redusert vannføring både vinter og sommer, men vannføringen om vinteren er aldri lavere enn 12 m<sup>3</sup>/s, noe den kunne være i uregulert tilstand. Eira er en regulert elv med svært redusert vannføring (62 % reduksjon i middelvannføringen), men vintervannføringen er jevn og høy på grunn av Eikesdalsvatnet.

Våre anslag over smoltproduksjon for Mandalselva er imidlertid en god del lavere enn i den regulerte elva Orkla, som har hatt en gjennomsnittlig smoltproduksjon på om lag 5 smolt pr. 100 m<sup>2</sup> de siste årene (Hvidsten m.fl. 2004). Reguleringen av Orkla har ikke endret middelvannføringen i vassdraget, men vannføringen er utjevnet gjennom året med mindre flomtopper og høyere vintervannføring. Orkla er normalt en næringsfattig elv, og vurderes av Hesthagen & Hansen (1991) til å være mer representativ for de forsured elvene på Sørlandet med hensyn på produktivitet enn for eksempel produktive småelver i Rogaland. Smoltalderen i Orkla har de siste årene variert mellom 3,3 og 3,8 år (Hvidsten m.fl. 2004). Vurderinger tilsier at smoltproduksjonen i Orkla har økt etter regulering (Hvidsten m.fl. 2004), i motsetning til produksjonspotensialet i Mandalselva som har blitt redusert etter utbygging (se kapittel 6).

Med utgangspunkt i smoltproduksjonen kan forventet fangst av voksen laks beregnes ved å gjøre noen forutsetninger om sjøoverlevelse og beskatningsrater. Antar vi en sjøoverlevelse på 10 %, en total beskatningsrate på 50 %, fordeling av fangst sjø/elv på 25/75 %, og gjennomsnittlig vekt av voksen laks på 2,5 kg (kfr. Larsen & Hesthagen 2004), vil en beregnet smoltproduksjon på 54 500 - 118 500 gi en fangst av laks i Mandalselva på fra 2 000 til 4 400 fisk, med et vektutbytte på mellom 5 og 11 tonn. Denne forventede fangsten er lavere enn laksefangsten i Mandalselva i 2005 som var 5 100 laks og 11 tonn. Dette synes å indikere at våre anslag for smoltproduksjon er for lave.



Beregninger av forventet fangst ut fra antall smolt produsert er imidlertid svært følsomme for variasjoner i laksens sjøoverlevelse. Antar vi en sjøoverlevelse på 20 %, og holder de andre antagelsene i regnestykket ovenfor konstant får vi et annet resultat. Med en slik sjøoverlevelse vil en smoltproduksjon på 54 500 - 118 500 smolt kunne gi en elvefangst på fra 4 100 - 8 900 laks, eller fra 10 til 22 tonn hvis fangsten angis i vekt. I dette tilfellet synes vårt anslag for smoltproduksjon i Mandalselva å være rimelige. Disse to beregningene kan imidlertid indikere at produksjonspotensialet i vassdraget ligger nærmere øvre skranke for vårt anslag enn nedre skranke.

Sjøoverlevelsen til smolten frem til beskatning i sjøfiskeriene varierer mye mellom år (Hvidsten m.fl. 2004, Hansen m.fl. 2005). For villsmolt i Imsa som kom tilbake som smålaks, har estimert sjøoverlevelse fram til beskatning i sjøfiskeriene variert fra om lag 2 til 12,5 % for smolt som vandret ut i årene 1997 - 2003 (Hansen m.fl. 2005). Disse overlevelsesestimaterne er ikke korrigert for ekstra dødelighet av smolten som følge av behandling og merking av fisken, og slik dødelighet kan være betydelig (Hansen 1988). Korrigert for slik ekstra dødelighet kan sjøoverlevelsen fram til smålaks i årene med høyest overlevelse være over 20 %. En sjøoverlevelse fra smolt til smålaks på omkring 20 % er også beregnet for Orkla i enkelte år, men også her var variasjonen stor over tid (Hvidsten m.fl. 2004).

Merkeforsøkene med villsmolt i Imsa viste at sjøoverlevelsen for fisk som gikk ut som smolt i 2000 var den høyeste som er registrert de siste årene med om lag 12,5 % overlevelse fram til beskatning i sjøfiskeriene uten korrigering for ekstra merkedødelighet. Denne fisken gikk opp i elvene som én-sjø-vinter laks i 2001. Hvis vi antar at sjøoverlevelsen til smolten fra Agder-elvene samvarierer med sjøoverlevelsen til villsmolt fra Imsa i Rogaland, kan den gode sjøoverlevelsen for smoltårgangen 2000 være med på å forklare de svært gode fangstene av smålaks i Mandalselva i 2001. For villsmolt fra Imsa som vandret ut som smolt i årene 2001 - 2003 var sjøoverlevelsen fram til smålaks vesentlig lavere enn for smolt som vandret ut i 2000 (Hansen m.fl. 2005, 2006). Dette samsvarer også med lavere fangster av smålaks i Mandalsvassdraget i årene 2002 - 2004 enn i 2001. Sjøoverlevelsen til villsmolt i Imsa som gikk ut i 2004 var noe høyere enn de foregående årene, med om lag 6,5 % overlevelse fram til beskatning i sjøfiskeriene uten korrigering for ekstra merkedødelighet. Økte fangster av smålaks i Mandalsvassdraget i 2005 kan derfor i noen grad tilskrives en høyere sjøoverlevelse for smolten som vandret ut i 2004 enn de foregående årene. Våre anslag over beskatningsrater av laks i Mandalsvassdraget (se kapittel 5.4) tyder på at elvebeskatningen av laks i vassdraget er høyere enn i regneeksemplene ovenfor. Høyere beskatning vil også gi høyere fangster av laks enn overslag over smoltproduksjonen tilsier. Dette kan også ha bidratt til høye laksefangster i vassdraget i 2005.

I tillegg til usikkerhet om sjøoverlevelse og beskatningsrater kan det være flere årsaker til avik mellom beregnede og observerte størrelser ved slike anslag over smoltproduksjon. Vi kan ha undervurdert produksjonskapasiteten i hele eller deler av vassdraget. Vi har gitt en relativt detaljert beskrivelse av våre forutsetninger og måter å regne på slik at det skulle være enkelt å oppjustere anslagene dersom ny kunnskap skulle tilsi at vi har tatt feil. Den største usikkerheten i anslagene er knyttet til usikkerheten omkring hvor mye smolt som produseres i Mannflåvann, og hvordan produksjonen i denne innsjøen blir fremover. Vårt anslag på fra 5000 - 15000 smolt i Mannflåvann er basert på lite faktisk kunnskap og mye skjønn. Produksjonskapasiteten kan godt være betydelig høyere, men også lavere. Laksunger vokser bedre i innsjøer enn i elver (Halvorsen 1995). Dette framgår også av resultatene av prøvefisket i Mannflåvann i 2005, hvor laksungene er vesentlig større ved samme alder enn i elva ovenfor (Hesthagen & Johnsen 2006). Smolt som produseres i innsjøer blir derfor yngre enn smolt i elver, noe som gir større produksjon. Det er også mulig at overlevelsen til laksunger i innsjøer kan være større enn i elver fordi innsjøer har et mindre variabelt fysisk miljø (ikke store vannstandsvariasjoner og mindre sesongmessig variasjon i temperatur) enn elver. Dette vil også bidra til økt produksjon.

Vi har antatt at det ikke skjer noen smoltproduksjon av betydning utenfor de elvestrekninger vi har kartlagt. Fra munningen og opp til Krossen er Mandalselva om lag 7 km lang, og her er det store arealer. Elva er brakkvannspåvirket i denne delen, men vi vet ikke hvor mye. Vi har liten kunnskap om laksunger bruker slike deler av elver og hvor høy tettheten av smolt kan være på slike strekninger.

I neste kapittel gjør vi et overslag over tap i smoltproduksjon som følge av kraftutbyggingen i vassdraget. Vi anser det som sannsynlig at tapet i smoltproduksjon er i størrelsesorden 20 - 40 %. Tapet skyldes etter vår vurdering hovedsakelig en kraftig redusert produksjonskapasitet på strekningen Mannflåvann - Laudal og en noe mindre reduksjon på strekningen Kavfossen - Monan. I resten av elva har vi ikke vurdert at reguleringen har ført til vesentlige endringer i produksjonsforholdene. Vi har ikke vurdert mulige tap som følge av raske vannstandsendringer som skyldes planlagt eller uforutsett stopp i kraftproduksjonen. Vi har heller ikke vurdert om endret vannføringsregime som følge av kraftverksreguleringen har ført til forandringer i sedimenttransport og andre prosesser som kan tenkes å innvirke på produksjonsforholdene for fiskunger i elva.

Korrigert for tapet i smoltproduksjon som følge av kraftutbyggingen kan vi anslå produksjonen i Mandalselva før regulering til mellom 67 000 - 144 000 smolt med det laveste anslaget for tapt produksjon (om lag 20 % tap). Hvis vi legger det høyeste tapsanslaget til grunn (40 % reduksjon) var produksjonen i Mandalsvassdraget 89 500 - 189 000. Dette siste anslaget tilsier en smoltproduksjon på mellom 3,1 - 6,4 smolt pr. 100 m<sup>2</sup> elveareal, om vi holder produksjonen i Mannflåvann og sideelver utenom beregningene.

En smoltproduksjon på 89 500 - 189 000 vil med en beskatningsrate på 50 %, fordeling av fangst sjø/elv på 50/50 % (mulig fordeling mellom sjøfiske og elvefiske på slutten av 1800-tallet), gjennomsnittlig vekt av voksen laks på 2,5 kg, og en sjøoverlevelse frem til fangst på 20 %, gi en forventet fangst av laks i Mandalselva på fra 11 til 24 tonn laks. Dette regnestykket viser at anslaget over smoltproduksjon i Mandalselva før kraftutbygging kan ha gitt slike gjennomsnittsfangster som statistikken fra 1880/90-årene antyder, men at sjøoverlevelsen til smolten må ha vært høy i den perioden for at slike fangster skulle ha vært mulig. Hvis beskatningsratene i elvefisket på slutten av 1800-tallet var høyere enn vi har antatt, kan dette også ha bidratt til at fangstene i denne perioden var store.

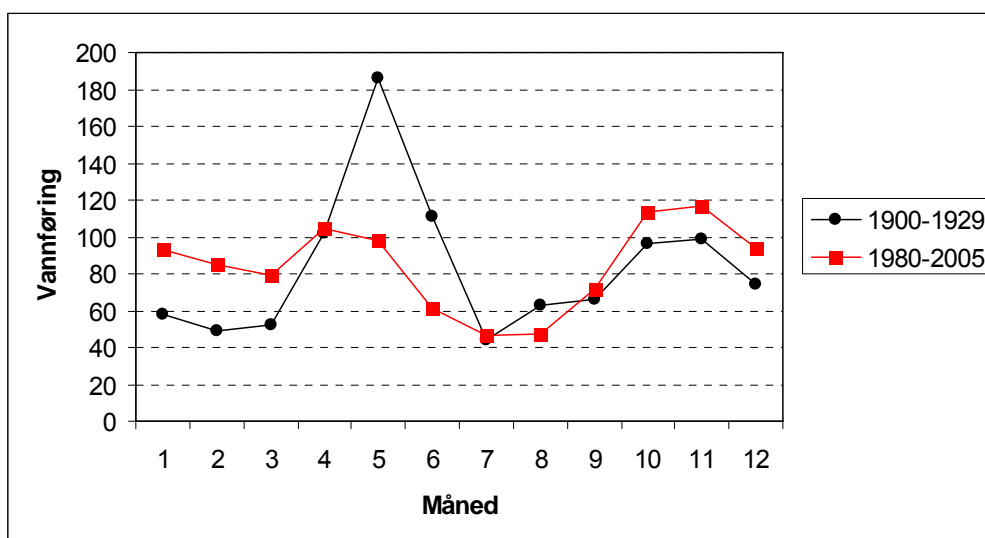
Fangsten av laks i Mandalselva er allerede høy og det er etter vår vurdering lite trolig at den vil bli vesentlig mye høyere i framtida. Fangster på 11 tonn tilsvarer over 4 000 kg pr km<sup>2</sup> elvestrekning, noe som plasserer Mandalselva blant de mer produktive vassdragene i Norge, til tross for at vassdraget er relativt næringsfattig. Noe av fangsten i Mandalsvassdraget kan være feilvandrerer fra andre vassdrag, fordi det ser ut til at feilvandringen er stor i distriktet, og Mandalselva er et stort vassdrag som kan tiltrekke seg mye fisk. Dette vil trolig endre seg ettersom de nyetablerte bestandene i de kalkede vassdragene tilpasser seg lokale miljøforhold, og presisjonen i tilbakevandringen bedrer seg. I dag kan også Mannflåvann bidra vesentlig til produksjonen, og mer enn det vi har anslått, men dette bidraget kan reduseres i framtida hvis arter som abbor og røye reetableres. Vi har heller ingen indikasjoner på at våre anslag for smolttetthet i ulike deler av elva er *vesentlig* lavere enn potensialet, verken på bakgrunn av habitatforhold (som ikke framstår som spesielt gode), vekstforhold inklusive smoltalder (som til tross for relativt høye sommertemperaturer ikke ser ut til å gi spesielt ung smolt) eller næringsrikhet. Det er ikke usannsynlig at produksjonskapasiteten ligger nærmere den øvre skranken for vårt anslag enn den nedre skranke. Spesielt dersom betydningen av Mannflåvann er større enn vi har anslått er dette mulig. I så fall kan fangster av laks på i overkant av 10 tonn kunne bli relativt vanlig.

## 6 Effekter av kraftutbyggingen

Vi har vurdert mulige endringer i produksjonen som følge av endret vannføring, endret vanntemperatur og endrede habitatforhold i vassdraget. I dette kapitlet tar vi først en gjennomgang av vannføring- og vanntemperaturforhold som kan ha betydning for produksjonen av laks. Deretter vurderer vi hvordan reguleringen har påvirket laksens vandringsveier i vassdraget (voksne opp - smolt og vinterstøinger ut, spesielt i forhold til Laudal kraftverk) og hva dette kan ha å si for produksjonen. Til slutt gjør vi en samlet vurdering av effekten av endrede fysiske forhold på smoltproduksjonen, strekning for strekning, og hva kraftutbyggingen har betydd for lakseproduksjonen i vassdraget som helhet.

### 6.1 Vannføring

For vurderingen av endringer i vannføring som følge av kraftutbyggingen har vi benyttet vannføringsmålinger fra NVEs stasjoner i Mandalsvassdraget: Kjølmo, Laudal, Håverstad og Myglevatn. NVE har målt vannføringen på Kjølmo, langt ned i vassdraget, siden 1896. For å undersøke endringene i vannføringsregime som følge av reguleringene i vassdraget plukket vi ut en 30-års periode fra 1900 - 1929 som referanseperiode. Det første kraftverket i Mandalsvassdraget, Skjerka kraftverk, sto ferdig i 1932. Denne referanseperioden har vi sammenliknet med 26-års perioden 1980 - 2005. Middelvannføringen i de to periodene er lik med 83,4 og 84,2 m<sup>3</sup>/s i henholdsvis 1900 - 1929 og 1980 - 2005. Vi har i utgangspunktet antatt at endringene i sesongvariasjoner i vannføring ved Kjølmo er representativ for sesongvariasjonen i vannføring på den delen av lakseførende strekning som ikke er blitt fraført vann.



**Figur 6.** Gjennomsnittlig døgnmiddelvannføring (m<sup>3</sup>/s) for ulike måneder ved Kjølmo for perioden 1900 - 1929 og perioden 1980 - 2005. Data fra NVE.

### 6.1.1 Vannføring på strekninger uten fraført vann

Ved kraftutbyggingen i Mandalsvassdraget er det ikke ført vann bort fra nedslagsfeltet. Utbyggingen har ført til utjevnet vannføring over året på de strekningene hvor alt vannet passerer (**figur 6**), det vil si strekningen Monan - Mannflåvann og nedenfor Laudal kraftverk. På disse strekningene har gjennomsnittsvannføringen økt om høsten og vinteren (oktober - mars), avtatt om våren (mai - juni), mens gjennomsnittsvannføringen er lite endret om sommeren (juli - september).

Reguleringen har ført til en markert endring i minste vintervannføring. Før regulering kunne laveste døgnmiddel om vinteren, i perioden januar-mars, bli svært lav. Ved Kjølamo var gjennomsnittlig minste døgnmiddel i disse tre månedene  $11,8 \text{ m}^3/\text{s}$  (variasjonsbredde  $2,2 - 20,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ) for perioden 1900 - 1929. I løpet av disse 30 årene var laveste døgnmiddel lavere enn  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  i 12 av årene (40 %). Etter regulering har gjennomsnittlig minste døgnmiddel økt til  $33,1 \text{ m}^3/\text{s}$  (variasjonsbredde  $9,8 - 48,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ), med kun ett år med lavere døgnmiddel enn  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ . Ved Laudal var gjennomsnittlig minste døgnmiddel  $29,4 \text{ m}^3/\text{s}$  (variasjonsbredde  $9,8 - 48,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) i perioden 1982 - 2004. Det forventes et noe lavere døgnmiddel ved Laudal enn ved Kjølamo, lengre ned i vassdraget. Økningen i minste døgnmiddel som følge av reguleringen, målt ved Kjølamo synes derfor å gjelde i alle fall opp til Laudal.

Reguleringen har også ført til en økning i minste sommervannføring. Før regulering kunne laveste døgnmiddel om sommeren, i perioden juli-september, bli lav. Ved Kjølamo var gjennomsnittlig minste døgnmiddel i disse tre månedene  $9,8 \text{ m}^3/\text{s}$  (variasjonsbredde  $3,6 - 34,3 \text{ m}^3/\text{s}$ ) for perioden 1900 - 1929. I løpet av disse 30 årene var laveste døgnmiddel lavere enn  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  i 21 av årene (70 %). Etter regulering har gjennomsnittlig minste døgnmiddel om sommeren økt til  $18,6 \text{ m}^3/\text{s}$  (variasjonsbredde  $7,5 - 37,0 \text{ m}^3/\text{s}$ ), og bare to av 26 år hadde lavere døgnmiddel enn  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Reguleringen har ført til vesentlig lavere vårflo i Mandalselva (**figur 6**). Gjennomsnittlig maksimumsvannføring i mai i perioden 1980 - 2005 har vært  $174,5 \text{ m}^3/\text{s}$  (variasjonsbredde  $86 - 352 \text{ m}^3/\text{s}$ ), sammenliknet med  $336,7 \text{ m}^3/\text{s}$  (variasjonsbredde  $143 - 617 \text{ m}^3/\text{s}$ ) i perioden 1900 - 1929.

Ovenfor har vi gitt en gjennomgang av noen vannføringsmål som kan ha betydning for fiskeproduksjonen basert på døgnmiddelverdier for vannføring. Vannføringen kan imidlertid også variere over døgnet som følge av kjøringen av kraftverkene. Slike variasjoner over døgnet kan ha betydning for fiskeproduksjonen, spesielt hvis variasjonene er store og vannføringsendringene skjer raskt. Dersom endringene er raske nok kan fiskunger strande, og bunndyrfaunaen påvirkes negativt (f.eks. Harby m.fl. 2004). Vi har ikke vurdert effekten av eventuelle slike vannføringsvariasjoner på fiskeproduksjonen i elva. Begge kraftverkene på lakseførende strekning har minste vannføringskrav knyttet til driften. Bjelland kraftverk, er utstyrt med to maskiner med en samlet slukeevne på  $78 \text{ m}^3/\text{s}$ . Vannføringen kan variere over døgnet og ved kjøring av en maskin kan man gå helt ned til  $8 \text{ m}^3/\text{s}$ , men man går sjeldent så lavt (Johnsen m.fl. 1999). Minste vannføringen fra Bjelland kraftverk er  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Laudal kraftverk er utstyrt med to Francisturbiner og vannføringen i kraftverket kan variere mellom  $15$  og  $110 \text{ m}^3/\text{s}$ . Minste vannføringen fra Laudal kraftstasjon skal være minst  $15 \text{ m}^3/\text{s}$  når kraftstasjonen går. Når kraftverket stoppes, skal det slippes minst  $8 \text{ m}^3/\text{s}$  fra Mannflåvann, men ikke mer enn naturlig tilsig.

Verken Bjelland kraftverk eller Laudal kraftverk har omløpsventiler. Hvis kraftverkene stopper brått, vil det ta en god stund før vann fra de respektive magasinene når frem til el-

vestrekningene nedenfor kraftverkene. Slike plutselige stopp i kraftverk gir en rask vannstandsending i elva nedenfor kraftverksutløpet og stranding av fiskeunger vil kunne skje. Kortvarige stopp av kraftverkene vil heller ikke komme frem ved analyse av døgnmiddelverdier. Vi har ikke innhentet data om forekomst av slike episoder i forbindelse med denne utredningen.

### 6.1.2 Vannføring på minstevannføringsstrekningene

#### Kavfossen - utløp Bjelland kraftverk ved Monan

Denne strekningen har fått sterkt redusert vannføring etter utbyggingen av Bjelland kraftverk. Med unntak av perioder med overløp over demningen i Tungesjø var vannføringen på denne strekningen etter regulering i 1974 hovedsakelig bestemt av vannføringen i Kosåna. Fra og med 1997 ble det bestemt at vannføringen på denne strekningen aldri skal være mindre enn 2 m<sup>3</sup>/s om sommeren og 1 m<sup>3</sup>/s om vinteren. Dette innebærer at det slippes vann over demningen ved Tungesjø når vannføringen i Kosåna blir lavere enn minstevannføringskravet. Det lokale nedslagsfeltet til strekningen Kavfossen - Monan er ca 230 km<sup>2</sup>, hvorav 217 km<sup>2</sup> drenerer til Kosåna. Middelvannføringen ved Myglevatn i Kosåna har i perioden 1980 til 2005 vært 8,2 m<sup>3</sup>/s. Om vinteren (desember - april) har vannføringen ved Myglevatn vært lavere enn 1 m<sup>3</sup>/s i gjennomsnitt 21 dager (variasjonsbredde 0-78 dager) hvert år i perioden 1980 - 2005. Om sommeren (juni - september) har vannføringen ved Myglevatn vært lavere enn 2 m<sup>3</sup>/s i gjennomsnitt 56 dager (variasjonsbredde 12-106 dager) hvert år. Inntaket til Bjelland kraftverk i Tungesjø har et gjennomsnittlig avløp over året på 58,6 m<sup>3</sup>/s, mens slukeevnen til kraftverket er om lag 78 m<sup>3</sup>/s. Det vil derfor ikke være uvanlig at vannføringen på strekningen fra Kavfossen til Bjelland vil være lik minstevannføringen både om vinteren og om sommeren. En minstevannføring på 1 m<sup>3</sup>/s om vinteren og 2 m<sup>3</sup>/s om sommeren innebærer at minstevannføringen er henholdsvis 1,5 % og 3 % av middelvannføringen.

#### Mannflåvann - utløp Laudal kraftverk

Denne strekningen har også fått sterkt redusert vannføring etter utbyggingen av Laudal kraftverk. Opprinnelig var minstevannføringen på denne strekningen satt til 0,25 m<sup>3</sup>/s. Nå er minstevannføringen 3 m<sup>3</sup>/s om sommeren og 1,5 m<sup>3</sup>/s om vinteren. Inntaket til Laudal kraftverk i Mannflåvann har et gjennomsnittlig avløp over året på 75,7 m<sup>3</sup>/s, og siden Laudal kraftverk har en maksimal slukeevne på 110 m<sup>3</sup>/s er vannføringen på denne strekningen lik minstevannføringen gjennom store deler av året. Minstevannføringen vinter og sommer utgjør henholdsvis 2 % og 4 % av middelvannføringen.

### 6.1.3 Effekter av vannføringsendringer på fiskeproduksjonen

Kunnskapen om hvilke flaskehalser som er avgjørende for smoltproduksjonen i norske lakseelver er begrenset. I Orkla ble det funnet en sammenheng mellom variasjoner i smoltproduksjon i perioden 1983 - 2002, og vintervannføring, fosforinnhold i elvevannet og smoltalder (Hvidsten m.fl. 2004). Sammenhengen mellom smoltproduksjon og minste vintervannføring var positiv, dvs. at høyere minste vintervannføring ga større smoltproduksjon. Sammenhengen med smoltalder var negativ, det vil si at eldre smolt ga lavere smoltproduksjon. Undersøkelsen fra Orkla indikerte også at smoltproduksjonen hadde avtatt de seneste årene, muligens som følge av at elvas bæreevne for lakseproduksjon hadde vært høyere enn "normalt" i en overgangsperiode som følge av ekstra tilførsler av næringssalter (fosfor) i en periode etter at reguleringen ble satt i verk (demningseffekt).

Den minste vintervannføringen syntes å ha stor betydning for smoltproduksjonen i Orkla, og vintervannføringen kan representere en flaskehals for ungfiskproduksjonen i elva

(Hvidsten m.fl. 2004). Dette er også funnet i andre studier. Gibson & Myers (1988) fant en positiv sammenheng mellom overlevelse hos årsyngel av laks og vintervannføring i seks elver i Canada. I Catamaran Brook i Canada ble det funnet en sterk positiv sammenheng mellom gjennomsnittlig vintervannføring og overlevelse mellom ulike livsstadier (rogn til 0+, 0+ til 1+, og 1+ til 2+) hos laks i fem av seks år (Cunjak & Therrien 1998, Cunjak m.fl. 1998). Økt overlevelse av årsyngel og eldre laksunger i vintre med høy vintervannføring ble antatt å være en funksjon av habitattilgjengelighet, mens økt overlevelse av egg kan knyttes opp mot mindre sjanse for tørrlegging eller innfrysning av eggene i grusen når vannføringen var høyere (Cunjak m.fl. 1998). Også i Altaelva er det funnet en positiv korrelasjon mellom minste vintervannføring og fiskeproduksjon (ungfisktetthet; Næsje m.fl. 2005).

Vi kjenner ikke mekanismene bak den positive effekten av økt minste vintervannføring på produksjonen av laksesmolt i Orkla og ungfisktetthet i Altaelva. Effektene kan skyldes økt habitattilgjengelighet ved høyere vannføring, eller være knyttet til ulike isprossesser, for eksempel at laksunger fryser inne ved lav vannføring. Vi er derfor usikre på i hvor stor grad disse resultatene fra Orkla i Midt-Norge, Altaelva i Finmark og fra elver i Canada har overføringsverdi til elver på Sørlandet. Vi anser det imidlertid som sannsynlig at høyere minste vintervannføring har en positiv effekt på produksjonen. På den annen side kan vi ikke utelukke at høyere gjennomsnittlig vannføring og høyere maksimumsvannføring om vinteren kan virke negativt.

På samme måte som for vintervannføring må vi anta at lavvannsperioder om sommeren også kan virke begrensende på fiskeproduksjonen. Effektene av lavvannsperioder må antas å avhenge av periodens lengde og hvor lav vannføringen er. I elver på Sørlandet kan vanntemperaturen lett nå opp i over 20 °C. Dette gjør at lavvannsperioder som sammenfaller med stor solinnstråling kan gi vanntemperaturer som nærmer seg kritisk grense for laksefisk. Vi anser det som sannsynlig at gjennomgående høyere lavvannføring om sommeren bidrar til å stabilisere produksjonen av laksefisk.

Undersøkelser i Saltdalselva viste en negativ sammenheng mellom vårflommens størrelse og årsklassestyrken til laks- og aureunger (Jensen & Johnsen 1999). Andre undersøkelser har også vist at høye vannføringer om våren kan redusere overlevelsen til yngel av laksefisk under swim-up fasen (f.eks. Cattaneo et al. 2003, Lobón-Cervia 2004). De negative effektene av høy vannføring under swim-up fasen kan skyldes at høye vannføringer gir ugunstige habitatforhold for yngelen i den første kritiske fasen etter at den kommer opp av grusen. I andre tilfeller kan det være at høye vannføringer skaper ugunstige lave vanntemperaturer om våren. Beregninger av tidspunkt for når yngelen kommer opp av grusen for å ta til seg føde i Mandalselva tyder på at dette hovedsakelig skjer i løpet av de første fjorten dagene av juni. Vanntemperaturen på denne tiden av året ligger rundt 10 °C både ved Laudal og Kjølmo, godt over hva som er ansett å være kritisk temperatur for at laksunger skal kunne overleve og ta til seg føde. Vi mangler imidlertid kunnskap om gyttetidspunkt og vanntemperaturer i Mandalselva fra før regulering, og vet derfor ikke om færre store og sene vårflommer kan ha virket positivt for overlevelse av årsyngel i vassdraget.

På den annen side kan redusert størrelse på vårflommer påvirke smoltutvandringen og smoltens overlevelse i den første sjøfasen, slik det er vist i utsettingsforsøk (Hvidsten & Hansen 1988) og i en korrelativ studie i Suldalslågen (Forseth m. fl. 2003). Det er gjort studier av smoltutvandring i Mandalselva (Hvidsten m.fl. 2002, 2006; Uglem m. fl. 2005), og disse viser utvandringsmønstre som ligner på det vi finner i andre elver med snøsmeltingsflommer om våren. Smolten responderer på relativt små vannføringsøkninger og mye av smolten ser ut til å gå ut relativt synkront i løpet av 30 dager. Vi har derfor ingen indikasjoner på at smoltutvandringen er negativt påvirket av at vårflommene er blitt mindre, uten at dette betyr at slike effekter ikke finnes.

Disse vurderingene av vannføringssendringer i Mandalselva som følge av reguleringen tilsier at økt minste vintervannføring på strekningene som ikke er fraført vann kan ha virket positivt på produksjonen i disse delene av vassdraget. I disse delene av vassdraget kunne sannsynligvis vintervannføringen bli så lav at den begrenset produksjonen før regulering, i alle fall i enkelte år. De viktigste oppvekstområdene for større laksunger på de strekningene av elva som ikke er fraført vann synes imidlertid å ligge i de deler av elva som er smale og dypere. Det er mulig at lav vintervannføring ikke fører til store endringer i vanndekket areal på disse områdene. Det er derfor usikkert om og hvor stor positiv effekt en økt minste vintervannføring kan ha på smoltproduksjonen. Uansett vil økt minstevannføring om vinteren gi mer permanent vanndekket areal på de bredere og grunnerer partier av elva, hvor det også finnes laksunger. Økt minste vannføring kan derfor ha bidratt til å stabilisere produksjonen. På samme måte kan økt minste sommervannføring også ha virket positivt eller stabiliserende på produksjonsforholdene.

Disse betraktningene vedrørende betydningen av lav vannføring om vinteren tilsier også at den lave minstevannføringen om vinteren i Mandalselva på strekningen Kavfossen-Monan ( $1 \text{ m}^3/\text{s}$ ) og Mannflåvann-Laudal ( $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) vil virke begrensende på produksjon av laksunger og smolt på disse strekningene. Det er imidlertid vanskelig å sette tall på hvor mye produksjonen er redusert som følge av endringene. Terskelbassengene på disse strekningene bidrar til å opprettholde et vanndekket areal selv ved lav vannføring, noe som til en viss grad kan motvirke noen av de forventede negative effektene av svært lav minstevannføring. På den andre siden har disse terskelbassengene dårligere levestandard for laksunger enn om elva hadde hatt et naturlig varierende vannføeringsregime.

Alt i alt har de sesongmessige endringene i vannføring som følge av vassragsregulering på de strekningene av Mandalselva som ikke er fraført vann sannsynligvis virket mer positivt enn negativt på produksjonen av laksunger. Vi har imidlertid ikke noe faglig grunnlag for å fastslå med sikkerhet om det har vært en positiv eller negativ effekt, og vil i de videre utledninger anta at effekten som følge av vannføringssendringer på disse strekningene er nøytral.

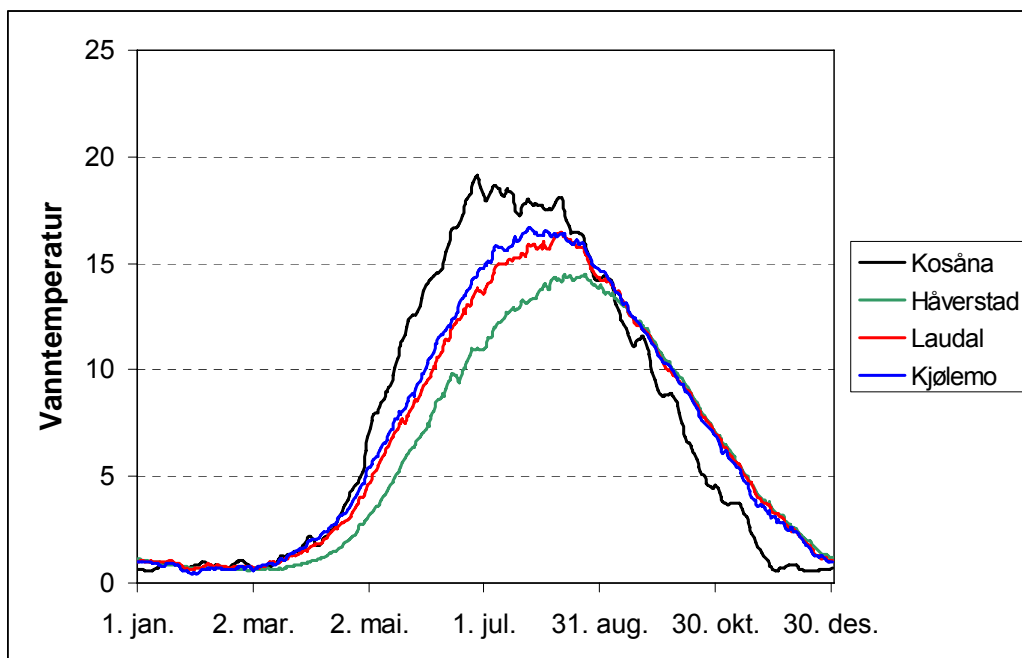
Disse vurderingene av endringer i minste vinter og sommervannføring er basert på døgnmiddelverdier. Vi må derfor ta forbehold om at det har forekommet hurtige endringer i vannføring på mindre tidskala for eksempel i forbindelse med raske planlagte eller uforutsette stans i kraftproduksjonen.

## 6.2 Vanntemperatur

Vi har ikke funnet systematiske vanntemperaturmålinger fra Mandalsvassdraget fra før regulering. Vi kan derfor ikke gjøre noen sammenlikning av forholdene før og etter regulering. Uten forhåndsdata vil en presis vurdering av hvordan reguleringen av vassdraget har påvirket temperaturforholdene kreve omfattende simuleringer av fagfolk. Fra omtrent 1980 har NVE tidsserier fra Kjølamo, Laudal, Håverstad og fra Kosåna. Vi har brukt disse temperaturseriene og sammenholdt de med biologiske data for å gjøre vurderinger omkring mulige temperatureffekter som følge av reguleringen.

Temperaturmålingene fra NVEs serier fra Mandalsvassdraget viser at vanntemperaturen i hovedvassdraget øker fra Håverstad og ned til Laudal, mens temperaturen er relativt lik mellom Laudal og Kjølamo (**figur 7**). Temperaturen i Kosåna er høyere enn ved Laudal/Kjølamo. Kosåna kommer fra et lavtliggende felt hvor det sannsynligvis blir tidlig vår.

I utgangspunktet vil vi forvente at temperaturen har endret seg relativt lite etter regulering nedstrøms Laudal. Vanntemperaturen i denne delen av elva påvirkes av Mannflåvann. Vi forventer at denne store innsjøen vil bidra til å jevne ut eventuelle temperaturforskjeller som skyldes tapning av magasin vann fra de øvre deler av nedslagsfeltet. Inntaket til Laudal kraftverk er et overflateinntak, slik at det hovedsakelig er overflatevann fra innsjøen som føres videre nedover i vassdraget. Elvestrekningen mellom Mannflåvann og Laudal kraftverk er på ca 6 km. På solrike dager om sommeren varmes vannet opp på vei nedover i vassdraget. Vann som går gjennom kraftverkstunneller blir ikke oppvarmet i samme grad. Beregninger fra Orkla, som er sammenlignbar vannføringsmessig, tilsier at en 6 km elvestrekning maksimalt kan gi en oppvarming på 1 °C ved å renne i et elveleie sammenliknet med å renne gjennom et kraftverk (Berge m.fl. 1982). Det er derfor mulig at vanntemperaturen like nedstrøms Laudal kraftverk er noe redusert som følge av reguleringen, spesielt i perioder med stor solinnstråling. På den andre siden vil redusert vannføring i mai og juni sannsynligvis føre til en raskere økning i vanntemperaturen på denne tiden av året sammenliknet med før regulering.



**Figur 7.** Gjennomsnittlig vanntemperatur (snitt av døgnmidler) gjennom året for fire målestasjoner i Mandalsvassdraget. Data etter NVE.

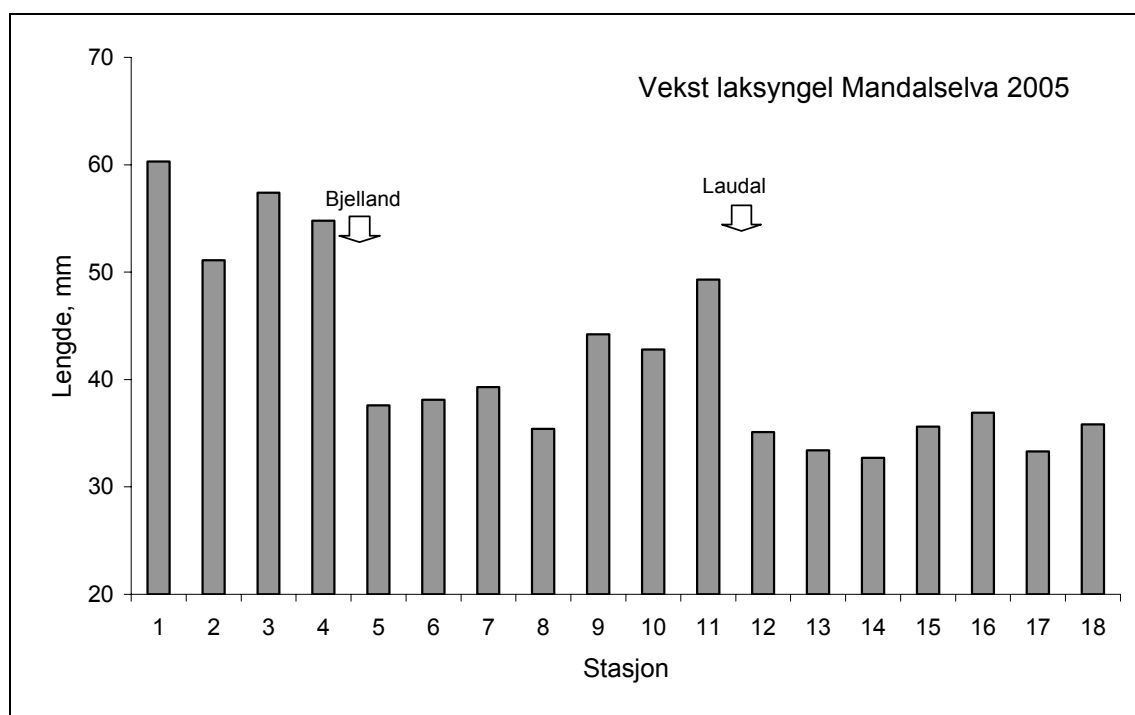
Fiskens vekst kan gi indikasjoner på temperaturforskjeller innad i vassdraget. Laks- yngel fra Kosåna og øvre del av hovedvassdraget ned til Bjelland kraftstasjon vokser raskere enn yngel fra resten av vassdraget (**figur 8**). Veksten er også bedre i terskelområdet ovenfor Laudal sammenliknet med områdene ovenfor og nedenfor denne minste vannføringsstrekningen. Dette vekstmønsteret er relativt likt fra år til år (jfr. Larsen m.fl. 2003, 2004). Forskjellen i gjennomsnittslengde mellom øvre og nedre del av Mandalselva har



vært om lag 20 mm i alle år. Dette viser at vekstvilkårene for laksunger er dårligst i de nedre deler av elva.

At årsyngelen er størst i Kosåna/Kavfossen-Mandal samsvarer med at vanntemperaturen om våren stiger raskere her enn i hovedelva, og at vanntemperaturen om sommeren gjennomgående er høyere enn i hovedelva (**figur 7**). Kosåna er ikke påvirket av regulering. Vannet fra Kosåna utgjør etter regulering et vesentlig bidrag til vannføringen på strekningen Kavfossen-Monan. Sannsynligvis har vanntemperaturen på denne strekningen av hovedelva økt etter regulering. Vanligvis er det en positiv sammenheng mellom vår/sommertemperatur og fiskungenes vekst, og raskere vekst gir lavere smoltalder hos laks. Økt vanntemperatur vil derfor virke positivt på fiskeproduksjonen, med mindre temperaturen blir så høy at den hemmer veksten eller fører til dødelighet. Årsyngelen på strekningen Mannflåvann - Laudal var også større enn årsyngel på strekninger uten fraført vann. Dette er sannsynligvis også en temperatureffekt som følge av redusert vannføring.

Årsyngelen på strekningen Monan - Mannflåvann var noe større enn årsyngelen på strekningen nedenfor Laudal. Vekstvilkårene for årsyngelen er derfor minst like god nedenfor utløpet av Bjelland kraftverk som nedenfor Laudal kraftverk. Nedenfor Laudal er det etter vår vurdering sannsynlig at vanntemperaturen i vekstsesongen har endret seg lite som følge av reguleringen. Forskjellene i årsyngelstørrelse mellom de to strekningene kan indikere at reguleringen heller ikke påvirker veksten til laksunger på strekningen nedenfor Bjelland kraftverk vesentlig i negativ retning.



**Figur 8.** Gjennomsnittslengden til laksyngel (0+) på de ulike stasjonene i Mandalselva i august 2005. Stasjon 1-4: Kosåna og Kavfossen-Monan, stasjon 5-8: Monan-Mannflåvann, stasjon 9-11: Mannflåvann-Laudal, stasjon 12-15: Laudal-Øyslebø og stasjon 16-18: Øyslebø-Holum.

Uten faktisk kunnskap om hvordan vanntemperaturen har endret seg i de ulike deler av Mandalsvassdraget etter regulering, og hvordan fiskens vekst var før regulering, er det vanskelig å oppnå sikre konklusjoner. Alt i alt synes ikke temperaturforholdene i Mandalselva på de strekningene hvor vann ikke er fraført å ha endret seg på noen vesentlig måte som har betydning for produksjonsforholdene etter regulering. På minstevannføringsstrekningene, spesielt på strekningen Kavfossen - Monan har sannsynligvis vanntemperaturen økt etter regulering.

## **6.3 Oppvandring og utvandring**

### **6.3.1 Oppvandring av voksen laks**

Undersøkelser av laksevandring i Mandalselva i 1996 og 1997 viste at laksen ble hindret og forsinket i oppvandringen på minstevannføringsstrekningen mellom Laudal kraftverk og Mannflåvann, trolig på grunn av en kombinasjon av lav vannføring og mange terskler (Thorstad 2003). Etter den tid er det gjennomført flere undersøkelser av vandringen av voksen laks på denne strekningen. Slipp av lokkeflommer på strategiske tidspunkt om sommeren synes å gi en bedre og raskere oppvandring gjennom minstevannføringsløpet (Lura 2006b).

På samme måte som ved Laudal kraftverk må vi anta at oppvandringen av laks opp og forbi utløpet av Bjelland kraftverk også forsinkes. Fordi utløpet av kraftverket er uten gitter er det også mulig at oppvandrende laks kan gå inn i tunnelen, og således forsinkes i den videre oppvandring i minstevannføringsstrekningen.

Vi har liten kunnskap om og eventuelt hvordan forsinket oppvandring påvirker produksjonen av laks. At laksen kommer senere til gyteplassene enn den ellers ville ha gjort trenger ikke nødvendigvis bety noen reduksjon i produksjonen. Hvis vandringshindrene er så betydelige at antallet laks som vandrer opp i de øvre deler av vassdraget blir redusert, vil dette kunne ha negativ effekt på produksjonen. Etter kalking har det vært en positiv utvikling i ungfisktetthet over hele elva. Tidsforløpet i utviklingen i ungfisktetthet (se kapittel 3) synes ikke å være vesentlig forskjellig i de øvre deler av vassdraget (Kosåna-Monan) enn lengre ned. Dette kan indikere at forsinket oppvandring av voksen laks til de øvre deler av elva ikke har hatt avgjørende betydning for produksjonen av laks i de øvre deler av vassdraget.

### **6.3.2 Smolttap i turbinene på Laudal**

Det har blitt satt ut Carlin-merket laksesmolt for å vurdere om smolt som produseres i Mandalselva oppstrøms Mannflåvann blir drept når de passerer gjennom Laudal kraftverk og for å vurdere om smolt som vandrer ned minstevannføringsløpet fra Mannflåvann til Laudal under lav vannføring kan ha lavere overlevelse. Hansen & Johnsen (2003) rapporterte foreløpige resultater og konkluderer at resultatene tyder på at det er tap av smolt i kraftverket, men at det ikke var noen særlig negativ effekt på gjenfangsten av fisk satt ut nederst i minstevannføringsløpet. Hansen & Johnsen (2003) gjorde ikke noe forsøk på å beregne dødelighet for fisk som går gjennom kraftverket. Av 2 957 smolt satt ut i kraftverkstunnelen i 2000 ble det rapportert en gjenfangst på 13 fisk (0,4 %), mens av 2 162 smolt satt ut ved Kleveland i minstevannføringsløpet, ble det rapportert en gjenfangst på 38 fisk (1,8 %). Disse resultatene antyder en dødelighet som følge av passering gjennom kraftverket på om lag 75 %. Resultatene vedrørende dødelighet er basert på bare ett forsøk, og et lavt antall gjenfanget fisk gjør at tapsanslaget er usikkert. Resultatene indikerer

imidlertid at dødeligheten for laksesmolt som går gjennom turbinene ved Laudal kraftverk er betydelig. Dette samsvarer med resultater fra utsettingsforsøk med Carlin-merket smolt i kraftverkstunellen til inntaket ved Svorkmo kraftverk i Orkla. Svorkmo kraftverk utnytter et fall på ca 99 m. Kraftverket har en driftsvannføring på 10-65 m<sup>3</sup>/s og er utstyrt med en Francis-turbin (Hvidsten m.fl. 2004). Ved å sammenlikne rapporterte gjenfangster av voksen laks mellom disse utsettingsgruppene og grupper som ble satt ut samtidig på nedsiden av kraftverksutløpet estimerte Hvidsten & Johnsen (1997) en dødelighet på 73 %. Også andre forsøk har vist at dødeligheten ved passering av kraftverk med Francisturbiner kan være betydelig (Ruggles 1980, Montén 1985).

Larsen (2006) har gjort en vurdering av mulig dødelighet for smolt på grunn av mekaniske skader ved passasje gjennom turbinene i Laudal kraftverk. Vurderingen er basert på de tekniske spesifikasjonene til turbinene ved Laudal kraftverk. Tapsanslaget er basert på resultatene av forsøk Montén (1985) gjorde i Krågede kraftstasjon, for å undersøke skader og dødelighet på fisk som passerte en Francisturbin. Denne turbinen hadde tekniske spesifikasjoner som likner på turbinene i Laudal.

Larsen (2006) konkluderer:

*"Ut fra dette vil jeg skjønnsmessig anta følgende tap er sannsynlige i Laudal for fisk av lengde 12-15 cm:*

*Mekaniske tap ved halvlast 20-30 %*

*Mekaniske tap ved fullast 30-40 %"*

Larsens vurderinger tilsier også at dødeligheten til smolt som passerer turbinene i Laudal kraftverk vil være betydelig. Det er noe usikkert hva som legges i begrepene mekanisk skade, men Larsen antar at det innebærer skader som er så store at fisken vil dø av disse direkte. Smoltdødeligheten i forbindelse med turbiner kan også være indirekte. Endret atferd som følge av turbinpassasjen kan gjøre fisken mer utsatt for predasjon etter passering av kraftverket. Små skader som ikke gir umiddelbar dødelighet og ekstra stress kan føre til forsinket dødelighet selv om fisken har passert turbinen og kraftverket i live (Coutant & Whitney 2000). Larsens (2006) tapsanslag må derfor anses å være minimumsverdier for smoltdødelighet ved Laudal kraftverk.

I en gjennomgang av litteraturen vedrørende dødelighet i forbindelse med at fisk passerer gjennom kraftverk konkluderer Rivinoja (2004) med at det bør gjøres flere forsøk for å studere dødelighet ved fiskepassasjer gjennom Francisturbiner. Slike turbiner er vanlige i Skandinavia og kunnskapsgrunnlaget er for sparsomt til å fastslå generelle nivåer for dødelighet. Dersom det er av avgjørende betydning å ha mer presis kunnskap om hvor stor dødelighet smolt som passerer Laudal kraftverk vil ha, må det gjennomføres konkrete forsøk for å studere dette.

Dødeligheten som følge av at fisk passerer gjennom kraftverk øker sterkt med økende fiskestørrelse (f.eks. Montén 1985, Rivinoja 2004). All utgytt voksen laks og sjøørret som går gjennom kraftverket må antas å dø. Vi har liten generell kunnskap om når og hvordan utgytt laks vandrer ut etter gyting i norske vassdrag. Dersom en stor andel av laksen som gyter på oversida av Mannflåvann går gjennom turbinene på Laudal kraftverk under utvandring, vil dette kunne redusere laksefangstene i vassdraget. Fangsten av laks i Mandalselva er dominert av smålaks, det vil si én-sjø-vinter laks. I smålaksvassdrag er det vanlig at flergangsgytere utgjør omlag 10 % av fangsten av fler-sjø-vinter fisk (Peder Fiske, NINA, pers. med.).

Hvor stort det totale tapet av laksesmolt er på grunn av at smolten går gjennom turbinene på Laudal er også avhengig av hvor stor andel av smolten som vandrer ut gjennom kraftverket. Undersøkelser med radiotelemetri viser at andelen av smolt som går gjennom kraftverket avhenger av vannføringsforholdene og manøvreringen (Uglem m.fl. 2005). Det totale tapet i produksjon som følge av smoltdødelighet i kraftverket vil derfor variere mellom år, og fremtidig tap vil være avhengig av i hvor stor grad man lykkes med å utvikle gode rutiner og god kunnskap om hvordan en skal få mest mulig av smolten til å vandre ut gjennom minstevannføringsstrekningen.

I 2003 var det høy vårvannføring og kraftverket ble kjørt som normalt. Telemetriundersøkelsene indikerte at 90 % av smolten gikk i kraftverket. I 2004 var det lavere vårvannføring og det ble gjennomført forsøk på å endre utvandringstruten ved å endre forholdet mellom vannføring i kraftverket og minstevannføringsløpet. Da gikk 46 % av smolten i kraftverket (Uglem m.fl. 2005). I 2005 ble kraftverket kjørt for å maksimere andelen av smolten som går utenom turbinene, og beregninger antydte at 46 % av smolten gikk i turbinene også dette året (Lura 2006a). Basert på disse anslagene og med dødeligheter i turbinene på mellom 30 og 70 %, vil fra 14 til 63 % av smolten produsert på oversida av inntaket i Mannflåvann tapes i Laudal kraftverk. Produksjonskapasiteten av laksesmolt på oversida av kraftverket ble vurdert til å være mellom 17 500 og 41 500 (**tabell 8**). Et tap på 14 % i kraftverket innebærer at mellom 2 500 - 5 800 smolt dør, mens et tap på 63 % innebærer at 11 000 - 26 000 dør. Klarer man ved manøvreringstiltak og eventuelle andre tiltak å redusere andelen smolt som går i kraftverket til 15 %, vil tapet bli i størrelsesorden 5 til 10 %. Det kan bli vanskelig å oppnå så gode resultater, i alle fall i vannrike år.

## 6.4 Samlet vurdering av de ulike strekningene

Her foretar vi en samlet vurdering av effekten av reguleringen på produksjonspotensialet for laks for hver enkelt strekning av Mandalselva. Vi har vurdert effekter av endret vannføring ved å analysere døgnmiddelverdier for vannføring. Vi må derfor ta forbehold om at det har forekommet hurtige endringer i vannføring på mindre tidskala, for eksempel i forbindelse med raske planlagte eller uforutsette stans i kraftproduksjonen.

### Kavfossen - utløp Bjelland kraftverk ved Monan

Denne strekningen har fått sterkt redusert vannføring etter utbyggingen av Bjelland kraftverk. Den reduserte vannføringen sammen med terskelbygging har endret de fysiske forholdene for lakseproduksjon. I det brede partiet av Mandalselva 200-300 m nedstrøms Kossånas innløp, har et elveareal på om lag 20 000 m<sup>2</sup> blitt tørrlagt og kledd med vegetasjon etter reguleringen. Dette arealet utgjør totalt om lag 8 % av arealet på strekningen mellom Kavfossen og utløpet ved Bjelland kraftverk. Området må imidlertid ut fra en substratbedømmelse anses å ha vært høyproduktivt med hensyn på presmolt/smolt. Virkningen av bortfallet av dette arealet vil derfor i en gjennomsnittsbetraktning for hele strekningen minst være 2-3 ganger arealets størrelse.

Det er bygget to terskler på strekningen. Disse tersklene sikrer at bunnen er vanndekket i de to bredere partier av elva mellom Kavfossen og Monan, og arealmessig utgjør de to store terskelbassengene om lag 75 % av dagens strekning. Store deler av arealene i de to terskelbassengene er sannsynligvis også redusert som produksjonsområder som følge av sedimentering av finmateriale og redusert vannhastighet. I tillegg har det sannsynligvis skjedd en reduksjon i egnet gyteareal fordi områder med gytegrus nå ligger i terskelbassengene og ikke på strømmende elv. I de smalere partiene av elva har reguleringen sannsynligvis medført noe reduksjon i produksjonsarealer ved minstevannføring, men reduksjonen er neppe betydelig.

Lav sommer- og vintervannføring etter regulering må antas å virke negativt på produksjonen. På den annen side har økt vanntemperatur om sommeren gitt bedre fiskevekst, noe som er positivt for produksjonen.

En samlet vurdering av de ulike faktorene tilsier at produksjonspotensialet for laksunger på denne strekningen er redusert med mellom 40 og 60 %.

#### Monan - Mannflåvann

I utgangspunktet er denne elvestrekningen påvirket vannføringsmessig på samme måte som nedenfor Laudal, det vil si at minste vintervannføring og minste sommervannføring har økt etter regulering. Dette kan virke stabiliserende og positivt for produksjonen av laksunger. Vi har imidlertid ikke analysert vannføringsdata fra denne strekningen og har derfor dårligere grunnlag for å uttale oss om hvordan minstevannføringene har vært på denne strekningen etter regulering. Vanntemperaturmessig er trolig denne strekningen mer påvirket av reguleringen enn strekningen nedenfor Laudal, idet magasin vann fra høyere opp i nedslagsfeltet blir tilført gjennom Bjelland kraftverk. Veksten til årsyngel av laks er noe bedre på denne strekningen enn nedenfor Laudal og dette kan indikere at vekstforholdene ikke har endret seg vesentlig etter regulering. Vannstanden i elva på de nedre deler ned mot Mannflåvann påvirkes av et hevet Mannflåvann om vinteren. Partier av strekningen nedenfor Bjelland har begroinger av krypsiv, men det er usikkert om dette er en reguleringseffekt. Krypsiv kan påvirke gytemulighetene for laksefisk og fungere som sedimentfeller.

Vi har ikke grunnlag for å si at produksjonsforholdene for laks på denne strekningen er blitt endret verken i positiv eller negativ retning som følge av kraftutbyggingen.

#### Mannflåvann

Mannflåvann er regulert mellom kotene 67,8 m og 68,8 m, altså en total reguleringshøyde på 1 m. Dette er en så lav reguleringshøyde at det neppe har særlig effekt på fiskeproduksjonen i innsjøen. Reguleringshøyden er lavere om sommeren (0,5 m) enn om vinteren (1 m). Forsurningen har utryddet de tidligere bestandene av røye og abbor. Dette har sannsynligvis ført til at produksjonsforholdene for laks her blitt bedret i innsjøen, men dette er ikke en reguleringseffekt. Laksungers bruk av innsjøer synes å være påvirket av konkurranse og predasjonsrisiko fra andre fiskearter (Halvorsen 1996, Lura 2005). Laksunger finnes i innsjøer med bestander av aure og røye (Halvorsen 1996). Vi har ingen kunnskap om hvordan abbor påvirker oppvekstforholdene for laksunger. Abbor utnytter strandnære områder og spiser mye bunndyr, og vil helt klart være en konkurrent om mat for laksungene. I tillegg vil større abbor kunne spise laksunger. Vi anser det for sannsynlig at levevilkårene for laksunger vil bli dårligere hvis abbor og røye reetablerer seg i Mannflåvann.

Vi vurderer produksjonsforholdene for laksunger som uendret i Mannflåvann som følge av kraftverksreguleringen.

#### Mannflåvann - Laudal

Elva er her sterkt påvirket av kraftverksreguleringen. Sterkt redusert vannføring sammen med en omfattende terskelbygging har vesentlig endret de fysiske forholdene for lakseproduksjon på denne strekningen. Ut fra arealberegning på boniteringskartet for substrat (Berger m.fl. 2003) er 73 000 m<sup>2</sup> av i alt 320 000 m<sup>2</sup> kartlagt nå blitt tørrlagt. Hvis vi antar at dette tørrlagte arealet hadde samme kvalitet for oppvekst av laksunger som resten av det vanndekkede arealet på denne strekningen utgjør denne tørrleggingen et pro-

duksjonstap på om lag 25 %. Det er ikke umulig at den omfattende terskelbyggingen har gitt større permanente tap av produksjonsareal på grunn av tørrelegging på denne strekningen, men vi har ikke lokalkunnskap nok til å vurdere dette.

Terskelbassengene på strekningen utgjør om lag 75 % av det gjenværende vanndekkede arealet. Dominerende bunnsubstrat i terskelbassengene ble vurdert å være grov grus. Dette substratet skulle være velegnet for produksjon av både årsyngel og eldre laksunger. Det synes imidlertid å skje noe sedimentering av finmateriale i bassengene. Dette gjør at produksjonsforholdene for laksunger i disse bassengene blir dårligere. Lav vannhastighet i bassengene kan også bidra til dårligere levetilstand for små laksunger. I tillegg har det sannsynligvis skjedd en reduksjon i egnet gyteareal fordi områder med gytegrus nå ligger i terskelbassengene og ikke på strømmende elv. I de smalere partiene av elva har reguleringen sannsynligvis medført noe reduksjon i produksjonsarealer ved minstevannføring, men reduksjonen er neppe så stor her.

Lav sommer- og vintervannføring etter regulering må antas å virke negativt på produksjonen. På den annen side har økt vanntemperatur om sommeren trolig gitt bedre fiskevekst, noe som er positivt for produksjonen.

En samlet vurdering av de ulike faktorene tilsier at produksjonspotensialet for laksunger på denne strekningen er redusert med mellom 50 og 75 %.

#### Nedenfor Laudal kraftverk

Vi har ikke opplysninger som tilsier at habitatforholdene på denne strekningen er blitt endret som følge av reguleringen. Vanntemperaturene i denne delen av elva har neppe endret seg mye som følge av reguleringen fordi Mannflåvatn sannsynligvis utjevner eventuelle temperaturforskjeller som følge av tapping av magasin vann fra høyere opp i nedslagsfeltet. Vanntemperaturen om sommeren nedenfor Laudal kan imidlertid være noe redusert på grunn av at vannet nå hovedsakelig går gjennom kraftverket og ikke i det naturlige elveleiet. I denne delen av elva har minste vintervannføring og minste sommervannføring økt etter regulering. Dette kan virke stabiliserende og positivt for produksjonen av laksunger.

Vi har ikke grunnlag for å si at produksjonsforholdene for laks på denne strekningen er blitt endret verken i positiv eller negativ retning som følge av kraftutbyggingen.

## 6.5 Tap som følge av kraftverksreguleringen

For å vurdere de samlede effektene av kraftverksreguleringen på produksjonen av laks i Mandalsvassdraget tar vi utgangspunkt i våre beregninger for produksjonspotensialet i vassdraget i dag. Produksjonspotensialet for smolt i Mandalsvassdraget ble vurdert til å variere mellom 54 500 og 118 500 (**tabell 8**). For å forenkle framstillingen har vi for hver elvestrekning beregnet middelverdien av anslaget for produksjonspotensiale. For strekningene Kavfoss - Monan og Mannflåvann - Laudal har vi anslått produksjonstapet som følge av reguleringen til å være henholdsvis 40 - 60 % og 50 - 75 %. For de øvrige delene av vassdraget har vi ikke grunnlag for å si at produksjonsforholdene for laks på denne strekningen er blitt endret verken i positiv eller negativ retning som følge av kraftutbyggingen.

Anslagene over tapet i produksjonskapasitet av smolt i vassdraget som følge av kraftverksreguleringene blir 18 % hvis vi benytter de laveste verdiene for tap på minstevannføringstrekningene og 38 % hvis vi bruker de høyeste tapsverdiene (**tabell 9**). Basert på en gjennomsnittsanslag over produksjonskapasiteten i dag på 86 500 smolt kan produksjonen

før regulering ha vært mellom 105 500 - 139 000 smolt. Dette gir et tap av smolt som følge av regulering på fra 19 000 til 52 500 smolt (**tabell 9**). Av 86 500 smolt vil 29 500 produseres på oversiden av Laudal kraftverk. Anslag over dødelighet ved passering av kraftverket og hvor stor andel av smolten som går gjennom dette (avhengig av manøvreringen) er usikre (14 - 63 % se avsnitt 6.3), men tapet kan utgjøre mellom 4000 - 19 000 smolt. I tillegg kommer tapet av smolt produsert i Kosåna, som også risikerer å gå gjennom Laudal kraftverk.

Anslagene over antall smolt tapt i vassdraget som følge av kraftverksreguleringene er avhengig av vår vurdering av produksjonspotensial på de ulike strekningene av elva. Hvis vi overvurderer den relative betydningen av potensialet på minstevannføringsstrekningene sammenliknet med resten av elva i dag så overvurderer vi tapet smolt. Hvis vi undervurderer den relative betydningen av potensialet på minstevannføringsstrekningene i dag så undervurderer vi også tapet som følge av utbyggingen. Det er stor usikkerhet knyttet til smoltproduksjonen i Mannflåvann i dag, og om betydningen av innsjøen for smoltproduksjonen før vassdraget ble rammet av forurning (og abbor og røye forsvant fra innsjøen). Vurdert uten produksjonen i Mannflåvann blir det prosentvise tapet som følge av kraftverksreguleringen større.

**Tabell 9.** Anslag over tap i smoltproduksjonen som følge av kraftverksutbyggingen av Mandalsvassdraget. Tapet er beregnet med basis i et gjennomsnittlig anslag over produksjonskapasiteten i elva i dag kombinert med anslag over tap av produksjonskapasitet som følge av kraftutbyggingen på ulike strekninger. Laveste tapsanslag angir at produksjonskapasiteten på strekningene Kavfossen - Monan og Mannflå - Laudal er redusert med henholdsvis 40 og 50 %. Høyeste tapsanslag angir at produksjonskapasiteten på de to strekningene er redusert med henholdsvis 60 og 75 %.

Strekning		Laveste tapsanslag	Høyeste tapsanslag
	Dagens produksjonspotensial	Prod. før regulering	Prod. før regulering
Kavfossen - Monan	9000	15000	22500
Monan - Mannflåvann	10500	10500	10500
Mannflåvann	10000	10000	10000
Mannflåvann - Laudal	13000	26000	52000
Laudal - Krossen	44000	44000	44000
<b>Sum for elva</b>	<b>86500</b>	<b>105500</b>	<b>139000</b>
Tap av smolt		19000	52500
Tap i %		18 %	38 %

## 7 Referanser

- Berge, F.S., Stang, O. & Thendrup, A. 1982. Temperaturendringer i Orkla som følge av kraftutbygging. SINTEF, Norges hydrodynamiske laboratorier, Rapport STF 60 A81091. 70 s.
- Berger, H.M. 2005. Registreringer av potensielle sjørretbekker i Mandal og Marnardal kommune i Vest-Agder 2005. Berger feltBio rapport nr 5-2005. 51 s.
- Berger, H.M., Lund, R.A. & Skagen, S. 2003. Bonitering av Mandalsvassdraget fra Kavfossen til Laudal. Rapport fra NINA og Statens Kartverk i Vest-Agder. 8 s. + vedleggskart.
- Cattaneo, F., Hugueny, B. & Lamouroux, N. 2003. Synchrony in brown trout, *Salmo trutta*, population dynamics: a 'Moran effect' on early-life stages. *Oikos* 100: 43-54.
- Coutant, C.C. & Whitney, R.R. 2000. Fish behavior in relation to passage through hydropower turbines: a review. *Trans. Am. Fish. Soc.* 129: 351-380.
- Cunjak, R.A. & Therrien, J. 1998. Inter-stage survival of wild juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Fish. Mgmt. Ecol.* 5: 209-223.
- Cunjak, R.A., Prowse, T.D. & Parrish, D.L. 1998. Atlantic salmon (*Salmo salar*) in winter: "the season of parr discontent"? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55 (Suppl. 1): 161-180.
- Dahl, K. & Dahl, E. 1942. Norske lakseelver. Deres utbytte i tabeller og grafer. Landbruksdepartementet, Fiskerikontoret. 114s.
- Dannevig, A. 1930. Laks. Vekslinger i fiske og bestand. Årsberetning vedkommende Norges fiskerier 1929 - Nr. IV.
- Fiske, P. & Aas, Ø. (red.) 2001. Laksefiskeboka. NINA Temahefte 20. 100 s.
- Forseth, T., Fiske, P., Hvidsten, N.A. & Saltveit, S.J. 2003. Smoltoverlevelse i Suldalslågen. Miljøfaktorer som påvirker smoltutvandring og overlevelse i fjorden. Suldalslågen Miljørapport 30. 59 s.
- Gibson, R.J. 1993. The Atlantic salmon in fresh water: spawning, rearing and production. *Rev. Fish. Biol. Fish.* 6: 379-416.
- Gibson, R.J., & Myers, R.A. 1988. Influence of seasonal river discharge on survival of juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45: 344-348.
- Halvorsen, M. 1996. Lake use by Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) parr and other salmonids in northern Norway. Dr. scient. Thesis, Universitetet i Tromsø.
- Hansen, L.P. 1988. Effects of Carlin tagging and finclipping on survival of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) released as smolts. *Aquaculture* 70: 391-394.
- Hansen, L.P., Fiske, P., Holm, M., Jensen, A.J. & Sægrov, H. 2005. Bestandsstatus for laks i Norge 2004. DN-Utredning 2005-4. 42 s.
- Hansen, L.P., Fiske, P., Holm, M., Jensen, A.J. & Sægrov, H. 2006. Bestandsstatus for laks i Norge 2005. DN-Utredning (under utarbeidelse).
- Hansen, L.P. & Johnsen, B.O. 2003. Mandalselva - effekter av Laudal kraftverk på overlevelse av utsatt smolt. Side 97-100 i Ø. Haraldstad & T. Hesthagen (red.). Laksen er tilbake i kalkede Sørlandselver. Reetableringsprosjektet 1997-2002. DN-utredning 2003-5. 110 s.
- Haraldstad, Ø. & Hesthagen, T. 2003. Laksebestanden i Mandalselva - utvikling og historikk før kalking. Side 24-27 i Ø. Haraldstad & T. Hesthagen (red.). Laksen er tilbake i kalkede Sørlandselver. Reetableringsprosjektet 1997-2002. DN-utredning 2003-5. 110 s.
- Harby, A., Alfredsen, K., Arnekleiv, J.V., Flodmark, L.E.W., Halleraker, J.H., Johansen, S. & Saltveit, S.J. 2004. Raske vannstandsendringer i elver - virkninger på fisk, bunndyr og begroing. Sluttrapport fra forskningsprosjektet "Konsekvenser av effektkjøring på økosystemer i rennende vann". SINTEF Rapport TR A5932. 42 s.
- Haugland, S. & Haraldstad, Ø. 2003. Mandalsvassdraget. Side 18-19 i Ø. Haraldstad & T. Hesthagen (red.). Laksen er tilbake i kalkede Sørlandselver. Reetableringsprosjektet 1997-2002. DN-utredning 2003-5. 110 s.
- Heggenes, J. & Saltveit, S.J. 1992. Reetablering av fiskebestanden i Mandalselva. Rapp. Lab. Ferskv. Økol. Innlandsfiske, Oslo 135. 77 s.
- Hesthagen, T. & Hansen, L.P. Tap av laks i fursurede lakseelver i Norge. NINA Oppdragsmelding 094. 12 s.



- Hesthagen, T. & Johnsen, B.O. 2004. Fisk i Mannflåvann. Side 70-71 i: Kalking i vann og vassdrag. Effektkontroll av større prosjekter 2003. Direktoratet for naturforvaltning, Notat 2004-2.
- Hesthagen, T. & Johnsen, B.O. 2006. Fisk i Mannflåvann. I: Kalking i vann og vassdrag. Effektkontroll av større prosjekter 2005. DN-notat (i manus).
- Hvidsten, N. A. & Hansen, L.P. 1988. Increased recapture rate of adult Atlantic salmon, *Salmo salar* L., stocked as smolts at high water discharge. J. Fish Biol. 32:153-154.
- 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., Johnsen, B.O. & Fiske, P. 2006. Smoltutvandring i Mandalselva, 2001-2005. I: Kalking i vann og vassdrag. Effektkontroll av større prosjekter 2005. DN-notat (i manus).
- Hvidsten, N.A., Kroglund, F., Holst, J.C. & Johnsen, B.O. 2002. Undersøkelser av smoltøkologi i Mandalselva. NINA Oppdragsmelding 730. 23 s.
- Jensen, A.J., Finstad, B., Hvidsten, N.A., Jensås, J.G., Johnsen, B.O., Lund, E. & Holte, E. 2004. Fiskebiologiske undersøkelser i Auravassdraget. Årsrapport 2003. NINA Oppdragsmelding 813. 35 s.
- Jensen, A.J. & Johnsen, B.O. 1999. The functional relationship between peak spring floods and survival and growth of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*). Func. Ecol. 13: 778-785.
- Johnsen, B.O. 2006. Reetableringsprosjektet: overvåking av bestandene av voksen laks i Mandalselva og Tovdalselva. Årsrapport 2005. NINA Minirapport 151. 21 s.
- Johnsen, B.O., Nøst, T., Møkkelgjerd, P.I. & Larsen, B.M. 1999. Rapport fra Reetableringsprosjektet: Status for laksebestander i kalkede vassdrag. NINA-Oppdragsmelding 582. 79 s.
- Kaste, Ø., Brandrud, T.E., Larsen, B.M. & Raddum, G.G. 1998. Mandalselva. - Kalking i vann og vassdrag. Overvåking av større prosjekter 1995. DN-notat 1998-1: 58-64.
- Larsen, B.M., Andreassen, T., Berger, H.M., Hårsaker, K., Kleiven, E., Kvellestad, A., Sandodden, R. & Sivertsgård, R. 2001. Mandalselva. 3 Fisk. - Kalking i vann og vassdrag. Overvåking av større prosjekter 2000. DN-notat 2001-2: 61-65.
- Larsen, B.M., Berger, H.M., Hårsaker, K., Kleiven, E., Kvellestad, A. & Lund, R. 2003. Mandalsvassdraget. 3 Fisk. - Kalking i vann og vassdrag. Effektkontroll av større prosjekter 2002. DN-notat 2003-3: 59-63.
- Larsen, B.M., Berger, H.M., Hårsaker, K., Kleiven, E., Kvellestad, A. & Simonsen, J.H. 2004. Mandalsvassdraget. 3 Fisk. - Kalking i vann og vassdrag. Effektkontroll av større prosjekter 2003. DN-notat 2004-2: 60-65.
- Larsen, B.M., Berger, H.M., Kleiven, E., Kvellestad, A. & Simonsen, J.H. 2006. Mandalsvassdraget. 3 Fisk. - Kalking i vann og vassdrag. Effektkontroll av større prosjekter 2005. DN-notat (i manus).
- Larsen, B.M. & Hesthagen, T. 2004. Laks i kalkede vassdrag i Norge: status og forventninger. NINA Fagrapport 81. 25 s.
- Larsen, P.G.E. 2006. Notat vedrørende Laudal Kraftverk. Om lakseungers muligheter for å slippe uskadet gjennom Francisturbinene i Laudal kraftverk. 18 s.
- Lobón-Cerviá, J. 2004. Discharge-dependent covariation patterns in the population dynamics of brown trout (*Salmo trutta*) within a Cantabrian river drainage. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 61: 1929-1939.
- Lura, H. 2002. Laksesmoltproduksjon i Fotlandsvatnet i Bjerkreimsvassdraget. AMBIO Miljørådgivning, Rapport 10009-1. 13 s.
- Lura, H. 2005. Lakseproduksjon i innsjøer i kalka elver i Rogaland. AMBIO Miljørådgivning, Rapport 10015-1. 23 s.
- Lura, H. 2006a. Oppvandring av fisk fra Laudal til Mannflåvatn i 2005. AMBIO Miljørådgivning, Rapport 25110-2. 23 s.
- Lura, H. 2006b. Smoltutvandring fra Mannflåvatn våren 2005. AMBIO Miljørådgivning, Rapport 25117-1. 38 s.
- Montén, E. 1985. Fisk och turbiner. Vattenfall, Stockholm. 116 s.

- Næsje, T.F., Fiske, P., Forseth, T., Thorstad, E.B., Ugedal, O., Finstad, A.G., Hvidsten, N.A., Jensen, A.J. & Saksgård, L. 2005. Biologiske undersøkelser i Altaelva. NINA Rapport 80. 99 s.
- Rivinoja, P. 2004. Passage problems of Atlantic salmon in regulated rivers. Vattenbruksinstitutionen, Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå, Rapport 39. 37 s.
- Ruggles, C.P. 1980. A review of the downstream migration of Atlantic salmon - Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 952. 39 s.
- Saltveit, S.J. 1980. Skjønns Laudal kraftverk. Fiskeribiologiske forhold i Mandalselva og Mannflåvatn. Rapp. Lab. Ferskv. Økol. Innlandsfiske, Oslo 41. 46 s.
- Saltveit, S.J. 1984. Fiskeribiologiske undersøkelser i Kosånassdraget i Aust- og Vest-Agder. Rapp. Lab. Ferskv. Økol. Innlandsfiske, Oslo 67. 21 s.
- Saltveit, S.K. & Bremnes, T. 2004. Effekter på bunndyr og fisk av ulike vannføringsregimer i Suldalslågen. Suldalslågen - Miljørapport nr. 42. 156 s.
- Sivertsen, A. 1989. Forsuringstruede anadrome laksefiskbestander og aktuelle mottiltak. NINA Utredning 10. 28 s.
- Larsen, P.A. & Haraldstad, Ø. 1994. Kalkingsplan for Mandalsvassdraget i Vest-Agder. 57 s.
- Symons, P.E.K. 1979. Estimated escapement of Atlantic salmon (*Salmo salar*) for maximum smolt production in rivers of different productivity. J. Fish. Res. Board Can. 36: 132-140.
- Saltveit, S.J. 1980. Skjønns Laudal kraftverk. Fiskeribiologiske forhold i Mandalselva og Mannflåvatn. Rapport fra Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske, Zoologisk Museum Universitetet i Oslo 41. 46 s.
- Thorstad, E.B. 2003. Oppvandring hos radiomerket laks forbi minstevannføringsstrekningen ovenfor Laudal kraftstasjon. Side 91-93 i Ø. Haraldstad & T. Hesthagen (red.). Laksen er tilbake i kalkede Sørlandselver. Reetableringsprosjektet 1997-2002. DN-utredning 2003-5. 110 s.
- Ugedal, O., Berger, H.M. & Hoem, S.A. 2005. Kartlegging av Mandalsvassdraget fra Laudal til Krossen. NINA Minirapport 111. 11 s. + vedleggskart.
- Uglen, I., Økland, F., Forseth, T., Diserud, O., Fiske, P., Thorstad, E.B., Hvidsten, N.A. & Berger, H.M. 2005. Smoltutvandring forbi Laudal kraftverk i Mandalselva. NINA Rapport 13. 31 s.



# NINA Rapport 146

ISSN:1504-3312

ISBN: 82-426-1697-3



## Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: NO-7485 Trondheim

Besøks/leveringsadresse: Tungasletta 2, NO-7047 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 73 80 14 01

Organisasjonsnummer: 9500 37 687

<http://www.nina.no>