

## Miljødesign Mandalselva

### Samlet tiltaksplan og oppsummering

Torbjørn Forseth, Hans-Petter Fjeldstad, Sven-Erik Gabrielsen, Bjørnar Skår, Anders Lamberg, Richard Hedger, Eli Kvingedal & Torgeir Havn



## **NINAs publikasjoner**

### **NINA Rapport**

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

### **NINA Temahefte**

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

### **NINA Fakta**

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

### **Annen publisering**

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

# Miljødesign Mandalselva

## Samlet tiltaksplan og oppsummering

Torbjørn Forseth  
Hans-Petter Fjeldstad  
Sven-Erik Gabrielsen  
Bjørnar Skår  
Anders Lamberg  
Richard Hedger  
Eli Kvingedal  
Torgeir Havn

Forseth, T., Fjeldstad, H-P., Gabrielsen, S-E., Skår, B., Lamberg, A., Hedger, R., Kvingedal, E. & Havn, T. 2019. Miljødesign Mandalselva – samlet tiltaksplan og oppsummering. NINA Rapport 1691. Norsk institutt for naturforskning

Trondheim, desember 2019

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-3441-2

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

REDAKSJON

Torbjørn Forseth

KVALITETSSIKRET AV

Ola Ugedal

ANSVARLIG SIGNATUR

Assisterende forskningssjef Tonje Aronsen (sign.)

OPPDRAKSGIVER(E)/BIDRAGSYTERE

Agder Energi Vannkraft

OPPDRAKSGIVERS REFERANSE

KONTAKTPERSONER HOS BIDRAGSYTERE

Svein Haugland

FORSIDEBILDE

Fra den restaurerte elvestrekningen nedstrøms Dam Manflå.

Foto: Svein Haugland

NØKKEWORD

- Marnardal
- Mandal
- Laks
- Sjøaure
- Smolt
- Gytefisk
- Oppvandring
- Nedvandring
- Vassdragsregulering
- Habitatrestaurering

#### KONTAKTOPPLYSNINGER

**NINA hovedkontor**

Postboks 5685 Torgarden  
7485 Trondheim  
Tlf: 73 80 14 00

**NINA Oslo**

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Tlf: 73 80 14 00

**NINA Tromsø**

Postboks 6606 Langnes  
9296 Tromsø  
Tlf: 77 75 04 00

**NINA Lillehammer**

Vormstuguvegen 40  
2624 Lillehammer  
Tlf: 73 80 14 00

**NINA Bergen**

Thormøhlensgate 55  
5006 Bergen  
Tlf: 73 80 14 00

[www.nina.no](http://www.nina.no)

## Sammendrag

Forseth, T., Fjeldstad, H-P., Gabrielsen, S.E., Skår, B., Lamberg, A., Hedger, R., Kvingedal, E. & Havn, T. 2019. Miljødesign Mandalselva – samlet tiltaksplan og oppsummering. NINA Rapport 1691. Norsk institutt for naturforskning.

Dette er et ordinært rapportssammendrag. I neste kapittel kommer en litt bredere gjennomgang av laks i Mandalselva og prosjektet i forenklet form.

Prosjektet «Miljødesign i Mandalselva» har vært et femårig prosjekt som bygger på de mulighetene som ligger i «Håndbok for miljødesign i regulerte laksevassdrag». Prosjektet har hatt som mål at «*det årlige tapet i lakseproduksjon etter vannkraftreguleringen i Mandalsvaselva skal reduseres til et minimum, samtidig som kraftproduksjon på lakseførende strekning opprettholdes eller økes*». Prosjektet har utviklet en plan for fysiske tiltak som øker lakseproduksjonen, evaluert og utredet tiltak for å sikre opp- og nedvandring forbi Laudal kraftverk og utviklet faglig begrunnede forslag til miljødesignet minstevannføring forbi Laudal kraftstasjon og vannslipp forbi Bjelland kraftstasjon.

### *Diagnose og habitattiltak*

Alle de fire lakseførende elvestrekningene i Mandalselva ble kartlagt etter miljødesignmetodikken og en diagnose ble stilt for å identifisere habitatmessige flaskehalser for lakseproduksjon. Strekningen fra Kavfossen til utløpet av Bjelland kraftverk ved Monan er en 3,8 km lang minstevannstrekning med to betongterskler med tilhørende store terskelbasseng. Bare de øverste delene var høyproduktive mens de to terskelbassengene var svært lavproduktive med både gyteareal og skul som flaskehalser. Selv om vanndeckt areal blir redusert om man fjerner tersklene, viste våre estimer at smoltproduksjonen på strekningen vil øke betydelig. Gevinsten i form av prosentvis økt smoltproduksjon varierer fra ca. 35 % ved 2 m<sup>3</sup>/s til 50-60 % ved 6 m<sup>3</sup>/s, og vi anbefaler at tiltakene gjennomføres.

Strekningen fra utløpet av Bjelland kraftverk til elvas innløp i Manflåvann er ca. 8 km lang og veksler mellom stryk og glattstrømmer avbrutt av større kulplignende og stilleflytende områder. På strekningen er det relativt mye krypsiv, som vurderes positivt for skjultilgangen. Strekningen framstår samlet som moderat lavproduktiv og det er lite gytehabitat i noen delstrekninger og lite skjul i flere av delstrekningene. Samlet gyteareal utgjør ca. 2,3 % av elvearealet, noe som klassifiseres som moderat mye. Vi anbefaler ingen tiltak på denne strekningen.

Fram til vinteren/våren 2016 var det 12 terskler på den 6 km lange strekningen fra Dam Manflå til utløpet av Laudal kraftverk. Hele strekningen ned til Kleveland bru hadde lite gyteareal, bare den øverste strekningen hadde moderate skjulmengder, og resten hadde lave skjulmengder. Det var mye bra substrat i terskelbassengene, men dette var delvis gjenarettet av finmateriale og vannhastighetene begrenset trolig fiskens bruk. Det ble identifisert et stort (nesten 900 m<sup>2</sup>) og flere mindre potensielle gyteområder. Oppmålinger og hydraulisk modellering viste hvordan elvestrekningen ville framstå etter at tersklene ble fjernet. Det ble estimert en økning i smoltproduksjonskapasitet etter terskelfjerning på mellom 85 og 100 % (dobling). I 2016 ble tersklene fjernet og så godt som alt materiale fra tersklene ble lagt tilbake i elveleiet. Det ble lagt ut ny gytegrus øverst. Deler av bunnen ble rippet med en gravemaskin slik at skjultilgangen økte. Kartlegging av gytegroper og yngeltellinger i 2016 til 2018 viser at gevinsten av tiltakene ikke ble overvurdert. Etter en skadeflom i 2017 ble også den nederste terskelen (rett oppstrøms kraftversutløpet) fjernet og strekningen ombygd for å sikre gode oppvandring- og habitatforhold.

Strekningen fra utløpet av Laudal kraftverk til brakkvannssonen er nesten 20 km lang og har det største elvearealet av de fire strekningene. Elvestrekningen er gjennomgående bred og veksler mellom stryk, glattstrømmer og kulper med lav gradient, men har en brattere og smalere stryk- og fossestrekning. Strekningen framstår samlet som lav til moderat produktiv, med skjul som dominerende flaskehals i 14 av de 20 kilometerne. Samlet gyteareal utgjør ca. 3,1 % av elve-

arealet, noe som er moderat mye. Det er substratstørrelsen som gjør at det er lite skjul, og forholdene framstår som naturlige. For å øke skjultilgangen må det tilføres større stein og blokker og tiltakene må være omfattende om de skal ha særlig effekt. Vi anbefaler derfor ikke konkrete tiltak på strekningen.

#### *Fiskevandring og vandringsiltak*

Oppvandringen av gytefisk inn i og gjennom strekningen Laudal til Dam Manflå har blitt studert med radiotelemetri, video og logiteller med ulik dekning og i ulike perioder fra midten av 1990-tallet. Fra 2011 har all oppvandrende fisk vært registrert med video i Dam Manflå. Nytt reglement for Laudal kraftverk fra 2013 medførte at vannføringen på strekningen økte betydelig og i 2014 og 2015 ble det gjennomført nye radiomerkeforsøk med oppvandrende laks.

Antall oppvandrende laks forbi Dam Manflå har økt og stabiliserte seg på rundt 1000 fisk fra slutten av 2000-tallet. Både telemetristudiene og en videostudie viser at Haugefoss langt nede i vassdraget kan begrense oppvandringen om forsommeren under høye vannføringer ( $>50 \text{ m}^3/\text{s}$ .) Telemetristudiene viste at med vannføringene som ble innført fra 2013 er det ikke lengre forsinkelser ved utløpet av kraftverket og vandringen gjennom minstevannstrekningen er rask. De 11 merkede fiskene som passerte Dam Manflå brukte kort tid gjennom Manflåvann og ingen hadde lengre stopp ved utløpet av Bjelland kraftverk. Selv med data fra 2011 og 2012, med vesentlig lavere vannføringer, var det ikke noen klare sammenhenger mellom antall fisk gjennom Dam Manflå og vannføringsforhold, og oppvandringen er uvanlig jevn gjennom sesongen.

Fra 2004 til 2018 har det vært driftet et smolthjul for fangst av utvandrende smolt ved Hesså, oppstrøms Manflåvann. Fra 2003 og utover har det vært gjennomført tre forsøk med radiomerking av smolt og passasje forbi inntaket til Laudal kraftverk og ett forsøk (2015) med detaljstudier av atferd foran kraftverksinntaket ved hjelp av akustisk telemetri. I tillegg har smolt og vinterstøinger blitt overvåket årlig fra 2011 i video ved Dam Manflå.

Basert på fangstene i smolthjulet ved Hesså vandrer smolten fra midten av april til tidlig i juni. Median startdato (10 % utvandring) var 1. mai, sluttdato 24. mai og i gjennomsnitt varte utvandringen 22 dager. Det var betydelig variasjon mellom år, og jo senere på våren utvandringen startet jo kortere ble utvandningsperioden. Tidspunkt for 10 % utvandring forklarte 60 % av variasjonen i utvandringens varighet. Observerte utvandningsperiode i video ved Dam Manflå var noe senere enn fellefangstene ved Hesså viser, selv korrigert for vandringstid. Forskjellen skyldes trolig primært de to metodenes egenskaper.

Starten på utvandringen (dagnummer for 10 og 25 % fangst i fella) var korrelert med både vann-temperatur og lufttemperatur. Den beste modellen forklarte henholdsvis 76 og 79 % prosent av startdag ut fra lufttemperatursummen ved Kjevik målestasjon. Modellene ble vurdert som et godt verktøy for å styre start av vannslipp for smolt ved Laudal kraftverk.

Fire telemetriforsøk ga vandringsrute (inn i Laudal kraftverk eller over Dam Manflå) for i alt 274 smolt. Vi modellerte sannsynligheten for å vandre forbi kraftverket som en funksjon av total vannføring, andel av vannføringen sluppet forbi og en interaksjon mellom de to. Modellen viser at andelen smolt som vandrer rett vei (over dammen) øker med andelen vann som slippes forbi, samtidig som at det trengs større slipp på høye enn lave totalvannføringer inn til området. Denne modellprediksjonen er grunnlag for vårt forslag om vannslipp for smoltutvandring. Detaljstudien fra 2015 viste at få smolt søkte foran kraftverksinntaket og at de fleste enten vandret rett inn i kraftverket eller rett forbi. Tiltak ved inntaket vil derfor trolig ha liten effekt. Muligheten for å etablere en smoltsikker grind foran inntaket har også vært utredet, men det mangler en fluktvei nær grinda, lysåpningen må være svært liten (10 mm) slik at grindarealet blir stort og konstruksjonen kostbar. Det må slippes mye vann forbi også om ei slik grind bygges. Studien viste imidlertid at sannsynligheten for at smolt vandrer forbi inntaket og over dammen var mye høyere for fisk som kom til inntaksområdet på vestsiden av Manflåvann enn fisk som kom inn på samme side som kraftverksinntaket ligger. Vårt forslag er at smoltutvandringen forbi inntaket til Laudal kraftverk løses gjennom vannslipp i kombinasjon med et ledegjerde som leder fisken mot vestsiden.

Utvandringen av vinterstøinger har vært registret i video i Dam Manflå siden 2011. Mange av vinterstøingene kan komme seg gjennom varegrinda til Laudal kraftverk og bli drept i turbinene. Det har imidlertid blitt observert så mange vinterstøinger over Dam Manflå om våren sammenlignet med antall gytefisk som vandret opp året før at det er usannsynlig at mange vinterstøinger vandrer gjennom varegrinda og inn i kraftverket. Det er etter vår vurdering ikke nødvendig med egne tiltak for å sikre nedvandring av vinterstøinger ved Laudal kraftverk.

#### *Miljødesignet vannføring*

Vannføringen på strekningen Kavfossen til Monan (forbi Bjelland kraftverk) er primært bestemt av vannføring i den uregulerte Kosåna, i tillegg til minstevannføringer på 2 m<sup>3</sup>/s om sommeren og 1 m<sup>3</sup>/s om vinteren. Vi beregnet daglige vannføringene på strekningen for årene 2000-2013 og hvor store vannslipp som trengs i tillegg for å oppnå ulike minstevannføringer. Vannverdien ved Bjelland kraftverk er 2,4 ganger høyere i Bjelland enn i Laudal kraftverk, og målsettingen i prosjektet og kraftverkets status for miljøkrav tilsier at det ikke er aktuelt med store vannslipp. Under forutsetning om at tersklene fjernes forslår vi å øke slippene slik at det sikres en minste vannføring på 1,5 m<sup>3</sup>/s om vinteren og 3 m<sup>3</sup>/s om sommeren. Målet er primært å sikre at grunne gyteområder ikke tørrlegges. Det ble også utviklet og implementert restriksjoner på nedtappinger i Bjelland kraftverk som reduserer negative effekter på ungfish (primært stranding) under ordinær drift til et minimum

På strekningen Dam Manflå til Laudal er det i dag relativt store vannslipp etter at det nye manøvreringsreglementet ble innført i 2013. I miljødesignprosjektet har vi utviklet et alternativ vannføringsregime som vi vurderes som samlet sett bedre både for fisk og kraftproduksjon. Forslaget innebærer et slipp om vinteren på 5 m<sup>3</sup>/s, en sommervannføring på 12 m<sup>3</sup>/s i fiskesesongen og 10 m<sup>3</sup>/s i slutten av oppvandringsperioden og en vannføring under gytetida på 6 m<sup>3</sup>/s. Under smoltutvandringen skal slippene variere med vannføringen inn til kraftverket. Sammenlignet med dagens reglement er vannslippene om vinteren redusert fra 6 til 5 m<sup>3</sup>/s. Forskjellen i vanndekt areal på 6 og 5 m<sup>3</sup>/s er minimale, det blir fortsatt godt med dypere overvintringsområder. Vann-dypet på gyteområder og gytegroper tilsier ikke at tørrlegging av gytegroper vil bli noe problem. Våre resultater og vurderinger tilsier at en vintervannføring på 5 m<sup>3</sup>/s vil sikre både god vinter-overlevelse for yngel og parr og være høy nok til å sikre rognoverlevelse.

Dagens reglement tilsier at om lag halvparten av vannet slippes forbi kraftverket i 14 dager om våren for å sikre at mye av smolten vandrer forbi inntaket. Slippene starter etter en markant økning i fangster av smolt i fella i Hesså. Hovedutfordringene med smoltslippene er at slipp-perioden noen år kan bli for kort og at fella må driftes årlig. Vårt forslag tilsier at startdato for smoltslippene bestemmes av modellen som forutsier utvandringsstart (25 % utvandring) fra summen av lufttemperaturer fra Kjevik Flystasjon. Slippenes varighet bestemmes av starttidspunktet slik at slippene varer 28 dager når utvandringen starter tidlig og er langstrakt, 21 dager ved normal utvandringsstart og varighet og 15 dager når utvandringen starter sent og er intens. Slippenes størrelse er avhengig av vannføringen inn til kraftverket og er gitt som maksimal vannføring inn i kraftverket i trappetrinn. Slippene skal sikre at minst 75 % av smolten vandrer forbi kraftverket i hele perioden. For å nå målet om at minst 90 % av smolten skal passere foreslår vi at det utvikles ledegjerder som leder smolten over mot motsatt side der de lettere finner veien ned mot dammen. Vi brukte våre utviklede modeller og estimerte at mens dagens reglement i gjennomsnitt ga 64 % av smolten forbi kraftverket ga vårt forslag 71 % rett vei for årene 2006 til 2018.

Sommervannføringen er foreslått til 12 m<sup>3</sup>/s og varer til 31. august. Formålet med slippene er å sikre oppvandringen av gytefisk og produksjon av laks- og auresmolt på strekningen. I henhold til en utviklet modell øker vanndekt areal mye med vannføring opp til 5 m<sup>3</sup>/s, mens elvesenga er tilnærmet full og øker lite for vannføringer over ca. 10 m<sup>3</sup>/s. Vårt forslag til sommerslipp på tar hensyn til usikkerhet i arealberegningene, bidrar til en gunstig habitatsammensetning samt at vi har tatt hensyn til vandring og fiskemuligheter. En samlet vurdering av alle data for oppvandring



tilsier at en sommervannføring på 12 m<sup>3</sup>/s vil sikre gode vandringsforhold og sammen med flomslipp vurderer vi at fiskeforholdene på strekningen blir gode. Dagens bestemmelse med stopp i kraftverket hver fredag ser ikke ut til å være nødvendig for at gytefisk skal vandre inn i strekningen, og foreslås fjernet. Gjeldende reglement har også trappetrinnløsning for sommervannføring. Etter vår vurdering gir ikke denne noen gevinst for fiskeproduksjonen fordi produksjonen trolig er dimensjonert etter minste vanddekt areal og fordi de relativt korte periodene med høyere vannføringer neppe gir målbart bedre vekst eller overlevelse for laksunger.

Fra 1. september til 20 oktober foreslår vi en høstvannføring på 10 m<sup>3</sup>/s som primært skal sikre god oppvandring av sent ankommet gytefisk og fungere som en myk overgang til gytevannføringen. Gytevannføringen er foreslått til 6 m<sup>3</sup>/s og varer fra 20. oktober til 1. desember (gyteperioden for laks og sjøaure). Denne vannføring ble satt ut fra at vannføring må være stor nok til at vannhastighetene på gyteområdene blir så høye at fisken vil gyte og at endringen mellom vannføringen under gytinga og den etterfølgende vinteren skal være så liten at gytegroper ikke tørrlegges. Registreringen av vanddyp over gropene og gravedyp i 2016 og 2017 viser at det ikke er fare for tørrlegging av gytegroper når vannføringen blir 6 m<sup>3</sup>/s i gytetida og 5 m<sup>3</sup>/s den etterfølgende vinteren.

Også for Laudal kraftverk ble det utviklet forslag til restriksjoner på nedtappinger i kraftverket som skal redusere negative effekter på ungfisk (primært stranding) under ordinær drift til et minimum.

#### *Mer laks og mer kraft*

Smoltgevinsten ved både de gjennomførte og planlagte tiltakene ble beregnet som antall nye smolt som blir produsert i tillegg til den smoltproduksjonen som foregikk før noen tiltak var gjennomført. Dette er gevinster som reduserer tapet etter byggingen av kraftverkene. I gevinsten inngår i tillegg redusert smolttap i Laudal kraftverk. Dersom alle de foreslåtte tiltakene i miljødesignprosjektet gjennomføres forventes en total gevinst på mellom 20 000 og 35 000 smolt, tilsvarende en økning i antall smolt ut av vassdraget på ca. 30 %. Tapet etter kraftutbyggingen i vassdraget har tidligere blitt anslått til mellom 20 og 40 %, men tallene er ikke direkte sammenlignbare. Våre vurderinger tilsier imidlertid at målet om å redusere tapet etter reguleringen til et minimum er godt nådd om prosjektets tiltakspakke gjennomføres.

Forslaget til vannslipp ved Laudal kraftverk representerer en årlig innsparing i kraftproduksjon på i gjennomsnitt 4,7 GWh (0,3-6,7) sammenlignet med dagens manøvreringsreglement. Frivillige slipp ved Bjelland kraftverk som sikrer en økt minstevannføring om sommeren (fra 2 til 3 m<sup>3</sup>/s) og vinteren (fra 1 til 1,5 m<sup>3</sup>/s) på strekningen Kavfossen til Monan innebærer et krafttap på rundt 1 GWh (0,5-2 GWh). Gevinsten ved miljødesignede slipp forbi Laudal kraftverk er altså større enn tapet ved noe større slipp forbi Bjelland kraftverk.

Samlet sett innebærer forslagene til fysiske tiltak, tilpasninger i kraftverksdrift og vannslipp at kraftproduksjonen på lakseførende strekning i gjennomsnitt økes, mens tapet i lakseproduksjon etter kraftreguleringen i Mandalselva blir redusert til et minimum. Målet i miljødesignprosjektet kan derfor bli nådd om anbefalte tiltak gjennomføres.

Torbjørn Forseth ([torbjorn.forseth@nina.no](mailto:torbjorn.forseth@nina.no)), Richard Hedger, Eli Kvingedal & Torgeir Havn, Norsk institutt for naturforskning (NINA), Postboks 5658 Torgarden, 7485 Trondheim.  
Hans-Petter Fjeldstad, Sintef Energi AS, Postboks 4760 Torsgarden, 7465 Trondheim  
Sven Erik Gabrielsen & Bjørnar Skår, NORCE LFI, Postboks 22 Nygårdstangen, 5838 Bergen  
Anders Lamberg, Skandinavisk naturovervåking, Ranheimsvegen 281, 7054 Ranheim



## Mandalselva - fra forsuring og vannkraftregulering til kalking, reetablering og miljødesign

Her kommer litt av historien til laksen i Mandalselva, bakgrunn for miljødesignprosjektet og de viktigste resultatene og anbefalingene fra prosjektet i en litt mer letleselig form enn i selve rapporten. De som er interessert i en oversikt over hva prosjektet omhandler og hva vi har oppnådd kan finne mye her, mens detaljene og det faglige grunnlaget finnes i hovedrapporten.

### **Forsuring og vannkraftregulering**

Mandalselva var blant landets store lakseelver på slutten av 1800-tallet med gjennomsnittlig rapporterte fangster av laks og sjørret på over 18 tonn og en topp på nesten 35 tonn i 1884. I tillegg ble laks fra Mandalselva beskattet i et omfattende sjølaksefiske langs kysten av Sørlandet og gjennomsnittsfangstene av Mandalslaks kan ha vært så høy som 40 tonn. Fangstene sank markant i starten av 1900-tallet og rundt 1970 ble laksebestanden vurdert som tapt på grunn av forsurening. I de neste nesten 30 åra var Mandalselva ei «død» elv, uten fiskere og særlig aktivitet langs elva. I denne perioden ble det bygd to kraftverk som berørte den opprinnelige lakseførende strekningen – Bjelland kraftverk i øvre deler i 1975 og Laudal kraftverk midt på strekningen i 1981. Fordi det ikke var laks og knapt sjørret i vassdraget ble utbyggingene gjort uten særlig hensyn til fisk og fiske. Den øverste strekningen fikk sterkt redusert vannføring etter bygging av Bjelland kraftverk og det ble bygd to betongterskler for å opprettholde vannspeil. Byggingen av Laudal kraftverk ga en strekning på 5 km nesten uten vann (250 liter ble sluppet forbi) og det ble bygd en rekke terskler. Elva ble på den måten delt i to, i praksis nesten uten oppvandringsmuligheter for fisk.

### **Kalking og reetablering**

I 1985 ble Audna som det første laksevassdraget i Norge kalket, og viste at det var mulig å fullkalke et laksevassdrag og reetablere laks. Flere vassdrag fulgte og dette økte interessen for tiltak i de mange forsurede vassdragene i Sør-Norge. I 1991 ble Flerbruksplan Mandalsvassdraget etablert, et samarbeid mellom alle kommunene langs vassdraget, Agder Energi, NVE, Fylkesmannen, Fylkeskommunen, elveeierlag og næringsorganisasjoner. Hovedmålet med arbeidet var at vassdraget skal være et viktig bidrag til miljø og næringsutvikling. Diskusjonene i flerbruksplanen fulgt av et dristig vedtak i Direktoratet for naturforvaltning (DN, nå Miljødirektoratet) medførte at fullkalking av Mandalselva ble startet i 1997 (det var allerede noe kalking i sidevassdrag og innsjøer). Målet var å skape vannkjemiske forhold slik at laksen kunne reetableres, og for å nå dette målet ble det bygd tre kalkdoseringsanlegg (Smeland, Håverstad og Bjelland). Kalking i et så stort vassdrag hadde aldri blitt gjort før. Allerede året etter ble det funnet laksyngel på flere stasjoner og fangstene av laks økte. Så tidlig som i 2000 ble det rapportert en fangst på nesten 5 tonn laks og året etter over 12 tonn.



*Vannstrålen som holder liv i elva  
– fra Håverstad kalkdoseringsanlegg*

Samtidig som at kalkingen startet etablerte DN (nå Miljødirektoratet) «Reetableringsprosjektet» for laks på Sørlandet, med fokus på Mandalselva og Tovdalselva (fullkalket fra 1996). I tillegg til en betydelig forskningsinnsats ble det etablert en kultiveringsplan der laks fra Bjerkreimsbestanden skulle brukes for å styre reetableringen i Mandalselva genetisk. Både NINAs forskningsstasjon på Ims og det lokale Finså klekkeri ble brukt i kultivering, og det ble satt ut store mengder befruktet rogn, ensomrig settefisk og smolt fra 1997 til 2013. Noe av utsettingsmaterialet kom fra stamfisk fanget i vassdraget. Det ble relativt fort reetablert en levedyktig laksebestand og fra 2005 har gytebestandsmålet (antall kilo hunner som trengs for utnytte elvas produksjonskapasitet) blitt nådd de fleste år. Genetiske analyser viste at man ikke lyktes med å styre reetableringen, og at dagen bestand stammer fra en kombinasjon av utsettingene og naturlig innvandret fremmed fisk. I tråd med nasjonale føringer som tilsier at fiskeutsettinger så langt som mulig skal erstattes av fysiske tiltak som bedrer de naturlige produksjonsforholdene, og fordi den naturlige rekrutteringen var blitt stor nok, ble kultiveringen avsluttet i 2013 og Finså klekkeri ble senere lagt ned.

### ***Veien mot et miljødesignprosjekt***

I konsesjonen for Laudal kraftverk var det lagt inn en bestemmelse som tilsa at reglementet kunne tas opp til revurdering dersom laksen kom tilbake. Denne bestemmelsen, reetableringsprosjektet og flerbruksplanarbeidet dannet grunnlag for at det ble startet flere forskningsprosjekter for å belyse situasjonen for laks i Mandalselva. Oppvandring av laks forbi Laudal kraftverk var allerede før fullkalkingen startet et dokumentert hovedproblem og kraftverkseieren Agder Energi økte i 1996 minstevannføringen fra 250 liter/s til 3 m<sup>3</sup>/s om sommeren og 1,5 m<sup>3</sup>/s om vinteren. Året etter innførte regulanten frivillig en bestemmelse som sikret at vannføringen ikke skulle komme under 2 m<sup>3</sup>/s om sommeren og 1 m<sup>3</sup>/s om vinteren på den øverste strekningen forbi Bjelland kraftverk. Tapet i lakseproduksjon etter kraftutbyggingen i vassdraget ble i en utredning anslått til mellom 20 og 40 %, tilsvarende mellom 23 000 og 71 500 smolt. Tapet skyldes i hovedsak redusert vannføring og ugunstige habitatforhold på strekningene forbi de to kraftverkene og at laksesmolt vandrer inn i turbinene i Laudal kraftverk, der mye av smolten er forventet å dø. Det ble gjennomført flere utredning- og forskningsprosjekter for å finne måter å unngå at smolten vander inn i kraftverket og undersøkelsene viste at smoltens vandringvei (inn i kraftverket eller gjennom luker i dammen) var sterkt påvirket av hvor mye vann som ble sluppet forbi. Fra 2004 til 2013 ble det frivillig sluppet mye mer vann forbi kraftverket i vårperioden når smolten vandrer ut.

Etter en lang prosess fikk Agder Energi i 2013 et nytt manøvreringsreglement for Laudal kraftverk som medførte betydelig større vannslipp og krafttap enn både det opprinnelige reglementet og de frivillige slippene. Vannslippene skulle sikre at mye av smolten unngikk turbinene og raskere oppvandringen av gytefisk, samt at økt sommer- og vintervannføring skulle gi tilnærmet normal smoltproduksjon på strekningen. Det ble åpnet for at reglementet kan endres etter fem år. I tillegg startet vannforskriftsarbeidet i vassdraget og i 2017 ble strekningen fra Kavfossen til Monan (forbi Bjelland kraftverk) satt opp som prioritert for andre typer tiltak (som ikke innebærer krafttap) som kan pålegges vannkraftsektoren i den vedtatte forvaltningsplan for vannregion Agder for perioden 2016 til 2021.

Situasjonen høsten 2013 kan derfor beskrives slik:

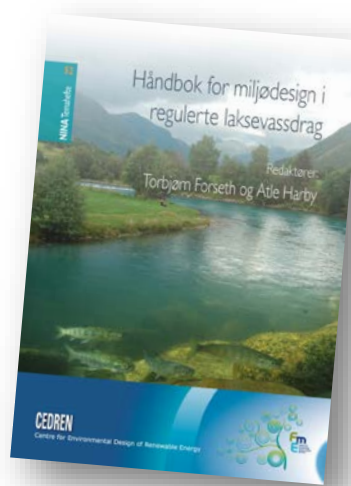
- Agder Energi hadde fått et nytt reglement som medførte redusert kraftproduksjon i Laudal kraftverk, som ikke nødvendigvis var optimalt for fisken og med åpning for endring etter fem år. Eventuelle endringer må være faglig begrunnet.
- Fiskeutsettingene var avsluttet og burde i tråd med nasjonale retningslinjer erstattes av tiltak som bedrer den naturlige fiskeproduksjonen.
- Selv om det nye reglementet bedret forholdene for fisk på minstevannstrekningen forbi Laudal kraftverk og reduserte tapet av smolt i kraftverket, bidrar vannkraftreguleringen fortsatt til redusert produksjonskapasitet for laks i Mandalselva.
- Den vedtatte vannforvaltningsplanen prioriterte strekningen Kavfossen til Monan for fysiske tiltak for å nå vedtatte miljømål.

- Begge de to minstevannstrekingene var preget av terskelbassenger som generell kunnskap tilsier ikke er godt egnet for lakseproduksjon.

Som svar på denne situasjonen utviklet forskere fra Norsk institutt for naturforskning i samarbeid med Agder Energi Vannkraft prosjektet Miljødesign Mandalselva med oppstart i 2014.

### **Hva er miljødesign for laks?**

Miljødesign for laks ble utviklet gjennom forskningsprosjektet EnviDORR og forskningssenteret CEDREN. Arbeidet startet i 2007 og høsten 2013 ble "Håndbok for miljødesign i regulerte laksevassdrag" publisert. Håndboka beskriver hvordan man kan utrede, utvikle og gjennomføre tiltak som bedrer forholdene for laks i regulerte vassdrag samtidig som man tar hensyn til kraftproduksjon. Miljødesign for laks er et konsept hvor man i regulerte vassdrag spesialtilpasser miljøforholdene etter lakses krav. Metoden bygger på at kartlegging av fysiske og vannføringsmessige forhold gir grunnlag for en diagnose som beskriver de viktigste flaskehalsene for lakseproduksjon og deretter utvikler tiltak som reduserer effekten av disse flaskehalsene. Tiltakene kan være fysiske tiltak i elvebunnen og/eller smartere vannbruk.



### **Miljødesign Mandalselva – visjon, mål og organisering**

Idéen bak prosjektet var å definere dristige mål både for lakseproduksjon og kraftproduksjon i Mandalselva og utrede hvordan målene kan nås gjennom en helhetlig miljødesign. Prosjektets visjon har vært «Mer laks og mer kraft i Mandalselva» og det ble definert følgende mål:

*«Det årlige tapet i lakseproduksjon etter vannkraftreguleringen i Mandalselva skal reduseres til et minimum, samtidig som kraftproduksjon på lakseførende strekning opprettholdes eller økes»*

Prosjektet definerte følgende arbeidsoppgaver:

- Utvikle en helhetlig plan for gjennomføring av fysiske tiltak som øker lakseproduksjonen på dagens lakseførende strekning.
- Utrede mulighetene for å øke lakseproduksjonen gjennom å ta i bruk nye elvestrekninger, og beskrive hvordan dette kan gjennomføres.
- Konkludere i forhold til tiltak for nedvandring forbi Laudal.
- Utvikle et faglig begrunnet forslag til miljødesignet minstevannføring forbi Laudal kraftstasjon, og eventuelt Bjelland kraftstasjon, som tar hensyn til både lakseproduksjon, fiskevandring og kraftproduksjon.

I tillegg skulle datainnsamlingen være grunnlag for å vurdere effekten av det nye manøvreringsreglementet for Laudal kraftverk. Underveis i prosjektet ble det etter innspill fra rådgivingsgruppa (se under) bestemt å også utrede forslag for miljøtilpasset drift av Bjelland og Laudal kraftverk for å hindre stranding av ungfisk under normale driftsoperasjoner.

Agder Energi Vannkraft har vært prosjekteier, mens Norsk institutt for naturforskning har hatt prosjektledelsen. NORCE LFI, SINTEF Energi AS og Skandinavisk Naturovervåkning har vært underleverandør til NINA.

Det ble opprettet en rådgivingsgruppe bestående av representanter fra Miljødirektoratet og NVE, Fylkesmannen i Agder, Marnardal kommune, en grunneierrepresentant og fire representanter fra Mandalselva elveeierlag. Gruppa har hatt årlige møter med rapportering av faglig progresjon

og diskusjon av videre planer, samt ekstra møter i avslutningsfasen av prosjektet. Gruppa kalles inn og ledes av Agder Energi.

### ***Habitatflaskehalsar og habitattiltak***

Den lakseførende delen av Mandalselva kan fra toppen og ned deles inn i fem delstrekninger ut fra vannføringsforhold:

- Den uregulerte *Kosåna* med utløp i Mandalelva rett nedstrøms Kavfossen,
- strekningen *Kavfossen-Monan* med redusert vannføring etter bygging av Bjelland kraftverk,
- strekningen *Monan-Manflåvann* fra utløpet av Bjelland kraftverk til Manflåvann,
- strekningen fra *Dam Manflå til Laudal* med redusert vannføring etter bygging av Laudal kraftverk, og til slutt
- strekningen fra *Laudal til brakkvannssonen*.

Med unntak av i Kosåna har vi kartlagt elveklasser (kulp, stryk, glattstrømmer osv.), gyteplasser (arealet av områdene med egnet gytegrus), avstandene mellom gyteplasser og skjulmengder (hulrom mellom steinene) i alle strekningene. Det er denne kartlegging som danner grunnlag for diagnosen og deretter eventuelle tiltak for de ulike strekningene.

#### ***Kavfossen-Monan***

Dette er en 3,8 km lang minstevannstrekning med to betongterskler med tilhørende store terskelbasseng. Bare den øverste delen var høyproduktivt, elvestrekningene mellom og nedstrøms terskelen på Sundet var moderat produktive (med gyteareal som viktigste flaskehals), mens de to terskelbassengene ble vurdert som svært lavproduktive (med både gyteareal og skjul som flaskehals). Miljødesignprosjektet har anbefalt at begge tersklene fjernes, og vi har beregnet og vist hvordan elvestrekningen mest sannsynlig vil bli etter at tersklene er fjernet. Begge bassengene vil fortsatt ha områder med dypt og stilleflytende vann, men det vil også bli områder som er mer hurtigflytende. Viktige gyteområder vil komme i bruk og skjultilgangen vil bedres. Gevinsten i form av økt smoltproduksjon vil være avhengig av vannføringen og varierer mellom 35 og 60 %. Miljødesignprosjektet har startet en prosess med lokale interessenter med mål om å få gjennomført terskelfjerning og noen andre mindre tiltak.





*Fra befaring på strekningen Kavfossen-Monan – nedre terskel ved Sundet.*

#### *Monan til Manflåvann*

Dette er en ca. 8 km lang elvestrekning som veksler mellom stryk og glattstrømmer avbrutt av større kulper og stilleflytende områder. På strekningen er det også relativt mye krypsiv, som med dagens forekomst er positivt for skjultilgangen. Strekningen framstår samlet som moderat lavproduktiv og det er lite gytehabitat i noen delstrekninger og lite skjul i flere delstrekninger. Bunnforholdene framstår som naturlig gitt elvas fall og ikke preget av gjenauring på grunn av reduserte flommer. Det ble ikke funnet områder godt egnet for utlegging av gytegrus der gyteareal samtidig var viktig flaskehals. Ut over eventuelle framtidige tiltak for å hindre skadelig oppvekst av krypsiv, særlig ved Monan, er det ikke foreslått habitattiltak på denne strekningen.

#### *Dam Manflå til Laudal kraftverk*

Fram til vinteren/våren 2016 var det i alt 12 terskler på denne 5 km lange strekningen. Det relativt flate partiet ned til Kleveland bru (ca. 4 km) deles naturlig av terskler i åtte delstrekninger. Hele strekningen hadde lite gyteareal, bare de to øvre delstrekningene hadde moderate skjulmengder, og resten hadde lave skjulmengder. Det var mye bra bunns substrat i terskelbassengene, men dette var delvis gjenauert av finmateriale og vannhastighetene begrenset trolig fiskens bruk. Det ble funnet et stort (nesten 900 m<sup>2</sup>) og flere mindre områder med gytegrus, men på grunn av oppdemming fra tersklene lå disse for dypt og hadde for stilleflytende vann til at gytelaks ville bruke de. Med unntak av den øverste delstrekningen, der det var bra med skjul, ble hele strekningen klassifisert som lavproduktiv. Beregninger ble gjennomført for å vise hvordan elvestrekningen ville bli dersom tersklene ble fjernet. Selv om fjerning ville innebære noe tørrlagt areal, ville nye gyteområder som kommer i bruk og økt mengde skjul bidra til at fiskeproduksjonen kunne økes betydelig. Det ble gjennomført en prosess med lokale interessenter og det ble høsten 2016 enighet om å fjerne nesten alle tersklene. Tidlig i 2016 ble tersklene fjernet og nesten alt materiale fra tersklene ble lagt tilbake i elveleiet. De største steinene ble lagt ut som skjul til

voksenfisk og til styring av vannet (for å gjenskape elvas opprinnelige svinger), mens de mellomstore ble brukt til å danne steinrygger med mye skjul for ungfisk. Det ble lagt ut noe gytegrus øverst på strekningen. I deler av de opprinnelige terskelbassengene ble bunnen rippet (steinene løftes med en gravemaskinpigg slik at finmateriale forsvinner) og det ble mer skjul. Dette tiltaket er det største habitatiltaket noen sinne gjennomført i ei lakseelv i Norge.



*Før og etter fjerning av to av tersklene. Flyfoto på vintervannføring ( $6 \text{ m}^3/\text{s}$ )*



*Materialet fra tersklene ble brukt for å skape bedre forhold for fisk*

Før terskelfjerningen ble gjennomført ble det anslått at tiltakene kunne nesten doble smoltproduksjonen på strekningen. I årene 2016 til 2018 ble det gjort nye skjulmålinger, kartlegging av gytegroper og yngeltellinger ved elektrisk fiske. Resultatene så langt er svært positive og tyder på at effekten av tiltakene i form av økt gyting og økt smoltproduksjonen blir minst like stor som vi antok.

I forbindelse med en storflom i vassdraget i oktober 2017 ble det gjort betydelige skader på den nederste terskelen rett oppstrøms utløpet av Laudal kraftverk og elva undergravde riksveien. Agder Energi, vegmyndigheter og lokale interessenter starter en prosess for om mulig å fjerne

også denne terskelen, i stedet for å gjenoppbygge. Med innspill fra miljødesignprosjektet ble det utarbeidet en plan for hvordan dette best kunne gjøres, og i mars-april 2018 ble terskelen fjernet og elveløpet ombygget. Det er sannsynlig at dette tiltaket både øker smoltproduksjon i området og gjør det lettere for voksenfisk å vandre forbi.

#### *Laudal til brakkvannssonen*

Strekningen ned til brakkvannssonen ved Møll bru er nesten 20 km lang og har det største elvearealet av de fire elvestrekningene i Mandalselva. Strekingen veksler mellom stryk, glattstrømmer og kulper, og har en markant brattere og smalere stryk- og fossestrekning i nedre halvdel. Samlet gyteareal utgjør ca. 3,1 % av elvearealet, noe som er moderat mye, og mer enn i strekningen Monan til Manflåvann. Det var derfor bare noen delstrekninger der gyteareal var viktigste flaskehals, noen delstrekninger der både gyteareal og skjul var begrensende for produksjonen, mens skjul var viktigste flaskehals i over 14 av de 20 kilometerne, og spesielt i de nedre delene. Strekingen er samlet sett lav til moderat produktiv, med skjul som viktigste begrensende faktor. Det er dominans av småstein og til dels fin grus som gjør at det er lite skjul, og det er bare i brattere strykstrekninger med større stein og berg at det bra med skjul. Disse forholdene er trolig naturlig, selv om tømmerfløting og minering kan ha bidratt negativt. For å øke skjultilgangen må det derfor tilføres større stein og blokker. Fordi elvearealet er på ca. 1,6 millioner m<sup>2</sup>, må tiltak som utlegging av stein i rygger ute i elva eller langs breddene være omfattende dersom de skal ha særlig effekt. Vi foreslår derfor ikke noen konkrete habitattiltak på denne strekningen, men det kan vurderes å gjennomføre noen mindre prøvetiltak i noen delstrekninger.

#### **Fiskevandring og tiltak**

I miljødesignprosjektet og tidligere prosjekter har både oppvandring av gytefisk og nedvandring av smolt og vinterstøinger blitt studert.

#### *Oppvandring av gytefisk*

De første radiomerkeforsøkene i Mandalselva på midten av 90-tallet viste at oppvandringen forbi utløpet av Laudal kraftverk og gjennom minstevannstrekningen opp til Manflåvann var svært problematisk. Økte minstevannføringer fra 1996, forsøk med lokkeflommer og fysiske tiltak bedret situasjonen en god del, men fortsatt var opphoping av fisk ved kraftversutløpet og sen oppvandring gjennom minstevannstrekningen med de mange tersklene en utfordring. De første forsøkene kan ha vært påvirket av at det tidlig i reetableringen var lite fisk som var klekket oppstrøms utløpet og at fisken derfor hadde lavere motivasjon for å vandre forbi. Utover på 2000-tallet ble det gjennomført ulike forsøk hvor videokamera ble brukt til å vurdere effekten av tiltak. Forsøkene viste at det vandret mer fisk når det ble sluppet ekstra vann, at forholdet mellom vannføringen ut av kraftverket og fra elva var viktig for om fisk gikk inn i strekningen og at motivert fisk vandret relativt raskt gjennom. Videoovervåking av oppvandring i Dam Manflå viste økt oppvandring fram mot slutten av 2000-tallet da antall oppvandrende laks stabiliserte seg på rundt 1000 laks. Fra 2011 har videoovervåkingen dekket hele oppvandringssesongen.

Med det nye reglementet fra 2013 økte vannføringen på strekningen Dam Manflå til Laudal betydelig og kraftverket ble stanset hver fredag om sommeren for å lokke opp fisk. For å se nærmere på oppvandringen med de nye forholdene ble det i 2014 og 2015 gjennomført nye forsøk med radiomerking av oppvandrende laks. Det var vanskelig å fange laks til merking og det ble merket relativt få fisk, men sett sammen med videoovervåkingen kunne vi konkludere som følger:

- Haugefossen langt nede i vassdraget kan forsinke oppvandringen på tidligsommeren men selv om laksen i hovedsak passerer fossen når vannføringen er under ca. 50 m<sup>3</sup>/s, kan noe fisk også gå på betydelig høyere vannføringer. Haugefossen påvirker derfor oppvandringen videre oppover.
- Utløpet av Laudal kraftverk er ikke lengre vesentlig forsinkende for oppvandringen og fisk hjemhørende oppstrøms utløpet kan passere utløpet på relativt lave vannføringer og når mye av vannet går gjennom kraftverket. Stansen i kraftverket på fredagene ser ikke ut til å ha noen effekt.



- Det var bare betongterskelen ved Kleveland bru som i noen grad forsinket oppvandringen til Manflåvann og denne og de andre tersklene ble fjernet i 2016 og 2017. Oppvandringen over Dam Manflå har vært svært jevn sammenlignet med andre vassdrag, og det vandrer fisk nesten hver dag gjennom oppvandringssesongen. Bare flomperioder ser ut til å forsinke oppvandringen.
- Det var få merkede fisk som vandret helt opp i vassdraget, men de få som passerte antyder ikke at utløpet av Bjelland kraftverk er et problem for videre vandring. Det er mulig at de to tersklene på minstevannstreking fra Moan og opp kan forsinke vandringen.

Vi konkluderer at med dagens vannføringsforhold er ikke kraftverkene lengre noe hinder for oppvandring av laks i vassdraget.

#### *Nedvandring av smolt*

Når laksungene har levd to til fire år i elva er de klare til å vandre ned elva og ut i sjøen og havet. De kalles da smolt. Smolt som vandrer inn i Laudal kraftverk har vært en viktig problemstilling siden laksen kom tilbake til Mandalselva. Varegrinda foran inntaket har så store åpninger at smolten kan passere og de to turbinene i kraftverket er av en størrelse og type som er vist å gi stor dødelighet i andre kraftverk. For å løse dette problemet har det vært gjort undersøkelser for å finne ut når smolten kommer til inntaket slik at vi vet når tiltak må iverksettes, og flere forsøk for å finne ut hvordan man kan få smolten til å velge å gå forbi inntaket og ned elva.

Ved Hesså, på strekingen mellom Monan og Manflåvann, har det siden 2004 blitt driftet et smolthjul som fanger smolt på vandring ned elva og mot havet. Vi har fra 2011 også observasjoner av smolt i video i luka i Dam Manflå. Basert på 15 år med smoltfangst ved Hesså har vi utviklet ulike modeller som forutsier når smoltutvandringen startet og hvor lenge den varer. Den beste modellen bruker summen av lufttemperaturer fra den meteorologiske stasjonen på Kjevik Flystasjon på sen vinteren til å forutsi når utvandringen starter. Lufttemperatur kan brukes til å si noe om vi får en tidlig eller sen vår, og tidlig vår gir tidligere utvandring enn sen vår. Når våren og smoltutvandringen starter tidlig blir utvandringen typisk langvarig, mens en sen vår gir en mer kortvarig og intens utvandring. Fra merkestudier (se nedenfor) vet vi hvor lang tid smolten bruker på å svømme fra Hesså, ned elva og gjennom Manflåvann – og derfor når tiltak må iverksettes ved kraftverksinntaket.

Fem forsøk med merking og peiling av smoltens vandring fra Hesså til kraftverksinntaket og forbi har vist oss at uten noen tiltak så vandrer det meste av smolten inn i kraftverket. Forsøk med slipp av mer vann forbi har vist at smoltens valg av vandringsvei kan påvirkes – jo mer vann som slippes forbi jo mer smolt vandrer forbi. Det ble også vist at blinkende strobelys ved inntaket skremte vekk noe av smolten om natta. Vi har utviklet en modell som forutsier hvor mye smolt som går forbi ved ulike vannføringer og fordelingen av vannet mellom kraftverket og gjennom dammen. Fra 2005 har Agder Energi frivillig sluppet ekstra vann under smoltutvandringen i henhold til slike modeller, og fra 2014 har det nye reglementet pålagt slipp av omtrent halvparten av vannet forbi kraftverket i 14 dager om våren. Disse tiltakene har gjort at mye mer av smolten unngår turbinene, og under dagens reglement har vi beregnet at omtrent 64 % av smolten vandrer rett vei. I miljødesignprosjektet har vi forslått tiltak for å bedre dette ytterligere (se nedenfor).



*Inntak til Laudal kraftverk (til venstre) med alternativ nedvandringsvei i bakkant*

#### *Nedvandring av vinterstøinger*

Etter at laksen har gytt om høsten dør noen mens andre overlever og kan vandre tilbake til sjøen. I noen elver vandrer mange samme høst, men i mange elver overvintre den utgytte laksen og vandrer ut om våren. De kalles da vinterstøinger og utvandring om våren ser ut til å dominere i øvre del av Mandalselva. Fisk som overlever utvandringen og sjøoppholdet kan komme til bake og gyte på nytt. Disse kalles flergangsgytere, og kan være spesielt stor fisk som både er attraktive for fiskere og viktige for bestanden når overlevelsen fram til første gyting er lav. Selv om det er få av vinterstøingene som overlever sjøoppholdet og får gytt på nytt, er det viktig å ta vare på disse fiskene.

Det har ikke blitt gjennomført noen merkestudier av vinterstøinger i Mandalselva, men utvandringen har vært registret i video i Dam Manflå siden 2011. Varegrinda foran inntaket til Laudal kraftverk har en lysåpning på 8 cm og mange av vinterstøingene (de som er mindre enn ca. 80 cm) kan derfor komme seg gjennom grinda. På grunn av at de er så store vil trolig alle dø i turbinene. Det har lokalt vært observert død og kappet vinterstøing ved utløpet av Laudal kraftverk.

Det har om våren blitt observert mange vinterstøinger i videoopptakene i Dam Manflå, og så mange sammenlignet med hvor mange gytefisk som vandret opp året før at det er usannsynlig at mange vinterstøinger vandrer gjennom varegrinda og inn i kraftverket. Det kan virke som om vinterstøinger, i motsetning til smolt, kvier seg for å dykke ned, passere varegrinda og vandre inn i kraftverksinntaket, og at vannslippene som gjennomføres for å få smolt forbi også virker for vinterstøingene. I andre prosjekt i andre vassdrag har vi sett en lignende atferd, der vinterstøinger velger å ikke gå gjennom varegrinder de fysisk kan passere. Det er etter vår vurdering ikke nødvendig med egne tiltak for å sikre nedvandring av vinterstøinger forbi Laudal kraftverk.

#### **Miljødesignet vannføring**

Smartere bruk av vann er sentralt i miljødesignkonseptet. Smartere bruk innebærer å tilpasse vannføringen til laksens krav gjennom året og livet. I Mandalselva er det to strekninger med kraftig redusert vannføring etter regulering og hvor det slippes vann for å sikre fiskebestandene. Samtidig gir slippene krafttap og i miljødesignprosjektet har vi lett etter de beste løsningene for både laks og kraftproduksjon. For den nedre minstevannstrekningen, mellom Manflåvann og Laudal og forbi Laudal kraftverk, er det både en klar motivasjon og formelt grunnlag for å se

nærmere på vannføringsforholdene. For den øvre strekningen, fra Kavfossen til Monan og forbi Bjelland kraftverk, er det formelle grunnlaget for endringer mer uklart og strekningen ble ikke prioritert for økte vannslipp i vannforvaltningsplanen. I miljødesignprosjektet har vi imidlertid sett de to kraftverkene i sammenheng, med et mål om å opprettholde eller øke kraftproduksjonen på lakseførende strekning. Vi har derfor foreslått nye vannslipp på begge strekningene. Etter initiativ fra rådgivingsgruppa har vi også foreslått miljøtilpasset drift av begge kraftverkene som skal sikre at fiskeunger ikke strander og dør når kraftverkene reduserer driften og vannføringen faller.

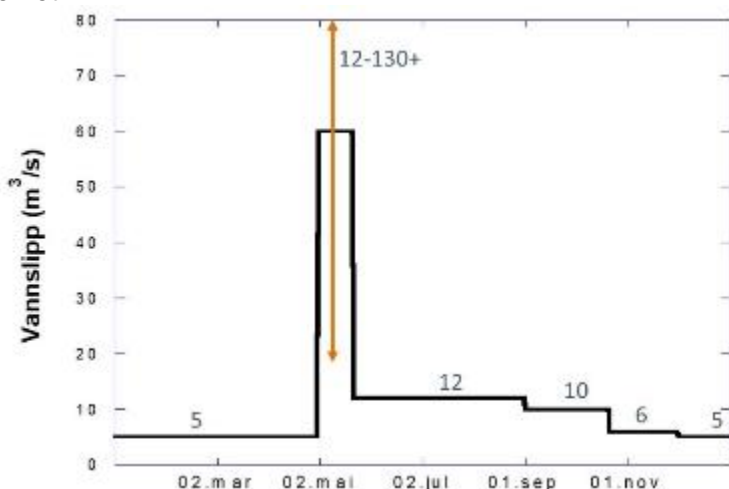
#### *Vannslipp på strekningen Kavfossen til Monan*

Vannføringen på denne strekningen er kraftig redusert og er i dag i hovedsak bestemt av vannføring i Kosåna, som ikke er regulert. Vannslipp fra Tungesjømagasinet (inntaket til Bjelland kraftverk) sikrer imidlertid at vannføringen ikke kommer under 1 m<sup>3</sup>/s om vinteren og 2 m<sup>3</sup>/s om sommeren.

Både målsettingen i prosjektet og kraftverkets status når det gjelder miljøkrav tilsier at det ikke er aktuelt å foreslå store vannslipp. På grunn av det mye større fallet gir også hver kubikkmeter vann en mye større kraftproduksjon i Bjelland enn i Laudal kraftverk. Det er derfor de foreslåtte habitatiltakene som primært brukes for å øke fiskeproduksjonen på strekningen. Ved å se på de faktiske vannføringene på strekningen fant vi imidlertid at det er relativt kortvarige lavvannsepisoder som kan være viktige flaskehalser for fiskeproduksjon på strekningen og at vi med relativt små slipp kan bedre situasjonen. Under forutsetning om at tersklene fjernes forslår vi å øke slippene slik at det sikres en minste vannføring på 1,5 m<sup>3</sup>/s om vinteren og 3 m<sup>3</sup>/s om sommeren. Effekten av å øke minstevannføringene er små om tersklene ikke fjernes og habitatiltakene ikke gjennomføres. De foreslåtte slippene vil i gjennomsnitt gi et krafttap på 1 GWh.

#### *Miljødesignet vannføring på strekningen Manflåvann til Laudal*

Målene for strekningen er å få effektiv oppvandring av gytefisk, at 90 % av smolten og vinterstøinger skal passere kraftverksinntaket og at fiskeproduksjonen på strekningen skal bli så god at den bidrar til å redusere tapet etter regulering. Mye av tapet i lakseproduksjon i Mandalselva skyldes redusert produksjon på denne strekningen. Målene nås ved kombinasjoner av vannslipp og fysiske tiltak. I tillegg tok vi etter innspill fra rådgivingsgruppa også hensyn fiskeforholdene på minstevannstrekningen, men dette hensynet var lavere prioritert. Vi tok utgangspunkt i gjeldene reglement (fra 2013), lagde en sammenheng mellom vannføring og vanddekt areal og brukte kartleggingen av gyteområder og skjulmengder i strekningen. Forslaget til miljødesignet vannføring på strekningen innebærer et slipp om vinteren på 5 m<sup>3</sup>/s, en sommervannføring på 12 m<sup>3</sup>/s i fiskesesongen og 10 m<sup>3</sup>/s i slutten av oppvandringsperioden og en vannføring under gytetida på 6 m<sup>3</sup>/s (**se figur**). Under smoltutvandringen vil slippene variere med vannføringen inn til kraftverket.



Figur som viser vårt forslag til vannslippe gjennom året. Under smoltutvandringen er slippene avhengig av vannføringen og kurven viser bare et typisk slipp. Start og varighet på slippene varierer også.

Sammenlignet med dagens reglement har vi redusert vannslippene om vinteren fra 6 til 5 m<sup>3</sup>/s. Forskjellen i vanndekt areal på 6 og 5 m<sup>3</sup>/s er minimale, det blir fortsatt godt med dypere overvintringsområder på strekningen og kartlegging av vanddyp på gyteområder og gytegroper tilsier ikke at tørrlegging av gytegroper vil bli noe problem. Våre resultater og vurderinger tilsier at en vintervannføring på 5 m<sup>3</sup>/s vil sikre både god vinteroverlevelse for lakseunger og være høy nok til å sikre rognoverlevelse.

Dagens reglement tilsier at om lag halvparten av vannet slippes forbi kraftverket i 14 dager om våren og slippet starter etter en markant økning i fangster av smolt i fella i Hesså. Reglementet oppfattes som problematisk driftsmessig for kraftverket, krever at smoltfella driftes hvert år og våre analyser viser at 14 dager med slipp kan være for kort i år med langstrakt smoltutvandring. Vårt forslag er kortfattet som følger:

- Starten av smoltslippene bestemmes av modellen som forutsier utvandningsstart fra summen av lufttemperaturer fra Kjevik Flystasjon fra 1. mars til 15. april.
- Slippene varer 28 dager når utvandringen starter tidlig og er langstrakt, 21 dager ved normal utvandningsstart og varighet og 15 dager når utvandringen starter sent og er intens.
- Slippenes størrelse er avhengig av vannføringen inn til kraftverket og er gitt som maksimal vannføring inn i kraftverket i trappetrinn. Slippene skal sikre at minst 75 % av smolten vandrer forbi kraftverket i hele perioden. For å nå målet om at minst 90 % av smolten skal passere foreslår vi at det arbeides videre med ledegjerder som leder smolten over mot motsatt side der våre studier viser at de lettere finner veien ned mot dammen.

Dette forslaget vurderes av Agder Energi som enklere å bruke, er ikke avhengig av drift av smoltfella ved Hesså og vil gi bedre resultat i form av andelen smolt som vandrer forbi kraftverksinntaket enn med dagens reglement.

I dagens reglement varierer slippene om sommeren i trappetrinn fra 12 til 25 m<sup>3</sup>/s, avhengig av vannføringen inn til kraftverket. I tillegg stanses kraftverket hver fredag for å bedre innvandringen av laks til trekningen. Vi forslår slipp på 12 m<sup>3</sup>/s fra smoltperiodens slutt til 31. august, en nedtrapping mot en egen gytevannføring og at fredagsstansen fjernes. Vandringstudiene viser at utløpet av Laudal kraftverk ikke lenger er et problem for oppvandringen av laks og fredagsstansen er ikke nødvendig. Våre beregninger tilsier at vanndekt areal øker mye med vannføringen opp til ca. 5 m<sup>3</sup>/s, mens elvesenga er tilnærmet full og øker lite for vannføringer over ca. 10 m<sup>3</sup>/s. Vårt forslag om faste slipp på 12 m<sup>3</sup>/s skal sikre gunstig sammensetning av habitattyper (stryk, glattstryk, kulper osv.) på strekning og gi gode fiskemuligheter. Flomepisoder vil bidra til variasjon i vannføring på strekningen. Etter vår vurdering gir trappetrinnløsningen for vannslipp i dagens reglement ikke noen gevinst for fiskeproduksjonen fordi produksjonen er bestemt av vanndekt areal ved laveste vannføring og fordi korte periodene med høyere vannføringer ikke gir bedre vekst eller overlevelse til laksunger.

Etter at fiskesesongen normalt er over (31. august) og fram til gytetida foreslår vi at vannslippene reduseres til 10 m<sup>3</sup>/s. Hovedformålet med disse vannslippene er å gi gode oppvandringsforhold for sent ankomende gytefisk, samt at vannføringen blir en nedtrapping til gytevannføringen.

Gytevannføringen er foreslått til 6 m<sup>3</sup>/s og varer fra 20. oktober og fram til 1. desember, en periode som skal dekke gytetida både for laks og sjøaure. Denne vannføringen er en avveining mellom gytefiskens krav til vannhastigheter og dyp på gyteplassene og at gytegroperne ikke skal tørrlegges gjennom vinteren.

Vår forslag til vannslipp ved Laudal kraftverk gir en årlig innsparing i kraftproduksjon på i gjennomsnitt 4,7 GWh (0,3-6,7) sammenlignet med dagens manøvreringsreglement. Samtidig gir forslaget etter vår vurdering like gode oppvandringsforhold, gode fiskeforhold, like gode produksjonsforhold for laksesmolt og bedre resultat for smoltutvandring forbi kraftverket. I tillegg har de gjennomførte tiltakene på strekningen gitt en betydelig økning i smoltproduksjonen på strek-

ningen og betydelig bedre fiskemuligheter. I 2017 og 2018 ble det rapportert en fangst på henholdsvis 1093 og 1423 kg laks på denne strekningen, som tidligere var dårlig egnet og stengt for fiske.

#### *Miljøtilpasset kraftverksdrift*

Når kraftverk reduserer driften på grunn av etterspørselen og markedet kan vannstanden i elva nedstrøms synke så fort at ungfisk av laks og sjøaure ikke rekker å følge vannet og blir igjen mellom stener, i pytter eller inne i vegetasjon og kan dø. Noen ganger kan det også være utfall av kraftverk (på grunn av f. eks. lynnedslag) som gir slike raske nedtappinger og fiskedød. Det har vært episoder med slik dødelighet både nedstrøms utløpet av Bjelland og Laudal kraftverk. For å redusere dette problemet har vi utarbeidet forslag til begrensninger i hvor fort kraftverkene kan redusere driften når det er fare for at store områder tørrelegges, og i 2017 ble forslaget på frivillig basis tatt inn i Bjelland kraftverks driftsinstruks. Lignende begrensninger er forventet innført for Laudal kraftverk. Dette vil redusere negative effekter på fisk under ordinær drift til et minimum.

#### **Mer laks og mer kraft – nådde vi prosjektets mål?**

Målet med miljødesignprosjektet var søm følger:

*«Det årlige tapet i lakseproduksjon etter vannkraftreguleringen i Mandalselva skal reduseres til et minimum, samtidig som kraftproduksjon på lakseførende strekning opprettholdes eller økes».*

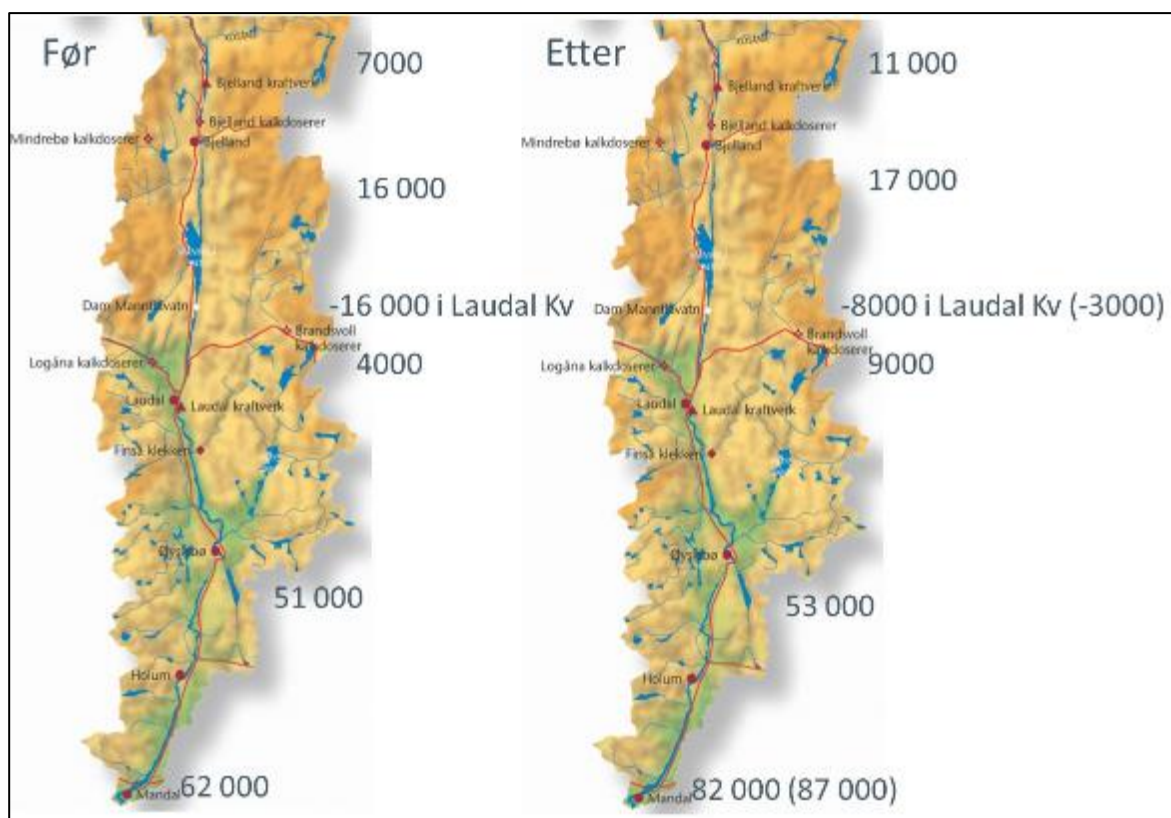
Vi har i prosjektet beregnet smoltgevinsten ved både de gjennomførte og planlagte tiltakene. Med smoltgevinst mener vi antall nye smolt som blir produsert i tillegg til den smoltproduksjonen som foregikk før noen tiltak var gjennomført, og som derfor bidrar til å redusere tapet etter byggingen av de to kraftverkene på den lakseførende strekningen. I gevinsten inngår i tillegg redusert smolttap i Laudal kraftverk.

Dersom alle de foreslåtte tiltakene i miljødesignprosjektet gjennomføres forventes en total gevinst på mellom 20 000 og 35 000 smolt, tilsvarende en økning i antall smolt ut av vassdraget på ca. 30 %. Fordelingen av gevinst i ulike deler av vassdraget er vist i figuren under (minimumsgevinst). Tapet etter kraftutbyggingen i vassdraget har tidligere blitt anslått til mellom 20 og 40 %, men tallene er ikke direkte sammenlignbare. Våre vurderinger tilsier imidlertid at målet om å redusere tapet etter reguleringen til et minimum er godt nådd om prosjektets tiltakspakke gjennomføres. Gevinsten blir enda større om ledetiltak ved Laudal kraftverk kan sikre at over 90 % av smolten passerer forbi inntaket. Det arbeides nå med en slik løsning.

Forslaget til vannslipp ved Laudal kraftverk representerer en årlig innsparing i kraftproduksjon på i gjennomsnitt 4,7 GWh (0,3-6,7) sammenlignet med dagens manøvreringsreglement. Frivillige slipp ved Bjelland kraftverk som sikrer en økt minstevannføring om sommeren (fra 2 til 3 m<sup>3</sup>/s) og vinteren (fra 1 til 1,5 m<sup>3</sup>/s) på strekningen Kavfossen til Monan innebærer et krafttap på rundt 1 GWh (0,5-2 GWh). Gevinsten ved miljødesignede slipp forbi Laudal kraftverk er altså større enn tapet ved noe større slipp forbi Bjelland kraftverk.

Samlet sett innebærer forslagene til fysiske tiltak, tilpasninger i kraftverksdrift og vannslipp at kraftproduksjonen på lakseførende strekning i gjennomsnitt økes, mens tapet i lakseproduksjon etter kraftreguleringen i Mandalselva blir redusert til et minimum. Målet i miljødesignprosjektet kan derfor bli nådd om anbefalte tiltak gjennomføres.





Smoltgevinst i ulike deler av Mandalselva før og etter at foreslåtte eller gjennomførte tiltak har fått effekt. Tallene ut for hver strekning er antall smolt produsert, minustallene er tapet i Laudal kraftverk og tallene ved munningen (Mandal) er antall smolt ut av elva. Tallene i parentes gjelder dersom ledetiltak bidrar til at over 90 % av smolten passerer forbi inntaket til Laudal kraftverk. Alle tallene er gitt for minimumsproduksjon.

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>3</b>
<b>Mandalselva - fra forsuring og vannkraftregulering til kalking, reetablering og miljødesign</b>	<b>7</b>
<b>Innhold</b>	<b>20</b>
<b>Forord</b>	<b>22</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>23</b>
<b>2 Områdebeskrivelse</b>	<b>25</b>
<b>3 Habitatflaskehalser og habitattiltak</b>	<b>28</b>
3.1 Datainnsamling	30
3.1.1 Mesohabitat/elveklasser	30
3.1.2 Substrat eller elvebunnen	31
3.1.3 Skjulførhold	31
3.1.4 Gyteområder	31
3.1.5 Databehandling	32
3.2 Kavfossen-Monan – diagnose og foreslåtte tiltak	32
3.3 Monan-Manflåvann – diagnose og mulige tiltak	33
3.4 Dam Manflå-Laudal – diagnose og gjennomførte tiltak	34
3.5 Laudal til brakkvannssonen – diagnose og mulige tiltak	36
<b>4 Fiskevandring og vandrings tiltak</b>	<b>38</b>
4.1 Oppvandring Laudal til Dam Manflå	38
4.1.1 Videoregistreringer	38
4.1.2 Radiotelemetri	42
4.1.3 Samlede analyser	46
4.2 Nedvandring forbi inntak Laudal	48
4.2.1 Oversikt over forsøk og datainnsamling	48
4.2.2 Smolt	50
4.2.3 Vinterstøinger	60
<b>5 Miljødesignet vannføring</b>	<b>63</b>
5.1 Vannføringsregime Kavfossen-Monan	64
5.2 Miljøtilpasset kraftverksdrift Bjelland	67
5.3 Vannføringsregime Manflå-Laudal	68
5.3.1 Forslaget	70
5.3.2 Vintervannføring	71
5.3.3 Vannføring i smoltutvandringsperioden	72
5.3.4 Sommervannføring	74
5.3.5 Høstvannføring	78
5.3.6 Gytevannføring	78
5.4 Miljøtilpasset kraftverksdrift Laudal	78
<b>6 Evaluering av dagens manøvreringsreglement for Laudal kraftverk</b>	<b>83</b>
6.1 Smoltutvandring	83
6.2 Minstevannføringer	85
<b>7 Mer laks og mer kraft</b>	<b>86</b>
7.1 Smoltgevinst av gjennomførte tiltak	86
7.1.1 Habitattiltak Dam Manflå-Kleveland bru	87



7.1.2	Habitattiltak nedre terskel ved Portalbygget.....	91
7.1.3	Miljøtilpasset drift av Bjelland kraftverk .....	91
7.2	Smoltgevinst planlagte tiltak .....	91
7.2.1	Habitattiltak og vannslipp Kavfossen-Monan .....	91
7.2.2	Miljøtilpasset drift av Laudal kraftverk .....	91
7.2.3	Sidebekker .....	92
7.3	Redusert smolttap ved Laudal kraftverk.....	92
7.4	Samlet smoltgevinst.....	94
7.5	Kraftproduksjon i Laudal kraftverk.....	95
<b>8</b>	<b>Konklusjon om måloppnåelse .....</b>	<b>96</b>
<b>9</b>	<b>Referanser .....</b>	<b>97</b>
<b>10</b>	<b>Vedlegg.....</b>	<b>100</b>

## Forord

«Miljødesign Mandalselva» har vært det største miljødesignprosjektet så langt i Norge, både økonomisk og tiltaksmessig. Prosjektet har involvert et betydelig samarbeid mellom forskningsinstituttene NINA, NORCE LFI, SINTEF Energi og firmaet Skandinavisk Naturovervåkning AS, mellom disse og Agder Energi Vannkraft og ikke minst i den lokale rådgivingsgruppa. Møtene i rådgivingsgruppa har vært inspirerende, korrigerende og ikke minst lærerike. Ved å opprette en slik gruppe kunne alle de viktigste interessentene samles rundt samme bord og diskutere prosjektets idé og mål, resultater og veien videre. Jeg vil takke alle deltagerne i rådgivingsgruppa for deres positive holdning til prosjektet og for trivelig samvær.

En spesiell takk går til Bjørgulv Foss som ikke bare har hatt ansvaret for smolfella, men som har passet på oss i prosjektledelsen for å sikre både smolt og vinterstøinger om våren og for sitt kritiske men alltid konstruktive blikk under møtene i gruppa. Jeg takker også for samarbeidet med Tor Kviljo fra Terrateknikk AS som med stødig og kreativ hånd ledet arbeidet med habitat-tiltakene på strekningen Dam Manflå til Kleveland bru.

Til slutt vil jeg takke Agder Energi for oppdraget og spesielt prosjektleder Svein Haugland for et utmerket samarbeid. Nevnes må også Aleksander Andersen som tok tak i terskelfjerningsprosjektet, Rune Salthaug som bidro med vannføringsdata og simuleringer, Edgar Ommundsen som bidro med byggeteknisk kompetanse, Sverre Eikeland som bidro både byggeteknisk og med data, og alle andre fra Agder Energi som bidro på møtene i rådgivingsgruppa.

Selv om samarbeidet i prosjektet har vært tett og omfattende står denne rapporten utelukkende for forfatterens regning og forslaget til vannslipp ved Laudal kraftverk er det bare de sentrale forskerne som svarer for.

Jeg håper at «Miljødesign Mandalselva» kan være en inspirasjon for andre regulanter og forvaltningsmyndigheter når vannkraft skal avveies mot miljøhensyn.

Trondheim, desember 2019

Torbjørn Forseth  
Prosjektleder

# 1 Innledning

Prosjektet «Miljødesign i Mandalselva» har vært et femårig (2014-2018, med avslutning i 2019) prosjekt som bygger på de mulighetene som ligger i «Håndbok for miljødesign i regulerte lakse-vassdrag» og Agder Energi Vannkraft sitt behov for å utvikle gode løsninger for både fiskepro-duksjon og kraftproduksjon i forbindelse med nytt manøvreringsreglement i Laudal kraftverk og tiltaksbehov identifisert i vannforvaltningsplanen for strekningen ved Bjelland kraftverk. Fram til 2013 produserte Finså Klekkeri settefisk til kultivering og forskning. Klekkeriet er nå nedlagt og fysiske tiltak skal erstatte kultiveringen.

Agder Energi fikk i 2013 et nytt manøvreringsreglement for Laudal kraftverk som medførte betydelig økte vannslipp, både for smoltutvandring, oppvandring av gytefisk og sommer- og vinter-vannføringer. Reglementet ble fastsatt for en prøveperiode på fem år, og både Agder Energi og Miljødirektoratet kan be om endringer i bestemmelsene etter prøveperioden. Reglementet ble implementert i juni 2013. I juli 2017 godkjente Klima og Miljødepartementet regional forvaltningsplan for vannregion Agder for planperioden 2016-2021, hvor strekningen fra Kavfossen til Monan i Mandalselva er listet som vannforekomster med miljømål som kan medføre andre typer tiltak som kan pålegges vannkraftsektoren.

Prosjektet ble utviklet i samarbeid mellom forskere fra Norsk institutt for naturforskning og Agder Energi Vannkraft. Det idémessige utgangspunktet var å definere dristige mål både for laksepro-duksjon og kraftproduksjon i Mandalselva og utrede hvordan målene kan nås gjennom en *hel-hetlig* miljødesign. Prosjektets visjon har vært «Mer laks og mer kraft i Mandalselva» og det ble definert følgende mål:

*«Det årlige tapet i lakseproduksjon etter vannkraftreguleringen i Mandalsvaselva skal reduseres til et minimum, samtidig som kraftproduksjon på lakseførende strekning opprettholdes eller økes».*

Det har blitt estimert at smoltproduksjonskapasiteten i Mandalselva ble redusert med mellom 20 og 40 % etter regulering (Ugedal mfl. 2006), og at det årlige tapet ligger mellom 19 000 og 52 500 smolt på grunn av tapt produksjonsareal og dårligere habitatforhold på minstevannføringsstrek-ningene, i tillegg til et tap på mellom 4000 og 19 000 smolt på grunn av turbinpassasje ved Laudal kraftverk.

Prosjektet definerte følgende arbeidsoppgaver:

- Utvikle en helhetlig plan for gjennomføring av fysiske tiltak som øker lakseproduksjonen på dagens lakseførende strekning.
- Utrede mulighetene for å øke lakseproduksjonen gjennom å ta i bruk nye elvestrek-ninger, og beskrive hvordan dette kan gjennomføres.
- Konkludere i forhold til tiltak for nedvandring forbi Laudal.
- Utvikle et faglig begrunnet forslag til miljødesignet minstevannføring forbi Laudal kraft-stasjon, og eventuelt Bjelland kraftstasjon, som tar hensyn til både lakseproduksjon, fiskevandring og kraftproduksjon.

I tillegg skulle datainnsamlingen være grunnlag for å vurdere effekten av det nye manøvrerings-reglementet for Laudal kraftverk. Underveis i prosjektet ble det etter innspill fra rådgivingsgruppa (se under) bestemt å også utrede forslag for miljøtilpasset drift av Bjelland og Laudal kraftverk for å hindre stranding av ungfisk under normale driftsoperasjoner.

Agder Energi Vannkraft har vært prosjekteier, mens Norsk institutt for naturforskning har hatt prosjektledelsen. NORCE LFI, SINTEF Energi AS og Skandinavisk Naturovervåkning har vært underleverandør til NINA.

Det ble opprettet en rådgivingsgruppe bestående av representanter fra Miljødirektoratet og NVE, Fylkesmannen i Agder, Marnardal kommune, en grunneierrepresentant og fire representanter fra Mandalselva elveeierlag. Gruppen har hatt årlige møter med rapportering av faglig progresjon og diskusjon av videre planer, samt ekstra møter i avslutningsfasen av prosjektet. Gruppen ble kalt inn og ledet av Agder Energi.

## 2 Områdebeskrivelse

Mandalsvassdraget 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 fem 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. Relativt nylig ble det gikk konsesjon til «Åseralprosjektet» i øvre deler av Mandalsvassdraget, og det er nå (pr. 2019) ferdigstilt to nye dammer i Skjerkevattn som har fått økt magasinivolum, det har blitt satt inn et nytt aggregat i Skjerka kraftverk som er i ferd med å settes i drift og nye Dam Langevatn er under bygging, som fra 2020 vil øke HRV med 10 meter. Prosjektet berører ikke lakseførende strekning, men innebærer at total reguleringsgrad, det vil si hvor stor del av det gjennomsnittlige årlige tilsiget som kan lagres i magasiner, øker noe til 19 % ved Dam Mannflå. Gitt at den økte kapasiteten ikke benyttes til mer variabel drift i kraftverkene på lakseførende strekning som gjennomføres på en uheldig måte (se **kapittel 5.2** og **5.4**) er det ikke forventet negative effekter av utvidelsene på anadrom fisk (Forseth 2012).

Laksebestanden i Mandalselva gikk tapt på grunn av forsuring rundt 1970. Dette er dokumentert både ved manglende forekomst av laksunger og ved genetiske analyser (Hesthagen 2010). Våren 1997 ble det startet kalking i vassdraget, og i løpet av 15 år er det etablert en ny laksestamme i Mandalselva av en størrelse som ser ut til å nærme seg vassdragets bærekapasitet etter regulering (Hesthagen 2010). Fangstene nådde en topp i 2006 med en rapportert fangst på nesten 12 tonn laks. Fangstene har deretter variert mellom 4,7 og 9,9 tonn, under betydelig strengere fiskereguleringer. Dagens fangstutbytte ligger noe under det som ble rapportert på slutten av 1800-tallet og starten av 1900-tallet (10-15 tonn; Hesthagen 2010), men rapporteringen var sannsynligvis dårligere i denne perioden.

Reetableringen av laks i vassdraget har skjedd ved innvandring av fremmed fisk (trolig villfisk og kultiveringsfisk fra andre vassdrag og rømt oppdrettslaks) og utsetninger av laks av Bjerkreimstamme. Forsøket på å styre etableringen av laksebestanden i vassdraget kom trolig for sent i gang (på grunn av forhold knyttet til etablering av kultiveringsaktiviteten) til at Bjerkreimstammen fikk dominere etableringen. Dagens laksebestand er genetisk forskjellig både fra Bjerkreimslaks og den opprinnelige laksebestanden i Mandalselva (Hesthagen 2010). I nærliggende Tovdalselva startet den styrte etablering kort tid etter kalking, og det er i dag etablert en bestand som genetisk ligner mye på utsetningsmaterialet, som kom fra Storelva i Vegårdsvassdraget. Dagens laksebestand i Mandalselva har således en blandet opprinnelse, basert både på de tidlige immigrantene og utsettingene.

Aurebestanden (både stasjonær og sjøvandrende) overlevde forsuringen av vassdraget gjennom vellykket reproduksjon i innsjøer og sidebekker med bedre vannkvalitet (Larsen & Haraldstad 1994, Berger 2005). Det ble således også funnet ørretunger på lakseførende strekning før kalking startet. Tettheten økte fram til 2000, men har siden avtatt noe igjen til samme nivå som før kalking (Saltveit mfl. 2006). De rapporterte fangstene var lave i 1970- og 1980-åra, med unntak av en topp på nesten 1,5 tonn i 1985-86. Fangstene av sjørørret økte deretter til ca. 1,1 tonn i 2000, for deretter å avta noe (Saltveit mfl. 2006). I de senere år (2013-2017) har de rapporterte fangstene av sjøaure variert mellom 230 og 632 kg. I Manflåvann, midt på lakseførende strekning, finnes det også en relativt tett bestand av stasjonær aure (Hesthagen & Johnsen 2004).

Før forsuringen fantes det både røye og abbor i Manflåvann. Også disse ble utryddet, og forekommer ikke lengre i vassdraget. Det finnes tre- og nipigget stingsild, ål og niøye i lakseførende del av vassdraget. Av disse er det bare for ål det finnes noe kunnskap om bestandsutvikling etter

kalking. Basert på utførte undersøkelser er det svært lave tettheter av ål i vassdraget (Thorstad mfl. 2010). Ål ble registrert på bare 9 av de 18 undersøkte stasjonene, men ble registrert helt opp til Kosåna. Mengden ål har bare økt svakt (ikke signifikant) etter kalkinga (Thorstad mfl. 2010). Utviklingen av mengden ål i vassdraget i de senere år er ikke kjent.

Lakseførende strekning i Mandalselva er ca. 48 km opp til Kavfossen, og laksen kan i tillegg vandre ca. 1,5 km opp i Kosåna, som sammen med Kavfossen i hovedelva representerer øvre vandringsgrenser i vassdraget (**figur 2.1**). I forhold til reguleringseffekter og i samsvar med miljødesignhåndbokas definisjon av «elvestrekninger» (Forseth & Harby 2013) kan Mandalselvas lakseførende strekning deles inn i følgende strekninger (ovenfra):

*Kosåna:* Den uregulerte Kosåna er lakseførende i ca. 1,5 km, og har sitt utløp i Mandalselva rett nedstrøms Kavfossen.

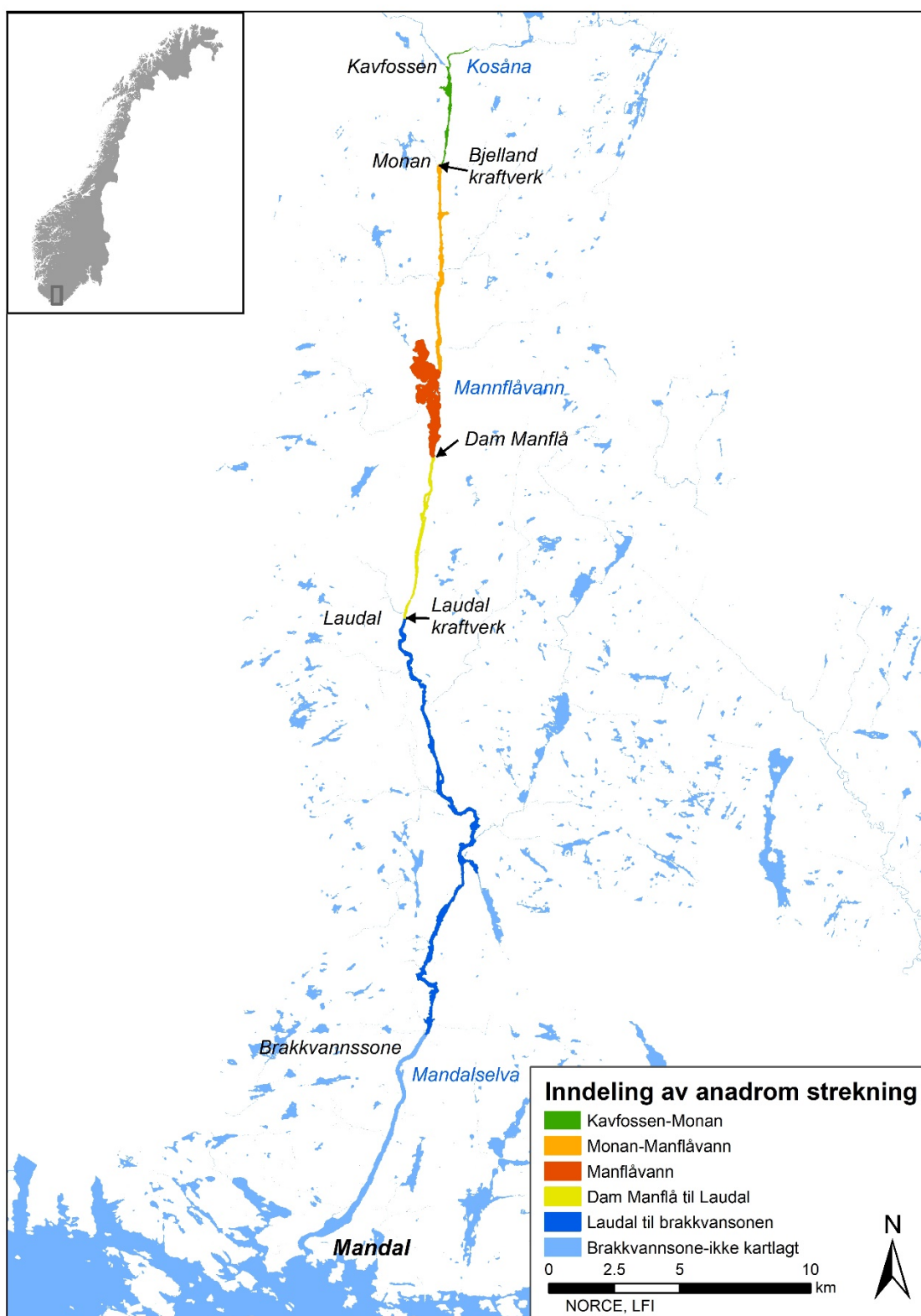
*Kavfossen-Monan:* Fra Kavfossen, som er det øvre naturlige vandringshindret i Mandalselva, til utløp av Bjelland kraftverk er det en ca. 4 km lang minstevannstrekning. Det er nå en minstevannføring på 2 m<sup>3</sup>/s om sommeren og 1 m<sup>3</sup>/s om vinteren, og når vannføringen i sidevassdraget Kosåna er lavere enn dette, slippes det vann fra Tungesjømagasinet. 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 er derfor ikke uvanlig at vannføringen på strekningen fra Kavfossen til Bjelland er lik minstevannføringen både om vinteren og om sommeren. Det er bygd to betongterskler på strekningen.

*Monan-Manflåvann:* Fra utløpet av Bjelland kraftverk er det ca. 8 km elvestrekning ned til Manflåvann. På denne strekningen er det ikke fraført vann, men fordelingen av vannføringen over året er noe endret etter regulering. Gjennomsnittsvannføringen har økt om høsten og vinteren, avtatt om våren, mens gjennomsnittsvannføringen er lite endret om sommeren.

*Manflåvann:* Er en 5 km lang og ca. 2 km<sup>2</sup> stor innsjø som også fungerer som inntaksmagasin for Laudal kraftverk. Det er en liten dam helt i sør (Dam Manflå) med luke og en åpning i midten (laksetrapp fram til nylig) som regulerer vannivået i Manflåvann. Reguleringshøyden er på 1 m. Laksunger benytter Manflåvann som oppvekstområde, og det er tidligere estimert en relativt høy smoltproduksjon i innsjøen (Hesthagen mfl. 2008)

*Dam Manflå-Laudal:* Fra Dam Manflå og ned til utløpet av Laudal kraftverk er det en minstevannstrekning på ca. 6 km. Etter at laksen ble reetablert og fram til 2013 var det en minstevannføring på 3 m<sup>3</sup>/s om sommeren og 1,5 m<sup>3</sup>/s om vinteren. Etter at Laudal kraftverk fikk nytt manøvreringsreglement i 2013 økte vintervannføringen til 6 m<sup>3</sup>/s og om sommeren er det en tilsigsavhengig (til kraftverket) minstevannføring på mellom 12 og 25 m<sup>3</sup>/s. Under smoltutvandringen skal om lag halvparten av tilsiget til Laudal kraftverk slippes forbi i 14 dager. Da kraftverket var etablert ble det bygd 12 terskler på strekningen, men med ett unntak er disse nå fjernet (se **kapittel 3.4**). Den nederste delen er bratt og lite tilgjengelig.

*Laudal til brakkvannssonen:* Strekningen fra utløpet av Laudal kraftverk og til sjøen er ca. 25 km lang, hvorav ca. 16 km (fra Krossen og opp) er ordinær elvestrekning (resten er det lange flomålet). Her er de årlige vannmengdene som passerer tilnærmet det samme som før regulering, men fordelingen av vannet gjennom året er endret. Gjennomsnittsvannføringen har økt om høsten og vinteren, avtatt om våren, mens gjennomsnittsvannføringen er lite endret om sommeren.



**Figur 2.1.** Lakseførende strekning i Mandalselva fra utløpet ved Mandal og opp til Kavfossen med fargekoder som angir de ulike delstrekningene.



### 3 Habitatflaskehalser og habitattiltak

Kartlegging av habitatforhold ble gjort med utgangspunkt i Håndbok for Miljødesign i regulerte laksevassdrag (Forseth & Harby 2013). Håndboka beskriver en fremgangsmåte for å utrede, utvikle og gjennomføre tiltak som bedrer forholdene for lakseproduksjon i regulerte vassdrag, samtidig som en ivaretar kraftproduksjon. Håndboka var et resultat av et stort tverrfaglig forskningsprosjekt (EnviDORR – Environmentally designed operation of regulated rivers) som inkluderte flere av de største fagmiljøene på laksebiologi og økohydrologi i Norge. Et sentralt element i tankegangen bak miljødesign er betydningen av ulike habitatressurser og hvordan disse er fordelt i vassdraget.

Alle de lakseførende strekningene i Mandalselva (ikke den uregulerte Kosåna) ble kartlagt etter denne metodikken og en diagnose ble stilt for å identifisere habitatmessige flaskehalser for lakseproduksjon. Det har vært en sentral tilnærming i miljødesignprosjektet i Mandalselva at tiltak kan være aktuelle i hele lakseførende strekning. På en av strekningene (Dam Manflå til Laudal) har det som en del av miljødesignprosjektet blitt gjennomført omfattende tiltak som kort vil bli beskrevet nedenfor. For strekningen Kavfossen-Monan er det utarbeidet forslag til tilsvarende tiltak. For de andre strekningene uten fraført vann er det stilt en diagnose og mulige tiltak omtales der slike vil gi god gevinst i forhold til kostnader og tiltakenes størrelse.

Laksen har ulike krav til habitatforhold gjennom livssyklusen, og en rekke studier har i den senere tiden påpekt at den romlige fordelingen av egnete habitatforhold for ulike livsstadier kan ha stor effekt på vassdragets bærekapasitet for produksjon av laksesmolt. Særlig viktig anses tilgangen til og romlig fordeling av gyteområder for voksen fisk og skjulforhold for ungfisk som sentrale parametere for produksjon av lakseunger i vassdrag. Nedenfor er det gitt en kort beskrivelse av sammenhengen mellom gyteområder, skjul og lakseproduksjon. Det faglige grunnlaget for dette har blitt oppsummert i Aas et al. (2011) og sammenfattet i Forseth & Harby (2013), og det henvises til disse for ytterligere informasjon og referanser.

Laksen gyter ved at eggene graves porsjonsvis ned i elvegrusen i såkalte «gytegroper». Det er hunnfisken som konstruerer gytegroppen, og en hunnfisk kan fordele eggene i flere slike gytegroper. Områder med gyteaktivitet kan ofte ses som et lysere felt med omrørt grus etter gyteperioden. Laksen stiller strenge krav til valg av gyteplass, der sammensetningen av bunnsubstrat, vanddyp og vannhastighet synes å være de viktigste fysiske faktorene. Typisk finnes gyteområdene på forholdvis grunne deler av elven (0,3-0,7 m, men også dypere) hvor bunnsubstratet består av grus og små stein, og på partier med akselererende vannhastighet (0,3-0,6 m/s). Utløpsområder av kulper er ofte gode gyteområder. Fiskestørrelse spiller også en rolle, ettersom stor fisk gjerne benytter grovere substrat og større dyp enn mindre fisk. Som en følge av dette ser en også at laksen ofte gyter på dypere områder og på grovere substrat enn det auren gjør, men i praksis overlapper laksen og auren i stor grad og gyter ofte på de samme områdene. Det strenge kravet til valg av gyteplass resulterer i at det i mange tilfeller er kun et fåtall plasser i elven som har egnete forhold for gyting. Hvor slike områder finnes vil være avhengig av både geologiske (sedimenttilførsel) og hydrauliske forhold (vannhastighet og sediment transport) i vassdraget.

Fordeling og størrelse av gyteområder i vassdraget har stor betydning for rekruttering og dermed produksjon av lakseunger (Foldvik mfl. 2010). De første ukene etter at yngelen har brukt opp plommesekken og kommer opp av grusen for å starte næringsopptak, er ofte en flaskehals for overlevelse for laks. Yngelen etablerer tidlig territorier som forsvarer aggressivt mot inntrengere, noe som resulterer i en sterk tetthetsavhengig dødelighet. Yngelen som kommer tidlig opp av grusen vil ofte etablere territorier først i området i nærheten av gytegroppen, og fortrenger yngel som kommer senere. Yngel som taper i konkurransen om territorier blir fortrent (ofte nedstrøms), og vil ha langt dårligere overlevelsesmuligheter. Dette resulterer i at fordelingen av yngelen i tidlig livsfase ofte er «klumpet» i nærheten av gyteområdene.

Etter å ha overlevd den første kritiske yngel-fasen, vil overlevelse og vekst av lakseparr frem til smoltstadiet være avhengig av både næringstilgang og habitatforhold. Lakseparr foretrekker ofte grunne partier med hurtigrennende vann, men kan også finnes på sakeflytende og dypere elvepartier. I de senere årene har flere studier fremhevet viktigheten av skjulområder for å kunne hvile og å unngå predasjon, og dette har vist seg å være et viktig element for overlevelse og produksjon av ungfisk (Finstad mfl. 2009). Lakseparr finner som regel skjul i hulrom mellom steiner, eller i vegetasjon og andre fysiske strukturer på elvebunnen. Tilgangen til skjulmuligheter i hulrom i substratet er sterkt knyttet til kornstørrelse og sammensetningen av bunnsubstratet. Det er hovedsakelig i substrat dominert av blokker og stein en normalt finner hulrom som gir gode skjulforhold, særlig for eldre ungfisk av laks, mens områder som er dominert av grus og mer finkornet substrat vanligvis gir lite skjulmuligheter for eldre ungfisk, men kan være skjul for år-sunger (0+, < 6-7 cm). Ungfisk finner også mye skjul og næring i og ved døde trær eller røtter (**figur 3.1**), og for Mandalselva sin del er det vist at også krypsiv kan fungere som skjul for laks-unger (Velle mfl. 2014).

Et vassdrags potensial for lakseproduksjon påvirkes i stor grad av de fysiske habitatforholdene, og hvordan habitatressurser for ulike livsstadier er fordelt innad i vassdraget (se Einum & Nislow 2011). Vekst og overlevelse hos ungfisk vil være avhengig av bestandstetthet. Dersom antall fisk er høyere enn ressurstilgangen vil vekst og/eller overlevelse reduseres, slik at bestandsstørrelsen tilpasses bæreevnen. Vi sier da at bestanden har gått igjennom en tetthetsavhengig flaskehals. Ettersom lakseyngelen har begrenset evne (eller motivasjon) til å spre seg, vil mengden og fordeling av gytehabitat i stor grad være bestemmende for hvor mye yngel som vil rekrutteres til et område. Dersom mengden gytehabitat på et område er liten, og avstanden til nærmeste gyteområde er stor, vil mengden yngel som tilføres et område kunne bli for lavt til at områdets produksjonspotensial for ungfiskproduksjon (bæreevne) blir utnyttet. Vi sier da at tilgang til gyteområder er en begrensende ressurs, og dermed en flaskehals for fiskeproduksjonen. Hvor mange yngel som overlever frem til smoltstadiet vil på sin side være avhengig av kvaliteten på oppveksthabitatet. For lakseparr er tilgang til skjul regnet som den viktigste begrensende ressursen, og dermed habitatflaskehals for parr. En ideell lakseelv har gyteområder som er godt fordelt innad i elven og som i tillegg har god tilgang til skjulområder i nærheten av gyteplassene.



**Figur 3.1.** Eksempel på hvordan døde trær og røtter fungerer som skjul for ungfisk.

Foto: NORCE LFI.

### 3.1 Datainnsamling

Kartlegging av de ulike strekningene ble gjennomført ved snorkling, vading langs land og ved større felles befaringer med fagpersonell og lokalkjente (Kavfossen-Monan og Dam Manflå-Laudal). Habitatparameterne ble notert på skjema og kart på vannfast papir, og lokalisert ved bruk av kartskisser og ved bruk av GPS. Nedenfor beskrives metodikken for denne datainnsamlingen. I tillegg ble det samlet inn data for hydraulisk modellering og gjennomført hydrologiske analyser på ulike strekninger. Datainnsamlingen og modellene er beskrevet i Fjeldstad mfl. 2014, 2016 og 2017.

#### 3.1.1 Mesohabitat/elveklasser

Mesohabitatet eller elveklassen ble kartlagt etter metode beskrevet av Borsányi mfl. (2004). Metoden baserer seg på en klassifisering etter fire kriterier: Størrelsen på overflatebølger, helningsgrad, vannhastighet og vanndyp (**tabell 3.1**). Overflaten regnes som turbulent når overflatebølgene er større enn 5 cm, helningsgrad regnes som bratt ved over 4 % helning, vannhastighet som hurtig dersom den overstiger 0,5 m/s og vanndyp over 0,7 m som dypt. Ved kartleggingen har det vært fokusert på å få frem de overordnede elvetyperne og skiftninger i disse. Grenseverdiene for vanndyp og vannhastighet ble skjønsmessig vurdert på stedet, ettersom disse uansett vil variere mye med vannføringen.

**Tabell 3.1.** Oversikt over klassifisering av mesohabitat basert på fysiske egenskaper. Etter Borsányi et al. (2004), med tabell fra Forseth & Harby (2013).

Kriterier	Vannflate- struktur	Vannflate- gradient	Vannflate- hastighet	Vanndybde	Klasse
Avgjørelse	Glatt/Små riller	Bratt	Hurtig	Dyp	A
				Grunn	
			Sakte	Dyp	
				Grunn	
		Moderat	Hurtig	Dyp	B1
				Grunn	B2
			Sakte	Dyp	C
				Grunn	D
	Turbulent, brutt/ubrutte stående bølger	Bratt	Hurtig	Dyp	E
				Grunn	F
			Sakte	Dyp	
				Grunn	
		Moderat	Hurtig	Dyp	G1
				Grunn	G2
			Sakte	Dyp	
				Grunn	H

### 3.1.2 Substrat eller elvebunnen

Substrat eller elvebunnen ble klassifisert innenfor hvert elveklasseområde ved at dekningsgraden (%) av ulike substratkategorier ble estimert: Mudder (organisk finsediment), sand (<1 mm), grus (1-64 mm), stein (64-384 mm), blokk (> 384 mm) og fast fjell. Klassifiseringen ble basert på visuell skjønnsmessig vurdering av elvebunnen.

### 3.1.3 Skjulforhold

Antall og størrelse på skjul i substratet ble kvantifisert etter metode beskrevet av Finstad mfl. (2007), ved å måle hvor mange ganger en 13 mm tykk plastslange kan føres inn i hulrom mellom steiner innenfor en stållamme på 0,25 m<sup>2</sup> (**figur 3.2**). Størrelsen på hulrommene bestemmes ut i fra hvor langt inn slangen kan stikkes, og dels inn i tre skjulkategorier: S1: 2-5 cm, S2: 5-10 cm og S3: >10 cm. Skjulmålinger foretas deretter i transekt ved at metallrammen kastes ut på tre eller flere «tilfeldig» punkt fordelt i hele elvens bredde innenfor et område med forholdsvis likt substratforhold. Vektet skjul blir deretter beregnet ved å beregne gjennomsnittet av skjulmålinger for hver av de tre målingene ut i fra følgende sammenheng:

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

Ut fra verdiene for vektet skjul klassifiseres skjulforholdene som svært lite (< 1), lite (1-5), middels (5-10) og mye (> 10). Skjulmålingene gjøres så representative som mulig med tanke på substratsammensetningen innenfor et område. Ettersom det er vanskelig å utføre skjulmålinger på områder dypere enn ca. 1 m, vil det være noe usikkerhet knyttet til hvor representative skjulmålingene vil være for hele elven.



**Figur 3.2.** Skjulforhold for ungfisk måles ved å kvantifisere antall og størrelse på hulrom i elvebunnen med en plastslange innenfor en rute på 0,25 m<sup>2</sup>. Slangen er markert med røde markører som brukes til å måle størrelsen (dybde) av hulrommene. Eksempel på skjulmålinger i substrat med mye fin grus og sand hvor det ikke finnes hulrom, og dermed svært lite skjul (t.v.), og i substrat med stein/blokk som normalt gir mye skjul (t.h.). Foto: NORCE LFI.

### 3.1.4 Gyteområder

Gyteområdene ble kartlagt basert både på undervannsobservasjoner av bunnforholdene ved snorkling, og erfaringsmessig kjennskap til laksens krav til gytehabitat. De viktigste kriteriene vil være substratforhold, vannhastighet og vanddyp. Områder som tidligere har vært benyttet til gyting vil ofte kunne ses ved at substratet er lysere og annerledes sortert enn substratet rundt. I mange tilfeller kan en også se rester av gytegroper som en «dyneform» på elvebunnen.

Gyteforholdene klassifiseres ut i fra hvor stor andel av det totale elvearealet som er tilgjengelig for gyting, samt hvor stor avstand det er mellom gyteområdene. Arealene beregnes ut fra ArcGIS, basert på inntegninger fra skisser under kartlegging og avmerking fra GPS. Arealene er

derfor ikke basert på direkte oppmåling, og må derfor ses på som tilnærmete størrelser og ikke eksakte arealer. Mengden gytehabitat klassifiseres som lite dersom det utgjør <1 % av det totale elvearealet på strekningen, moderat ved 1-5 % og mye dersom >10 % av det totale elvearealet er tilgjengelig for gyting. Avstanden mellom gyteområder anses som stor ved over 500 m avstand, moderat ved 200-500 m og liten ved avstander kortere enn 200 m (**tabell 3.2**).

**Tabell 3.2.** System for klassifisering av gytehabitat basert på gytearealenes størrelse (innenfor hvert segment) og spredning (gjennomsnittlig avstand mellom gytehabitat, på tvers av segmenter). Fra Forseth & Harby (2013).

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

### 3.1.5 Databehandling

Resultatene fra kartleggingen ble digitalisert ved bruk av GIS-verktøy. Habitatkartene og gyteområder er tegnet ut fra kart og notater fra feltarbeidet og ved hjelp av flyfoto. Hvert mesohabitatpolygon får en klassifiseringsverdi for skjul som beskrevet ovenfor (svært lite, lite, middels, eller mye) basert på skjulmålinger innenfor området, eller ut fra nærmeste måling som har tilsvarende substratforhold.

## 3.2 Kavfossen-Monan – diagnose og foreslåtte tiltak

Strekningen fra Kavfossen til utløpet av Bjelland kraftverk ved Monan er en 3,8 km lang minstevannstrekning med to betongterskler med tilhørende store terskelbasseng. Strekningen deles naturlig i fem elvesegmenter: strekningen oppstrøms øverste terskelbasseng (Fossekilen), de to terskelbassengene, den korte elvestrekningen mellom bassengene og elvestrekningen nedstrøms nedre terskelbasseng (Sundet). Diagnose for de enkelte segmentene og de viktigste habitatflaskehalsene ble beskrevet i egen rapport (Fjeldstad mfl. 2016) og en kartmessig framstilling finnes i **vedlegg**. Det øverste segmentet ble beskrevet som høyproduktivt (**tabell 3.3**), elvestrekningene mellom og nedstrøms terskelen på Sundet var moderat produktive (med gyteareal som viktigste flaskehals), mens de to terskelbassengene ble vurdert som svært lavproduktive (med både gyteareal og skjul som flaskehals).

I en egen rapport fra prosjektet (Fjeldstad mfl. 2016) anbefales det å fjerne de to betongtersklene og å gjennomføre en del andre habitattiltak. Gjennom oppmålinger og hydrauliske modelleringer ble det vist hvordan elvestrekningen mest sannsynlig vil framstå etter at tersklene eventuelt blir fjernet. Begge områdene vil fortsatt ha områder med dypt og stilleflytende vann, men det vil også bli områder som er mer hurtigflytende. Viktige gyteområder vil komme i bruk og skjultilgangen vil bedres noe (inklusive hydraulisk skjul i områder som får økte vannhastigheter).

Beregninger i Fjeldstad mfl. (2016) viste at fiskeproduksjonen med dagens terskler er nærmest uavhengig av om vannføringen er 2 eller 6 m<sup>3</sup>/s, mens den øker for begge vannføringer dersom tersklene fjernes. Selv om vanndekt areal blir redusert etter fjerning av tersklene, viste estimer



at smoltproduksjonen på strekningen vil øke betydelig. Fjerning av tersklene vil også lette oppvandringen av gytefisk.

Gevinsten i form av prosentvis økt smoltproduksjon vil være avhengig av vannføringen og varierer fra ca. 35 % ved 2 m<sup>3</sup>/s til 50-60 % ved 6 m<sup>3</sup>/s. Miljødesignprosjektet har startet en prosess med lokale interessenter med mål om å få gjennomført de anbefalte tiltakene for å kunne realisere denne gevinsten.

**Tabell 3.3** Lengde (L), vanndekt areal (A), gyteareal (A<sub>G</sub>), prosent gyteareal av totalarealet (% G), klassifisert avstand mellom gyteområdene (avst.), samlet gyteklasse (G klasse), veid skjulmengde (S), skjulklasse (S klasse), samlet produktivitetssklasse (Prod.), viktigste begrensende habitatfaktor (Begrens.), minimum og maksimum smolttetthet (per 100 m<sup>2</sup>) og estimert smoltmengde (N min og N maks) for de fem elvesegmentene (Segm.) mellom Kavfossen (B1) og Monan (B5). Samlet lengde, vanndekt areal, gyteareal, prosent gyteareal og smoltmengder for hele strekningen er også gitt.

Segm.	L (m)	A (m <sup>2</sup> )	A <sub>G</sub> (m <sup>2</sup> )	% G	Avst.	G klasse	S	S klasse	Prod.	Begrens.	Min tett.	Maks tett.	N min	N maks
B1	709	36873	943	2,56	liten	mye	10,8	mye	høy	Ingen	7	13	2581	4793
B2	1420	154582	0	0,00	stor	lite	0,6	lite	svært lav	Begge	1	2	1546	3092
B3	350	13140	50	0,38	moderat	lite	21,0	mye	moderat	Gyte	5	9	657	1183
B4	677	49603	200	0,40	stor	lite	6,2	moderat	lav	Gyte	2	4	992	1984
B5	683	22009	0	0,00	stor	lite	14,4	mye	moderat	Gyte	5	9	1100	1981
Sum	3839	276207	1193	0,43									6876	13033

### 3.3 Monan-Manflåvann – diagnose og mulige tiltak

Strekningen fra utløpet av Bjelland kraftverk ved Monan til elvas innløp i Manflåvann er en ca. 8 km lang elvestrekning som veksler mellom stryk og glattstrømmer avbrutt av større kulplignende og stilleflytende områder. På strekningen er det også relativt mye krypsiv, som i denne sammenhengen og med de mengder som forekommer nå, vurderes å bidra positivt til skjultilgangen. Strekningen ble delt inn i åtte elvesegmenter med lignende substrat og elveklasse innenfor hvert segment. Diagnosen identifiserte et svært lavproduktivt segment, fire lavproduktive, to moderat produktive og et høyproduktivt segment (**tabell 3.4** og **vedlegg**). Strekningen framstår samlet som moderat lavproduktiv og det er lite gytehabitat i tre av segmentene og lite skjul i fem av segmentene. Samlet gyteareal utgjør ca. 2,3 % av elvearealet, noe som klassifiseres som moderat mye. Substratsammensetningen framstår som naturlig gitt elvegradienten, tverrprofilen og opprinnelige substratfordeling og ikke preget av gjenauring på grunn av reduserte flomstørrelser. Det ble ikke identifisert vesentlige områder egnet for utlegging av gytegrus der gyteareal er viktig flaskehals. Ut over eventuelle framtidige tiltak for å hindre mer oppvekst av krypsiv, særlig ved Monan, er det ikke foreslått habitatiltak på denne strekningen.

**Tabell 3.4** Lengde (L), vanndekt areal (A), gyteareal ( $A_G$ ), prosent gyteareal av totalarealet (% G), klassifisert avstand mellom gyteområdene (avst.), samlet gyteklasse (G klasse), samlet skjulklasse (S klasse) basert på skjulmålinger og kartlegging av krypsiv, samlet produktivitetssklasse (Prod.), viktigste begrensende habitatfaktor (Begrens.), minimum og maksimum smolttetthet (per 100 m<sup>2</sup>) og estimert smoltmengde (N min og N maks) for de åtte elvesegmentene mellom Monan (Segm. 26) og Manflåvann (Segm. 19). Samlet lengde, vanndekt areal, gyteareal, prosent gyteareal og smoltmengder for hele strekningen er også gitt.

Segm.	L (m)	A (m <sup>2</sup> )	$A_G$ (m <sup>2</sup> )	% G	Avst.	G klasse	S klasse	Prod.	Begrens.	Min tett.	Maks tett.	N min	N maks
26	1040	82677	6400	7,74	Liten	Mye	Moderat	Høy	Skjul	7	13	5787	10748
25	678	17389	40	0,23	Stor	Lite	Lite	Lav	Begge	2	4	348	696
24	408	55364	850	1,54	Moderat	Moderat	Moderat	Moderat	Begge	5	9	2768	4983
23	1313	43317	1750	4,04	Stor	Lite	Mye	Moderat	Gyte	5	9	2166	3899
22	653	52479	1840	3,51	Moderat	Moderat	Lite	Lav	Skjul	2	4	1050	2099
21	819	83895	905	1,08	Moderat	Moderat	Lite	Lav	Begge	2	4	1678	3356
20	1719	121651	45	0,04	Stor	Lite	Lite	Svært lav	Begge	1	2	1217	2433
19	1567	140054	1740	1,24	Moderat	Moderat	Lite	Lav	Skjul	2	4	2801	5602
Sum	8197	596826	13570	2,27								17814	33815

### 3.4 Dam Manflå-Laudal – diagnose og gjennomførte tiltak

Fram til vinteren/våren 2016 var det i alt 12 terskler på den 6 km lange strekningen fra Dam Manflå til utløpet av Laudal kraftverk ved Laudal. 11 av tersklene lå i den 4,5 km lange øvre strekningen fra dammen til Kleveland bru, der det var en betongterskel med fisketrapp. Den nederste lå rett oppstrøms utløpet av Laudal kraftverk, nedstrøms det bratte og strie partiet fra Kleveland bru og nedover. Av de 11 tersklene fra Kleveland bru og opp til Dam Manflå var det 8 lave terskler som dekket hele elvetversnittet (syv spuntede løsmasseterskler og betongterskelen ved Kleveland) og to mindre terskler i et sideløp. Basert på noen tidligere kartlegginger startet miljødesignprosjektet arbeidet med å forberede og gjennomføre tiltak på denne øvre strekningen våren 2014. Dette arbeidet er beskrevet i en egen rapport fra prosjektet (Fjeldstad mfl. 2014).

Gjennom oppmålinger og hydrauliske modelleringer ble det vist hvordan elvestrekningen mest sannsynlig ville framstå etter at tersklene ble fjernet (Fjeldstad mfl. 2014). Dette inkluderte hvor vannlinja ville gå og sammensetning av ulike elveklasser (stryk, kulper osv.) etter terskelfjerning. Det ble gjennomført en prosess med lokale interessenter gjennom 2014 og 2015, dels gjennom møter i rådgivingsgruppa i miljødesignprosjekt og dels gjennom lokale møter og drøftinger. Dette ga aksept for å gjennomføre tiltakene våren 2016.

Parallelt med dette arbeidet ble det stilt en diagnose etter miljødesignmetodikken for den 4,5 km lange strekningen fra Dam Manflå til betongterskelen ved Kleveland bru (Fjeldstad mfl. 2014 og denne rapporten). Strekningen deles naturlig av tersklene i åtte elvesegmenter. Alle åtte segmentene hadde lite gyteareal, bare de to øvre segmentene hadde moderate skjulmengder, og resten hadde lave skjulmengder. Det var mye bra substrat i terskelbassengene, men dette var delvis gjenarett av finmateriale og vannhastighetene begrenset trolig fiskens bruk. Det ble identifisert et stort (nesten 900 m<sup>2</sup>) og flere mindre potensielle gyteområder. Dette var arealer med egnet gytegrus, men hvor vanddypet og vannhastighetene på grunn av tersklene ikke tillot suksessfull gyting. Med unntak av det øverste segmentet, der det var bra med skjul, ble alle segmentene klassifisert som lavproduktive. Det ble estimert en smoltproduksjonskapasitet på mellom 4300 og 8400 laksesmolt på strekningen slik den framsto i 2014 (tabell 3.4).



**Tabell 3.4** Lengde (L), vanndekt areal (A), gyteareal ( $A_G$ ), prosent gyteareal av totalarealet (% G), klassifisert avstand mellom gyteområdene (avst.), samlet gyteklasse (G klasse), veid skjulmengde (S), skjulklasse (S klasse), samlet produktivitetssklasse (Prod.), viktigste begrensende habitatfaktor (Begrens.), minimum og maksimum smolttetthet (per 100 m<sup>2</sup>) og estimert smoltmengder (N min og N maks) for de åtte elvesegmentene (Segm.) mellom Dam Manflå (L1) og Kleveland bru (L8). Samlet lengde, vanndekt areal, gyteareal, prosent gyteareal og smoltmengder for hele strekningen er også gitt.

Segm.	L (m)	A (m <sup>2</sup> )	$A_G$ (m <sup>2</sup> )	% G	Avst.	G klasse	S	S klasse	Prod.	Begrens.	Min tett.	Maks tett.	N min	N maks
L1		24652	160	0,65		Lite		Moderat	Moderat		5	9	1233	2219
L2		21035	8	0,04		Lite		Moderat	Lav		2	4	421	841
L3		54335	109	0,20		Lite		Lite	Lav		2	4	1087	2173
L4		31375	6	0,02		Lite		Lite	Svær lav		1	2	314	628
L5		47687	54	0,11		Lite		Lite	Svært lav		1	2	477	954
L6		18211	60	0,33		Lite		Lite	Lav		2	4	364	728
L7		14524	3	0,02		Lite		Lite	Svært lav		1	2	145	290
L8		12970	14	0,11		Lite		Lite	Lav		2	4	259	519
Sum		224789	414	0,18									4299	8352

Selv om fjerning av tersklene ville innebære noe redusert vanndekt areal, tilsa bedringer i habitatforhold gjennom at ubrukte gyteområder ville komme i bruk og økt skjulforekomst (både i substratet og hydraulisk skjul) at fiskeproduksjonen kunne økes betydelig ved å fjerne tersklene. Det ble estimert en smoltproduksjonskapasitet etter terskelfjerning (og noen andre tiltak) på mellom 8600 og 15 500 laksesmolt, en økning på mellom 85 og 100 % (dobling). I henhold til diagnose-systemet økte produktiviteten fra lav til lav pluss i to segment og fra lav til moderat i fire segment (pga. økt skjultilgang og økt gyteareal, se **kapittel 7.1** for produktivitetssklasser). Det ble anbefalt å fjerne 10 av 11 terskler, og senke den siste (Solkrone). Videre ble det anbefalt å etablere et nytt mindre gyteområde i det øverste segmentet (rett nedstrøms Dan Manflå), der det var bra med skjul, men langt til nærmeste gyteområde.

Høsten 2015 ble det gitt tillatelse fra NVE til å fjerne tersklene i samsvar med utarbeidet plan (Fjeldstad mfl. 2014, og detaljering i regi av Terrateknikk). Tidlig i 2016 ble tersklene fjernet. Så godt som alt materiale fra løsmassetersklene ble lagt tilbake i elveleiet. De største steinene ble lagt ut som skjul til voksenfisk og til styring av vannet (for å gjenskape elvas opprinnelige svinger), mens de mellomstore ble brukt til å danne steinrygger med mye skjul for ungfisk. Det ble lagt ut 16 m<sup>3</sup> gytegrus av egnet størrelsesfordeling i det øverste segmentet. Solkronaterskel ble endret slik at det ble en mer gunstig vannfordeling mellom de to nedstrøms løpene, og det ble steinsatt en mer markant vandringskanal i det vestre løpet. I deler av de opprinnelige terskelbassengene ble bunnen rippet (steinene løftes med en gravemaskinpigg slik at substratet renses for finmateriale og substratet blir løsere) slik at skjultilgangen økte. Under arbeidet ble det gjennom dialog med grunneiere gjort tilpasninger som sikret gjerdeeffekt (åpning av sideløp) og andre formål.

I forbindelse med en storflom i vassdraget i oktober 2017 ble det gjort betydelige skader på den nederste terskelen (en løsmasseterskel med støpt laksetrapp) rett oppstrøms utløpet av Laudal kraftverk og elva undergravde riksveien. Agder Energi, vegmyndigheter og lokale interessenter starter en prosess for om mulig å fjerne også denne terskelen, som et bedre alternativ enn en gjenoppbygging. Det ble først gjennomført en prøveåpning for å vurdere de estiske effektene i området (senkning av vannstanden oppstrøms terskelen). Denne viste mindre endringer som ble akseptert lokalt. Med innspill fra miljødesignprosjektet ble det deretter utarbeidet en plan for

hvordan terskelmaterialet og annet materiale i elveløpet kunne brukes til å sikre bedre oppvekstforhold for ungfisk i området nedstrøms terskelen og til å lette oppvandringen av voksenfisk fra utløpet av kraftverket og opp i minste vannstrekningen (Gabrielsen & Stranzl 2018). Disse tiltakene ble gjennomført i mars-april 2018. Vi har ikke datagrunnlag til å estimere effekten av tiltaket (mangler før og etter målinger av skjul og mulige gyteområder), men faglig skjønn tilsier både økt smoltproduksjon og lettere oppvandring (mer markant strøm ned mot kraftverksutløpet og jevnere fall, samt lettere oppvandring forbi det opprinnelige terskelområdet).

### **3.5 Laudal til brakkvannssonen – diagnose og mulige tiltak**

Strekningen fra utløpet av Laudal kraftverk til brakkvannssonen (Møll bru), knappe 20 km nedstrøms, har det største elvearealet av de fire strekningene. Strekningen ble kartlagt 5. og 6. juli 2016. Elvestrekningen er gjennomgående bred og veksler mellom stryk, glattstrømmer og kulper med lav gradient, men har en markant brattere og smalere stryk- og fossestrekning i nedre halvdel. Strekningen ble delt inn i 19 elvesegmenter med lignende substrat og elveklasse innenfor hvert segment. Samlet gyteareal utgjør ca. 3,1 % av elvearealet, noe som klassifiseres som moderat mye, men mer enn i strekningen Monan til Manflåvann. Det var bare tre av 18 elvesegmenter der gyteareal var viktigste flaskehals, tre segmenter der både gyteareal og skjul var begrensende for produksjonen og 12 segmenter der skjul var viktigste flaskehals. Skjul var dominerende flaskehals i over 14 av de 20 kilometerne, og spesielt i de nedre delene. Strekningen framstår samlet som lav til moderat produktiv, med forekomst av skjul som viktigste begrensende faktor. Det er substratstørrelsen som gjør at det er lite skjul på denne elvestrekningen. Strekningen er dominert av grus og til dels fin grus, og det er bare i brattere strykstrekninger med større stein og berg at skjultilgangen når moderate mengder (det var ingen segmenter med mye skjul i substratet).

Substratforholdene framstår i all hovedsak som resultat av naturlige hydromorfologiske forhold og prosesser, og det ble ikke identifisert områder med nedauret substrat der for eksempel ripping (Pulg mfl. 2018) kan bedre skjultilgangen. Det ble i perioden fra midten av 1800-tallet til midten av 1900-tallet drevet relativt omfattende tømmerfløting på strekningen (Slettan 1986) og det er oppgitt at det ble drevet med minering (sprenging og/eller fjerning av berg og stein) av ukjent omfang for å lette fløtingen. Dette kan ha redusert skjultilgangen og ført til mindre variasjon på elvestrekningen.

For å øke skjultilgangen må det tilføres større stein og blokker. Elvearealet er på ca. 1,6 millioner m<sup>2</sup>, og tiltak som utlegging av stein i ryggen ute i elva eller langs breddene må være omfattende dersom de skal ha særlig effekt. Vi foreslår derfor ikke noen konkrete habitattiltak på denne strekningen, men det kan vurderes å gjennomføre noen mindre prøvetiltak i segment 10, der det er godt med gyteareal, men spesielt lite skjul. Slike tiltak med tilhørende evaluering av effekt på fiskeproduksjonen kan danne grunnlag for kost-nyttevurderinger for større tiltak. Tiltak kan også aktualiseres dersom det likevel skal gjennomføres sikringstiltak (forbygninger) eller om det blir egnede overskuddsmasser tilgjengelige fra andre utbygninger i nærområdet. Elveforbygninger og andre sikringstiltak langs elver kan også utformes slik at de bidrar til økt skjulforekomst (Pulg mfl. 2018).

Miljødesignprosjektet har gjennom habitatdiagnosen gitt et viktig bidrag gjennom å identifisere skjultilgang som viktigste habitatflaskehals på denne strekningen.

**Tabell 3.5** Lengde (L), vanndekt areal (A), gyteareal ( $A_G$ ), prosent gyteareal av totalarealet (% G), klassifisert avstand mellom gyteområdene (avst.), samlet gyteklasse (G klasse), veid skjulmengde (S), skjulklasse (S klasse), samlet produktivitetsklasse (Prod.), viktigste begrensende habitatfaktor (Begrens.), minimum og maksimum smolttetthet (per 100 m<sup>2</sup>) og estimert smoltmengde (N min og N maks) for de 18 elvesegmentene mellom Laudal (Segm. 18) og brakkvannssonen (Segm. 1). Samlet lengde, vanndekt areal, gyteareal, prosent gyteareal og smoltmengder er også gitt.

Segm.	L (m)	A (m <sup>2</sup> )	$A_G$ (m <sup>2</sup> )	% G	Avst.	G klasse	S	S klasse	Prod.	Begrens.	Min tett.	Maks tett.	N min	N maks
18	712	39238	40	0,10	Stor	Lite		Moderat	Lav	gyte	2	4	785	1570
17	660	65061	8900	13,68	Liten	Mye		Lite	Moderat	Skjul	5	9	3253	5855
16	772	57361	1900	3,31	Liten	Mye		Lite	Moderat	Skjul	5	9	2868	5162
15	455	38068	5200	13,66	Liten	Mye		Lite	Moderat	Skjul	5	9	1903	3426
14	1340	98563	3550	3,60	Liten	Mye		Moderat	Høy	Skjul	7	13	6899	12813
13	1570	95128	2150	2,26	Moderat	Moderat		Lite	Lav	Skjul	2	4	1903	3805
12	668	64558	2020	3,13	Liten	Mye		Lite	Moderat	skjul	5	9	3228	5810
11	470	35065	0	0,00	Stor	Lite		Moderat	Lav	gyte	2	4	701	1403
10	2510	233836	10155	4,34	Moderat	Mye		Lite	Moderat	skjul	5	9	11692	21045
9	1869	163992	950	0,58	Stor	Lite		Lite	Lav	Begge	2	4	3280	6560
8	1035	104416	550	0,53	Liten	Moderat		Lite	Lav	skjul	2	4	2088	4177
7	787	25150	0	0,00	Stor	Lite		Moderat	Lav	Gyte	2	4	503	1006
6	868	51092	1150	2,25	Liten	Mye		Moderat	Høy	Skjul	7	13	3576	6642
5	1352	134446	5550	4,13	Stor	Lite		Lite	Lav	Begge	2	4	2689	5378
4	1432	132137	1350	1,02	Moderat	Moderat		Lite	Lav	Skjul	2	4	2643	5285
3	1766	172983	3980	2,30	Moderat	Moderat		Lite	Lav	Skjul	2	4	3460	6919
2	169	4879	0	0,00	Moderat	Lite		Lite	Svært lav	Begge	1	2	49	98
1	1167	94031	1750	1,86	Moderat	Moderat		Lite	Lav	Skjul	2	4	1881	3761
Sum	19602	1610004	49195	3,06									53401	100716

## 4 Fiskevandring og vandringstiltak

### 4.1 Oppvandring Laudal til Dam Manflå

Oppvandring av gytefisk av laks fra utløpet av Laudal kraftverk, inn i og gjennom minstevannstrekingen og forbi Dam Manflå, har vært en viktig problemstilling etter reetableringen av laks i vassdraget og siden de første oppvandringsstudiene i vassdraget ble gjennomført (Thorstad & Heggberget 1997, Thorstad & Hårsaker 1998). Disse første studiene viste lang oppholdstid ved utløpet, til dels sen oppvandring gjennom minstevannstrekingen og lange stopp ved en av tersklene og Dam Manflå. Det var en utfordring at fiskene som inngikk i forsøkene ikke var stedeagne, og derfor trolig hadde lavere motivasjon for vandring forbi minstevannstrekingen. I årene som fulgte ble det observert oppsamling av fisk ved grinda foran kraftverksutløpet. I 2000 og 2001 ble oppvandringen forbi Dam Manflå registrert med en logiteller, verifisert med video (Hvidsten & Lamberg 2003) og tidlig på 2000-tallet ble det ved flere anledninger satt opp videokamera ved utløpet og i minstevannstrekingen for å dokumentere vandringsproblemene og for å teste ulike vannslipp (Lamberg 2003, Lura 2005, Lura 2006). De ulike forsøkene viste at vandringsaktiviteten økte når det ble sluppet ekstra vann, at forholdet mellom driftsvannføring i kraftverket og vannføringen gjennom minstevannstrekingen hadde betydning for innvandring til strekingen og at motivert fisk vandret relativt raskt gjennom strekingen. I 2005 og 2006 ble oppvandringen gjennom luka og fisketrappa i Dam Manflå overvåket med video, men det foreligger bare komplette resultater fra 2005 (Lura 2006). Fra 2007 til 2010 ble oppvandringen gjennom luka registrert i videokamera av firmaet Synapse i forbindelse med en rekke vannslippforsøk. Vi har via Agder Energi Vannkraft fått tilgang på datafiler med tallene for oppvandring under disse forsøkene, men disse er ikke dokumentert gjennom noen rapporter. Det ser ut til å ha vært brukt fire kamera alle år, men kameraoppsett og dekning er ikke gitt. Antall forsøk og varighet av disse er imidlertid gitt.

Fra 2011 har Skandinavisk naturovervåking gjennomført årlige registreringer av oppvandring av laks og aure gjennom luka i dammen som dekker tilnærmet hele oppvandringssesongen. Fra 2014 dekket også overvåkingen trappa midt i dammen som ble fjernet og erstattet av en kanal i 2017. Det er denne komplette serien med fulldekkende oppvandringsdata som er hovedgrunnlaget for analysene av oppvandring i denne rapporten. I tillegg ble det i 2003 gjennomført en videoovervåking (Lamberg & Øksenberg 2004) i den sentrale vandringskorridoren i Haugefossen, det viktigste vandringsforsinkende stryket i vassdraget, som dekket mye av oppvandrings-sesongen (19/6-16/10). I regi av miljødesignprosjektet ble det gjennomført telemetristudier av oppvandrende laks i 2013 og 2014. Blant annet på grunn av problemer med å skaffe nok fisk til merking, ble antall fisk som passerte minstevannstrekingen lavt, men de som passerte ga god informasjon om vandringshastigheter og forsinkelser. Nedenfor oppsummerer vi resultatene fra video- og telemetristudiene, og kombinerer disse i samlede analyser av sammenhenger mellom oppvandring og vannføringsforhold.

#### 4.1.1 Videoregistreringer

Det har vært variasjon i plasseringen av kamera gjennom overvåkingsperioden fra 2011 til 2018. Målet har vært en stadig forbedring av observasjonsforholdene. I tillegg ble bare klappeluka overvåket (det passerte svært få fisk i trappa) fram til 2014, da trappa ble modifisert og senere omgjort til en kanal med større slukeevne. Fra 2014 (med unntak av 2015 da trappa var stengt) har både luka og trappa vært overvåket. I 2014 ble under 3 % av laksen og 12 % av sjøauren registrert i trappa, mens resten av fisken ble registrert gjennom luka. Denne observasjonen antyder at overvåkingen i årene før 2014 ikke gikk glipp av mange laks, selv om fisketrappa ikke ble overvåket.

I 2011 ble det benyttet tre undervannskamera og ett kamera over vann for å overvåke opp- og nedvandring av fisk over luka (**Figur 4.1**). I dette oppsettet ble det benyttet lyskastere over vann og også undervannsbelysning. I årene som fulgte ble kameraplasseringen endret litt fra år til år

og modifiseringen av trappa førte også til at det ble plassert ut kamera der (**Tabell 4.1**). I reguleringsluke ble det fra og med 2016 benyttet tre til fire kamera som var rettet fra bunnen og opp mot vannoverflaten. Dette førte til at det ble noe enklere å oppdage passerende fisk, spesielt i mørket. Endring av kameraposisjon ved luke førte også til at det ble enklere å definere hvilke vinterstøinger av laks som reelt vandret ned og hvilke som gjorde flere forsøk på å slippe seg utfor.



**Figur 4.1.** Fisketrappa i midten av dammen i utløpet av i Manflåvann i Mandalsvassdraget i 2011 (de to øverste bildene). I tillegg til tre undervannskamera, ble det også montert ett overflatekamera dette året (de nederste to bildene). Bilder fra disse fire kameraene dekker hele tverrsnittet av reguleringsluke i dammen.

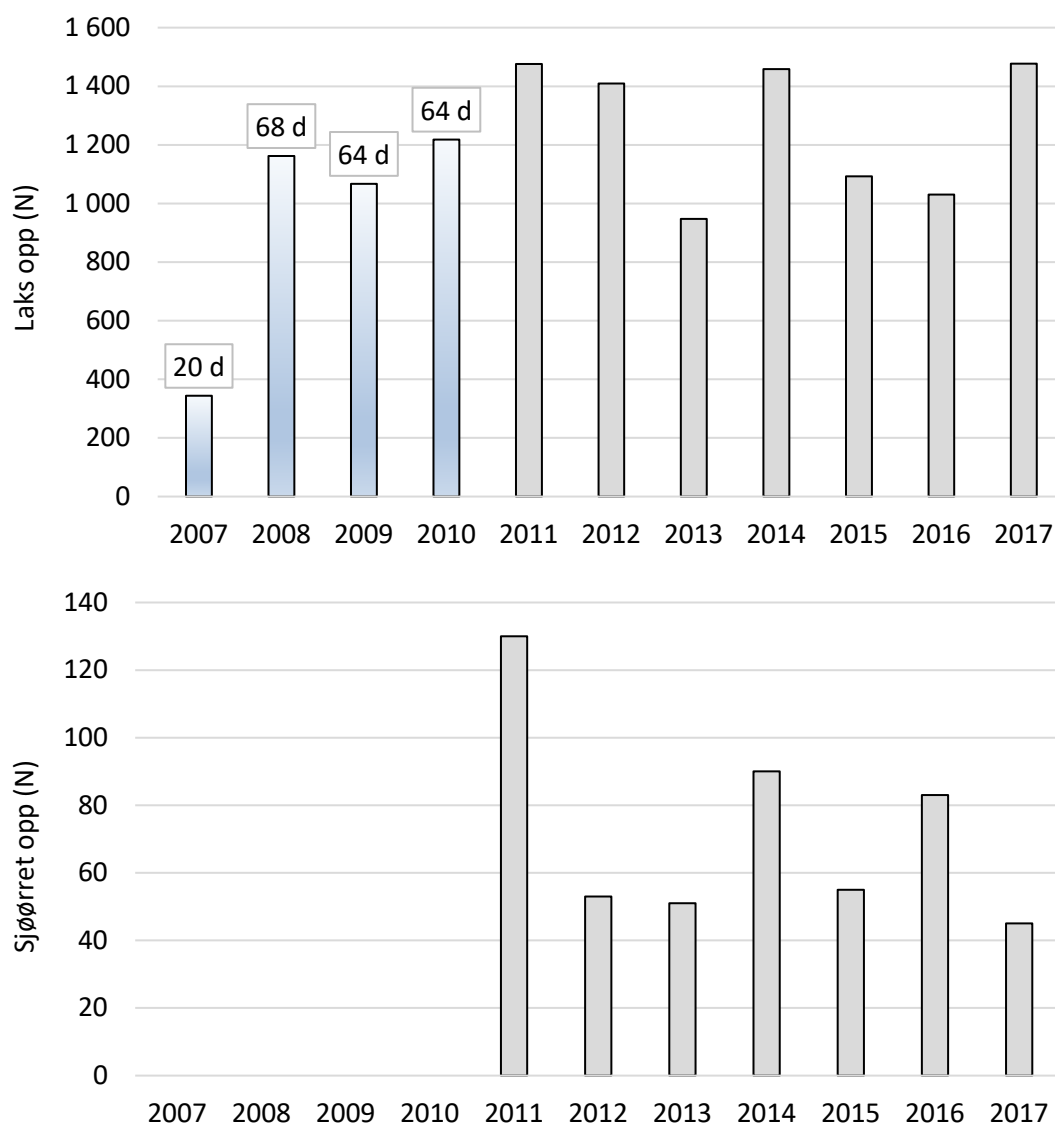
**Tabell 4.1.** Oversikt over kameraoppsettet (antall og plassering), belysning (UV=under vann) og funksjonen til kanalen midt i dammen gjennom overvåkingsperioden fra 2011 – 2018.

År	Undervanns-kamera luke (N)	Kameraplassering luke	Overflate-kamera	Kamera trapp/kanal (N)	Lys luke	Lys trapp	Funksjon kanal
2011	3	sideveis	1		UV og ovenfra		trapp
2012	4	sideveis			UV og ovenfra		trapp
2013	4	sideveis			UV og ovenfra		trapp
2014	4	sideveis		2	UV og ovenfra	UV	delvis åpen kanal
2015	4	sideveis			UV og ovenfra		Stengt
2016	4	fra bunnen og opp		3	UV og ovenfra	UV	åpen kanal
2017	4	fra bunnen og opp		2	UV og ovenfra	UV	åpen kanal
2018	3	fra bunnen og opp		1	UV og ovenfra	UV	åpen kanal

Antall oppvandrende laks registrert gjennom Dam Manflå varierte mellom 947 og 1477 fisk i perioden 2011 til 2017, mens antallet oppvandrende sjøaure varierte fra 45 til 130 fisk (**figur 4.2**). Det var ingen tidstrend i oppvandringen for noen av artene, men det ble observert mest aure det første året og en god del mindre i de neste årene. Overvåkningen for årene 2007 til 2010 viste en markant økning fra 2007 til 2008, mens oppvandringen i de neste tre årene var generelt lik oppvandringen for årene etter 2010. Mens overvåkningen i 2007 dekket totalt bare 20 døgn, ble oppvandringen registrert gjennom 68 døgn i 2008 og 64 døgn i både 2009 og 2010. Antall observasjonsdøgn forklarer derfor trolig det meste av økningen fra 2007 til 2008. Vannslippforsøkene startet sent i juni (mellom 20. og 28.) og pågikk til tidlig i oktober. Gjennomsnittlig varighet av oppvandringssesongen (definert som antall dager mellom 10 og 90 % observasjon) i årene etter 2011 (med full dekning) var 70 døgn, med variasjon mellom år fra 62 til 83 døgn. Selv om det er hull i observasjonene (det var typisk noen døgn mellom hvert forsøk) er det derfor sannsynlig at oppvandringstallene for 2008-2010 dekker mye av oppvandringen, mens den faktiske oppvandringen i 2007 var mye høyere. Det ble i gjennomsnitt registrert 17 oppvandrende laks pr døgn i 2007, 17 også i 2008 og 2009 og 19 laks pr dag i 2010. En oppskalering av registreringene for 2007 antyder at det også dette året gikk opp over 1000 laks, men en slik oppskalering er svært usikker fordi mye av fisken teoretisk kan ha vandret på døgnene med slipp og mindre i de andre dagene.

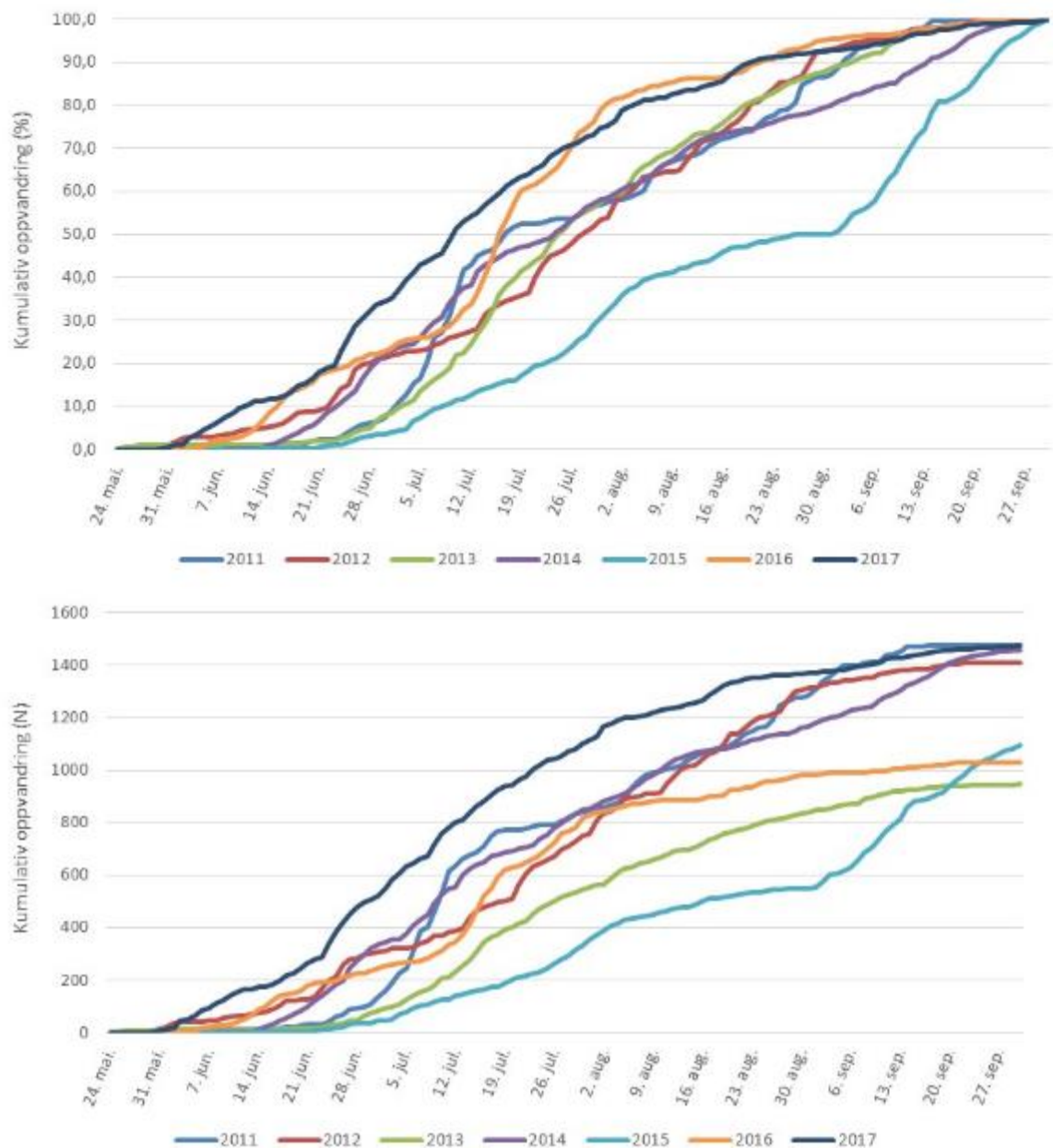
For årene med tilnærmet full dekning (2011-2017) var det stor variasjon mellom år når oppvandringen startet (fra sent i mai til godt ut i juni), men når oppvandringen hadde startet var den uvanlig jevn og det var få dager at det ikke ble registret fisk i videokameraene (**figur 4.3**). I 2015 ble ikke observert mer enn tre laks før 20 juni, til tross for at kameraene var operative fra 1. juni, og dette var altså et spesielt sent oppvandringsår. I de fleste år var oppvandringen ferdig tidlig i september, men i noen år var det oppvandringen nesten ut september. I 2011 og 2012 var minstevannføringen om sommeren 3 m<sup>3</sup>/s. Det nye reglementet ble innført fra juli 2013 og ga en betydelig økning i vannslippene utover i sesongen og «fredagsstans» av kraftverket (se **kapittel 5.3**). I 2011 startet oppvandringen sent, mens første fisk ble observert så tidlig som 26. mai i 2012 og det kom relativt mye fisk rundt månedsskiftet. Oppvandringsmønsteret i de to årene med lavere vannslipp skilte seg altså ikke systematisk fra de andre årene med større vannslipp og «fredagsstans».

Videoregistreringer av oppvandrende laks i Haugefossen i 2004 (Lamberg & Øksenberg 2005) tydet på at det vandrer lite fisk gjennom denne fossen på vannføringer over ca. 50 m<sup>3</sup>/s. Telemetristudiene gir en viss støtte for dette funnet (se **kapittel 4.1.2**) og dette innebærer at vannføeringsforhold ved denne fossen kan ha betydning for videre oppvandring i vassdraget.



**Figur 4.2.** Antall oppvandrende laks (øvre figur) og sjøaure (nedre figur) registret gjennom videoovervåking i luka og i fisketrappa/renna (fra 2014) i Dam Mannflå for årene 2011-17. Basert på observasjonen fra trappa i 2014 er det sannsynlig at en liten andel (< 5 %) av den oppvandrende fisken har vandret gjennom trappa uten å ha blitt registrert i årene før 2014. Videotellingene for årene 2007-2010 er også vist i figuren for laks, og tallene over søylene angir antall observasjonsdager.





**Figur 4.3.** Årlig prosentvis (øvre figur) og antallsmessig (nedre figur) kumulativ oppvandring av laks over Dam Manflå gjennom sommerhalvåret for årene 2011 til 2017.

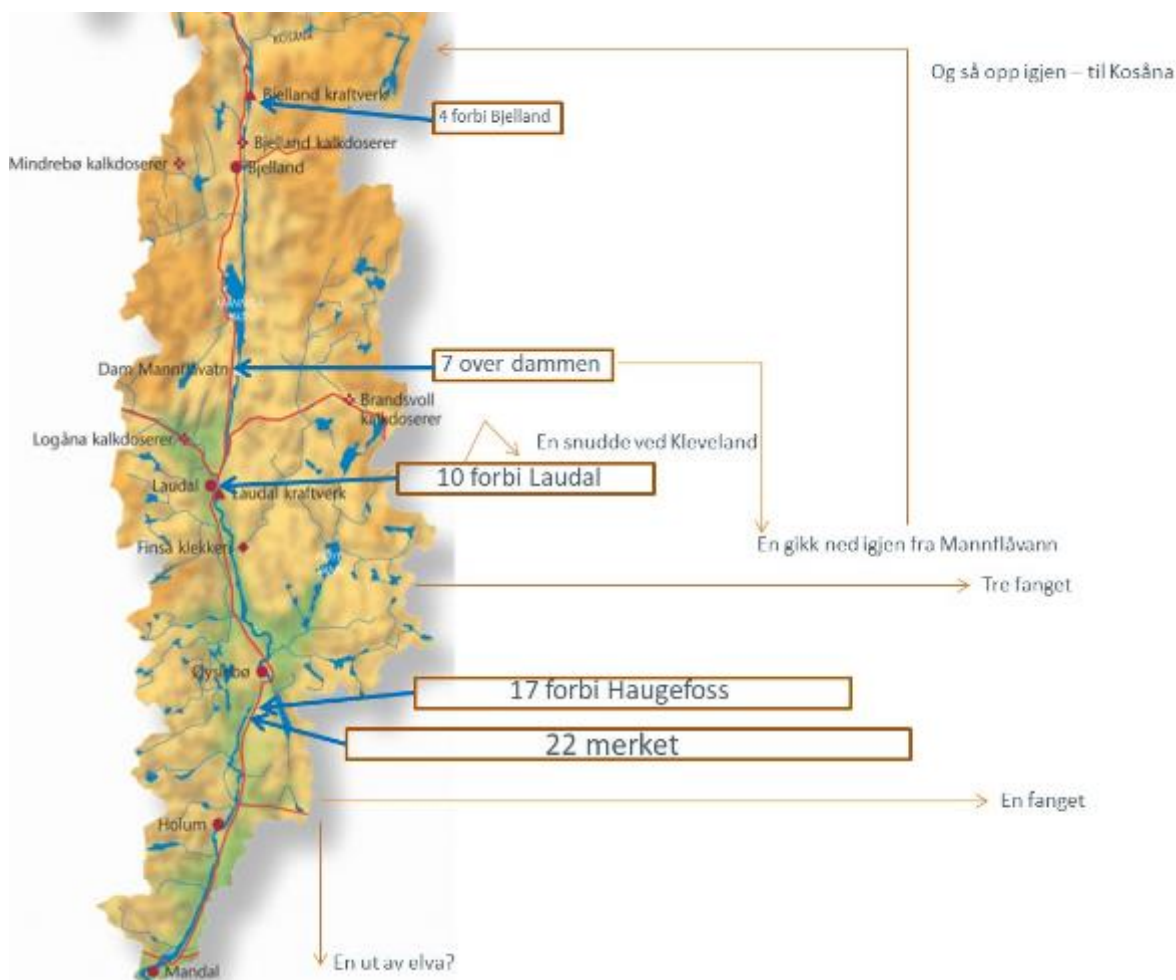
#### 4.1.2 Radiotelemetri

Det ble gjennomført vandringsstudier med radiomerking av laks i både 2014 og 2015. Det var betydelige problemer med å fange nok laks til merking, og forsøket i 2015 ble i tillegg sterkt svekket ved at mye merket fisk ikke passerte noen av de interessante områdene. En rekke fiskemetoder ble prøvd, uten hell, og det var bare det tradisjonelle fisket med hov i Haugefossen og kilenotfiske utenfor munningen (i 2015) som ga fisk til forsøkene.

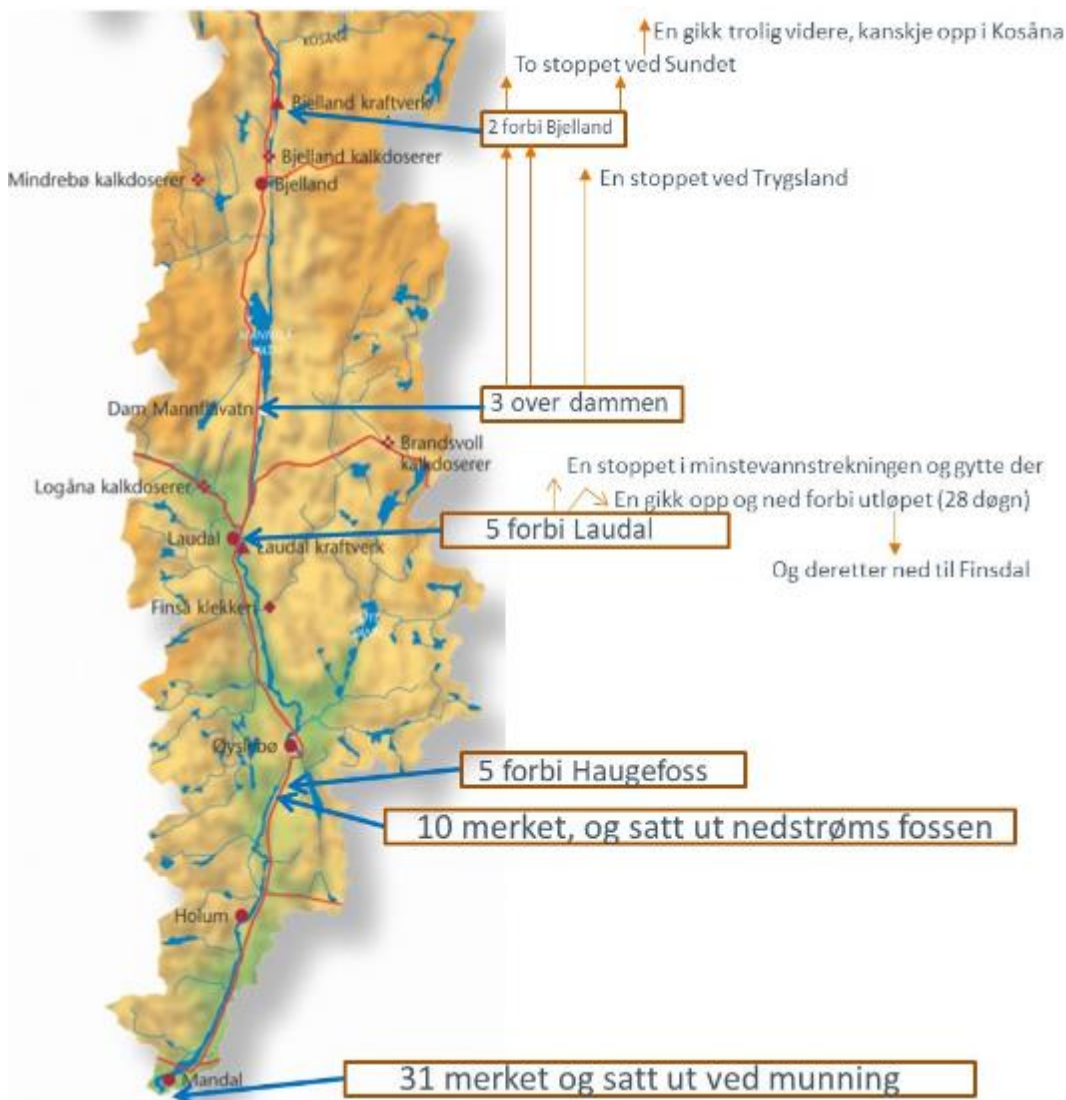
I 2014 ble 22 laks fanget med hov og radiomerket i Haugefossen. De ble sluppet ut igjen nedstrøms fossen. Det ble satt opp fire loggestasjoner (Haugefossen, utløpet av Laudal kraftverk, Kleveland bruk og inntaket til Laudal kraftverk i Manflåvann). I tillegg ble det gjennomført en god del manuelle peilinger. Det var 17 fisk som passerte Haugefossen og vandret videre til ulike deler av elva, derav fire laks som passert forbi utløpet av Bjelland kraftverk og inn i minstevannstrekningen (figur 4.4).



I 2015 ble det fanget og merket 41 laks, hvorav 10 ble fanget med hov i Haugefossen og 31 ved kilenotfiske nær utløpet av elva. I tillegg til de samme loggestasjonene som i 2014, ble det opprettet en ny loggestasjon ved Dam Manflå og en ved utløpet av Bjelland kraftverk, og det ble gjennomført manuelle peilinger. Av de 41 laksene som ble merket i 2015 var det bare fem som passerte Haugefossen (**figur 4.5**). Mange av fiskene som ble fanget i kilenota ble aldri registrert i elva. Noen av de merkede fiskene ble stående nedstrøms Haugefossen og noen gikk ut av elva. Det ble peilet eller registrert fisk fra forsøket i flere andre elver i Sør-Norge (Otra, Lygna, Audna, Håelva og Bjerkreimselva) og en ble fanget i kilenot 1 km fra utløpet av Mandalselva. Alle de fem som passerte Haugefossen passerte også utløpet fra Laudal.



**Figur 4.4.** Oversikt over vandringmønster for 22 radiomerket fisk i Mandalselva i 2014.



**Figur 4.5.** Oversikt over vandringsmønster for 41 radiomerket fisk i Mandalselva i 2015. Bare fem av fiskene passerte Haugefoss, noen ble aldri registrert i elva (av de som ble fanget og merket ved munningen), noen gyttte nedstrøms Haugefoss og flere gikk ut og til andre elver.

#### Passering av Haugefoss

Gjennomsnittlig vannføring (fra loggeren på Kjølemo) under passering av Haugefossen i 2014 var 42 m<sup>3</sup>/s, med en variasjon fra 23 til 102 m<sup>3</sup>/s. Det var en mellomlaks som passerte da vannføringen var 102 m<sup>3</sup>/s, men de andre 16 passerte på vannføringer mellom 23 og 54 m<sup>3</sup>/s. I 2015 var det en smålaks som passerte Haugefoss da vannføringen var over 300 m<sup>3</sup>/s, mens de andre fire passerte på vannføringer mellom 31 og 48 m<sup>3</sup>/s. Det var flere fisk som vandret opp til fossen uten å passere, og flere av disse opplevde vannføringer under 50 m<sup>3</sup>/s mens de var ved eller rett nedstrøms fossen. Det er mulig at noen av disse ikke var hjemhørende oppstrøms Haugefoss, men også mulig at de ga opp og valgte å gyttte nedstrøms. I 2014 pendlet vannføringen rundt 50 m<sup>3</sup>/s i store deler av vandrings sesongen før det kom en flom i rundt 10. august, mens det i 2015 var det en relativt lang periode med relativt høye vannføringer i juni, og vannføringen kom ikke ned mot 50 m<sup>3</sup>/s før i slutten av juni.

Av de totalt 22 laksene som passerte Haugefoss i de to årene var det altså 20 som passerte på vannføringer lavere enn 54 m<sup>3</sup>/s mens to laks (9 %) passerte på betydelig høyere vannføringer (102 og 304 m<sup>3</sup>/s). Begge disse passerte relativt sent i oppvandringssesongen (henholdsvis i

midten av august og i september). Telemetristudiene ser ut til å støtte indikasjonene fra video-registreringene i 2004 (Lamberg & Øksenberg 2005) om at laksen i hovedsak passerer fossen når vannføringen er under ca. 50 m<sup>3</sup>/s, men dokumenterer samtidig at fisk kan passere fossen på betydelig høyere vannføringer. Det er mulig at det oppstår alternative vandringsveier på høyere vannføringer. Sammenstilt tilsier imidlertid både video- og telemetriundersøkelsene at fiskens mulighet for å passere Haugefoss kan påvirke vandringsmønstret videre oppover i vassdraget, fordi lengre perioder med vannføringer over ca. 50 m<sup>3</sup>/s begrenser antall fisk som passerer.

#### *Passering av utløp av Laudal kraftverk*

De ti laksene som passerte utløpet fra kraftverket i 2014 gikk alle nesten rett forbi (oppholdstid fra 11 minutter til i overkant av et døgn), og vannføringen i minstevannløpet varierte mellom 10 og 47 m<sup>3</sup>/s. Andelen vann fra minstevannstrekningen varierte fra 20 til 100 % (stans i kraftverket). Det var bare en av fiskene som gikk inn under en «fredagsstans», men dette var også den eneste som ankom utløpsområdet under en stans.

Av de fem laksene som passerte Laudal i 2015 var det to fisk som vandret opp og ned forbi og ved inntaket. Den ene hadde tre ankomster til utløpet og passerte første gang nesten umiddelbart, brukte noen timer andre gang og ved siste ankomst sto den fem timer før det gikk nedstrøms og endte trolig opp med å gyte ved Finsdal. Den vandret aldri langt opp i minstevannløpet (passerte ikke Kleveland bru). Den andre brukte totalt over 52 døgn fra den første gang ankom Laudal til den siste gang gikk inn i minstevannløpet. Mye av tiden sto den ved utløpet, men den vandret også opp til terskelen ved Kleveland bru uten å passere den, før den returnerte til utløpet. Når den valgte å passere hele minstevannløpet gikk det raskt (1,7 døgn), og den ble peilet ved Trygslund (mellom Manflåvann og Monan) i gytetida. De siste tre fiskene passerte utløpet relativt raskt (1 time, 4 timer og 3,1 døgn etter ankomst). De fire som avsluttet vandringen i eller oppstrøms minstevannløpet gikk inn i minstevannløpet for siste gang på vannføringer mellom 6,7 og 35 m<sup>3</sup>/s, og mens vannføringen fra minstevannløpet utgjorde mellom 17 og 100 % (stans i kraftverket) av totalvannføringen. Den som passerte under «fredagsstansen» var, som i 2014, den eneste som ankom utløpet under stans og brukte om lag en time på å passere.

Samlet dokumenterer de to årene med telemetristudier at fisk kan vandre inn i minstevannløpet på vannføringer så lave som ca. 7 m<sup>3</sup>/s (en smålaks som passerte på vintervannføring i november 2015) og når vannføringen utgjør så lite som ca. 20 % av totalvannføringen. Det var bare en av 15 fisk som tilsynelatende var hjemhørende oppstrøms utløpet som brukte mye tid ved utløpet. Den andre som også brukte mye tid ved utløpet, endte opp med å gyte nesten 4 km nedstrøms utløpet.

#### *Vandring gjennom minstevannløpet (Laudal-Manflå)*

De syv laksene som passerte hele minstevannløpet i 2014 brukte mellom 0,9 og 5,2 døgn på å passere, noe som gir en gjennomsnittlig vandringshastighet på 2,5 døgn. Det var bare ved terskelen ved Kleveland bru at fisk hadde markante stopp (opp til nesten to døgn). To av de tre som passerte hele løpet i 2015 vandret raskt gjennom (henholdsvis 1,2 og 1,7 døgn). Den siste brukte mer tid (12,2 døgn), noe som skyldes en lengre stopp på strekningen mellom Kleveland bru og Dam Manflå. Fiskene brukte kort tid på å passere både terskelen på Kleveland (4 til 13 timer) og Dam Manflå (2 til 12 timer).

Vandringen gjennom minstevannløpet var derfor rask under vannføringsforholdene i 2014 og 2015, og det var bare den relativt høye betongterskelen ved Kleveland bru som ga særlig forsinkelser i oppvandringen. De fiskene som ikke hadde lengre stopp brukte fra under ett døgn til ca. 5 døgn på å passere strekningen, til tross for alle tersklene som måtte passerer.

#### *Vandring oppstrøms Manflåvann*

Det var i de to årene bare til sammen 11 fisk som passerte Manflåvann, og fire som også passerte utløpet av Bjelland kraftverk og vandret inn i den øvre minstevannstrekningen. Det generelle bildet var at fisken brukte kort tid gjennom Manflåvann og videre oppover elva. Ingen av de

fire laksene som gikk forbi Monan hadde lengre stopp ved utløpet av Bjelland kraftverk. Disse få fiskene ga ingen indikasjoner på at dette utløpet er problematisk for oppvandringen.

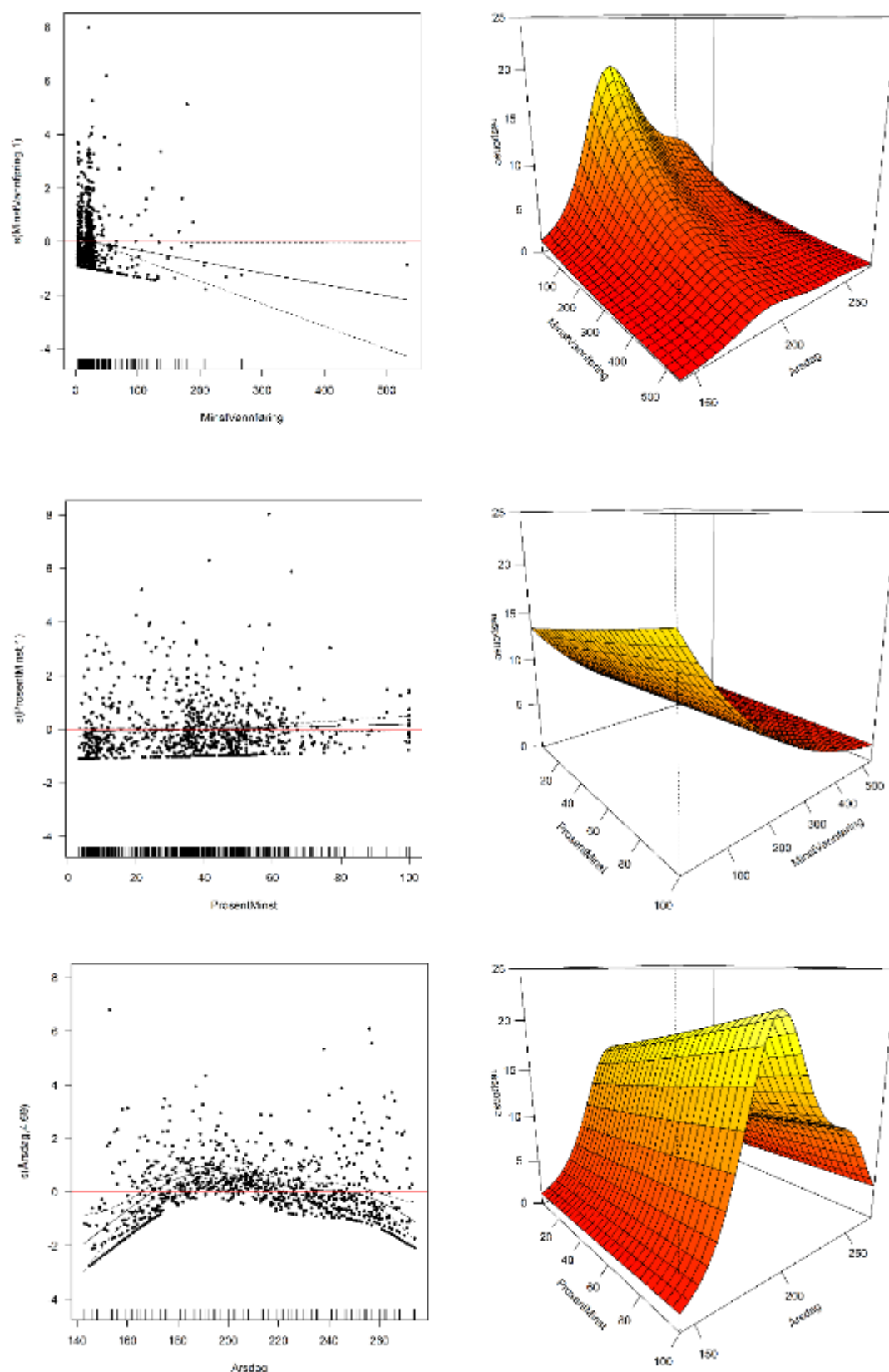
#### 4.1.3 Samlede analyser

Ved å kombinere videoregistreringene av oppvandrende laks ved Dam Manflå med de individuelle registreringene av vandringer hos radiomerket fisk, var det mulig å analysere sammenhenger mellom vandringer og vannføringsforhold. Det ble også gjort forsøk på å bruke rapporterte fangster i ulike fiskesoner til å studere oppvandringsmønstre, men dataserien fra Scana-tura.no viste seg å ikke være konsistent når det gjelder sonevis rapportering.

Det ble gjennomført en rekke analyser uten å finne klare mønstre mellom vandring og vannføringsforhold i oppvandringsseriene for årene 2011 til 2017 (video og telemetri), selv om serien inkluderer både år med små vannslipp forbi Laudal kraftverk (fram til 2013) og år med betydelig større slipp under det nye reglementet (fra 2013).

Videoregistreringene over Dam Manflå viser først og fremst et klart sesongmessig mønster som trolig gjenspeiler innsiget av laks til vassdraget og vandringer opp til utløpet av Laudal kraftverk. Vi brukte en GAMM analyse (en generalisert additiv modelltype som tillater ikke-lineære sammenhenger) til å beskrive daglig oppvandring som funksjon av dag nummer, vannføring i minstevannstrekingen (Dam Manflå til Laudal) og forholdet mellom vannføring fra kraftverksutløpet og i minstevannstrekingen. Feilstrukturen ble modellert med Poisson fordeling, år ble lagt inn som en tilfeldig effekt og autokorrelasjon ble modellert med en førsteordens struktur. For å være sikre på at analysene ikke overså noen viktige mønstre, analyserte vi først alle data for deretter å velge ut fisk som passerte på vannføringer under 100 m<sup>3</sup>/s (for å sjekke om vandringsdata under spesielt høye vannføringer kunne være drivende for sammenhenger) og til slutt fokuserte vi på vandringer på lavere vannføringer ved å velge ut data for fisk som passerte på vannføringer under 50 m<sup>3</sup>/s.

I alle analysene ble det funnet en klar og signifikant effekt av dagnummer, med økende oppvandring utover i sesongen til en topp rundt dag nummer 200 (ca. 20. juli) fulgt av redusert daglig oppvandring og noe mer fisk igjen i slutten av august/tidlig i september (**figur 4.6**). Det var en signifikant negativ sammenheng mellom daglig oppvandring og vannføring ( $p=0,041$ ) i analysene med all fisk. Sammenhengen holdt seg når vi bare brukte fisk som passerte på vannføringer lavere enn 100 m<sup>3</sup>/s ( $p=0,021$ ) men ble ikke-signifikant ( $p=0,12$ ) for vannføringer under 50 m<sup>3</sup>/s. Analysene antyder altså at færre laks passerer Dam Manflå på dager med høye vannføringer (høyere enn ca. 60 m<sup>3</sup>/s), men effekten er generelt liten (**figur 4.6**). Det kan spekuleres om vandringsforholdene blir vanskelige i gjelet mellom Kleveland bru og utløpet av Laudal kraftverk ved høyere vannføring, eller at det blir vanskeligere for fisken å passere dammen. Det ble ikke funnet noen signifikant effekt av vannføring i minstevannstrekingen som prosent av vannføringen fra kraftverket ( $p$  mellom 0,21 og 0,63) i noen av analysene



**Figur 4.6.** GAMM sammenhenger mellom daglig antall fisk som passerte Dam Manfllå og vannføring i minstevannstrekingen (Minstevannføring), prosent vannføring i minstevannstreking (ProsentMinst) og dag nummer (Årsdag). Venstre panel viser standardiserte responser med usikkerhetsbånd ( $\pm 2SD$ ) mens høyre panel viser den predikerte GAMM responsen (antall fisk) for ulike par av variable. I denne analysen er alle passeringer for årene 2011-2017 inkludert.

## 4.2 Nedvandring forbi inntak Laudal

Det har vært gjennomført en rekke studier på nedvandring av fisk forbi inntaket i Laudal kraftverk, dels i form av oppdrag for Agder Energi Vannkraft, dels i regi av miljødesignprosjektet og dels i regi av forskningsprosjektene EnviDorr og SafePass. I dette kapitlet gir vi en oversikt over disse, oppsummerer hovedresultater og presenterer analyser som er relevante for miljødesignprosjektet. Detaljer om forsøksoppsett og resultater finnes i de refererte rapportene og publikasjonene.

### 4.2.1 Oversikt over forsøk og datainnsamling

Før 2003 fantes det lite kunnskap om problemet med innvandring av smolt og vinterstøinger i Laudal kraftverk. Det hadde blitt gjort noen merkeforsøk som sammen med generell kunnskap antydte høy dødelighet for smolt som passerte gjennom turbinene (oppsummert i Ugedal mfl. 2006), men det var ikke kjent hvor stor andel av smolten som vandret inn i kraftverket. Fra 2003 og framover ble det gjennomført en rekke forsøk og overvåkning av utvandring av smolt og vinterstøinger (**tabell 4.2**).

I årene 2001 til 2003 ble det driftet et smolthjul for fangst av nedvandrende smolt ved Finså, nedstrøms Laudal. I 2004 ble fella flyttet til Hesså, mellom Monan og Manflåvannet. Dette smolthjulet har blitt driftet årlig (med unntak av i 2016, da fella var ute av drift) fram til i dag, og data-serien fra Hesså brukes som hovedgrunnlag for analysene av tidspunkt for smoltutvandring i denne rapporten. Fra 2013 har fangstene i denne fella vært brukt til å bestemme start av smoltslipp ved Laudal kraftverk, i samsvar med bestemmelse i det nye manøvreringsreglementet. Tidspunkt for start og avslutning av fangst har variert noe mellom år, men med unntak av i 2014, da det var problemer med smolthjulet, har det vært god dekning av utvandringsperioden for smolt i alle år (**tabell 4.2**). Med unntak av i 2013, da smolt ble fanget med elektrisk fiske i Kosåna, har all fisk til forsøkene også blitt samlet i smolthjulet. Data fra smolthjulet har blitt brukt til å utvikle smoltutvandringsmodeller som forutsier daglig utvandring ut fra vannføring- og temperaturforhold.

Årlig fra 2011 har nedvandringen av smolt og vinterstøinger også blitt overvåket i video ved Dam Manflå (se **kapittel 4.1.1** for oppsett av kamera). Denne overvåkingen gir kunnskap om utvandringsforløpet for smolt over dammen, er i tillegg den eneste systematiske overvåkingen av utvandring av vinterstøinger og gir kunnskap om antall og tidspunkt for utvandring (om våren). For denne serien er det noen utfordringer med oppstart av overvåkingen som påvirker resultatene.

I 2003 ble det første forsøket med radiomerket smolt gjennomført (Uglen mfl. 2005). I dette forsøket (50 smolt merket) ble kraftverket manøvrert uten restriksjoner, og vannslippene forbi var små (i samsvar reglementet som gjaldt og vannføringen inn til Manflåvann). I 2004 ble forsøket fulgt opp med radiomerking av 95 smolt, og fordelingen av totalvannføring mellom kraftverket og forbislipp over dammen ble manipulert ved fire anledninger. Data fra dette forsøket ble brukt til å utvikle en utvandringsrutemodell, som forutsa andelen smolt som vandret forbi (over dammen) ut fra totalvannføringen og fordelingen av vann mellom kraftverket og gjennom dammen. Modellverktøyet ble brukt til å planlegge og gjennomføre vannslipp i 2005-2007.

I 2008 ble det installert to strobelys rett foran kraftversinntaket og ei linse i en halvsirkel 15-20 m utenfor inntaket. De intenst blinkende strobelysene skulle skremme smolt vekk fra inntaket. Lensa hadde et gummiskjørt som stakk ca. 1 m ned i vannet og dette skulle bidra til å lede den overflateorienterte laksesmolten forbi inntaket. Effekten av strobelyset ble evaluert ved en ny telemetristudie dette året som inkluderte 96 radiomerkede smolt. Lysene blinket annenhver dag. Rutevalgdata fra dette forsøket ble slått sammen med data fra 2004 og det ble utviklet en ny modell for rutevalg (Fjeldstad mfl. 2012). I årene som fulgte ble kraftverket manøvrert etter denne nye modellen for å øke andelen smolt som vandret forbi (Kvingedal mfl. 2012), og i 2013 ble det gjennomført et nytt telemetriforsøk (100 radiomerkede smolt) for å validere modellverktøyet (Øk-



land mfl. 2013). I forsøksoppsettet var det også inkludert forsøk på å estimere smoltutvandringens størrelse, samt at forløpet for smoltutvandringen ble studert både med den faste fella i Hesså, med video i Dam Manflå (se nedenfor) og med et smolthjul i minstevannstrekingen nedstrøms dammen. Resultatene fra disse delstudiene finnes i Økland mfl. (2013) og omtales ikke her, ut over å påpeke at mønstret for utvandring, slik det ble observert i de to fellene og i video, samstemte godt.

Det siste telemetriforsøket ved inntaket ble gjennomført våren 2015, som et samarbeid mellom miljødesignprosjektet og forskningsprosjektet SafePass. Denne gangen ble det brukt akustisk telemetri, som gjorde at det kunne produseres detaljerte vandringsspor for i alt 91 laksesmolt. Formålet med forsøket var å skaffe detaljkunnskap om smoltens vandring foran kraftverksinntaket og å forstå hvorfor smolten vandret som den gjorde. Dette ble gjort ved å koble smoltens vandringsspor med modellering av hydrauliske forhold. Samtidig som forsøket hadde et mer generelt forskningsformål, kunne det brukes til å vurdere mulighetene for andre fysiske tiltak ved eller utenfor inntaket. Kraftverket ble driftet i henhold til det nye reglementet og det ble ikke brukt strobelys. Lensa som var montert foran inntaket brøt sammen og ble fjernet helt i starten av forsøket.

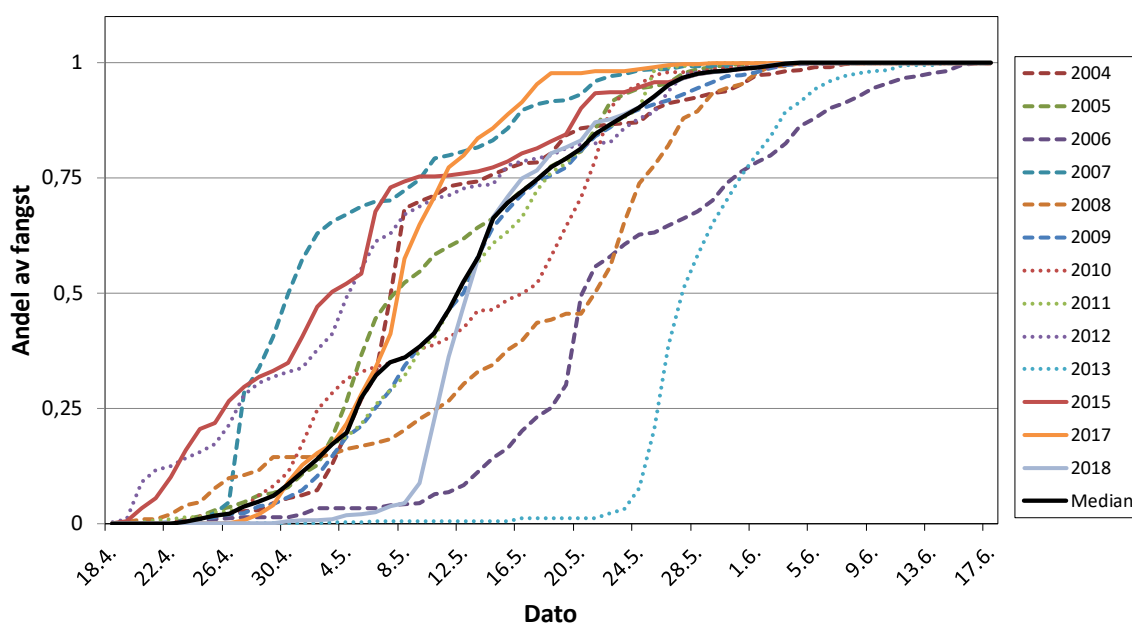
**Tabell 4.2.** Oversikt over forsøk og overvåkning av utvandring av fisk forbi inntaket til Laudal kraftverk fra 2003 og utover. For forsøkene som ble gjennomført er det gitt hovedmål. Betingelsene for kraftverksdriften og tiltak som ble gjennomført er også gitt. For smolfella ved Hesså er det gitt start og sluttdatoer, og for videoovervåkingen er det gitt startdatoer (sluttdato var 11/7 alle år).

År	Forsøk	Formål	Betingelser	Smolt-felle Hesså	Video Dam Manflå
2003	Radiotelemetri	Rutevalg	Vanlig kraftversdrift		
2004	Radiotelemetri	Rutevalg	Manipulert kraftverksdrift	29/4-9/6	
2005			Drift iht modeller	23/4-4/6	
2006			Drift iht modeller	23/4-18/6	
2007			Drift iht modeller	24/4-31/5	
2008	Radiotelemetri	Rutevalg og effekt av tiltak	Strobelys og lense. Drift iht modeller	19/4-6/6	
2009			Strobelys og lense. Drift iht modeller	22/4-6/6	
2010			Strobelys og lense. Drift iht modeller	20/4-5/6	
2011			Strobelys og lense. Drift iht modeller	20/4-29/5	3/5
2012			Strobelys og lense. Drift iht modeller	18/4-7/6	1/4
2013	Radiotelemetri	Validering av rutevalgmodeller	Drift iht modeller	3/5-17/6	29/4
2014			Drift iht nytt reglement	18/4-20/5 5 dg uten drift	2/4
2015	Akustisk telemetri	Vandringsspor og mulige fysiske tiltak. Rutevalg.	Drift iht nytt reglement	18/4-2/6	21/4
2016			Drift iht nytt reglement	Fellehavarvari	21/4
2017			Drift iht nytt reglement	27/4-29/5	21/4
2018			Drift iht nytt reglement	30/4-5/6	30/5 (bare voksenfisk)

## 4.2.2 Smolt

### Utvandringstidspunkt

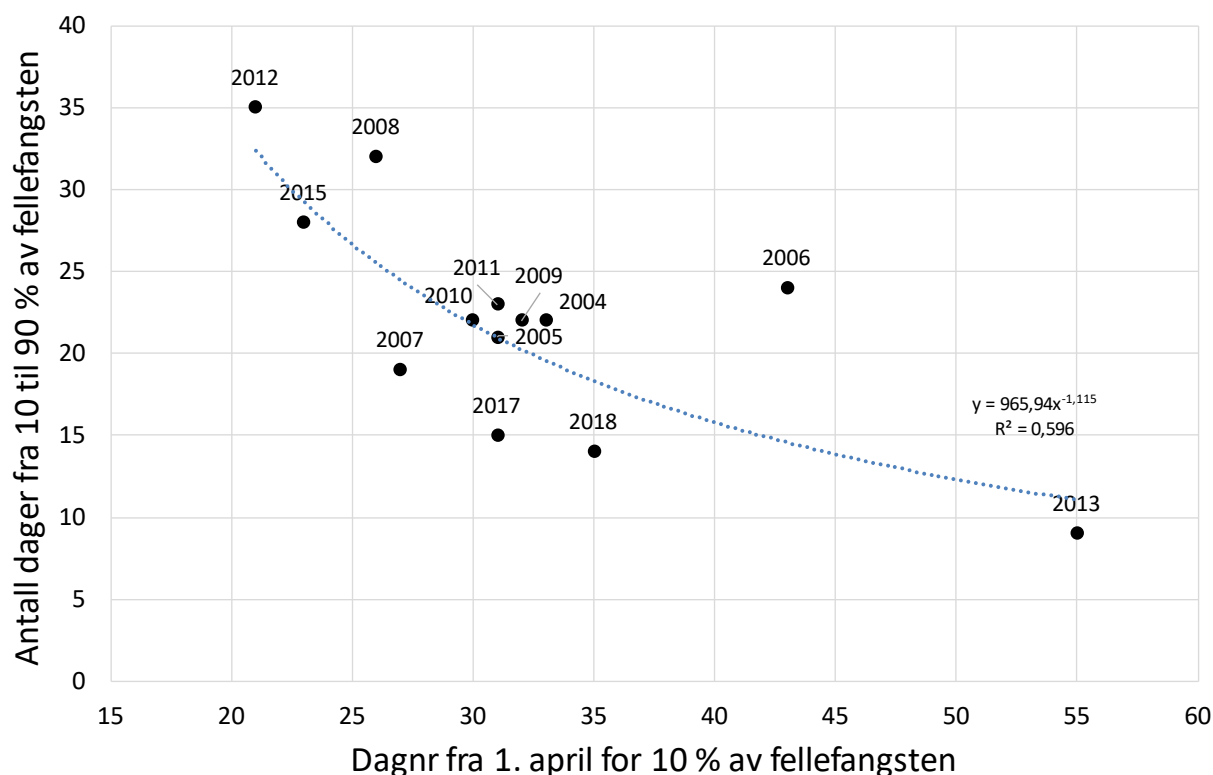
Basert på fangstene i smolthjulet ved Hesså vandrer smolten fra midten av april til tidlig i juni (**figur 4.7**). Vi definerer start på utvandringen som datoen da 10 % av totalfangsten var gjort og slutt da 90 % av fangsten var gjort. Dette gjør at fangst av enkeltfisk tidlig og sent i perioden ikke påvirker vurderingene så mye. Median startdato var 1. mai, sluttdato 24. mai og gjennomsnittlig varighet av utvandringen var 22 dager (**tabell 4.3**). Det var imidlertid betydelig variasjon mellom år, både i start- og sluttdato og i varigheten av utvandringen. Det var generelt slik at jo senere på våren utvandringen startet jo kortere ble utvandrigsperioden (**figur 4.8**). En negativ power funksjon ga en god tilpasning for denne sammenhengen og dag nummer for 10 % utvandring forklarte 60 % av variasjonen i utvandringens varighet (antall dager mellom 10 og 90 % av utvandringen). Det største avviket fra regresjonslinja (residualen) var i 2006, og dette året ble fella driftet lengre enn alle de andre åra (18. juni, se **tabell 4.1**) og fanget trolig opp en mindre hale i utvandringen.



**Figur 4.7.** Kumulativ fangst (andel av totalfangst) i smolthjulet ved Hesså for årene 2004 til 2017, med unntak av 2014 da fella sviktet 20. mai og 2016 da fella ikke fungerte i det hele tatt. Median fangstforløp er også gitt.

**Tabell 4.3.** Dato for når 10, 25, 50, 75 og 90 % av fangstene var gjort i smolthjulet ved Hesså for årene 2004-2018. I 2014 sviktet fella 20. mai og vi har ikke hele utvandningsforløpet, og i 2016 sviktet fella ved utsett og ble ikke driftet. Median fangstforløp er også gitt.

År	10	25	50	75	90	Varighet 10-90%
2004	3.5.	5.5.	8.5.	14.5.	25.5.	22
2005	1.5.	4.5.	8.5.	18.5.	22.5.	21
2006	13.5.	18.5.	21.5.	31.5.	6.6.	24
2007	27.4.	27.4.	30.4.	9.5.	16.5.	19
2008	26.4.	10.5.	21.5.	25.5.	28.5.	32
2009	2.5.	6.5.	12.5.	18.5.	24.5.	22
2010	30.4.	2.5.	16.5.	21.5.	22.5.	22
2011	1.5.	6.5.	12.5.	18.5.	24.5.	23
2012	21.4.	27.4.	5.5.	15.5.	26.5.	35
2013	25.5.	26.5.	27.5.	31.5.	3.6.	9
2014	27.4.	5.5.	14.5.	25.5.	30.5.	33
2015	22.4.	26.4.	3.5.	9.5.	20.5.	28
2016						
2017	1.5.	5.5.	8.5.	11.5.	16.5.	15
2018	10.5.	11.5.	13.5.	16.5.	24.5.	14
Median	1.5.	5.5.	12.5.	18.5.	24.5.	22



**Figur 4.8.** Antall dager fra 10 til 90 % av fellefangsten var gjort (tilnærmet varigheten på utvandningsperioden) plottet mot dato for 10 % fangst.

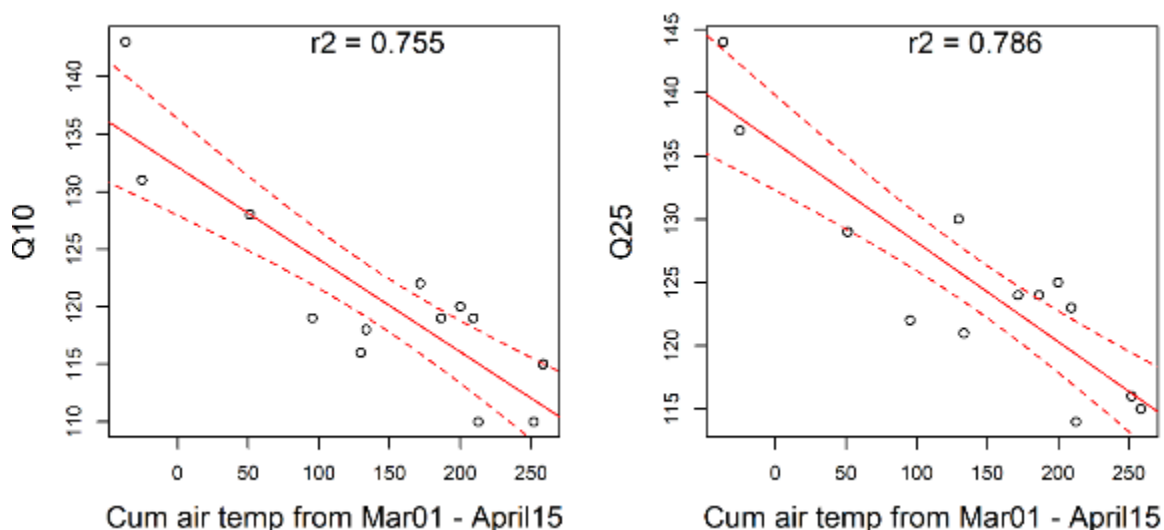
Datasettet fra Hesså gir grunnlag for to typer statistiske modeller – en prediksjonsmodell for når utvandringen starter og en utvandringsmodell som forutsier utvandringsforløpet ut fra miljøforholdene før og under utvandringen. Fram til nå har utvandringsmodeller også blitt brukt til å forutsi når smolten vandrer (Fjeldstad mfl. 2012), men vi har nå så mange år med data at en enklere modell kan brukes til å forutsi når utvandringen starter. En slik modell er også tilstrekkelig for vårt forslag for styring av vannslippene for smolt ved Laudal (se **kapittel 5.3.3**). Etter noen innledende analyser kom vi fram til at temperatursummen var best egnet til å forutsi starten på utvandringen. Dette er også funnet i flere andre vassdrag (Strand & Lamberg 2014, Lamberg m. fl. 2014). Vi testet både vanntemperatur- og lufttemperaturdata med ulike startdatoer fra 1. januar og utover. For at en slik prediksjonsmodell skal ha verdi for driften av kraftverket må prediksjonen kunne gjøres i rimelig tid før utvandringen starter og vi valgte derfor 15. april som sluttdato. Vi korrelerte dagsnummer for 10 % og 25 % kumulativ utvandring og de ulike temperatursummene, og brukte forklaringsgraden ( $R^2$ ) og de enkelte residualene (avviket mellom predikert og observert dagnummer) til å finne den beste modellen. Vi hentet vanntemperaturer både fra Håverstad, Kosåna og Kjølmo. Disse ble testet for samvariasjon og vi valgte Kjølmo, som var den mest komplette serien. De relativt få hullene i denne serien ble fylt ved å bruke prediksjoner fra regresjonsmodeller med de andre seriene. Videre hentet vi lufttemperaturdata fra Kjevik målestasjon (39040) som ligger ved Kjevik lufthavn (ca. 35 km sørøst for Hesså). Det finnes en mer lokal stasjon også, men den dekket ikke alle årene.

Lufttemperatursum ga generelt bedre korrelasjoner enn vanntemperaturer, og 10 % og 25 % utvandring ga generelt relativt like forklaringsgrader. Forklaringsgraden var dårligere for de lengste temperatursumperiodene (fra januar) og bedret seg jo lengre ut mot smoltperioden de gikk. De beste modellene var basert på lufttemperatursummen fra 1. mars til 15. april og forklarte henholdsvis 76 og 79 % av variasjonen i dagsnummer for 10 og 25 % utvandring (**figur 4.9**). Ingen av disse modellene hadde enkeltobservasjoner med spesielt store avvik mellom observasjon og prediksjon. Vi forslår å bruke disse modellene som grunnlag for å bestemme når slippene for smolt skal starte og slippets varighet:

**Ligning 4.1:**  $\text{Dagsnummer for 10 \% utvandring} = 132,13 - \text{Temperatursum} \cdot 0,0804$ , og

**Ligning 4.2:**  $\text{Dagsnummer for 25 \% utvandring} = 135,49 - \text{Temperatursum} \cdot 0,0753$

hvor *Dagsnummer* er antall dager etter 1. januar og *Temperatursum* er summen av daglige lufttemperaturer ved Målestasjon Kjevik (39040) fra 1. mars til 15. april.



**Figur 4.9.** Sammenheng (regresjonslinja med 95 % konfidensbånd) mellom dag-nummer for henholdsvis 10 % (venstre figur) og 25 % (høyre figur) fellefangst og kumulativ lufttemperatur ved Kjevik fra 1. mars til 15. april, basert på fellefangst ved Hesså 2004-2018 (med unntak av 2016).

En oppdatert prediksjonsmodell for daglig utvandring av smolt (S) med miljøparametere som forklaringsvariabler basert på 12 år med felledata i perioden 2004-2017 ble også utviklet, etter liknende metode som tidligere modeller (Fjeldstad mfl. 2012, Økland mfl. 2014):

**Ligning 4.3:**

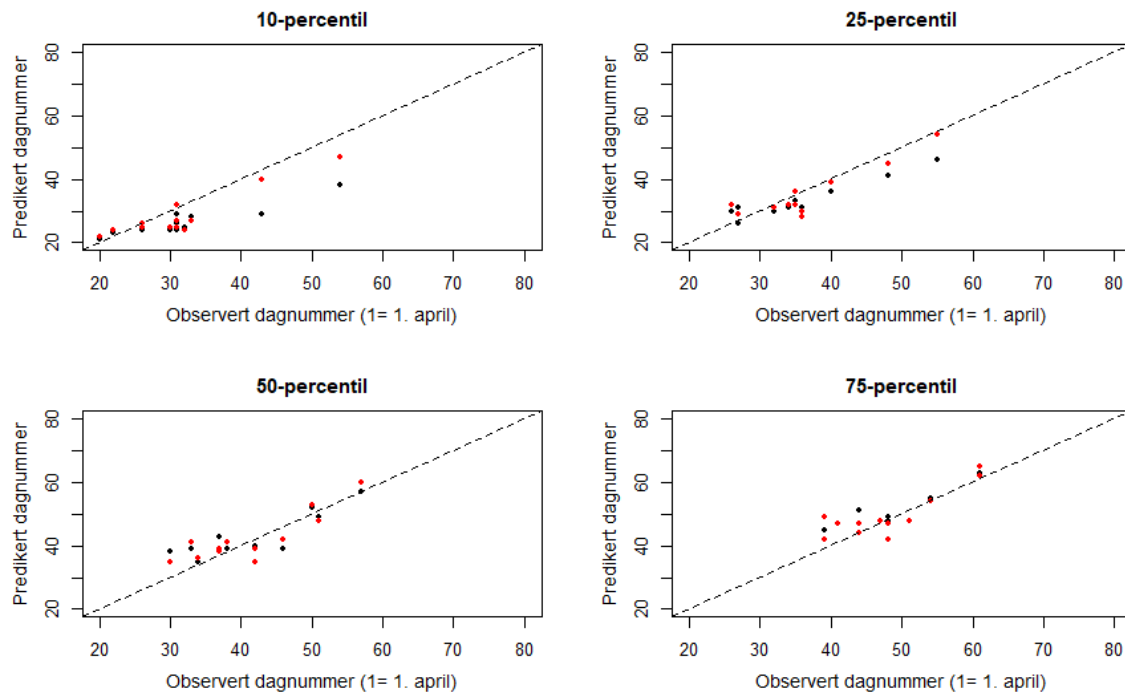
$$\ln S = \ln \bar{N}_S + \beta_1 T_{f\ddot{o}r} + \beta_2 T + \beta_3 T_{diff} + \beta_4 Q + \beta_5 Q_{diff} + \beta_6 \ln Q + \beta_7 \ln T + \beta_8 D + C$$

I modellen er  $\bar{N}_S$  antall smolt som ennå ikke er vandret ut delt på antall dager igjen av utvandringssperioden,  $T_{f\ddot{o}r}$  er gjennomsnittlig vanntemperatur fra 1. mars til 15. april,  $T$  er gjennomsnittlig vanntemperatur den bestemte dagen,  $T_{diff}$  er endring i gjennomsnittlig temperatur fra dagen før,  $Q$  er gjennomsnittlig vannføring og  $Q_{diff}$  er endring i gjennomsnittlig vannføring fra dagen før,  $D$  er antall dager siden 1. april og  $C$  er en konstant. Siden samlet fangst har variert mellom år ble både fangst (S) og faktoren  $N_S$  oppskalert til en samlet utvandring på 10 000 smolt. Modellkoeffisientene er gitt i **tabell 4.4**.

**Tabell 4.4.** Modellkoeffisienter fra statistisk modell tilpasset utvandningsdata i perioden 2004 – 2017 (unntatt årene 2014 og 2016, hvor data mangler).

$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$\beta_6$	$\beta_7$	$\beta_8$	C
0,30	-0,59	0,21	-0,024	0,011	1,81	5,51	-0,016	-11,41

Selv om temperatur, vannføring og tidspunkt har en signifikant betydning for antall smolt som fanges i løpet av et døgn, så er det relativt store avvik i predikert daglig utvandring sammenliknet med det observerte antallet. Spesielt utvandringstoppene og/eller størrelsen på utvandringstoppene ser ut til å være vanskelig å predikere. Det kan være flere årsaker til dette, men sannsynligvis er det miljøfaktorer som har betydning for utvandringmønster og/eller fellas fangsteffektivitet som vi ikke har inkludert i modellen. Sikten i vannet vil forventes å påvirke både hvor godt fella fanger og smoltens motivasjon for å vandre ut. Faktorer som predasjon, mattilgang og sosiale interaksjoner med annen smolt, kan også virke inn. Denne modellen er noe overtilpasset, (statistisk sett), men beskriver utvandringen på en brukbar måte (en forenklet modell ble også utviklet). Det var relativt godt samsvar mellom predikert og observert 25 og 50 % utvandring, mens samsvaret var dårligere for 10 og 75 % utvandring (**figur 4.10**). Vi brukte denne modellen til å beskrive utvandningsforløpet dag for dag når vi modellerte effekten av ulike vannslipp på vandringen forbi inntaket til Laudal kraftverk (se **kapittel 5.3.3**).



**Figur 4.10.** Predikert mot observert dagnummer for 10, 25, 50 og 75 % (percentiler) utvandring av smolt basert på 12 år med fangster i fella i Hesså i perioden 2004-201. De røde punktene er prediksjoner fra **ligning 4.3**, mens de sorte punktene er fra en forenklet modell med færre parametere.

Vi har også syv år (2011-2017) med videobesetninger av smolt som passerte Dam Manflå. Dette er obseretinger av smolt som valgte å vandre over dammen, og utvandringmønsteret vil til en viss grad være avhengig av hvilke manøvreringsmessige tiltak som ble gjort i Laudal kraftverk for å sikre at smolten valgte dammen framfor kraftverksinntaket. I henhold til telemetristudiene og prediksjoner fra den utviklede utvandringrutemodellen har mellom 47 og 68 % av smolten som ankom utløpsområdet i årene 2011 til 2017 valgt å vandre over dammen. Det ble årlig observert mellom 225 og 2151 laksesmolt i videokameraene (i gjennomsnitt 957). Både en sammenligning av smoltobsetinger med oppvandringen av voksenlaks (minus fangst, se **kapittel 4.1.1**), forsøkene på å estimere smoltutvandringens størrelse i 2013 (Økland mfl. 2013) og estimatene av produksjonskapasitet for smolt oppstrøms dammen (se **kapittel 7.1**) tilsier at videoovervåkingen neppe har observert all smolt som passerte dammen. Obseretingerne er imidlertid viktige for å vurdere utvandringforløpet, som sammen med andre data for utvandring er viktig for slippstrategien ved Laudal kraftverk. Medianforløpet er generelt forskyvet utover i sesongen (**tabell 4.5**) sammenlignet med forløpet i fella i Hesså (**tabell 4.3**). Nedenfor ser vi nærmere på disse forskjellene.



**Tabell 4.5.** Dato for når 10, 25, 50, 75 og 90 % av smolten var observert i videokamera ved Dam Manflå for årene 2011-2017, samt medianforløpet. Antall dager mellom 10 og 90 % observasjon er også gitt.

År	10	25	50	75	90	Varighet 10-90%
2011	21.5.	22.5.	26.5.	7.6.	14.6.	24
2012	10.5.	21.5.	24.5.	29.5.	4.6.	25
2013	28.5.	30.5.	2.6.	6.6.	12.6.	15
2014	22.4.	29.4.	7.5.	20.5.	3.6.	42
2015	8.5.	8.5.	20.5.	30.5.	11.6.	34
2016	10.5.	13.5.	22.5.	28.5.	2.6.	23
2017	17.5.	25.5.	31.5.	3.6.	9.6.	23
Median	10.5.	21.5.	24.5.	30.5.	9.6.	24

Forskjellen i utvandningsforløp slik de framstår fra fellefangsten i Hesså og video i Dam Manflå skal i utgangspunktet reflektere tiden smolten bruker på å vandre ned elva fra Hesså til Manflåvann, gjennom innsjøen og eventuelle forsinkelser ved inntaket. Vandringssporene fra telemetristudien i 2015 antyder at nesten all smolt har kort oppholdstid ved inntaket. Median tid fra smolten første gang ble logget ved inntaksområdet til de hadde vandret videre (enten inn i kraftverket eller over dammen) var 32 minutter, og det var bare 4 av 91 fisk som oppholdt seg i området i mer enn ett døgn. Vi ser derfor bort fra denne forsinkelsen. Datagrunnlaget for vandringstid fra Hesså til Manflåvann er svakt fordi vi bare har tida fra den merkede smolten ble gjenutsatt til den ankom loggeren ved elvas utløp i Manflåvann. Vi vet derfor ikke hvor lang tid det tok fra fisken ble gjenutsatt til den gjenopptok vandringen nedover elva. Velger vi ut de 25 % raskeste smoltene fra forsøket i 2013 (som vi kan anta gjenopptok vandringen raskt) får vi en median vandringshastighet på 0,041 m/s. Samme året ble også vandringshastigheten beregnet fra Dam Manflå til en logger et stykke ned i minstevannløpet (2,7 km) og fra denne loggeren videre ned til en logger ved Heddal (11,3 km). Median vandringshastigheten i den første strekningen var 0,053 m/s, mens medianhastigheten økte til 0,13 m/s i neste strekning. Hastigheten til de 25 % raskeste smoltene fra Hesså til Manflåvann lignet altså mye på medianhastigheten på den første strekningen nedstrøms Dam Manflå. Bruker vi denne vandringshastigheten (og variasjonen) på den ca. 3,8 km strekningen fra smoltfella ved Hesså til utløpet i Manflåvann bruker mediansmolten 19 timer, med en variasjon fra ca. 1 time til ca. 10 døgn.

Basert på telemetriforsøkene i 2004, 2008, 2013 og 2015 (totalt 188 smolt med data) brukte smolten i gjennomsnitt 4,2 døgn fra innløpet i Manflåvann til området ved Dam Manflå, og 95 % av smolten brukte mellom 3,6 og 4,7 døgn. Den raskeste smolten brukte knappe 4 timer, mens den seneste brukte nesten 23 dager. Det var signifikant saktere vandring i 2008 (i gjennomsnitt 6,8 dager) enn i alle de andre åra. Forskjellen mellom de andre åra var små. Tidsbruken er mest usikker i 2004, fordi ankomst Manflåvann var basert på manuelle peilinger og ikke logging.

Telemetristudiene antyder altså at mediansmolten bruker 5 døgn på å vandre fra Hesså til den har passert inn i kraftverksinntaket eller gjennom luka i Dam Manflå. Enkeltsmolt kan bruke både betydelig kortere og lengre tid, men de fleste av de merkede smoltene brukte mellom ca. 4 og 6 døgn. Disse vandringshastighetene ligner mye på de som ble registrert for laksesmolt gjennom et reservoar i Skottland (McLennan mfl. 2018). Merkingen og merket kan påvirke vandringshastigheten, slik at vandringshastigheten til umerket smolt kan være noe høyere.

I to (2013 og 2014) av de seks årene vi har data fra både fella og video var utvandningsforløpet over dammen i størrelsesorden 1-6 dager forsinket i forhold til forløpet på Hesså. I 2013 var det også et smolthjul i minstevannstrekningen og utvandningsforløpet der stemte også godt med forløpet i video (Økland mfl. 2013). Utvandringen i 2013 var svært konsentrert med bare ni dager mellom 10 % og 90 % fangst i Hessåfella, og 15 dager i videoovervåkingen. I 2014 brøt fella

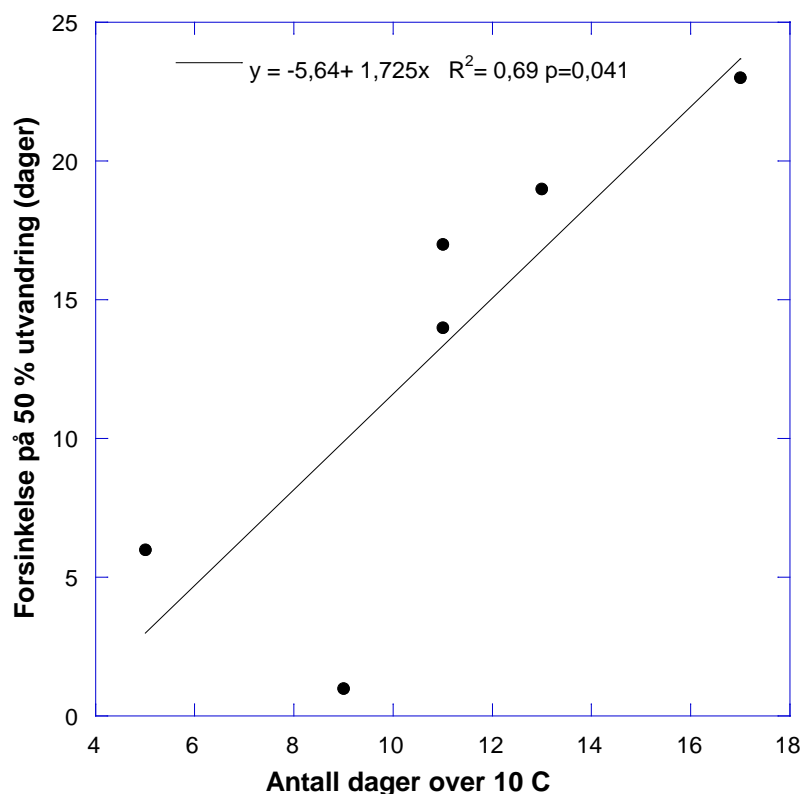
sammen 20. mai og hele utvandningsforløpet ble ikke dekket. Første halvdel av utvandningsforløpet lignet imidlertid mye på forløpet ved dammen. I de andre fire åra var forsinkelsen betydelig større, og 50 % utvandring i video kom fra 14 til 23 dager senere enn i smoltfella ved Hesså.

Forskjellen i utvandningsforløp kan være påvirket av de to metodenes (felle og video) egenskaper. Det er rimelig å anta at fangsteffektiviteten til et smolthjul, som står i vannstrømmen og skovler fisk opp i et fangstkammer, er avhengig av lysforhold. Fangstene er typisk mye mindre om dagen enn om natta (Hesthagen & Garnås 1986, og egne data fra Hesså), og det er rimelig å anta at denne forskjellen i alle fall delvis er knyttet til at smolten oppdager og unnviker fella om dagen. Haraldstad mfl. (2016), som brukte et lignende smolthjul i kombinasjon med PIT merking og loggestasjoner, fant at smoltfellas fangsteffektivitet sank fra ca. 30 % fra starten av utvandringen til ca. 10 % mot slutten, da det vandret mer smolt om dagen enn om natta. Det er videre rimelig å anta at oppdagelsessannsynligheten for personell som gjennomgår videoopptak kan være lavere for smolt som vandrer om natta enn om dagen. For overvåkingen på Dam Manflå varierte trolig denne effekten over år, siden kameraoppsettet ble endret. I de to siste årene, 2016 og 2017, ble det benyttet kamera som var rettet fra bunnen og opp mot vannoverflaten. Dette, sammen med overflatebelysning, førte trolig til at det var liten forskjell i oppdagelse av fisk mellom natt og dag.

Gjennom flere studier er det vist at døgnmønsteret for utvandring av laksesmolt endrer seg med endringer i vanntemperatur (f.eks. Fängstam mfl. 1993, Thorpe mfl. 1994, Ibbotson mfl. 2006). På lave temperaturer tidlig i utvandringssesongen vandrer det meste av smolten om natta, men ettersom temperaturen øker vandrer stadig mer av smolten om dagen. Basert på data fra Storbritannia foreslo Thorpe mfl. (1994) at det er en temperaturgrense (12-13 °C) når smolten skifter fra å være nattaktiv til vandring over hele døgnet, og at dette er en tilpasning for å unngå predasjon. En slikt skifte har nylig også blitt dokumentert for laksesmolt fra den nærliggende Storelva i Aust-Agder (Haraldstad mfl. 2016). De fant at når temperaturen passerte 12-13 °C så vandret det flere smolt om dagen enn natten. Et slikt mønster kan innebære at smolthjulet underestimerer utvandringen utover i sesongen (på grunn av lav fangsteffektivitet om dagen) og at videoobservasjonene kan underestimerer den tidlige utvandringen på grunn av at mye av smolten går om natta med dårligere observasjonsforhold. Haraldstad mfl. (2016) fant også at laksesmolt vandret mer om natta enn sjøauresmolt og at smolten som vandret om natta var mindre enn dagvandrerne (også dokumentert av Ibbotson mfl. 2011). Videre fant de at smoltstørrelsen (både for laks og aure) økte utover vandringsperioden. Dette kan også påvirke videoobservasjonene fordi det er rimelig å anta at det er større sjanse for å overse en liten smolt om natta enn en større smolt på dagen. Det skal også bemerkes at smoltutvandningsforløpet fra video er basert på både laks- og auresmolt (fra ca. 6 til 33 % auresmolt) og at auresmolt kan ha et noe annet utvandningsmønster enn laksesmolt (Haraldstad mfl. 2019 og data fra smoltfella i Hesså).

Basert på temperaturdata fra Kjølmo, talte vi opp antall dager med temperaturer over 10 °C (temperaturene blir sjelden så mye høyere i smoltperioden i Mandalselva) i den samlede utvandningsperioden (fra 10 % utvandring i smoltfella til 90 % utvandring i video) og fant signifikant korrelasjon ( $p=0,041$ ) med antall dager mellom 50 % utvandring i fella og video (**figur 4.11**). Med økende antall dager med temperaturer over 10 °C økte forskjellen mellom tidspunkt for 50 % utvandring i fella og video, og antall varme dager forklarte nesten 70 % av variasjonen. Tar vi ut det usikre estimatet for 50 % utvandring i fella i 2014 (da fella brøt sammen 20. mai; punktet med 1 dags forsinkelse i figuren) blir sammenhengen enda sterkere ( $R^2=0,96$ ).

De to metodene for å registrere utvandningsmønster for laksesmolt (smolthjul og video) er trolig utfyllende og vi tar hensyn til resultatene fra begge studiene når vi forslår tidspunkt for vannslipp for smolt.



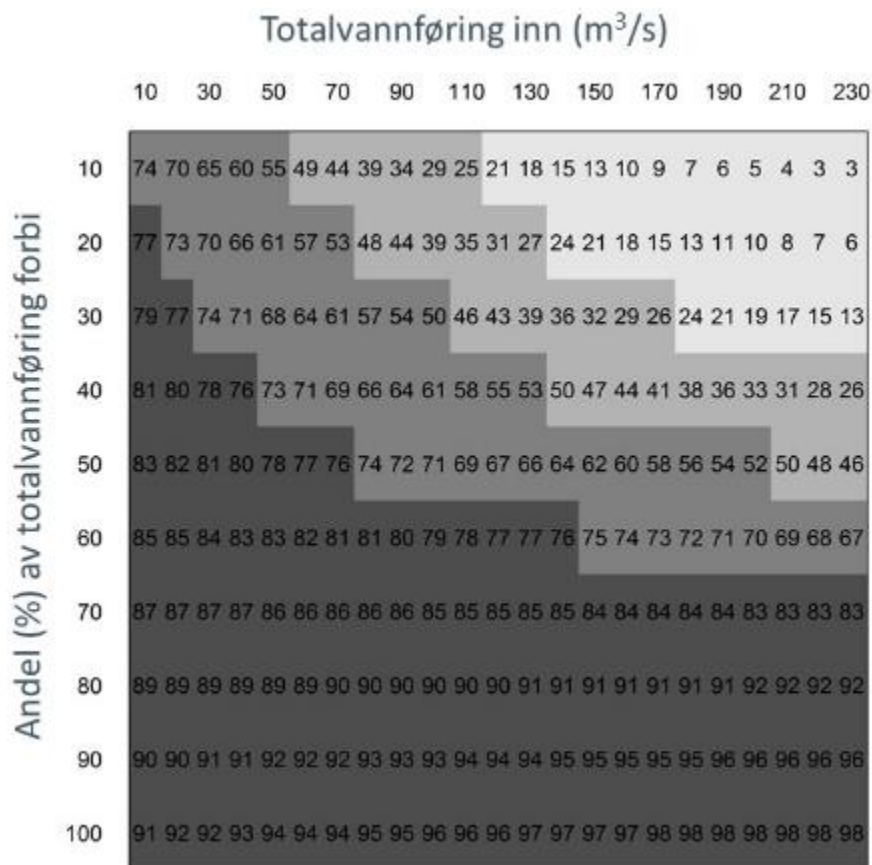
**Figur 4.11.** Antall dager fra 50 % fangst i smolthjulet ved Hesså til 50 % observasjon av smolt i video ved Dam Manflå plottet mot antall dager i utvandringsperioden med vanntemperaturer over 10 °C, samt regresjonslinja mellom de to variablene.

#### Utvandringsrute

Telemetristudiene i 2004, 2008, 2013 og 2015 gir god informasjon om valg av utvandringsrute – inn i Laudal kraftverk eller over Dam Manflå – for de merkede smoltene. Totalt har vi data om vandringsrute for 274 smolt som passerte inntaksområdet. Fire uavhengige forsøk, med ulike merketyper og gjennomført under svært forskjellige miljøforhold, men med lignende resultat, tilsier at det er rimelig å anta at umerket smolt vil ha en atferd og foreta valg som ligner mye på de merkede. Telemetristudiene viser klart at smoltens utvandringsrute påvirkes av fordelingen av vannføringen inn i kraftverket og over dammen, og det ble utviklet modeller for rutevalg (Fjeldstad mfl. 2012). I denne rapporten har vi slått sammen data fra alle år og utviklet en ny utvandringsrutemodell. Vi modellerte sannsynligheten for å vandre forbi ( $P_{forbi}$ ) som en funksjon av total vannføring ( $Q$ ), andel av vannføringen sluppet forbi ( $PerQ$ ) og en interaksjon mellom  $Q$  og  $PerQ$  ved hjelp av en binomial generalisert lineær mikset effekt modell der år ble tatt inn som en tilfeldig effekt:

**Ligning 4.4:**  $P_{forbi} = 2,279 + 0,0056 \cdot PerQ - 0,0255 \cdot Q + 0,00037 \cdot (PerQ:Q)$

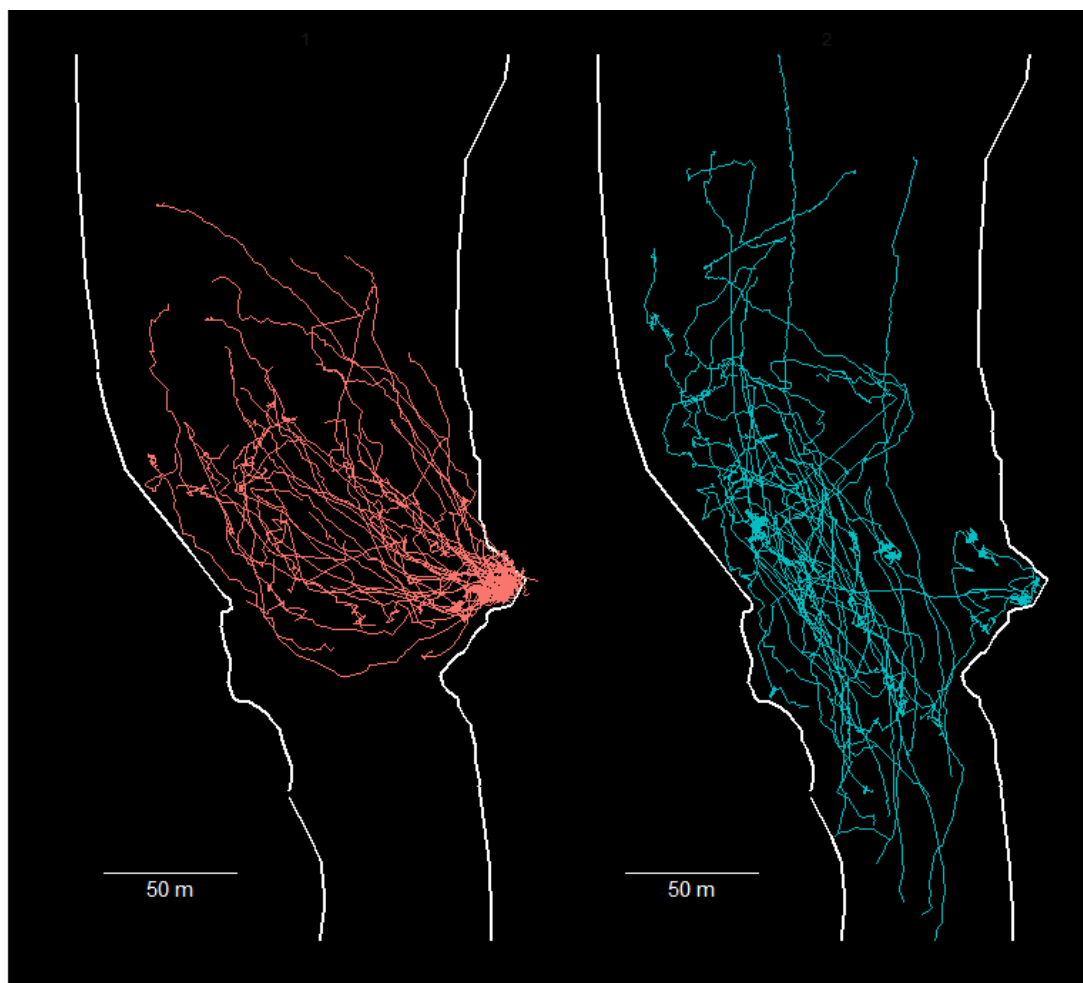
Prediksjonene fra denne modellen illustrerer et mønster der andelen smolt som vandrer rett vei (over dammen) øker med andelen av totalvannføringen som slippes forbi (over dammen), samtidig som at det trengs større forbislipp på høye enn lave totalvannføringer inn til området (**figur 4.12**). Det er denne modellprediksjonen som danner grunnlag for vårt forslag om vannslipp.



**Figur 4.12.** Andelen (%) smolt som vandrer rett vei (over dammen, tallene inne i tabellen) ved ulike totalvannføringer (øvre rad) og hvor høy andel (%) som slippes forbi (raden helt til venstre). Tallene er prediksjoner fra den utvikle modellen for rutevalg (**figning 4.1**).

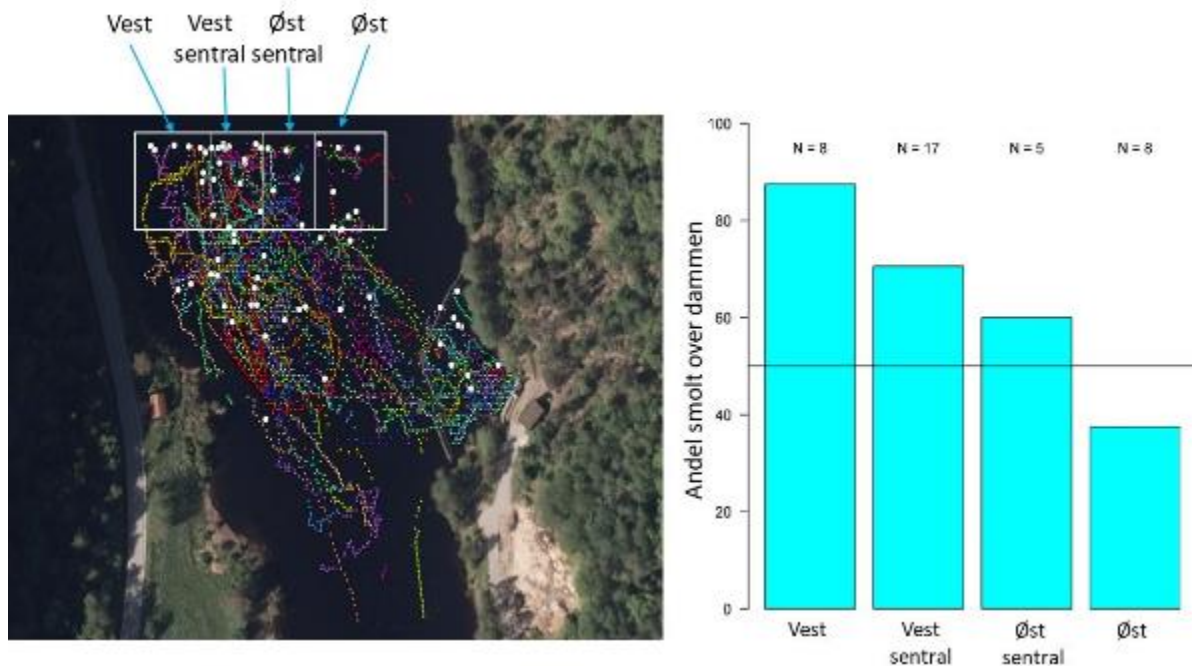
#### Atferd i inntaksområdet

Det ble i 2013 og 2014 arbeidet med idéer til ulike alternative eller supplerende løsninger for å sikre at en høy andel av smolten skulle passere forbi kraftversinntaket til Laudal kraftverk. En idé som ble videreutviklet var en smoltkanal, der en pumpedrevet vannstrøm skulle lokke smolten inn i en kanal der smolten skulle samles opp og transporteres i en rørledning over Dam Manflå. Denne idéutviklingen ble gjennomført som et samarbeid mellom Miljødesignprosjektet og forskningsprosjektet SafePass. Kanalinntaket skulle ligge rett ved kraftversinntaket, og en forutsetning for at et slikt tiltak skulle virke var at smolten oppholdt seg og søkte etter alternative vandringsveier foran kraftversinntaket. I regi av de to prosjektene ble det i 2015 gjennomført et akustisk telemetrisprosjekt som ga detaljerte vandringsspor i to eller tre (rett foran inntaket) dimensjoner for 91 laksesmolt ved kraftversinntaket (**figur 4.13**). Førtiåtte av disse vandret over dammen og 42 inn i kraftverket (en hadde usikker vandringsveg). Det generelle bildet var at smolten hadde kort oppholdstid i inntaksområdet (median på 32 minutter og variasjon fra under ett minutt til 5 dager [en fisk med over 30 dager opphold ekskludert]) og at majoriteten av smolten som vandret inn i kraftversinntaket fulgte hovedstrømmen mot inntaket og dykket med den nedgående strømmen inn gjennom varegrinda (ca. 2,6 m under overflata) og inn i kraftverket. Det var bare ni fisk (10 %) som oppholdt seg særlig tid ved inntaket og som så ut til å lete etter en alternativ vandringsvei der smoltkanalen eventuelt skulle plasseres. Det var fire smolt som først var i området rett ved inntaket for deretter å forlate inntaket og vandre over dammen. Fordi de fleste fiskene vandret rett inn i inntaket og så ut til å lete etter alternative ruter, ble idéen om å etablere en smoltkanal lagt til side.



**Figur 4.13.** Vandringsspor for 42 laksesmolt som vandret inn i inntaket til Laudal kraftverk (i rødt i venstre figur) og 48 smolt som vandret over Dam Manflå (i turkis i høre figur). Inntaket ligger der all fisk i venstre figur samles, mens dammen ligger nedenfor illustrasjonen.

Vandringsstudiene fra 2015 hadde imidlertid et annet interessant funn. Sannsynligheten for at smolt vandrer forbi inntaket og over dammen var mye høyere for fisk som kom til inntaksområdet på vestsiden av Manflåvann enn fisk som kom inn på østsiden, der kraftverksinntaket ligger (**figur 4.14**). Blant smolt som kom inn lengst mot vest vandret syv av åtte over dammen (87,5 %), mens for smolt som kom inn nærmest kraftverket vandret bare tre av åtte smolt (37,5 %) over dammen. I henhold til analysene skyldes dette at smolten i høy grad følger strømreretning når vannhastighetene stiger og mye av hovedstrømmen i vest går mot dammen, særlig når kraftverksdriften ikke er så stor. I regi av SafePass og andre forskningsprosjekt utredes nå mulighetene for å etablere et ledegjerde i det grunne området rett oppstrøms inntaket som skal lede smolt over mot den vestre siden der mye av vannstrømmen går mot dammen.



**Figur 4.14.** Andelen smolt (%) som vandret over Dam Manflå i forhold til hvor de kom inn i området (fire sektorer fra vest til øst). I figuren til venstre er vandringssporene til alle 91 smolt gitt, og de hvite punktene angir posisjon for første sikre posisjonering av fisken. Det var 38 smolt som hadde første sikre posisjonering innenfor en av de fire sektorene.

I henhold til den ferske kunnskapsoppsummeringen om vandringsløsninger (Fjeldstad mfl. 2018) er mønsterpraksis for nedvandring av laksesmolt forbi kraftverksinntak å etablere en vinklet rist (ca. 30 ° på strømreringen inn i inntaket) med så liten lysåpning at smolt ikke kan passere, og en fluktrute i enden av rista. Basert på krav til lysåpning (10-18 mm) og maksimale vannhastigheter gjennom en slik rist (for å hindre at fisk blir klemt fast mot rista) er det ikke mulig å erstatte dagens varegrind ved inntaket med en slik rist, fordi den samlede lysåpningen blir for liten slik at vannhastighetene gjennom grinda blir for høye. Dagens varegrind står også vinkelrett på vannstrømmen og fordi dammen ligger ca. 400 m nedstrøms finnes det ikke noe fall som kan brukes til å etablere en fluktrute ved enden av rista i form av en kanal. Fjeldstad mfl. (2018) foreslår at mønsterpraksis bør følges i nye utbygginger, mens valget av mønsterpraksis eller alternative løsninger i større eksisterende kraftverk bør baseres på en kost-nytte vurdering. Med innspill fra SafePass og Miljødesignprosjektet har Agder Energi Vannkraft skissert en grindløsning med 15 mm lysåpning plassert lengre ute i magasinet. Dette har et grovt overslag for byggekostnader på i størrelsesorden 30 millioner. Siden det ikke kan etableres en alternativ fluktrute i enden av grinda vil en slik løsning også innebære vannslipp som leder smolten mot dammen. Uten vannslipp er det fare for at smolt kan forsinkes betydelig. Det er også en utfordring at det er vanskelig å oppnå en egnet vinkel på grinda i forhold til vannstrømmen inn mot inntaket (helst under 30 grader), noe som kan innebære at kravet til lysåpning må ytterligere strammes inn (til 10-12 mm) for å unngå at fisk kan forsøke å presse seg gjennom. Mønsterpraksisløsninger består av en kombinasjon av en finmasket grind plassert med god vinkel mot strømreringen og en markant strøm mot en fluktrute. Dette er det svært utfordrende å oppnå ved inntaket til Laudal kraftverk.

Vårt forslag er derfor at smolutvandringen forbi inntaket til Laudal kraftverk løses gjennom vannslipp i kombinasjon med et ledegjerde som leder fisken mot vestsiden av innsjøen der sannsynligheten for vandring rett vei er høyere (se **kapittel 5.3.3**).

#### 4.2.3 Vinterstøinger

I videokameraene i Dam Manflå ble det i årene 2011-2017 i gjennomsnitt observert 709 vinterstøinger, og antallet varierte mellom 142 i 2011 og 1514 i 2012 (**tabell 4.6**). Utvandringen over



dammen starter tidlig i april og er over tidlig i juli, med variasjon i start- og sluttdato mellom år (**figur 4.15**). Noe av variasjonen i antall støinger observert mellom år kan trolig forklares med forskjellig oppstartstidspunkt. Det var en god korrelasjon mellom antall støinger observert og antall observasjonsdager ( $R^2=0,97$ ). I 2011, året med færrest observasjoner av støinger, startet overvåkningen 3. mai, mens i 2012 (med flest støinger observert) ble kameraene montert 1. april. I 2012 hadde halvparten av støingene vandret ut før 29. april, som var startdato for overvåkningen i 2013. Det kan derfor ha passert flere støinger enn observert i år med sen oppstart av overvåkningen.

**Tabell 4.6.** Antall vinterstøinger (N) observert på nedvandring i videokamera i Dam Manflå for årene 2011-2017, samt antall observasjonsdager (dager). Videre er det gitt antall gytefisk talt i video under oppvandringen året før, minus fangst (N opp-f) og hvor stor andel støingene utgjorde av oppvandringen året før, minus fangsten (% av opp-f).

År	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
N	143	1514	240	928	930	551	657
Dager	46	78	50	77	58	58	59
N opp-f		1336	1209	784	1315	839	1284
% av opp-f		113	20	118	71	66	76

I de to årene med videoovervåkning som sannsynligvis dekket det aller meste av utvandningsperioden om våren (2012 og 2014) ble det observert flere vinterstøinger på utvandring enn det ble observert gytefisk på oppvandring året før, minus rapportert fangst (**tabell 4.6**). Dette resultatet kan imidlertid være påvirket av kameraplasseringen. I de første årene i overvåkingsperioden var kameraene plassert på en slik måte at det var vanskelig å sikkert identifisere hvilke individer som vandret rett ut og hvilke som svømte litt frem og tilbake før de slapp seg ned over luka. I 2012 og 2014 er det derfor sannsynlig at det høye antallet utvandrende vinterstøing i forhold til antall oppvandrende (minus fangst) året før, kan være feil tolkning av bildene og at tallene ble for høye. I de andre årene med relativt lange observasjonsperioder (58 eller 59 dager) utgjorde vinterstøingene mellom 66 og 76 % av observert antall fisk som vandret opp året før, minus fangst.

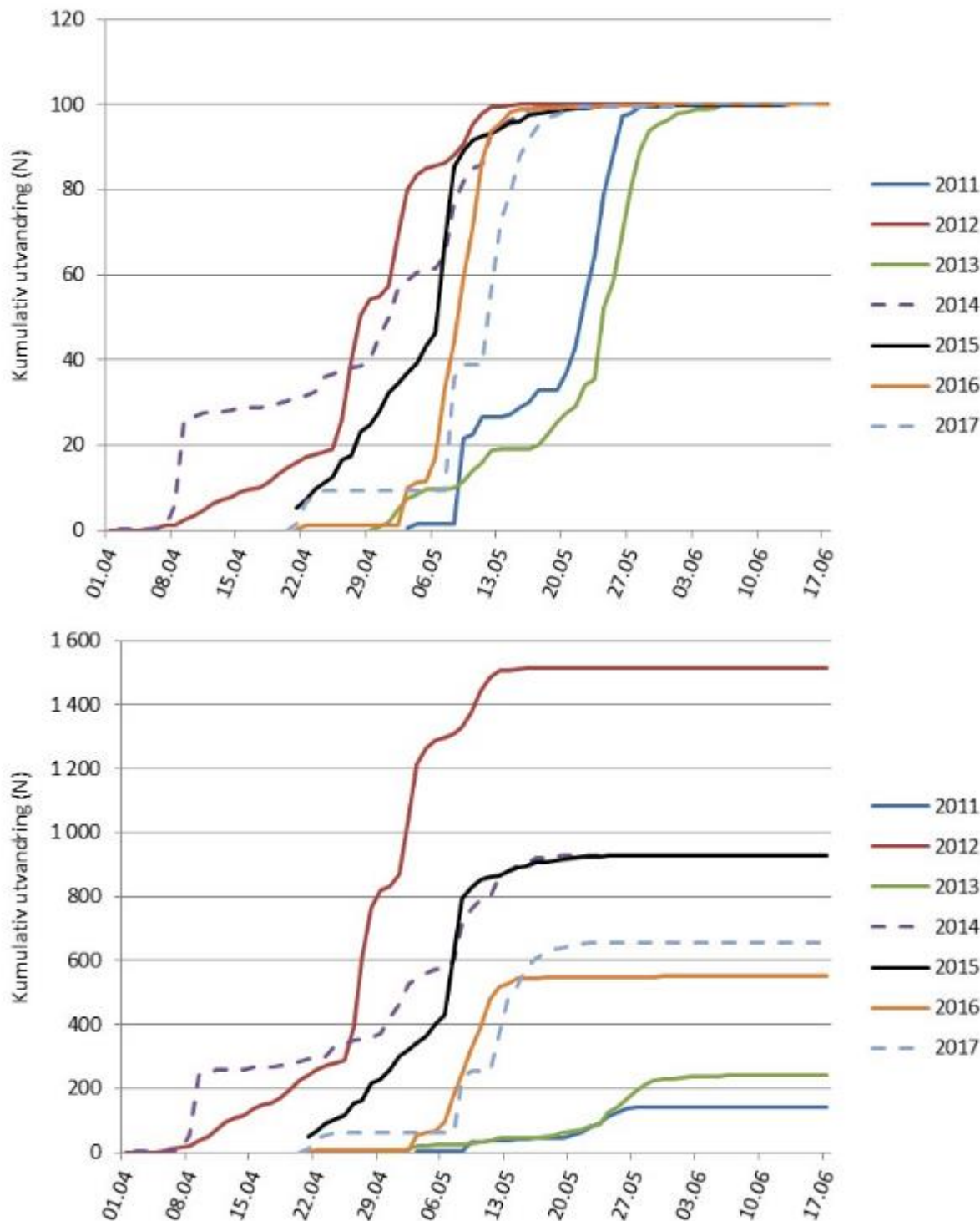
Generelt er det slik at en god del laks dør etter gyting. De få estimatene som er tilgjengelig tilsier at overlevelsen varierer mellom 40 og 85 % (Jonsson mfl. 1991). Noen av de som overlever vandrer ut samme høst, noen kan vandre gjennom vinteren, mens mesteparten vandrer ut om våren (Halttunen mfl. 2009). Det er trolig forskjeller mellom vassdrag både i overlevelse og utvandningsmønster.

Det er feilkilder både i registreringene av antall oppvandrende gytefisk og antall nedvandrende vinterstøinger våren etter, men overvåkningen gir grunnlag for noen viktige konklusjoner:

- 1) Overlevelsen til laks etter gyting må være høy i de overvåkede årene i Mandalselva oppstrøms Dam Manflå. Det kan spekuleres om mye fisk overvintrer i Manflåvann og at forholdene der er gunstige for støingene. Også de store dypområdene oppstrøms vannet kan være gode for overvintring.
- 2) Fordi det er sannsynlig at noe laks dør etter gyting og at noe fisk kan vandre ned om høsten og vinteren også i Mandalselva (denne perioden overvåkes ikke med video), må andelen vinterstøing som vandrer inn i kraftverket være svært lav. Tar man hensyn til at videoovervåkningen i år med lave antall registrerte støinger ikke dekket den første delen av utvandringen, vandret mellom 70 og over 90 % av all gytefisk over dammen som vinterstøinger våren etter gyting.

Det har fra lokalt hold noen år vært observert død og kappet vinterstøing ved utløpet av Laudal kraftverk. Det kan ikke utelukkes at dette også vil skje i framtida, men videoovervåkningen har vist at vannslippene som har vært gjennomført for å sikre smoltutvandringen i perioden, sammen

med forbislipp under flom, sikrer at det aller meste av vinterstøingene unngår turbinpassasje i Laudal kraftverk. Det kan virke som om vinterstøinger, i motsetning til smolt, kvier seg for å dykke ned, passere varegrinda og vandre inn i kraftverksinntaket, selv om lysåpningen i varegrinda (8 cm) tillater at mye støing kan passere (fisk opp til ca. 80 cm lengde). Det er etter vår vurdering derfor ikke nødvendig med egne tiltak for å sikre nedvandring av vinterstøinger ved Laudal kraftverk.

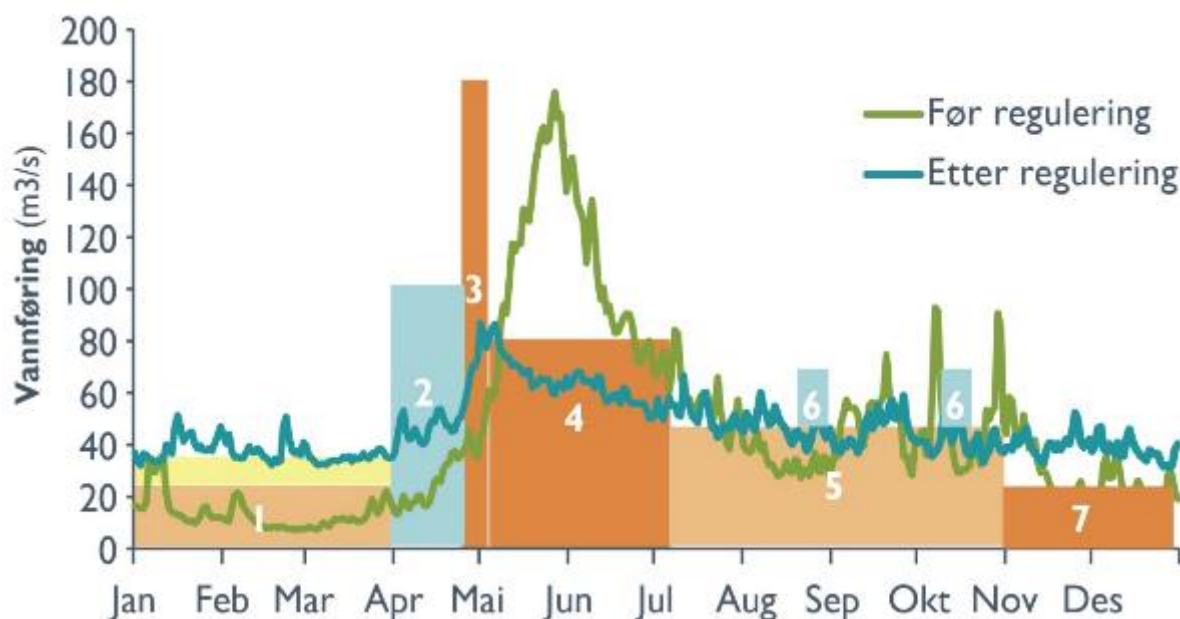


**Figur 4.15.** Kumulativ utvandring av vinterstøinger av laks over Dam Manflå observert i videokamera for årene 2011-2017 i prosent (øvre figur) og antall (nedre figur). Merk forskjellig start-dato for overvåkningen hvert år, som har betydning for totalantallet.

## 5 Miljødesignet vannføring

Miljødesignkonseptet (Forseth & Harby 2013) har miljødesignet vannføring som et viktig virkemiddel for å redusere effekten av vannføringsmessige flaskehalser i regulerte laksevassdrag. I motsetning til klassiske og dels sjablongmessige bestemmelser om minstevannføringer (ofte en fast sommer- og vintervannføring) baserer miljødesignet vannføring seg på å tilpasse vannføringsnivåer til laksens krav gjennom livet og året. I en slik tilnærming brukes byggeklossmetoden (**figur 5.1**) der hver kloss representerer viktige faser i laksens liv gjennom året og hvor man ser sammenhenger mellom de ulike vannføringsnivåene gjennom året og leter etter optimal bruk av et gitt vannvolum (vannbanken). Fordi miljødesign også dreier seg om å finne løsninger som er gode både for laks og kraftproduksjon kan mer målrettede vannslipp gi bedre resultater enn mer sjablongmessige slipp. Vi har fulgt dette prinsippet også i Mandalselva (se målformuleringen i **kapittel 1**). Dette innebærer også at vi har sett de to kraftverkene på lakseførende strekning i sammenheng, og at vannføringsmessige tiltak samlet sett har hatt som mål å opprettholde eller øke kraftproduksjonen i kraftstasjonene. I den sammenheng er det viktig at både årsproduksjonen og vannverdien er høyere (på grunn av høyere fall) i Bjelland (ca. 300 GWh, 87,5 m) enn Laudal kraftverk (ca. 146 GWh, 36 m). En kubikkmeter vann har derfor om lag 2,4 ganger så stor verdi for kraftproduksjon i Bjelland enn i Laudal.

I tillegg til miljødesignet slipp av vann har vi utarbeidet forslag til hvordan de to kraftverkene kan driftes slik at man reduserer dødelighet ved stranding av fisk under reduksjoner av kraftproduksjonen (variabel drift) til et minimum. Det har vært observert stranding av ungfisk under driftsuhell (Bjelland kraftverk) og under noen nedkjøringer av Laudal kraftverk. Arbeidet med å anbefale driftsstrategier som minimaliserer strandingsproblemet har vært basert på kunnskap og anbefalinger i den ferske oppsummeringsrapporten fra Bakken, Forseth & Harby (2016).



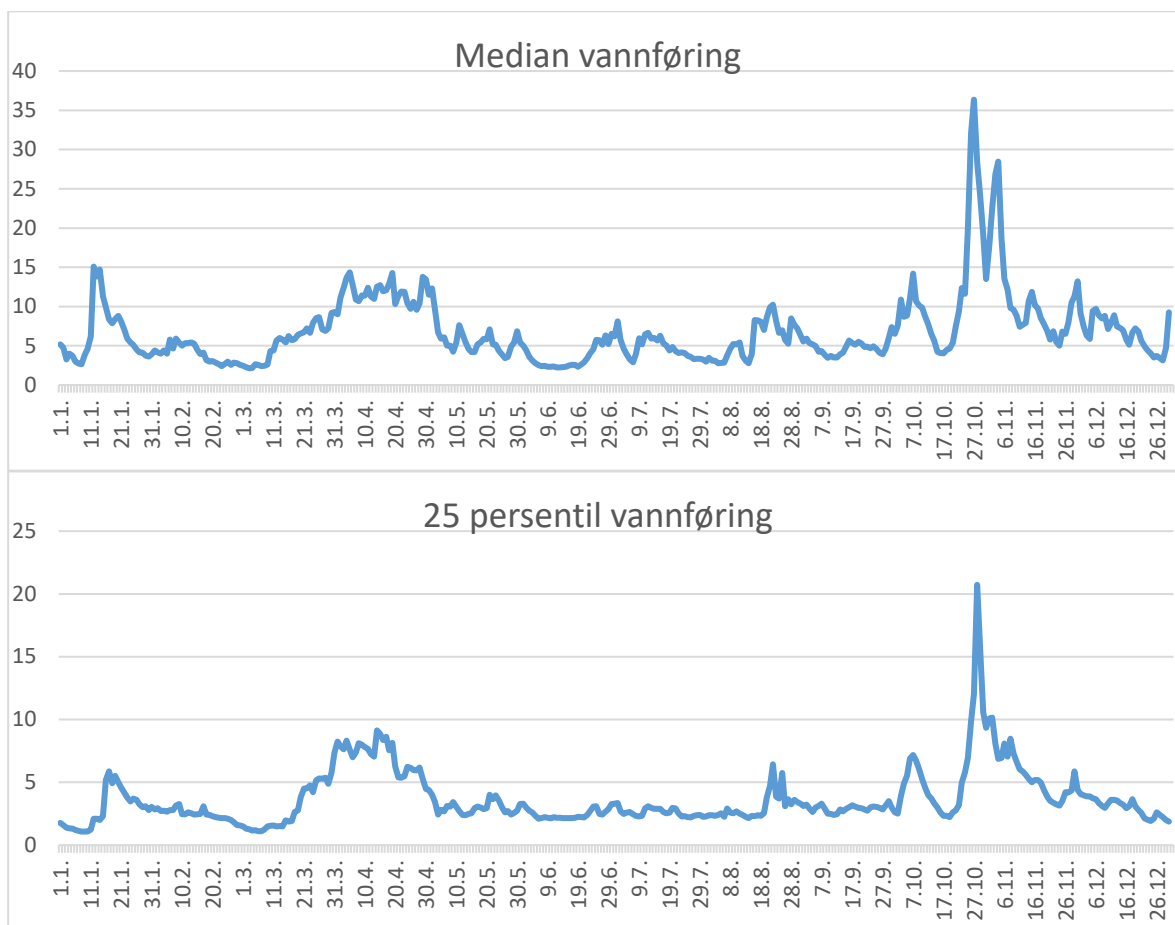
**Figur 5.1.** Eksempel på byggeklossmetoden med vannføringskurve før og etter regulering og viktige vannføringsbokser. Varighet (x-aksen) og vannføring (y-aksen) gir vannslippets størrelse (areal av boksene) som samlet summeres til strekningens vannbank. 1=eggoverlevelse og vinterhabitat, 2=smoltutvandring, 3=spyleflommer, 4=ungfiskvekst, 5=ungfiskhabitat, 6=lokkeflommer for fiske/gytevandring, 7=gyting. Fargene angir prioriterting av flaskehalser (fra rødt som er høyt prioritert til blått som er lavt prioritert) ut fra identifiserte hydrologiske flaskehalser og styrken av disse.

## 5.1 Vannføringsregime Kavfossen-Monan

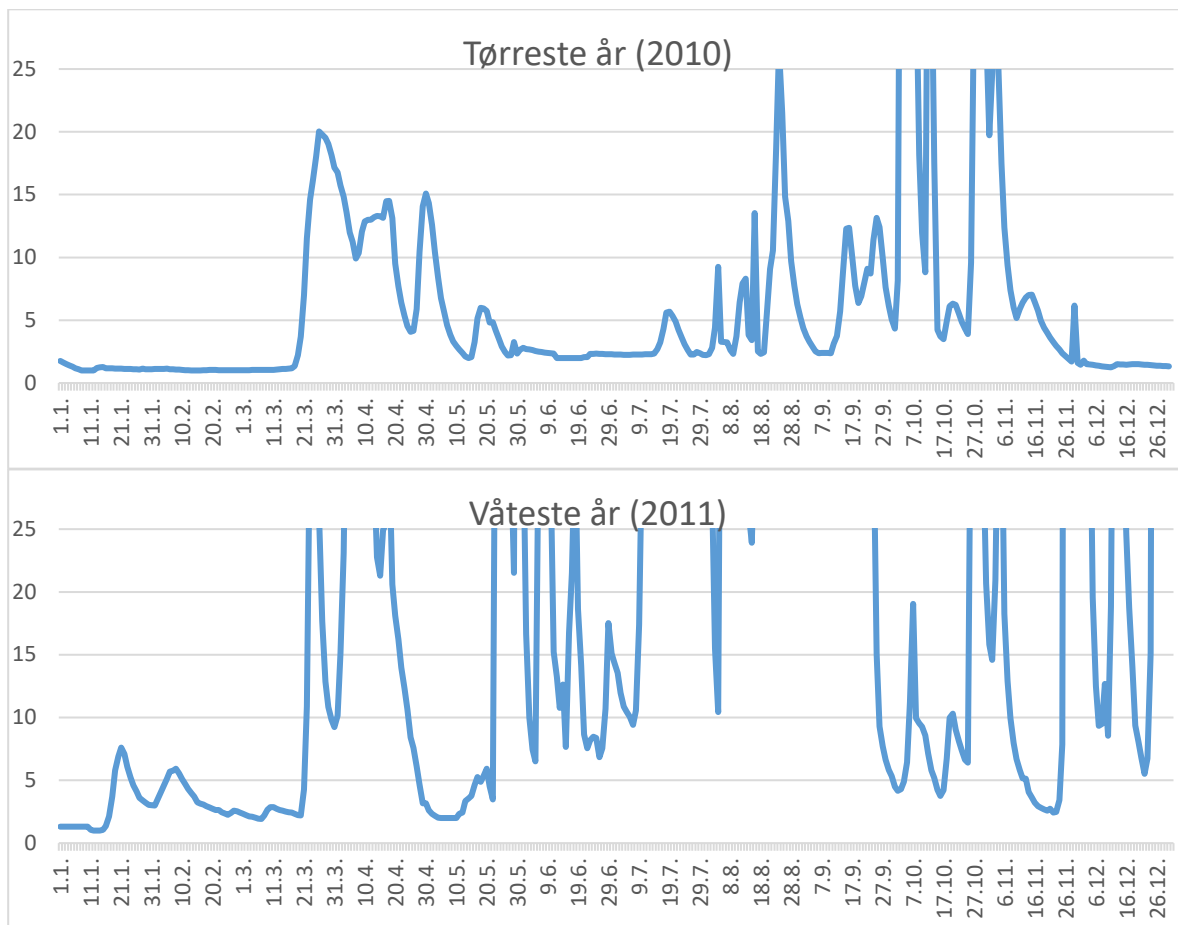
Strekningen fra Kavfossen, det øvre vandringshindret i Mandalselva, til utløpet av Bjelland kraftverk ved Monan er en ca. 4 km lang minstevannstrekning der vannføringen primært er bestemt av det uregulerte sidevassdraget Kosåna (samt lokalfeltet). Det er nå en minstevannføring på 2 m<sup>3</sup>/s om sommeren og 1 m<sup>3</sup>/s om vinteren målt ved Sundet (nedenfor samløpet med Kosåna). Når vannføringen i sidevassdraget Kosåna er lavere enn dette, slippes det vann fra Tungesjømagasinet. Kosåna har et nedbørsfelt på 220 km<sup>2</sup>, som gir et årlig middeltilsig på 9,55 m<sup>3</sup>/s. Dette innebærer at vannføringen på strekningen har tilnærmet naturlig variasjon i vannføring, med lav vannføring ved tørre perioder om sommeren og vinteren, en markant vårflo og regnstyrte høstflommer. Det er derfor ikke behov å benytte byggeklossmetoden for miljøtilpasset vannføring. Vi fokuserte derfor på mulighetene for å bruke vannslipp til å redusere effektene av vannføringsmessige flaskehalsen i strekningen om vinteren og sommeren, som har betydelig redusert vannføring etter at Bjelland kraftverk ble bygd. Vi tar som utgangspunkt at de foreslåtte fysiske tiltakene på strekningen (se **kapittel 3.2**) blir gjennomført.

Basert på målestasjonen Myglevatn i Kosåna og opplysninger om slipp fra Tungesjø ble døgnmiddel vannføring på strekningen beregnet for årene 2000 til 2013 (Fjeldstad mfl. 2015). Beregningene ga i noen tilfeller i de første årene av perioden vannføringer som var lavere enn minstevannføringene. I slike tilfeller satte vi vannføringen til å være lik minstevannføringen, slik at vi kunne se på mulige slipp i tillegg til dagens slipp.

Gjennomsnittlig årlig median vannføring på strekningen var 6,8 m<sup>3</sup>/s for de undersøkte årene, med lavvannsperioder tidlig i januar og mars om vinteren, og tidlig i juni og i månedsskiftet juli-august om sommeren (**figur 5.2**). I det tørreste året (2010) var det minstevannføring eller nær dette fra tidlig desember til tidlig mars om vinteren og i perioder både i juni-juli og senere på sommeren (**figur 5.3**). I det våteste året (2011) vare det bare en kort periode midt på vinteren at vannføringene kom ned mot minstevannføringen.



**Figur 5.2.** Beregnet median og 25 persentil døgnmiddel vannføring ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) på minstevannstrekningen Kavfossen-Monan for årene 2000-2013, basert på måledata fra Myglevatn og data fra Agder Energi for vannslipp over dammen.



**Figur 5.3.** Beregnet døgnmiddel vannføring ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) på minstevannstrekningen Kavfossen-Monan for det tørreste (2010) og våteste (2011) året i perioden 2000-2013, basert på måledata fra Mygglevatn og data fra Agder Energi for vannslipp over dammen. Skalaen er kuttet for å kunne illustrere lavvannsperiodene.

Ved å bruke de beregnede daglige vannføringene for årene 2000-2013 kan vi beregne hvor store vannslipp (i millioner  $\text{m}^3$  vann) som trengs i tillegg til dagens slipp for å oppnå ulike nivåer av minstevannføringer om sommeren og vinteren. Gitt målsettingen for kraftproduksjon i miljødesignprosjektet («opprettholde eller øke kraftproduksjonen på lakseførende strekning») ser vi slipp forbi Bjelland kraftverk i sammenheng med slippene vi forslår forbi Laudal kraftverk (se **kapittel 5.3**). Vannverdien ved Bjelland kraftverk er 2,4 ganger høyere i Bjelland enn i Laudal kraftverk (på grunn av større fall), og vi tar hensyn til dette i vår samlede vurdering av slippforslag for de to kraftverkene. Bjelland har også en annen status enn Laudal når det gjelder miljøkrav, og i den vedtatte vannforvaltningsplanen (under vannforskriften) for vannregionen er denne strekningen ikke prioritert for tiltak som kan medføre krafttap, men prioritert for fysiske tiltak som kan bedre miljøforholdene. Både målsettingen i prosjektet og kraftverkets status når det gjelder miljøkrav tilsier at det ikke er aktuelt å foreslå store vannslipp. Det er de planlagte habitatiltakene som er primærvirkemidlet for å øke fiskeproduksjonen på strekningen (se **kapittel 3.2**).

Normalt vurderes lavvannsperioder om vinteren som en sterkere flaskehals enn lavvannsperioder om sommeren (Forseth & Harby 2013). Selv etter fjerning av de to tersklene vil imidlertid strekningen ha store sakteflytende og dype områder (der terskelmagasinene er i dag; se Fjeldstad mfl. 2015) som er gode områder for overvintring for fiskeunger (oppsummering i Finstad, Armstrong & Nislow 2011; Bremset 2000). Det er derfor vår vurdering at det er lavvannsperioder om sommeren som i størst grad er dimensjonerende for ungfishproduksjonen i strekningen.



Vi forslår å øke minstevannføringen om sommeren (1. mai til 1. oktober) fra 2 til 3 m<sup>3</sup>/s og vintervannføringen fra 1 til 1,5 m<sup>3</sup>/s. Dette gir et årlig vannslipp på rundt 4 millioner m<sup>3</sup> vann fra Tungesjø, i tillegg til dagens slipp, med en variasjon mellom år fra 1 til 8 millioner m<sup>3</sup>. Dette tilsvarer et krafttap på rundt 1 GWh (variasjon fra 0,5-2 GWh). Vi forslår at slippene styres av vannføringen på målestasjonen ved Myglevatn i Kosåna (med 30 % tillegg for feltet mellom Myglevatn og samløpet med Mandalselva). På grunn av tiden det tar før slippene fra Tungesjø når lakseførende strekning gir styring mot Myglevatn tidligere varsel og mer presise slipp.

En økning i minstevannføring om sommeren vil primært bidra til å sikre en god fiskeproduksjon på strekningen etter at de fysiske tiltakene er gjennomført. Sommerperioden dekker den viktigste vekstperioden for yngel og parr og en minstevannføring på 3 m<sup>3</sup>/s vil forhindre lavvannsperioder av betydning om sommeren i tørre og moderat tørre år. I tillegg vil en slik vannføring kunne bidra positivt på oppvandringen og fiskemulighetene i tørre perioder og år. Om høsten er det normalt bra med vann, noe som kan sees både fra det tørreste året (**figur 5.3**) og 25 persentil vannføringen (**figur 5.2**). Vannføringen er høyere enn 25 persentil vannføringen i 75 % av tilfellene.

Målet med å øke minstevannføringen om vinteren fra 1 til 1,5 m<sup>3</sup>/s er primært å sikre de to store gyteområdene (samlet ca. 1000 m<sup>2</sup>) som vil oppstå langs østre elvebredd i terskelbassenget ved Sundet etter terskelfjerning, samt de mindre gyteområdene som ligger langs land i øvre del av strekningen (oppstrøms Fossekilen). De potensielle gyteområdene ved Sundet ble vurdert til å være tilstrekkelig vanndekt til gyting ved 2 m<sup>3</sup>/s (Fjeldstad mfl. 2015), og vi anser det som lite sannsynlig at gytegroper i dette området vil tørrlegges ved 1,5 m<sup>3</sup>/s. Risikoen for tørrlegging vurderes som høyere med dagens minstevannføring på 1 m<sup>3</sup>/s, men vi har foreløpig begrenset kunnskap om vanndybder på gyteområdene ved ulike vannføringer etter terskelfjerning. Fra Fossekilen og nedover anser vi at det er godt med overvintringshabitat (dypere og stilleflytende områder) for ungfisken, men en økning i minstevannføring vil trolig ha positiv effekt på vinteroverlevelsen til ungfisk på strekningen oppstrøms Fossekilen (som er et høyproduktivt område).

Effekten av å øke minstevannføringene er små om tersklene ikke fjernes og habitattiltakene ikke gjennomføres fordi effekten primært bare vil komme på strekningen oppstrøms det øverste terskelbassenget.

## 5.2 Miljøtilpasset kraftverksdrift Bjelland

Bjelland kraftverk har inntak i Tungesjø, oppstrøms anadrom strekning, og utløp ved Monan, ca. 4 km nedstrøms Kavfossen. Kraftverket har to like turbiner med en samlet slukekapasitet på 79 m<sup>3</sup>/s.

Det har fra lokalt hold vært rapportert om episoder med stranding av fisk nedstrøms kraftverket i forbindelser med reduksjoner i kraftverksdrift eller utfall av kraftverket (linjefeil eller feil i kraftverket) og i juni 2014 var det en rask vannstandsreduksjon på grunn av feildrift av luker og kraftverk som ga stranding dokumentert med foto. Effekten av denne episoden ble estimert (Forseth 2014) til maksimalt mellom 9 og 11 % redusert smoltproduksjon på strekningen mellom Monan og Manflåvann fordelt over to år.

Basert på flyfoto, topografiske oppmålinger, analyser av vannføringsforhold og en kontrollert nedtapping har vi utviklet forslag til miljøtilpasset drift av Bjelland kraftverk som skal minimalisere problemet med stranding og andre negative effekter av raske reduksjoner i vannføring på strekningen nedstrøms kraftverket (Fjeldstad mfl. 2017). Det henvises til denne rapporten for detaljer om utredningen av strandingsproblematikk og grunnlaget for forslag til en ny driftsstrategi. Vurderingene og forslag om tiltak ble basert på anbefalingene i kunnskapsoppsummeringen i Bakken, Forseth & Harby (2016).

Oppsummert viste analysene at det i hovedsak er vannføringer under 15-20 m<sup>3</sup>/s som gir særlig tørrlagte arealer langs elvebreddene og at drift på høyere vannføringer i mindre grad gir strandingsfare eller andre negative effekter for ungfisken på strekningen. Med mål om å redusere stranding og andre negative effekter av ordinær drift av kraftverket foreslo vi følgende driftsstrategi:

Vannføringsreduksjon fra utløpet av Bjelland kraftverk	Driftssituasjon	Tiltak i Bjelland kraftverk
80-45 m <sup>3</sup> /s	Normal drift	Ingen restriksjoner
45-30 m <sup>3</sup> /s	Normal drift	Opp- og nedtappinger på mer enn 10-15 m <sup>3</sup> /s pr. time bør begrenses i de seks ukene etter at vanntemperaturen har passert 6° C om våren. Reduksjon bør skje med maksimalt 10 m <sup>3</sup> /s pr. time.
Fra 30 til 20 m <sup>3</sup> /s	Normal drift	Reduksjon bør ta minst 2 timer
Fra 20 til 15 m <sup>3</sup> /s	Planlagt stans	Reduksjon bør ta minst 2 timer
Fra 15 til 10 m <sup>3</sup> /s	Planlagt stans	Reduksjon bør ta minst 2 timer
Vannstandsreduksjoner under 10 m <sup>3</sup> /s		Bør unngås.

Restriksjonen knyttet til opp- og nedtapping tidlig på sommeren (rad to i tabellen) ble lagt inn for å redusere negative effekter av vannstandsendringer på fiskens energiforbruk (Bakken, Forseth & Harby 2016) i den særlig viktige vekstperioden på forsommeren. Dette forslaget er nå frivillig implementert i kraftverkets driftsinstruks og vil redusere negative effekter på fisk under ordinær drift til et minimum.

I tillegg til ordinære driftssituasjoner (opp- og nedregulering av kraftproduksjonen) kan også nødvendige stans av kraftverket og ulike typer utfall gi stranding. Dersom disse oppstår når vannføringa fra Kosåna er lav kan strandingsfaren bli høy. Slipp fra dammen i Tungesjø bruker flere timer på å nå ned til Monan. Bjelland kraftverk kan i praksis ikke reguleres på vannføringer under 20 m<sup>3</sup>/s, og planlagte stans må kontrolleres gjennom godt planlagt forbitapping (fra dammen i Tungesjø) og eventuell tomgangskjøring i kraftverket. Ukontrollert stans (utfall) av kraftverk kan oppstå på grunn av feil i kraftverket og feil i nettet (for eksempel lynnedslag), og det er begrenset hva en kraftverkseier kan gjøre for å hindre de eksterne hendelsene. Vi foreslår i rapporten (Fjeldstad mfl. 2017) at Agder Energi Vannkraft ser nærmere på mulighetene for tomgangsdrift (vann gjennom turbinene uten kraftproduksjon). Dersom ikke tomgangsdrift kan sikres er et betydelig dyrere alternativ å etablere en form for omløp i kraftverket. En slik investering må avveies mot forekomsten av ukontrollerte utfall ved lave vannføringer i Kosåna. Vi foreslår også å vurdere gravearbeider med utjevning av et grusområde ved Trygslund, der det i dag er groper som kan fange ungfisk ved nedtapping.

### 5.3 Vannføringsregime Manflå-Laudal

Her presenterer vi et forslag til miljødesignet vannslipp forbi Laudal kraftverk. De primære formålene med slippene er å:

- sikre effektiv oppvandring av gytefisk forbi utløpet av Laudal kraftverk, gjennom minste-vannstrekningen og over Dam Manflå.

- Sikre utvandring av smolt og vinterstøinger forbi inntaket av Laudal kraftverk i Manflåvann, gjennom Dam Manflå og ned gjennom minstevannstrekingen. Målet er at 90 % av utvandrende smolt og vinterstøinger skal passere kraftverksinntaket (Fjeldstad, Pulg & Forseth 2018) og i stedet vandre over Dam Manflå. Fysiske tiltak ved kraftverksinntaket skal også bidra til å nå dette målet (se **kapittel 4.2**).
- Sikre god fiskeproduksjon på minstevannstrekingen som bidrag til å nå prosjektets overordnede mål om å redusere tapet i lakseproduksjon etter vannkraftreguleringen til et minimum. Fysiske habitattiltak på strekingen bidrar også til å nå dette målet (se kapittel 3.4).

I tillegg tar vi som følge av innspill fra rådgivingsgruppa også hensyn fiskeforholdene på minstevannstrekingen, men dette hensynet er lavere prioritert.

Forslaget sammenlignes med det gjeldene manøvreringsreglementet som innebærer følgende slipp:

- Vintervannføring (fra 1. oktober til smoltutvandringsperioden): 6 m<sup>3</sup>/s.
- Smoltvannføring (varighet på 14 dager fra fem dager etter en markant økning av fangst av smolt i fella i Hesså, men med start senest 15. mai): Omlag halvparten av vannføringen inn til Laudal kraftverk slippes forbi.
- Sommervannføring (fra slutt av slipperioden for smolt til 1. oktober): Slippene er avhengig av totalt tilsig til kraftverket etter følgende opptrapping.
  - 8-12 m<sup>3</sup>/s: alt vann slippes forbi
  - 12-30 m<sup>3</sup>/s: 12 m<sup>3</sup>/s:
  - 30-50 m<sup>3</sup>/s: 15 m<sup>3</sup>/s:
  - 50-80 m<sup>3</sup>/s: 20 m<sup>3</sup>/s:
  - >80 m<sup>3</sup>/s: 25 m<sup>3</sup>/s:

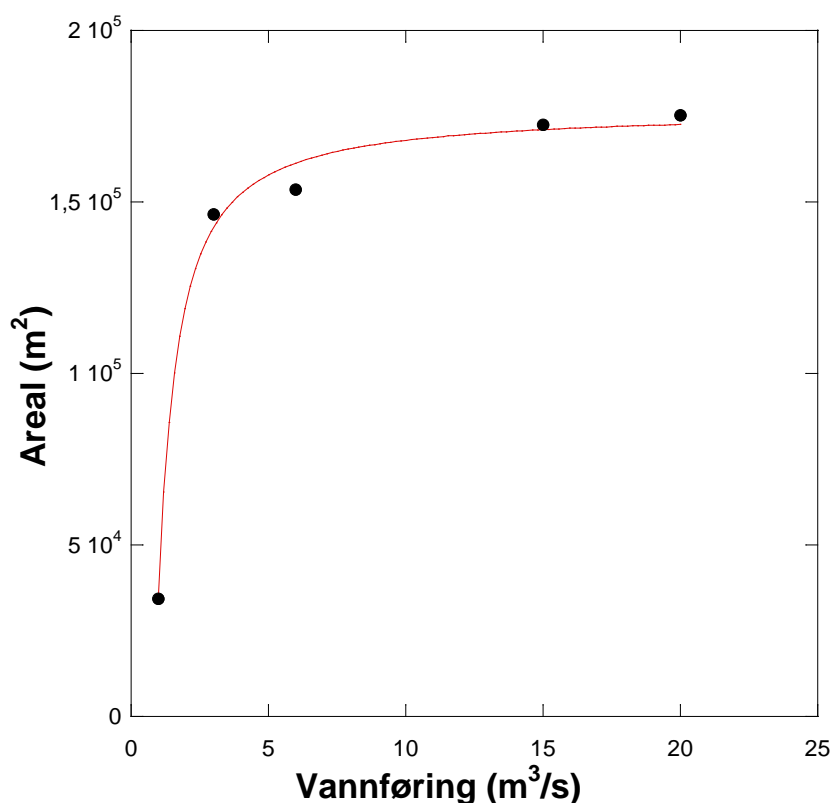
I tillegg er det en bestemmelse som innebærer at kraftverket stanses i seks timer mellom hver fredag kl. 21.00 og lørdag kl. 06.00 i sommerperioden («fredagsstansen»). Denne bestemmelsen ble lagt inn for å sikre at oppvandrende fisk som samlet seg foran grinden ved kraftverksutløpet (Lura 2005) skulle forlate område og vandre opp i minstevannstrekingen. Stansen innebærer at vannføringen på minstevannstrekket gradvis øker til den blir lik vannføringen inn i Manflåvann, holdes der i ca. 6 timer for deretter gradvis å avta igjen til den aktuelle sommervannføringen etter totalt 9 timer.

Det nye forslaget til miljødesignet vannslipp er utarbeidet av de sentrale forskerne i prosjektet (Forseth, Fjeldstad, Gabrielsen og Skår). En første skisse ble drøftet med sentrale personer i Agder Energi Vannkraft, spesielt for å avklare driftsmessige forhold for kraftverket, konsekvenser for kraftproduksjon og som grunnlag for simuleringer av vannføringsforhold på strekingen om forslaget gjennomføres. Endelig forslag til vannslipp har blitt presentert og drøftet på to møter i rådgivingsgruppa (se **kapittel 1** for sammensetning). Her ble også konsekvensene for kraftproduksjon og simuleringer av faktiske vannføringsforhold (inkludert forbitapping ved høye vannføringer) på strekingen presentert av Agder Energi Vannkraft. Det er imidlertid de angitte forskerne alene som svarer for forslaget som presenteres her.

Forslaget bygger på de kartleggingene som er gjort i prosjektet knyttet til habitatforhold på strekingen (**kapittel 3.4**) og de gjennomførte studiene på fiskevandring i prosjektet (kapittel 4), tidligere prosjekt (EnviDorr mfl.) og tilsluttede prosjekt (spesielt SafePass). I tillegg har kartlegging av gytegrøper i 2017 og 2018, etter at habitattiltakene var gjennomført, gitt viktig informasjon om bruken av nye gyteområder og vanddypet der gytegrøpene ligger når gytingen foregår på ca. 6 m<sup>3</sup>/s.

Vanndekt areal bestemmer fiskebestandenes maksimale leveområde og er sentralt for fiskeproduksjonen (Forseth & Harby 2013). I fastsettelse av egnede vannføringsforhold er det derfor viktig å ha en sammenheng mellom vanndekt areal og vannføring. I forbindelse med de hydrauliske oppmålingene og modelleringen før tersklene ble fjernet eller modifisert ble vanndekt areal etter tiltakene beregnet for vannføringene 3, 6 og 15 m<sup>3</sup>/s (Fjeldstad mfl. 2014). Etter at tiltakene var fullført gjennomførte byggeleder hos Terreteknikk en kontrolloppmåling av vannlinja (med

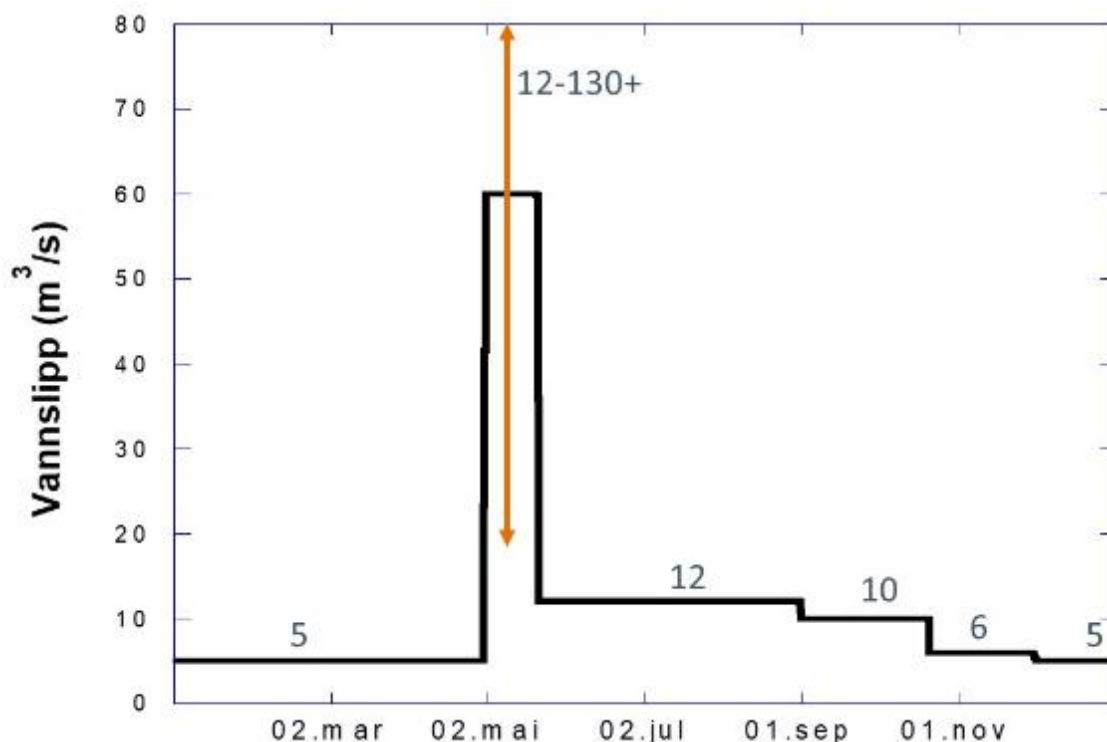
høyoppløselig GPS) på deler av strekningen på 3 m<sup>3</sup>/s. En sammenligning viste godt samsvar mellom oppmålt og beregnet vanndekt areal. Basert på flyfoto og oppmålinger av deler av strekningen viste Bustos mfl. (2017) at vanndekt bredde på strekningen endret seg lite fra 15 til 20 m<sup>3</sup>/s i de elvelignende delene av elvestrekningen (mellom terskelbassengene) før tiltaket. Vi brukte deres sammenheng til å sette et vanndekt areal ved 20 m<sup>3</sup>/s (ca. 1,5 % høyere enn på 15 m<sup>3</sup>/s). Sammenhenger mellom vanndekt areal og vannføring i elver beskrives typisk av en logaritmisk eller en annen asymptotisk modell, hvor vanndekt areal øker mye fra de laveste til midlere vannføringer for deretter å flate ut når vannføringen øker ytterligere og elvesenga fylles opp. For å unngå at modellen predikerer null vanndekt areal på null vannføring antok vi at vanndekt areal på 1 m<sup>3</sup>/s var ca. 5 % av vanndekt areal på oppfylt elveseng (20 m<sup>3</sup>/s). Med til sammen fem punkter (tre beregnede og to skjønnsmessig estimert) fikk vi en god tilpasning ( $R^2=0,99$ ) til følgende modelltype:  $y=a+b/x+c/x^2$  hvor  $y$  er vanndekt areal,  $x$  er vannføring og  $a$ ,  $b$  og  $c$  er estimerte parametre (figur 5.4). Med en slik regresjonsmodell kan vi forutsi vanndekt areal for alle vannføringer, og den gode tilpasningen medførte at avviket mellom beregnet vanndekt areal og modellens prediksjon er liten (noen få prosent). Siden to av punktene (vanndekt areal på 1 og 20 m<sup>3</sup>/s) var svakere underbygget enn i andre tre, testet vi også en tilpasning til en logaritmisk modell for de beregnede punktene. Denne modellen ga svært like prediksjoner for vannføringer mellom 3 og 15 m<sup>3</sup>/s. I det videre utviklingen av forslaget brukte vi derfor den utvidede modellen som dekker hele det relevante vannføringsspennet.



**Figur 5.4.** Modell for sammenheng mellom vanndekt areal (m², hvor 1 10⁵ m² er 100 000 m²) og vannføring (m³/s) for den modellerte strekningen mellom Dam Manflå og Kleveland bru.

### 5.3.1 Forslaget

Forslaget til milødesignet vannføring på strekningen innebærer et slipp om vinteren på 5 m<sup>3</sup>/s, en sommervannføring på 12 m<sup>3</sup>/s i fiskesesongen, 10 m<sup>3</sup>/s i slutten av oppvandringsperioden og en vannføring under gytetida på 6 m<sup>3</sup>/s (figur 5.5). Under smoltutvandringen er det et eget slipp-regime basert på tilsiget til Manflåvann. Nedenfor går vi gjennom de ulike delene (byggeklossene) av forslaget i kronologisk rekkefølge.



**Figur 5.5.** Grafisk presentasjon av forslaget til miljødesignet vannslipp på minstevannstrekningen ved Laudal. I smoltutvandringsperioden er vannslippet avhengig av tilsiget til Laudal kraftverk og kurven angir bare et typisk slipp.

### 5.3.2 Vintervannføring

Vintervannføringen er foreslått til 5 m³/s og varer fra 1. desember til starten av smoltutvandringsperioden. Slippet er 1 m³/s lavere enn dagens slipp. Formålet med slippene om vinteren er å sikre god overlevelse til yngel og parr av laks og aure. Om vinteren foretrekker ung fisk dypere og mer stilleflytende områder enn om sommeren (Bremset 2000, Finstad, Armstrong & Nislow 2011), fisken spiser lite og overlever primært ved å forbrenne fett som den har lagret i løpet av sommeren og høsten (Finstad mfl. 2004). Det er vist at perioder med svært lave vannføringer kan redusere overlevelsen (Chadwick 1982, Gibson & Myers 1988, Cunjak mfl. 1998, Hvidsten mfl. 2004, Næsje mfl. 2005) og det er sannsynlig at dette kan knyttes både til redusert vanddekt areal og kanskje spesielt til små dypområder der fisken trenges sammen. I tillegg er det viktig at gytegrøper ikke tørrlegges eller fryser. Eggene er gravd ned i substratet i gytegroper og er avhengig av vann. Dette innebærer ikke nødvendigvis at overflata i gropa må være vanddekt fordi det også er vann mellom steinene i substratet.

Forskjellen mellom vanddekt areal ved 6 m³/s (dagens reglement) og 5 m³/s (vårt forslag) er liten, i størrelsesorden 2 %, i henhold til modellen. Det er usannsynlig at en slik arealreduksjon vil påvirke vinteroverlevelsen. Det er godt med dypere områder på strekningen, også på 5 m³/s (se mesohabitatfordeling i Fjeldstad mfl. 2014).

Kartleggingen av brukte og potensielle gyteområder i forkant av tiltakene (Fjeldstad mfl. 2014) viste at gyteområdene i hovedsak ville ligge relativt dypt også etter tiltakene. For å se nærmere på bruk av gyteområder, eggoverlevelse og fare for tørrlegging ble det sen vinteren 2017 og 2018 gjennomført en kartlegging av gytegrøper på hele den restaurerte strekningen fra Dam Manflå til Kleveland bru. Gropene kommer fra gyttingen høsten 2016 og 2017, etter at habitatiltakene var gjennomført. Kartleggingen ble gjennomført ved snorkling/vading der gytegroperne ble stedfestet, vanddyptet ble målt (på ca. 6 m³/s), gravedypet ble registrert ved å grave ned til egglommene og andelen døde egg ble registrert. Fra hver grop ble det tatt med en prøve av to egg for senere artsbestemmelse ved hjelp av genetikk. Grusen ble deretter forsiktig lagt tilbake over eggene.

For de gropene som lå grunnest ble det også gjort en vurdering av om det var sannsynlig at gropene ville tørregges på 5 m<sup>3</sup>/s. Det var en del is langs land i 2017, men bedre forhold i 2018.

Det ble registret 126 gytegroper i 2017 og 140 i 2018. Dette var i hovedsak gytegroper lagd av laks (henholdsvis 97,5 % og 86,4 % i 2017 og 2018), men i 2018 ble det også registrert en god del (12,1 %) groper lagd av aure. Overlevelsen var god begge åra (97,1 og 89,8 %). Samlet sett er det nå godt med gytearealer på strekningen med en gunstig romlig fordeling.

Vanndypet der gropene lå var i gjennomsnitt 60,5 cm i 2017 og 44,6 cm i 2018. Forskjellen kan dels forklares med oppstuvning av vann på grunn av is under kartleggingen i 2017, men også at grunnere områder var tatt i bruk til gyting høsten 2017. Gjennomsnittlig gravedyp var på henholdsvis 11 og 13 cm slik at eggene i gjennomsnitt lå ca. 72 cm under vannoverflata på 6 m<sup>3</sup>/s i 2018 og ca. 58 cm i 2018. Det var betydelig variasjon i vanndypet og den grunneste gropa lå 19 cm under vannoverflata i 2017 og 12 cm i 2018. Observasjonene av både vanndyp og gravedyp samt feltmessige vurderinger av de grunneste gropene tilsier at det er lite sannsynlig at gytegroper som lages på 6 m<sup>3</sup>/s vil tørregges på en vintervannføring på 5 m<sup>3</sup>/s. Ved vannføringer lavere enn 5 m<sup>3</sup>/s, for eksempel 4 m<sup>3</sup>/s, vil faren for tørregging av de grunneste gropene øke.

Samlet sett tilsier våre resultater og vurderinger at en vintervannføring på 5 m<sup>3</sup>/s vil sikre både god vinteroverlevelse for yngel og parr og være høy nok til å sikre rognoverlevelse.

### 5.3.3 Vannføring i smoltutvandringsperioden

Formålet med vannslipp i smoltutvandringsperioden er å sikre at smolten og vinterstøingene skal velge å vandre forbi kraftverksinntaket, gjennom Dam Manflå og ned minstevannstrekningen. Det er altså vannslipp som er hovedtiltaket for at smolt og vinterstøinger skal velge rett nedvandringsvei. I tillegg er det aktuelt med fysiske ledetiltak som skal bedre resultatet ytterligere. Overvåkingen av utvandring av vinterstøinger gjennom dammen tilsier at tiltakene for smolt nødvendigvis også må ha god effekt på vinterstøinger (se **kapittel 4.2.2**), selv om det ikke kan utelukkes at noen vinterstøinger kommer inn i kraftverket.

Prinsippene i vårt forslag til vannslipp i smoltperioder er slipp av ulik varighet - fra to uker (15 dager) i år med kort og intens utvandring, via den vanligste perioden på tre uker (21 dager) til fire uker (28 dager) for år med spesielt lang utvandringsperiode. Vannslippenes start er styrt av prediksjoner fra en enkel prediksjonsmodell (**ligning 4.2 i kapittel 4.2.1**) som pr. 15. april forutsier dagnummer (dato) for 25 % utvandring ut fra lufttemperatursummen ved Kjevik målestasjon (39040) for perioden 1. mars til 15. april. Modellen framstår som robust og forklarer 79 % av mellomårsvariasjonen i 25 % utvandring. Vi forutsetter at Agder Energi Vannkraft sørger for kontinuerlig tilgang til data fra stasjonen og selv bruker den utviklede modellen. Slippene starter fire døgn (median vandringstid fra Hesså til inntaksområdet er fem døgn) etter at modellen forutsier at 25 % av smolten har passert Hesså. Vi valgte å bruke 25 % utvandring i stedet for 10 % utvandring fordi det er sannsynlig at det faktiske utvandringsforløpet er noe senere enn det felfangstene ved Hesså tilsier (se **kapittel 4.2.2** for en grundig gjennomgang).

Gjennomsnittlig varighet fra 10 % til 90 % utvandring i fella i løpet av 14 år med registreringer etter 2004 var på 22 dager, og den mest utstrakte utvandringen var på 35 dager (i 2012). Ut fra sammenhengen mellom 10 % utvandring og varigheten på utvandringen (se **figur 4.7**), som tilsier at en tidlig start gir en langvarig utvandring og at en sen start gir kort og intens utvandring, foreslår vi at slippenes varighet bestemmes etter følgende system:

- Predikert dato for 10 % utvandring før eller på 25. april (dag 115) tilsier lang utvandring og fire uker (28 dager) med vannslipp.
- Predikert dato for 10 % utvandring mellom 26. april og 10. mai (dag 130) tilsier normalt lang utvandring og tre uker (21 dager) med vannslipp.
- Predikert dato for 10 % utvandring etter 10. mai tilsier kort og intens utvandring og 15 dager med vannslipp

Her benyttes altså prediksjonsmodellen for 10 % utvandring (**ligning 4.1 i kapittel 4.2.1**) til å fastsette slippenes varighet. Denne modellen framstår også robust, med en forklaringsgrad på



76 %. Ved å hente temperaturdata fra Kjevik målestasjon og bruke prediksjonsmodellen og grupperingen ovenfor for årene 1960 til 2018 (59 år) fikk 15 % av åra lang utvandring, 69 % av åra normal utvandring og 17 % av åra kort utvandring. Tre forskjellige slippperioder sikrer at mye smolt vandrer forbi kraftverksinntaket i år med tidlig og langvarig utvandring og at det ikke slippes unødig mye vann i år med korte utvandningsperioder. Vi vil senere vise med modellsimuleringer (se **kapittel 6**) at denne slippstrategien gir en gevinst i form av høyere andel smolt forbi i år med tidlig og langvarig utvandring, gir like godt resultat i år med sen og intens utvandring og har i gjennomsnitt samme tap i kraftproduksjon som faste slipp på tre uker hvert år.

Til forskjell fra dagens reglement, som angir slipp avhengig av vannføringen inn i Manflåvann, er vårt forslag basert på maksimal kraftverksdrift (vannføring inn i kraftverket) ved ulike vannføringsnivå. I dagens reglement er det vannslippkrav som ikke er forenelig med begrensninger i kraftverksdriften og Agder Energi Vannkraft vurderer et reglement basert på maksimum kraftverksdrift som enklere å operere. Kraftverket kan ikke driftes på en god måte med vannføringer under 18 m<sup>3</sup>/s, og i vårt forslag skal kraftverket ikke driftes når vannføringen inn i Manflåvann er under 30 m<sup>3</sup>/s i smoltperioden. Vårt forslag til maksimal vannføring inn i kraftverket ved ulike vannføringer i elva er som følger:

Tilslig kraftverk (m <sup>3</sup> /s)	Kraftverk (m <sup>3</sup> /s)	% smolt forbi
10 til 29	0	100
30 til 35	18	79
36-45	20	81
46-55	25	79
56-90	30	81
91-110	40	80
111-125	45	80
126-140	50	79
141-155	55	78
156-180	60	79
181-195	70	75
196-215	75	75
>215	85	78

Forslaget ble basert på prediksjoner fra den utviklede modellen for utvandningsrute som forutsier andel av smolten som vandrer forbi inntaket og gjennom dammen ved ulike vannføringer og andeler av vannet som slippes forbi (**kapittel 4.2.1**). Vi hadde som mål at maksimal kraftverksdrift skulle sikre at minst 75 % av smolten vandret rett vei. En test av en tidligere utgave av modellen for utvandningsrute i 2013 viste at andelen av den radiomerkede fisken som vandret rett vei var noe høyere enn modellen predikerte dette året (Økland mfl. 2014). I forskningssenteret HydroCen arbeides det nå med ulike ledeordninger for nedvandrende fisk. Analyser av det omfattende sporingsforsøket i 2015 (se **kapittel 4.2.1**) viste at sannsynligheten for å vandre rett vei var mye høyere for smolt som ankom inntaksområdet for kraftverket på vestsida (motsatt side av kraftverksinntaket) enn smolt som kom inn på østsida. Vi foreslår derfor at det arbeides videre med ledegjerder som leder smolten over mot vestsida, og at dette skal bidra i tillegg til vannslippene til å nå målet om at minst 90 % av smolten passerer kraftverksinntaket. Dersom ledegjerdene viser seg å ha svært god effekt, kan dette eventuelt være et grunnlag for å endre slippstrategien.

Vi vil senere vise med modellsimuleringer (se **kapittel 6**) at vårt forslag til slippstrategi i gjennomsnitt for årene 2006 til 2018 øker andelen smolt forbi kraftverket med 7 prosentpoeng sammenlignet med dagens reglement og nesten 10 poeng sammenlignet med de faktiske slippene som har vært gjort disse årene.

### 5.3.4 Sommervannføring

Sommervannføringen er foreslått til 12 m<sup>3</sup>/s og varer fra smoltperiodens slutt til 31. august, som er slutten på ordinær fiskesesong i Norge (se nedenfor). Formålet med slippene om sommeren er å sikre oppvandringen av gytefisk til og forbi området og produksjon av laks- og auresmolt på strekningen. Det er vannføringsforhold for fiskeproduksjon på strekningen som er styrende for vårt forslag og vi starter med begrunnelsen for denne.

Vanndekt areal definerer de ytre rammene for fiskeproduksjon ved at det definerer ungfiskens maksimale leveområde. Innenfor en gitt vannføring med tilhørende vanndekt areal er det strømningsforhold, gradient og topografi (som samlet gir habitattyper [mesohabitat] som stryk, glattstryk, grunnområder og kulper) og substratsammensetning som bestemmer strekningens areal-spesifikke produksjonskapasitet (se Forseth & Harby 2013). En høyproduktiv strekning har tilstrekkelig med gytesubstrat jevnt fordelt over strekningen, mye skjulmuligheter i form av hulrom mellom steinene (eller vannvegetasjon og døde trær) og en veksling mellom stryk, kulper og grunnområder. Innenfor vannføringsnivå som i liten grad påvirker sammensetningen av habitat-typer og dersom bunnforholdene ikke endrer seg mye på tvers av elvesenga (for eksempel at det er mer skjul langs elvebredden enn lengre ute) er det tilnærmet en direkte sammenheng mellom vanndekt areal og fiskeproduksjon. Under slike betingelser vil en økning i vanndekt areal på for eksempel 20 % gi en økning i fiskeproduksjon på 20 %. Imidlertid varierer vanndekt areal med vannføringen og vanndekt areal ved laveste ukemiddel sommervannføring ansees som dimensjonerende for fiskeproduksjonen (Forseth & Harby 2013).

Etter tiltakene har minstevannstrekningen en fin veksling mellom ulike typer stryk, kulper og grunnområder, det er godt med gyteareal fordelt over hele strekningen fra Dam Manflå til Kleveland bru, skjultilgangen har økt og strekningen er samlet vurdert som moderat produktiv (se **kapittel 7.1.1**). Kartleggingen av skjul- og substratforhold i hele elvesenga tilsier ikke at det er vesentlige endringer i habitatforhold på tvers av elvesenga, og det er bra med skjul både langs land og ute i de dypere områdene. Kartlegging av gyteområder både før og etter tiltak tilsier heller ikke at det er nye gyteområder som blir tilgjengelige på høye vannføringer. Kartlegging og modellering (Fjeldstad mfl. 2014) av mesohabitatforhold på strekningen viser at det er relativt små endringer i habitattyper innenfor aktuelle vannføringsnivå på strekningen (mellom 10 og 20 m<sup>3</sup>/s). Strekningens gradient og topografi innebærer at det blir vekslinger mellom ulike stryk, kulper og grunnområder også når vannføringen blir relativt lav. Deler av noen strykpartier blir typisk grunnområder eller kulper når vannføringen og vannhastighetene synker. Oppsummert er det vår vurdering at innenfor relevante vannføringsnivå er det laveste vanndekte arealet som i hovedsak bestemmer produksjonskapasiteten for laks og ørret på strekningen, men at vannføringen må sikre en gunstig sammensetning av habitattyper.

I henhold til modellen (**figur 5.4**) øker vanndekt areal mye med vannføring opp til ca. 5 m<sup>3</sup>/s mens elvesenga er tilnærmet full og øker lite for vannføringer over ca. 10 m<sup>3</sup>/s. Det er usikkerheter knyttet til modellen (få datapunkter og to av de med større usikkerhet), men ser vi på vanndekt areal beregnet i den hydrauliske modellen øker dette med bare ca. 12 % fra 6 til 15 m<sup>3</sup>/s. Mye av elvearealet er altså realisert med en minste sommervannføring i overkant av 10 m<sup>3</sup>/s. Vårt forslag med et slipp på 12 m<sup>3</sup>/s tar hensyn til usikkerhet i arealberegningene, bidrar til å sikre en gunstig sammensetning av habitattyper samt at vi har tatt hensyn til vandring og fiskemuligheter (se nedenfor).

Videoovervåkingen av oppvandrende gytefisk forbi Dam Manflå for årene 2011 til 2016 viser en uvanlig jevn oppvandring gjennom vandringssesongen (se **kapittel 4.1**). Det passerer fisk nesten alle dager i sesongen og passeringene ser ut til å gjenspeile oppvandringen av gytefisk i vassdraget, men også påvirket av mulighetene for å passere Haugefossen lengre ned i elva. Oppvandringsmønsteret var ikke vesentlig forskjellig mellom årene 2011 og 2012, under det gamle manøvreringsreglementet, og årene etter med nytt reglement og betydelig større vannføring om sommeren. De relativt få radiomerkede fiskene som passerte strekningen i forsøkene i 2014 og 2015 vandret raskt og hadde bare vandringssjakk av betydning nedenfor betongterskelen på Kleveland, som ble fjernet våren 2016. I 2014 var det bare en av ti radiomerkede laks som

passerte utløpet av kraftverket under fredagsstansen, men denne fisken var også den eneste som ankom utløpet under en stans. Samlet sett tilsa ikke radiomerkeforsøkene at fredagsstansen har betydning for vandringen inn i minstevannstrekingen under dagens vannføringsforhold. Analyser av oppvandringsdata fra Dam Manflå viste ingen statistiske sammenhenger mellom antall oppvandrende fisk og vannføringsforhold på strekingen eller fordelingen av vannføring mellom minstevannstrekingen og kraftverket (**kapittel 4.1**), selv om serien også inneholder to år med minstevannføring på 3 m<sup>3</sup>/s i oppvandrings sesongen. Dette betyr selvsagt ikke at oppvandring til og gjennom minstevannstrekingen er uavhengig av vannføringen, men at vannføringsforhold innenfor relevante intervaller gir gode vandringsmuligheter.

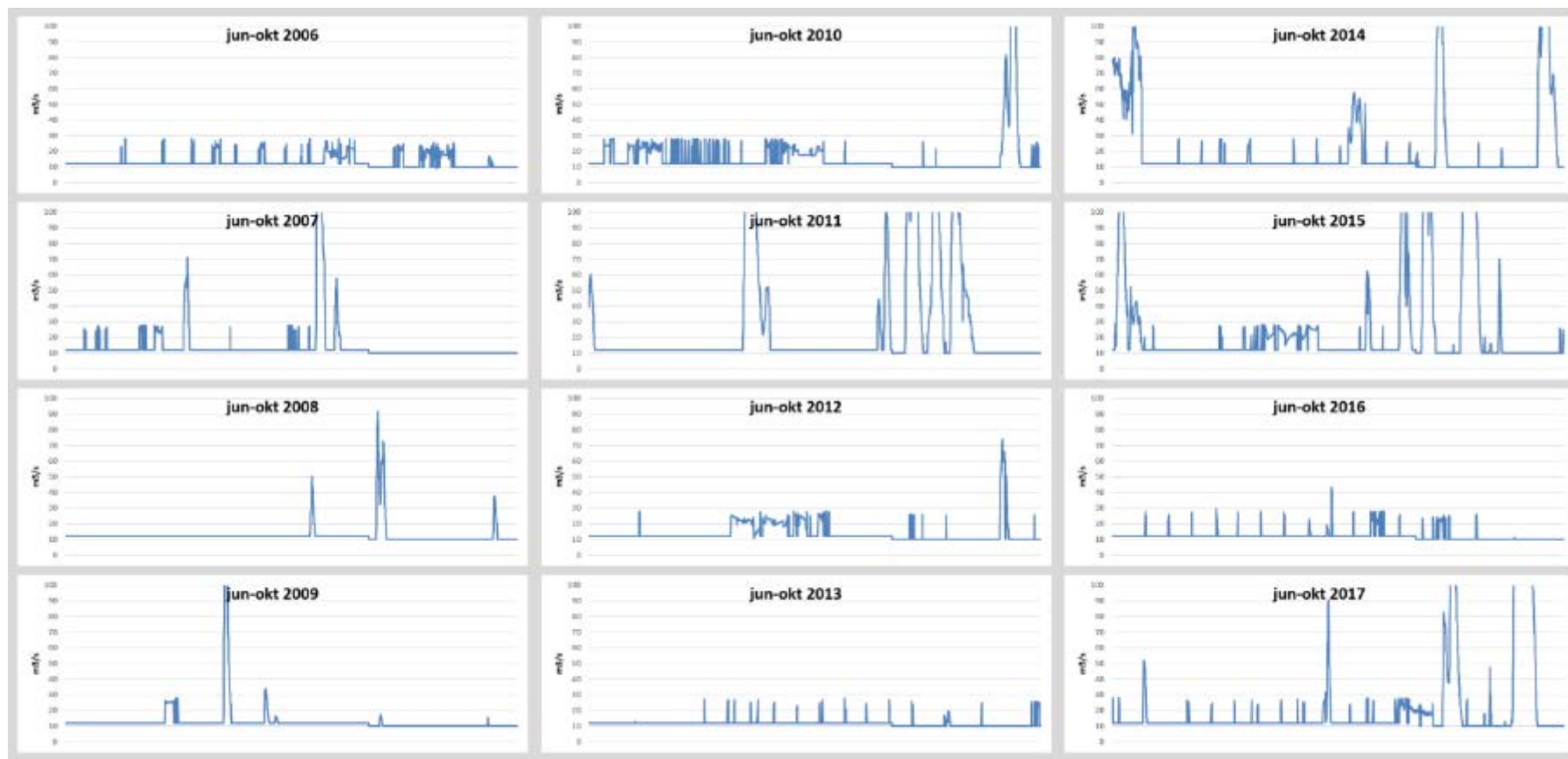
En samlet vurdering av alle data for oppvandring til og gjennom minstevannstrekinger tilsier etter vår vurdering at en sommervannføring på 12 m<sup>3</sup>/s vil sikre gode vandringsforhold på strekingen. Denne konklusjonen understøttes av at tiltakene på strekingen også bidrar til å lette oppvandringen. Videre kan vi ikke se at det er behov for å stanse kraftverket en gang i uka for at fisken skal finne minstevannløpet. Det er sannsynlig at fjerning av terskelen helt nederst i strekingen i 2018 og de tiltakene som ble gjort nedstrøms også vil bidra til at oppvandrende fisk lettere vil finne vannstrømmen fra minstevannstrekingen. Det er nå en mer markant strøm ned mot utløpet av kraftverket.

Det ble åpnet for ordinært fiske på strekingen i 2017, og de rapporterte fangstene ble høye (267 laks med en samlet vekt på 1093 kg; fangstrapport fra Scanatura). Vannføringen i løpet av fiskesesongen varierte fra 13,3 til 155 m<sup>3</sup>/s, og medianvannføringen var i overkant av 19 m<sup>3</sup>/s. Det ble fanget 114 laks (43 % av totalfangsten) på vannføringer under 20 m<sup>3</sup>/s og det var ingen sammenheng mellom daglig fangst og vannføring blant disse, eller i totalmaterialet. De daglige fangstene på vannføringer under 20 m<sup>3</sup>/s varierte fra 0 til 5 laks (med unntak av to dager med 7 og 9 laks på vannføringer i overkant av 17 m<sup>3</sup>/s), og på de fem fiskedagene med vannføringer mellom 13,3 og 14 m<sup>3</sup>/s var det en dag uten fangst, en dag med en laks fanget, to dager med to laks og en dag med tre laks fanget. I 2018 økte fangstene av laks i hele vassdraget (fra 10,4 til nesten 11,5 tonn) og fangstene på strekingen økte til 371 laks med en samlet vekt på 1423 kg. Vannføringen i løpet av fiskesesongen var gjennomgående noe lavere enn i 2017 med en variasjon fra 12,3 til 245 m<sup>3</sup>/s (lavere minimum og høyere maksimum) og en medianvannføring på 16,5 m<sup>3</sup>/s. Nesten halvparten av fangstene ble gjort på vannføringer under 20 m<sup>3</sup>/s (som også var de hyppigst forekommende vannføringene; 69 % av fiskedagene) og 16 % på de laveste vannføringene mellom 12,3 og 15 m<sup>3</sup>/s, som var vannføringen i 15 % av fiskedagene. Det var vannføringer over 20 m<sup>3</sup>/s i 20 % av fiskedagene og 37 % av fisken ble fanget under slike forhold. Det er altså en viss overrepresentasjon av fangster på høye høyvannføringer, men denne var ikke stor og er trolig et like vanlig mønster i uregulerte elver.

Gjennomgangen av fangstene fra 2017 og 2018 viser at streking er godt fiskbar på 13-14 m<sup>3</sup>/s. Egne befaringer og vurderinger (Fjeldstad, befaring 18. oktober 2017) tilsier at strekingen også er godt fiskbar på 12 m<sup>3</sup>/s. Det vil selvsagt være deler av strekingen som blir mindre fiskbar på de laveste vannføringene (men kanskje også deler som blir mer fiskbare), men fordi fiskeutøvelse er et lavere prioritert mål med vannslippene enn vandring og fiskeproduksjon er det vår vurdering at en sommervannføring på 12 m<sup>3</sup>/s er tilstrekkelig også for fiskehensyn. Produksjonssimuleringer utført av Agder Energi Vannkraft med en minstevannføring på 12 m<sup>3</sup>/s basert på de historiske tilsigsseriene for årene 2006-2017 viser at det alle år vil bli perioder med vesentlig høyere vannføringer enn 12 m<sup>3</sup>/s i fiskesesongen (**figur 5.6**). Dette oppstår når tilsiget overskrider summen av slukekapasiteten i kraftverket og slippkravet.

Vårt forslag til minstevannføring på 12 m<sup>3</sup>/s fra smoltperiodens slutt til 31. august er i hovedsak satt ut fra å sikre fiskeproduksjonen (vanndekt areal og variert sammensetning av habitatklasser), men økt noe for å sikre oppvandring og fiskemulighetene på strekingen. Begrunnelsen for periodens varighet er dels at dette er den viktigste perioden for fiskeproduksjon og dels at den dekker ordinær fiskesesong i Norge. Det er i de 4-6 ukene etter at temperaturen har kommet over ca. 7 °C og etter at årsyngelen har kommet opp av grusen, at parr og yngel spiser mest og fullfører det meste av sommerens vekst (Forseth, Letcher & Johansen 2011). Den ytre rammen

for fisketid i laksefisket i vassdrag i Norge er fra 1. juni til 31. august. Denne kan avvikes dersom spesielle forhold tilsier det (for eksempel spesielt tidlig eller sen oppvandring til hele eller deler av vassdraget). I Mandalselva har sesongen vært utvidet etter midtsesongevalueringer (som tilsa at gytebestandsmålet blir nådd med god margin) til 15/9 alle år fra 2014 og fram til og med 2018. Utvidelsen er en opsjon som realiseres bare dersom det kommer nok gytefisk. Før 2014 var det bare strekningene oppstrøms Manflåvann som hadde denne utvidede sesongen. Vi forholder oss i forslaget til ordinær fiskesesong i Norge og Mandalselva.



**Figur 5.6.** Simulerte vannføringer i minstevannstrekingen ved Laudal gjennom somrene (1. juni – 15 oktober) 2006-2017 basert på tilsigsseriene og en minstevannføring på 12 m<sup>3</sup>/s om sommeren og 10 m<sup>3</sup>/s på sensommeren. Grunnlinjene er minstevannføringene og toppene er vannføringen når det slippes mer enn kravet. Simuleringene er gjennomført av Agder Energi Vannkraft.

### 5.3.5 Høstvannføring

Høstvannføringen er foreslått til 10 m<sup>3</sup>/s og varer fra 1. september og fram til 20. oktober, som vi anser som starten på gyteperioden (basert på lokale observasjoner fra vassdraget og stryketidspunkt i klekkeriet). Hovedformålet med disse vannslippene er å gi gode oppvandringsforhold for sent ankomende gytefisk, samt at vannføringen blir en nedtrapping til gytevannføringen (se **kapittel 5.3.6**). Det er et generelt mønster at det aller meste av veksten både til yngel og parr er fullført (trolig i størrelsesorden 90 % av veksten) før høsten starter (Forseth, Letcher & Johansen 2011). Det er derfor lite sannsynlig at lavere høst- enn sommervannføring vil representere en flaskehals for fiskeproduksjonen på strekningen.

Ser vi samlet på alle de sju åra med fulldekkene oppvandringsdata fra video i Dam Manflå (2011-2016) var det 16 % av laksen som passerte i løpet av september. Det var imidlertid stor variasjon i denne andelen mellom år, og i 2015 passerte halvparten av laksen i løpet av september. Videoregistreringene avsluttes normalt 1. oktober, og med unntak av i 2015 passerte det lite eller ingen laks de siste dagene, noe som tyder på at oppvandring i all hovedsak er over innen utgangen av september. Overvåkingen viser derfor at også september er en relativt viktig oppvandringstid og det er viktig å sikre gode oppvandringsforhold. Vannføringen inn til Manflåvann er normalt fortsatt relativt lave i denne perioden og det er rimelig å anta at fisken finner veien inn i minstevannføringsstrekningen også på 10 m<sup>3</sup>/s.

### 5.3.6 Gytevannføring

Gytevannføringen er foreslått til 6 m<sup>3</sup>/s og varer fra 20 oktober og fram til 1. desember, en periode som vi antar dekker hele gyteperioden både for laks og sjøaure. Det er to forhold som er avveid i valget av vannføringsnivå for gyteperioden. For det første må det være tilstrekkelig vannføring til at vannhastighetene på gyteområdene blir høye nok til at fisken vil gyte. For det andre må endringen mellom vannføringen under gytinga og den etterfølgende vintervannføringen være så liten at den reduserer mulighetene for at fisk gyter på områder som tørlegges i løpet av vinteren. Kartleggingen av potensielle og realiserte gyteområder før tiltakene (Fjeldstad mfl. 2014) og overvåkingen av gytegroper våren 2017 og 2018, etter at tiltakene var gjennomført, gir godt grunnlag for å vurdere disse forholdene. Gyteområdene som ble kartlagt før tiltakene lå generelt dypt, og selv om terskelfjerningen reduserte vanndypet i store deler av strekningen (reduert vanndyp og økte vannhastigheter var viktige formål) viste kartleggingen av gytegroper at gyteområdene fortsatt er sikre mot tørlegging. Registreringene våren 2017 og 2018 ble gjennomført med dagens vintervannføring på 6 m<sup>3</sup>/s og registrerte resultatene av gyting høsten 2016 og 2017 som både kan ha foregått på 6 m<sup>3</sup>/s eller på høyere flomvannføringer (slik det typisk er og blir i perioden). Alle de på forhånd kartlagte gyteområdene ble benyttet, samt at det var gyteaktivitet i noen mindre områder som ikke ble identifisert før tiltakene. Sammen med vurderingen av gyteforholdene på ca. 6 m<sup>3</sup>/s om våren tyder dette på at vannhastighetene på gyteområdene i strekningen er tilstrekkelig til at de benyttes til gyting. Registreringen av vanndyp over gropene og gravedyp (se **kapittel 5.3.2**) viser at det ikke er fare for tørlegging av gytegroper når vannføringen reduseres fra 6 m<sup>3</sup>/s i gytetida til 5 m<sup>3</sup>/s den etterfølgende vinteren. En gytevannføring på 6 m<sup>3</sup>/s framstår derfor som en god avveining mellom gytefiskens krav til miljøforhold på gyteplassene og avkommets krav i gytegrope fram til klekking.

## 5.4 Miljøtilpasset kraftverksdrift Laudal

Det er et mål at driften av Laudal kraftverk i minst mulig grad skal forårsake stranding og dødelighet hos laks- og sjøørretunger. Det er ikke kjent i hvilken grad stranding er et problem i dag, men det har fra lokalt hold vært rapportert om episoder med raske vannstandsreduksjoner og stranding. Vi har derfor tatt som utgangspunkt at slike episoder forekommer, og i stedet for å kartlegge problemets omfang har vi fokusert på å utarbeide forslag til driftsrutiner som sikrer at disse kan reduseres til et minimum. For å utvikle forslag til slik miljøtilpasset kraftverksdrift må vi kjenne driftsforutsetningene for kraftverket, vi må ha kunnskap om hvor fort vannstanden i elva endrer seg med endringer i driftsvannføring og innenfor hvilke vannføringsintervaller reduksjoner i kraftverksdrift gir store områder som tørlegges (Bakken mfl. 2016).

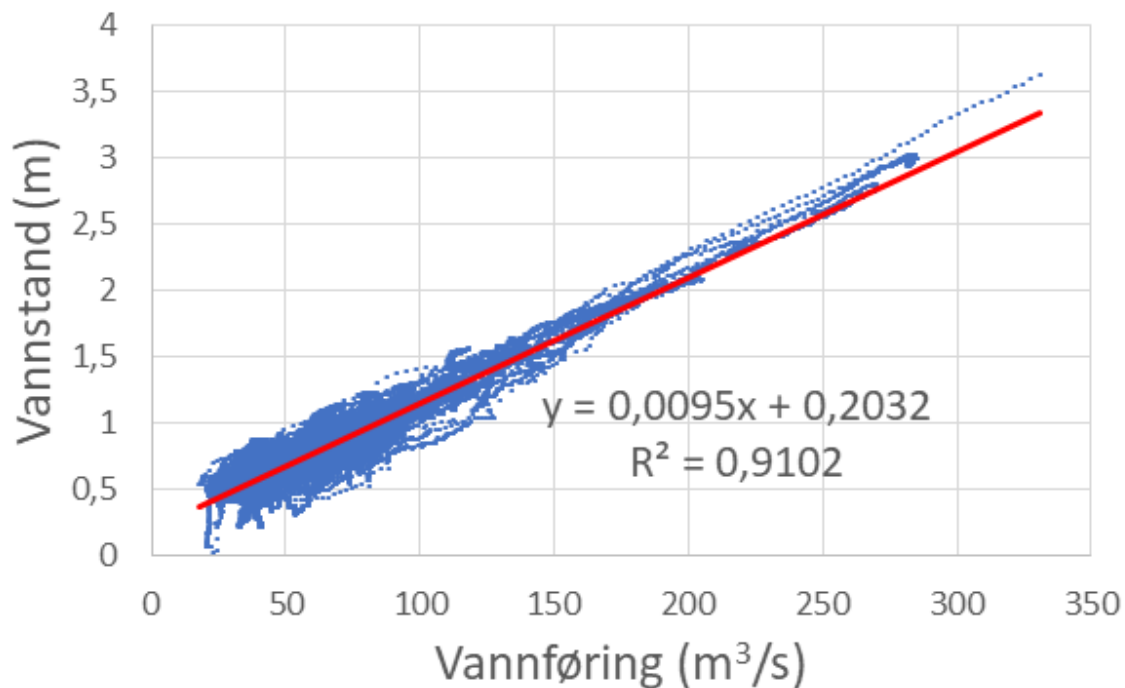
Laudal kraftverk har to like turbiner med en samlet slukekapasitet på 110 m<sup>3</sup>/s. En god virkningsgrad på turbinene oppnås innen vannføringsintervallet mellom 30 og 50 m<sup>3</sup>/s for begge aggregatene (60-100 m<sup>3</sup>/s totalt når begge er i drift). Driftsteknisk er det ikke tilrådelig å kjøre turbinene med en driftsvannføring under 20 m<sup>3</sup>/s, som gir dårlig virkningsgrad og marginal kraftproduksjon. Driftsvannføring under 20 m<sup>3</sup>/s inntreffer derfor bare unntaksvis. Turbinene kan kjøres på tomgang, og da passerer det i overkant av 10 m<sup>3</sup>/s gjennom hver turbin, uten at det produseres kraft. Vannslipp gjennom Dam Manflå sørger både for vannføring på strekningen ned til utløp Laudal kraftverk, og for vannføring i elva nedstrøms utløpet dersom det oppstår ikke planlagte stans i Laudal kraftverk. Vannet bruker imidlertid flere timer på å nå ned til utløpet av kraftverket.

For å skaffe kunnskap om sammenhengen mellom vannføring og vannstand på utsatte områder ble det i perioden 19. januar til 1. oktober 2017 satt ut fire vannstandsloggere nedenfor Laudal kraftverk. Den øverste loggeren var plassert ved brua ved Fuglestveit, mens de andre befant seg på Finså, Holmesland og Bringsland. Stasjonene ble valgt ut i samarbeid med lokalkjente som identifiserte områder som potensielt var spesielt strandingsutsatte for ungfisk. Dessverre ble de tre nederste loggerne ødelagt av den store flommen (den største siden 1800-tallet) i oktober 2017. Den øverste loggeren, ved Fuglestveit, ga imidlertid gode data. Fordi denne lå nærmest utløpet av Laudal kraftverk (ca. 2,5 km nedstrøms) representerer den de raskeste endringene i vannføring som følge av driften i Laudal kraftverk (bølgen dempes nedstrøms). Loggingen av vannstand på Fuglestveit viste at vannstandsendringen var tilnærmet lineært avhengig av vannføringsendringen innenfor det dominerende vannføringsområdet (mellom 30 og 120 m<sup>3</sup>/s), slik at det blir en vertikal vannstandsendring på ca. 1 cm per m<sup>3</sup>/s ut fra Laudal kraftverk (**figur 5.7** og **tabell 5.1**).

**Tabell 5.1.** Eksempel på målt vannstand ved Fuglestveit ved lav, moderat og høy vannføring nedstrøms Laudal kraftverk.

Vannstand ved Fuglestveit (m)	Vannføring umiddelbart nedstrøms Laudal kraftverk (m <sup>3</sup> /s)
0,41	34
0,78	63
1,29	118



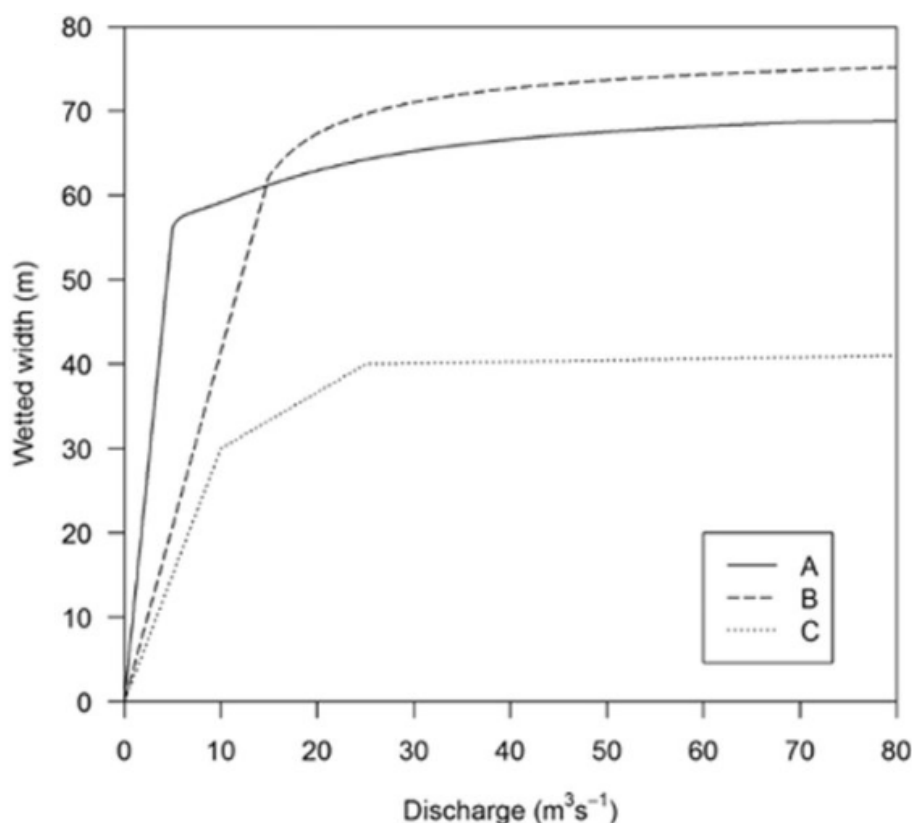


**Figur 5.7.** Sammenhengen mellom vannstand (m) og vannføring (m<sup>3</sup>/s) ved Fuglestveit, basert på vannstandslogging i perioden 19. januar til 1. oktober 2017. Linja er en lineær regresjon.

For å beregne tørrlagt areal ved ulike reduksjoner i vannføring trengs en sammenheng mellom vannføring og vanndekt areal for elvestrekningen. Vi har ikke hatt ressurser til å utvikle en slik sammenheng for den lange elvestrekning nedstrøms utløpet av Laudal kraftverk. Imidlertid har Bustos mfl. (2017) basert på et begrenset antall målte elvetverrsnitt og vurderinger av ortofoto tatt på ulike vannføringer i Mandalselva nedstrøms Mannflåvatn konkludert med at elva på strekningen kunne beskrives med tre representative tverrsnittformer (sammenhenger mellom vannføring og vanndekt bredde på elva, **figur 5.8**). Alle tre formene har små endringer i vanndekt bredde ned til ca. 30 m<sup>3</sup>/s, mens det blir større endringer for vannføringer under ca. 20 m<sup>3</sup>/s. Fra området ved Fuglestveit, der vi logget vannstand, tok vi tre tverrsnittmålinger av vanndekt bredde (A-C) fra flyfoto på vannføringene 23, 35 og 109 m<sup>3</sup>/s. Disse målingene bekrefter den generelle mønstret med små endringer fra vannføringer på 109 til 35 m<sup>3</sup>/s og større fra 35 til 23 m<sup>3</sup>/s (**tabell 5.2**), i et område der vannstandsendingene skjer spesielt fort og som ble identifisert som spesielt strandingsutsatt.

**Tabell 5.2.** Måling av vanndekt bredde på tre vannføringer fra flyfoto (Norge i bilder) på tre tverrsnitt ved Fuglestveit der det var markante tørrlagte arealer ved lav vannføring.

Vannføring (m <sup>3</sup> /s)	Bredde tverrsnitt C (m)	Bredde tverrsnitt B (m)	Bredde tverrsnitt A (m)
23	82	84	31
35	95	86	39
109	108	112	48



**Figur 5.8.** Tre typiske tverrsnittformer (A-C) for sammenhengen mellom vannføring (Discharge) og vanndekt bredde (wetted width) for Mandalselva på strekningen nedstrøms utløpet av Laudal kraftverk. Fra Bustos mfl. (2017).

Oppsummert viste analysene at det i hovedsak er vannføringer under 20 m<sup>3</sup>/s som gir særlig tørrlagte arealer langs elvebreddene og at drift på høyere vannføringer i mindre grad gir strandingsfare eller andre negative effekter for ungfisken på strekningen. Med mål om å redusere stranding og andre negative effekter av ordinær drift av kraftverket foreslår vi følgende driftsstrategi:

Vannføringsreduksjon fra utløpet av Ludal kraftverk	Tiltak i Laudal kraftverk
110-90 m <sup>3</sup> /s	Ingen restriksjoner
90-50 m <sup>3</sup> /s	Opp- og nedtappinger på mer enn 10-15 m <sup>3</sup> /s pr. time bør begrenses i de seks ukene etter at vanntemperaturen har passert 6° C om våren. Reduksjon bør skje med maksimalt 10 m <sup>3</sup> /s pr. time.
Fra 50 til 30 m <sup>3</sup> /s	Reduksjon bør ta minst 2 timer
Fra 30 til 20 m <sup>3</sup> /s	Reduksjon bør ta minst 2 timer
Vannstandsreduksjoner under 20 m <sup>3</sup> /s	Bør unngås.

Restriksjonen knyttet til opp- og nedtapping tidlig på sommeren (rad to i tabellen) ble lagt inn for å redusere negative effekter av vannstandsendringer på fiskens energiforbruk (Bakken, Forseth & Harby 2016) i den særlig viktige vekstperioden på forsommeren.

I tillegg til ordinære driftssituasjoner (opp- og nedregulering av kraftproduksjonen) kan også nødvendige stans av kraftverket og ulike typer utfall gi stranding. For Laudal kraftverk er dette spesielt en aktuell problemstilling i vinterhalvåret når minstevannføringen på strekningen Dam Manflå til utløpet nå er 6 m<sup>3</sup>/s og foreslått til 5 m<sup>3</sup>/s (se **kapittel 5.3.2**). Slipp fra Dam Manflå bruker

flere timer til å nå ned til utløpet ved Laudal, og man risikerer hurtig tørrlegging av leveområdene til fisken nedstrøms kraftverket. Ved planlagte stans er det viktig at det er rutiner som sikrer at overgangen mellom kraftversdrift og slipp over dammen gjøres slik at vannstandsendingene blir så små som mulig nedstrøms kraftverket. For å sikre vannføringen nedstrøms kraftverket ved utfall anbefaler vi at det utarbeides rutiner for tomgangskjøring av kraftverket. Disse kan sikre opp til 20 m<sup>3</sup>/s vannføring gjennom kraftverket.

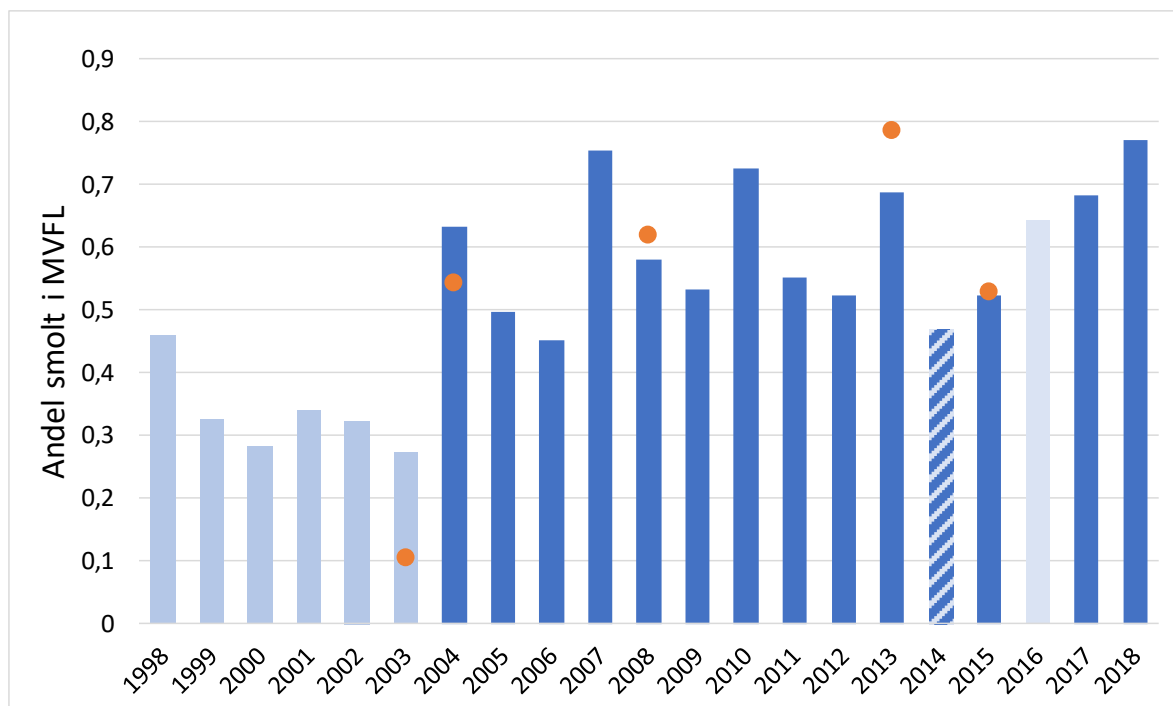
## 6 Evaluering av dagens manøvreringsreglement for Laudal kraftverk

Dagens manøvreringsreglement er gitt og begrunnet i Kongelig resolusjon (sak 10/00403) basert på innstilling fra NVE av 4. mars 2010. I reglementet åpnes det for at reglementet kan endres etter fem år. Her vurderer vi kort dagens reglement opp mot ny kunnskap som er framskaffet gjennom miljødesignprosjektet og andre undersøkelser som er gjennomført etter at reglementet ble gitt (i 2013). Vi baserer oss på begrunnelsene for de ulike vannslippene i Kongelig resolusjon.

### 6.1 Smoltutvandring

I dagens reglement sikres smoltutvandringen gjennom 14 dager med slipp av tilnærmet halvparten av tilsiget forbi Laudal kraftverk. Slipperioden starter syv dager etter en markant økning i fangstene i smoltfella i Hesså, men senest 20. mai. Reglementet forutsetter altså årlig drift av fella ved Hesså. Telemetristudier fra 2013 og 2015 bekrefter at en høy andel av smolten vandrer forbi kraftverket når tilnærmet halvparten av vannet slippes forbi. Imidlertid kan varigheten av smoltvandringen være en utfordring. Samlet tilsier overvåkingen av smoltutvandringen i fella i Hesså, video i Dam Mannflå og de gjennomførte telemetriundersøkelsene (se **kapittel 4.2**) at smoltutvandringsperioden generelt varer lengre enn de 14 dagene som lå til grunn da reglementet ble utformet (median 21 dager). Noen år starter utvandringen tidlig og utvandringsperioden blir lang, mens andre år er utvandringen sen og intens.

Basert på observasjoner og modellverktøy for utvandringstidspunkt og forløp (**ligning 4.4**) og den utviklede modellen for rutevalg (**ligning 4.4**) har vi estimert andelen av smolten som vandret forbi for årene 1998 til 2018. Denne serien inneholder seks år uten noen tiltak (fram t.o.m. 2003), perioden 2004-2008 med to eksperimentelle vannslipp, perioden 2009-2013 med frivillige slipp i henhold til utviklet rutevalgmodell og slipp i henhold til det nye reglementet for årene 2014-18. Gjennomgangen viser en markant bedring i andelen smolt som vandret forbi etter at større vannslipp ble introdusert i det første forsøket i 2004 (**figur 6.1**). Telemetrieforsøket som ble gjennomført i 2003 uten ekstra slipp ga en lavere andel forbi enn modellverktøyet tilsier. Det er grunn til å anta at prediksjonsmodellen ikke forutsier vandringsvei på så lave slipp (3 m<sup>3</sup>/s, pluss eventuelle perioder med overløp) på en god måte og at forskjellen mellom perioden før og etter tiltak er større enn figuren antyder. Gjennomsnittet av estimatene før tiltak var på 33 %. I årene etter 2004 var det en generell svak økningen i andelen smolt som vandret forbi kraftverket, men med betydelig variasjon mellom år (fra ca. 49 til 75 %). Det ble i perioden forsøkt med målrettede slipp om natta og det var generelt relativt stor variasjon i slippregime mellom år. I gjennomsnitt vandret 58 % av smolten forbi kraftverksinntaket i perioden 2004-2013. I 2013, det siste året med frivillige slipp styrt av modellverktøy, viste telemetrieforsøket at 78 % av den merkede smolten passerte forbi kraftverksinntaket, noe som var høyere enn modellprediksjonen (69 %). Det er mulig at lensa som var installert foran inntaket og strobelys ved inntaket bidro til at færre smolt vandret inn en det modellen tilsier.



**Figur 6.1.** Andel smolt som passerte forbi Laudal kraftverk (i minstevannløpet, MVFL) for årene 1998-2018 (søylene) basert på utviklede utvandningsmodeller (lyse søyler) eller felledata (mørke søyler) og rutevalgmodeller. Søylen for 2014 er skravert fordi smoltfella ikke ble driftet hele sesongen, og resultatet er spesielt usikkert. De oransje sirklene angir andelen merket smolt forbi kraftverket i telemetrisforsk.

Andelen smolt som passerte forbi kraftverksinntaket ble estimert til å være relativt lave de to første åra (2014 og 2015) med det nye reglementet. Estimater for 2014 er usikkert på grunn av usikker utvandningsperiode fordi smolthjulet brøt sammen 20. mai. Telemetristudiene i 2015 viste at 53 % av den merkede smolten passerte kraftverksinntaket og vandret over dammen, noe som er nær identisk med estimatet fra modellverktøyet (**figur 6.1**). En viktig årsak til at en lav andel av smolten trolig passerte inntaket i disse to åra er varigheten av utvandringen. Utvandningsperioden i 2015 var blant de tre lengste i dataserien (se **figur 4.6** og **tabell 4.2**), med 28 dager mellom 10 og 90 % utvandring i felle ved Hesså. Selv om vi mangler hele utvandningsforløpet i 2014 antyder startdatoen (25. april) en normal til lang varighet, trolig opp mot 25 dager (se **figur 4.6**). Det er derfor sannsynlig at kort slipperperiode i gjeldende reglement gjorde at relativt mye smolt vandret inn i kraftverket disse to åra. Andelen smolt forbi kraftverket ble høyere i 2016 (et mer usikkert estimat på grunn av at smoltfella ikke var operativ) og økte ytterligere til 68 % i 2017 og 77 % i 2018. Utvandningsperioden var trolig normal i 2016 (i overkant av 20 dager) og blant de korteste i tidsserien i 2017 (15 dager) og 2018 (16 dager). I gjennomsnitt kan 62 % av smolten ha vandret forbi kraftverksinntaket i de fem åra med gjeldende reglement, noe som ikke er signifikant forskjellig fra perioden med frivillige slipp (Welch  $t$ -test:  $p=0,99$ ). Alle de tre periodene etter tiltakene hadde signifikant høyere andel smolt forbi enn årene 1998-2003, uten tiltak ( $p<0,01$ ).

Varigheten av smoltslippet ser altså ut til å være hovedutfordringen med det gjeldende reglementet, og hvor godt reglementet vil virke over tid er avhengig av hvor ofte slipperperioden blir for kort i forhold til utvandningsperiodens varighet. For å se nærmere på dette har vi gjort en modellmessig sammenligning av dagens reglement og vårt forslag til smoltslipp (se **kapittel 5.3.3**) for de 13 åra mellom 2006 og 2018. Basert på en kombinasjon av observerte (fra smoltfella) og estimerte (fra modellen i **ligning 4.2** i **kapittel 4.2.2**) startdatoer for smoltslipp (med fem døgn forsinkelse) gjennomførte Agder Energi Vannkraft en kraftproduksjonssimulering under både dagens reglement og med vårt forslag med 15, via 21 til 28 dager slipp. Simuleringene produserte vannføringsserier inn i kraftverket og slipp forbi, og vi brukte deretter smoltrutemodellen (**ligning**

**4.4 i kapittel 4.2.2)** på samme måte som ovenfor til å estimere andel smolt forbi kraftverksinntaket under de to slippregimene.

Dagens reglement ga i gjennomsnitt 64 % av smolten forbi kraftverket, mens vårt forslag ga et gjennomsnitt på 71 % forbi kraftverket for årene 2006 til 2018.

## 6.2 Minstevannføringer

Vintervannføringen i dagens reglement ble satt ut fra alminnelig lavvannføring som av NVE ble vurdert til å kunne sikre tilnærmet normal smoltproduksjon på strekningen. Alminnelig lavvannføring er et rent hydrologisk mål som ofte har blitt brukt til å fastsette minstevannføringer om vinteren i regulerte vassdraget, men som ikke egentlig tar hensyn til de fysiske forholdene i elvestrekningene. I miljødesignprosjektet har vi vurdert vanndekt areal som funksjon av vannføring, sammensetning av elveklasser (mesohabitat) inklusive overvintringshabitat, fysiske forhold for gyting (vanddyp, vannhastigheter) og fare for tørrlegging av gytegroper. Basert på disse vurderingene av de faktiske forholdene på strekningen har vi foreslått en noe lavere vintervannføring (5 i stedet for 6 m<sup>3</sup>/s). En nærmere begrunnelse er gitt i **kapittel 5.3.2**. Når det gjelder smoltproduksjon på strekningen er det gjennomført tiltak på strekningen som antas vil doble produksjonen, og effektkartleggingen (se **kapittel 7.1.1**) fram til 2018 viser at produksjonen allerede er på god vei mot dette målet. Etter vår vurdering vil ikke en noe lavere vintervannføring være noe hinder for at en slik gevinst kan realiseres.

Sommervannføringen i dagens reglement varierer fra 8 til 25 m<sup>3</sup>/s avhengig av tilsiget til kraftverket. I tillegg er det en bestemmelse om stopp i kraftverket hver fredag. Minimumsvannføringen (8 m<sup>3</sup>/s, om tilsiget er så stort) ble den samme som i tidligere reglement for strekningen nedstrøms kraftverksutløpet, mens opptrappingsløsningen skulle sikre en medianvannføring på 15-20 m<sup>3</sup>/s om sommeren, noe som med henvisning til erfaringene fra en tilsvarende strekning i Orkla skulle bidra til «en lakseproduksjon opp i mot naturlig nivå». Også for sommervannføringen har vi i miljødesignprosjektet vurdert vanndekt areal som funksjon av vannføring, sammensetning av elveklasser, fysiske forhold for gyting og fare for tørrlegging av gytegroper når vi utformet et mer målrettet (miljødesignet) forslag for vannføringer i sommerhalvåret. Forslaget innebærer en oppsplitting i sommervannføring, høstvannføring og gytevannføring (se **kapittel 5.3.4, 5.3.5 og 5.3.6** for vårt forslag og begrunnelse), hvor nedtrappingen henger sammen med vintervannføringen. Det er lite tvil om at dagens reglement isolert sett har bidratt til bedre produksjonsforhold for laksesmolt på strekningen og også kan ha gitt et bidrag til lettere oppvandring. Fjerning av terskler og andre habitatforbedrende tiltak på strekningen vil imidlertid gi betydelig større effekter i form av økt smoltproduksjon og samtidig lette oppvandringen ytterligere (betongterskelen ved Kleveland bru ble identifisert som et vandringsforsinkende område også med det nye reglementet), noe som bekreftes av gjennomførte undersøkelser i prosjektet (**kapittel 7.1.1 og 4.1**). Etter vår vurdering gir ikke trappetrinnløsningen for vannslipp i dagens reglement noen gevinst for fiskeproduksjonen fordi produksjonen trolig er dimensjonert etter minste vanndekt areal (ved det laveste vannføringsnivået) og fordi de relativt korte periodene med høyere vannføringer neppe gir målbart bedre vekst eller overlevelse for laksunger.

Fredagsstansen i kraftverket ble tatt inn i reglementet for å lette oppvandringen av fisk inn i strekningen (ved utløpet av kraftverket). Dette var identifisert som et problem i de tidlige vandringsstudiene i vassdraget. Telemetristudier og videotellinger av oppvandrende gytefisk ved Dam Manflå i miljødesignprosjektet og fjerningen av den nederste terskelen i 2018, der vannstrømmen fra minstevannstrekningen ble konsentrert mot kraftverksutløpet, tilsier at stans i kraftverket ikke er nødvendig for å sikre god oppvandring inn i strekningen (se **kapittel 4.1**).

Trappetrinnene i sommervannføringen og fredagsstansen i kraftverket innebærer altså vannslipp som reduserer kraftproduksjonen i Laudal kraftverk, uten at det er sannsynlig at de gir gevinst i form av økt smoltproduksjon eller bedre oppvandring.

## 7 Mer laks og mer kraft

Når vi i dette kapitlet bruker begrepet smoltgevinst mener vi antall nye smolt som vi antar blir produsert i tillegg til den smoltproduksjonen som vi antar fant sted før noen tiltak var gjennomført, og som derfor bidrar til å redusere tapet etter byggingen av de to kraftverkene på den lakseførende strekningen. I gevinsten inngår i tillegg redusert smolttap i Laudal kraftverk og redusert tap på grunn av tiltak mot stranding nedstrøms begge kraftverkene. I gevinstberegningene inngår alle tiltak som har blitt gjennomført etter 2003 da arbeidet med tiltak for å bedre forholdene for fisk i Mandalselva startet, samt tiltak som er planlagt gjennomført og beskrevet i denne rapporten. Gevinsten i form av kraftproduksjon vurderes i forhold til produksjonen under gjeldende reglement for Laudal kraftverk og inkluderer kraftproduksjonen i de to kraftverkene (Bjelland og Laudal) på lakseførende strekning.

### 7.1 Smoltgevinst av gjennomførte tiltak

For å kunne beregne gevinster av gjennomførte og planlagte tiltak må vi estimere smoltproduksjonskapasiteten både før og etter tiltakene. Vi bruker begrepet produksjonskapasitet for smolt fordi våre estimater ikke nødvendigvis er den faktiske smoltproduksjonen, men estimater av den produksjonen vi antar de ulike strekningene kan ha ut fra de fysiske habitatforholdene. Selv om den faktiske produksjonen av smolt kan være både høyere eller lavere enn våre estimater antar vi at den relative gevinsten etter tiltakene er godt beskrevet av forskjellen i estimatene av produksjonskapasitet før og etter tiltak.

I samsvar med prinsippene i miljødesignkonseptet (Forseth & Harby 2013) estimerte vi smoltproduksjonen før tiltakene ut fra habitatkartleggingen og diagnosen (**kapittel 3**). Hele lakseførende strekning (med unntak av Kosåna oppstrøms samløpet med Mandalselva) med de fire elvestrekningene (med like hydrauliske forhold) ble delt inn i totalt 29 elvesegmenter, hvor hvert segment var relativt homogent med hensyn på mesohabitat/elveklasse og substratforhold. Med unntak av for de dypeste områdene har vi gjennom miljødesignprosjektet skaffet detaljerte data om skjul og gyteareal i alle segmenter. For hvert segment brukte vi kombinasjonen av andelen gyteareal og avstanden mellom gyteområdene (på tvers av segmenter) og forekomsten av skjul (primært målt som hulrom i substratet, korrigert med forekomst av krypsiv og en vurdering av hydraulisk skjul) til å angi segmentets produktivitetsklasse for laksesmolt. I Forseth & Harby (2013) ble det gitt tre produktivitetsklasser (lav, moderat og høy) med tilhørende nedre og øvre grenser for smolttetthet (antall smolt pr 100 m<sup>2</sup>). Blant annet på grunn av forekomsten av terskelmagasin som vurderes som svært lavproduktive utvidet vi til følgende klasser (nye klasser i kursiv):

<i>Svært lav:</i>	1-2 smolt pr. 100 m <sup>2</sup>
Lav:	2-4 smolt pr. 100 m <sup>2</sup>
<i>Lav pluss:</i>	3-5 smolt pr 100 m <sup>2</sup>
Moderat:	5-9 smolt pr. 100 m <sup>2</sup>
<i>Moderat pluss:</i>	6-10 smolt pr. 100 m <sup>2</sup>
Høy:	7-13 smolt pr. 100 m <sup>2</sup>

Den nye klassen *svært lav* ble brukt når målt skjul (hulrom mellom steinene) og gyteareal tilsa lav produktivitet og segmentet var et terskelmagasin, mens klassen *moderat pluss* ble brukt når målt skjul og gyteareal tilsa moderat produktivitet, men hvor forekomst av krypsiv og hydraulisk skjul bidrar til økt skjul. Klassen *lav pluss* ble bare brukt for segment hvor skjul og gyteareal tilsa lav produktivitet, men hvor tiltak ga økte vannhastigheter og hydraulisk skjul.

Basert på klassifisert produktivitet, tilhørende smolttettheter og arealene av hvert segment estimerte vi at produksjonskapasiteten for smolt i Mandalselva før tiltak lå mellom 78 000 og 149 000 smolt (**tabell 7.1, vedlegg**). Produksjonskapasiteten i de to minstevannstrekningene utgjorde 14



% av samlet kapasitet, mens den viktigste strekningen samlet sett (på grunn av store areal) var fra Laudal og ned til brakkvannssonen (65 % av produksjonen). I dette estimatet inngår ikke produksjon i Manflåvann der det tidligere har blitt estimert en relativt høy smoltproduksjon (Hesthagen mfl. 2008). Dette er imidlertid laksunger som er rekruttert fra elvestrekningen oppstrøms vannet. Under innsamling av laksesmolt med elektrisk fiskebåt til et merke-gjenfangstforsøk i 2013 (Økland mfl. 2014) ble det nesten ikke fanget smolt i området der Hesthagen mfl. (2008) estimerte relativt høye tettheter, og laksesmolt så ut til å ha en mer begrenset utbredelse i innsjøen enn tidligere. En mulig årsak er at den stasjonære aurebestanden kan ha vokst i størrelse og fortrenget lakseunger. Det ble fanget mye småvokst aure under det elektriske fisket i 2013.

**Tabell 7.1.** Estimert minimum og maksimum produksjonskapasitet for smolt i ulike strekninger av Mandalselva, prosentvis fordeling av produksjonen og samlet produksjonskapasitet. Alle verdier er avrundet.

Strekning	Min smolt	Max smolt	% av prod.
Kavfossen-Monan	6900	13 000	9
Monan-Manflåvann	16 000	31 000	21
Manflåvann-Laudal	4300	8400	5
Laudal-brakkvann	51 000	97 000	65
Sum	<b>78 000</b>	<b>149 000</b>	

Til sammenligning estimerte Ugedal mfl. (2006) et smoltproduksjonspotensial i Mandalselva (minus Manflåvann) på mellom 49 500 og 103 000 smolt. Våre vurderinger som er basert på oppdatert metodikk og betydelig mer omfattende habitatkartlegginger ga altså estimater som var 45-50 % høyere enn Ugedal mfl. (2006), men estimatet er fortsatt godt innenfor forventninger ut fra antall voksenfisk som kommer tilbake.

Nedenfor presenteres våre estimater av smoltgevinster av gjennomførte og planlagte tiltak.

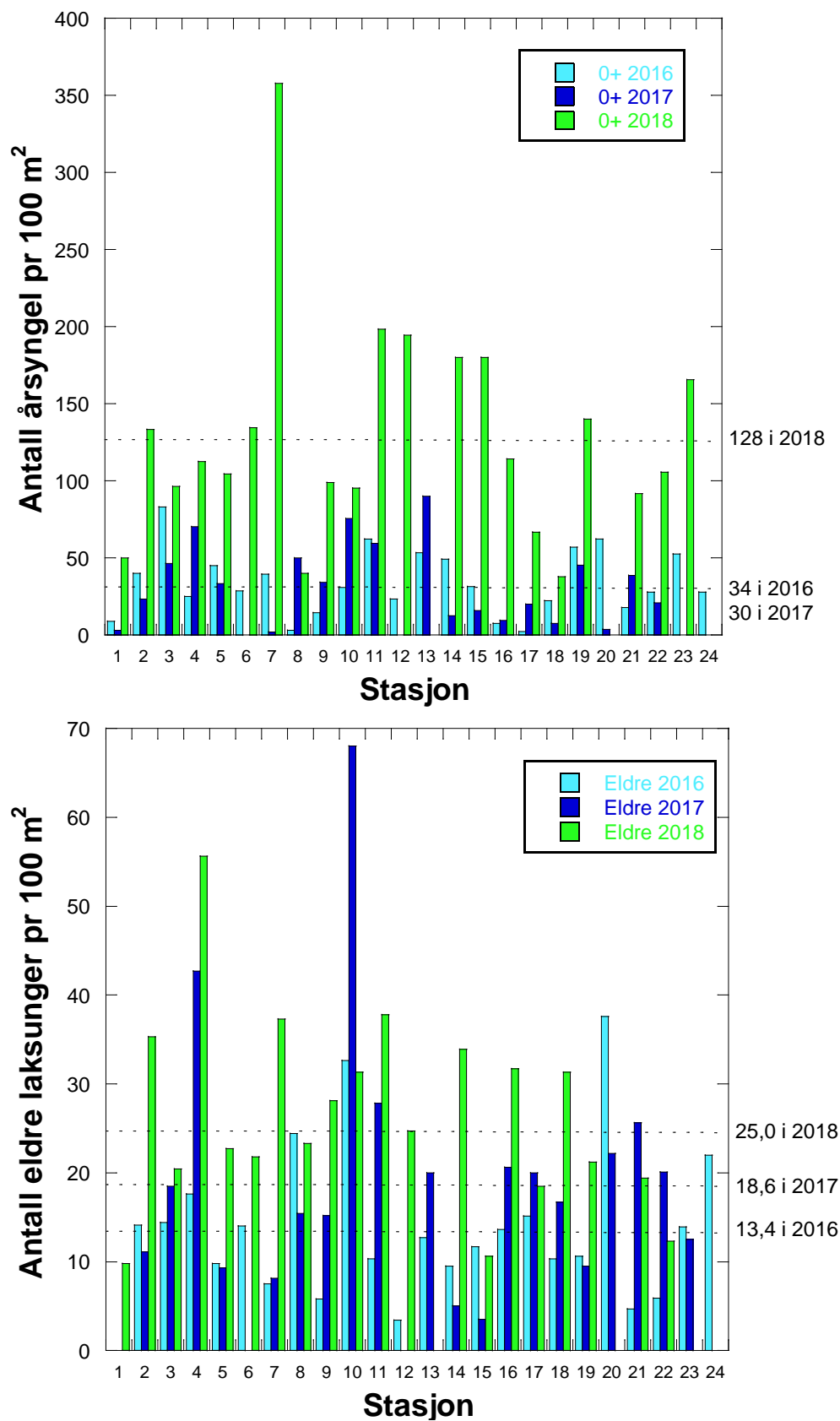
### 7.1.1 Habitattiltak Dam Manflå-Kleveland bru

Tiltakene på denne strekningen er beskrevet i Fjeldstad mfl. (2014) og i **kapittel 3.4**. Fjerning av terskler og bruken av materialene fra disse til andre habitatforbedrende tiltak økte produktiviteten fra lav til lav pluss i to segment og fra lav til moderat i fire segment (pga. økt skjultilgang og økt gyteareal). Det ble estimert en smoltproduksjonskapasitet etter tiltakene på mellom 8600 og 15 500 laksesmolt, en gevinst på mellom 4300 (dobling) og 7100 smolt (85 % økning). De foreslåtte vannslippene på strekningen (se **kapittel 5.3**) skal sikre at denne nye produksjonskapasiteten vil utnyttes. Dette er altså estimater av hvor stor gevinst som kan oppnås ut fra bedring i habitatforholdene på strekningen.

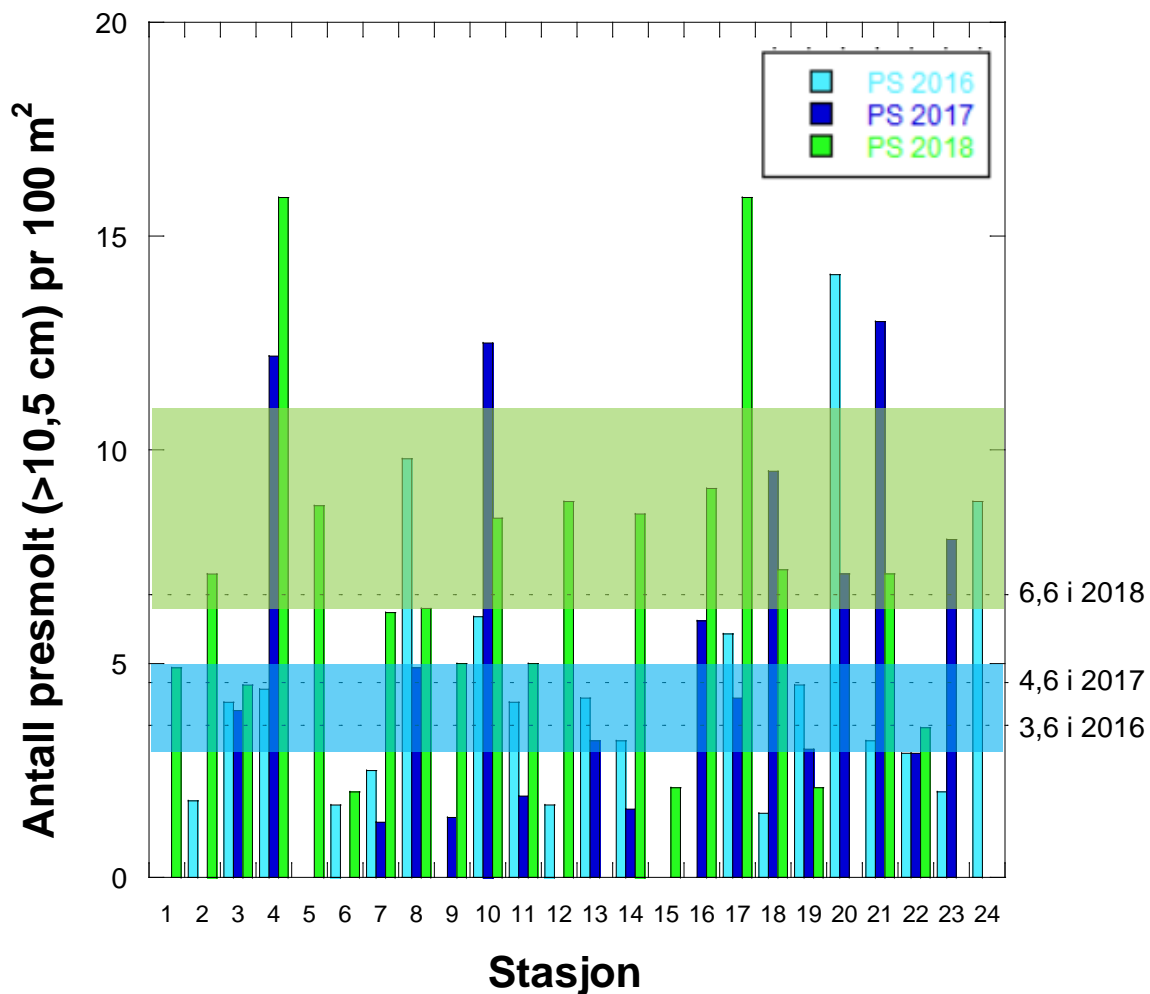
I prosjektet har vi også gjennomført en effektstudie i årene etter at tiltakene ble gjennomført (2016-18). Forekomst av gytegrøper ble kartlagt sen vinteren 2017 og 2018, og beskriver gyteaktiviteten etter restaureringen. Videre ble det etablert 24 stasjoner for semi-kvantitativt elektrisk fiske etter ungfisk (en gangs overfiske med fangsteffektiviteter fra andre overvåkingsstasjoner i vassdraget), fordelt i ulike elveklasser i hele strekningen. I løpet av de tre årene med el-fiske ble skjulmengdene målt på halvparten av stasjonene (resten vil bli målt senere). El-fisket i 2016 representerer tettheter av ungfisk i en «før-situasjon» der rekrutteringen skjedde før tiltaket (gyting høsten 2015). I 2017 ble 21 av de samme stasjonene fisket på nytt og forekomsten av år-syngel dette året er resultat av gyting etter restaureringen (høsten 2016). Resultatene fra dette året er påvirket av den svært store flommen i oktober (den største siden 1800-tallet), som kom før ungfisketellingene ble gjennomført. I 2018 ble også 21 av stasjonene fisket, to generasjoner av ungfisk var rekruttert etter restaureringen og det meste av ungfisken hadde levd hele sitt liv med det nye elvemiljøet.

Gjennomsnittlig tetthet av årsyngel av laks ble tredoblet fra 2016 til 2018 (34 til 128 fisk/m<sup>2</sup>), mens tetthetene av eldre laksunger ble nesten doblet (13 til 25 fisk/m<sup>2</sup>; **figur 7.1**). Det er sannsynlig at storflommen i oktober 2017 var en viktig årsak til at årsyngeltettheten av laks ikke økte fra 2016 til 2017. Trolig ble mye årsyngel skylt ut av området, og dødeligheten var trolig stor. Denne antagelsen støttes av at tettheten av årsyngel ble svært mye høyere i 2018. Utskylling eller overdødelighet av årsyngel i 2017 gjør at også tettheten av eldre laksunger i 2018 kan være lavere enn det den ville vært uten en storflom.

Estimatene av størrelsen på gevinsten av tiltakene er gitt som smoltproduksjon. Ved å se på tettheten av presmolt om høsten kan vi vurdere måloppnåelsen så langt. Presmolt er laksunger som er så store at de sannsynligvis blir smolt våren etter, og vi brukte en grense på 105 mm. Til tross for at den første årsklassen som er klekket i vassdraget etter tiltakene ikke har nådd presmoltstørrelse ennå var gjennomsnittlig presmolttetthet i 2018 kommet opp mot forventningsnivået etter tiltaket (**figur 7.2**). Dette tyder på at tiltakene har bedret ungfiskoverlevelsen. I 2016 var det bare på tre stasjoner at presmolttettheter var høyere enn minimumsestimatet av smolttetthet etter tiltaket (det grønne beltet i **figur 7.2**). I 2017 hadde antall stasjoner med så høye tettheter økt til seks og i 2018 til ti stasjoner. Det skal bemerkes at presmolttetthet ikke er direkte sammenlignbart med smolttettheter, fordi noe dødelighet må påregnes gjennom vinteren og fram til smoltutvandringen (en vanlig antagelse er 70 % overlevelse). Elektrisk fiske på et stort antall stasjoner gir støtte for at våre estimer av effekten av tiltakene på strekningen i form av økt smoltproduksjon er realistiske.



**Figur 7.1** Estimert tetthet (antall pr 100 m<sup>2</sup>) årsyngel (øvre figur) og eldre laksunger i årene 2016, 2017 og 2018 på opptil 24 stasjoner mellom Kleveland bru og Dam Manflå. Gjennomsnittlig tetthet er angitt med verdier og stiplede horisontale linjer.



**Figur 7.2.** Estimert tetthet (antall pr 100 m<sup>2</sup>) av presmolt av laks i årene 2016, 2017 og 2018 på opptil 24 stasjoner mellom Kleveland bru og Dam Manflå. Gjennomsnittlig tetthet er angitt med verdier og stiplede horisontale linjer og antatt smolttetthet før og etter tiltakene er angitt med henholdsvis det blå og grønne beltet.

Før tiltakene var det to segment (øverst) som hadde moderate skjulmengder, mens de resterende seks (midtre og nedre del) hadde lave skjulmengder. Blant de 12 elfiskestasjoner der skjul har blitt målt etter tiltakene (tre transekter med tre målinger per transekt) var det en stasjon med lite skjul, seks med middels skjulmengder og fem stasjoner med mye skjul. Gjennomsnittlig vektet skul på alle stasjonene var 9, som er opp mot grensen til mye skjul (10) i henhold til klassifiseringen i Forseth & Harby (2013). Alle stasjonene lå i segmenter der det tidligere var lite skjul og tiltakene har gitt en markant økning i skjultilgangen, og trolig mer enn det som var forutsatt i estimatene av smoltgevinst før tiltakene.

Registeringene av gytegrøper er omtalt i **kapittel 4.2**, men her sammenlignes observasjonene med forventningene. Alle de områdene som ble vurdert som potensielle gyteområder, men hvor dybde og vannhastighet gjorde at de ikke var brukt før tiltakene, har blitt tatt i bruk. I tillegg ble det registrert gytegrøper i noen nye områder. Sammen med yngeltellingene viser registreringene at rekrutteringen har økt betydelig på strekningen.

Samlet sett er det vår vurdering at effektstudiene, med nye skjulmålinger, kartlegging av gytegrøper og elektrisk fiske tyder på at effekten av tiltakene i form av økt rekruttering og økningen i smoltproduksjonen i alle fall ikke er overestimert.

### 7.1.2 Habitattiltak nedre terskel ved Portalbygget

Nederst på minstevannstrekningen fra Dam Manflå til Laudal var det en stor terskel som ble fjernet våren 2018 (se **kapittel 3.4**). Den primære gevinsten ved å fjerne denne er at oppvandringsringen fra utløpet av Laudal kraftverk og inn i minstevannstrekningen blir lettere, men tiltaket ble utformet slik at det også kunne gi positiv effekt på fiskeproduksjonen i området. Før tiltaket besto området av et ca. 160 m langt sakteflytende terskelmagasin, en 40 m lang fallende steintørskel (med fisketrapp i midten) der vannet ved moderate vannføringer rant mellom steinene i hele bredden og en nedstrøms strekning med diffus strøm ned mot dypområdet og kraftversutløpet. Etter tiltakene ble området oppstrøms terskelkrona grunnere og fikk høyere vannhastigheter, selve terskelområdet fikk en celleterskelstruktur med variable habitatforhold med tre «trinn» (som tar ut høydeforskjellen) og nedstrøms område fikk en styrt (mot østsida) og mer markant strøm ned mot kraftversutløpet. Området som ble påvirket var i overkant av 11 000 m<sup>2</sup>. Vi har ingen systematiske habitatregistreringer i området oppstrøms terskelkrona, men skjultilgangen nedstrøms ble klassifisert som middels god og det var et lite gyteområde et stykke nedenfor terskelene. Det er også store gytearealer rett nedstrøms kraftversutløpet og det er sannsynlig at ungfisk derfra brukte området til oppvekst. Vi antar at samlet produktivitet i påvirket strekning var lav (middels skjultilgang nedstrøms terskel, et bredt terskelområde med spredt vannstrøm og et oppstrøms terskelmagasin) og at tiltakene økte produktiviteten til moderat. Dette gir en smoltgevinst på i størrelsesorden 300 til 500 smolt.

### 7.1.3 Miljøtilpasset drift av Bjelland kraftverk

Basert på vårt forlag (se **kapittel 5.2**) har Agder Energi Vannkraft revidert (sommeren 2018) sin kjøreinstruks for Bjelland kraftverk, og dette tiltaket vil redusere stranding og andre negative effekter av variabel vannføring til et minimum. Vi har ikke gjennomført noen systematisk analyse av vannføringsvariasjoner på strekningen nedstrøms kraftverket og vi har derfor ikke særlig kunnskap om hvor stort problemet knyttet til variabel kraftverksdrift, ugunstige stans i kraftverket og utfall av kraftverket var før den nye instruksjonen ble implementert. Forseth (2014) estimerte effekten av en feilmanøvreringen i 2014 til mellom 9 og 11 % tapt smoltproduksjon (over to år), men denne hendelsen ga et spesielt stort fall i vannføring og vannstand (fra 30 til 10 m<sup>3</sup>/s og 40 cm vannstandsreduksjon ved målestasjonen) som ikke er representativ for en typisk strandingsepisode. På den annen side var dette en hendelse og flere mindre årlige strandingsepisoder kan gi tilsvarende tap. Vi antar skjønnsmessig at raske vannstandsreduksjoner nedstrøms Bjelland kraftverk ga et årlig tap i smoltproduksjon på 5-10 % (median 7,5 %) og at miljøtilpasningen i drift av kraftverket reduserer tapet til 1-2 % (median 1,5 %, det vil fortsatt forekomme utfall av kraftverket). Med utgangspunkt i en produksjonskapasitet på strekningen på mellom 18 000 og 34 000 smolt gir tiltaket en årlig gevinst på mellom ca. 700 og 1400 smolt regnet fra minimum produksjonskapasitet og mellom 1300 og 2700 smolt fra maksimum. Vi brukte medianverdiene i estimatene av samlet smoltgevinst (**kapittel 7.4**).

## 7.2 Smoltgevinst planlagte tiltak

### 7.2.1 Habitattiltak og vannslipp Kavfossen-Monan

Etter fjerning av de to betongtersklene, noen mindre justeringer av substratet i terskelmagasinene, etablering av et mindre gyteområde ved Lakskjerfossen (**kapittel 3.2** og Fjeldstad mfl. 2016) og med minstevannføringer på 1,5 m<sup>3</sup>/s om vinteren og 3 m<sup>3</sup>/s om sommeren (**kapittel 5.1**) er det vår vurdering at det høyeste gevinstintervallet er det mest sannsynlige (50 til 60 % økning i smoltproduksjonen). Dette innebærer en gevinst på mellom 4300 og 6900 smolt.

### 7.2.2 Miljøtilpasset drift av Laudal kraftverk

Forslag til driftsstrategi for Laudal kraftverk for å redusere problemet med stranding til et minimum ble utarbeidet høsten 2019, er derfor ikke implementert ennå. Både driftsmønsteret og lokalerfaringer tilsier at strandingsepisoder forekommer skjeldnere og er av mindre omfang enn

de som forekom nedstrøms Bjelland kraftverk (se **kapittel 5.2**). Vi antar skjønnsmessig at episoder med raske vannstandsreduksjoner nedstrøms Laudal kraftverk gir et årlig tap i smoltproduksjon på 4 % og at miljøtilpasningen i drift av kraftverket vil redusere tapet til 1 %. Med utgangspunkt produksjonskapasitet på strekningen anslår vi at gjennomføring av vårt forslag til driftsstrategi vil gi en årlig gevinst på mellom ca. 2000 og 3000 smolt regnet fra henholdsvis minimum og maksimum produksjonskapasitet.

### 7.2.3 Sidebekker

I 2016 ble det som en del av Flerbruksplan Mandalsvassdraget gjennomført en kartlegging av utvalgte sjøaurebekker i Mandalsvassdraget (Gabrielsen mfl. 2017). Hovedformålet var å komme frem til konkrete tiltak for å bedre forholdene for sjøaure og laks basert på en fysisk kartlegging. Menneskeskapte installasjoner som kulvert, rør, bru eller lignende var i tillegg til kantvegetasjon, substrat med vekt på gytemuligheter, kanalisering og skjul viktige elementer i kartleggingen. I tillegg var det viktig å finne ut hvordan produksjonsforholdene for fisk var oppstrøms et eventuelt menneskeskapt vandringshinder.

I september 2016, ble 19 forhåndsutvalgte sjøaurebekker kartlagt fra samløp hovedelv og opp til naturlig vandringshinder. Bekkene ble undersøkt fra land og ved vading på kryss og tvers av bekkene. Boniteringen ble basert på en kartlegging av fysiske forhold på den aktuelle strekningen; vannhastighet, vanddyp, bunnssubstrat og kantvegetasjon. Det ble lagt spesiell vekt på vandringsforhold i forbindelse med krysningspunkt mellom bekk og vei gjennom kulvert, rør, bru eller lignende, samt tilgangen til egne gytegrus. Gjennom en skjønnsmessig vurdering av de hydro-morfologiske produksjonsforholdene, ble hver bekk kategorisert med en forventet fiskeproduksjon (lav, middels eller høy).

Fem av de 19 undersøkte bekkene hadde en eller flere kulverter som var vandringshinder eller som var periodevis vandringshindrende for både ung- og voksenfisk. I ytterligere to bekker ble det foreslått tiltak hvor gevinsten av utførte tiltak i form av økt fiskeproduksjon regnes for å være stor. I de resterende 12 bekkene er det ikke behov for større tiltak, men det ble gitt anbefalinger om mindre tiltak i noen. Dette kan f.eks. være å legge ut gytegrus på strategiske steder samt steiner og blokker for å bedre skjulmulighetene for både ung- og voksenfisk.

Interessen for tiltaksarbeid i form av habitattiltak og restaurering av vassdrag er stor i kommuner og frivillige organisasjoner. Med enkle midler er det mulig å utbedre noen av de skadene som er skjedd i vassdrag med moderate til store fysiske inngrep. Tiltak som etablering av små terskler, strømbrytere, steingrupper i "ørken"-områder, beplantning og utlegg av egnet gytegrus, er alle tiltak med kjent positiv og vedvarende effekt på fiskeproduksjonen. Videre kan en bevisstgjøring og informasjon om hvor viktige de mindre vassdragene er for sjøaureproduksjonen redusere omfanget av fremtidige fysiske inngrep i vassdragene. Elementer som det er viktig å belyse er spesielt de negative effektene av å fjerne kantvegetasjonen, av å kanalisere vassdraget og hvor sårbare bekkene er for forurensning i tørkeperioder. Det er derfor ønskelig at grunneiere får kjennskap til betydningen av små vassdrag, og at de er et viktig bidrag til den totale produksjonen av sjøaure. Resultatet av en slik bevisstgjøring og effekten av biotopjusteringer, kan f.eks. gi økt glede av å fiske sjøaure i sjøen og å oppleve sjøaure i gytebekken om høsten, eller større engasjement hos lokale organisasjoner hvor kultiveringsarbeid som biotopjusteringer står på dagsorden.

## 7.3 Redusert smolttap ved Laudal kraftverk

Tiltakene som har blitt gjennomført og vårt forslag til vannslipp og ytterligere tiltak ved Laudal kraftverk vil påvirke overlevelsen til all smolt som produseres i og oppstrøms Manflåvann. Basert på de gjennomførte telemetriforsøkene og de utviklede modellene ser vi her på gevinsten av tiltakene i form av redusert tap på grunn av at færre smolt vandrer inn i Laudal kraftverk. For enkelthets skyld antar vi at all smolt som passerer kraftverket dør eller blir skadet så mye at de dør på et senere stadium. Faktisk er det neppe slik at dødeligheten er total gjennom de relativt store turbinene i Laudal kraftverk. Tidligere forsøk (oppsummert i Ugedal mfl. 2006) antyder en

overlevelse på 25 %, men gjenfangsten av merket fisk var lav og det er betydelig usikkerhet i dette estimatet. Anekdotisk kan det nevnes at en av de radiomerkede smoltene som vandret gjennom kraftverket i et av våre forsøk ble rapportert gjenfanget som smålaks året etter.

For årene 1998 til 2018 brukte vi observert total vannføring inn til kraftverket og fordelingen mellom kraftverket og over Dam Manflå inn i prediksjonsmodellene for smoltutvandring og rutevalg (se **kapittel 6**) til å beregne andel og antall smolt som vi antar vandret inn i kraftverket for følgende perioder:

- Perioden før noen tiltak ble gjennomført – fra 1998 til 2004.
- Perioden med eksperimentelle forbislipp av vann – fra 2004 til 2009.
- Perioden med frivillige slipp styrt av utviklet modellverktøy – fra 2010 til 2014.
- Perioden med slipp i henhold til det nye reglementet – fra 2014 til og med 2018.

Deretter brukte vi simulerte vannføringsdata (fra Agder Energi) med slipp i henhold til vårt forslag til smoltslipp for årene 2006-2018 til å estimere andel og antall smolt som vi antar ville ha vandret inn i kraftverket om vårt forslag hadde vært benyttet. Til slutt estimerte vi, som en illustrasjon, effekten av å kombinere vannslipp med fysiske tiltak (ledegrind) som vi antar kan medføre at 90 % av smolten vandrer forbi kraftverket.

Når vi estimerte antall smolt som kan ha gått tapt for årene fram til 2018 brukte vi dagens produksjonskapasitet for smolt i oppstrøms områder (fra **tabell 7.1**), men inkluderte et tap på 7,5 % på strekningen Monan-Manflåvann på grunn av variabel kraftverksdrift. Når vi estimerte antall smolt som kan gå tapt under det nye vannslippforslaget antok vi at tiltakene på strekningen Kavfossen til Monan blir gjennomført slik at antall smolt som ankommer inntaket ble større (se **tabell 7.3** nedenfor). I tillegg antok vi at tapet på strekningen Monan-Manflåvann var redusert til 2,5 % på grunn av endret kraftverksdrift i Bjelland kraftverk (**kapittel 7.1.3**). Beregningene ble gjort for både minimum og maksimum produksjonskapasitet før og etter tiltak. Estimaten viser effekten av tiltakene i de ulike periodene, men i den samlede gevinstvurderingen sammenlignet vi tapet etter at alle tiltak er gjennomført med tapet før de første tiltakene i 2004.

Før noen tiltak ble gjennomført estimerte vi et gjennomsnittlig tap i Laudal kraftverk (om vi antar at all fisk som vandrer gjennom turbinene dør) på mellom 15 600 og 30 000 smolt (gitt at produksjonskapasiteten var utnyttet) som utgjør ca. 20 % av smoltproduksjonskapasiteten i vassdraget i den perioden (før tiltak). Tapet ble markant redusert etter at eksperimentelle vannslipp ble innført i perioden 2004 til 2009 for deretter å bedre seg svakt i periodene med frivillige slipp i henhold til modellverktøy og under det nye reglementet (2014-18). Simuleringer av vannslipp i samsvar med vårt forslag vil bedre situasjonen ytterligere og tapet er redusert til mellom 8300 og 15 000 smolt som utgjør ca. 9 % av den økte smoltproduksjonskapasiteten i vassdraget etter tiltak. Den samlede gevinsten fra perioden uten tiltak (før 2004) til en ny situasjon der vårt forslaget er implementert ble estimert til mellom 13 000 og 23 000 smolt, tilvarende en økning i antall smolt ut av elva på ca. 150 % sammenlignet med situasjonen for 2004. Dersom vannslipp kombinert med fysiske tiltak (som ledegerde) kan sikre at 90 % av smolten passerer forbi inntaket til Laudal kraftverk vil smolttapet utgjøre ca. 3 % av total smoltproduksjonskapasitet i vassdraget.



**Tabell 7.2.** Andel smolt som ble estimert til å vandre forbi Laudal kraftverk, smolttapet i kraftverket og hvor stor andel dette utgjør av hele vassdragets produksjonskapasitet for smolt, antall smolt ut av elva fra området oppstrøms kraftverket for ulike perioder og under vårt nye forslag til vannslipp og til slutt teoretisk gevinst om slipp og fysiske tiltak (ledegjerder) gir 90 % forbivandring. Estimatenes er gjort med utgangspunkt i både minimum (øvre halvdel av tabellen) og maksimum produksjonskapasitet (nedre del). Smoltgevinsten er gitt både som antall og prosentvis økning i smolt som passerer kraftverket fra perioden før tiltak (før 2004) sammenlignet med vannslipp i samsvar med vårt forslag.

	Før 2004	2004-09	2010-13	2014-18	Nytt slipp	Slipp+ tiltak
Fra minimum:						
% forbi	33	58	61	62	71	90
Tap Laudal	15 600	9700	9200	8900	8300	2900
% av totalproduksjon	19,7	12,3	11,7	11,3	9,2	3,1
Smolt ut av elva	7800	13 600	14 100	14 400	20 400	25 800
Samlet smoltgevinst N					12 600	18 000
% økning					162	
Fra maksimum:						
Tap Laudal	30 000	18 500	17 500	17 000	15 000	5300
% av totalproduksjon	19,8	12,4	11,7	11,3	9,2	3,2
Smolt ut av elva	14 800	25 800	26 800	27 400	37 800	47 900
Samlet smoltgevinst:					23 000	33 200
% økning					156	

## 7.4 Samlet smoltgevinst

Gevinsten av de planlagte og gjennomførte habitattiltakene og miljøtilpasset kraftverksdrift er oppsummert i **tabell 7.1** og viser en gevinst på mellom 12 000 og 20 000 smolt. I tillegg kommer redusert tap på grunn av at færre smolt vandrer inn i Laudal kraftverk, estimert til mellom 13 000 og 23 000 når vi sammenligner smolttapet før tiltak (årene før 2004) og estimerte tap med vårt forslag til vannslipp for smolt (**tabell 7.2**).

Samlet sett kan alle habitattiltak, miljødesignet vannføring, miljøtilpasset kraftverksdrift og målrettede vannslipp for smolt øke produksjonskapasiteten og antall smolt ut av vassdraget med mellom 20 000 og 35 000 (avrundet), tilvarende en økning på ca. 30 % fra situasjonen før tiltak. Selv om den faktiske produksjonen og gevinsten kan være forskjellig fra våre estimater er den relative effekten av tiltakene etter vår vurdering realistiske. Effekten av tiltakene ved inntaket til Laudal kraftverk er dokumentert gjennom fem telemetriforsøk og effektovervåkingen av de fysiske tiltakene på strekningen Dam Manflå til Kleveland bru gir sterk støtte for de estimerte relative gevinstene.

**Tabell 7.3.** Minimum og maksimum smoltproduksjonskapasitet før og etter tiltak på de fire strekningene og hele Mandalselva, de ulike strekningenes andel av totalproduksjonen samt samlet smoltgevinst. Tiltakene som er inkludert er habitattiltak på strekningen Kavfossen-Monan (planlagt) og de gjennomførte tiltakene ved Manflå-Laudal (inklusive nedre terskel ved Laudal), miljøtilpasset vannslipp på begge strekningene og miljøtilpasset drift av Bjelland (gjennomført) og Laudal kraftverk (planlagt).

Strekning	Før tiltak			Etter tiltak		
	Min smolt	Max smolt	% av prod	Min smolt	Max smolt	% av prod
Kavfossen-Monan	6900	13 000	9	11 200	20 000	12
Monan-Manflå	16 000	31 000	21	17 500	33 300	20
Manflå-Laudal	4300	8400	5	8900	16 000	10
Laudal-brakkvann	51 000	97 000	65	53 000	100 000	58
Sum	<b>78 200</b>	<b>149 000</b>		<b>90 600</b>	<b>163 300</b>	
Gevinst				<b>12 400</b>	<b>19 900</b>	

## 7.5 Kraftproduksjon i Laudal kraftverk

Gjeldende reglement ble innført sommeren 2013. Agder Energi Vannkraft har gjennomført simuleringer for å beregne tapet i kraftproduksjon sammenlignet med det forrige reglementet og konsekvensene av vårt forlag til miljødesignet vannføring forbi Laudal kraftverk. Simuleringer viste at 2013 reglementet teoretisk medførte årlige tap i kraftproduksjon på rundt 25 GWh for perioden 2006-2018. Dynamikken i vassdraget, krav til forsiktighet ved ukentlig stans og praktiske utfordringer ved å håndheve minstevannføringskravet, tilsier imidlertid at det reelle tapet har vært nærmere 5 GWh/år høyere enn det simulerte for 2014-2018. Tilsvarende simulering med det nye forslaget til miljødesignet vannføring reduserer beregnet energitap med gjennomsnittlig 4,7 GWh pr. år (variasjon fra 0,3 til 6,7 GWh).

## 8 Konklusjon om måloppnåelse

Målet med miljødesignprosjektet var søm følger:

*«Det årlige tapet i lakseproduksjon etter vannkraftreguleringen i Mandalselva skal reduseres til et minimum, samtidig som kraftproduksjon på lakseførende strekning opprettholdes eller økes».*

Dersom alle de foreslåtte tiltakene i miljødesignprosjektet gjennomføres forventes en total gevinst på mellom 20 000 og 35 000 smolt, tilsvarende en økning i antall smolt ut av vassdraget på ca. 30 %. Gevinsten blir enda større om ledetiltak ved Laudal kraftverk kan sikre at over 90 % av smolten passerer forbi inntaket. Det arbeides nå med en slik løsning. Tapet etter kraftutbyggingen i vassdraget ble estimert til mellom 20 og 40 % (Ugedal mfl. 2006), tilsvarende mellom 23 000 og 71 500 smolt. Disse estimatene er ikke direkte sammenlignbare fordi vi har tatt utgangspunkt i en annen produksjonskapasitet enn Ugedal mfl. (2006). Om vi som en regneøvelse tar utgangspunkt i at situasjonen etter at alle tiltakene er gjennomført og at all smolt passerer kraftverksinntaket ved Laudal (100 % forbiPASSERING), utgjør et tap på mellom 20 og 40 % mellom 18 000 og 36 000 smolt med utgangspunkt i minimum produksjonskapasitet (som ligner mest på kapasiteten i Ugedal mfl. 2006). Begge sammenligningene tilsier at målet om å redusere tapet etter reguleringen til et minimum er godt nådd om prosjektets tiltakspakke gjennomføres. Gevinsten blir enda større om ledetiltak ved Laudal kraftverk kan sikre at over 90 % av smolten passerer forbi inntaket. Det arbeides nå med en slik løsning.

Forslaget til vannslipp ved Laudal kraftverk representerer i henhold til beregninger fra Agder Energi Vannkraft en årlig innsparing i kraftproduksjon på i gjennomsnitt 4,7 GWh sammenlignet med dagens manøvreringsreglement. Frivillige slipp som sikrer en økt minstevannføring om sommeren (1. mai til 1. oktober) fra 2 til 3 m<sup>3</sup>/s og en økt minstevannføring om vinteren fra 1 til 1,5 m<sup>3</sup>/s på strekningen Kavfossen til Monan innebærer et krafttap på rundt 1 GWh (variasjon fra 0,5-2 GWh). Gevinsten ved miljødesignede slipp forbi Laudal kraftverk er altså større enn tapet ved noe større slipp forbi Bjelland kraftverk.

Samlet sett innebærer forslagene til fysiske tiltak, tilpasninger i kraftverksdrift og vannslipp at kraftproduksjonen på lakseførende strekning i gjennomsnitt økes, mens tapet i lakseproduksjon etter kraftreguleringen i Mandalselva blir redusert til et minimum.

## 9 Referanser

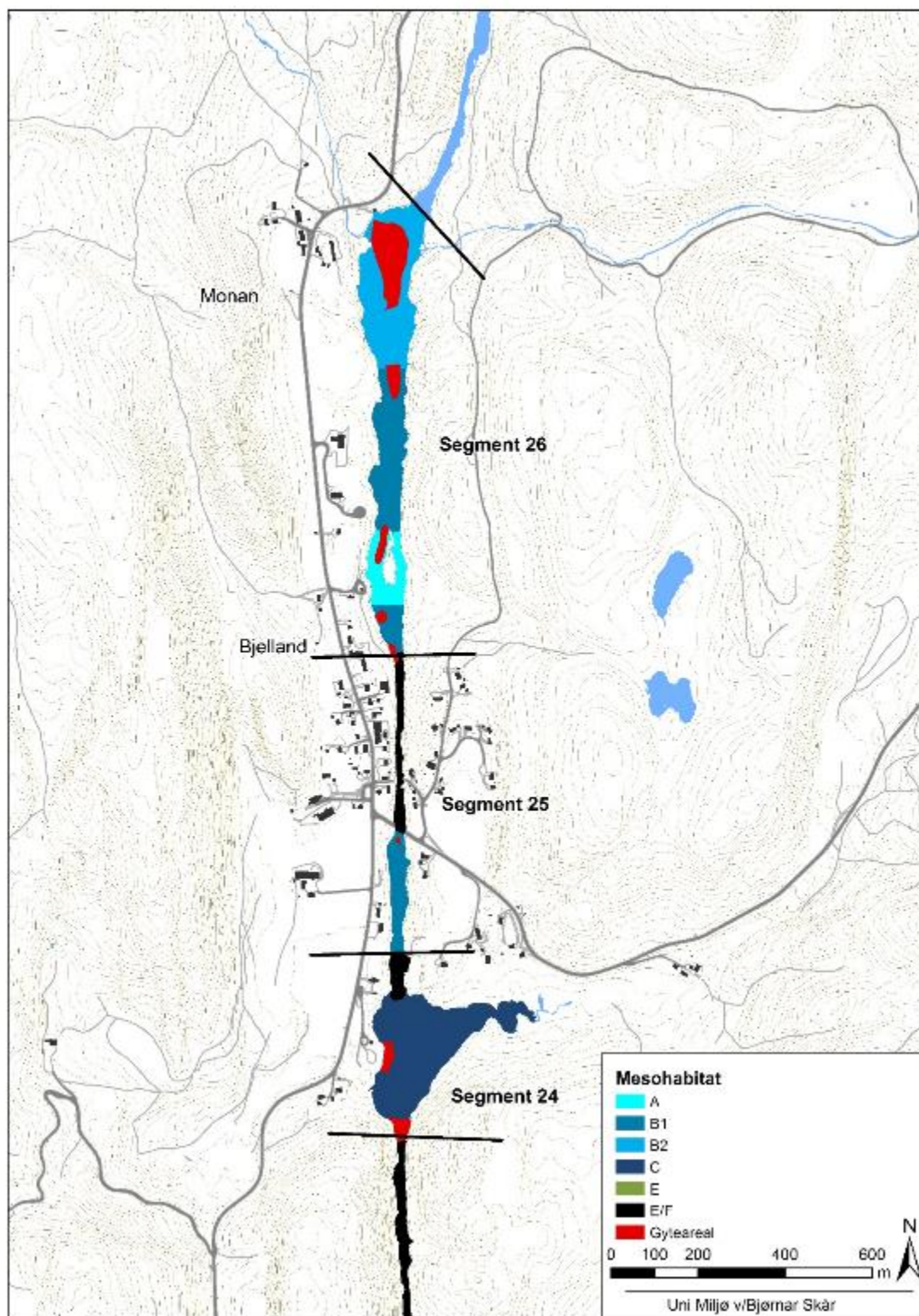
- Anonym 2009. Direktoratet for naturforvaltning. Bestandsutvikling hos sjørret og forslag til forvaltningstiltak. – Notat 2009-1.
- Bakken, T.H., Forseth, T. & Harby, A. (red.) 2016. Miljøvirkninger av effektkjøring: Kunnskapsstatus og råd til forvaltning og industri. NINA Temahefte 62, 205 s.
- Bremset, G. 2000. Seasonal and diel changes in behavior, microhabitat use and preferences by young pool-dwelling Atlantic salmon, *Salmo salar*, and brown trout, *Salmo trutta*. *Environmental Biology of Fishes* 59, 163-179.
- Bustos, A.A., Hedger, R.D., Fjeldstad, H-P., Alfredsen, K., Sundt, H. & Barton, D.N. 2017. Modeling the effects of alternative mitigation measures on Atlantic salmon production in a regulated river. *Water Resources and Economics* 17, 32-41.
- Chadwick, E.M.P. 1982. Stock-recruitment relationships in for Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Newfoundland rivers. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 39, 1496-1501
- Cunjack, R.A., Prowse, T.D. & Parrish, D.L. 1998. Atlantic salmon (*Salmo salar*) in winter: “the season of parr discontent”? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55, 161-180.
- Fängstam, H. 1993. Individual downstream swimming speed during natural smolting period among young Baltic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Zoology* 71, 1782-1786.
- Finstad, A.G., O. Ugedal, T. Forseth & Næsje, T.F. 2004. Energy-related juvenile winter mortality in a northern population of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 61, 2358-2368.
- Finstad, A.G., Armstrong, J.D. & Nislow, K.H. 2011 Freshwater habitat requirements of Atlantic salmon. Chapter 3 in *Atlantic Salmon Ecology* (eds Ø. Aas, S. Einum, A. Klemetsen & J. Skurdal) pp. 67-87. Oxford: Blackwell Publishing Ltd.
- Fjeldstad, H.-P., Uglem, I., Diserud, O.H., Fiske, P., Forseth, T., Kvingedal, E., Hvidsten, N.A., Økland, F. & Järnegren, J. 2012. A concept for improving Atlantic salmon *Salmo salar* smolt migration past hydro power intakes. *Journal of Fish Biology* 81, 642-663.
- Fjeldstad, H.-P., Zinke, P., Bustos, A. A., Forseth, T., Gabrielsen, S.-E. & Skår, B. 2014. Fjerning av terskler ved Laudal i Mandalselva. Hydrauliske forhold og fysiske tiltak for laks. SINTEF Rapport TR A7450.
- Fjeldstad, H.-P., Zinke, P., Bustos, A. A., Forseth, T., Gabrielsen, S.-E. & Skår, B. 2016. Miljødesign Mandalselva – Fysiske biotopiltak på strekningen fra Kavfossen til utløpet av Bjelland kraftverk. SINTEF Rapport TR A7600.
- Fjeldstad, H.-P., Forseth, T., Gabrielsen, S.-E., Skår, B. & Sauterleute, J. 2017. Miljøtilpasset drift av Bjelland kraftverk. SINTEF Rapport TR A7605.
- Forseth, T, Letcher, BH, Johansen, M 2011. The behavioural flexibility of salmon growth. Chapter 6 in *Atlantic Salmon Ecology* (eds Ø. Aas, S. Einum, A. Klemetsen & J. Skurdal) pp. 145-161. Oxford: Blackwell Publishing Ltd.
- Forseth, T. & Harby, A. (red) 2013. Håndbok for miljødesign i regulerte laksevassdrag. NINA Temahefte 32. Norsk institutt for naturforskning
- Gabrielsen, S.E., Skår, B., Haraldstad, T. & Hindar, A. 2017. Kartlegging av utvalgte sjørretbekker som renner inn i Mandalselva høsten 2016. LFI-Raport 289. Uni Research Miljø.
- Gabrielsen, S.E. & Stranzl, S. 2018. Forslag til utforming av terskel Laudal. Uni Research Miljø LFI. Notat januar 2018.
- Gibson, R.J. & Myers, R.A. 1988. Influence of seasonal river discharge on survival of juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 45, 344-348.
- Halttunen, E., Rikardsen, A.H., Davidsen, J.G., Thorstad, E.B. & Dempson, J.B. 2009. Survival, migration speed and swimming depth of Atlantic salmon kelts during sea entry and fjord migration. I

- Tagging and Tracking of Marine Animals with Electronic Devices, J.L.Nielsen et al. (eds). Reviews: Methods and Technologies in Fish Biology and Fisheries 9, 35-49.
- Haraldstad, T., Kroglund, F., Kristensen, T., Konsson, B. & Haugen, T.O. 2017. Diel migration pattern of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and sea trout (*Salmo trutta*) smolts: an assessment of environmental cues. *Ecology of Freshwater Fish*, 26, 541-551.
- Hesthagen, T. & Garnås, E. 1986. Migration of Atlantic salmon smolts in River Orkla of central Norway in relation to management of a hydroelectric station. *North American Journal of Fisheries Management*, 6, 376-382.
- Hvidsten, N.A. & Lamberg, A. 2003. Telling av laks i Mandalselva med Logie fisketeller med undervanns videokamera som kontroll. Side 94-96 i Haraldstad, Ø & Hesthagen, T. (red.), Laksen er tilbake i kalkede Søelandselver. Reetableringsprosjektet 1997-2002. Direktoratet for naturforvaltning. Utredning 2003-5.
- Hvidsten, N.A., Johnsen, B.O., Jensen, A.J., Fiske, P., Ola Ugedal, O., Thorstad, E.B., Jensås, J.G., Bakke, Ø. & Forseth, T. 2004. Orkla – et nasjonalt referansevassdrag for studier av bestandsregulerende faktorer hos laks. Samlerapport for perioden 1979 - 2002. NINA fagrapport 079. Norsk institutt for naturforskning
- Ibbotson, A.T., Beaumont, W.R.C., Dinder, A., Welton, S. & Ladle, M. 2006. Diel migration patterns of Atlantic salmon smolts with particular reference to the absence of crepuscular migration. *Ecology of Freshwater Fish* 15, 544-551.
- Jonsson, N., Hansen, L.P. & Jonsson, B. 1991. Variation in age, size and repeat spawning of adult Atlantic salmon of different sizes. *Animal Behaviour* 40: 313-321.
- Kvingedal, E., Forseth, T., Fjeldstad, H-P., Uglem, I. & Diserud, O. 2011. Smoltutvandring forbi Laudal kraftverk i Mandalselva: estimert effekt av ekstra vannslipp i 2009 og 2010. NINA Minirapport 339. Norsk institutt for naturforskning
- Lamberg, A. 2003. Videoovervåking av laks ved Laudal kraftstasjon i 2002. Rapport Synapse AS.
- Lamberg, A. & Økseberg, S. 2004. Kartlegging av oppvandrende laks i Haugefossen i Mandalselva i 2003. Rapport Lamberg Bio Marin Service & Øksenberg Biokonsult.
- Lamberg A., Gjertsen V., Strand R., Bjørnøet S. & Kanstad-Hansen Ø. 2014. Videoovervåking av laks og sjørret i Roksdalsvassdraget på Andøya i 2013. SNA-rapport 07/2014.
- Lura, H. 2005. Oppgang av fisk ved Laudal kraftstasjon i 2004 i forhold til vannføring. AMBIO Miljørådgiving AS. Rapport nr. 25107-1.
- Lura, H. 2006. Oppvandring av fisk fra Laudal til Mannflåvatn i 2005. AMBIO Miljørådgiving AS. Rapport 25117-1.
- McLennan, D., Rush, E., McKelvey, S. & Metcalfe, N.B. 2018. Timing of *Salmo salar* smolt migration predicts successful passage through a reservoir. *Journal of Fish Biology*, 92, 1651-1656.
- Næsje, T.F., Fiske, P., Forseth, T., Thorstad, E.B., Ugedal, O., Finstad, A.G., Hvidsten, N.A., Jensen, A.J. & Saksgård, L. 2005. Biologiske undersøkelser i Altaelva. Faglig oppsummering og kommentarer til forslag om varig manøvreringsreglement. NINA-rapport 80. Norsk institutt for naturforskning.
- Thorpe, J.E., Metcalfe, N.N. & Fraser, N.H.C. 1994. Temperature dependence of switch between nocturnal and diurnal smolt migration in Atlantic salmon. In MacKinlay, D.D. (ed) High Performance Fish. International Fish Physiology Symposium. Vancouver, Fish Physiology Association. pp 83-86.
- Slettan, B. 1986. Fløtingens historie i Mandalselva. Mandalselvans Fellesfløting. Tilgjengelig på Kristiansand folkebibliotek.
- Strand, R. & Lamberg A. 2014. Videoovervåking av smoltvandring over dammen i utløpet av Langvatnet i Fræna kommune i 2014 SNA-rapport 11/2014.
- Thorstad, E.B. & Heggberget, T.G. 1997. Oppvandring hos radiomerket laks og sjørret i Mandalsvassdraget i forhold til minstevannføring, lokkeflommer, terskler og kalking. NINA Oppdragsmelding 470. Norsk institutt for naturforskning.

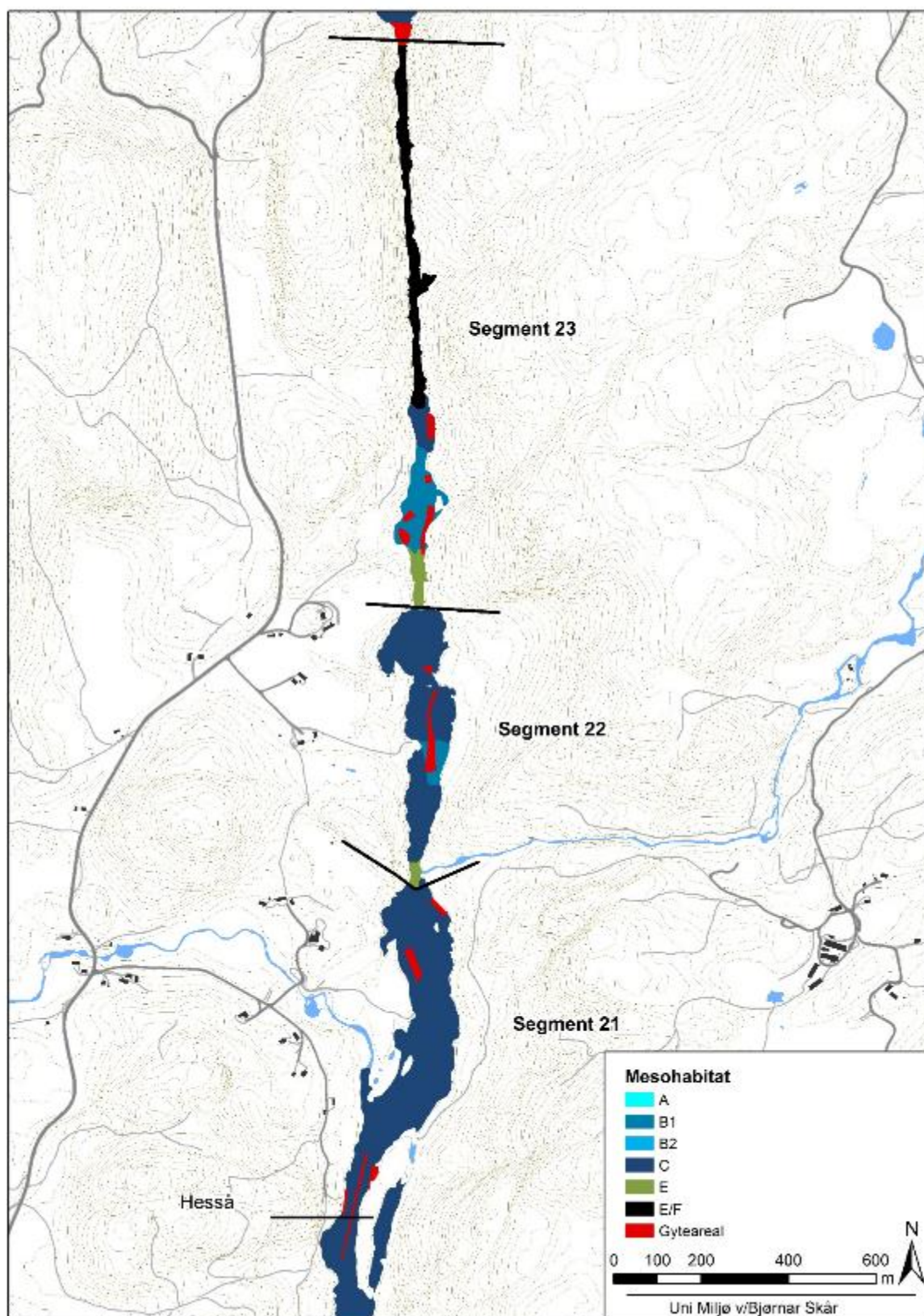
- Thorstad, E.B. & Hårsaker, K. 1998. Vandring hos radiomerket laks i Mandalselva i forhold til minstevannføring, lokkeflommer, terskler og kalking – videreføring av tidligere undersøkelser. NINA Oppdragsmelding 541. Norsk institutt for naturforskning.
- Ugedal, O., Larsen, B.M., Forseth, T. & Johnsen, B.O. 2006. Produksjonspotensial for laks i Mandalselva. Og vurdering av tap som følge av kraftutbygging. NINA Rapport 146. Norsk institutt for naturforskning.
- 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. Norsk institutt for naturforskning
- Velle, G-, Skoglund, H., Skår, B. & Barlaup, B. 2014. Påvirkning av krypsiv på anadrom fisk og biologisk mangfold av bunndyr. Uni Miljø LFI Rapport 231.
- Økland, F., Kvingedal, E., Lamberg, A., Kroglund, F., Forseth, T., Diserud, O.H. & Uglen, I. 2014. Smoltutvandring forbi Laudal Kraftverk i Mandalselva i 2013. NINA rapport 1067. Norsk institutt for naturforskning.

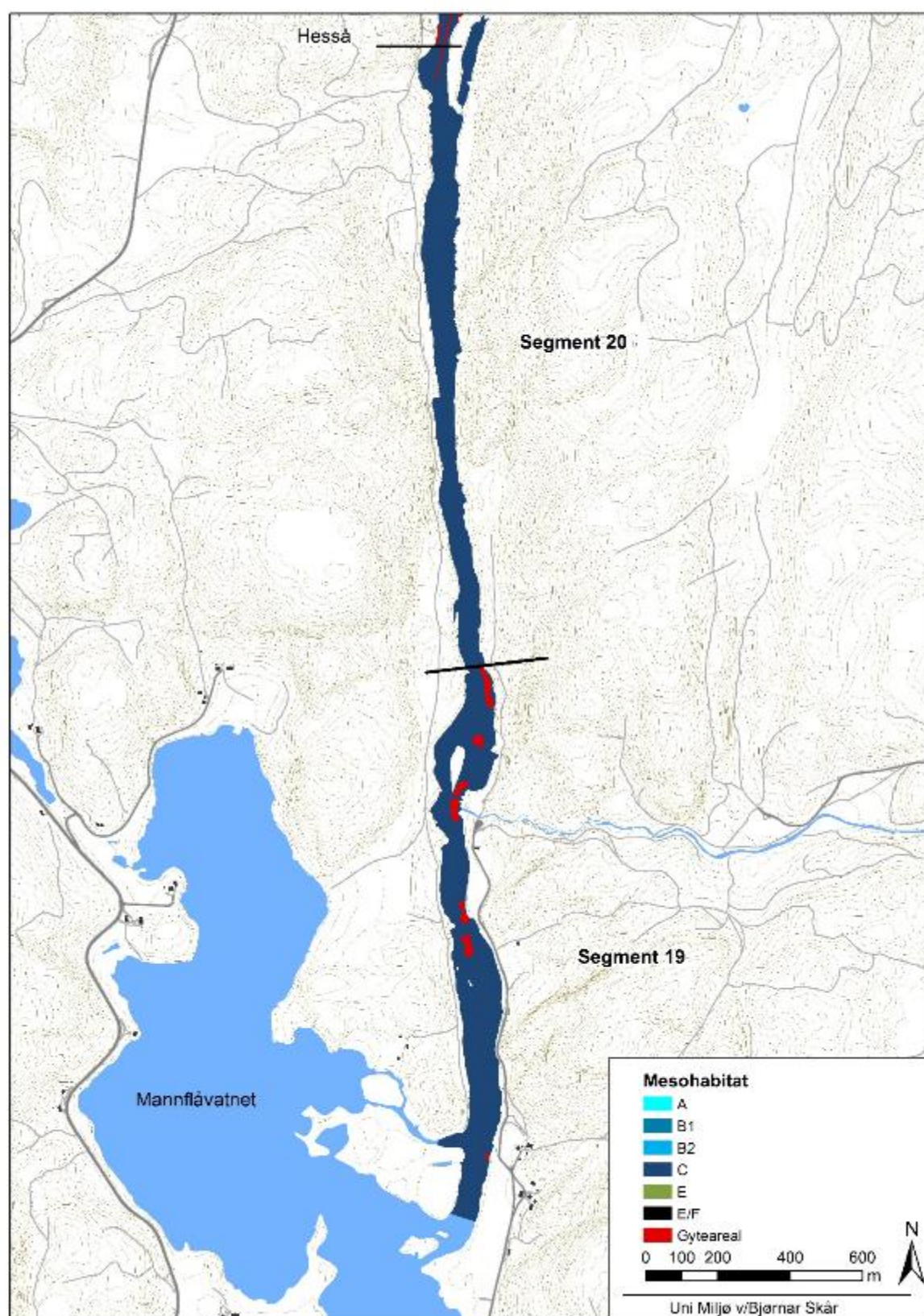
## 10 Vedlegg

**Vedlegg 1.** Inndeling av Mandalselva i elvesegment og mesohabitat (elveklasser, se tabell 3.1) for strekningene Monan-Manflåvann og Laudal-brakkvannssonen.

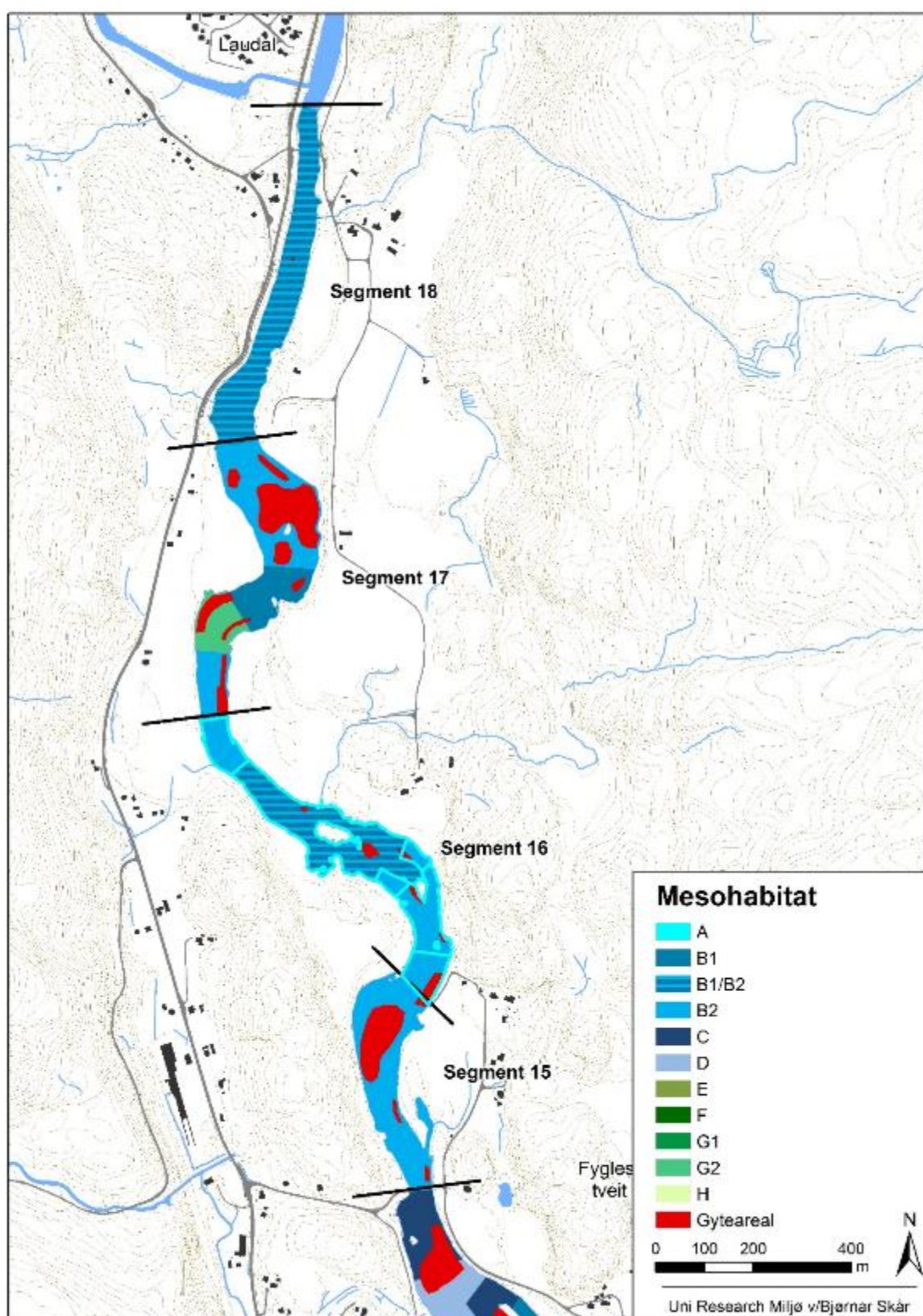


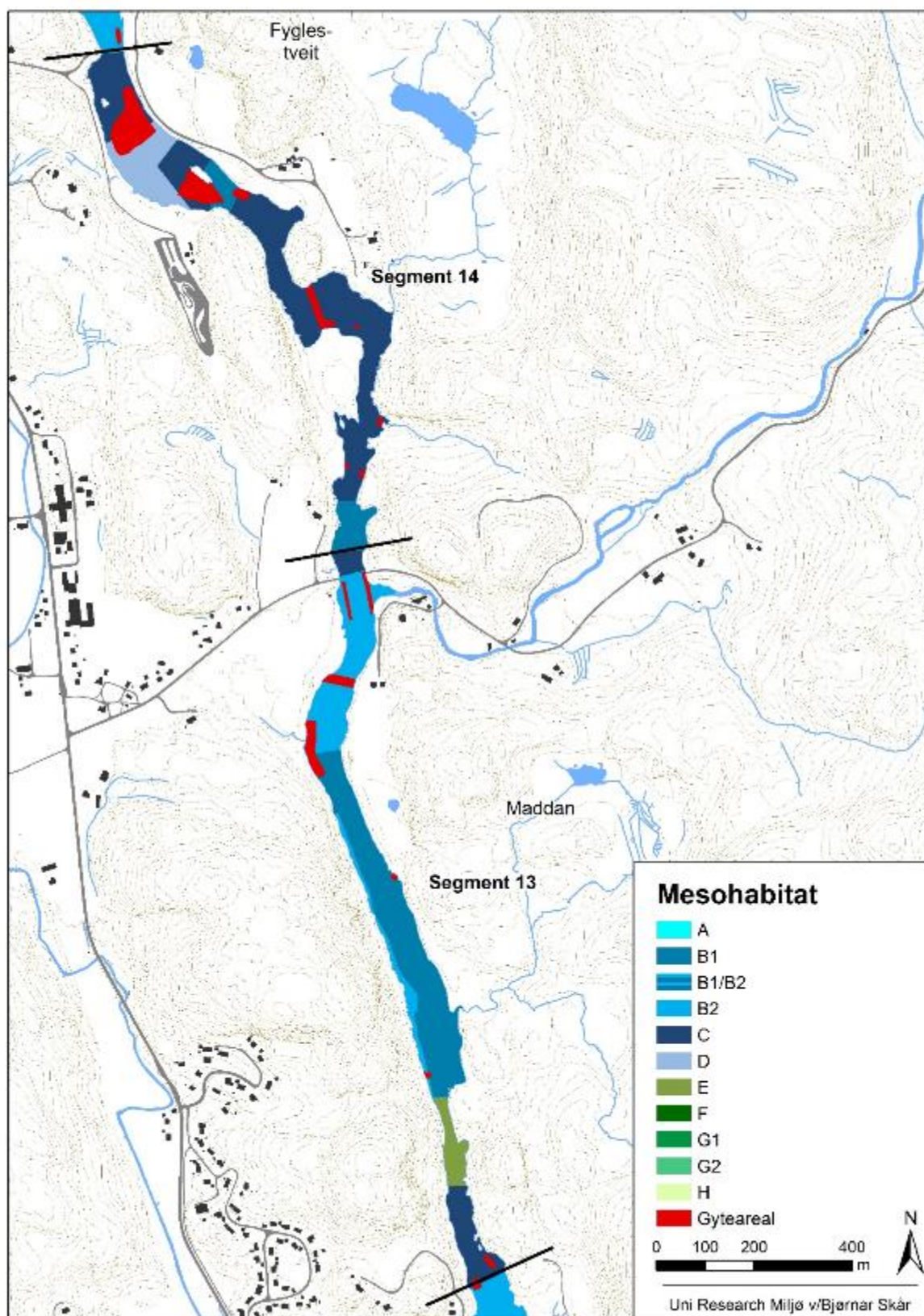




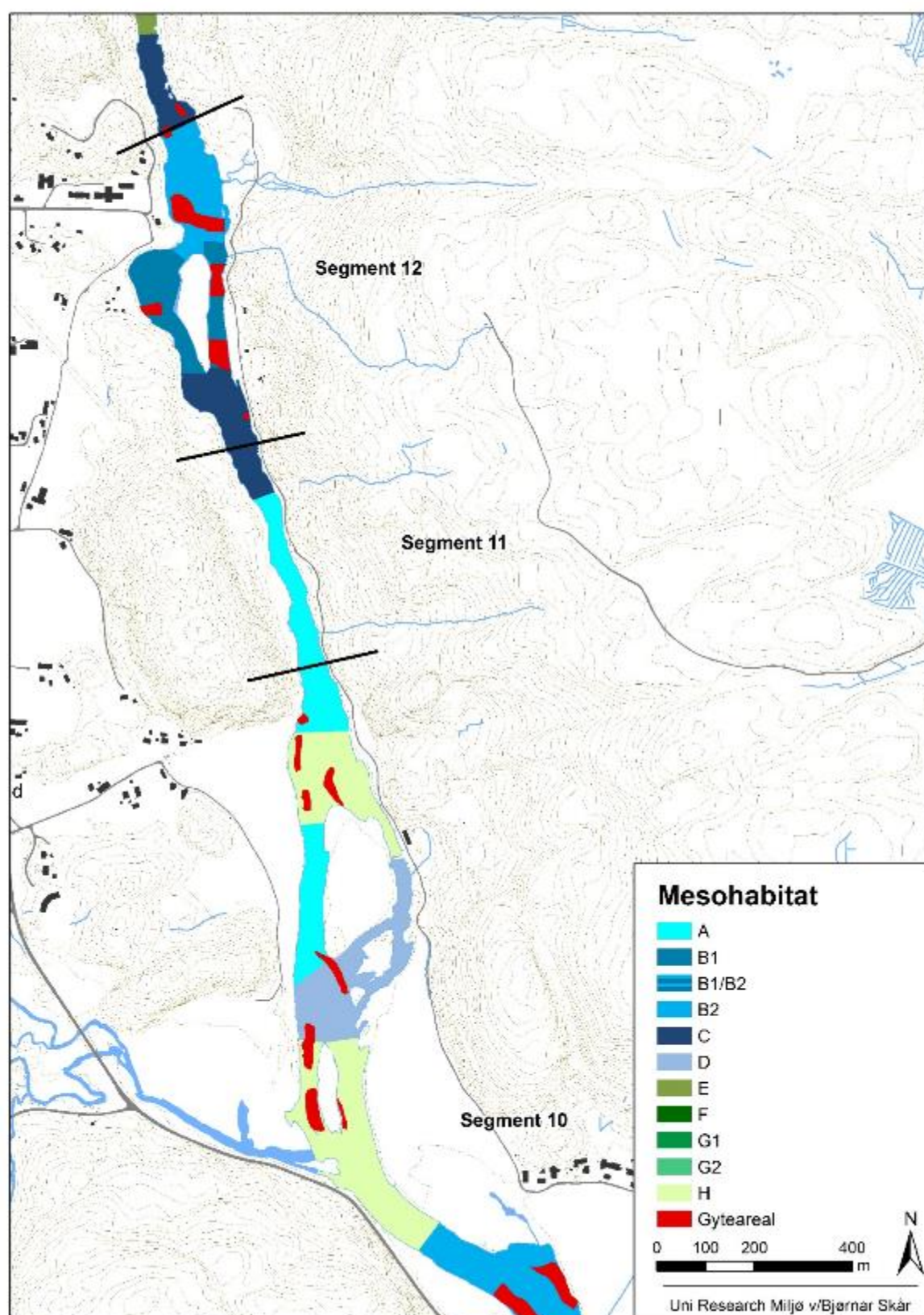


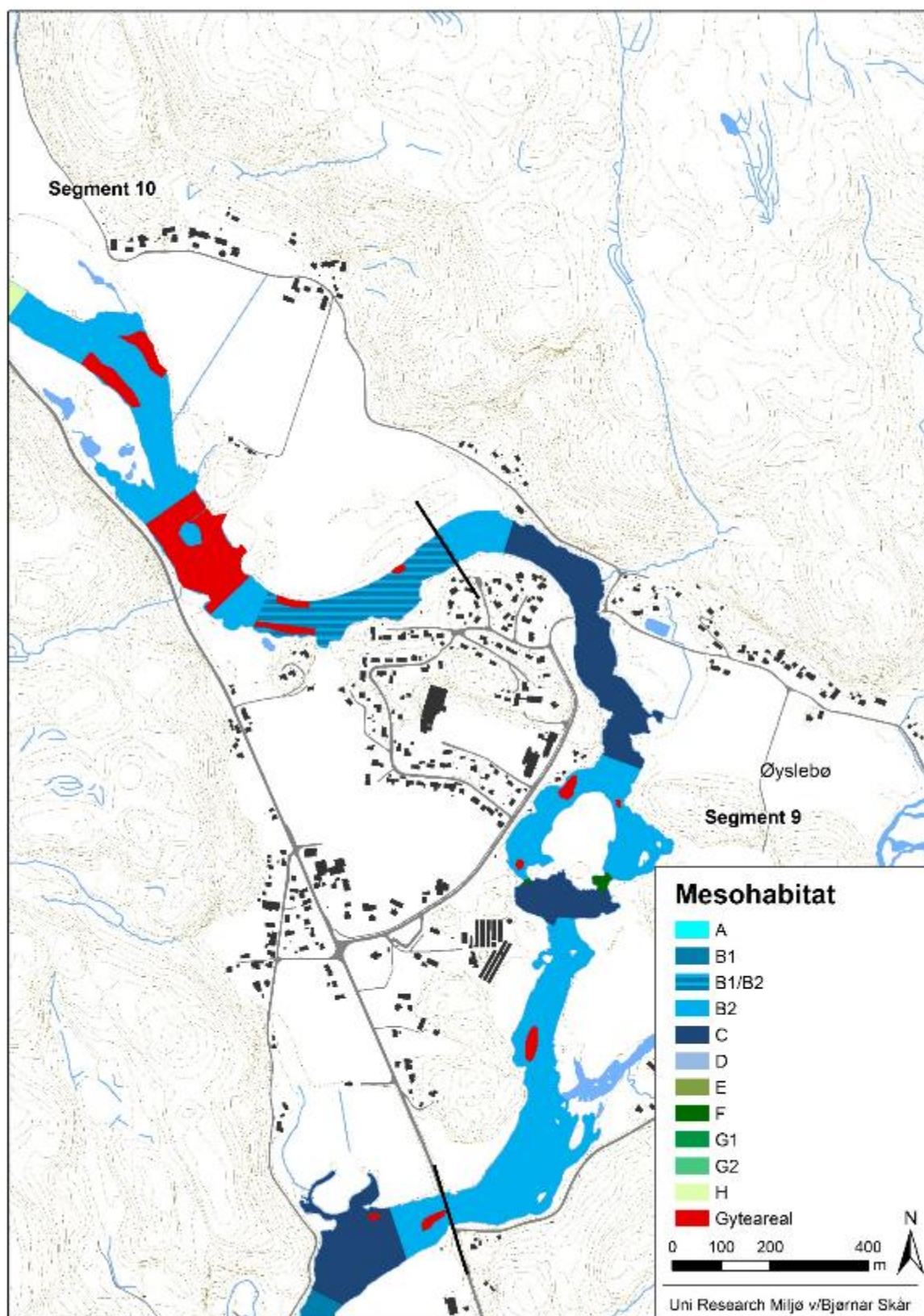




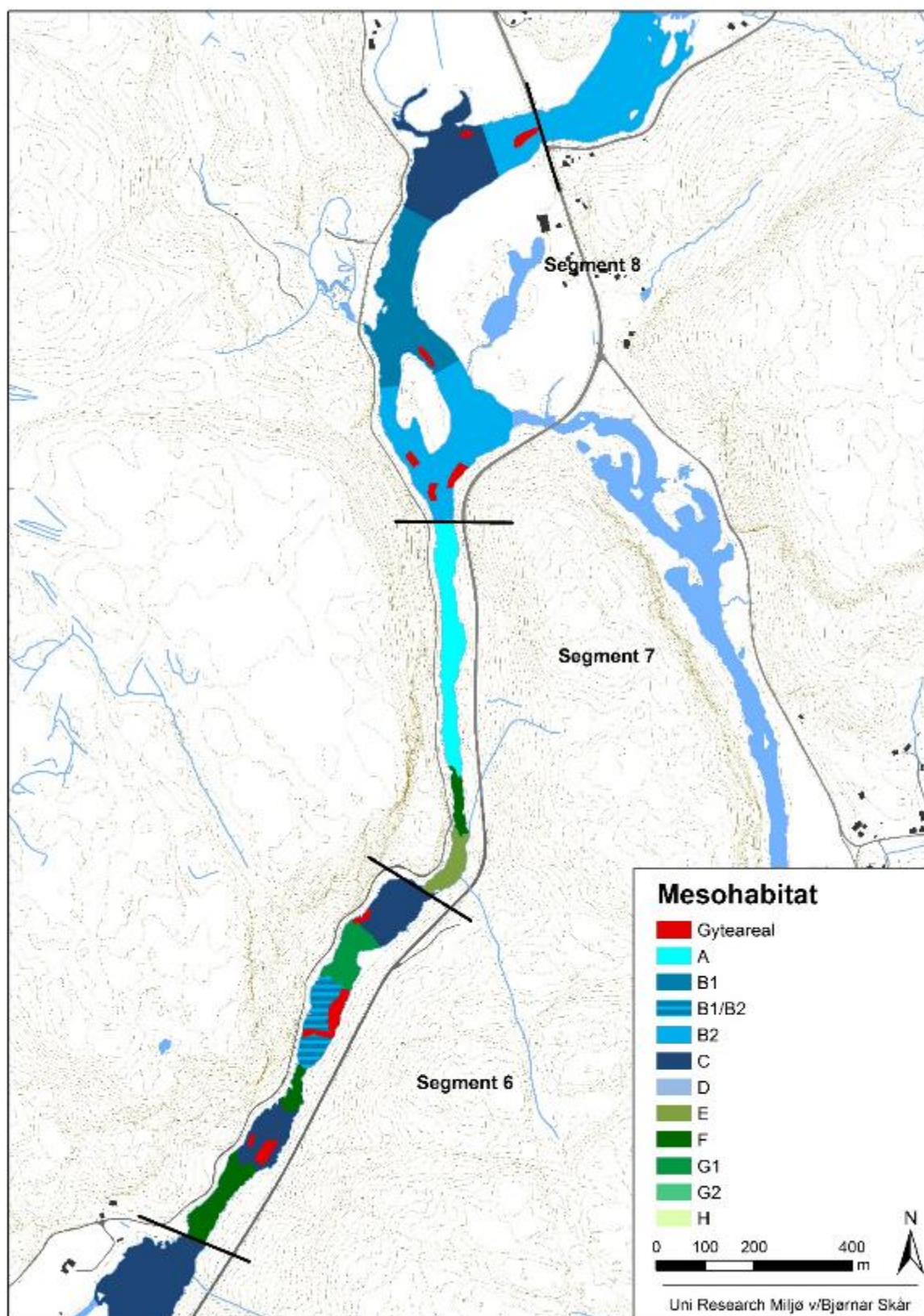




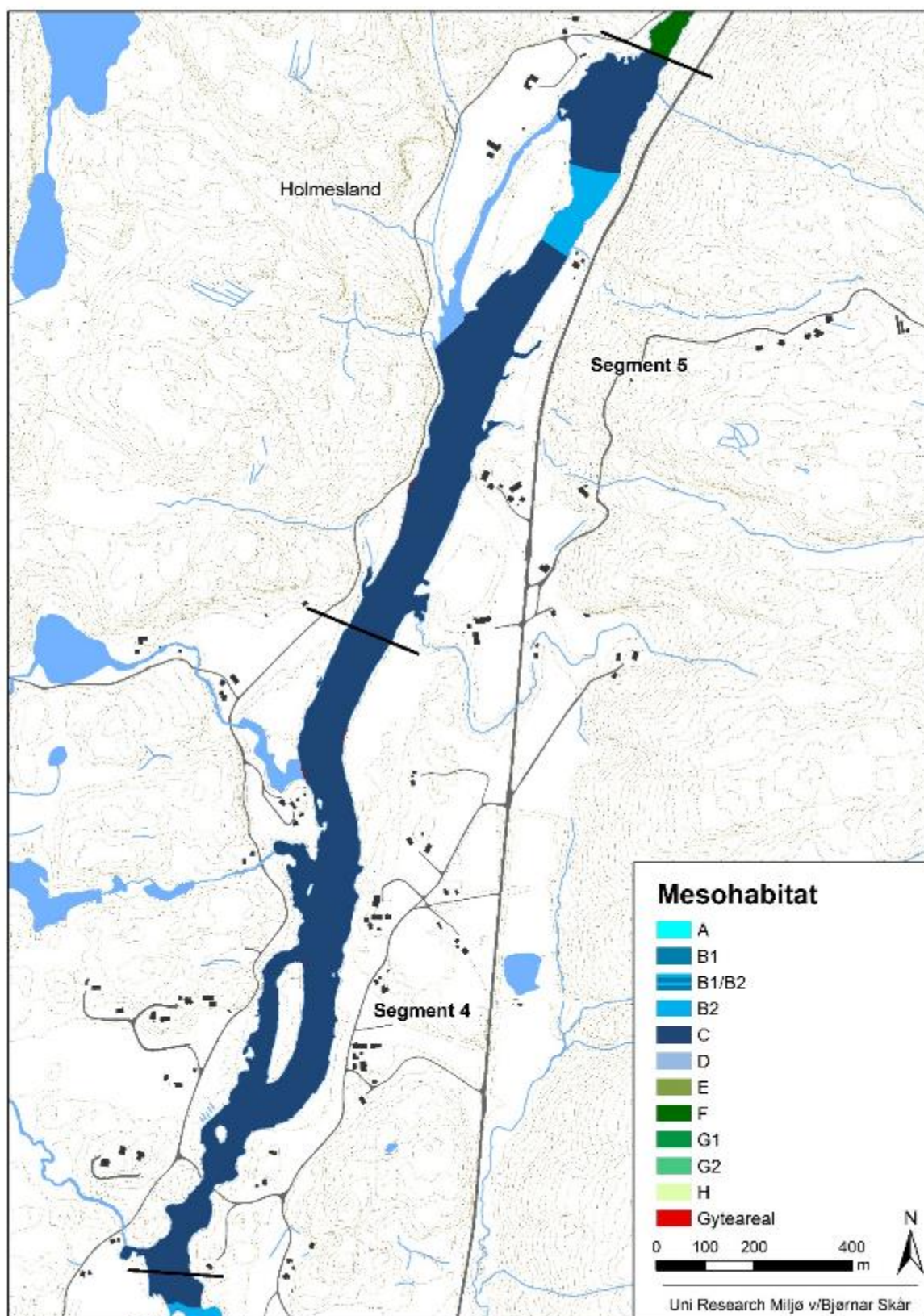


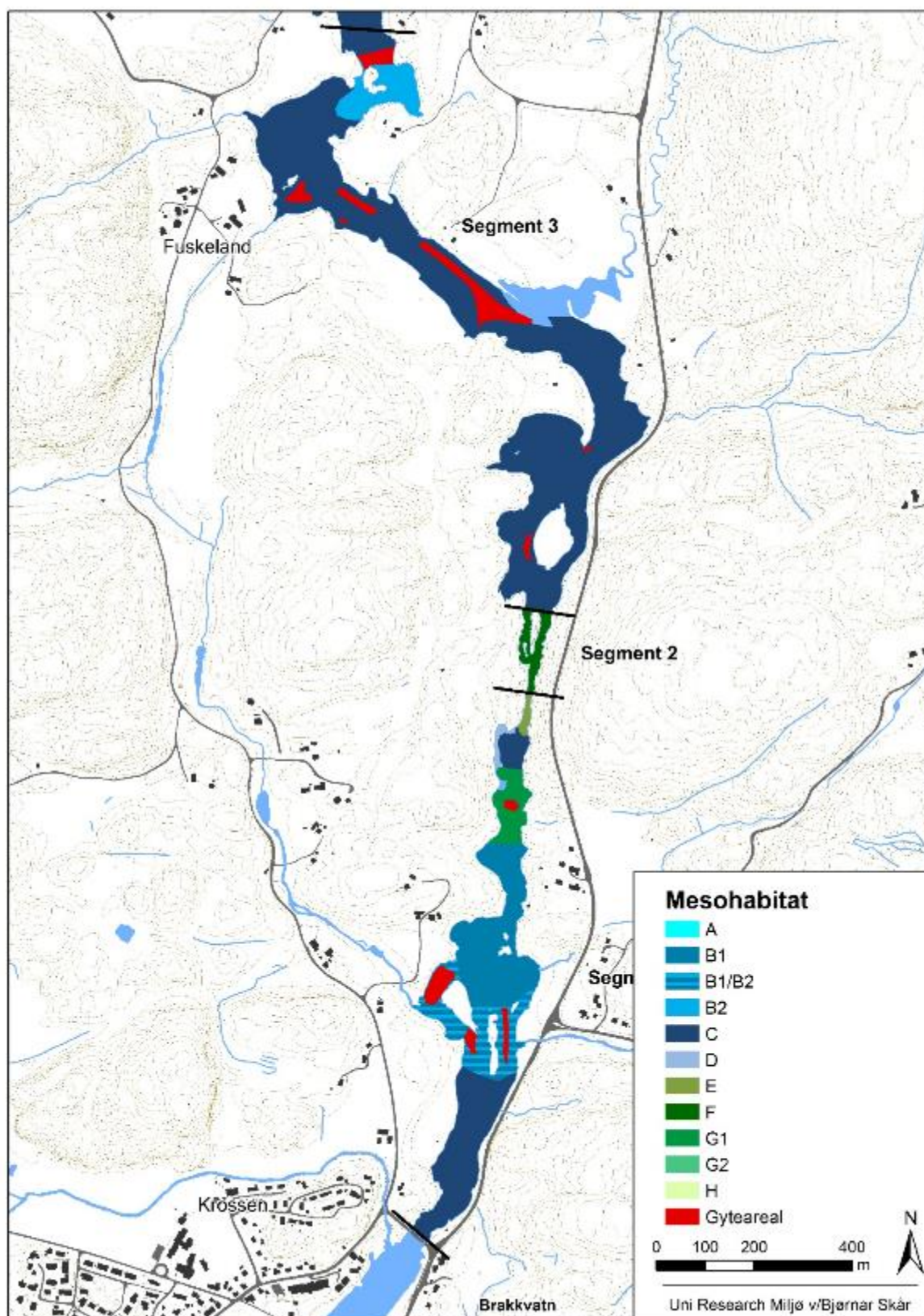






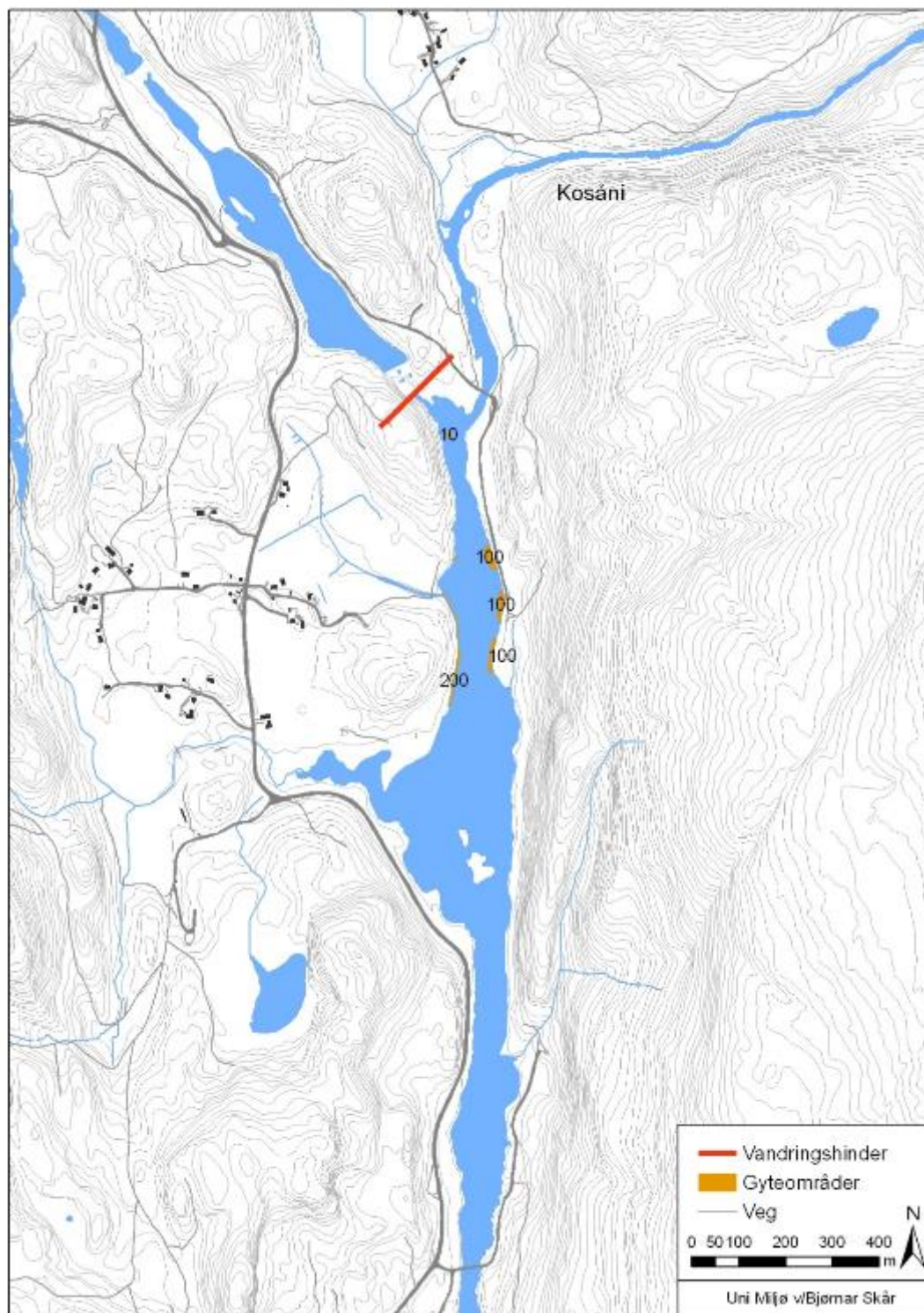


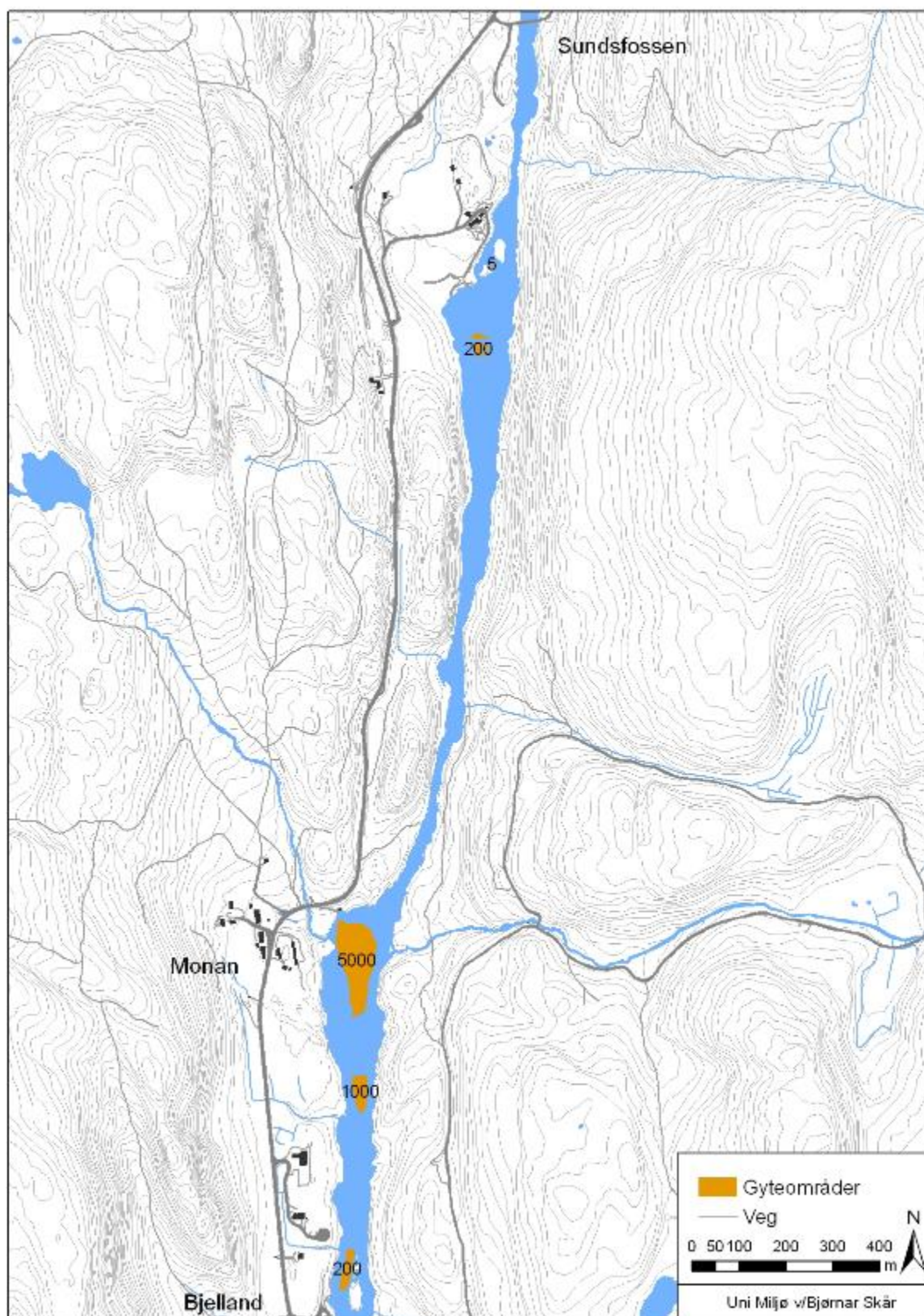




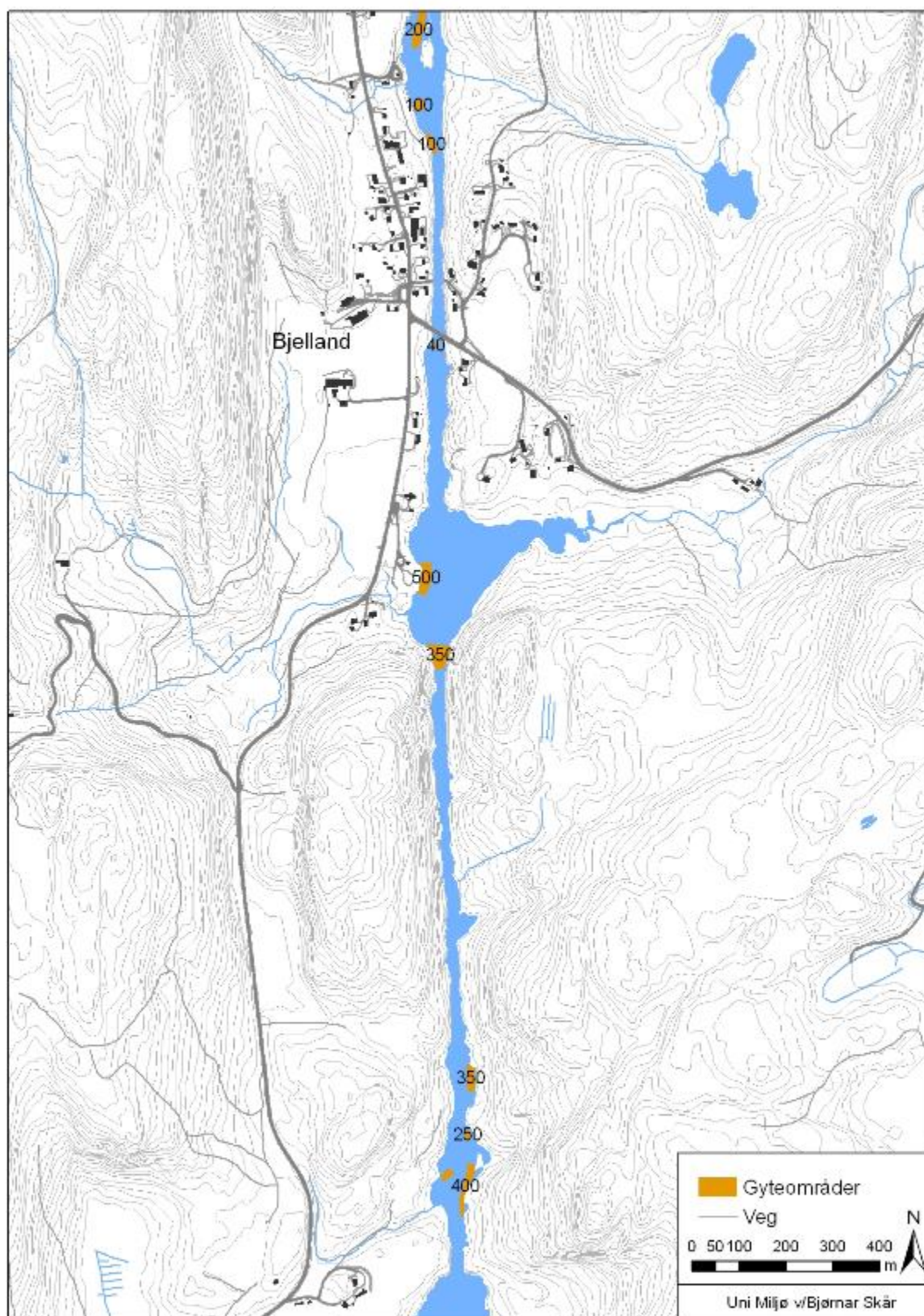


**Vedlegg 2.** Gyteområder med areal ( $m^2$ ) i ulike deler av Mandalselva fra øvre vandringsstopp og ned. Merk at for strekninge Dam Manflå-Kleveland bru er både gyteområder før tiltak og potsensielle gyteområder etter tiltak inntegnet. De potensielle er nå realisert.

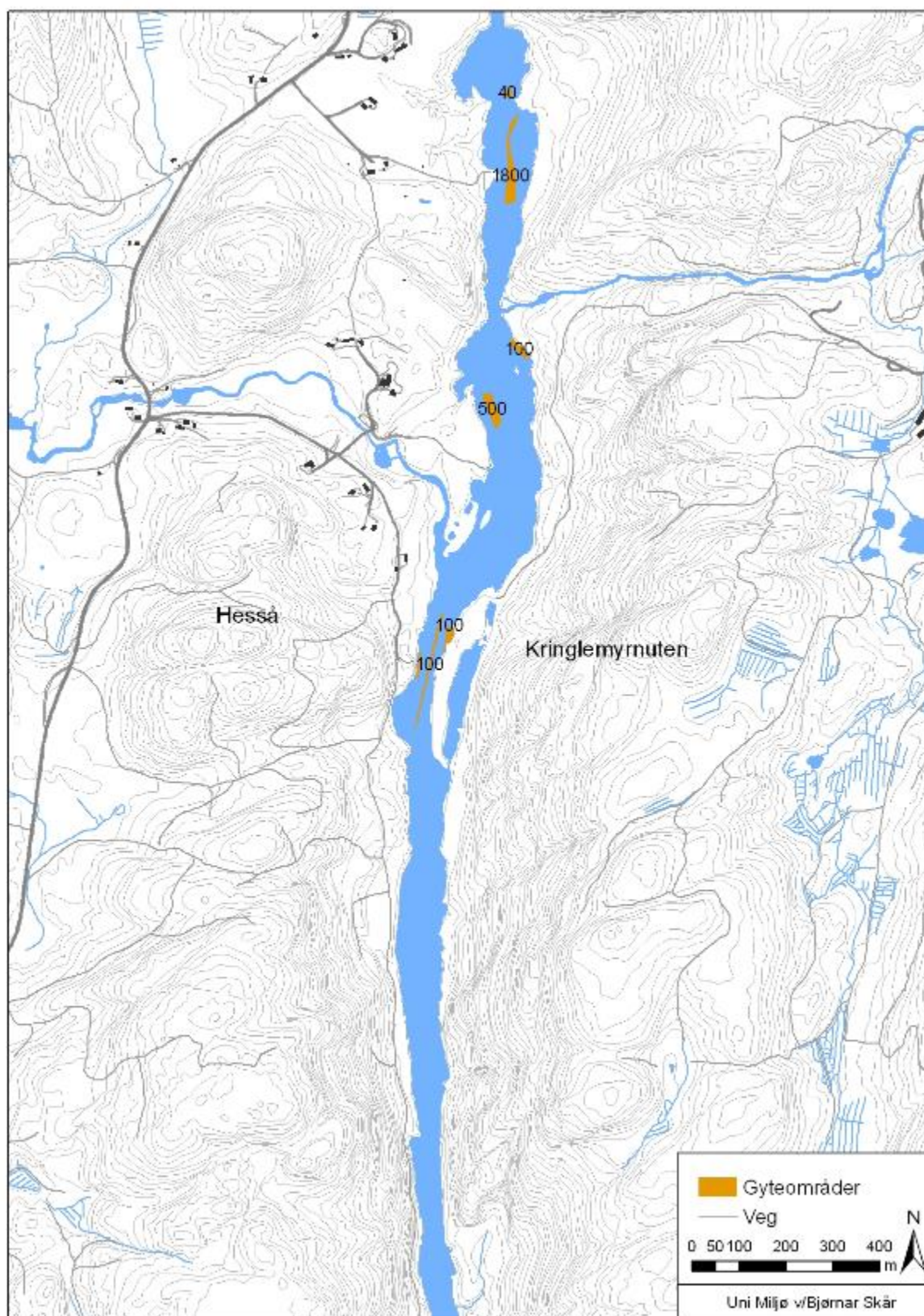


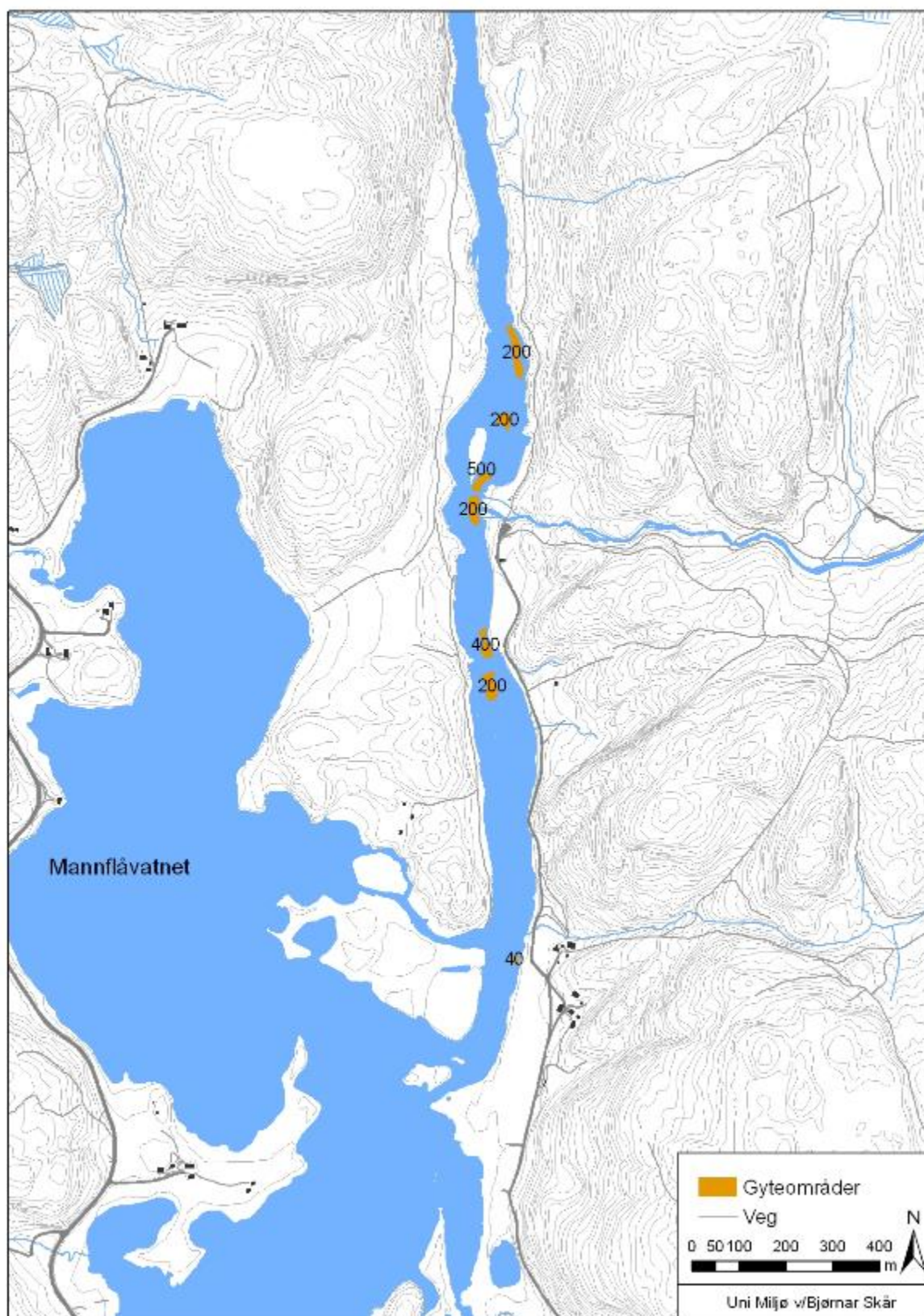




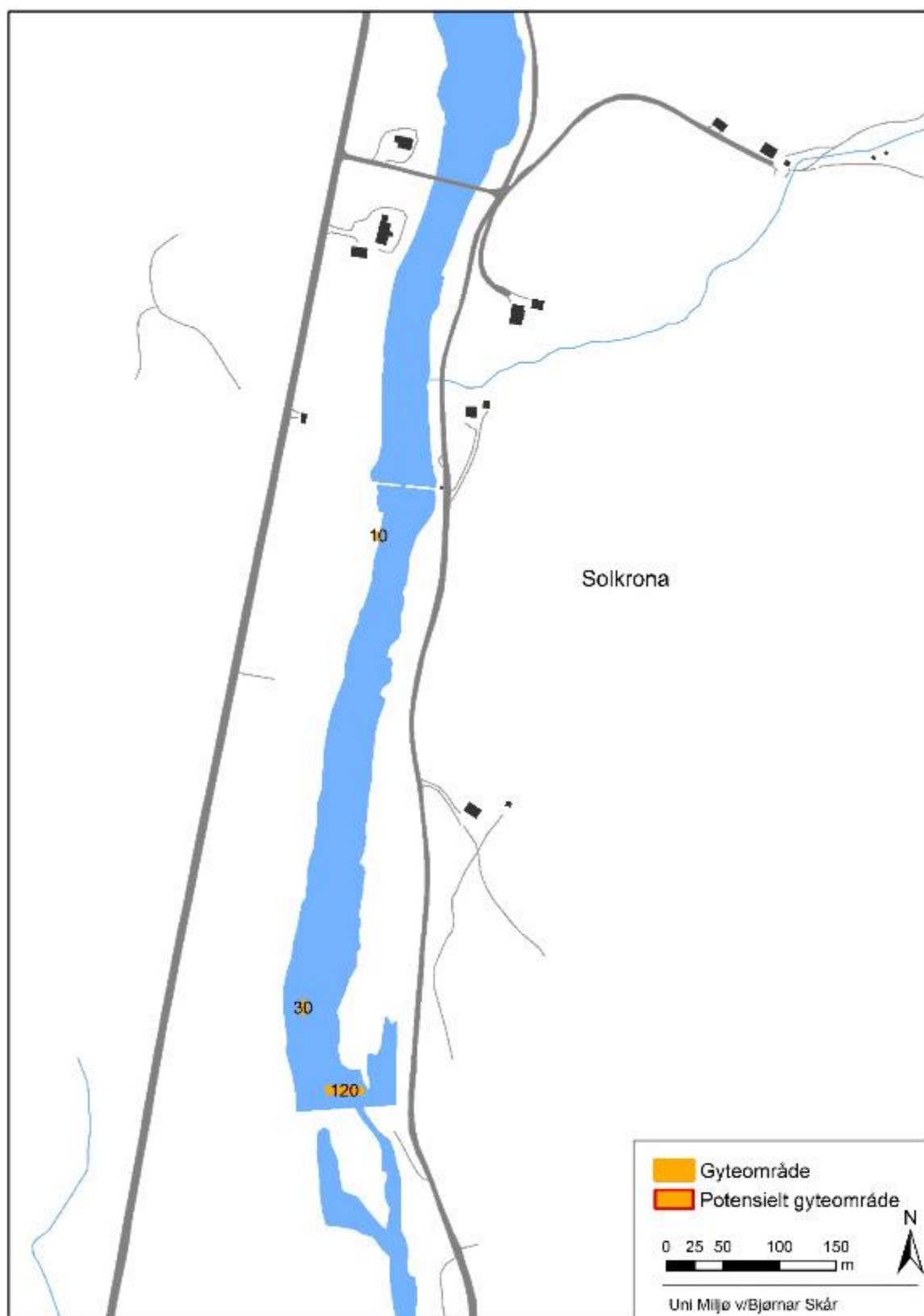


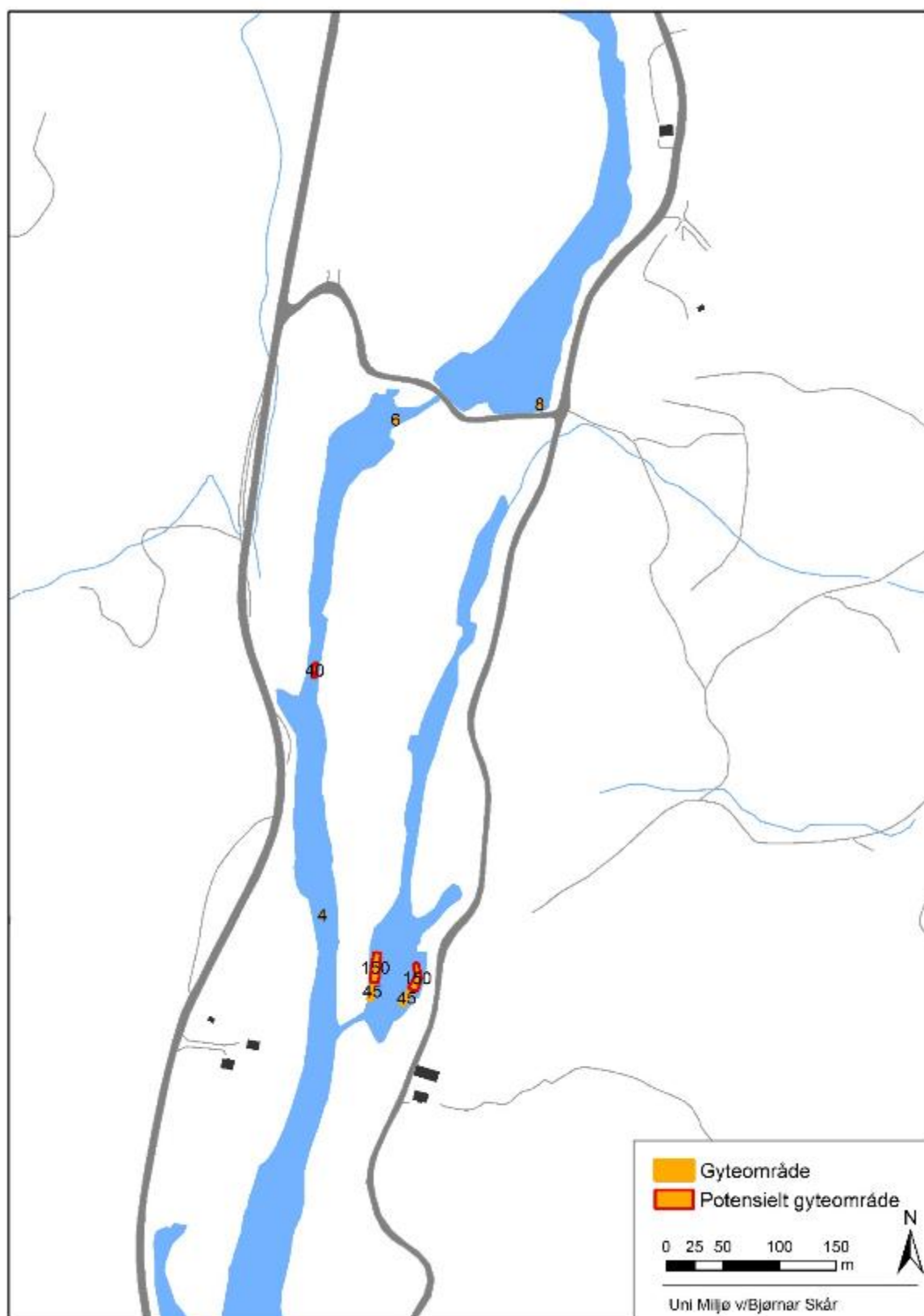


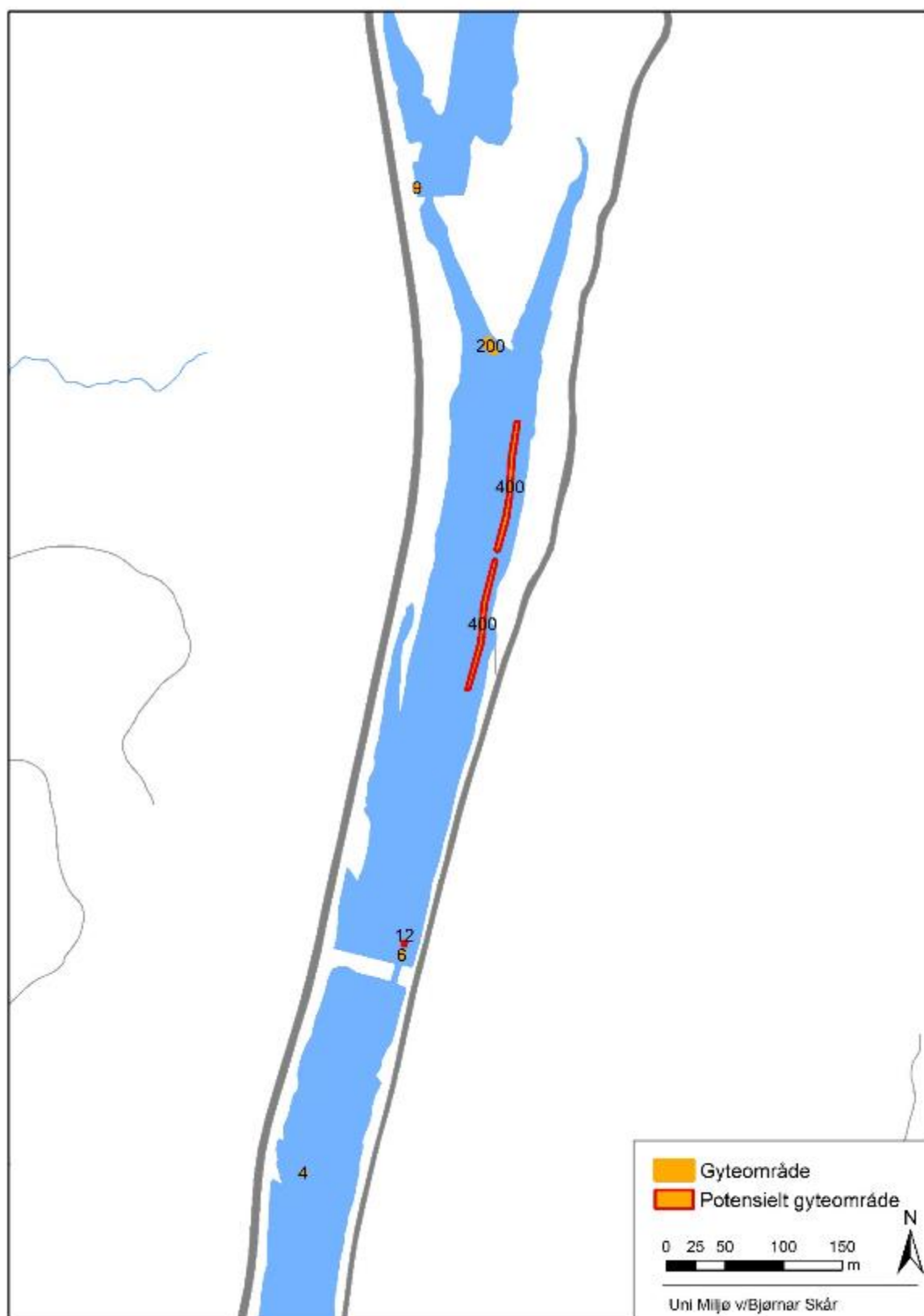


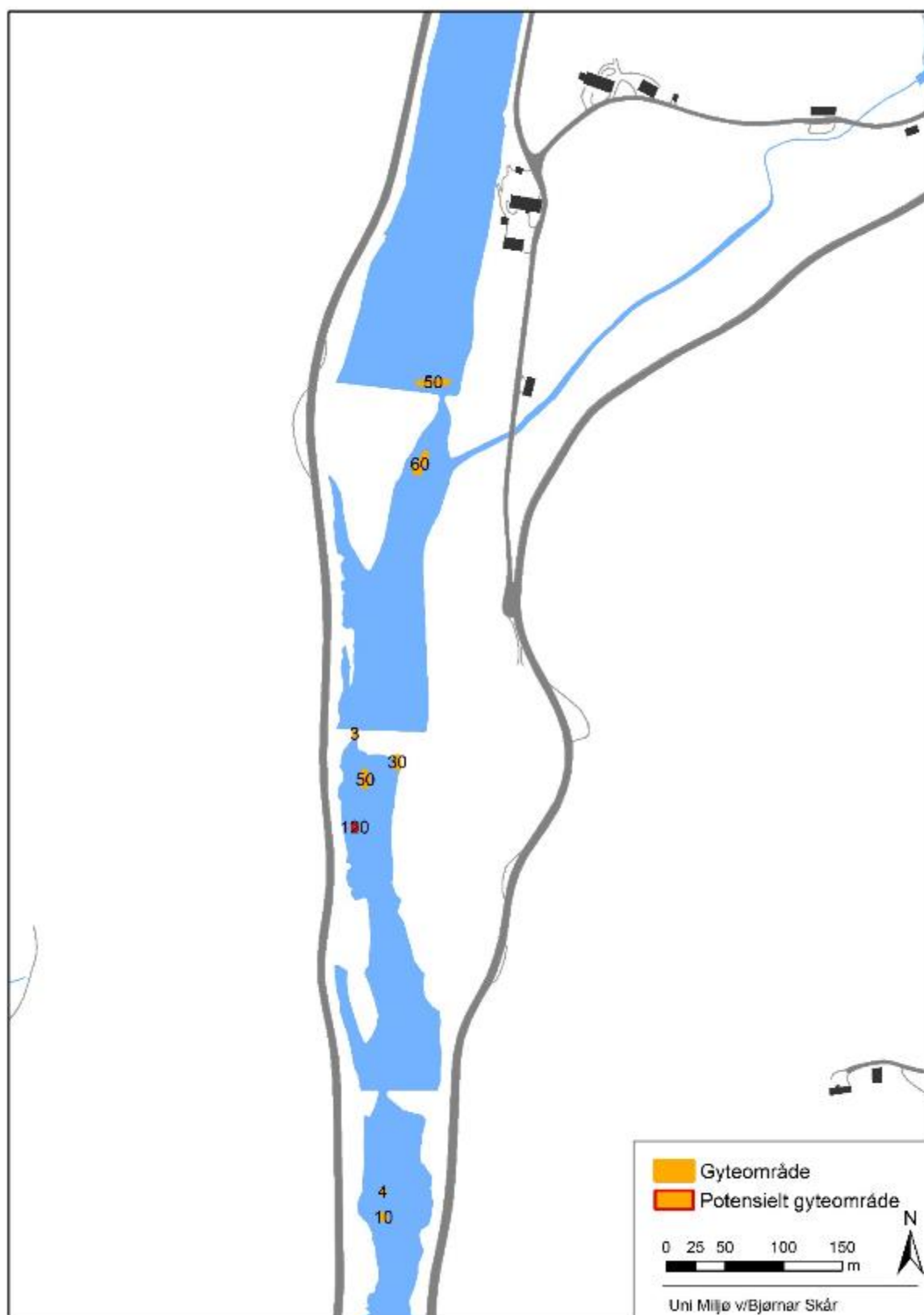


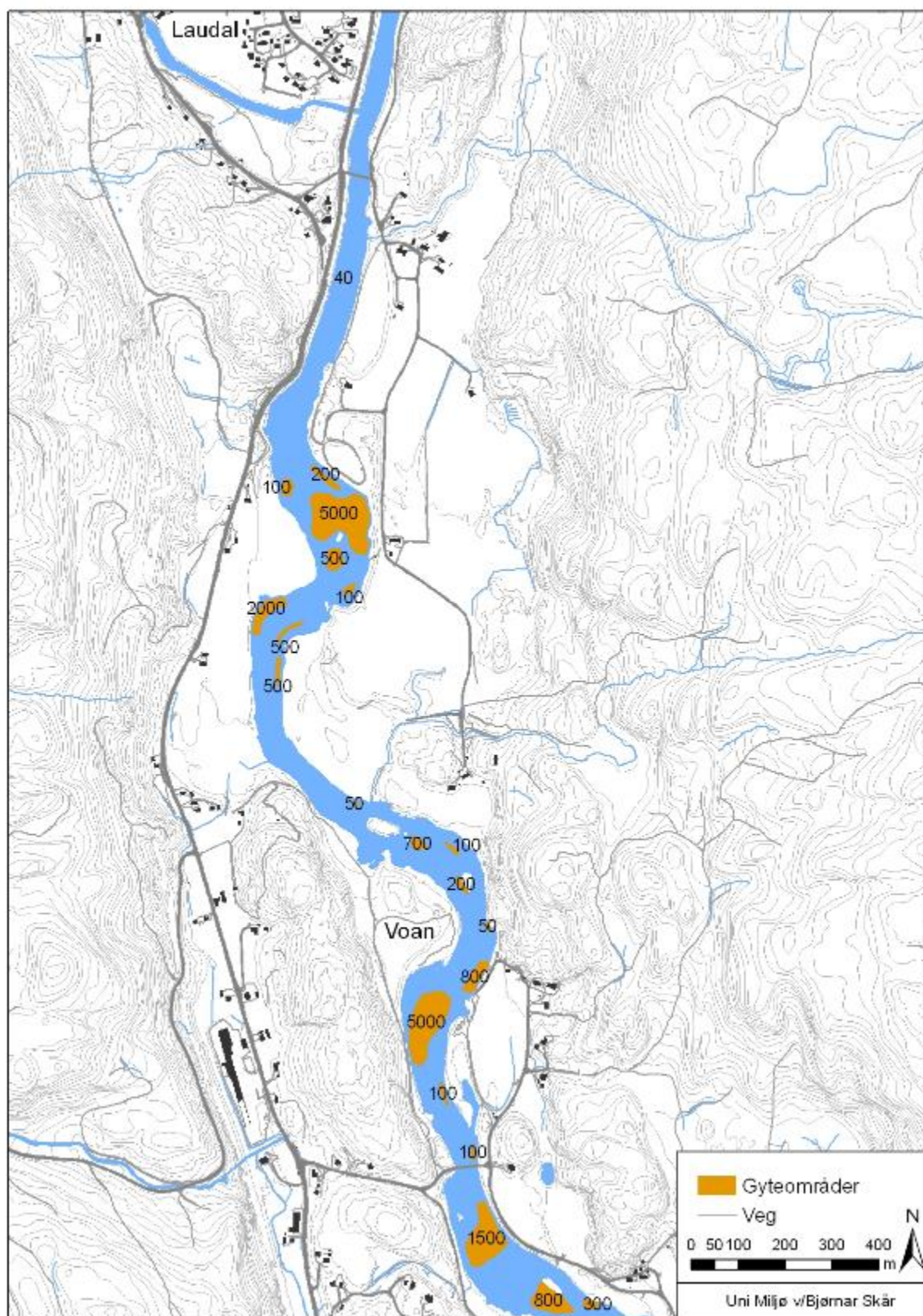




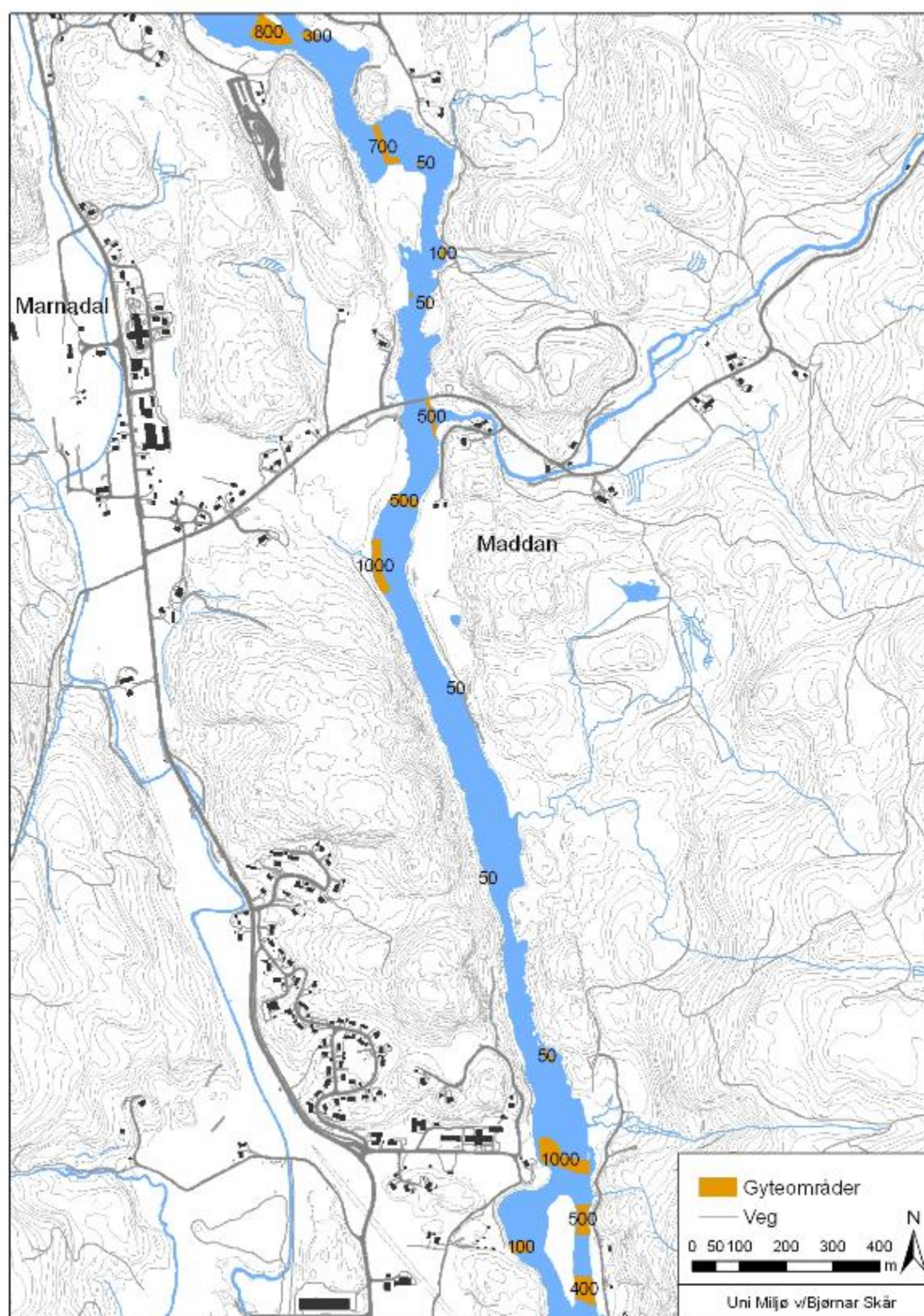




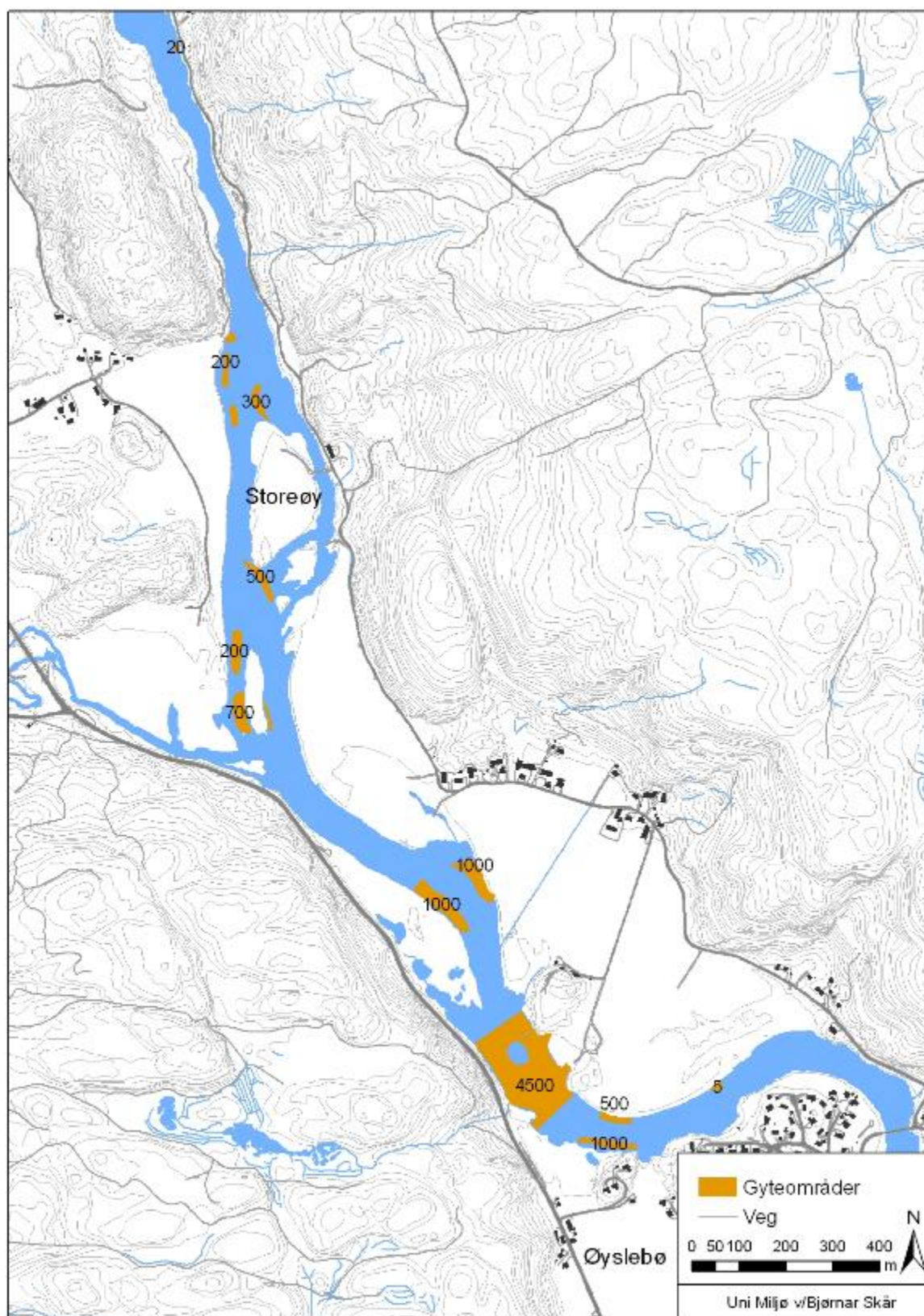




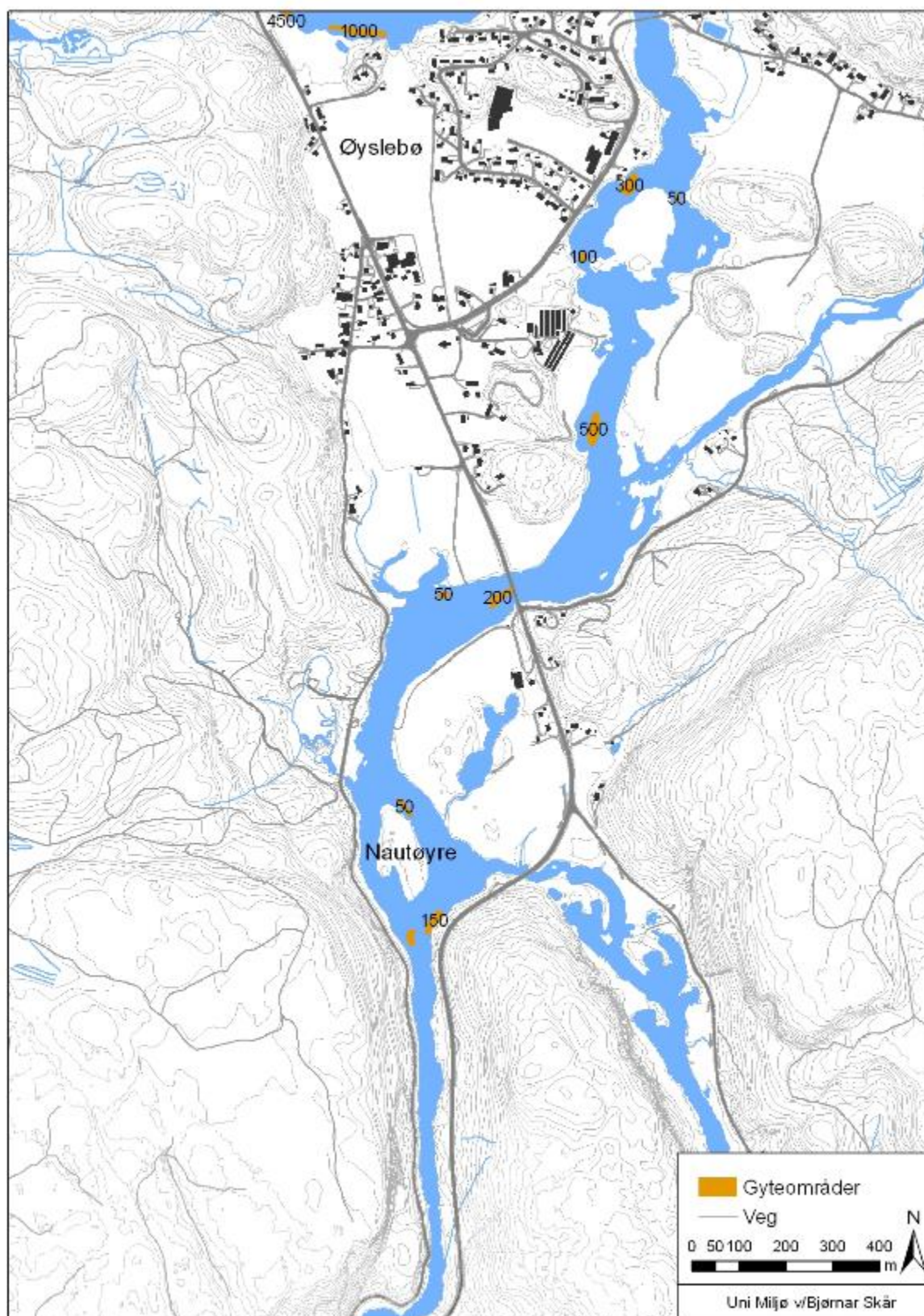




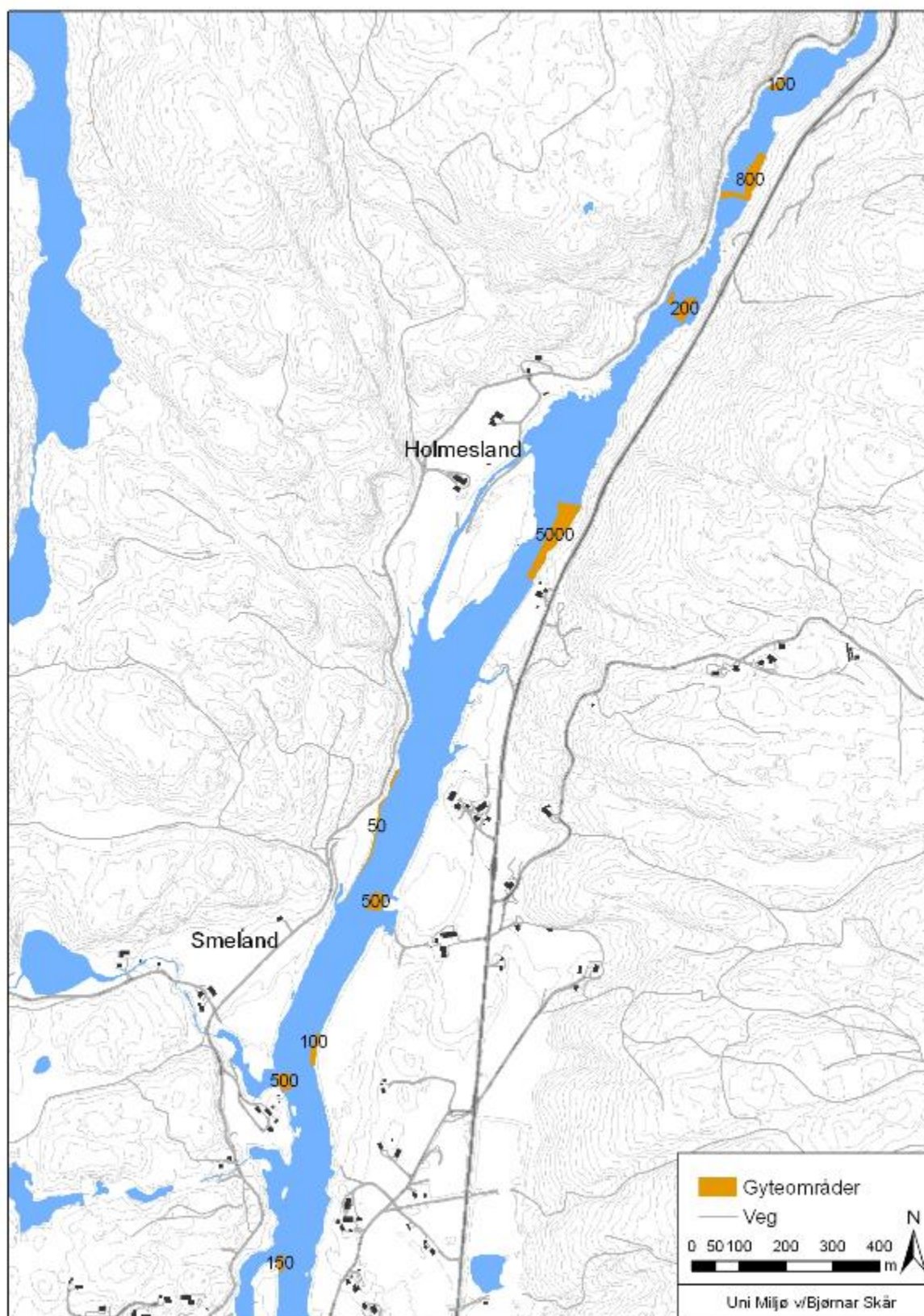


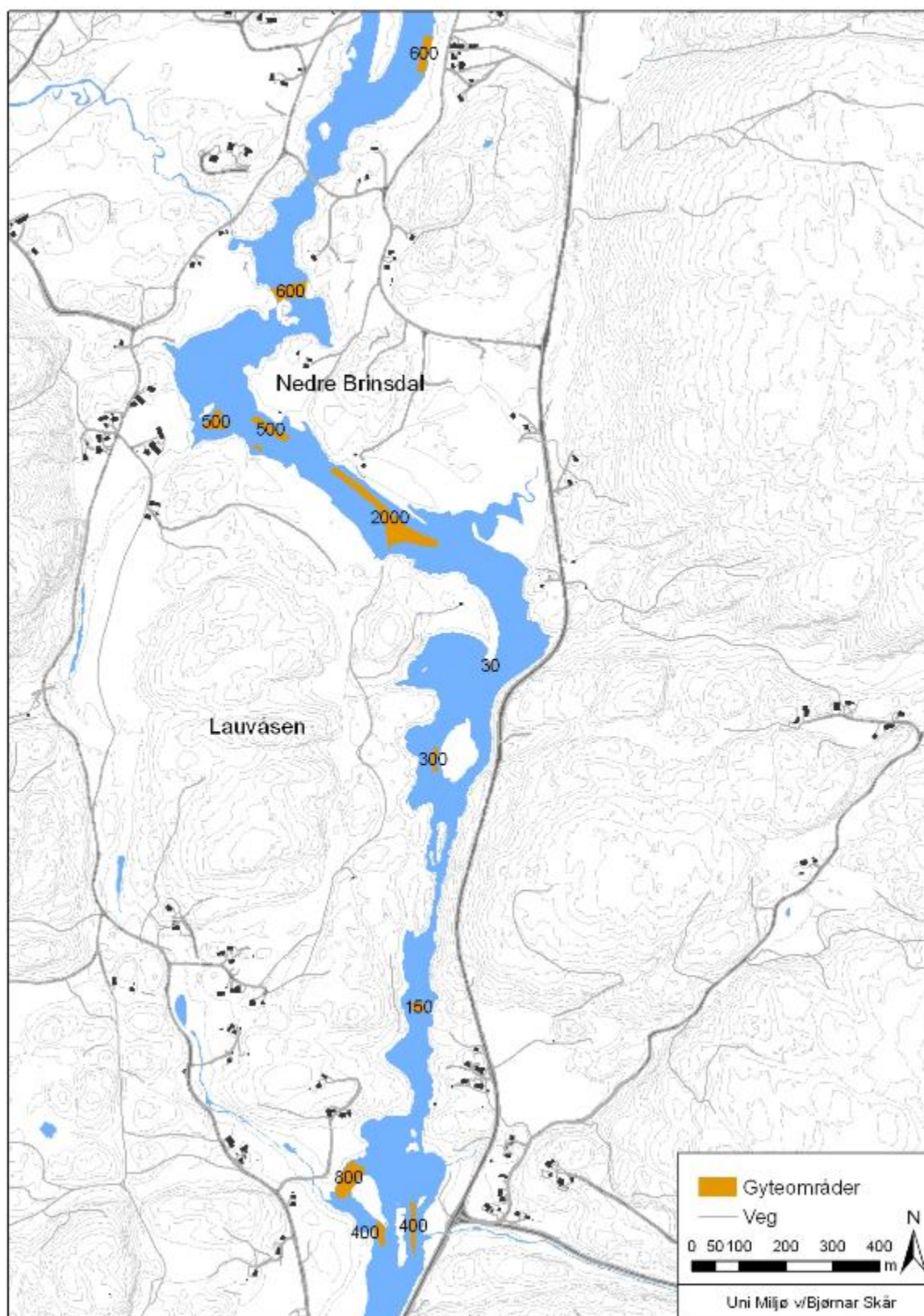






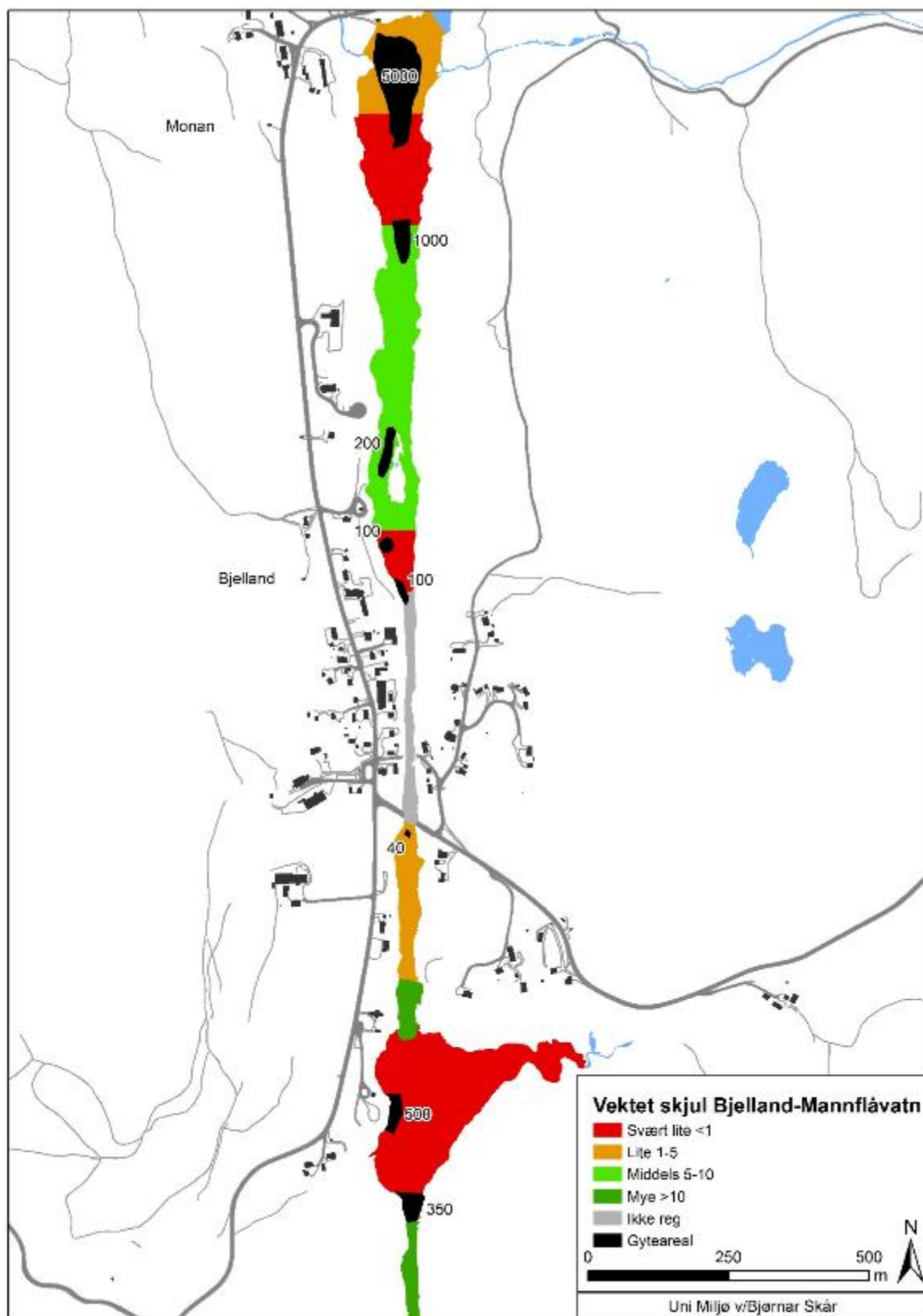


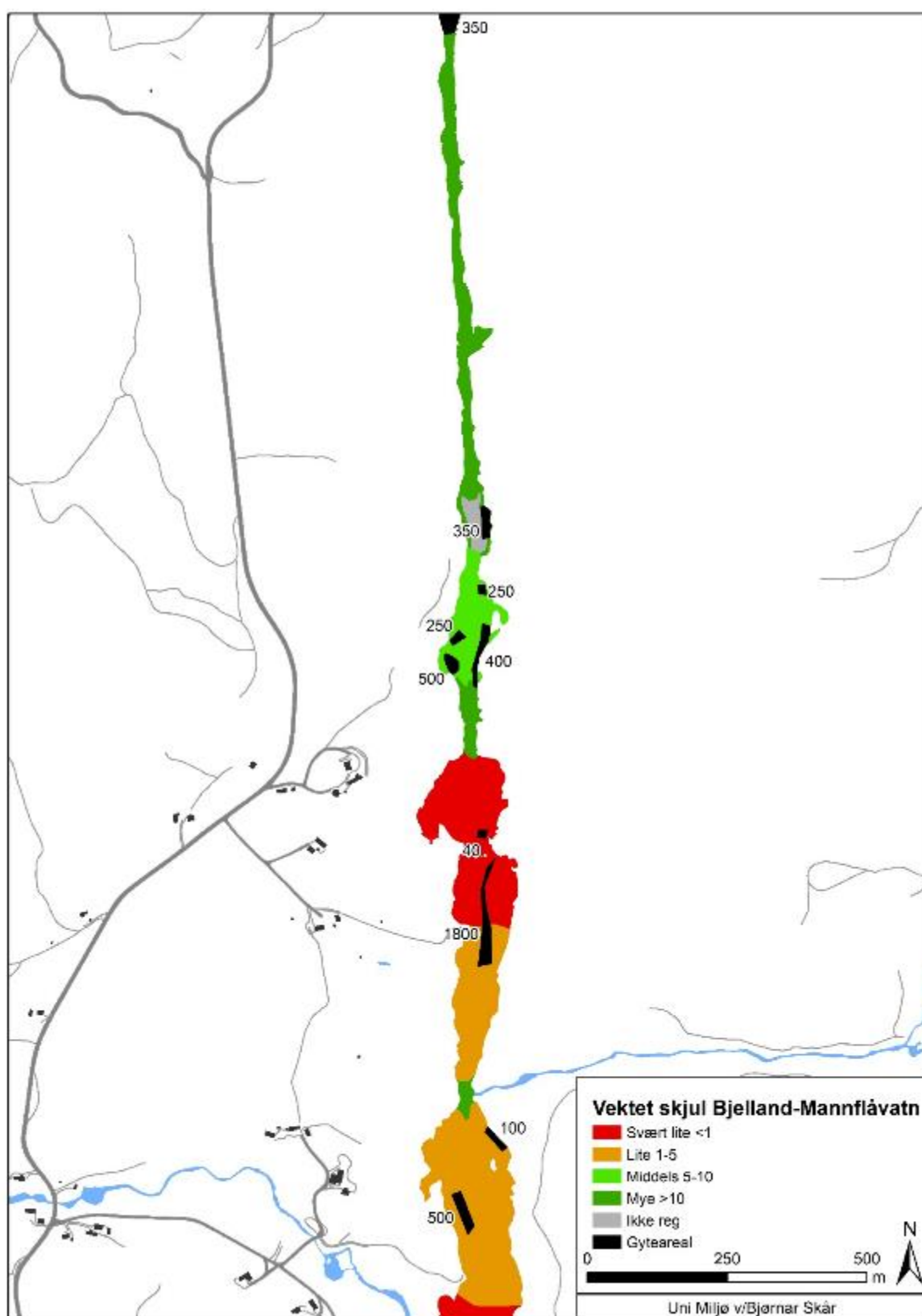


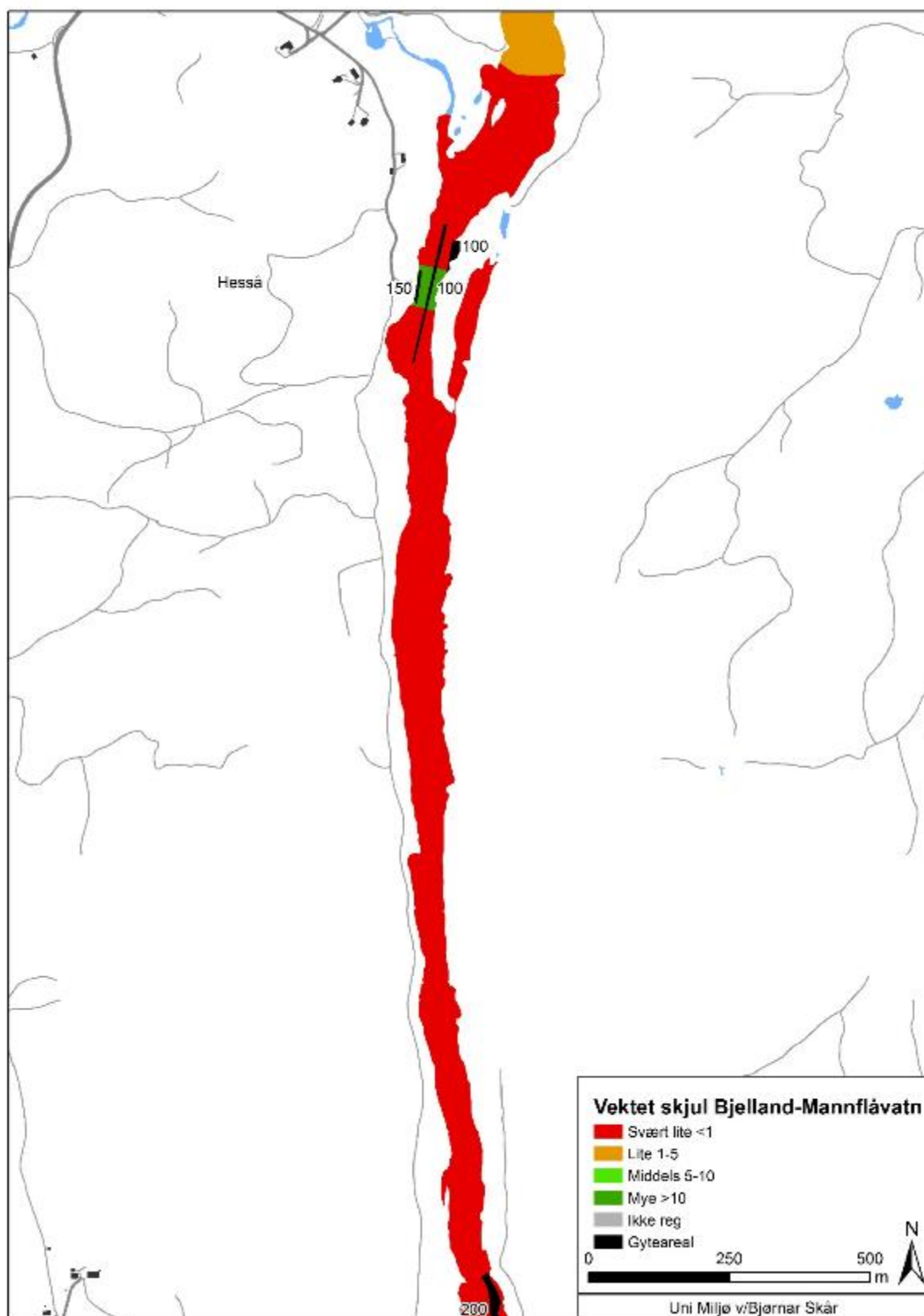


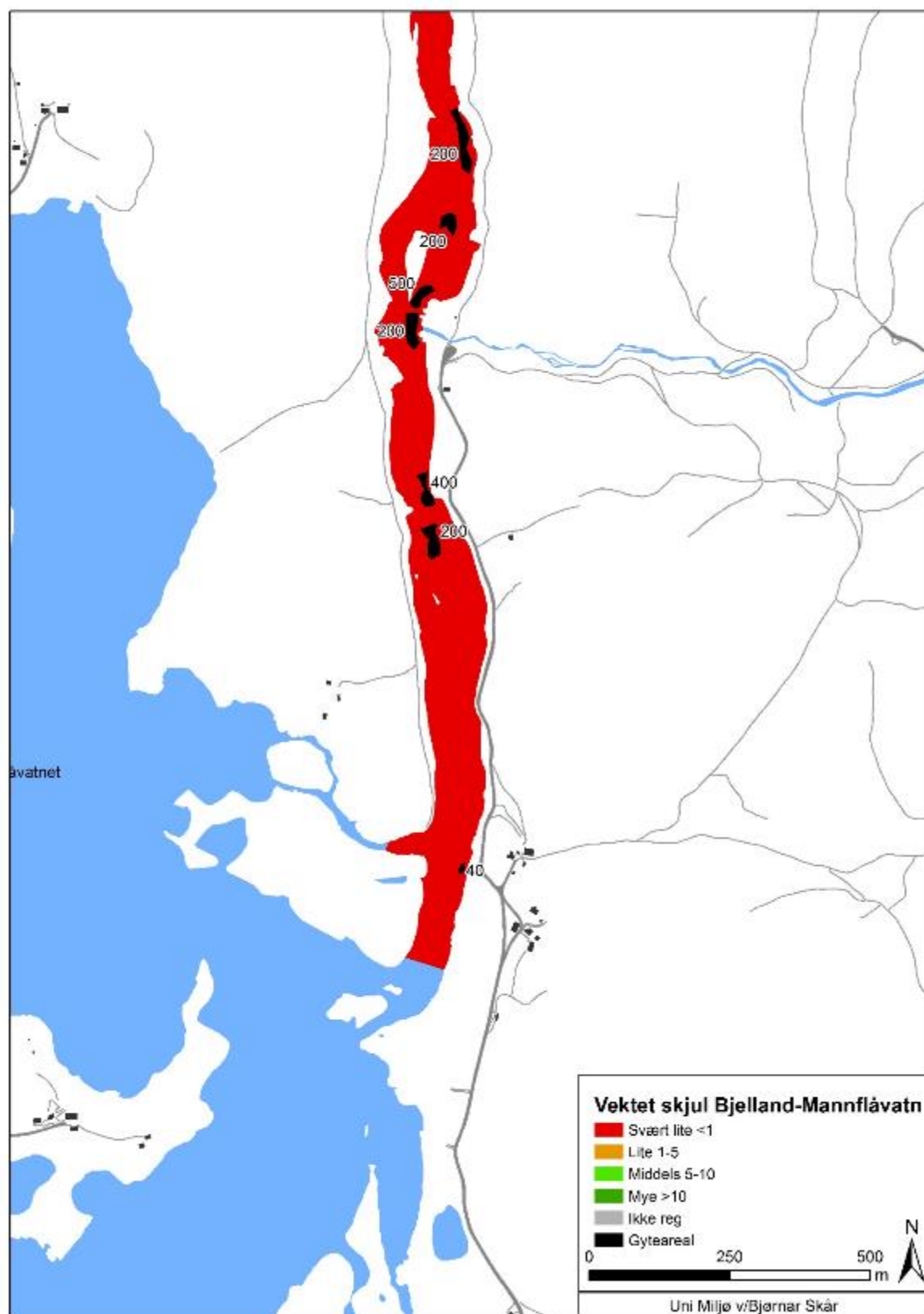


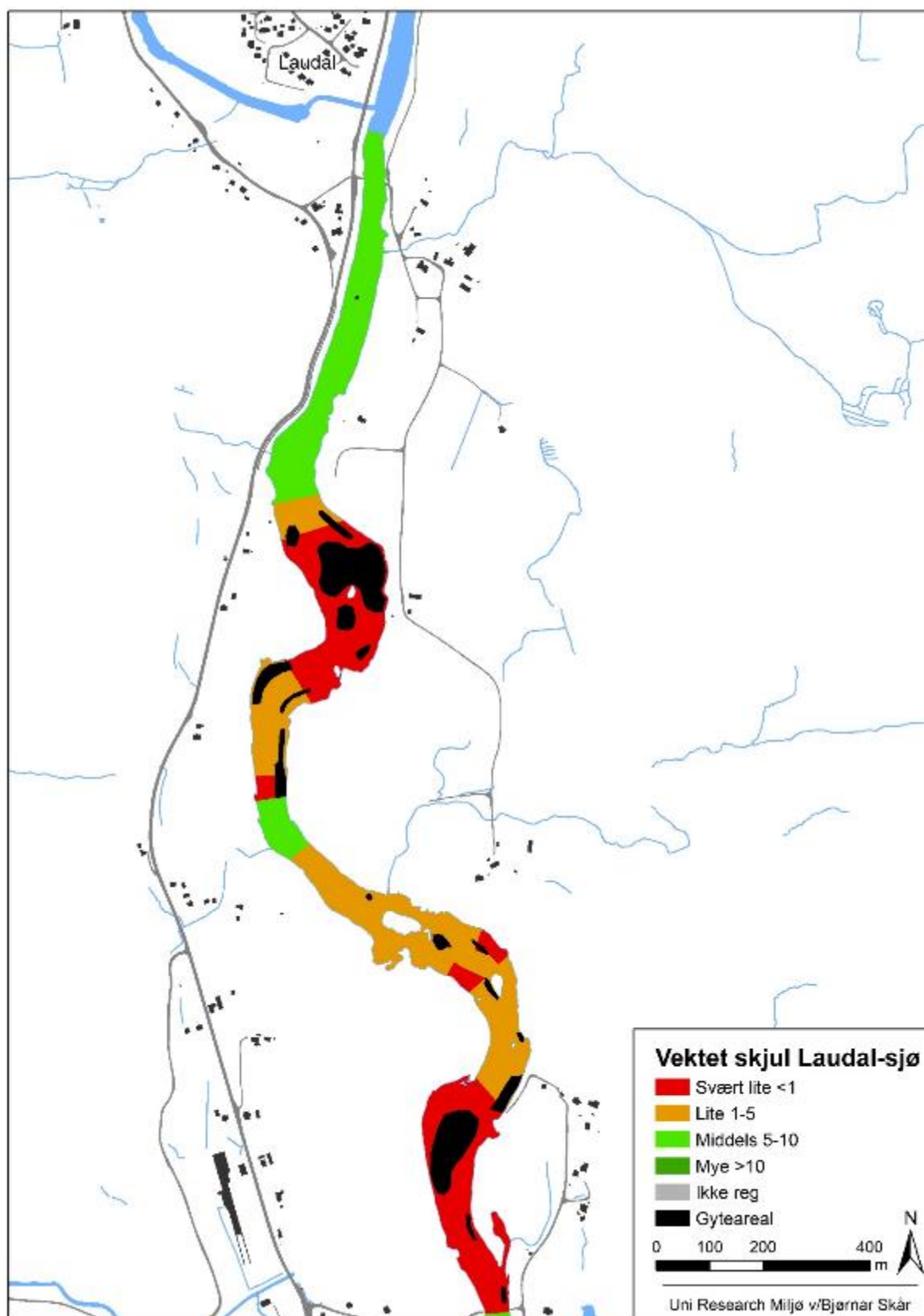
**Vedlegg 3.** Forekomst av skjul (vektet med dybden) mellom steiner i strekningene Monan-Mannflåvann og Laudal-brakkvannssonen.



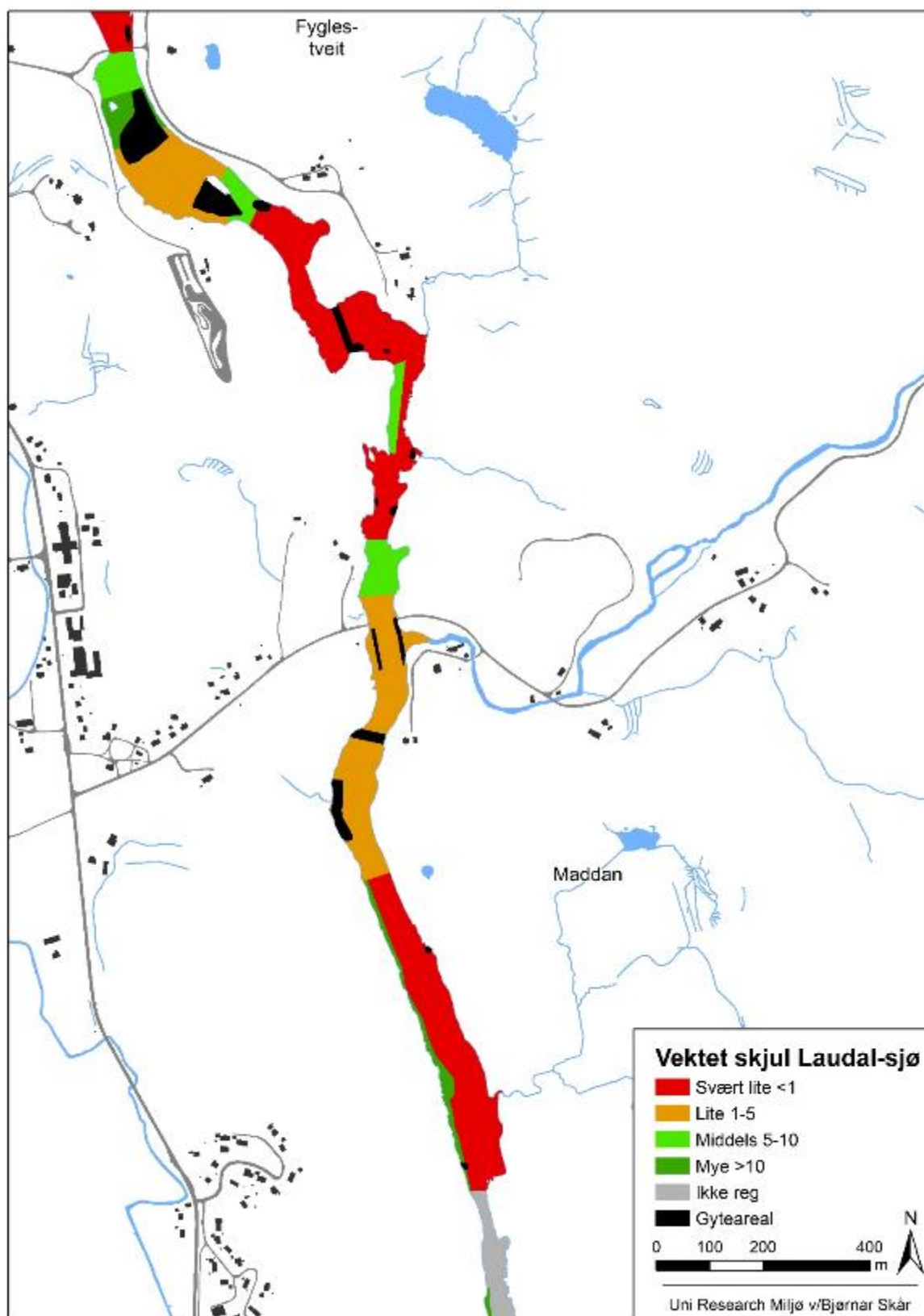




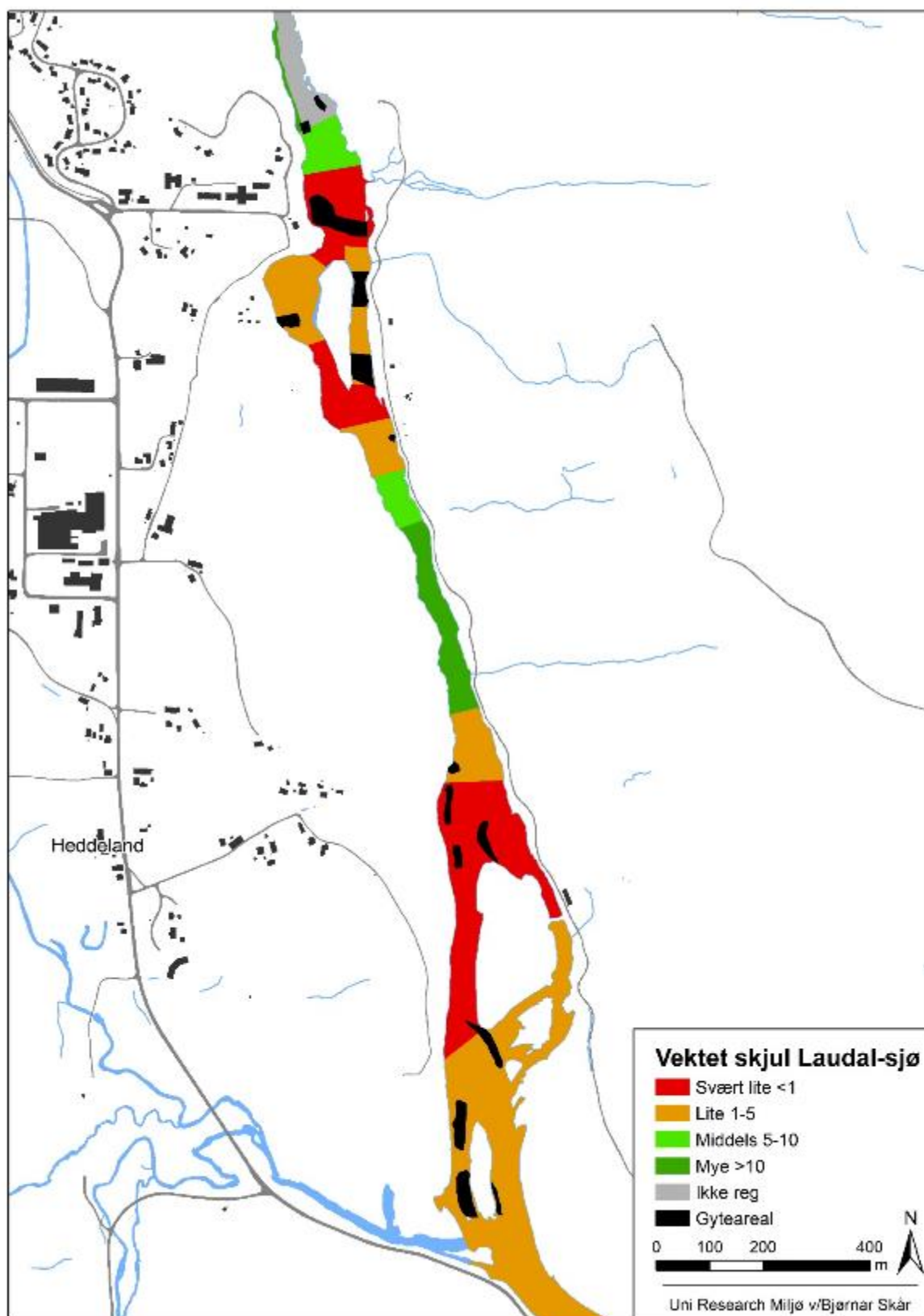


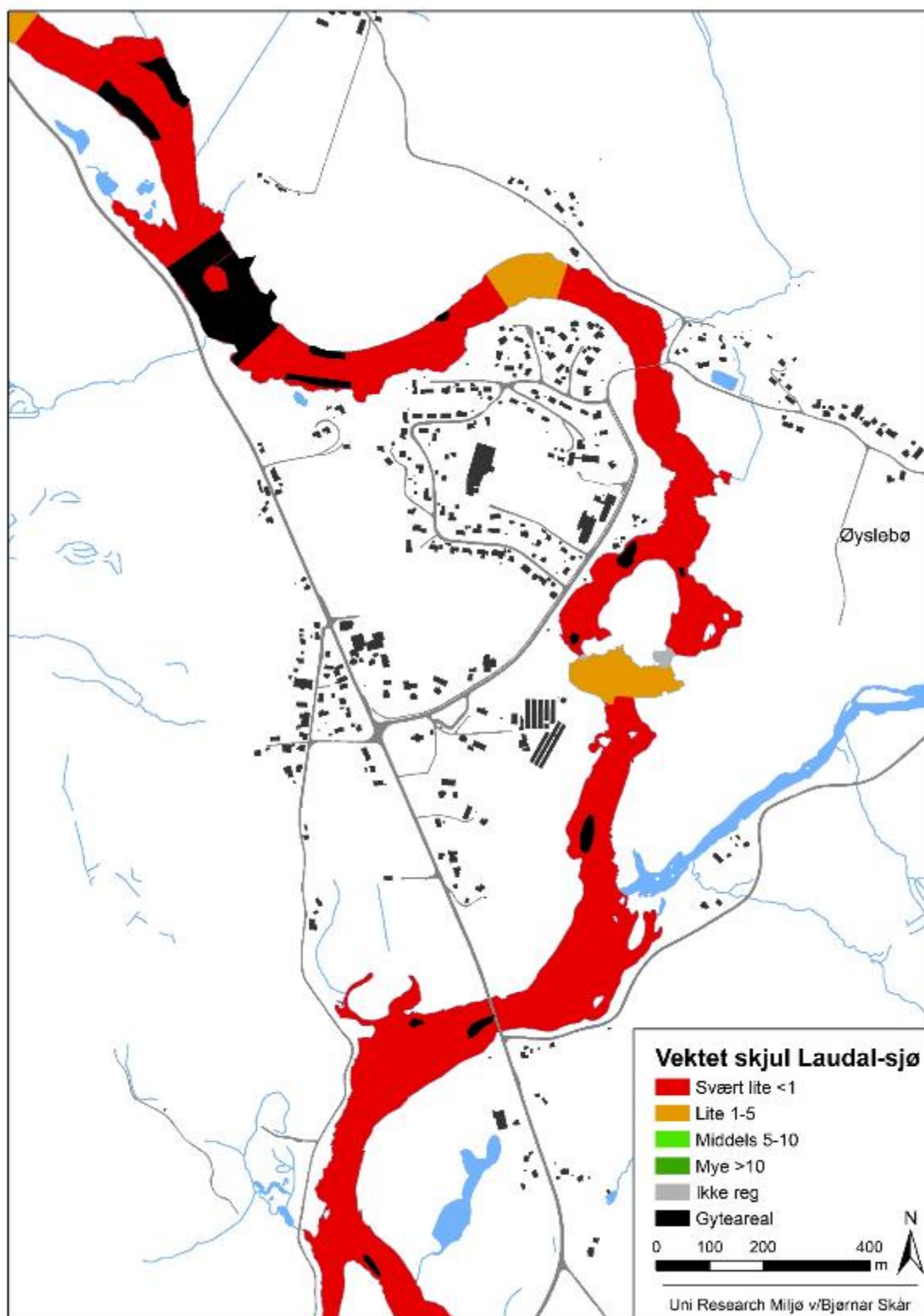


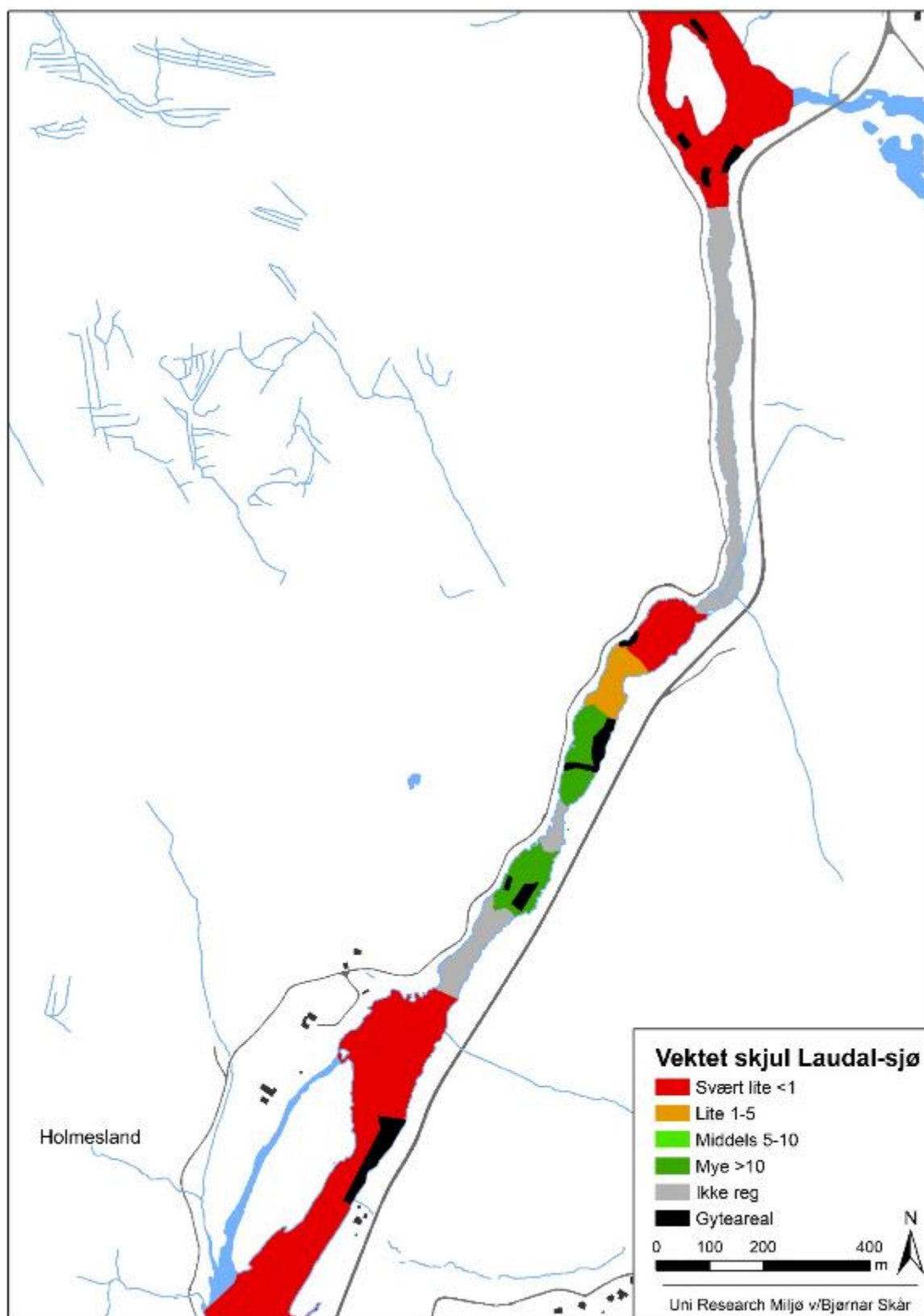


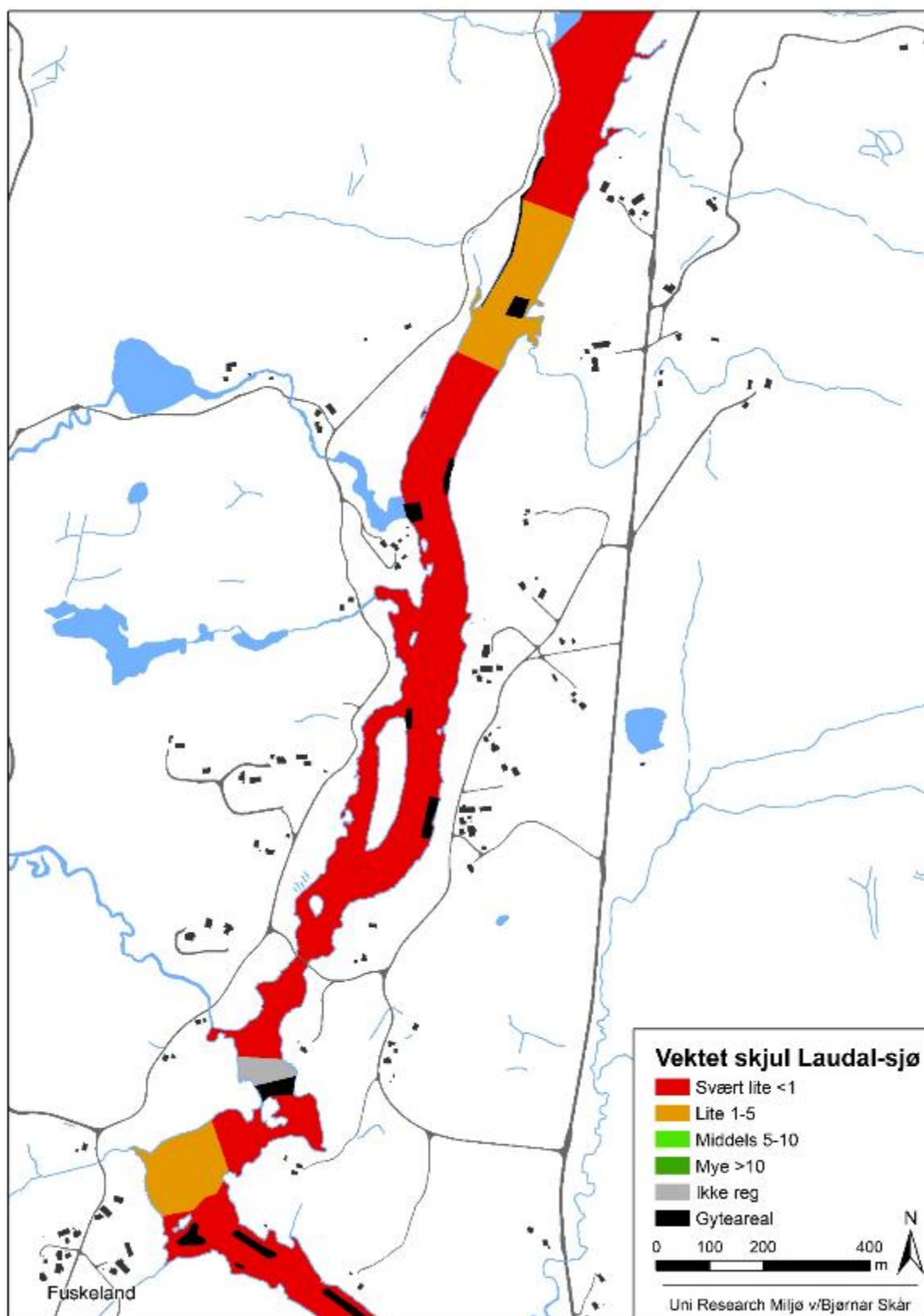




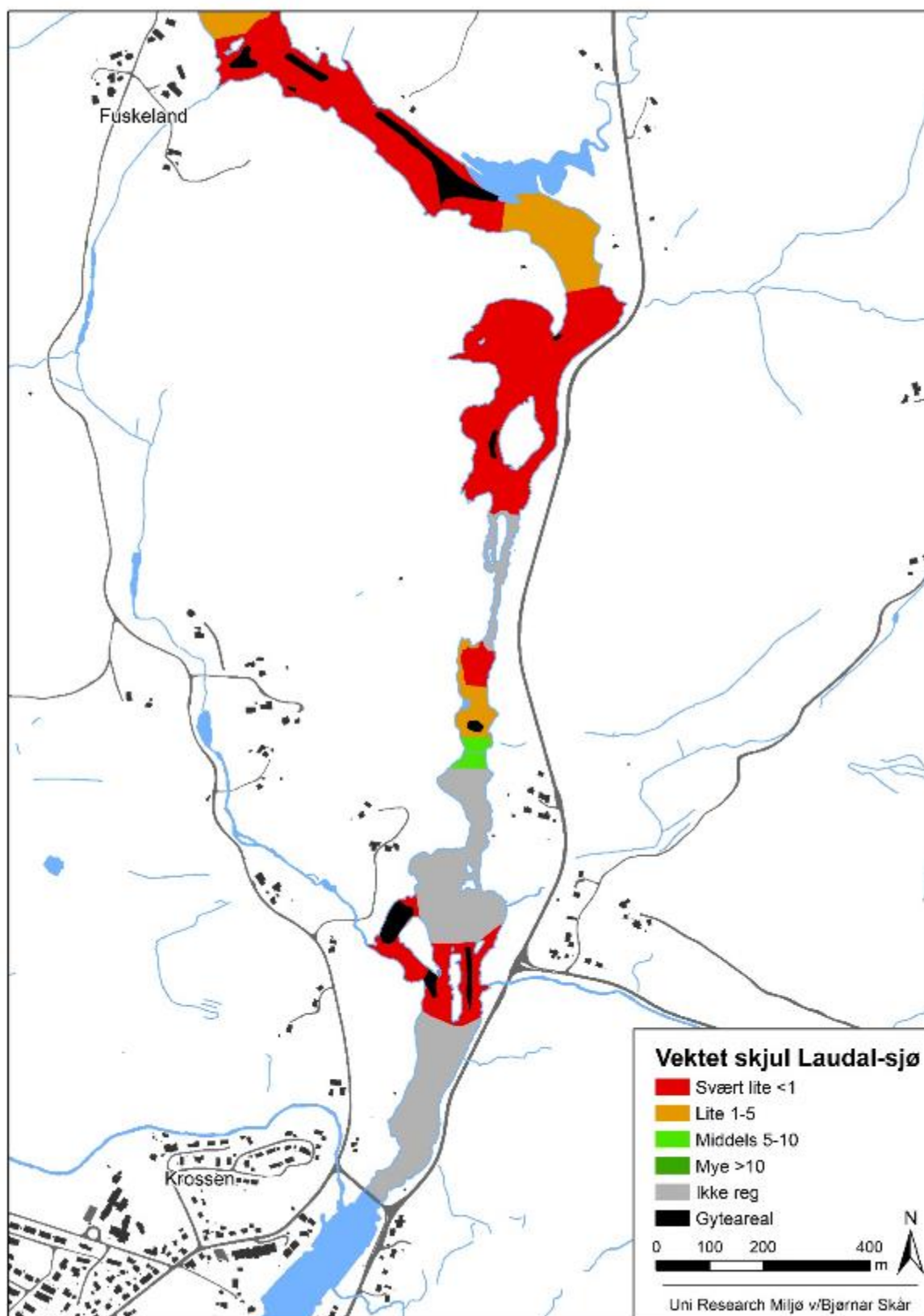






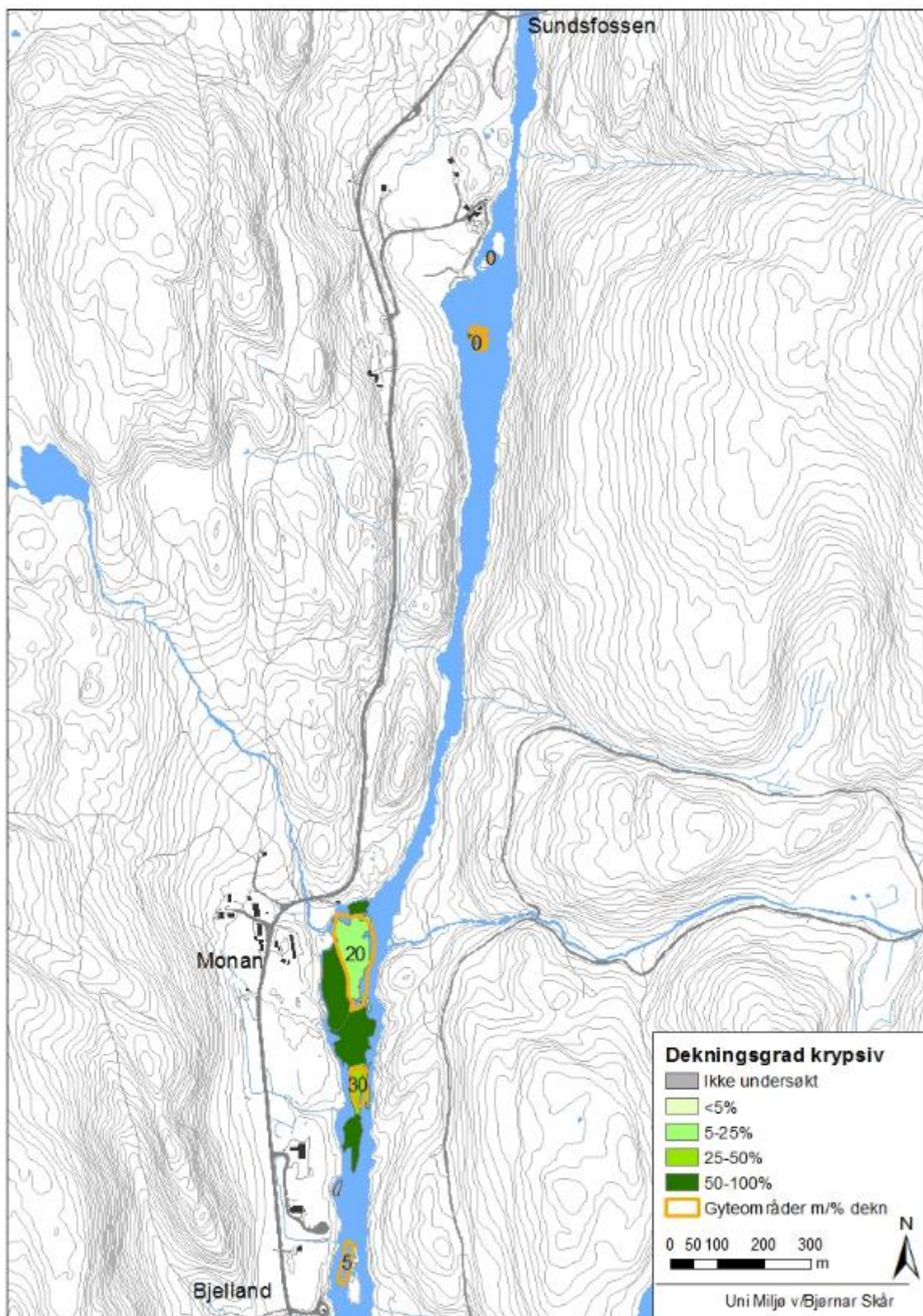




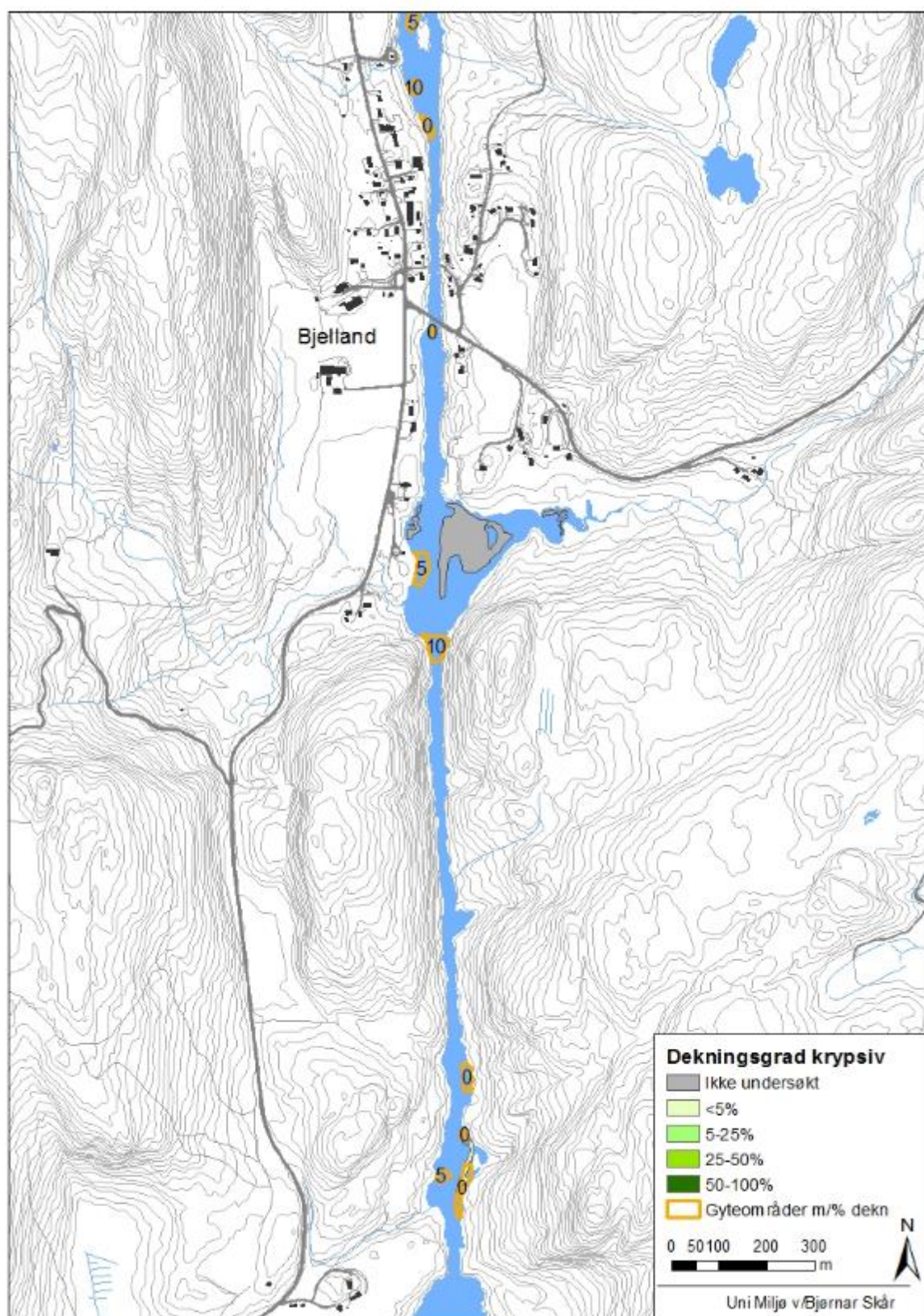




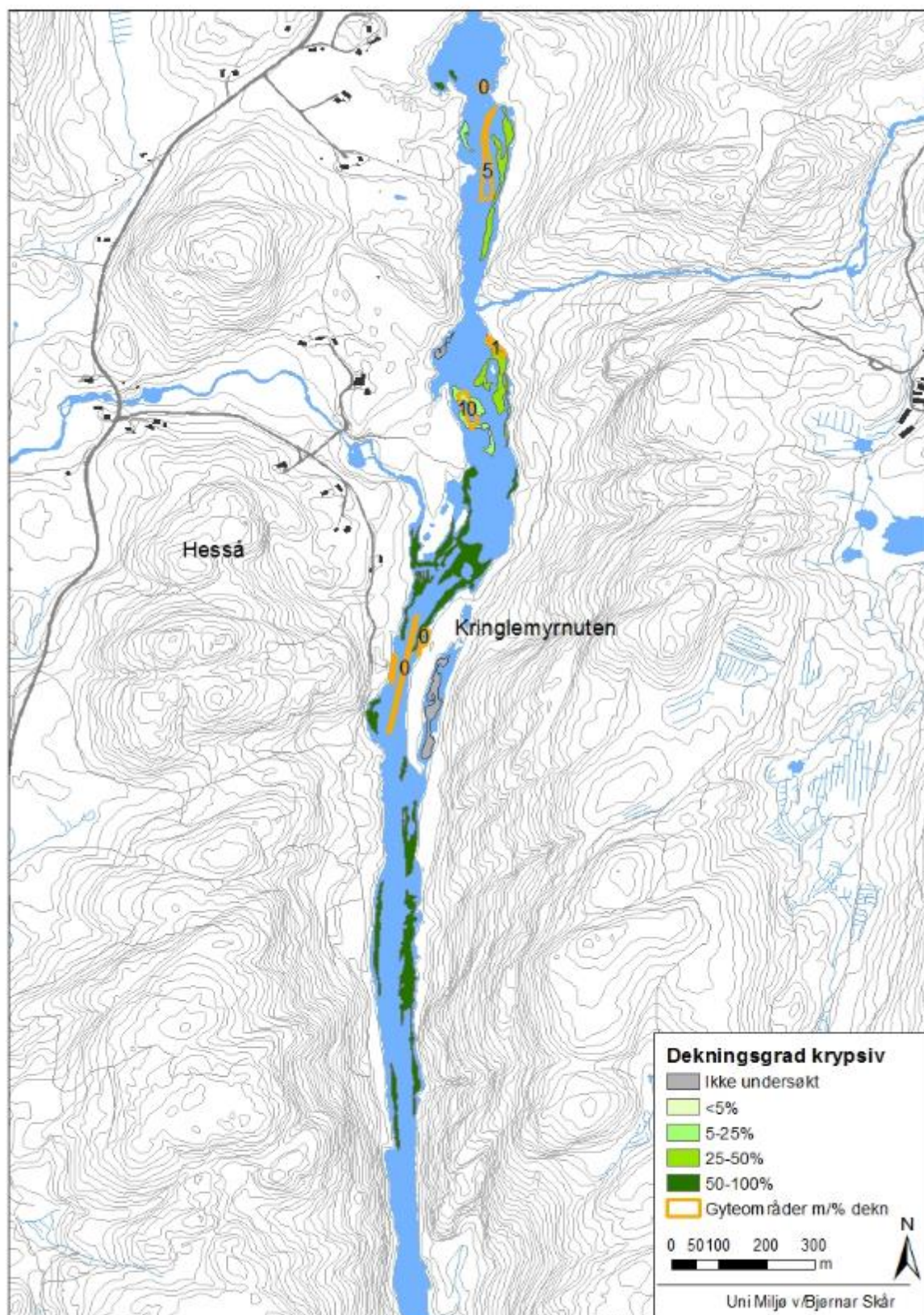
**Vedlegg 4.** Dekning av krypsiv på strekningen Monan-Manflåvann og Laudal-brakkvannssonen i 2016. Gyteområdene og dekning av krypsiv på disse er også inntegnet.



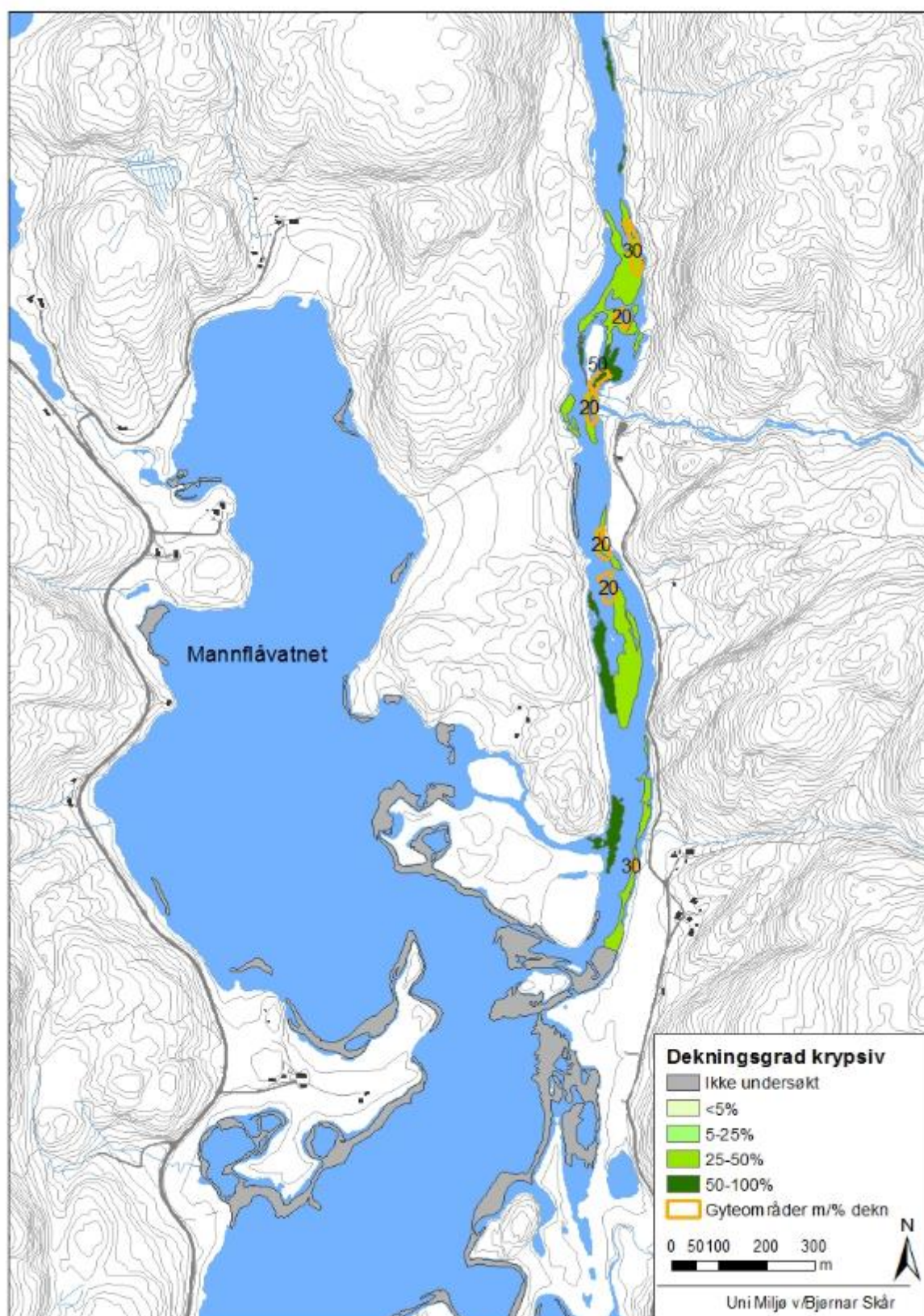




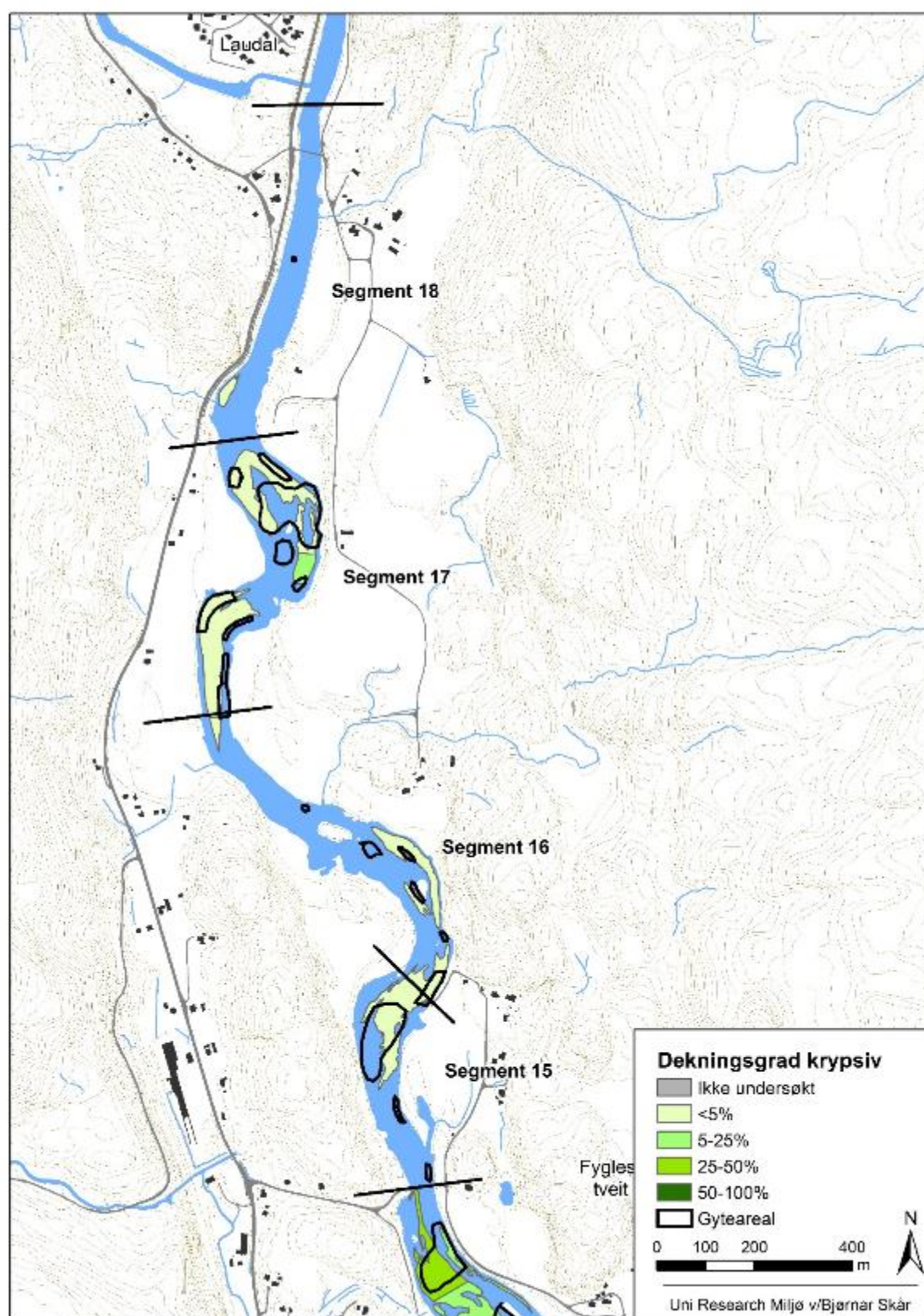




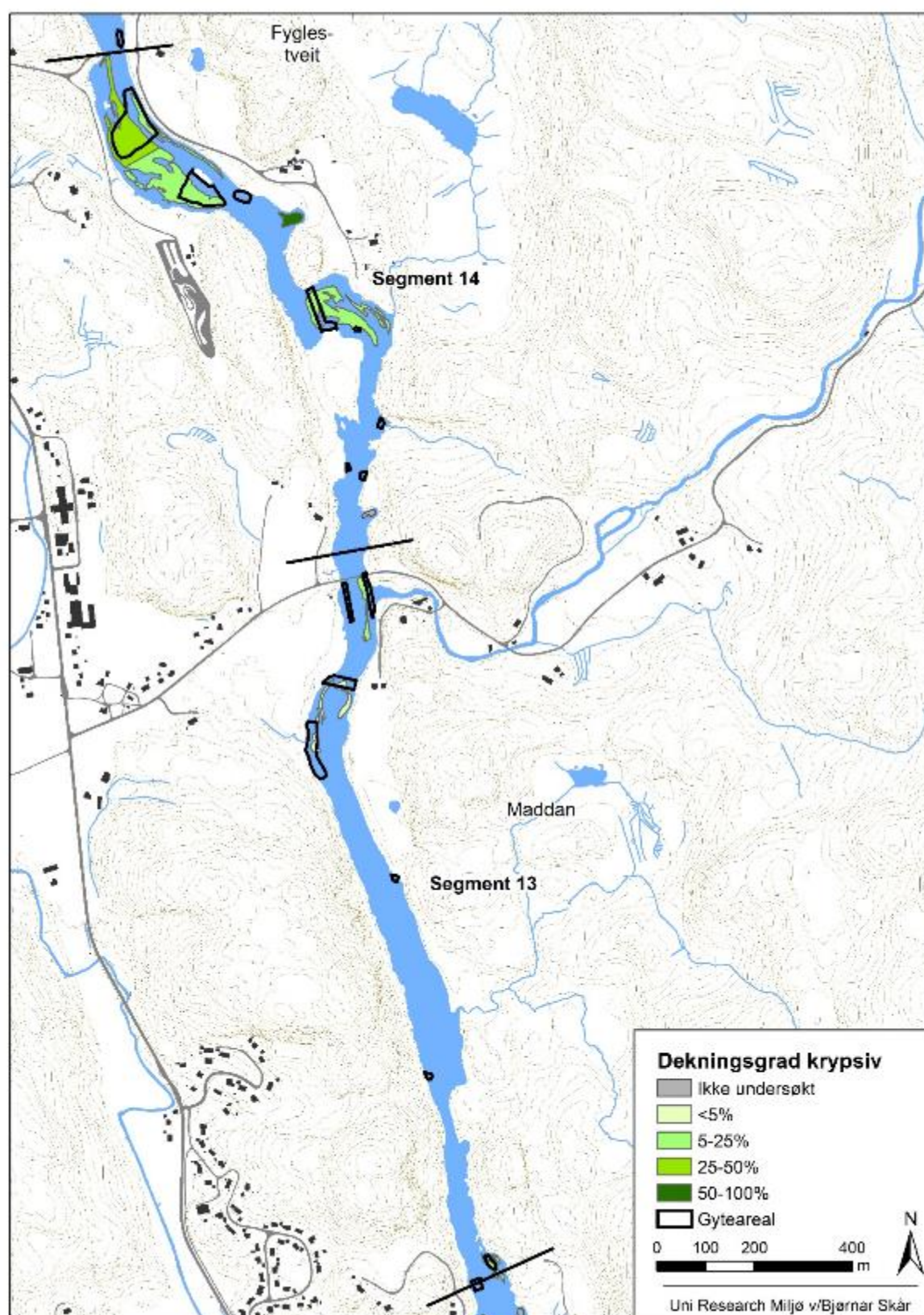


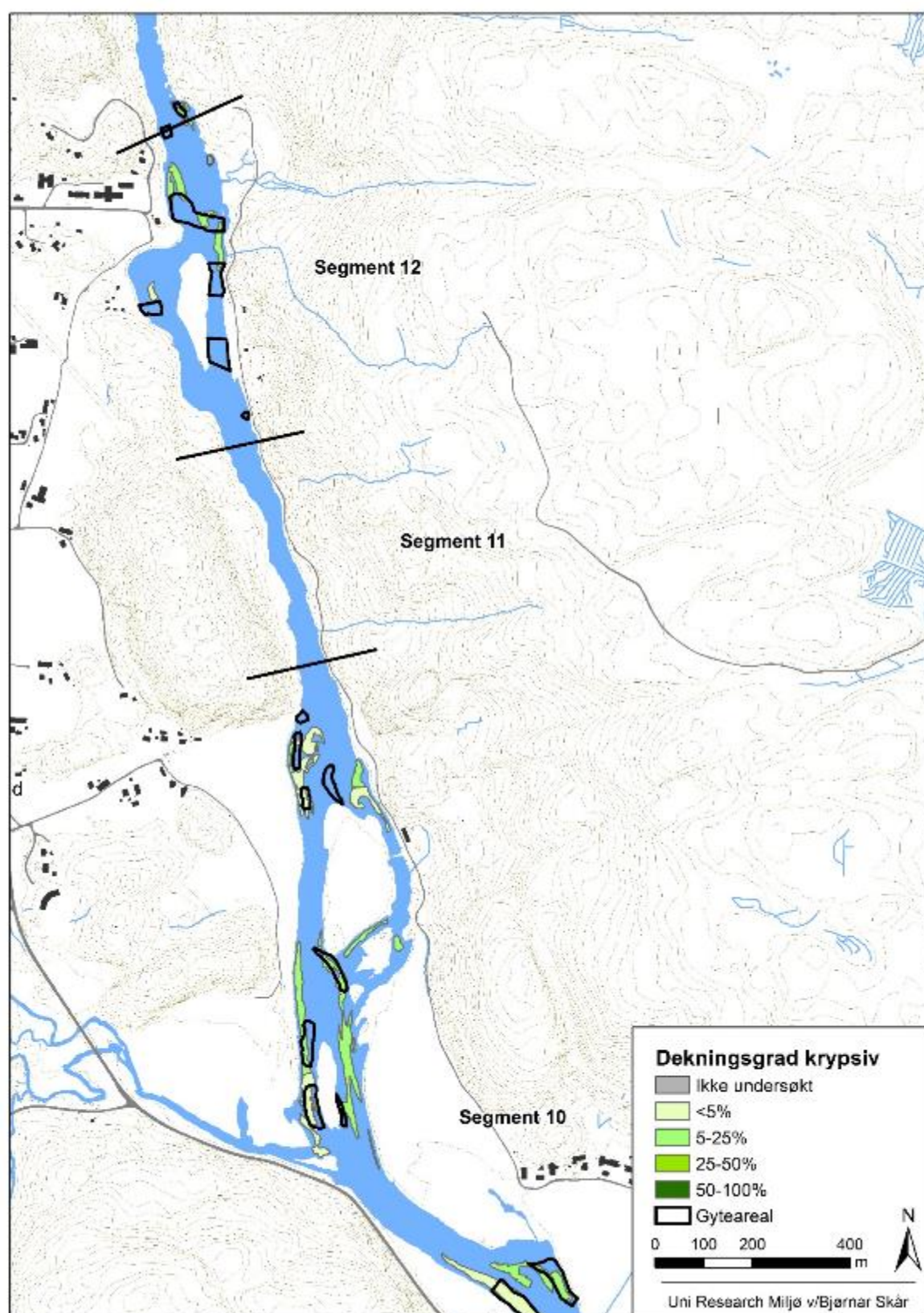




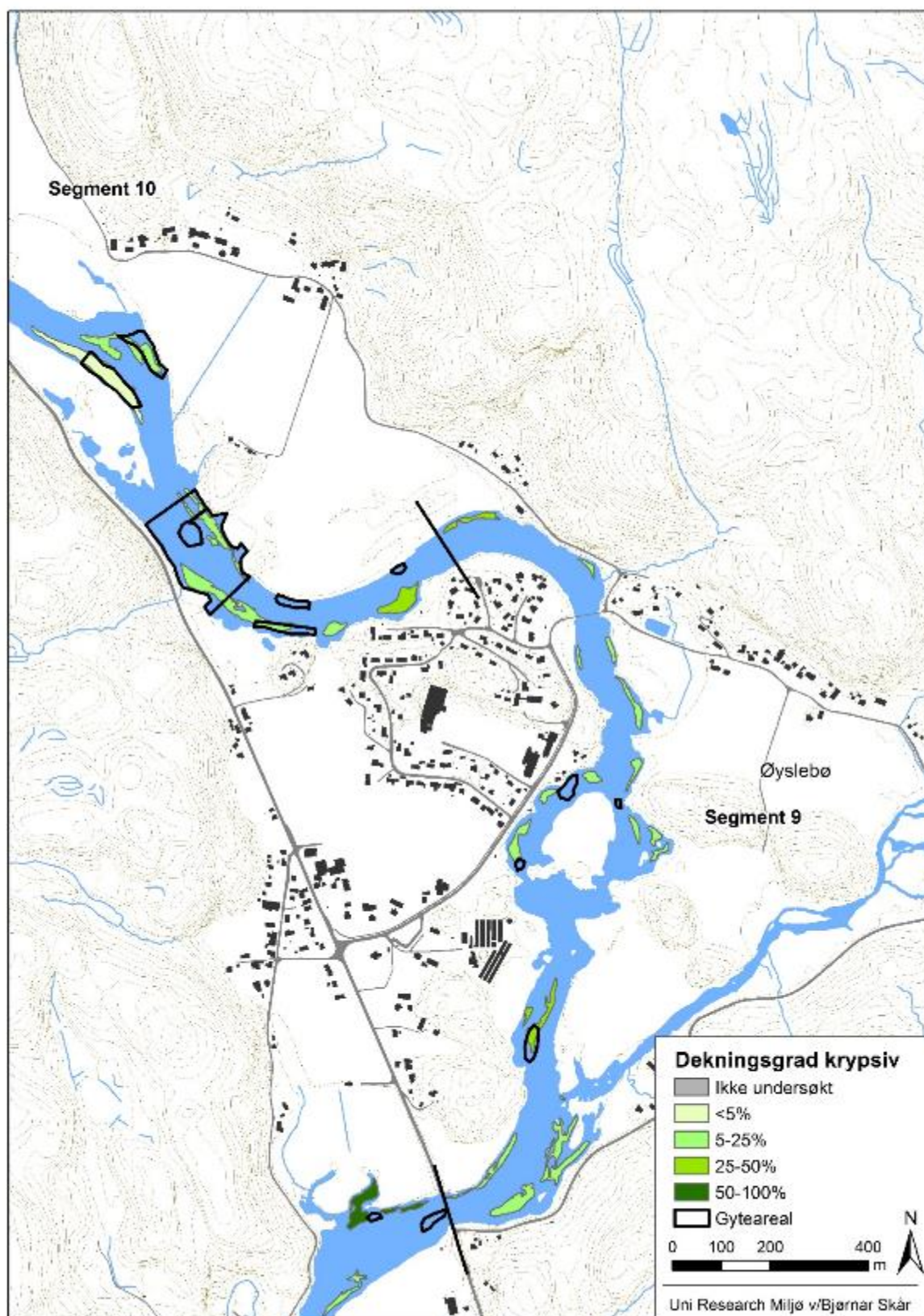


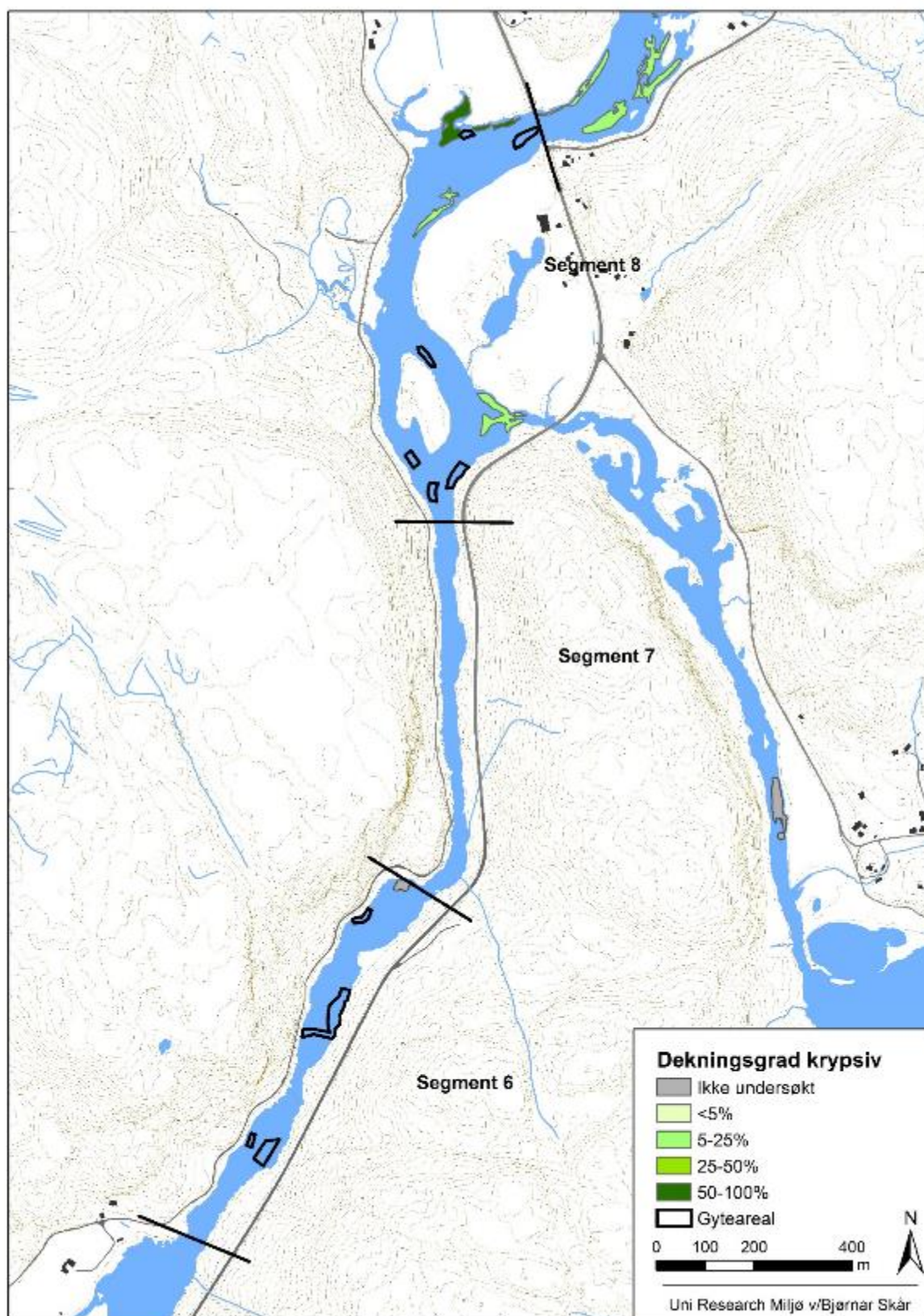




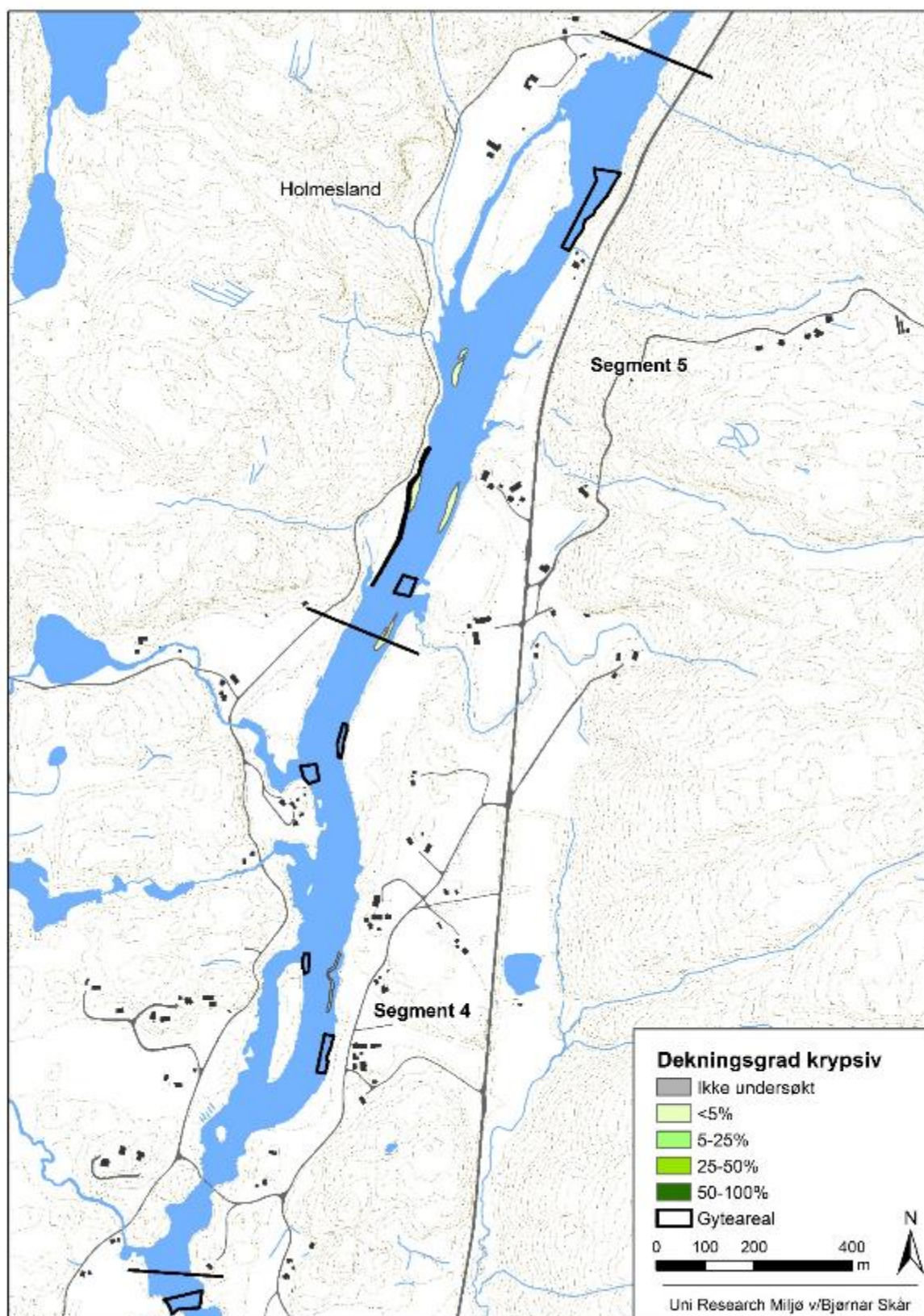




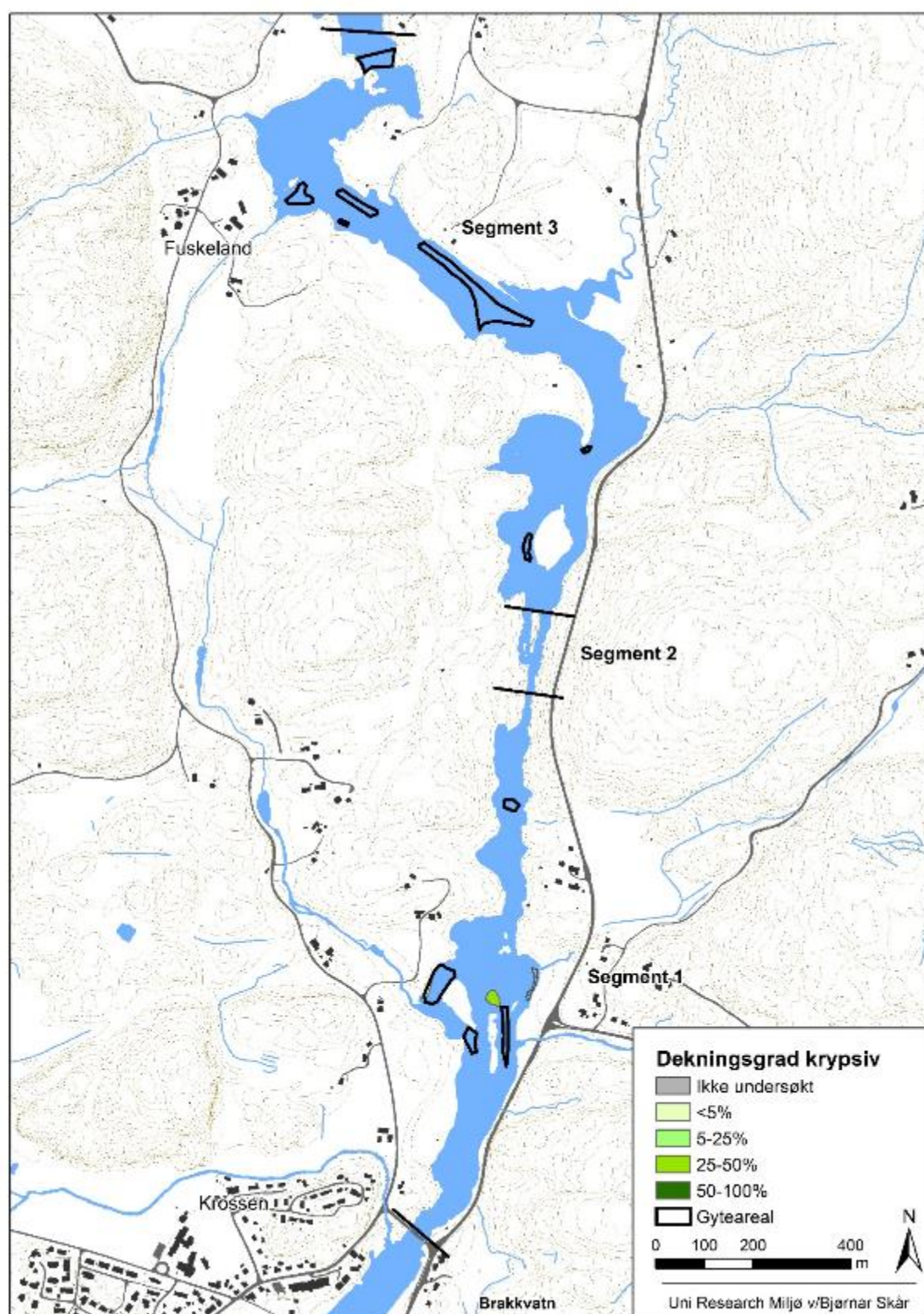




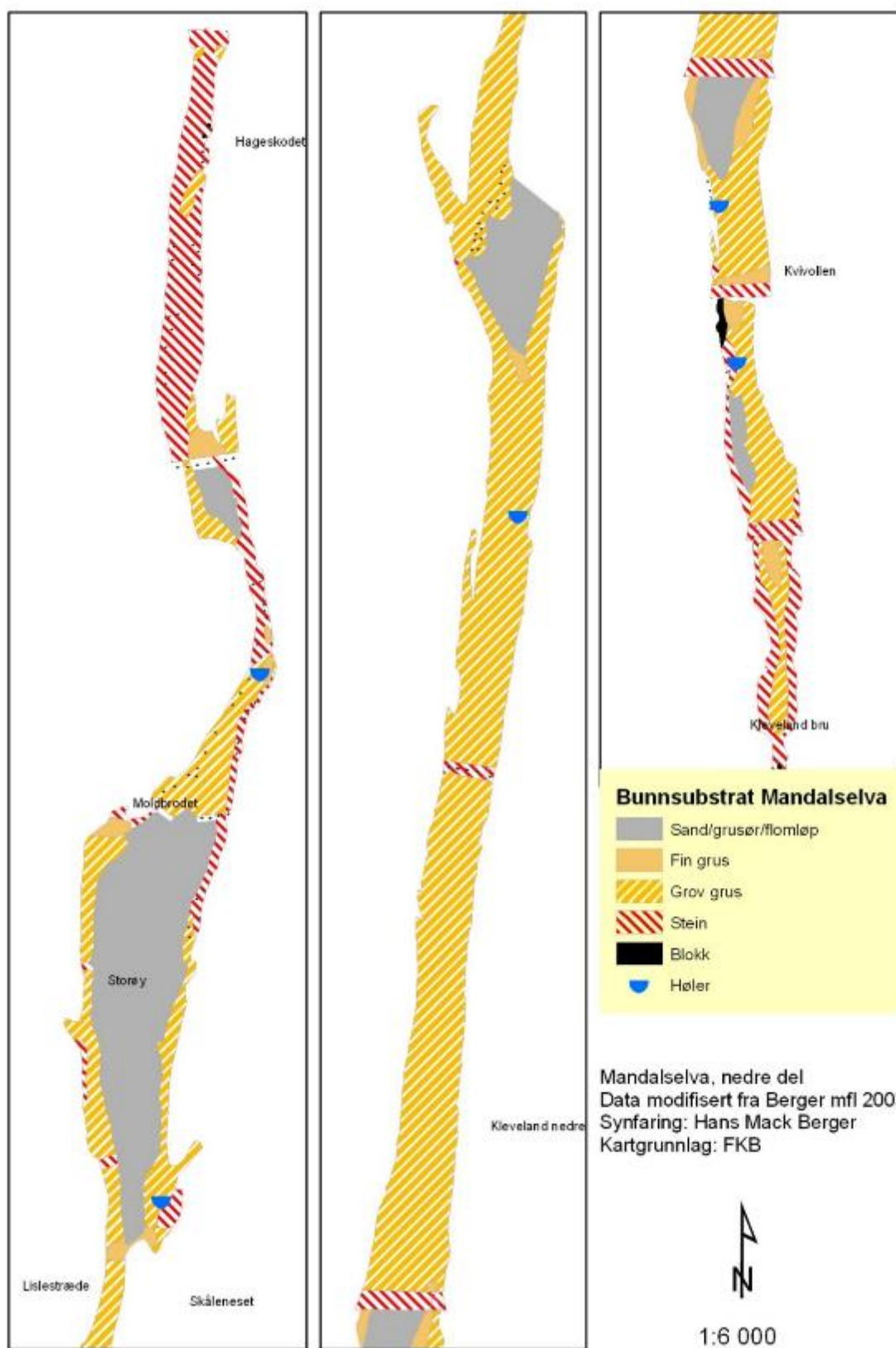


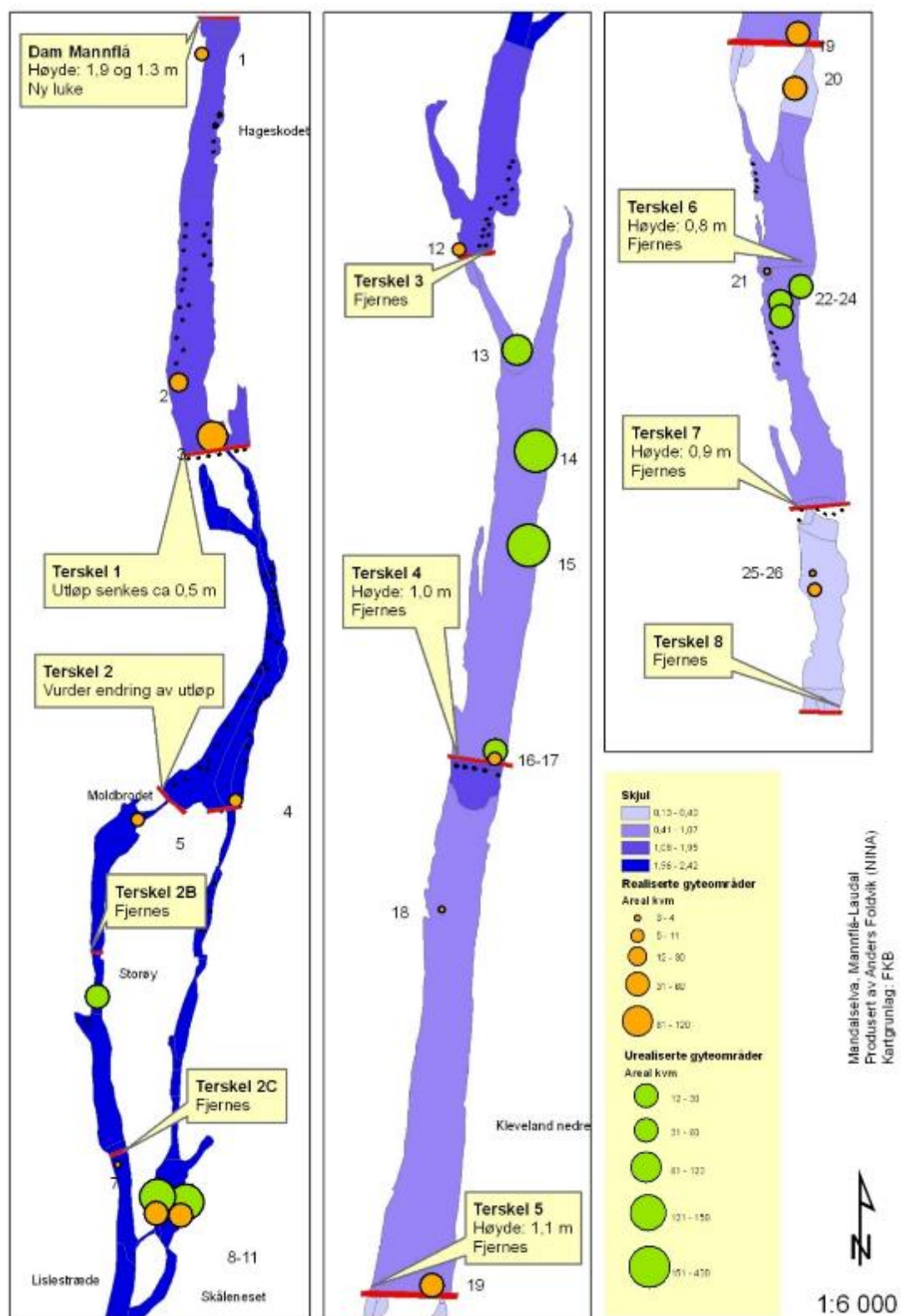






**Vedlegg 5.** Bunnsubstrat, skjulmengder, realiserte og potensielle gyteområder før tiltak på strekningen Dam Manflå-Kleveland bru.











*Norsk institutt for naturforskning (NINA) er et nasjonalt og internasjonalt kompetansesenter innen naturforskning. Vår kompetanse utøves gjennom forskning, utredningsarbeid, overvåking og konsekvensutredninger.*

*NINAs primære aktivitet er å drive anvendt forskning. Stikkord for forskningen er kvalitet og relevans, samarbeid med andre institusjoner, tverrfaglighet og økosystemtilnærming. Offentlig forvaltning, næringsliv og industri samt Norges forskningsråd og EU er blant NINAs oppdragsgivere og finansieringskilder.*

*Virksomheten er hovedsakelig rettet mot forskning på natur og samfunn, og NINA leverer et bredt spekter av tjenester gjennom forskningsprosjekter, miljøovervåking, utredninger og rådgiving.*

ISSN: 1504-3312  
ISBN: 978-82-426-3441-2

## Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim

Besøks/leveringsadresse: Hogskoleringen 9, 7034 Trondheim

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

E-post: [firmapost@nina.no](mailto:firmapost@nina.no)

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>

Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger