

XXXX

NINA Rapport

Effekter av miljødesigntiltak i Mandalselva og evaluering av nytt manøvreringsreglement for Laudal Kraftverk

Torbjørn Forseth, Richard Hedger & Randi Saksgård



NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er NINAs ordinære 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 engelsk, som NINA Report.

NINA Temahefte

Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. Heftene har vanligvis en populærvitenskapelig form med vekt på illustrasjoner. NINA Temahefte kan også utgis på engelsk, som NINA Special Report.

NINA Fakta

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. 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 forskningsresultater i internasjonale vitenskapelige journaler og i populærfaglige bøker og tidsskrifter.

Effekter av miljødesigntiltak i Mandalselva og evaluering av nytt manøvreringsreglement for Laudal Kraftverk

Torbjørn Forseth
Richard Hedger
Randi Saksgård

Effekter av miljødesign tiltak i Mandalselva og evaluering av nytt manøvreringsreglement for Laudal Kraftverk NINA Rapport [xxx].
Norsk institutt for naturforskning.

[Sted, måned år]

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-[xxxx-x]

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV

[xx]

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningsjef Anne Kristin Jøranli (sign.)

OPPDRAGSGIVER(E)/BIDRAGSYTER(E)

Å Energi Vannkraft

KONTAKTPERSONER HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Svein Haugland & Eivind Hellerslien

FORSIDEBILDE

Ledegjerdet ved inntaket til Laudal kraftverk © Steis Mekaniske Verksted

NØKKEWORD

- Norge, Agder, Mandalselva
- laks, sjørørret
- etterundersøkelse restaurering
- vannkraft
- ungfisketthet, fiskevandring og vandringstiltak, fiskesykdom, vannføring

KEY WORDS

- Norway, Agder, River Mandalselva
- Atlantic salmon, sea trout
- habitat restoration
- hydropower
- juvenile densities, fish migration and measures, fish diseases, water flow

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor
Postboks 5685 Torgarden
7485 Trondheim
Tlf: 73 80 14 00

NINA Oslo
Sognsveien 68
0855 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
Thormøhlens gate 55
5006 Bergen
Tlf: 73 80 14 00

www.nina.no

Sammendrag

[Referanse til rapporten inn her: Forfatter(e). År. Tittel.]. NINA Rapport XXX. Norsk institutt for naturforskning.

[Tekst inn her, et kort resymé av innholdet. **Maksimalt 4000 tegn inkl. ordmellomrom. Det-te er maxgrense i sammendragfeltet i CRISTin, og dersom sammendraget er lengre kommer det ikke med her.** Teksten i sammendraget er søkbar i databaser og på nett, og er viktig for at rapporten skal fanges opp ved søk. Dersom rapporten er på norsk, er engelsk sammendrag valgfritt.]

[forfattere, institusjon, adresse, e-post. Fullt navn spesielt viktig for eksterne forfattere]

Abstract

[Referanse til rapporten inn her: Forfatter(e). År. Engelsk tittel.] NINA Report xxxx. Norwegian Institute for Nature Research.

[Tekst inn her, et kort resymé av innholdet. **Maksimalt 4000 tegn inkl. ordmellomrom. Dette er maxgrense i sammendragsfeltet i CRISTin, og dersom sammendraget er lengre kommer det ikke med her.** Teksten i sammendraget er søkbar i databaser og på nett, og er viktig for at rapporten skal fanges opp ved søk. Dersom rapporten er på norsk, er engelsk sammendrag valgfritt.]

[forfattere, institusjon, adresse, e-post. Fullt navn spesielt viktig for eksterne forfattere]

Innhold

Sammendrag	3
Abstract	4
Innhold	5
Forord	6
1 Innledning	7
2 Metoder og resultater	9
2.1 Smoltutvandring	9
2.1.1 Fangster i smolthjul i 2019-2021	9
2.1.2 Prediksjon av tidspunkt for smoltutvandring for årene 2020-2025	11
2.1.3 Validering av prediksjoner for tidspunkt og varighet av utvandring	12
2.1.4 Ledegjerde for smolt ved inntaket til Laudal kraftverk	13
2.1.5 Utvandringsrute til smolt i 2021 og effekt av ledegjerdet	14
2.1.6 Predikert vandringsrute og effekten av 2021 reglementet	16
2.2 Oppvandring av laks forbi Dam Manflå	24
2.3 Effekter av habitattiltakene på minste vannstrekningen	28
2.3.1 Metoder	28
2.3.2 Utvikling i tettheter av lakseunger	30
2.3.3 Andre forhold som kan ha påvirket ungfisitettheter	31
2.3.4 Vurdering av mål oppnåelse og effekter av 2021 reglementet	32
2.4 Fangster i minste vannstrekningen	33
2.5 Vannføringsforhold og strandingsfare	37
2.5.1 Laudal kraftverk	37
2.5.2 Bjelland kraftverk	39
2.6 Sykdom	40
2.6.1 Saprolegniose	40
2.6.2 Proliferativ nyresyke PKD	40
2.7 Begroing på minste vannstrekningen	42
3 Vurdering av mål oppnåelse for tiltak og evaluering av manøvreringsreglement	44
4 Referanser	46

Forord

I denne rapporten presenteres resultater av evaluering av tiltak gjennomført i regi av miljødesignprosjektet i Mandalselva (Forseth mfl. 2020) og evaluering av et nytt midlertidig reglement for Laudal kraftverk fra 2021 som bygget på anbefalingene i samme prosjekt. Det er NINA som har hatt hovedansvaret for evalueringene på oppdrag fra Å Energi Vannkraft, men Skandinavisk Naturovervåkning har årlig overvåket oppvandringen av fisk i Dam Manflå under egen kontrakt med Å Energi og NORCE LFI (også egen kontrakt) og Veterinærinstituttet har bidratt med ytterligere undersøkelser og kunnskap.

Vi takker Vegard M. Ambjørndalen, Astrid Tonstad, Knut Marius Myrvold og Frode Pedersen fra NINA for gjennomføring av i eklektisk fiske. Vi takker Skandinavisk Naturovervåkning for oversendelse av notat og data fra videoovervåkingen, NORCE LFI Bergen for gytetellinger og Veterinærinstituttet for sykdomsdiagnostikk og informasjon om sykdomsforekomst i Norge. Til slutt takker vi Å Energi Vannkraft for oppdraget.

dato, Torbjørn Forseth (prosjektleder)

1 Innledning

I prosjektet Miljødesign Mandalselva ble det foreslått og gjennomført tiltak for å bedre forholdene for laks i Mandalselva samtidig som kraftproduksjonen på lakseførende strekning skulle opprettholdes eller økes. Hovedkonklusjonen i sluttrapporten (Forseth mfl. 2020) fra prosjektet var:

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.

De foreslåtte tiltakene og status for disse kan kort oppsummeres som følger:

- 1) Fjerning av terskler og habitattiltak på minstevannstrekningen Dam Manflå til Laudal som skal øke fiskeproduksjonen på strekningen. Sluttført våren 2017.
- 2) Fjerning av terskel, habitattiltak og endring i elveløpet ved Portalbygget, nederst i minstevannstrekningen Manflå-Laudal for å lette oppvandring og øke fiskeproduksjonen. Gjennomført våren 2018.
- 3) Ny manøvreringsreglement for Laudal kraftverk. Midlertid innført fra april 2020, med varighet ut 2025. Endringene har følgende mål:
 - a. Redusere smolttap i kraftverket gjennom mer målrettede vannslipp om våren.
 - b. Øke kraftproduksjon og forenkle driften gjennom redusert minstevannføring om vinteren og faste og som oftest noe lavere vannslipp om sommeren (se detaljer nedenfor). Det forutsettes at endringene ikke påvirker fiskevandring og ungfish-produksjon negativt.
- 4) Miljøtilpasset drift av Bjelland Kraftverk som skal redusere negative effekter av raske vannstandsendringer. Implementert i driftsinstruks for kraftverket fra 2020.
- 5) Miljøtilpasset drift av Laudal Kraftverk som skal redusere negative effekter av raske vannstandsendringer. Ikke implementert.
- 6) Fjerning av terskler og økt minstevannvannføring på strekningen Kavfossen til Monan. Ikke gjennomført på grunn av lokal motstand. Prosessen startet opp igjen i 2025.

For å undersøke om effektene av de gjennomførte tiltakene blir som forventet i rapporten har Å Energi Vannkraft (tidligere Agder Energi) organisert et effektoppfølgingsprogram der NINA har ansvar for å følge opp effekten av de omfattende tiltakene på minstevannstrekningen ved Laudal kraftverk og Skandinavisk naturovervåkning fortsetter videoregistreringene av oppvandrende gytefisk ved Dam Manflå. I 2022 og 2023 ble NORCE LFI Bergen engasjert for å telle gytefisk i minstevannstrekningen. NINA hadde også ansvar for å gi prognoser for oppstart og varighet av smoltutvandringen basert på prognoseverktøyet som ble utviklet i miljødesignprosjektet, samt å eventuelt drifte et smolthjul for fangst av utvandrende smolt ved Hesså. Driften av smolthjulet var en forutsetning i manøvreringsreglement, og ble brukt til å bestemme start av vannslipp forbi Laudal kraftverk under smoltutvandringen. Å Energi søkte i 2020 om et nytt manøvreringsreglement basert på forslag utviklet i miljødesignprosjektet hvor slippene skal baseres på prognoseverktøyet. I april 2021 fikk Å Energi tillatelse fra NVE om å avvike fra gjeldene reglement i fem år. Vannføringsregimet i denne tillatelsen følger i all hovedsak forslaget fra Miljødesignprosjektet, og innebærer at det ikke lengre er nødvendig å drifte et smolthjul i perioden. I 2021 ble smolthjulet likevel driftet, fordi det ble brukt til å fange smolt til et merkeforsøk. Det er Bjørgulv Foss som på oppdrag fra NINA har driftet smolthjulet.

Etter at et nytt reglement ble innført fra 2021 ble effektoppfølgingsprogrammet utvidet til å også å studere effektene av det nye reglementet. I tillegg til at smoltutvandringsperiodene skal bestemmes ut fra en prognosemodell og ikke fangstøkning i smolthjulet, og at vannslippene for å sikre at mye av smolten går utenom kraftverket har blitt revidert, innebærer det nye prøvereglementet følgende endringer:

- Om sommeren fra smoltperiodens slutt til 1. oktober var det et vannføringsavhengig slipp på mellom 12 og 25 m³/s. Dette ble erstattet av et fast slipp på 12 m³/s i fiskesesongen (fram til 15. september) fulgt av en nedtrapping via 10 m³/s (siste del av oppvandringen, etter fiskesesongen) til 6 m³/s i gytetida (21. oktober til 31. november).
- Om vinteren ble minstevannføringen redusert fra 6 til 5 m³/s.

- Fredagsstansen i Laudal kraftverk (6 timer stans i kraftverket hver fredag i fiske-sesongen) ble fjernet. Dette var en bestemmelse som skulle gjøre at oppvandrende laks lettere fant veien inn i minstevannløpet.

I vedtaket om avvik fra gjeldene reglement ble det forutsatt at det skulle arbeides videre med tiltak som bedrer overlevelse til utvandrende laksesmolt forbi Laudal kraftverk. Dette har blitt fulgt opp med utvikling, installasjon og evaluering av et ledegjerde ved inntaket. Resultatene av dette tiltaket presenteres også i denne rapporten.

Resultatene fra effektoppfølgingen har under veis blitt rapportert årlig i form av NINA Prosjektnotater (Forseth 2020, 2021, 2022, 2023, 2024), og det har årlig blitt gjennomført møter med en referansegruppe bestående av lokale interesser (elveeierlag og kommuner) og regional og nasjonal forvaltning (Statsforvalter, Miljødirektoratet og NVE). På møtene har det blitt gitt viktige innspill til undersøkelsesprogrammet som blant annet har gitt økt fokus på fiske og fiskeforhold i minstevannstrekingen fra Dam Manflå til Laudal, validering av modellverktøy for prediksjon av smoltutvandringstidspunkt, samt oppfølging av sykdomsutbrudd og begroing.

I denne rapporten blir resultatene fra effektoppfølgingen og evalueringen av det midlertidige reglementet for Laudal kraftverk vurdert og rapportert samlet. Alle de gjennomførte tiltakene blir vurdert, men unntak av habitattiltakene ved Portalbygget (nr. 2) der vi ikke har noen førdata for fiskeproduksjon men hvor forventet økning i produktivt samlet sett uansett er liten (anslått til 300-500 smolt i Forseth mfl. 2020). Fjerningen av terskelen i dette området har imidlertid trolig lettet oppvandringen av gytefisk inn i minstevannstrekingen og dette inngår i vurderingen av oppvandringsmønster etter innføring av ny manøvrering fra 2021. Når det gjelder evalueringen av miljøtilpasset drift i Bjelland og Laudal kraftverk (nr 4 og 5) er det bare tiltaket i Bjelland som har blitt innført. For dette kraftverket vurderer vi om innføringen av anbefalingene i driftsinstruksen har bedret situasjonen. For Laudal kraftverk, der det ikke har blitt innført en tilsvarende instruks, ser vi på hvor ofte det er driftsforhold som er ugunstige ut fra anbefalingene i Forseth mfl. (2020).

I resten av rapporten omtaler vi manøvreringsreglementer som gjaldt fra 2013 til og med 2020 som «2013 reglementet» og reglementet som ble innført fra 2021 med varighet fram til og med 2025 for «2021 reglementet».

2 Metoder og resultater

Metodene som har blitt brukt i de ulike kartleggingene er beskrevet i sluttrapport for miljødesignprosjektet i Mandalselva (Forseth mfl. 2020), og her fokuseres det på resultater av effektoppfølgingen med kortfattede metodebeskrivelser der det er nødvendig.

2.1 Smoltutvandring

I 2013 reglementet skulle smoltutvandring forbi kraftverksinntaket sikres gjennom 14 dager med slipp av tilnærmet halvparten av tilsiget forbi kraftverket. Slipperioden skulle starte syv dager etter en markant økning i fangstene i smoltfella i Hesså, men senest 20. mai. Reglementet forutsatte altså drift av ei smoltfelle (smolthjul) ved Hesså, og fella ble driftet fram til og med 2021.

Basert på forslag i miljødesignprosjektet (Forseth mfl. 2020) ble det i april 2021 gitt tillatelse til å avvike fra dette reglementet og det ble gitt et nytt foreløpig reglement som skulle gjelde i fem år (2021 reglementet). I 2021 reglementet ble både perioden med vannslipp og vannslippenes størrelse endret. Vannføringen inn i kraftverket i smoltutvandringsperioden bestemmes av tilsiget til kraftverket (vannføringen oppstrøms) etter følgende tabell:

Tilsig kraftverk (m ³ /s)	Kraftverk (m ³ /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

For hver av vannføringsintervallene er det angitt en prediksjon for hvor stor andel av smolten som kan passere (% smolt forbi) kraftverket og fortsette nedover elva. Prediksjonen og driftsbestemmelsen er fra på en statistisk modell utviklet i miljødesignprosjektet (Forseth mfl. 2020), basert på fire år hvor vandringsruten for smolt ved kraftverksinntaket ble kartlagt i telemetri-studier.

Både start og varighet av smoltutvandringen bestemmes 2021 reglementet av modellverktøy utviklet i miljødesignprosjektet. I tillatelsen til å avvike fra 2013 reglement ble det også forutsatt at det skulle arbeides videre med nye tiltak for å sikre at en enda høyere andel av smolten kunne passere kraftversinntaket.

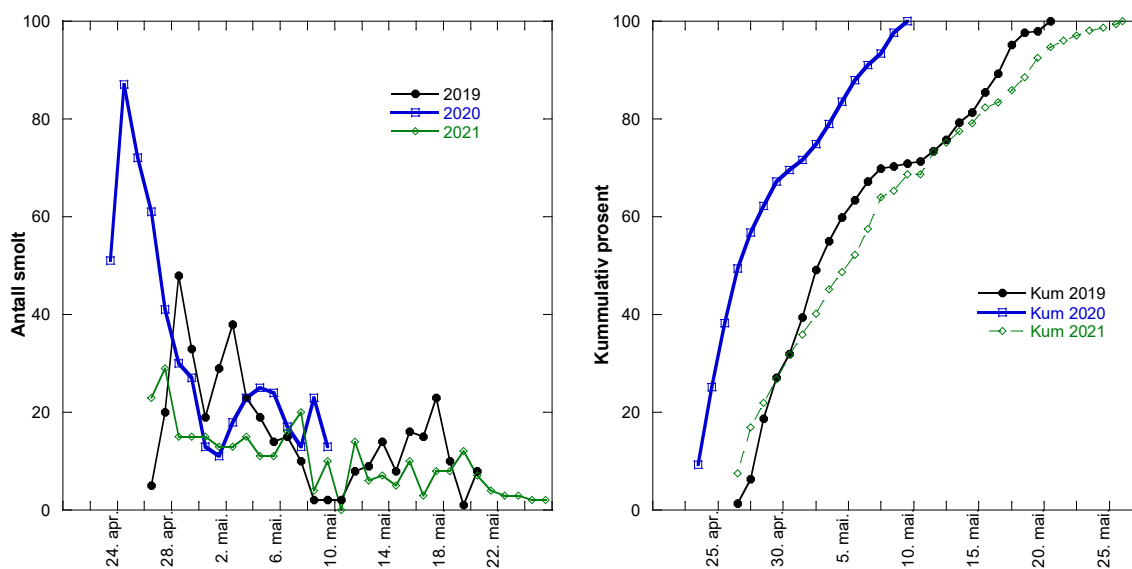
Nedenfor presenteres først fangstene fra smolthjulet for årene 2019-2021 (som ikke har vært publisert tidligere), deretter går vi gjennom prediksjoner for smoltutvandringen for årene 2021-2025, validering av prediksjonene og til slutt presenteres nye tiltak (et ledegjerde) som er satt inn for å ytterligere øke andel smolt som passerer kraftverksinntaket og en evaluering av dette tiltaket.

2.1.1 Fangster i smolthjul i 2019-2021

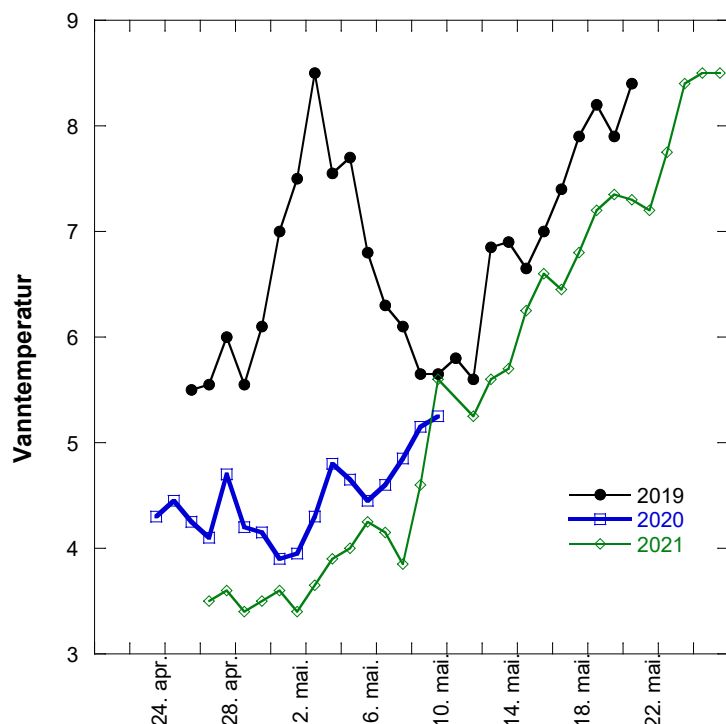
Smolthjulet ved Hesså oppstrøms Manflåvatn har vært driftet i alle år fra 2004 til 2018, med unntak av i 2016 da fella sviktet ved utsett. I de 14 årene med felledrift har det meste av

utvandringsforløpet vært dekket, med unntak av i 2014 da fella sviktet 20. mai. I tillegg ble det i årene 2011-2018 gjort videoobservasjoner av smolt som passerte gjennom luka i Dam Manflå. De to metodene supplerte hverandre og kunnskapen om utvandringsforløpet og hvordan dette påvirkes av miljøforhold er god, og det har blitt utviklet prediksjonsmodeller for når utvandringen starter og hvor lenge de varer (Forseth mfl. 2020). Fra 2019 har driften av fella hatt som hovedfokus å identifisere «markante økninger i fangster» som grunnlag for å bestemme startdato for vannslipp forbi Laudal kraftverk. Dataseriene fra 2019 og 2020 representerer derfor ikke hele utvandringsforløpet (smolthjulet ble tatt inn når startdato var bestemt). I 2021 ble fella primært driftet for å fange smolt til merkeforsøk, men den ble driftet til fangstene hadde vært lave over flere dager og ga trolig brukbar dekning av utvandringsforløpet. Fra 2022 og utover ble fella ikke driftet og resultatene under er fra årene 2019 til 2021.

I 2019 ble smolthjulet satt i drift 25. april og det var topper i daglige fangster rundt månedsskiftet april-mai og en ny økning i fangstene igjen i midten av mai (**figur 1**). Smolthjulet ble tatt inn 20. mai og samlet fangst var 391 laksesmolt. I 2020 ble fella satt ut 23. april og fangsttoppen kom i løpet av de første fire dagene. Fella ble tatt inn så tidlig som 9. mai, etter en samlet fangst på 549 smolt. I 2021 ble fella satt ut 26. april og de to høyeste fangstene ble gjort de første to dagene, og det ble bare mindre topper fram til fella ble tatt opp 26. mai, etter en samlet fangst på 306 smolt. De relativt høye fangstene fra første dag tyder på at smoltutvandringen var godt i gang da fella ble satt ut. Fangstene i fella i de tre årene antyder en tidligere start på utvandringen i 2020 enn i 2019 og 2021, med 10 % kumulativ utvandring 23. april i 2020 og 27/28. april i 2019 og 2021 (**figur 1**). Den kumulative utvandringen må imidlertid tolkes med forsiktighet på grunn av forskjeller i driftsperiode og varighet mellom de tre årene, og det er særlig usikkerhet i 10 % utvandring i 2021. Daglige vanntemperaturmålinger under røkting av fella viste at våren 2020 og 2021 var mye kaldere enn våren 2019 (**figur 2**).



Figur 1. Daglige fangster (venstre) og kumulativ prosentvis utvandring (høyre) av laksesmolt i smolthjulet ved Hesså for årene 2019 til 2021.



Figur 2. Vanntemperaturer registrert ved smolthjulet ved Hesså for årene 2019 til 2021.

2.1.2 Prediksjon av tidspunkt for smoltutvandring for årene 2020-2025

Tidspunkt for smoltutvandringens start skal i 2021 reglementet forutsies fra en enkel modell som bruker lufttemperatursum fra 1. mars til 15. april (Forseth mfl. 2020). Modellen var basert på 14 år med registreringer av smoltfangster i smolthjulet i Hesså, og støttet av syv år med videoobservasjoner av smolt ved Dam Manflå. I modellutviklingen ble både vanntemperaturdata fra Håverstad, Kosåna og Kjølmo og lufttemperatur fra meteorologiske stasjoner i nærheten testet. Lufttemperatursummene ga generelt bedre forklaringsmodeller for 10 % og 25 % utvandringstidspunkt enn vanntemperatursummen. Fordi stasjonen ved Kjevik flystasjon (ca. 35 km sørøst for Hesså) var den eneste stasjonen med data fra alle år ble denne stasjonen brukt i den endelige modellen. Det vil være en nær sammenheng (korrelasjon) mellom lufttemperaturen ved Kjevik og lufttemperaturen i øvre deler av lakseførende strekning i Mandalselva, selv om temperaturene selvsagt vil være noe forskjellig. Lufttemperatursummen fra 1. mars til 15. april ved Kjevik forklarte 76 % av variasjonen mellom år i dagnummer når 10 % av smoltfangsten var gjort i fella i Hesså, og 79 % av variasjonen i dagnummer for 25 % fangst i fella. Varigheten av smoltutvandringen forutsies fra en sammenheng mellom utvandringens varighet og starttidspunkt (Forseth mfl. 2020). Når utvandringen starter tidlig (10 % utvandring) blir utvandringen spredt og langvarig, og når den starter sent blir utvandringen konsentrert og kortvarig. Slippene starter fire døgn (median vandringstid fra Hesså til inntaksområdet er fem døgn) etter at modellen forutsier at 25 % av smolten har passert Hesså og varer 15 dager for sen og intens utvandring, 21 dager for normal utvandring og 28 dager for tidlig og langvarig utvandring.

Vi har rett etter 15. april hvert år fra 2020 til 2025 lagd prediksjoner for smoltutvandringsperioden (**tabell 1**). Predikert 25 % utvandring brukes til å bestemme start av vannslipp, mens predikert 10 % utvandring brukes til å bestemme slippenes varighet. I de seks årene tilsa modellverktøyet at det var tre år med tidlig og langvarig smoltutvandring som innbar 28 dager med vannslipp tre år med normal utvandring som ga 21 dagers slipp og ingen år med sen og intens utvandring. Prediksjonen for 2020 tilsa tidlig og langvarig smoltutvandring med 28 dager med slipp, men det gjeldene 2013 reglementet tilsa slipp i bare 14 dager. Etter vår vurdering ville det nye slippregimet ha gitt bedre resultat i form av høyere andel smolt forbi kraftverket enn 2013 reglementet som fortsatt gjaldt i 2020 (se nærmere analyser i kapittel 2.1.6).

Tabell 1. Modellprediksjon for 10 og 25 % utvandring av smolt ved Hesså, type utvandningsforløp, varighet av slipperperiode og periode for vannslipp for årene 2020-2025. I 2020 var ikke dagens 2021 reglement innført og starten på vannslippene var bestemt av fangstene i smoltfella og varte i 14 dager, og ikke 28 dager som predikert fra modellene.

År	10 %	25 %	Type	Varighet	Slipperperiode
2020	24. april	29.april	Tidlig og langvarig	28 dg	29. april t.o.m. 12. mai*
2021	28. april	2. mai	Normal	21 dg	6. mai t.o.m. 26. mai
2022	1. mai	5. mai	Normal	21 dg	8. mai t.o.m. 29. mai
2023	8. mai	12. mai	Normal	21 dg	16. mai t.o.m. 5. juni
2024	24. april	29. april	Tidlig og langvarig	28 dg	3. mai t.o.m. 30. mai
2025	22. april	27. april	Tidlig og langvarig	28 dg	1. mai t.o.m. 29. mai

*14 dagers faktisk slipp

2.1.3 Validering av prediksjoner for tidspunkt og varighet av utvandring

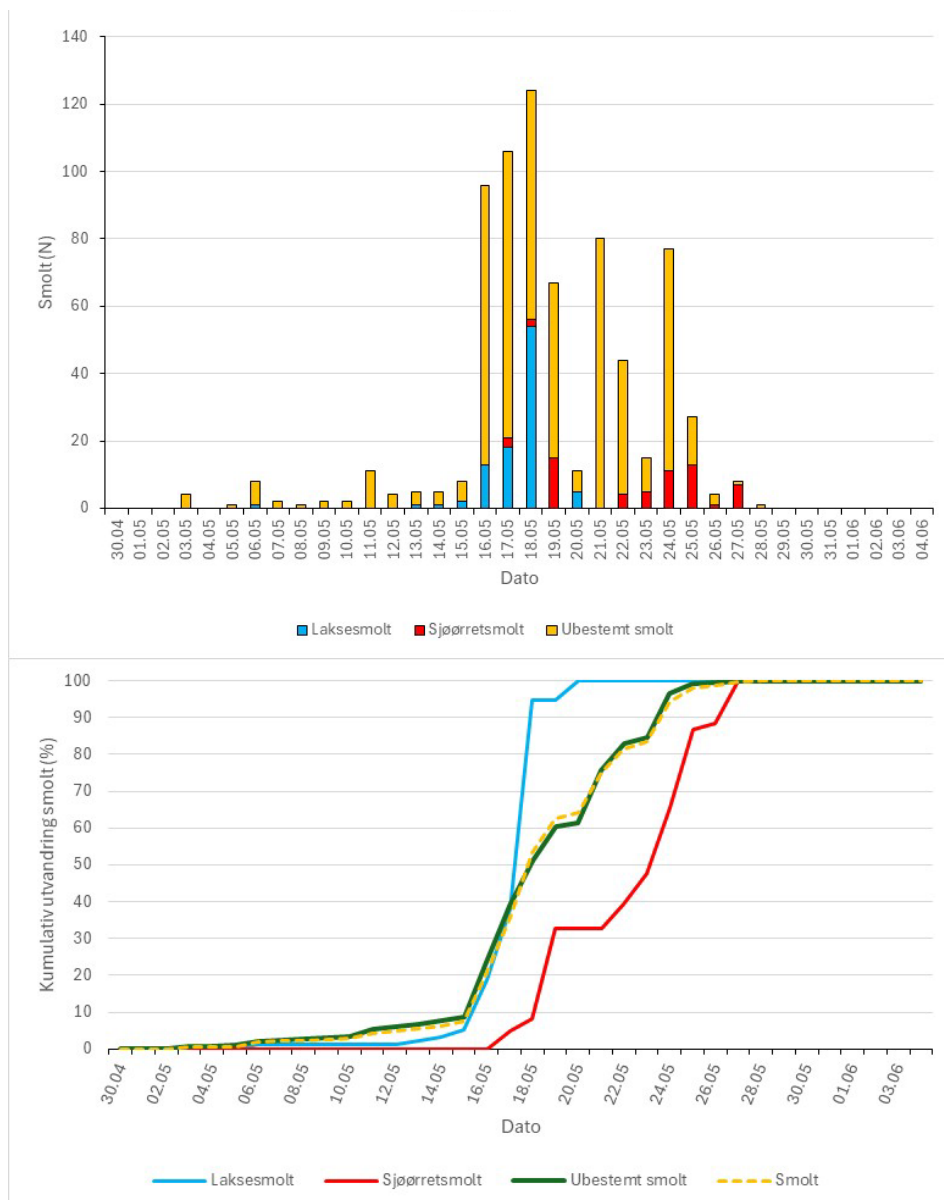
For å kunne validere prediksjonsmodellene for tidspunkt og varighet av smoltutvandring gjennomførte Skandinavisk naturovervåkning videoregistreringer av smolt ved Dam Manflå i 2023 (en begrenset registrering) og 2024 (full registrering).

I 2023 ble videoopptakene i luka i Dam Manflå gjennomgått manuelt for utvalgte dager i perioden fra midten av april til slutten av juni (Kvitvær & Lamberg 2024). Den første sikre smolten ble observert 13. mai, aktiviteten økte rundt 18-19. mai og det ble ikke observert smolt etter 12. juni. Prediksjonen for 2023 var 10 % utvandring 8. mai og 25 % 12. mai, og en normal 21 dagers utvandningsperiode fra 16. mai til 5. juni ved kraftverksinntaket og dammen (**tabell 1**). Det var derfor godt samsvar mellom prediksjonene fra modellene og observasjonene i video, både for start på utvandringen og utvandringens varighet.

I 2024 registrerte Skandinavisk naturovervåkning nedvandring av smolt i video i dam Manflå i perioden 30. april til 4. juni (**figur 3**). Fordi kameraene er bunnmontert er det vanskelig av bestemme om det er laksesmolt eller ørretsmolt, men det antas at det meste av den ubestemte smolten var laks. De første smoltene ble observert 3. mai og den siste 28. mai, flest smolt ble observert i dagene 16-18. mai og det var 26 dager mellom første og siste observerte smolt (**figur 3**). Første smolt identifisert som ørret ble observert 17. mai, og utvandringen av sjøørretsmolt ser ut til å ha vært senere enn for laks. Ser vi på smolt samlet var 50 % kumulativ utvandring rundt 18. mai (midt i slipperioden), noe tidligere for smolt identifisert som laks og en god del senere for sjøørretsmolt (omtrent 23. mai). Vår prediksjon var 10 % smolt utvandring ved Hesså 24. april og 25 % utvandring 29. april (**tabell 1**), noe som tilsa en tidlig og langvarig utvandringen (fire uker). Dette medførte at vannslippene startet 3. mai og varte i 28 dager (til og med 30. juni). Disse observasjonene viser at prediksjonsmodellen traff godt både på start for smoltutvandringen og utvandringens varighet, og at perioden med vannslipp dekket smoltutvandningsperioden på en god måte både for laks og sjøørret.

Det var betydelige forskjeller i utvandningsperiode i de to årene med validering, med en relativt sen utvandring i 2023 og tidligere i 2024 basert på videoregistreringen. Denne forskjellen ble også fanget opp i modellprediksjonene med relativt sen start og normalt utvandningsforløp i 2023 og en tidligere og mer utstrakt utvandring i 2024. En forskjell i 2023 var at slipperioden basert på modellverktøyet sluttet 5. juni, mens siste smolt ble observert 12. juni i video. I 2024 var det ikke en slik forskjell og siste smolt ble observert to dager før slipperioden ble avsluttet.

Det er vår vurdering at de to åra med validering, med forskjellig utvandningsforløp, gir god støtte for at det utviklede modellverktøyet gir gode prediksjoner for utvandningsforløp og er godt egnet til å bruke som grunnlag for å bestemme slipperioden. Det kan også nevnes at et lignende prediksjonsverktøy, basert på lufttemperatur og data for smoltutvandring fra 47 vassdrag langs norgeskysten (Vollset mfl. 2021), brukes for å forutsi utvandringstidspunkt for laksesmolt i trafikklyssystemet som regulerer vekst i oppdrettsnæringen (se rapporter hos <https://trafikklyssystemet.no/>).



Figur 3. Utvandring av smolt registret i video i Dam Mannflå i 2024. Øvre figur gir daglig utvandring mens nedre figur viser kumulativ utvandring. Det er skilt mellom smolt identifisert som laksesmolt og sjørørretsmolt og smolt som ikke kunne identifiseres til art. For kumulativ utvandring er også all smolt samlet oppgitt. Data og figurer er oversendt fra Skandinavisk naturovervåkning.

2.1.4 Ledegjerde for smolt ved inntaket til Laudal kraftverk

I et samarbeid mellom forskningssenteret HydroCen, Steis Mekaniske verksted og Agder Energi ble det tidlig våren 2021 bygd og utplassert et 85 m langt og 1,5 m dypt ledogjerde for smolt i overkant av inntaket til Laudal kraftverk (**figur 4**). Ledogjerdet består av sammenkoblede 10 m lange flytebrygger der det er montert grinder som stikker 1,5 m ned under vannoverflata. Grindene er basert på «modifisert vinklede grinder» utviklet av Albayrak mfl. (2018) og (2020). Grindene har loddrette staver (10 cm lange og 10 mm brede) som vinkles 45 grader mot strømretning og har 10 cm lysåpning. Prinsippet bak systemet er at det skapes mikroturbulens ved oppstrøms ende av stavenes som setter opp en parallelstrøm langs grindene som skal lede fisken forbi, til tross for at fisken enkelt kan passere gjennom åpningen mellom stavenes. Det er kombinasjonen av ledogjerdes vinkling mot vannstrømmen i området og stavenes vinkling som skal gi denne parallelstrømmen. I ledogjerdet ved kraftversinntaket til Laudal kraftverk ble det basert på hydraulisk oppmåling og modellering (Silva mfl. 2020) bestemt at stavenes skulle stå 50 grader mot vannstrømmen, noe som ble oppnådd ved å montere stavenes 90 grader på grindene, med

unntak av ytterste del der vinkelen ble justert noe fordi strømretningen var noe annerledes der. Grindpanelene (2,5 m brede) kunne heves og senkes med en vinsj, slik at det påmonterte rensesystemer kunne fjerne brask (se figur 4). Begrunnelsen for grindene stakk 1,5 m ned i vannet var en antagelse om at laksesmolt i hovedsak svømmer nær overflata (oppsummering i Thorstad mfl. 2012).



Foto: Steis Mek. Verksted As

Figur 4. Ledegjerdet for smolt oppstrøms inntaket til Laudal kraftverk. De ytterst grindpanelene er hevet mens resten står i driftsposisjon.

Ideen bak ledegjerdet er å lede smolt vekk fra kraftverksinntaket og ut i en vannstrøm som, når omtrent halvparten av vannføringen går forbi kraftverket, leder smolten videre de 500 meterne ned til Dam Manflå og videre ned minste vannstrekningen. Detaljerte vandringssstudier gjennomført i 2015 viste at smolt som kom inn mot kraftverksinntaket på samme side som inntaket hadde mye større sannsynlighet for å vandre inn i kraftverket enn smolt som kom inn nærmere motsatt elvebredd (Silva mfl. 2020). Ved å lede smolt som kom inn på samme side som kraftverket ut til enden av gjerdet skulle en høyere andel av smolten vandre forbi kraftverket enn det bare vannslipp kunne bidra med. Samme året som ledegjerdet ble montert ble effekten evaluert og metoder og resultat blir presentert nedenfor. Ledegjerdet har vært i drift hver vår siden det ble satt ut våren 2021.

2.1.5 Utvandningsrute til smolt i 2021 og effekt av ledegjerdet

Våren 2021 ble 186 laksesmolt fanget i smoltfella ved Hesså, merket med ulike typer lydmerker og sluppet ut i elva igjen (Kjærås mfl. 2025). Noen av lydmerkene registrerte også trykk, som kan omregnes til smoltens svømmedyp. En rekke lyttebøyer ble montert i området rundt inntaket til Laudal kraftverk. Vi fikk signal fra 118 av de merkede smoltene og blant de vi med sikkerhet kunne identifisere vandringsveien til, gikk 72 % forbi kraftverket mens resten vandret inn i kraftverket. Dette er mye høyere enn predikert ut fra totalvannføring og andel av vannføringen som slippes forbi kraftverket (51 %) i en publisert modell (Fjeldstad mfl. 2012). Grindene hadde i seg selv svært god effekt (estimert ledeeffektivitet på 76 %, Kjærås mfl. 2025), og det ble bare påvist at en smolt gikk *gjennom* grindene i gjerdet (som hadde 5 cm lysåpning, og derfor lett kan passeres av laksesmolt). Det viste seg imidlertid at i kontrast til antagelsen om at smolten i hovedsak svømmer nær overflata (basert på eksisterende kunnskap), så svømte over 40 % av smolten som hadde dybde marker dypere enn 1,5 under passasjen av inntaksområdet (Kjærås mfl. 2025). Den største begrensingen på ledegjerdets funksjon var derfor at mye av smolten svømte under gjerdet som stakk 1,5 m ned under overflata. Dersom ledegjerdet hadde gått til bunnen har vi

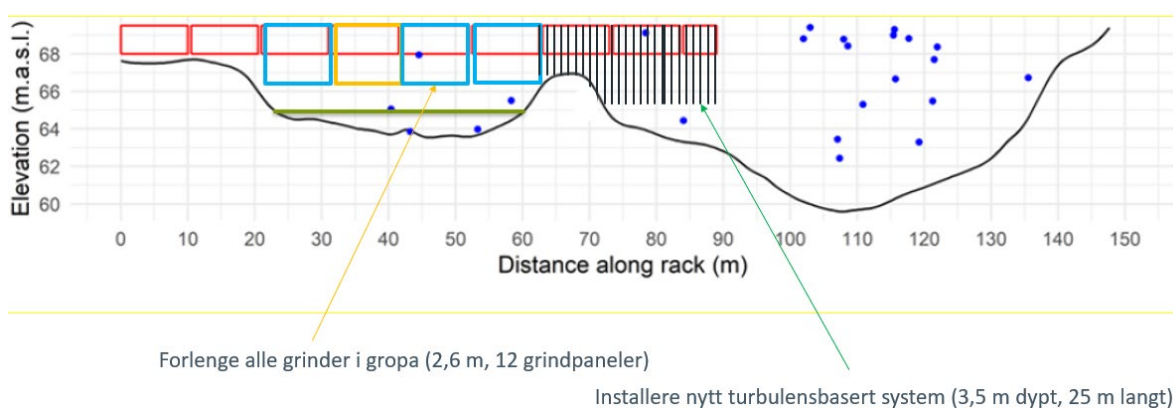
beregnet at sannsynligvis så mye som 82 % av smolten ville ha passert inntaket og fortsatt ned minstevannløpet. I tillegg har tidligere studier vist at noe av smolten vil overleve turbinpassasje i Laudal kraftverk (rundt 30 %; Ugedal mfl. 2006, Fjeldstad mfl. 2012), og samlet sett kan man nærme seg mønsterpraksismålet på 90 % passasjeeffektivitet (Fjeldstad, Pulg & Forseth 2017).

Høsten 2022 startet arbeidet med å se på løsninger for å hindre at smolt passerer under ledegjerdet. Det ble avholdt fire møter med deltagere fra NINA, NTNU, Agder Energi og STEIS der ideer ble lansert og diskutert. Det ble i 2023 bestemt at følgende tiltak skulle gjennomføres:

- Utfylling av dypområdet midt på ledegjerdet
- Test av om montering av notlin med blyline under grindene kunne fungere
- Vurdere tekniske løsninger som sikrer at grindene stikker dypere ned i vannet.

Forsøket med notlin under grindene var ikke vellykket fordi linet raskt ble tettet av flytende vegetasjon, som det var mye av denne sommeren. I løpet av 2023 søkte og fikk Å energi tillatelse til en utfylling av dypområdet midt på gjerdet og i 2024 ble en 1,5 m høy fylling lagt ut i området midt på ledegjerdet (65 moh.) og vanddypet ble redusert til 4-5 m (fra et maksimum på 6,5 m). Samtidig ble fire av grindelementene (hver 2,5 m brede) forlenget slik de stakk 2,6 m ned under overflata. Dette ble gjort som en test av om ledegjerdet med flytebyggene kunne tåle en slik ekstra belastning. Erfaringene så langt viser at sideveis stabilitet neppe er et problem, men det har blitt noen større utfordringer med å holde ledegjerdet rett. Dette kan skyldes at bare fire av grindelementene har blitt skiftet. Kombinasjonen av denne økningen i grindelementenes dybde og fyllingen gjør at det er en ca. 1,3 m åpning under grindene i dette området.

Høsten 2025 ble det tatt initiativ til å videreføre arbeidet med å bedre ledegjerdets funksjon. I regi av NFR-prosjektet FishPath har det blitt utviklet et nytt turbulensbasert ledesystem (EGS, Eddy-based Guiding System) med betydelig større lysåpninger enn de 5 cm som grindene Ved Laudal har. Tester i både små- og storskala renneforsøk har vist svært gode resultater for laksesmolt og prosjektet ønsker nå å teste dette systemet i full skala ved ledegjerdet i Mandalselva. Dette er et system som kan bli svært viktig for nedvandringsløsninger i mange store kraftverk i Norge og andre steder. NINA og Å Energi har derfor utarbeidet en plan for en oppgradering av ledegjerdet ved Laudal som kombinerer behovet for å bedre ledegjerdets funksjon og å teste det nye ledesystemet. Dette innebærer at alle grindene i dypområdet midt på ledegjerdet forlenges slik at de stikker 2,6 m ned og at de ytterste 25 meterne av dagens ledegrinder erstattes av det nye EGS systemet (**figur x**). Planen er at denne oppgraderingen skal være på plass innen smoltutgangen 2026, og det vil bli gjennomført et nytt teletriforsøk gjennom FishPath prosjektet. Forsøket vil både dokumentere ledegjerdets suksess i form av andel av smolten som vandrer forbi inntaket og videre nedover og det nye ledesystemets effektivitet.



Figur x. Plan for forbedring av ledegjerdet ved Laudal. Figuren viser dybdeprofilen langs ledegjerdet og over mot den motsatte elvebredden (elevation, hoh.) med blå punkter er posisjon og dybde for smolt som passerte under forsøket i 2021 (fra Kjærås mfl. 2025). Den grønne linja viser utfyllingen som ble gjort i 2024. De røde rektanglene er dagens ledegrinder, mens de nye grindene som stikker 2,6 m ned er tegnet i blått og oransje (allerede montert). På de ytterste 25 meterne er det nye

turbulensbaserte (EGS) systemet illustrert. Det er flåtenes stabilitet som begrenser dybden på installasjonene.

2.1.6 Predikert vandringsrute og effekten av 2021 reglementet

Metoder utvandringsrute

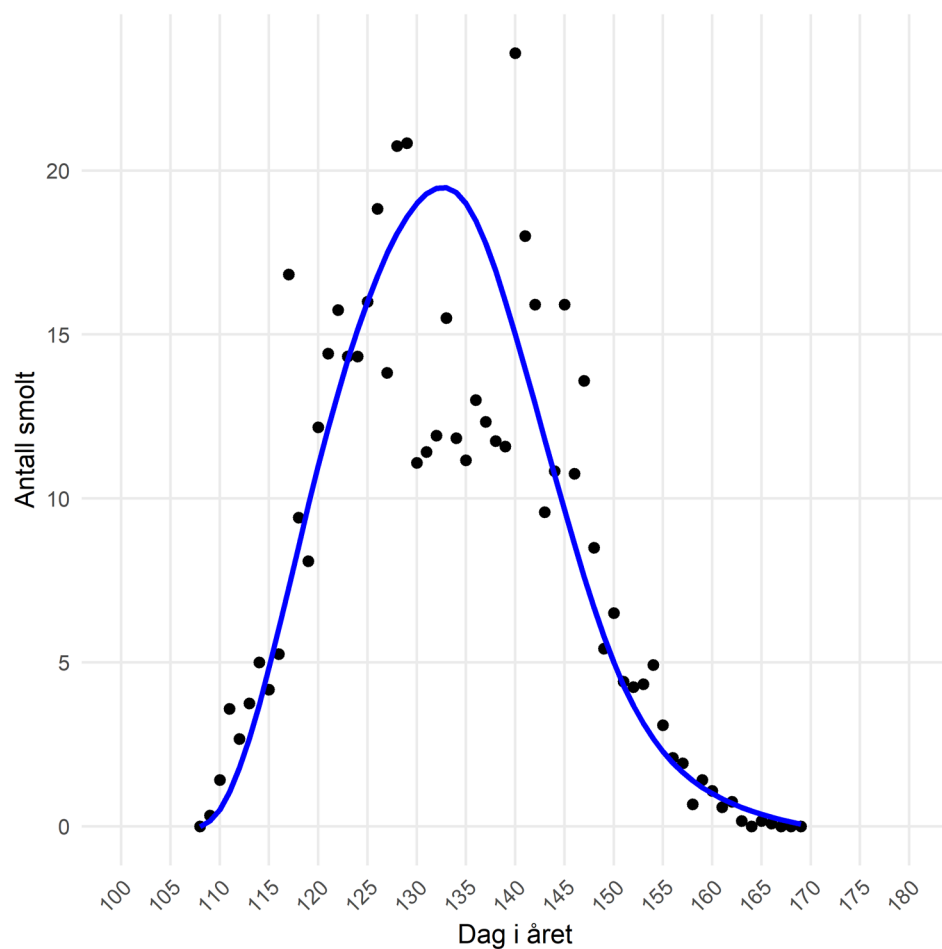
For å kunne vurdere måloppnåelsen for smoltutvandring forbi kraftverksinntaket og sammenligne 2013 reglementet (2013-2020) med 2021 reglementet (2021-2025) har vi brukt ulike modellverktøy. Prosedyren er som følger:

- 1) Smoltutvandringens start og varighet (15, 21 eller 28 dager) bestemmes for hver av årene 2013 til 2025 ved bruk av prediksjonsmodellene beskrevet i kapittel 2.1.3. Dette er nå godt validerte modeller og vårt beste grunnlag for å bestemme utvandringstidspunkt.
- 2) Den daglige utvandringen innenfor de årlige periodene bestemmes ut fra en modelltilpasning til daglige fangster i smoltfella for årene 2004 til 2015.
- 3) En ny prediksjonsmodell for rutevalg (kraftversinntaket eller fordi og ned minstevannstrekingen) ble utviklet.
- 4) Basert på observert total vannføring inn til kraftverksområdet og andel som slippes forbi for alle årene beregnes andel forbi og andelen i kraftverket.
- 5) Prediksjonene for andel smolt forbi sammenlignes for perioden 2013-2020 og 2021-2025.

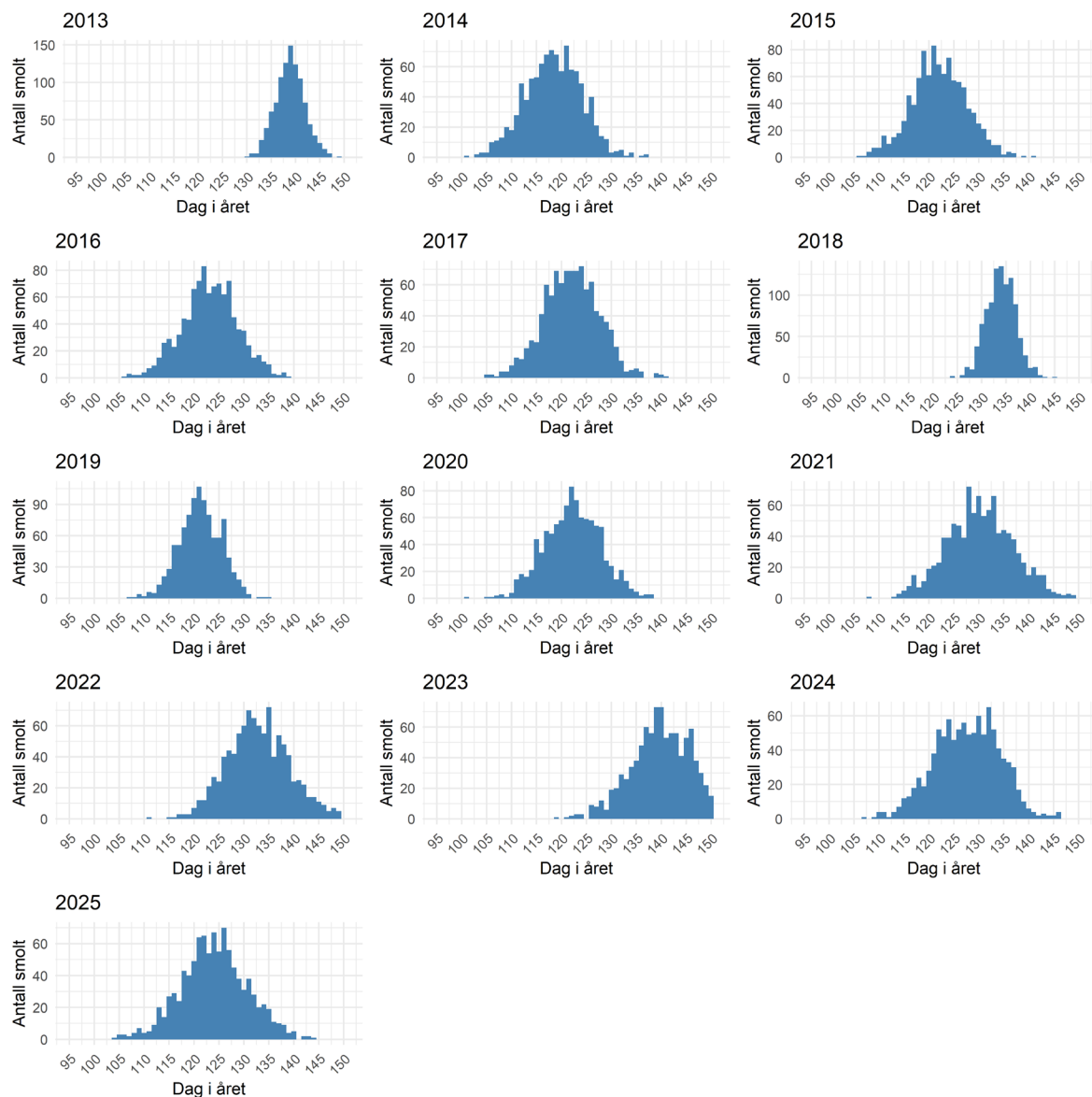
Nedenfor beskrives prosedyren og resultatene. Vi gjør oppmerksom at denne teksten kan være litt teknisk og ikke så lett å forstå.

Predikert start av utvandringen (10% utvandring) for årene 2013 til 2025 varierte fra 21. april til 15. mai. Det var bare to år (2013 og 2018) med predikert sen og intens utvandring og 15 dagers utvandringsperiodene, flest år med 28 dagers vandringsperiode (7 år) og fire år med 21 dagers utvandringsperiode. Selv om begge årene med 15 dagers periode kom under 2013 reglementet var det ikke noen klar trend i varighet av utvandringen.

Gjennomsnittlig daglige fangster i smolthjulet ved Hesså for årene 2004-2015 kunne beskrives bra med en normalfordelingskurve (**figur x**). Selv om fangstene i fella og utvandringsforløpet kan variere og enkeltår kan avvike fra en normalfordeling er det vår vurdering at en slik fordeling kan representere utvandringsforløpet på en god måte. For å kunne fange opp noe av variasjonen i daglig utvandring brukte vi tilfeldig trekning av 1000 smolt fra normalfordelingene. Fordi varigheten av smoltutvandringen varierer mellom år (satt til 15, 21 eller 28 dager) var fordelingene smalere i år med kort enn lang utvandring (**figur y**). Fordelingene de enkelte år ble lagd ved å definere gjennomsnittet og standardavviket til fordelingen. Fordi starten av utvandring er basert på predikert 10 % kumulativ utvandring vander 10 % av smolten i våre simuleringer ut før startdagen.

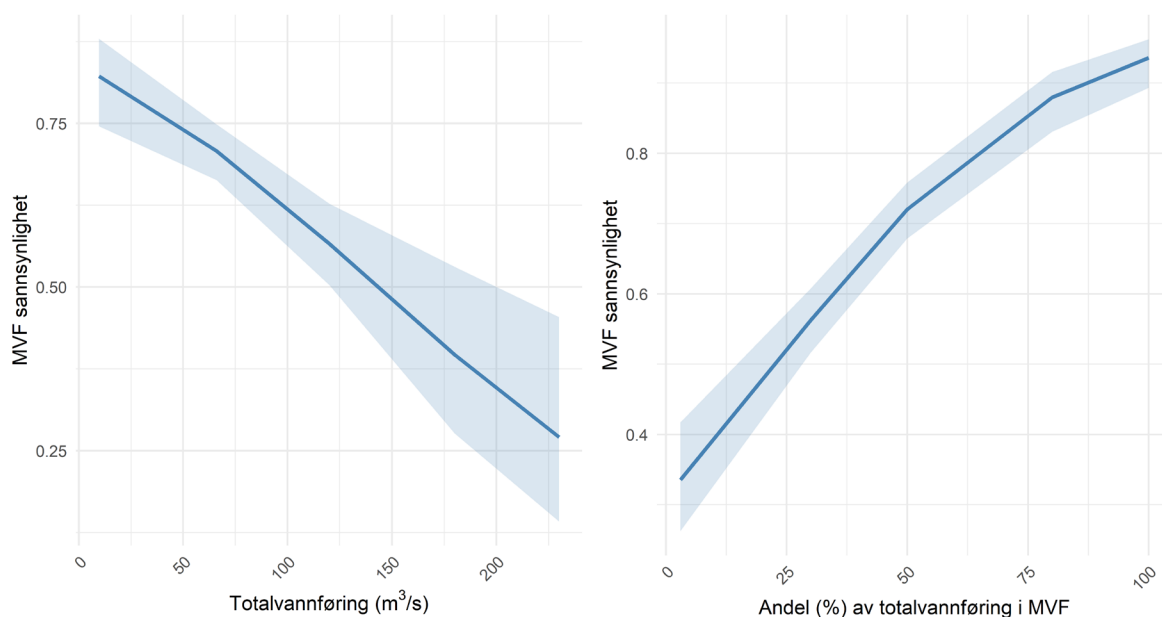


Figur x. Gjennomsnittlig antall smolt fanget i smolthjulet ved Hesså ved ulike dagnummer for årene 2004 til 2015. Den blå kurven er en spline tilpasning til data (den linja som best følger punktene) og en visuell vurdering tilsier at fordelingen av daglige fangster ligner svært mye på en normalfordeling (med en svak øvre hale).



Figur x. Simulert antall utvandrende smolt per dag for årene 2013 til 2025. Det er i alt 1000 smolt i hver av fordelingene.

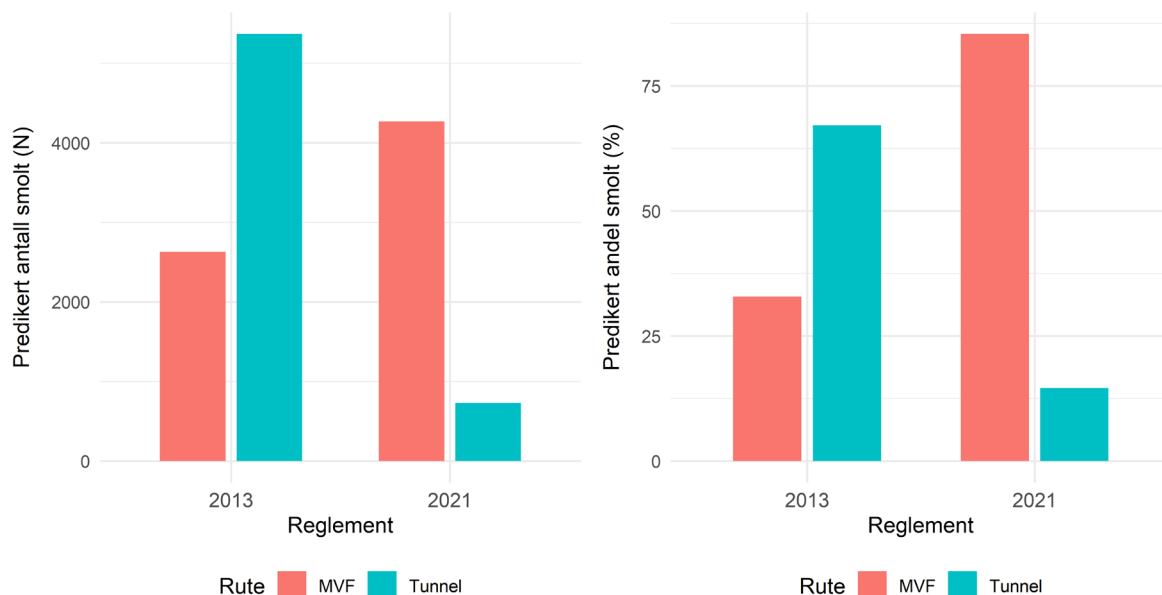
Det har tidligere blitt utviklet ulike prediksjonsmodeller for valg av utvandningsrute for smolt ved inntaket til Laudal kraftverk (se Forseth mfl. 2020). Det ble gjort et nytt merkeforsøk i 2021 og vi inkluderte resultatene fra dette og utviklet en ny rutevalgmodell basert på data fra alle årene (2004, 2008, 2012, 2015, 2018 og 2021). Fordi målet var å predikere rutevalg ut fra vannføringsforhold under de to reglementene ble bare totalvannføring og andel av denne i minstevannløpet brukt i modellen. Som i tidligere modeller avtar sannsynligheten for å vandre forbi kraftverket med økende totalvannføring, mens sannsynligheten øker med andel vann som slippes forbi (**figur z**). Begge variablene bidro signifikant ($p < 0,01$). Denne nye modellen ble brukt til å predikere utvandningsrute for de 1000 simulerte smoltene hvert år.



Figur x. Sannsynlighet for at laksesmolt vandrer forbi kraftverket og ned minstevannføringsløpet (MVF) ved ulike totalvannføringer (venstre figur) og ved ulike andelen av vannføringen som slippes forbi (høyre figur).

Predikert utvandningsrute

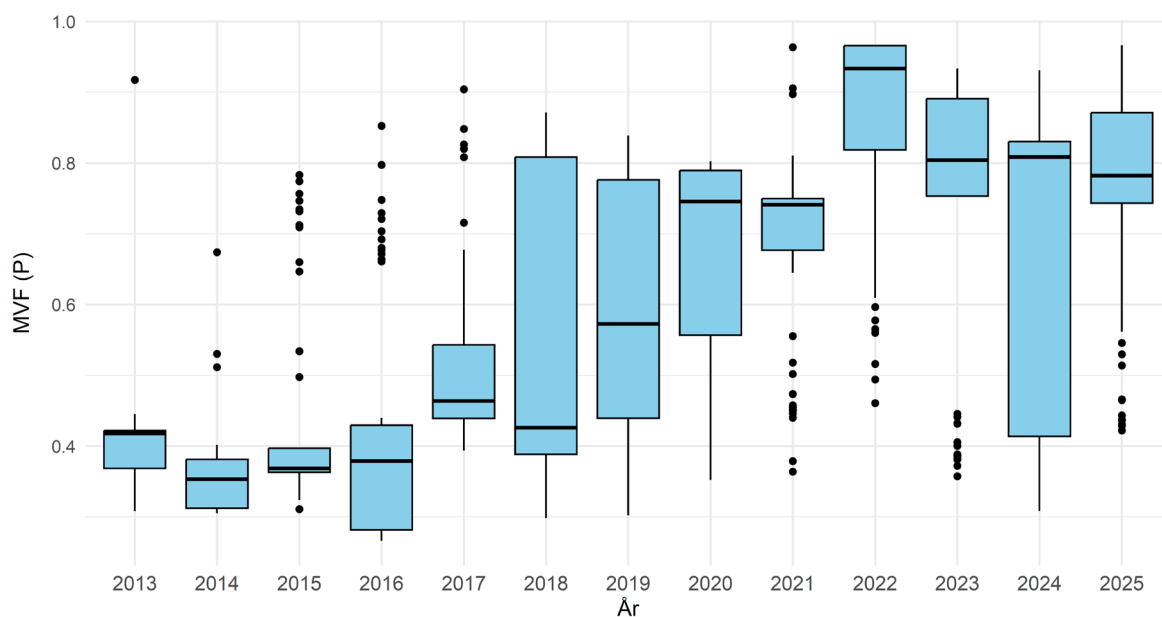
Simuleringene våre tilsa at bare i gjennomsnitt halvparten av smolten vandret forbi kraftverksinntaket under 2013 reglementet mens over **85 %** vandret forbi under 2021 reglementet (**figur x**).



Figur x. Predikert vandringsrute (MVF=forbi kraftverket og ned minstevannstrekningen og Tunnel=inn i kraftverket) for i alt 8000 smolt under 2013 reglementet for årene 2013-2020 og 5000 smolt under 2021 reglementet for årene 2021-2025 (venstre figur) og andelen (%) av smolten

som ble predikert å velge de to nedvandringsrutene (høyre figur) under de to reglementene. I simuleringene var det 1000 utvandrende smolt hvert år.

Prediksjonsmodellen for rutevalg beregner sannsynligheten (mellom 0 og 1) for at hver smolt vandrer forbi kraftverket og all smolt med sannsynlighet over 0,5 blir antatt å vandre forbi. Det var en klar økende trend i sannsynlighet for å vandre forbi i perioden, og fra 2021 og utover er det bare i 2024 at en noe større andel av smolten hadde sannsynligheter under 0,5. Årsaken til bedre resultat under 2021 reglementet er at gjennomsnittlig andel vann sluppet forbi kraftverket i smolutvandringsperioden har vært høyere, med spesielt godt resultat i 2022 og 2025 da totalvannføringen inn til kraftverket var lav (figur y). Under 2013 reglementet var det større deler av smolutvandringsperiodene som ikke var dekket av smoltslipp (bare 14 dagers slipp) og dette er en svært viktig årsak til lavere samlet sannsynlighet for at smolten vandre forbi.

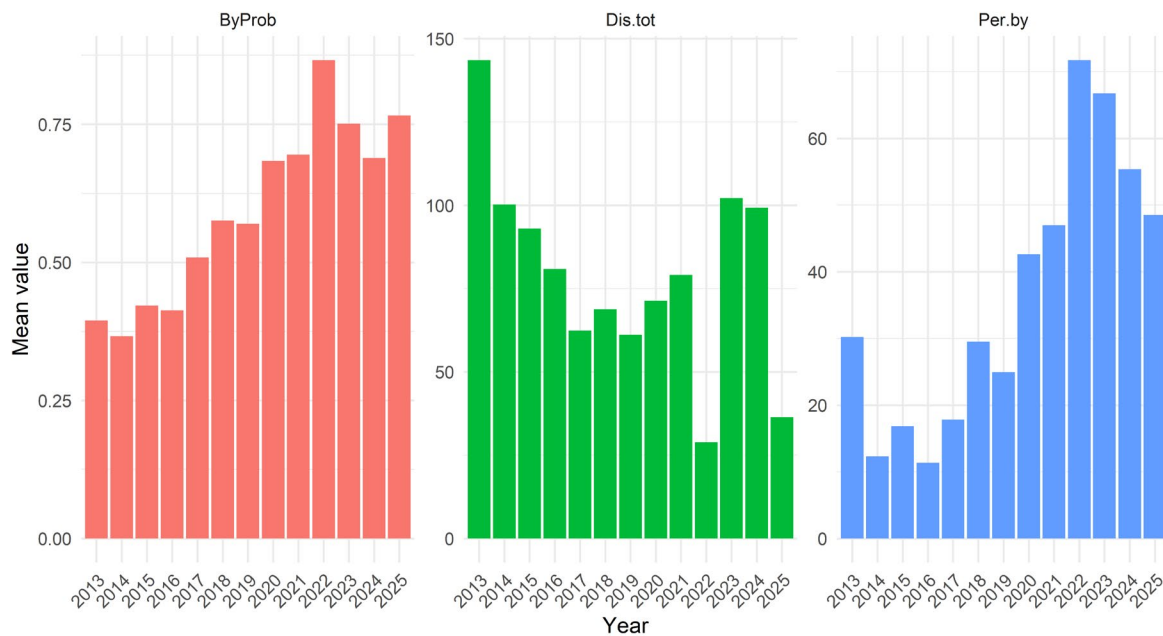


Figur x. Boksplot for predikert individuell sannsynlighet (P) for valg av minstevannstrekingen (MVH) som nedvandringsrute for årene 2013-2025 der de loddrette linjene er minste og største verdi (sett bort fra avvikende verdier gitt som enkeltpunkter), boksene er verdiene mellom 25 og 75 persentilene, og den vannrette linja i boksene er medianverdien. Sannsynligheter over 0,5 tilsier at smolten vandret ned minstevannløpet. Det er lagt prediksjoner for 1000 smolt hvert år basert på vannføringsforhold når de antas å være ved kraftverksinntaket (se figur x).

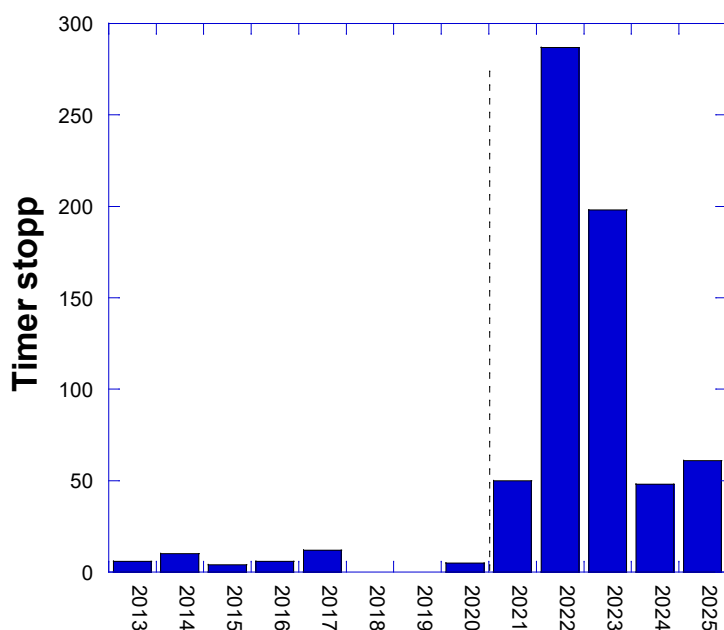
Hovedformålet med å lage prediksjoner for andel smolt forbi var å *sammenligne* de to reglementene. Konklusjonen fra denne sammenligningen er at 2021 reglementet er betydelig bedre enn 2013 reglementet. Den nye rutevalgmodellen, basert på seks år med teletristudier av utvandningsrute under svært ulike vannføringsforhold, antyder at fra 70 til over 85 % av smolten vandrer forbi under det nye reglementet. Dette resultatet må imidlertid av flere grunner tolkes med forsiktighet. For det første tar modellen av modelltekniske årsaker ikke hensyn til at når kraftverket stopper så vil ikke smolt vandre inn i kraftverket og sannsynligheten for å vandre forbi blir lik 1. Det har vært mye vanligere med stopp i kraftverket under 2021 enn 2013 reglementet (**figur z**), noe som innebærer at andel forbi kraftverket trolig er underestimert, særlig i 2022 og 2023. Årsaken til flere og lengre stans i 2021 reglementet er en kombinasjon av at kraftverket skulle stå for totalvannføringer under 20 m³/s i 2013 reglementet og under 30 m³/s i 2021 reglementet, at våren 2022 og 2025 var tørre (se figur x) og at slippperiodene var lengre i 2021 enn 2013 reglementet.

Videre klarer rutevalgmodellen bare delvis å fange opp effekten av ledegjerdet som ble installert i 2021. Det er godt dokumentert at ledegjerdet har effekt og bidrar til at en høyere andel av smolten vandrer forbi enn uten gjerdet. Dette gjør at modellen kan underestimere andelen forbi noe for årene 2021-2025.

Endelig er det slik at en rutevalgmodell aldri kan fange opp alle faktorer som gjør at en smolt velger den ene eller andre ruten. I det siste teletriforsøket som ble gjennomført i 2021 valgte 72,5 % av de merkede smoltene å vandre forbi kraftversinntaket (Kjærås mfl. 2025), et nivå som ligner på de siste års prediksjoner.



Figur x. Årlige gjennomsnittlige sannsynligheter for at smolten vandrer forbi kraftverket (venstre figur), gjennomsnittlig vannføring inn til kraftverket i smoltutvandringsperioden (midtre figur) og gjennomsnittlig andelen av vannføringen som ble sluppet forbi i perioden hvert år (høyre figur).



Figur z. Antall timer som Laudal kraftverk ble stanset i løpet av de definerte smoltutvandringsperiodene for årene 2013-2025. Den loddrette linja angir skillet mellom de to reglementene.

2.2 Nedvandring av vinterstøinger og blankål

Nedvandring av vinterstøinger og blankål har ikke vært et vesentlig tema i effektoppfølgingen i Mandalselva, men har nedvandring av slik fisk forbi inntaket ved Laudal har flere ganger vært tatt opp som aktuelle problemstillinger i møter med referansegruppa. Vi gir derfor nedenfor en gjennomgang av kunnskap om nedvandring av disse.

2.2.1 Vinterstøinger

I miljødesignprosjektet (Forseth mfl. 2020) ble det konkludert at det ikke trengs egne tiltak for å sikre nedvandring av vinterstøinger av laks. Konklusjonen var basert på registreringer av utvandring i video i Dam Manflå i årene 2011-2017 kombinert med registret oppvandring. Det ble funnet at mellom 70 og 90 % av all oppvandrende gytefisk returnerte som vinterstøinger og vandret over dammen våren etter. Tar man hensyn til fangstdødelig og naturlig dødelighet etter gyting tilsier dette at en svært høy andel av de utvandrende vinterstøingene unngår kraftverksinntaket og velger å vandre over. Årsaken er trolig at vinterstøingene drar nytte av tiltakene for nedvandring av smolt og disse tiltakene har blitt ytterligere forbedret med 2021 reglementet og ledegjerdet (se kapittel 2.1). Utvandringen over dammen ble registrert å starte tidlig i april og være over tidlig i juni, med variasjon i start og sluttdato mellom år. Det betyr at vinterstøinger vandrer generelt noe tidligere enn smolten, men flomepisoder der det slippes forbi mer vann forekommer også utenom slipperiodene for smolt.

2.2.2 Blankål

Det finnes ål i Mandalsvassdraget oppstrøms inntaket til Laudal kraftverk (Thorstad mfl. 2010), men det er lite kunnskap om mengder og vandringer. For å undersøke mulighetene for fangst og merking av blankål ble det i september 2024 i regi av Flerbruksplan for Mandalselva gjennomført et prøvefiske med ruser etter ål i Manflåvann. Det var en lokal fisker (Atle Nilsen fra Arendal) som gjennomførte fisket. Det ble fisket med tre lenker med tre åluser i hver og rusene sto i ca. 10 døgn. Settene ble vurdert som ikke optimale, med 70 % av fangstene i de innerste (grunneste) rusene. Det ble i alt fanget 15 ål under 300 gram (samlet vekt 3 kg) og 19 ål over 300 gram (7,9 kg). Fiskeren vurderte ut fra farge og øyestørrelse at 3-5 av ålene var vandringsklare blankål, og fiskeren konkluderte at Manflåvann kan ha en ikke ubetydelig forekomst av ål. For å kunne gjennomføre et mest mulig vellykket merkeforsøk for vandringsstudier på ål er det ikke optimal å fange blankålen i en innsjø fordi de ål som utseendemessig er blankål ikke nødvendigvis starter nedvandringen umiddelbart. Det er derfor en stor fordel å fange blankål på nedvandring. I 2025 forsøkte derfor Tormod Haraldstad, NORCE LFI, fortsatt på oppdrag fra flerbruksplanen å etablere ei nedvandringsselle i et mindre sidevassdrag noe oppstrøms Manflåvann, kjent for historisk gode forekomster av ål. Dessverre tok en stor flom fella før det ble gjort noe fangst og forsøket ble avsluttet. Det er derfor ikke planlagt noe merkeforsøk i 2026.

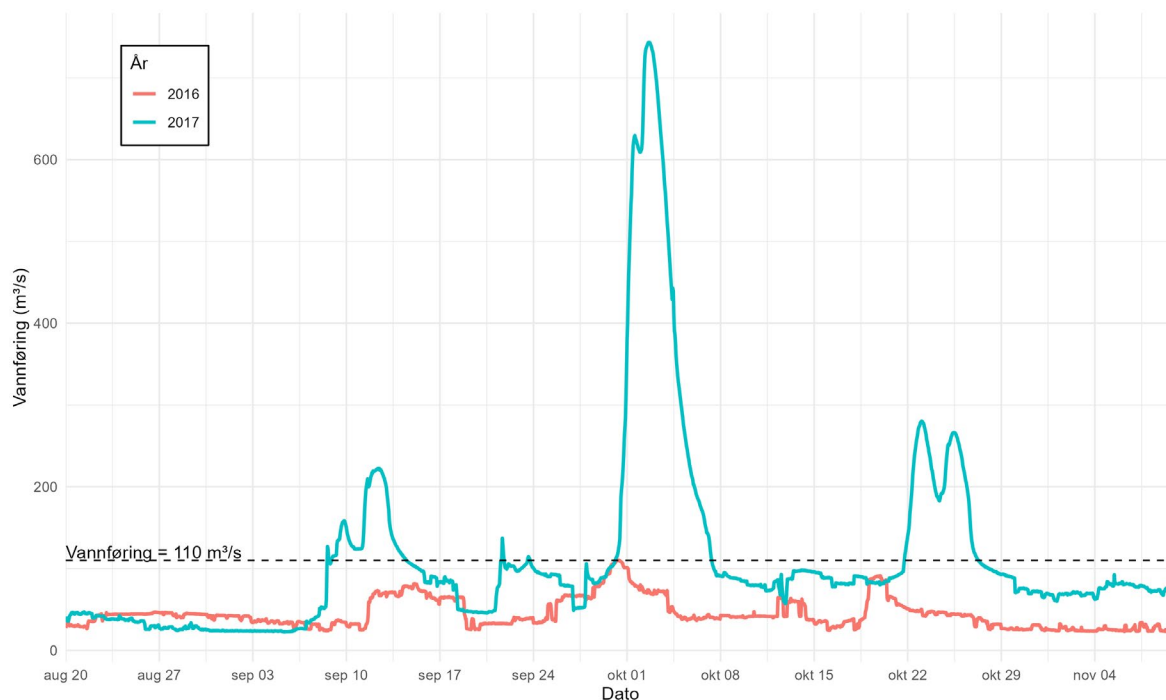
Uten lokal informasjon om utvandringstidspunkt for ål i vassdraget må vi støtte oss på generell kunnskap om nedvandring av blankål. En av de mest omfattende studiene av tidspunkt for nedvandring av blankål er studiene til Sandlund mfl. (2017), som var basert på lange tidsserier for fellefanget ål i Imsa i Rogaland (1971–2015) og Burrishoole i Irland (1971–2015). I Imsa og Burrishoole ble det funnet at ålen utvandret om høsten og at det var lavere utvandring under sterk måne og korte netter og økt utvandring under høy og økende vannføring. Effekten av månefase, vannføring og daglengde er også dokumentert tidligere (Frost 1950, Lowe 1952, Deelder 1984, Haraldstad, Vøllestad, & Jonsson, 1985, Vøllestad mfl. 1986, Cullen & McCarthy 2003, Haro 2003, Breukelaar mfl. 2009, Trancart, mfl. 2013) og blankål har blitt beskrevet som en fisk som vandrer i mørke og måneløse netter. Tesch (2003) påpeker eksplisitt at blankål tenderer til å vandre i siste måne kvarter. Sandlund mfl. (2017) diskuterer imidlertid dette og siterer studier som antyder av betydningen av månefase er mindre enn antatt fordi effekten av stor måne kan reduseres ved tett skydekke eller turbid vann som reduserer ålens synlighet (Bruijs & Durif 2009, Cullen & McCarthy 2003, Reckordt mfl. 2014). Vi tar derfor som utgangspunkt at blankålen vil vandre ved høy og økende vannføring, at utvandringen vil øke med redusert daglengde og være

mest intens rundt nymåne kombinert med overskyet vær med regn. I de fleste siterte studiene over antas det at mønstret for utvandring er en tilpasning til redusert predasjonsrisiko.

Et annet viktig datasett er registreringene av utvandrende blankål fanget i Storelva i Vegårdsvassdraget (Kroglund mfl. 2013, 2014), som har utløp om lag 130 km langs kysten øst for utløpet av Mandalselva. Storelva ligger altså i en lignende klimaregion, men er ei mindre elv enn Mandalselva. I denne studien fant man at blankålen utvandret fra starten av september til midten av november ved synkende vanntemperatur. Det var en tydelig sammenheng mellom antall utvandrende blankål og økende vannføring. Basert på registreringer av totalt 1162 blankål i årene 2010 til 2013 ble 25-persentilen for utvandring passert 14. september, 50-persentilen 25. september og 75-persentilen 23. oktober. Det ble registrert ålenedvandring i mer enn 50 dager alle år, mens antall dager mellom 25 og 75 persentilene utvandring var i gjennomsnitt på 39 dager. I tillegg til fangster og observasjoner av den nevnte sammenhengen med vannføring ble det også gjennomført registreringer av passerende pit-merket ål på antenner på tre lokasjoner i vassdraget (Kroglund mfl. 2014). Et viktig og relevant funn fra disse registreringene er at tilnærmet all ål passerte de ulike PIT-stasjonene mellom kl 19.00 og 05.00 både i 2012 og 2013. Bare under den første høstflommen med farget vann passerte noe ål stasjonene på dagtid. Nattvandring er funn som støttes av en rekke av de andre publiserte studiene referert ovenfor.

Basert på tilgjengelig kunnskap og betydelig grad av faglig skjønn antar vi at utvandningsperioden for ål i Mandalselva i all hovedsak varer fra **20. august til 10. november**. Dette er en kortere periode enn de ytre rammene i Sandlund mfl. (2017), men lengre enn den viktigste utvandningsperioden i Storelva. Dette vil være perioden da det aller meste (over 75 %) av blankålen kan antas å passere inntaket til Laudal kraftverk. Innenfor denne perioden er trolig utvandringen mest intens rundt nymåner (siste kvarter), ålen vandrer nesten utelukkende i den mørke tida på døgnet og utvandringen stimuleres av høy og økende vannføring. Innenfor den definerte utvandningsperioden er det tre nymåner. Dette er perioder da det kan forventes størst utvandring, gitt at miljøforholdene ellers (skydekke, regn og vannføring) er gunstige for utvandring. Gitt at utvandringen øker med økende nattlengde og avtagende temperatur er det sannsynlig at de to siste periodene har større utvandring enn den første, særlig om det også er dårlig vær og flommer rundt disse periodene.

Vi har sett nærmere på vannføringene på ved Bjelland for den sannsynlige nedvandningsperioden for blankål. Høsten er normalt en vannrik periode i Mandalselva og særlig i oktober er det regulær vannføringer som er høyere enn slukekapasiteten i Laudal kraftverk slik at det må slippes vann forbi (**figur x**). Det er sannsynlig at mye av medvandringen av blankål skjer under slike flomepisoder, og da er sannsynligheten for at ålen foretrekker å vandre forbi kraftverket høyere enn ved lavere vannføringer når det slippes lite vann forbi. Vi har imidlertid ikke noe informasjon om ålens atferd ved inntaket og dammen og lite generell og relevant kunnskap om ålens atferd ved kraftverksinntak. I tørre år vil det være lite eller ingen vannslipp utover de ordinære minste-vannslippene (fra 12 m³/s i starten av utvandningsperioden via 10 til 6 m³/s mot slutten) mens i våte år vil det gå mye vann forbi under flere flomperioder (**figur x**). I 2017 inngår storflommen tidlig i oktober, men det var også mindre flommer både før og etter denne.



Figur x. Boksplott for vannføring ved Bjelland for den sannsynlige utvandringsperioden for blankål i vassdraget for årene 2013-2024 (øvre figur) og daglig vannføring for det våteste (2017) og tørreste (2016) året i tidsserie (nedre figur). Boksene i øvre figur inneholder halvparten av alle estimatene, den vannrette linja inne i boksene er medianverdien, de loddrette linjene er minste og største estimat, men unntak av enkeltpunktene som er avviksverdier (uteliggere). Den stippledte linja i begge figurene angir slukekapasiteten i Laudal kraftverk og ved vannføringer høyere enn dette slippes ekstravannet forbi. Vannføringene er summen av driftsvannføringen i Bjelland kraftverk og målt vannføring ved Sundet (data fra Agder Energi Vannkraft). Merk at vannføringen ved inntaket til Laudal kraftverk vil være noe høyere på grunn av vann fra nedstrøms restfelt.

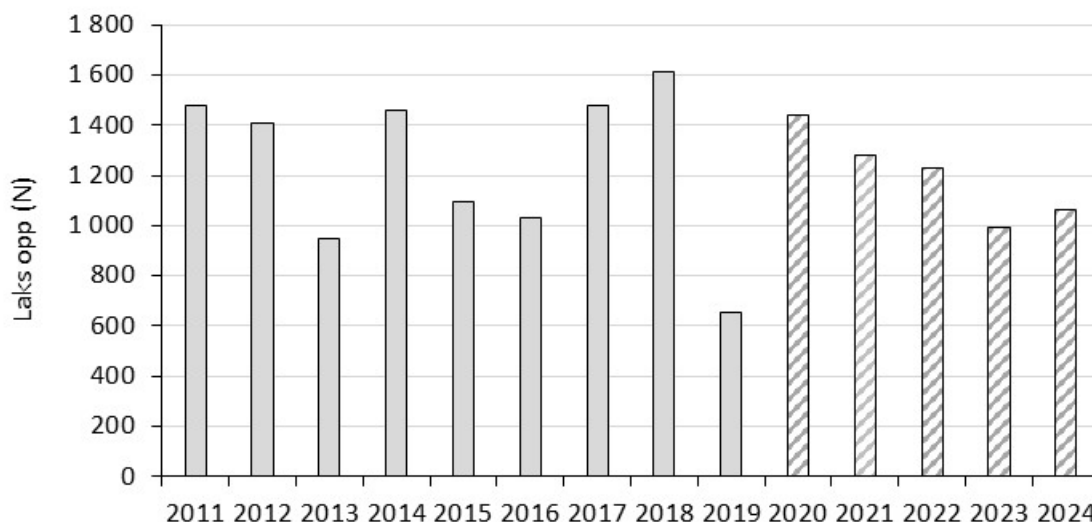
2.3 Oppvandring av laks forbi Dam Manflå

Et sentralt tema i utvikling av et nytt manøvreringsreglement for Laudal kraftverk var å sikre at laksen fritt kunne vandre inn i og gjennom minstevannstrekingen ved Laudal, gjennom Dam Manflå og videre oppover vassdraget uten større forsinkelser. Det nye 2021 reglementet innbar at en lokkestans i kraftverket om fredagene (som hadde som mål å få fisken inn i minstevannløpet) ble fjernet og det ble innført et nytt og mindre dynamisk vannføringsregime i minstevannstrekingen i løpet av oppvandringssesongen. For å evaluere effekten av disse endringene fortsatte Skandinavisk naturovervåking overvåkingen av oppvandring av laks forbi Dam Manflå, øverst i minstevannstrekingen. I en tidsserie som går tilbake til 2011 registreres daglig oppvandring av laks (Kvitvær & Lamberg 2023). I tillegg har vi brukt fangstregistreringer i ulike soner av Mandalselva som støtte for vurderingene av oppvandringsforløp.

I 2021 testet Skandinavisk naturovervåking en metode hvor bare annenhver dag med videopptak ble gjennomgått (Kvitvær & Lamberg 2022). Analyser av tellingene fra årene 2011 til 2019 viste at estimater av oppvandring fra videotellinger annenhver dag (oppvandring er 2 x antallet talt) ga avvik på rett i overkant av 1 %. Denne metoden ble derfor brukt i perioden 2022-2025.

Antallet oppvandrende laks har variert fra et minimum på 657 laks i 2019 til et maksimum på 1612 i 2018, uten noen tidstrend (**figur 5**). Det skal bemerkes at det i årene fra 2017 til 2025 har vært fanget mellom 63 og 388 laks på minstevannstrekingen rett nedstrøms tellelokaliteten (se kapittel 2.4), og at denne ekstra beskatningen nedstrøms telleren også i noe grad har påvirket

oppvandringen forbi dammen. Det ble ikke fisket på denne strekningen før 2017, og fangstene på strekningen har utgjort mellom ca. 5 og 10 % av totalfangstene i vassdraget.



Figur 5. Antall laks registret (eller estimert, skraverte søyler) i video på oppvandring forbi Dam Manflå for årene 2011 til 2024. Figuren er basert på data fra Kvitvær & Lamberg (2024) med upubliserte tall for 2024.

Om vi betrakter gjennomsnittlig kumulativt oppvandringsforløp med variasjon for årene 2013 til 2020 som normalt og som en førsituasjon kan vi se på hvordan oppvandringsforløpet eventuelt har endret seg i de fem årene med 2021 reglementet for Laudal kraftverk (**figur 6**). Det finnes oppvandringsforløp også for årene 2011 og 2012, men dette var før 2013 reglementet ble innført, og minste vannføringskravet var på bare 3 m³/s om sommeren disse to åra. Det skal bemerkes at fjerning av nesten alle tersklene på strekningen Dam Manflå til Kleveland bru før oppvandringsperioden 2017 og fjerning av terskelen ved Portalbygget på Laudal året etter også trolig har gitt lettere oppvandringsforhold. Effekten av disse tiltakene på oppvandring er trolig mindre enn betydningen av den betydelig økte minste vannføringen (til 12-25 m³/s, avhengig av tilsig) i 2013 reglementet. En sammenligning mellom perioden 2013-2020 med årene 2021-2025 er en direkte sammenligning mellom de to reglementene.

Oppvandringsforløpet var godt innenfor den normale førsituasjonen i 2021 og oppvandringen var stor noe tidligere enn normalt i 2023. Oppvandringsforløpene i 2022 og 2024 antyder en forsinket oppvandring sammenlignet med det normale, og i 2024 var det ikke særlig oppvandring før ut i juli. Det er imidlertid slik at Haugefossen lengre nede i vassdraget i stor grad kan påvirke oppvandringen fordi det er vanskelig for laksen å passere dette stryk- og fossepartiet når vannføringene er høyere enn 50 m³/s (Lamberg & Øksendal 2004, Forseth mfl. 2020). Vi talte derfor opp antall dager med vannføringer (fra Kjølmo målestasjon) på 50 m³/s eller lavere for oppvandringsperiodene (definert fra 15. mai til 15. oktober) for årene 2013 til 2025 (**tabell 2**). For perioden 2013-2020 var det i gjennomsnitt 35 % av oppvandringsdagene som hadde vannføringer under 50 m³/s, med et minimum på 23 % og maksimum på 62 %. I perioden 2021-2025 skilte 2024 seg markant ut med bare fem dager, tilsvarende 3,2 % av vandringsdagene, med vannføringer lik eller under 50 m³/s. Dette er også det klart laveste i hele serien. 2024 var altså et år med unormalt høye vannføringer i oppvandringsperioden (**figur 6**), noe som i hovedsak skyldtes at våren og sommeren var spesielt vannrik, men også at et av de større magasinene lengre oppe i vassdraget ikke kunne fylles som normalt på grunn av arbeid på dammen. De få periodene med vannføring under 50 m³/s var i hovedsak knyttet til aktive manøvreringstiltak i kraftverkene lengre opp, etter anmodning fra elveeierlaget til Å energi. Forsinket oppvandring forbi Dam Manflå i 2024 kan altså knyttes til forsinket oppvandring forbi Haugefossen.

I 2022 var det også et forsinket oppvandringsforløp, men her var starten av oppvandringen innenfor det normale og forsinkelsen økte fram til ut i september da det kom mye fisk. Dette året var det avvikende *mange* dager med vannføringer lik eller under 50 m³/s, 86 % av

oppvandringsdagene, og den vandringsforsinkende Haugefossen kan ikke forklare mønstret. 2022 var det imidlertid en svært tørr vår og sommer, med vannføringer ved Kjølemo godt under det normale (**figur 7**). Vannføringen var også spesielt stabil med nesten ingen episoder med økt vannføring og lange perioder med stabil vannføring rundt 25 m³/s. Først mot midten av september kom det en markant vannføringstopp, og oppvandringen over Dam Manflå skjøt fart (**figur 6**). Slike forhold, med lave vannføringer om sommeren, kan gjøre at laksen forsinkes i oppvandringen fra sjøen og inn i vassdraget og at den blir i sjøen lengre. En tørr og varm sommer preget vassdrag i hele regionen, med lite oppvandring og lave fangster av laks midt på sommeren. Sen oppvandring til vassdraget er derfor en mulig forklaring på forsinkelsen på oppvandringen over Dam Manflå midt i sesongen 2022.

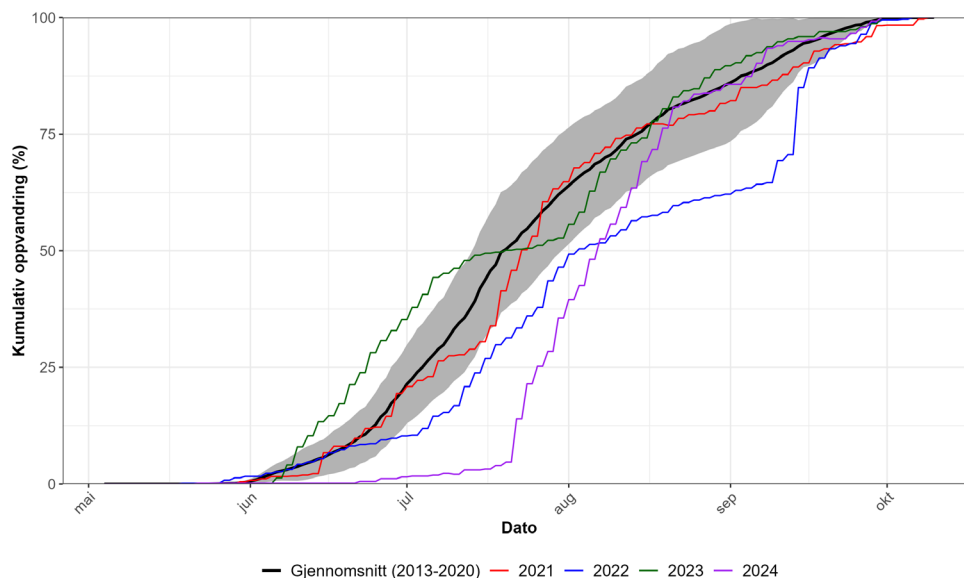
År	Dager ≤50	Andel dager (%)
2013	55	35,7
2014	47	30,7
2015	47	30,5
2016	55	35,7
2017	54	35,1
2018	95	61,7
2019	35	22,7
2020	38	24,7
2021	73	47,4
2022	133	86,4
2023	41	26,6
2024	5	3,2

Tabell 2. Antall dager med vannføringer lik eller under 50 m³/s i løpet av oppvandringssesongen (15. mai til 15. oktober) for årene 2013-2024, og andelen av slike dager. Data er fra Kjølemo målestasjon langt nede i Mandalselva.

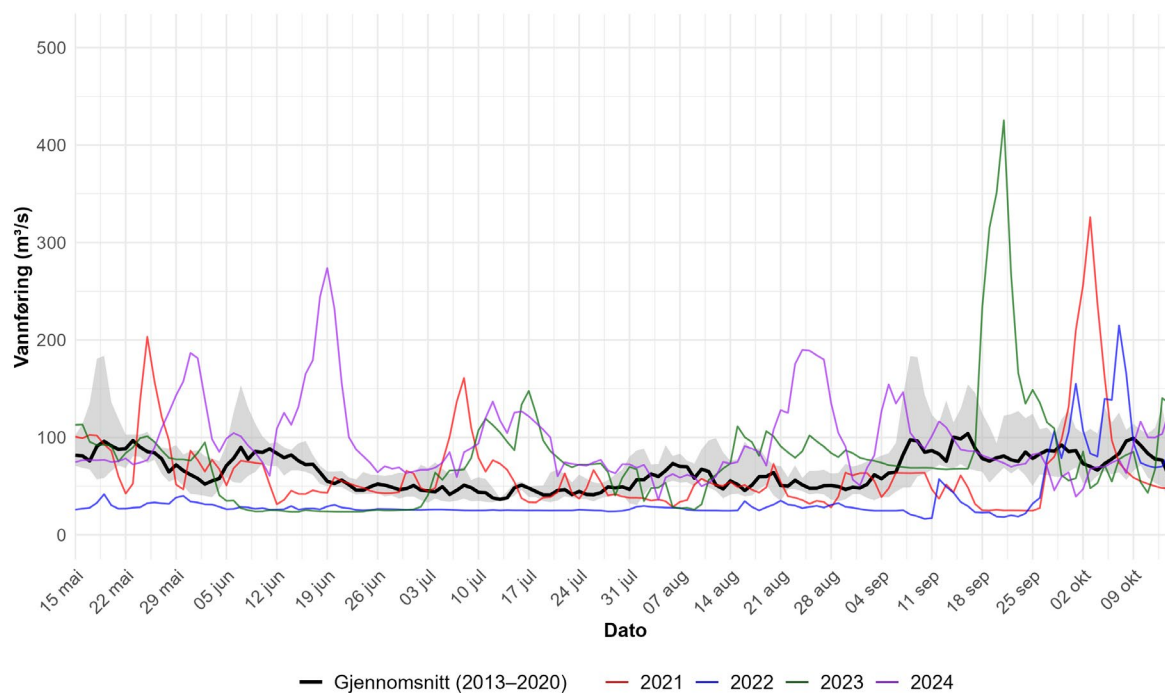
For å kunne forstå oppvandringsforløpet enda bedre har vi brukt ukesfangstene i minstevannstrekningen (som kalles «Delområde 4 nedom Manflåvann») og nedstrøms fiskeområde 3 som en indikasjon på oppvandringsforløpet i de to delene av elva. Sone 3 ligger ovenfor Haugefossen og er sonen rett nedstrøms minstevannstrekningen.

Det generelle bildet er at den kumulative utviklingen i ukesfangster er parallell i de to fiskeområdene (**figur 8**) med raskere fangstøkning både tidligere og senere i minstevannstrekningen sammenlignet med nedstrøms sone 3. I 2024 da oppvandring av laks over Dam Manflå var spesielt forsinket sammenlignet med den normale førsituasjonen ble det nesten ikke fanget laks før i uke 29 (medio juli) i både minstevannstrekningen og i sonen nedenfor. Dette styrker konklusjonen om at det var forsinkelse på grunn av vanskelige oppvandringsforhold i Haugefossen som ga forsinket oppvandringsforløp over Dam Manflå i 2024. I 2022, det andre året med senere oppvandring enn normalt, var utviklingen i ukesfangstene nesten identisk i de to fiskesonene gjennom mye av sesongen. Dette gir ytterligere støtte for at det var den tørre og varme sommeren med spesielt lave og stabile vannføringer som ga forsinket oppvandring fra sjøen og opp i elva som ga forsinket oppvandring forbi Dam Manflå i 2022.

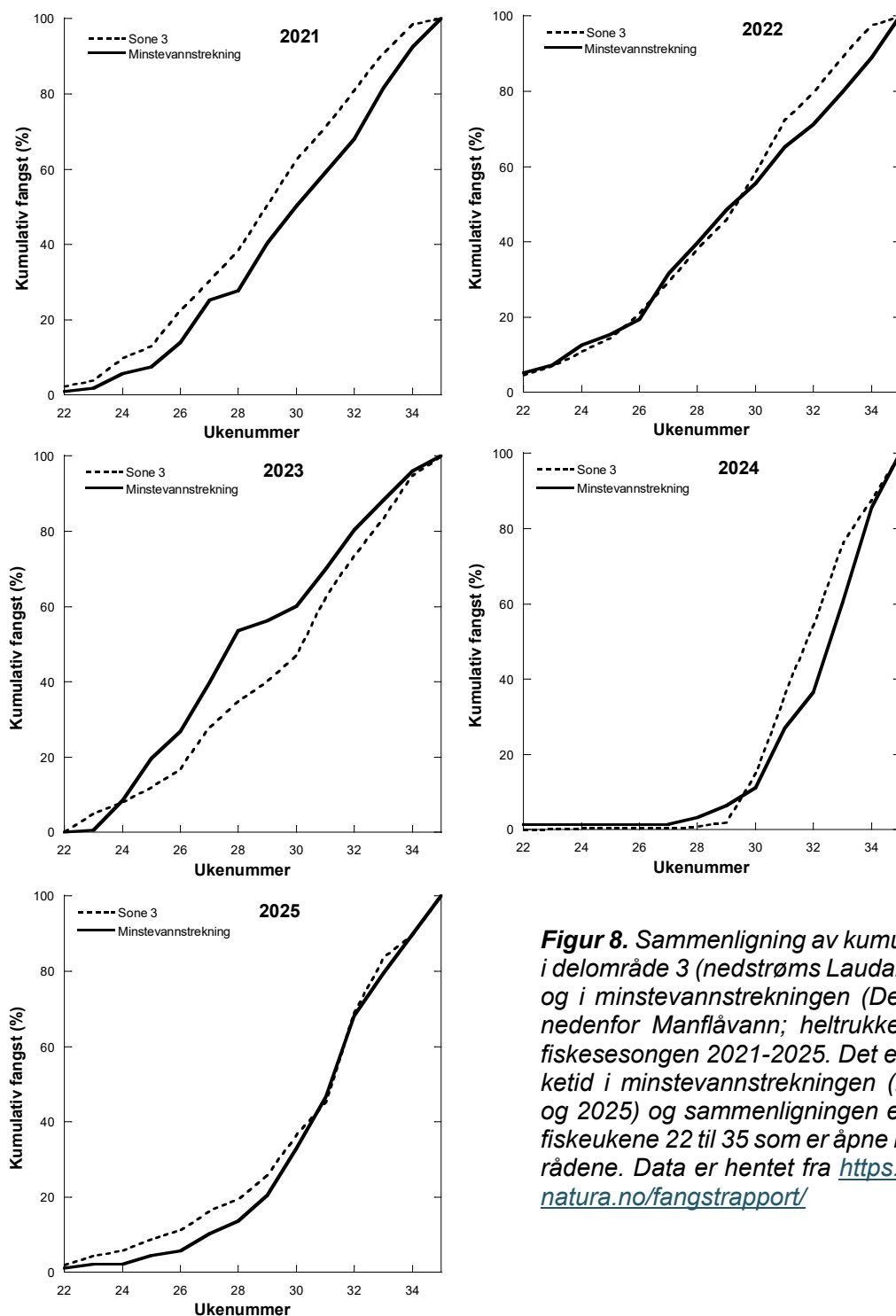
Samlet sett gir disse analyse støtte for at endringene i vannføring i oppvandringsseksongen i 2021 reglementet, og at kraftverket ikke lengre stanses natt til hver lørdag, ikke har påvirket oppvandringen inn i og forbi minstevannstrekningen i vesentlig grad. Det kan ikke utelukkes at for eksempel atferden til fisken ved utløpet av kraftverket og inngangen til minstevannføringsløpet har endret seg med det nye reglementet, men endringene er i så fall så små at det hverken påvirker det generelle oppvandringsmønsteret og mulighetene for fisken til å nå fram til gyteområdene oppstrøms eller fangstmulighetene i minstevannføringsløpet. Det er rimelig å anta at fjerning av tersklene og endringene i elveløpet ved Laudal har bidratt til at vandringen inn i og gjennom minstevannføringsstrekningen har blitt enklere.



Figur 6. Kumulativ oppvandring av laks forbi Dam Manflå i 2021 (rød linje), 2022 (blå linje), 2023 (grønn linje) og 2024 (lilla linje) sammenlignet med gjennomsnittet for perioden 2013-2020 (sort linje, med standardavvik som skravert felt). Figuren er basert på data fra Kvitvær & Lamberg (2023) oppdatert med tall for 2024 fra Skandinavisk naturovervåkning.



Figur 7. Median vannføring i oppvandringsperioden (15. mai til 15. oktober) fra Kjølmo målestasjon langt nede i vassdraget for årene 2013 til 2020 (sort linje, med 25 og 75 persentilene som grått bånd) samt for årene 2021 til 2024 hver for seg.



Figur 8. Sammenligning av kumulativ fangst i delområde 3 (nedstrøms Laudal; brutt linje) og i minstevannstrekingen (Delområde 4, nedenfor Manflåvann; heltrukken linje) for fiske sesongen 2021-2025. Det er lengre fiske-tid i minstevannstrekingen (ikke i 2024 og 2025) og sammenligningen er basert på fiskeukene 22 til 35 som er åpne i begge områdene. Data er hentet fra <https://www.sca-natura.no/fangstrapport/>

2.4 Effekter av habitattiltakene på minstevannstrekingen

2.4.1 Metoder

Effektene av de omfattende habitattiltakene på strekingen Dam Manflå til Kleveland bru har blitt kartlagt ved elektrisk fiske etter laks- og aureunger på 15 til 17 etablerte stasjoner årlig siden 2016. Tiltakene ble gjennomført vinteren/våren 2016 slik at all ungfisk som var i elvestrekingen i 2016 var klekket før tiltaket ble gjennomført og 2016 kan betraktes som en før-situasjon når det

gjelder fisketettheter. Stasjonsvise ungfisktettheter estimert fra elektrisk fiske for årene 2016 til 2018 ble presentert i sluttrapporten fra miljødesignprosjektet (Forseth mfl. 2020), men her ser vi på utviklingen i hele perioden fra 2016 til og med 2025, og på utvikling etter at 2021 reglementet ble innført fra våren 2021.

Stasjonene var fra 45 til 150 m² store (gjennomsnitt 89 m²) og ble fisket en gang. For å beregne tetthet ble det brukt fangsteffektiviteter fra flere runders overfiske i kalkingsovervåkingen, som også gjennomføres i Mandalselva. Strategien ble valgt for å prioritere å fiske mange stasjoner som representerer strekningen på en god måte, heller enn å prioritere sikrere tetthetsestimater på færre stasjoner (Forseth & Forsgren 2008)

Klimatiske forhold har gjort at det er utfordrende å få gjennomført det elektriske fisket til ønsket tid og ved lave vannføringer (**tabell 3**). Målet har vært å gjennomføre feltarbeidet så tidlig som mulig i oktober, etter at vannføringen reduseres fra sommervannføringen. Mye nedbør, stort tilsig og vannføringer inn til Laudal kraftverk som er høyere enn slukekapasiteten har gjort at det har vært lange perioder med mye mer vann enn minstekravet og høyere enn det som er gunstig for elektrisk fiske. I tillegg er det slik at når temperaturen synker mot slutten av oktober og utover november så endrer fisken atferd og blir vanskeligere å fange. I tillegg blir dagene kortere og lysforholdene dårligere, noe som er en utfordring med farget vann og mørk bunn slik det er på stekningen.

I tillegg til at forholdene under elektrisk fiske kan ha påvirket de beregnede tetthetene har det vært hendelser som kan ha påvirket både rekrutteringen (antall gytefisk) og tetthetene av ungfisk (**tabell 3**). 2. oktober 2017 var det en flom som kulminerte ved ca. 1050 m³/s ved Kjølmo målestasjon. Flommen kan karakteriseres som en flom med gjentakintervall på mellom 50 og 200 år (Holmqvist & Engeland 2018), og er altså en sjelden hendelse i Mandalselva og flommen var den største etter 1864. En så stor flom kan ha gitt betydelige nedstrøms forflytninger av ungfisk, og særlig for årsyngel som på grunn av sin størrelse (fra under 4 til 6 cm lange, se **figur 10**) har begrenset svømmekapasitet. Vinteren 2020/2021 ble det rapportert om uvanlig mye isdannelse på strekningen, som også kan påvirke ungfiskens overlevelse (Cunjak mfl. 1998)). Videre var det et større utbrudd av soppsykdommen saprolegniose på gytefisken i 2022 og en mindre forekomst i 2023 som kan ga påvirket rekrutteringen i form av redusert gyting. I 2023 kan det ha vært et utbrudd av nyresykdommen PKD i vassdraget, en sykdom som først og fremst rammer årsyngel av laks og ørret (Sterud mfl. , men som også kan ramme eldre fiskeunger. Disse sykdomsutbruddene og mulige effekter på rekrutteringen gjennomgås i mer detalj under, mens her diskuteres hvordan alle disse hendelsene kan ha påvirket resultatene fra ungfiskundersøkelsene.

Tabell 3. Dato for eklektisk fiske i minstevannstrekningen for årene 2016-2025, antall stasjoner fisket, vanntemperaturen, vannføringen på strekningen (data fra Å energi), kommentarer om forhold under feltarbeidet og relevante hendelser som kan ha påvirket ungfisktetthetene i perioden.

År	Dato	Antall	Temp	Vannføring	Feltkommentarer	Relevante hendelser
2016	11-12/10	17	9,7	8,3		
2017	6-7/11	15	6,6	7,1	Lite dagslys, gyting på gang enkelte områder	Storflom 2. oktober
2018	5-6/10	15	9,6	7,2		
2019	2-3/11	15	5,8	9,2	Lite dagslys, vanskelig å få opp årsyngel. Gytegroper/forsøk på graving flere områder.	
2020	5-6/11	15	7,9	16,2-8,0	Lite dagslys, vanskelig å få opp årsyngel. Gytefisk og graving observert ved flere områder.	Isdannelser vinteren 2020/21
2021	13-14/10	15	10,3	10,8	Mørk bunn + mose + overskyet - vanskelig å se fisk. Gytefisk	

					(laks) observert ved st 23.	
2022	3-4/10	16	10,7	10,5		Saproleginiose gytefisk mye
2023	14-16/10	16	9,6	10,8	Høy og variabel vannføring gjennom hele høsten	Saproleginiose gytefisk litt, PKD ungfisk
2024	14-15/10	16	9,5	10,9	Høy og variabel vannføring gjennom hele høsten	
2025						

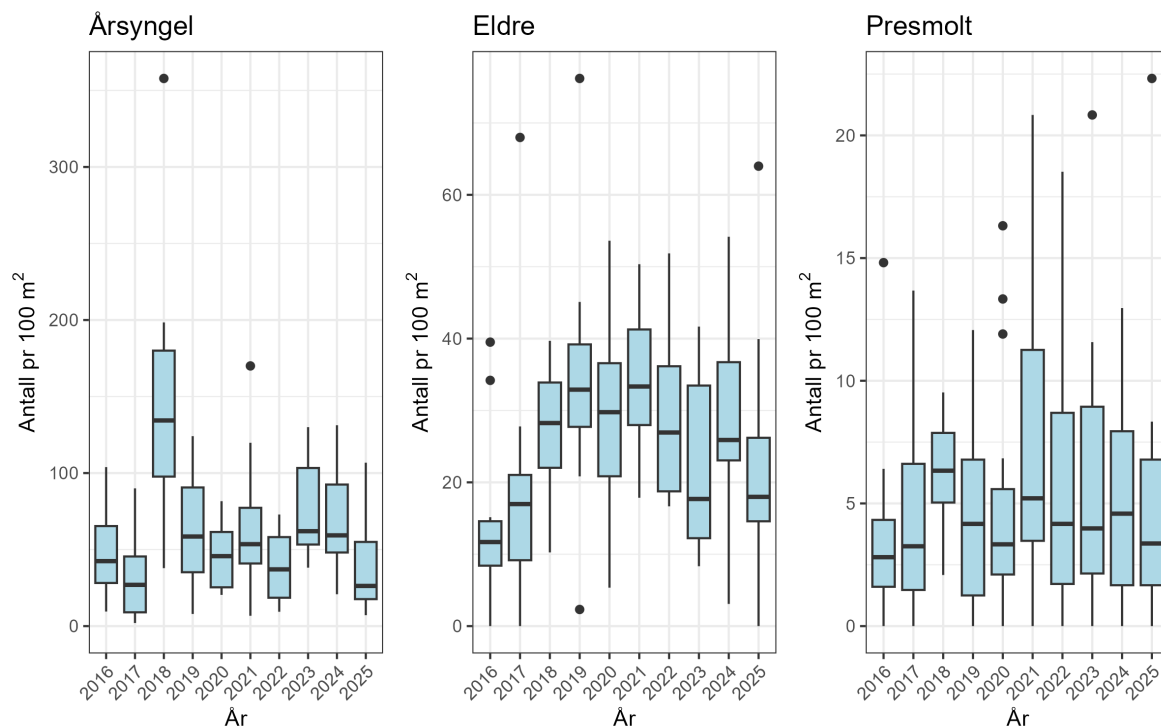
2.4.2 Utvikling i tettheter av lakseunger

Tettheten av årsyngel (0+) av laks har i perioden 2016 til 2024 økt fra rundt 45 yngel pr. 100 m² i 2016 (førsituasjonen) til et nivå på rundt 70 yngel i de siste to åra (**figur 9**). Mellom disse ytterpunktene har tettheten variert mye. Til tross for at det er sannsynlig at det var mer gyting i 2016 enn åra før, på grunn av at mange nye gyteområder ble tilgjengelig etter terskelfjerningene og habitattiltakene (Forseth mfl. 2020), så ble gjennomsnittlig årsyngeltetthet lavere i 2017 enn 2016. Det er overveiende sannsynlig at dette skyldes at årsyngel ble skylt ut av området i den svært store flommen som kom før feltarbeidet ble gjennomført. I 2018 ble tettheten av årsyngel rekordhøy (i gjennomsnitt over 140 yngel pr. 100 m²), for deretter å avta igjen til et minimum på rett under 40 yngel pr. 100 m² i 2022, før tetthetene økte igjen til et høyere nivå i 2023 og 2024. Vi vet ikke sikkert hva som var årsaken til de lave tetthetene i 2022. Fiskeforholdene framsto som gunstige med feltarbeidet tidlig i oktober og feltpersonellet hadde ingen kommentarer. Sommeren 2022 var imidlertid spesielt tørr og varm i Mandalselva (se vannføringer i **figur 7**), og det kan ikke utelukkes at det kan ha vært utbrudd av nyresykdommen PKD denne sommeren, selv om sykdommen ikke ble påvist før i 2023. PKD er en sykdom som særlig oppstår ved høye vanntemperaturer (se kapittel 2.6.2).

For årsyngelen har vi også lengdemålinger (**figur 10**). Årsyngelen var i gjennomsnitt lengst i 2016, stabiliserte seg deretter på et lavere nivå men var minst i 2024. Veksten til laksunger er sterkt påvirket av miljøfaktorer som vanntemperatur, men er også påvirket av fisketetthet og det er mulig at generelt lav forekomst av årsyngel i hele strekningen i 2016 bidro til bedre vekst og større årsyngel dette året.

Tettheten av eldre laksunger har også generelt økt i perioden 2016-2024, fra nivåer mellom 10 og 20 laksunger pr. 100 m² (13 i førsituasjonen i 2016) til mellom 20 og 30 pr. 100 m² (eller høyere) utover i perioden (**figur 9**). For eldre laksunger ble det også registrert en reduksjon mot slutten av perioden, som kom i 2023, ett år senere enn for årsyngel. Det er rimelig å anta at en svekket årsklasse av årsyngel i 2022 har bidratt til lavere tetthet av eldre laksunger i 2023, som er dominert av ettåringer.

Tettheten av laksunger som er store nok til å bli definert som presmolt (fisk lengre enn 105 mm), som er laksunger som det er sannsynlig at vil vandre ut som smolt våren etter, viser også en økning fra ca. 3 presmolt pr. 100 m² i 2016 til rund 6 pr. 100 m² utover i serien (**figur 9**). Gjennomsnittlig tetthet av presmolt var noe lavere i 2024 enn i 2023, noe som kan være knyttet til reduserte tettheter av eldre laksunger i 2023 og årsyngel i 2022. Denne sekvensen med registrerte lave tettheter av det som i alle fall delvis er samme kohort over tre år gir støtte for at de lave tetthetene i 2022 ikke var resultat av metodiske utfordringer og forsterker teorien om en hendelse, som et sykdomsutbrudd, kan forklare avvikende lave årsyngeltettheter i 2022.



Figur 9. Boksplott av beregnede fisketettheter på 15 elfiskestasjoner (stasjoner som er fisket alle år) i minstevannstrekingen mellom Dam Manflå og Kleveland bru for årene 2016-2024 gitt for årsyngel (0+), eldre laksunger og presmolt (laksunger større enn 105 mm). Boksene inneholder halvparten av alle estimatene, den vannrette linja inne i boksene er medianverdien, de loddrette linjene er minste og største estimat, men unntak av enkeltpunktene som er avviksv verdier (uteliggere). Merk at det er ulik skala på y-aksene

2.4.3 Andre forhold som kan ha påvirket ungfisktettheter

Vinteren 2020/21 ble det fra Bjørgulv Foss rapportert om uvanlig mye isdannelse på deler av minstevannstrekingen. Dette ble dokumentert med foto, og Foss tok opp mulige negative effekter på egg og yngel. Bildene ble forelagt professor Knut Alferdsen på NTNU, som er ekspert på isprosesser i elver. Konklusjonen var at isen på bildene i hovedsak er bunnis (såkalt «dynamisk isdannelse» der underkjølt vann som dannes i virvlende vann bringes ned til bunnen og krystalliseres ut til bunnis) samt noe akkumulering av sarr (botnsarr). Fordi isdannelsen primært skjedde langs land er det etter vår vurdering neppe noe problem for laksunger, fordi de søker til dypere områder om vinteren. Det var ikke noe i tetthetsdata for yngel eller eldre laksunger fra høsten 2021 som tyder på at isdannelsen vinteren hadde hatt målbar effekt på rognoverlevelse eller ungfisk, med generelt høyere tettheter av alle tre størrelsesgruppene enn året før (figur x).

På grunn av de overraskende lave tetthetene av årsyngel i 2022 (figur 9) ble det bestemt at man ønsket å skaffe mer informasjon om rekrutteringen på strekingen gjennom registreringer av gytegroper og gytefisk.

NORCE LFI Bergen gjennomførte 15. november 2022 en drivtelling av strekingen fra Dam Manflå til Kleveland bru (data presentert i Haraldstad mfl. 2022). Det var to tellere som registrerte antall gytefisk og observerte gytegroper. Det ble observert 130 gytelaks under vanskelige forhold (rundt 1 m sikt), fordelt på 17 smålaks, 46 mellomlaks og 11 storlaks. I tillegg ble det observert 23 døde laks og en død stor ørrethunn. Disse hadde mye sopp. Blant de døde var det både hunnlaks og hannlaks av alle størrelsesgrupper, og noen av de døde hunnene hadde ikke gytt. Det anslås at 80-90 % av den levende gytefisken hadde soppangrep, og noen var svært kraftig rammet. Samtidig ble det rapportert om funn av død laks med sopp lengre ned i vassdraget og NORCE LFI Bergen fikk i oppdrag å innhente data fra innrapporterte funn og gjennomføre drivtelling lengre ned i elva. Mandalselva Elveeierlag oppsummerte at det ble funnet 117 døde laks, flest ved Øyslebø (Haraldstad mfl. 2022). I drivtelling ved høy vannføring (88 m³/s) og svært dårlig sikt ble det på strekninger mellom Laudal og Øyslebø den 23. november

observert bare fem laks og en sjøørret (Haraldstad mfl. 2022). I tillegg ble det funnet fem døde laks og en sjøørret på elvebunnen. Bare to av fiskene var synlig angrepet av sopp. Det generelle inntrykket var at det hadde vært stor gyteaktivitet på kjente gyteområder. Det ble også samlet inn tre små hannlaks og en ørrethunn «svimere» med elfiske i Heddalsbekken/Songåa og Finsåbekken. Her ble det også funnet ti døde laks. Fisken hadde til dels store sopplesjoner.

Veterinærinstituttet har senere analysert prøver av fisk fra Mandalselva og påvist soppen *Saprolegnia parasitica* som under noen miljøforhold gir fiskesykdommen saprolegniose. Det kan derfor konkluderes at fisken på minstevannstrekningen og lengre nede i elva døde av saprolegniose, selv om underliggende infeksjoner ikke kan utelukkes.

Samlet sett vurder NORCE LFI Bergen at dødeligheten ikke vil ha vesentlig betydning for rekrutteringen høsten 2022 (Haraldstad mfl. 2022). Dødeligheten var neppe samlet sett veldig høy, og mye av fisken hadde gytt. Det ble også rapportert om sopprelatert dødelighet i nærliggende Songdalselva (Søgneelva) både i 2021 (påvist *Saprolegnia parasitica*) og 2022, og det har blitt rapportert om utbrudd i et vassdrag i Rogaland i 2022.

I 2023 gjennomførte NORCE LFI Bergen en gytefisktelling 16. november. Vannføringen var ca. 10 m³/s, men sikten var svært dårlig (ca. 2 m) noe som ga vanskelige telleforhold. Det ble observert 46 smålaks, 67 mellomlaks og 30 storlaks. Det generelle inntrykket var at det hadde vært og var mye gyting på kjente gyteområder fra Solkrona og ned mot Kleveland bru. Tellingene ble trolig gjennomført noe før toppen i gyteaktiviteten (flere av hunnene hadde ikke startet), men grusen var markant påvirket av gyteaktivitet og gyteaktiviteten ble vurdert som normal for tidspunktet.

I kontrast til i 2022 ble det observert få laks med soppangrep (17 av 143 laks, tilsvarende 12 %) og det ble bare observert en død og en døende hunnlaks med sopp. Dette viser at selv om det kan ha vært noe saprolegniose også i 2023, så var utbruddet betydelig mindre. Årsyngeltettheten høsten 2023 bekrefter at NORCE LFI Bergen (Haraldstad mfl. 2022) sin antagelse om at dødeligheten av gytefisk høsten 2022 ikke hadde vesentlig betydning for rekrutteringen dette året fordi mye av den syke fisken fikk gytt før den døde. Det er derfor ikke sannsynlig at dødelighet av gytefisk i 2023 vil påvirke rekrutteringen.

Basert på gytefisktellingene til NORCE LFI Bergen er det mulig å vurdere om det var nok gytefisk på strekningen i 2022 og 2023, det vil si sannsynligheten for at et lokalt gytebestandsmål for strekningen ble nådd. Mandalselva har et gytebestandsmål på 5155 kg hunnfisk, med et intervall på 3866 til 7733 kg. I henhold til estimatene i miljødesignprosjektet (Forseth mfl. 2020) skal minstevannstrekningen i full produksjon etter tiltakene kunne produsere 10 % av smolten i vassdraget og vi antar derfor et lokalt gytebestandsmål (avrundet) på 520 kg (390-770 kg). Det er på grunn av dårlig sikt utfordrende å observere gytefisk på strekningen og vi antok at mellom 40 og 60 % av laksen som var på strekningen ble observert under drivtellingene. Videre brukte vi de samme hunnfiskandelene blant små-, mellom- og storlaksen som Vitenskapelig råd for lakseforvaltning bruker i vurderinger av oppnåelse av gytebestandsmål i hele vassdraget (se informasjon om enkeltvassdrag hos www.vitenskapsradet.no). Gjennomsnittsvektene for de samme størrelsesgruppene ble beregnet fra fangstene på strekningen. Med disse forutsetningene beregnet vi en gytebestand på mellom 353 og 529 kg hunnfisk i 2022 og mellom 655 og 981 kg hunnfisk i 2023. Dette innebærer at det lokale gytebestandsmålet (modalverdien på 520 kg) mest sannsynlig ikke ble nådd i 2022 (oppnåelsesprosent mellom 68 og 102 %), men avviket var neppe stort. Årsaken er relativt stor dødelighet på grunn av soppsykdom og måloppnåelsen kan ha vært bedre enn vi har beregnet om mye av fisken hadde gytt før den døde. I 2023 derimot ble sannsynligvis gytebestandsmålet nådd med god margin (126-188 %). Denne vurderingen innebærer at årsyngeltettheten i 2023 kan ha vært påvirket av for få gytefisk høsten 2022.

2.4.4 Vurdering av måloppnåelse og effekter av 2021 reglementet

Til tross for at det oppsto flere hendelser som kan ha påvirket rekrutteringen og ungfiskproduksjonen i minstevannstrekninger er det generelle bildet at ungfiskproduksjonen har økt etter tiltakene. Tettheten av presmolt har generelt økt fra et nivå på rundt 3 fisk til rundt 6 fisk pr. 100 m², noe som tilsier en dobling av smoltproduksjonen. Dette er i samsvar med forventningene i miljødesignprosjektet (Forseth mfl. 2020). I tillegg er det slik at arealet som faktisk produserer særlig med lakseunger har økt på strekningen etter at tersklene ble fjernet, og selv om vi har fisket på

mange stasjoner så vil ikke nødvendigvis stasjonsnettet fanget opp en samlet økning i fiskeproduksjon på en god nok måte. Det er derfor sannsynlig at ungfisk- og smoltproduksjonen på strekningen har økt mer enn økningene i tetthet av årsyngel, eldre lakseunger og presmolt tilsier. Vi konkluderer derfor at den forventede doblingen eller mer av smoltproduksjonen på strekning har blitt nådd.

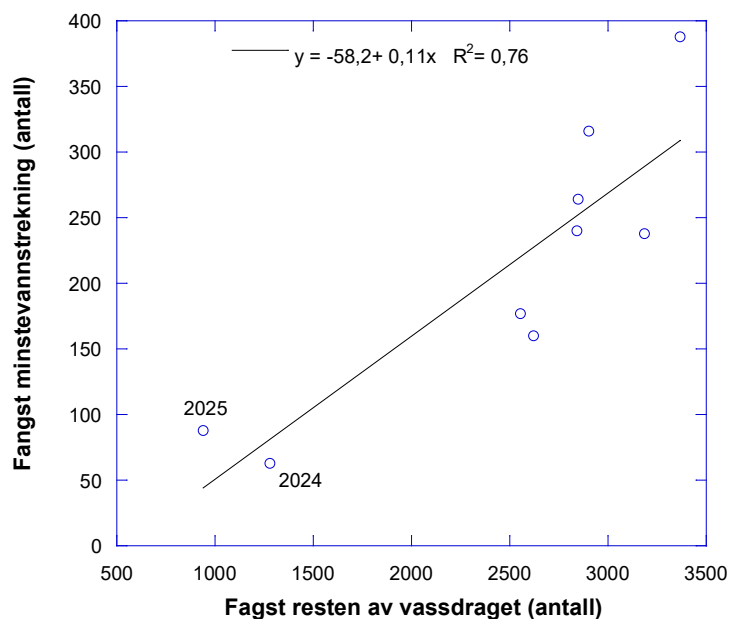
Det var ikke noen tegn til at 2021 reglementet har påvirket ungfiskproduksjonen.

2.5 Fangster i minstevannstrekningen

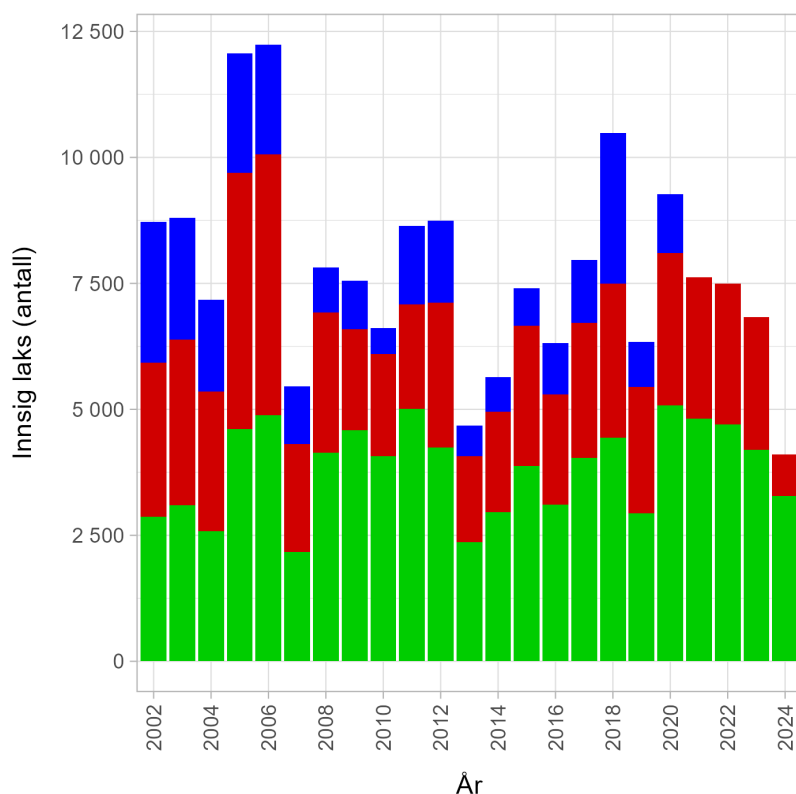
Etter at det ble åpnet for ordinært fiske på strekningen i 2017 har det årlig blitt rapportert fangster (**tabell x**) på mellom 63 laks (samlet vekt 179 kg) og 388 laks (1487 kg). Det var lavest fangst i 2024 og høyest i 2018. Fangstene i minstevannstrekningen har i gjennomsnitt utgjort 7,7 % av totalfangstene i vassdraget (på antallsbasis), med en variasjon fra 5,1 % i 2024 til 10,3 % i 2018. Fangstandelen i minstevannstrekningen har vært høyere på vektbasis (gjennomsnitt på 9,3 %) fordi gjennomsnittsvekten på laks fanget på denne strekningen har vært høyere enn i totalfangstene alle år. Det er ingen tidstrend i fangstene knyttet til innføring av det nye reglementet fra 2021, men fangstene ble betydelig lavere i 2024 og 2025 enn i forgående år. Denne reduksjonen i fangst sees imidlertid også i totalfangsten i vassdraget (**tabell x**). Det er en god korrelasjon mellom fangstene i minstevannstrekningen og fangstene i resten av vassdraget (**figur x**). De to dårligste fangstårene var de samme (2024 og 2025) i både minstevannstrekningen og i resten av vassdraget. De lave fangstene i 2024 og 2025 kan knyttes både til redusert innsig av laks og til innstramminger i fiskeregler som en følge av denne reduksjonen. I henhold til beregninger gjennomført av Vitenskapelig råd for lakseforvaltning sank antallet laks som returnerte fra havet til Mandalselva fra ca. 6800 laks i 2023 til ca. 4100 laks i 2024 (**figur x**). Dette er del av en regional trend med redusert innsig av laks i de senere år, og særlig for mellom- og storlaks, (VRL 2025). I 2024 ble også fisket stengt fra 23. juni til 11. juli, og det ble innført strengere kvoter etter gjenåpning. Det var også i 2024 at fangstene i minstevannstrekningen utgjorde den laveste andelen av totalfangsten (5,1 %, **tabell x**) noe som trolig kan tilskrives sen oppvandring til området på grunn av forsinkelser ved Haugefossen (se kapittel 2.3). De strenge kvotene fra 2024 ble videreført i 2025 og lokalforvaltningen rapporterer om redusert kortsalg noe som kan ha påvirket fangstutbyttet i 2025. Analysene av innsigets størrelse i 2025 har per desember 2025 ikke blitt gjennomført.

Tabell x. Fangst av laks i antall og vekt (kg) i minstevannstrekningen mellom Dam Manflå og Kleveland bru sammenlignet med fangst i hele Mandalselva. Andelen av totalfangsten gjort på minstevannstrekningen er gitt, både basert på antall og vekt. Gjennomsnittsvekt på laksen fanget på strekningen er også sammenlignet med snittet i resten av elva. Data er hentet [scanatura - Fangstrapport](#) der «Delområde 4 – nedom Manflåvann» er fangsten på minstevannstrekningen.

År	Antall	Vekt	Antall hele	Vekt hele	% antall	% vekt	Snittvekt	Snittvekt hele
2017	264	1093	3111	10416	8,5	10,5	4,1	3,3
2018	388	1487	3754	11504	10,3	12,9	3,8	3,0
2019	160	663	2781	8034	5,8	8,3	4,1	2,8
2020	238	790	3424	9032	7,0	8,7	3,3	2,6
2021	240	787	3083	9680	7,8	8,1	3,3	3,1
2022	316	1123	3218	9263	9,8	12,1	3,6	2,9
2023	177	682	2731	9127	6,5	7,5	3,9	3,3
2024	63	179	1342	3471	5,1	5,2	2,8	2,6
2025	93	312	1045	3085	8,9	10,1	3,4	3,0



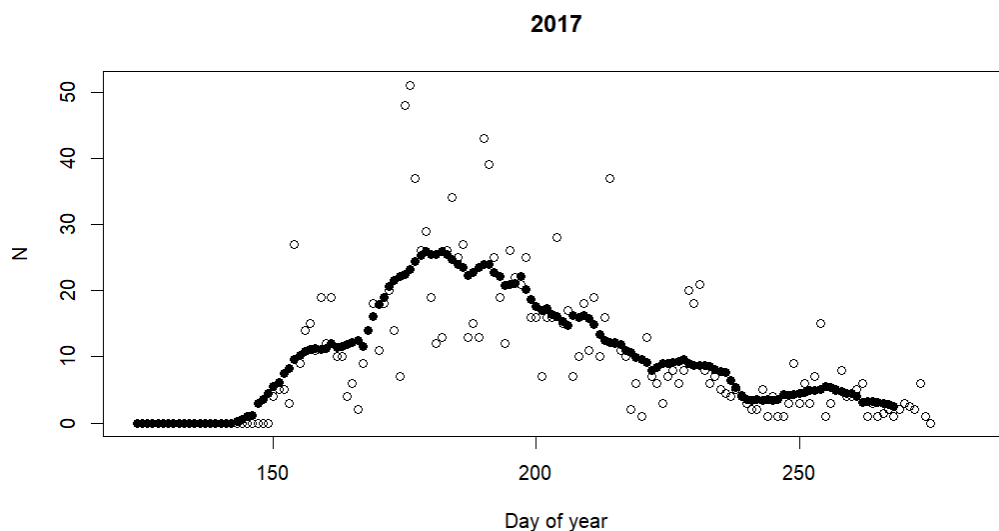
Figur x. Rapporterte fangster av laks (i antall) i minstevannstrekingen plottet mot fangstene i resten av vassdraget for årene 2017-2025. De to dårligste fangståra er markert. Fangsten i resten av vassdraget forklarer 76 % av variasjonen i fangst mellom år i minstevannstrekingen.



Figur x. Innsiget av laks hjemhørende i Mandalselva (høyden på søylene) og hvor mye som er avlivet i sjølaksefiske (blå del) og i elvefisket (rød del) og hvor mange laks som er igjen i gytebestanden (grønn del) for årene 2002-2024. Figuren er fra <https://www.vitenskapsrådet.no/VurderingAvEnkeltbestander/#/map>.

Vi har tidligere sett på daglige fangster i minstevannstrekingen under ulike vannføringsforhold for å vurdere om 2021 reglementet har påvirket fangstmulighetene negativt (Forseth 2024). Det nye reglementet tilsier isolert mer stabile vannføringsforhold i løpet av fiskesesongen fordi trap-petrinn slipp i 2013 reglementet ble erstattet av faste slipp i 2021 reglementet. Det er en almin-nelig oppfatning blant fiskerne at stabile vannføringsforhold er negativt for fiske. Det vil imidler-tid fortsatt være vannføringsøkninger på strekingen knyttet til flommer som er høyere enn slu-kekapasiteten i Laudal kraftverk (110 m³/s) slik at det er usannsynlig at vannføringen er lik slippkravene gjennom en hel sesong.

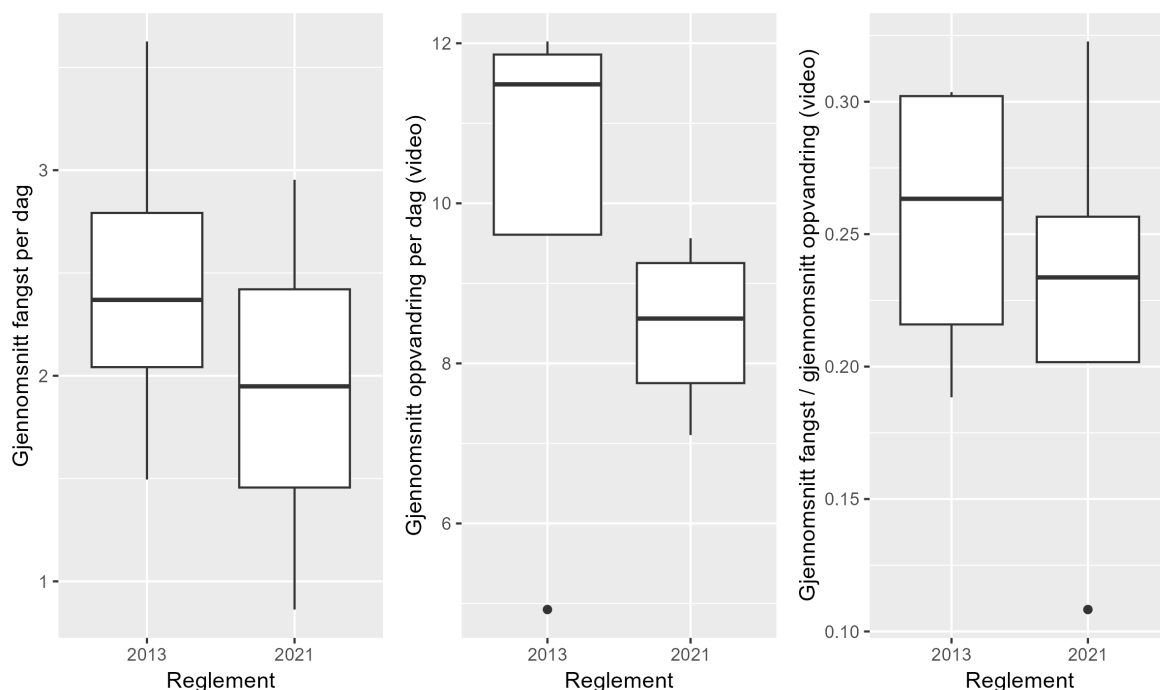
I denne rapporten gjennomfører vi statistiske analyser for å undersøke effekten av vannfø-ringsforhold på fangst og fangstsannsynlighet og om 2021 reglementet har påvirket sannsynlig-heten negativt. Sammenligningen av de to reglementene er basert på årene 2017-2020 for 2013 reglementet og 2021-2024 for 2021 reglementet (videotellingene for 2025 er ikke klare per desember 2025). For å kunne beregne daglig fangstsannsynlighet må vi ha kunnskap om hvor mye fisk som er tilgjengelig for fangst hver dag. Det beste estimatet vi har for dette er vi-deotellingene i Dam Manflå (se kapittel 2.3). Om vi antar at all fisk vandrer raskt gjennom mins-tevannstrekingen blir daglig fangstsannsynligheten lik fangst delt på registrert oppvandring i video. Imidlertid vil nok ikke all fisk vandre rett gjennom strekingen med samme hastighet. Noen fisk kan bruke lengre tid og noen avslutter sin vandring og skal gyte på strekingen. Vi glattet derfor ut de daglige oppvandringstallene i video for å oppnå en mer sannsynlig tilgjenge-lighetskurve gjennom sesongen (se eksempel i **figur x**). Daglig fangstsannsynligheten blir da lik daglig fangst delt på glattet daglig oppvandring og man unngår tilfeller der daglig fangst er større enn oppvandringen.



Figur x. Daglig antall laks registrert i video i Dam Manflå gjennom sesongen 2017 (hvite punkter) og et glattet forløp (ved hjelp av kernel filter, sorte punkter).

Vi analyserte først daglige fangster direkte ved hjelp av en *negativ binominal blandet modell* med daglig gjennomsnittlig vannføring og vannføringsendring fra dagen før som faste effekter og år som tilfeldig effekt. Vi fant at gjennomsnittlig vannføring ikke påvirket fangsten signifikant ($p=0,55$) mens endring i vannføring ga en signifikant effekt ($p=0,017$) slik at fangstene økte svakt med økende endring i vannføring fra dagen før. Deretter analyserte vi daglig fangstsannsynlighet med en *gamma blandet modell* med de samme forklaringsvariablene som for fangst. Resultatene ble de samme som for fangst, med ingen effekt av vannføring ($p=0,53$) og en svak effekt av endring i vannføring ($p=0,02$). Analysene bekrefter derfor delvis fiskernes oppfatning av at endringer i vannføring gir bedre fiske, men effekten er svært liten. Vi sjekket også for timesbaserte variasjoner innen hvert døgn, men disse viste ingen effekter på fangst eller fangstsannsynlighet.

Til slutt så vi på årlige fangster og oppvandring over Dam Manflå og sammenlignet gjennomsnittlig fangst per dag, oppvandring per dag og fangster delt på oppvandring (fangsteffektivitet) under de to reglementene. Vi brukte fangster fra 1. juni til 15. september for årene 2017-2023 og til 31. august for 2024 (det ble ikke åpnet for utvidet fisketid dette året). I tillegg var fisket stengt fra 23. juni til 11. juli i 2024, og data fra denne perioden ble tatt ut. Oppvandrende laks før 1. juni ble ikke tatt med. Median gjennomsnittlig fangst per døgn ble redusert med nesten 18 % fra årene med 2013 reglementet til årene med 2021 reglementet (**figur x**), men samtidig ble median antall laks som vandret opp per døgn redusert med ca. 25 %. Dette medførte at den gjennomsnittlige fangsteffektiviteten bare ble redusert med ca. 11 % etter innføring av det nye reglementet. Noe lavere fangsteffektivitet i de senere år må også sees i lys av at det i 2024 i tillegg til kortere fisketid også ble innført strengere kvoter, med en døgnavote som ble redusert fra to til en laks fra 19. juni. Etter gjenåpningen 11. juli ble det også innført en sesongkvote på fem laks, døgnavoten ble endret til en laks under 65 cm (fisket skal stoppes når en laks er avlivet) og det ble innført en kvote på to gjenutsatt laks per døgn. Dette er endringer som både kan ha påvirket fangsteffektiviteten og innsatsen, og fangsten ble det laveste i tidsserien.



Figur x. Gjennomsnittlig rapportert fangst av laks per dag i minstevannstrekningen, gjennomsnittlig oppvandring per dag i video i Dam Manflå og fangst delt på oppvandring (fangsteffektivitet) under 2013 reglementer (2017-2020) og 2021 reglementet (2021-2024).

2.6 Vannføringsforhold og strandingsfare

I miljødesignprosjektet ble det basert på vurderinger av sammenhenger mellom vannføring og vanndekt areal utviklet forslag til driftsstrategier (kalt miljøtilpasset kraftversdrift) som minimerer risikoen for stranding av ungfisk nedstrøms både Bjelland og Laudal kraftverk (Forseth mfl. 2020). Forslagene kombinerer kunnskap om ved hvilke vannføringsintervall som gir store tørrlagt arealer langs elvebreddene og i hvilke perioder av året at ungfisken er spesielt sårbar. Nedtapningshastighetene er basert på endringer i vannføring, men er lagd slik at hastigheten i endring i vannstand skal være under den anbefalte grensen på 10-15 cm per time (Bakken mfl. 2016) på strandingsutsatte strekninger nedstrøms kraftverkene (Fjeldstad mfl. 2017, Forseth mfl. 2019). Nedenfor presenterer vi forslagene som ble utviklet og bruker vannføringsdata til å vurdere om der har vært ugunstige driftssituasjoner som kan ha gitt stranding av ungfisk av laks og sjørøtt i årene fra 2020 (da miljødesign rapporten ble publisert) og fram til 2025.

2.6.1 Laudal kraftverk

For Laudal kraftverk konkluderte Forseth mfl. (2020) at det i hovedsak er vannføringer under 20 m³/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 ble følgende driftsstrategi med fire restriksjoner foreslått:

Vannføringsreduksjon fra utløpet av Ludal kraftverk	Tiltak i Laudal kraftverk
110-90 m ³ /s	Ingen restriksjoner
1: Fra 90 til 50 m ³ /s	Opp- og nedtappinger på mer enn 10-15 m ³ /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 ³ /s pr. time.
2: Fra 50 til 30 m ³ /s	Reduksjon bør ta minst 2 timer
3: Fra 30 til 20 m ³ /s	Reduksjon bør ta minst 2 timer
4: Vannstandsreduksjoner under 20 m ³ /s	Bør unngås.

Vi analyserte vannføringsdata fra stasjonene Laudal rett nedstrøms (ca. 100 m) utløpet av Laudal kraftverk og Kjølamo langt nedre i elva for årene 2013 til 2024 og talte opp antall hendelser med avvik fra de forslåtte restriksjonene (nr. 1-4).

Det var primært for restriksjon 1 at avvik var relativt vanlig i øvre deler av strekningen (**tabell 4**). Dette er en restriksjon der både opp- og nedtappinger blir vurdert og er den restriksjonen der avvik har minst betydning. I vannføringsintervallet mellom 90 og 50 m³/s, som denne restriksjonen gjelder for, er endringene i vanndekt areal små og restriksjonen ble lagt inn for å redusere negative effekter av vannstandsendringer på fiskens energiforbruk (Bakken, Forseth & Harby 2016) i den særlig viktige vekstperioden på forsommeren (Forseth mfl. 2020). Laudal målestasjon ligger rett nedstrøms utløpet av Laudal kraftverk og hastighetene for vannstandsendringene er raskest her. På målestasjonen ved Kjølamo som ligger langt nede i vassdraget er det avvik fra denne restriksjonen i bare to av åra (**tabell 5**), noe som skyldes at raske vannstandsendringer ved utløpet av Laudal kraftverk gradvis dempes nedover i elva. Antallet avvik fra restriksjon 1 ser også ut til å ha avtatt med et gjennomsnitt på ca. 12 per år fram til og med 2020 og rett under fem per år i årene etter. Det var imidlertid ni slike hendelser i 2024.

For restriksjonene 2 og 3, som begge ble lagt inn for å hindre stranding av ungfisk var det i løpet av hele perioden bare totalt to hendelser målt ved Laudal og ingen målt ved Kjølamo (**tabell 4 og 5**).

Ved vannføringer under 20 m³/s tørregges det større områder langs elvebreddene ved nedtappinger. Med unntak av i 2024 har det vært vannføringer under 20 m³/s hvert år, med fra en til syv hendelser per år ved Laudal. Ved Kjølamo var slike hendelser mye sjeldnere, med åtte

av 12 år uten noen episoder med vannføringer under 20 m³/s. Dette skyldes at restfelt bidrar med vannføring mellom utløp Laudal og Kjølmo målestasjon. Varigheten av hendelsene var generelt korte, med 285 timer fordelt på seks hendelser i 2022 som maksimum (gjennomsnitt på knappe to døgn). Laveste timesverdi ved disse hendelse var i gjennomsnitt knappe 17 m³/s, med et minimum på 11,5 m³/s i 2022. I 2022 var det en svært anstrengte kraftforsyningssituasjon i Sør-Norge og kraftselskapene ble oppfordret av myndighetene til å redusere tapping fra vannkraftmagasinene for å bidra til forsyningssikkerheten utover høsten og vinteren. Dette er nok årsaken til at det ble så mange perioder med vannføringer under 20 m³/s og at laveste timesvannføring ble så lav dette året. **En vurdering av hastigheten for nedtappinger til vannføringer under 20 m³/s kommer.**

Til tross for at forslaget til restriksjoner for variabel kraftversdrift og nedtappingshastigheter så langt ikke har blitt lagt inn i driftsinstruks for Laudal kraftverk så fant vi at det var få hendelser som kan ha medført stranding av ungfisk i Mandalselva nedstrøms utløpet, og det er en tendens til at raske fluktuasjoner i vannføring har blitt sjeldnere etter at 2021 reglementet ble innført. Fra kraftselskapet har vi opplyst at dette trolig skyldes enklere manøvrering i 2021 reglementet, inklusive at fredagsstansen i kraftverket ble fjernet, og økt bevissthet om mulige skadevirkninger. Imidlertid var det en god del episoder der vannføringen i relativt korte perioder har kommet under 20 m³/s, og dette er episoder vi anbefaler at unngås om man skal opprettholde den fordelene Mandalselva har som regulert vassdrag ved at vannføringen selv i tørre år holdes høyere enn den ville ha vært i uregulert tilstand.

For å klargjøre og forenkle restriksjon 1 foreslår vi basert på temperaturdata fra Kjølmo for årene 2013 til 2024 at den sårbare seksukers perioden defineres som en fast periode fra 18. mai til 29. juni.

Tabell 4. Antall avvik per år fra de fire restriksjonene forslått i miljødesignprosjekt (se ovenfor) basert på timesdata fra Laudal målestasjon (nr. 22.23.0.). For restriksjon 4 er også samlet antall timer med vannføringer under 20 m³/s oppgitt.

År	1	2	3	4, antall	4, timer
2013	22	0	0	2	5
2014	19	0	0	2	7
2015	6	0	0	1	18
2016	10	0	0	1	2
2017*	0	0	0	1	5
2018	6	1	0	7	36
2019	8	0	1	2	28
2020	23	0	0	5	14
2021	6	0	0	0	0
2022	4	0	0	6	285
2023	0	0	0	1	2
2024	9	0	0	0	0

*I 2017 var det flere hull i dataserien og analysene er ufullstendige

Tabell 5. Antall avvik per år fra de fire restriksjonene forslått i miljødesignprosjekt (se ovenfor) basert på timesdata fra Kjølmo målestasjon (nr. 22.4.0.). For restriksjon 4 er også samlet antall timer med vannføringer under 20 m³/s oppgitt.

År	1	2	3	4, antall	4, timer
2013	0	0	0	1	1
2014	2	0	0	1	4
2015	0	0	0	2	37
2016	0	0	0	0	0
2017	0	0	0	0	0
2018	0	0	0	0	0

2019	0	0	0	0	0
2020	0	0	0	0	0
2021	3	0	0	0	0
2022	0	0	0	6	164
2023	0	0	0	0	0
2024	0	0	0	0	0

2.6.2 Bjelland kraftverk

Forseth mfl. (2020) konkluderte at det i hovedsak er vannføringer under 15-20 m³/s som gir særlig tørrelagte arealer langs elvebreddene og at drift på høyere vannføringer i mindre grad gir strandingsfare eller andre negative effekter for ungfishen på strekningen nedstrøms utløpet av Bjelland kraftverk. Med mål om å redusere stranding og andre negative effekter av ordinær drift av kraftverket ble følgende driftsstrategi foreslått:

Vannføringsreduksjon fra utløpet av Bjelland kraftverk	Driftssituasjon	Tiltak i Bjelland kraftverk
80-45 m ³ /s	Normal drift	Ingen restriksjoner
1: fra 45 til 30 m ³ /s	Normal drift	Opp- og nedtappinger på mer enn 10-15 m ³ /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 ³ /s pr. time.
2: fra 30 til 20 m ³ /s	Normal drift	Reduksjon bør ta minst 2 timer
3: fra 20 til 15 m ³ /s	Planlagt stans	Reduksjon bør ta minst 2 timer
4: fra 15 til 10 m ³ /s	Planlagt stans	Reduksjon bør ta minst 2 timer
5: Vannstandsreduksjoner under 10 m ³ /s		Bør unngås.

Dette forslaget ble i 2020 lagt inn i kraftverkets driftsinstruks.

Basert på vannføringsdata fra kraftverket og målestasjonen Sundet i minstevannstrekningen har vi sett på timesverdier for vannføringene nedstrøms utløpet av Bjelland kraftverk. Summen av driftsvannføringen i kraftverket og målt vannføring ved Sundet skal gi en god representasjon av vannføringen nedstrøms kraftverket.

Som for Laudal kraftverk var det for restriksjon 1 (opp- og nedkjøring i sårbar periode) at det var flest avvik fra anbefalt kjøring, og dette er restriksjonen som har minst effekt på ungfishproduksjonen i området (**tabell 6**). Det var 15 slike avvik i 2018, generelt få eller ingen i de andre årene, men det har vært noen avvik også etter at restriksjonen ble innført. For de andre restriksjonene har det ikke vært noen avvik etter 2014. Analysene er basert på data ved kraftverksutløpet og som for strekningen nedsøms Laudal vil alle endringer i vannføring dempes nedover strekningen mot utløpet i Manflåvann. Driften av Bjelland kraftverk skal derfor i svært liten grad gi strandingsepisoder eller raske vannstadsendringer av betydning for ungfishproduksjonen på strekning fra utløpet av kraftverket ned til Manflåvann. Det er potensial for forbedringer for restriksjon 1, som anbefaler at både opptrappinger og nedtrappinger større enn 10-15 m³/s bør begrenset i den viktigste vekstperioden for laksungene. For å klargjøre og forenkle denne restriksjonen foreslår vi at den sårbare perioden på samme måte som for Laudal kraftverk defineres som en fast periode 18. mai til 29. juni

Tabell 6. Antall avvik per år fra de fem restriksjonene innført etter anbefaling fra miljødesignprosjekt (se ovenfor) basert på sum av timesdata fra Sundet målestasjon og vannføring gjennom

Bjelland kraftverk. For restriksjon 5 er det antall timer med vannføringer under 10 m³/s som er gitt.

	1	2	3	4	5, timer
2013*	4	2	2	0	0
2014	0	3	2	1	1
2015	0	0	0	0	0
2016	0	0	0	0	0
2017	1	0	0	0	0
2018	15	0	0	0	0
2019	3	0	0	0	0
2020	2	0	0	0	0
2021	3	0	0	0	0
2022	0	0	0	0	0
2023	0	0	0	0	0
2024	2	0	0	0	0

*Dataserien i 2013 starter 15. april.

2.7 Sykdom

2.7.1 Saprolegniose

Etter lokale observasjoner av død og soppbefengt gytefisk og tilsvarende observasjoner under gytefisktellinger på minstevannstrekningen og lengre nede i Mandalselva (Haraldstad mfl. 2022) ble det høsten 2022 tatt prøver som ble analysert hos Veterinærinstituttet. Det ble påvist at fisken var infisert av eggsporesoppen *Saprolegnia parasitica* som kan gi sykdommen saprolegniose. Det har vært rapportert om spredte utbrudd med til dels betydelig dødelighet i flere vassdrag over mange år (Johnsen & Ugedal 2001) og det ble dokumentert lignende utbrudd i Songdalselva i Agder (2021 og 2022), og i vassdrag i Rogaland og Trøndelag i 2022 (Veterinærinstituttet). Parasitten finnes trolig i mange vassdrag og det er usikkert hva det er som utøser sykdom, men stress, andre sykdommer eller miljøfaktorer er mulige forklaringer (oppsummert i Johnsen & Ugedal 2001).

Selv om det under gytefisktellinger på minstevannstrekningen høsten 2022 ble funnet 23 døde gytefisk og anslått at 80-90 % av den levede gytefisken hadde soppangrep, vurderte NORCE LFI Bergen (Haraldstad mfl. 2022) at dødeligheten av gytefisk høsten 2022 ikke hadde vesentlig betydning for rekrutteringen dette året. Tettheten av årsyngel under elfiske høsten 2023 støtter denne vurderingen, med tettheter innenfor det normale. I gytefisktellinger i 2023 ble det observert få laks med soppangrep (17 av 143 laks, tilsvarende 12 %) og det ble bare observert en død og en døende hunnlaks med sopp. Dette viser at selv om det kan ha vært saprolegniose også i 2023, så var utbruddet betydelig mindre. Selv om Saprolegniose ikke nødvendigvis påvirker rekrutteringen negativt vil ekstra dødelighet hos gytefisken kunne redusere mengden flergangsgytere i vassdraget.

Det kan ut fra generell kunnskap ikke utelukkes at gytefisk på minstevannstrekningen er mer utsatt for saprolegniose enn fisk lengre nede i Mandalselva, men det kan også være andre stressfaktorer (vannkjemiske, fiske og fang og slipp) som bidrar og den generelle klimautviklingen med tørre og varme somre kan være viktige utløsende faktorer. De rapporterte utbruddene av denne sykdommen kommer fra både uregulerte og regulerte vassdrag, i ulike deler av landet, men særlig i Sør-Norge (Johnsen & Ugedal 2001 og meldinger fra Veterinærinstituttet i senere år). Etter vår vurdering er det usannsynlig at forskjellene i vannslipp mellom 2013 og 2021 reglementene er store nok til å ha bidratt til økt risiko for sykdomsutbrudd.

2.7.2 Proliferativ nyresyke PKD

Sommeren 2023 ble det på gytefisk i Mandalselva Villakssenter gjort funn som antydte forekomst av parasitten *Tetracapsuloides bryosalmonae* (et slimsporedyr, i slekt med nesledyr) som kan gi

sykdommen proliferativ nyresyke (PKD). Dette er en sykdom som kan gi betydelig dødelighet på ungfisk av både laks og ørret, og særlig årsyngel (Sterud mfl. 2007). Med bakgrunn i de overraskende lave årsyngeltetthetene på minstevannstrekningen ble det bestemt at det i forbindelse med elektrisk fiske høsten 2023 skulle samles inn prøver for å undersøke forekomst av parasitten (genetiske analyser) og eventuell sykdom (histologiske undersøkelser). Det ble totalt tatt 50 prøver (av ettårige lakseunger) fra fem stasjoner på minstevannstrekninger, tre stasjoner nedstrøms Laudal (stasjoner som brukes i kalkingsovervåkingen) samt i sidebekkene Høyeåna (utløp ved Øyslebø) og Lågåna (utløp ved Laudal). Prøvene ble sendt til Veterinærinstituttet for analyser.

Ved hjelp av genetiske analyser påviste Veterinærinstituttet PKD-parasitten i 21 av de 50 fiskene. Syv av fiskene var fanget i minstevannstrekningen, 11 fisk på stasjoner i Mandalselva nedstrøms Laudal (ned til nedstrøms Øyslebø, ned for juvet), to fisk fra Lågåna og en fisk fra Høyeåna. Dette viser at parasitten trolig forekommer i alle fall i hele vassdraget nedstrøms Manflåvann. I de histologiske undersøkelsene ser man etter PKX celler som er en indikasjon på PKD samt at man ser etter vevsforandringer i nyret som er forenelige med sykdommen. I fem av fiskene ble det påvist PKX-celler og i tre var det mistanke om slike celler. Disse fiskene hadde også forandringer i nyret forenelig med sykdom. Fiskene kom fra to stasjoner i hovedelva og fra Høyeåna. I minstevannstrekningen var det en fisk som hadde mulige forandringer i nyret forenelig med sykdom. I mange av fiskene ble det observert slimsporedyr, men dette trenger ikke å være PKD parasitten. Veterinærinstituttet undersøker nå dette nærmere ved hjelp av andre metoder.

Konklusjonen er at PKD parasitten finnes i vassdraget og at i alle fall nedstrøms Laudal var det ungfisk som hadde eller hadde hatt sykdommen i 2023. I minstevannstrekningen var det en fisk med indikasjoner på sykdom. Basert på de omfattende undersøkelsene i Åbjøra (Sterud mfl. 2007) og andre studier (for eksempel Tops mfl. 2006) er det sannsynlig at et eventuelt større sykdomsutbrudd oppstår i løpet av sommeren (vanntemperaturer over 15 °C er ansett som nedre grense for utbrudd; Sterud mfl. 2007 og referanser i denne) og slik sett var tidspunkt for prøvetaking ikke ideelt. Selv om det ikke kan dokumenteres, er det mulig at de overraskende lave tetthetene av årsyngel på minstevannstrekningen i 2022 kan ha oppstått på grunn av et utbrudd av PKD og høy dødelighet hos årsyngel dette året.

PKD parasitten har mosdyr som hovedvert. Fra mosdyrene produseres sporer som spres gjennom vannet og kan infisere fisk. Faren for sykdom er derfor avhengig av forekomst av mosdyr, om disse er infisert og når de slipper ut parasittsporer. Parasitten kan spres mellom vassdrag via hvile- eller spredningsstadiet til mosdyr (stratoblaster) som kan spres for eksempel med fjærdrakten til vannfugler. Vi kjenner ikke til at det er gjort noen kartlegging av mosdyr i Mandalsvassdraget, men flere av artene foretrekker stilleflytende deler av elver, som det finnes mye av i Mandalselva. Utløpet av Manflåvann kan være en mulig lokalitet for mosdyr, men dyra kan forekomme i mange deler av vassdraget.

Etter påvisning av stor dødelighet på grunn av PKD i Åbjøra sør i Nordland (Sterud mfl. 2007) har det blitt gjennomført flere undersøkelser om forekomst av PKD-parasitten i vassdrag i Norge (blant annet Forseth mfl. 2007; Mo & Jørgensen 2017). Disse viser at parasitten forekommer i vassdrag i hele Norge, og ble også funnet med høy forekomst (prevalens) hos laks i flere av de store elvene i Agder (Mo & Jørgensen 2017). Mo & Jørgensen (2017) påviste i 2008 også parasitten i en av 54 laksunger og 14 av 20 ørretunger fra Mandalselva. Påvisningen av parasitten i fisk fra Mandalselva i 2023 er altså ikke den første påvisningen av parasitten i vassdraget.

Selv om det ikke kan utelukkes at lav vannføring på minstevannstrekningen kan øke konsentrasjonen av parasittsporer og dermed smitterisikoen for PKD parasitten, så gir mønsteret for mulig sykdom i 2023 (all fisk med flere tegn til sykdom ble fanget nedstrøms Laudal eller i sidebækker) ikke støtte for denne muligheten. I Mandalselva, både før og etter regulering, og i de aller fleste vassdrag på Sørlandet er vanntemperaturene om sommeren godt over nedre grense (vanntemperaturer på 15 °C) for utbrudd. Temperaturen i minstevannstrekningen er styrt av temperaturen i overflatevannet i Manflåvann. Oppvarmingen på den korte stekning ned til Kleveland vil være liten og små forskjeller i sommervannføring vil ha svært liten effekt på vanntemperaturen. Det er mulig at det variasjon i mengde mosdyr mellom år (dette er dyr som er

sterkt påvirket av isganger, flom og tørke; refs) som gjør at det kan bli sykdomsutbrudd ett år og ikke et annet.

Etter vår vurdering vil PKD utbrudd være et fenomen som man bare må forholde seg til, som kan forklare variasjoner i rekruttering mellom år, men som det ikke finnes akseptable tiltak som kan gjennomføres for å redusere risikoen for i Mandalselva eller i andre vassdrag på Sørlandet.

2.8 Begroing på minstevannstrekingen

I løpet av 2023 kom det inn flere meldinger fra fiskere om at det var sterk begroing på minstevannstrekingen som påvirket fisket negativt, og at begroingen var sterkere enn lengre nede i elva. Som respons på dette bestilte Å Energi en undersøkelse av strekingen fra Terrateknikk as med mål om å avklare i hvilken grad strekingen er utsatt for begroing og/eller gjenleiring av elvebunnen (Kviljo 2023). Det ble gjennomført en befaring (vading og noe graving i substrat) på utvalgte deler av strekingen 21. oktober 2023. Det ble rapportert om begroing med moser og alger på det meste av hard bunnen (berg og stabile steiner), og en mørk og glatt elvebunn. Det ble ikke observert at finmateriale fyller igjen de viktige hulrommene i bunnsubstratet. Forholdene ble dokumentert med bilder (**figur 11**).



Figur 11. To av bildene tatt av Tor Kviljo som viser eksempler på begroing på minstevannstrekningen i september 2023. Fra Kviljo 2023.

Vi har vurdert disse og de andre bildene i rapporten og konferert med kollegaer som arbeider med lignende problemstillinger. Etter vår vurdering er dette normal begroing som vil være positivt for bunndyrproduksjon og dermed for fiskeproduksjonen på strekningen. Fra gytefisktellningene i 2023 rapporterer NORCE LFI Bergen at alle kjente gyteplasser var i bruk med omfattende graving i substratet og det er derfor ikke noe som tyder på at begroingen er til hinder for gyting.

Vekst av moser og alger er i tillegg til næringsstoffer sterkt påvirket av lys og den lavere vannføringen på minstevannstrekningen kan bidra til større begroing her enn lengre nede. Det er imidlertid fortsatt betydelige flommer på strekningen (senest i starten av november 2023, med nesten 520 m³/s ved Kjølmo og dermed over 400 m³/s i minstevannstrekningen) som vil renske strekningen og det vil være en balanse mellom begroing ved stabile vannføringsforhold og rensk ved flommer. Det er derfor å forvente at begroingen vil variere fra år til år og gjennom året.

Med utgangspunkt i beskrivelsene og bildene i rapporten fra Tor Kviljo er det vår vurdering at begroingen på strekningen er positivt for fiskeproduksjonen og at begroingen primært påvirker fiskemulighetene ved at det er vanskeligere å vade og at alger kan feste seg på redskap.

3 Vurdering av måloppnåelse for tiltak og evaluering av manøvreringsreglement

Formålet med de årlige undersøkelsene fra 2019 og utover har vært å dokumentere effekten av tiltakene som har blitt gjennomført i regi av Miljødesignprosjektet og andre prosjekter (habitatiltak på minstevannstrekningen og tiltak for å redusere innvandringen av smolt i Laudal kraftverk), samt i en femårsperiode å vurdere effekten av det nye prøvereglementet som ble innført fra våren 2021. 2021 reglementet innebar endret vannslipp på minstevannstrekningen fra Dam Manflå til utløp Laudal kraftverk, nye prosedyrer for slipp av vann for å sikre at smolt vandrer forbi inntaket til Laudal kraftverk og at kraftverket ikke lengre stoppes en gang i uka som ble innført i 2013 reglementet for å bedre innvandringen av voksenlaks til minstevannstrekningen.

Hovedfunnene kan oppsummeres slik:

- Selv om det har vært flere hendelser som har påvirket fiskeproduksjonen på minstevannstrekningen etter at habitatiltakene (storflom og sykdomsutbrudd) viser kartleggingen så langt at produksjonen har økt og at det er sannsynlig at smoltproduksjonen i samsvar med målet har blitt doblet.
- Modellen som predikerer start og varighet av vannslipp for å sikre at smolt ikke vandrer inn i Laudal kraftverk har fungert godt og ser ut til å forutsi smoltutvandringen på en god måte. To år med validering mot videoobservasjoner viser godt samsvar mellom prediksjoner og observasjoner.
- Det nye slippregimet for smolt ved Laudal kraftverk medførte 21 dagers slipp for årene 2021 til 2023 og 28 dagers slipp i 2024 og 2025. Med den omfattende kunnskapen vi nå har om smoltutvandringen i Mandalselva er det opplagt at disse slippene har gitt bedre resultat for nedvandring forbi inntaket enn 2013 reglementet med 14 dagers slipp. Modellmessige sammenligninger av 2013 og 2021 reglementene viste at 70 til over 85 % av smolten kan vandre forbi under det nye reglementet mens bare i gjennomsnitt 50 % kan ha vandret forbi under 2013 reglementet. Selv om estimatene av forbivandring skal tolkes med forsiktighet, forsterker denne sammenligningen konklusjonen om at 2021 reglementet er betydelig bedre for nedvandring av smolt.
- Ledegjerdet som ble installert oppstrøms inntaket til Laudal kraftverk våren 2021 bidrar vesentlig til at færre smolt vandrer inn kraftverket. Gjennomført utfylling og planlagt forlengingen av grindene i ledegjerdet i 2026 forventes det en ytterligere forbedring. Det er overveiende sannsynlig at de samlede tiltakene ved Laudal vil gjøre at mønsterpraksismålet med minst 90 % overlevelse for nedvandrende smolt vil bli nådd.
- Overvåking av oppvandring av gytefisk over Dam Manflå og vurderinger av fangster på minstevannstrekningen og strekningen nedstrøms viser svært jevn oppvandring til og gjennom minstevannstrekningen. Det er ingen tegn til at fjerning av ukentlig stans i Laudal kraftverk og endret minstevannbestemmelse gjennom sommeren har påvirket vandringen inn i og gjennom minstevannstrekningen på en måte som har betydning for fiskens oppvandring til de øvre delene av vassdraget.
- Fra en situasjon uten laksefiske på minstevannstrekningen før 2017, har fisket på strekningen blitt betydelig med årlige fangster på mellom 179 og 1123 kg, og fangstene har i perioden 2017 til 2025 i gjennomsnitt utgjort nesten 7 % av totalfangstene i vassdraget. Fangstene har blitt markant redusert etter 2022, men dette er et resultat av en kombinasjon av redusert innsig av laks til Mandalselva og regionen for øvrig, og innførte restriksjoner på fiske. Andelen av totalfangsten tatt i minstevannstrekningen har ikke endret seg.
- Det har ikke blitt funnet noe mønster som tilsier at endringer i vannslipp i 2021 reglementet med faste slipp i stedet for gradert slipp med mer variasjon påvirker fisket (i form av fangster) på minstevannstrekningen negativt.

Når det gjelder det midlertidige 2021 reglementet for Laudal kraftverk for perioden 2021 til 2025 kan det konkluderes at det nye vannføringsregimet er betydelig bedre for utvandring av smolt

enn det forrige og at det ikke er dårligere for oppvandringen av voksenfisk eller ungfiskproduksjonen på minstevannstrekingen. Modellverktøyet for å forutsi smoltutvandringens start og varighet og dermed varigheten av smoltslippene framstår solid og er en bedre tilnærming enn slipp basert på fangster i et smolthjul slik det var i det forrige reglementet.

4 Referanser

- Bakken, T. H., Forseth, T. & Harby, A. (red.). 2016. Miljøvirkninger av effektkjøring: Kunnskapsstatus og råd til forvaltning og industri. - NINA Temahefte 62. 205 s.
- Cunjak, R.A., Prowse, T.D. & Parrich, D.L. 1998. Atlantic salmon (*Salmo salar*) in winter: 'The season of parr discontent'? Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 55 (Suppl. 1): 161-180. Doi: 10.1139/d98-008
- Fjeldstad, H-P., Forseth, T., Gabrielsen, S.E., Skår, B. & Sauterleute, J. 2017. Miljøtilpasset drift av Bjelland kraftverk. SINTEF Rapport TR A7605.
- Forseth, T. & Forsgren, E. (red.) 2008. El-fiskemetodikk – Gamle problemer og nye utfordringer. - NINA Rapport 488. 74 s. (In Norwegian)
- Forseth, T., Fjeldstad, H-P., Gabrielsen, S.E., Skår, B., Lamberg, A., Hedger, R.D., Kvingedal, E. & Havn, T.B. 2020. Miljødesign Mandalselva. Samlet tiltaksplan og oppsummering. NINA rapport 1691. Norsk institutt for naturforskning.
- Haraldstad, T., Johansen, K., Isaksen, T.E. & Gabrielsen, S-E. 2022. Undersøkelser av fiskedød i Mandalselva høsten 2022. Upublisert notat av 31/11 2022
- Holmqvist, E. & Engeland, K. 2018. Flomberegning for Mandalselva. Revison av rapport 19-2003. NVE Rapport 15-2018.
- Kvitvær, T. & Lamberg, A. 2022. Videoovervåking av oppvandrende laks og sjørret i utløpet av Mannflåvann i Mandalselva i 2021. SNA Notat 02/2022.
- Kvitvær, T. & Lamberg, A. 2023. Videoovervåking av oppvandrende laks og sjørret i utløpet av Mannflåvann i Mandalselva i 2022. SNA Notat 02/2022.
- Kviljo, T. 2023. Undersøkelser av Mandalselva oppstrøms Laudal. Terrateknikk as, upublisert rapport av 061123
- Lamberg, A. & Økseberg, S. 2004. Kartlegging av oppvandrende laks i Haugefossen i Mandalselva i 2003. Rapport Lamberg Bio Marin Service & Øksenberg Biokonsult.
- Sterud, E., Forseth, T., Ugedal, O., Poppe T.T., Jørgensen A., Bruheim, T., Fjeldstad, H-P. & Mo, T.A. (2007) Severe mortality in wild Atlantic salmon *Salmo salar* due to proliferative kidney disease (PKD) caused by *Tetracapsuloides bryosalmonae* (Myxozoa). *Diseases of Aquatic Organisms*, 77, 191-198.
- 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 148. Norsk institutt for naturforskning.
- Vollset KW, mfl. 2021. Predicting the nationwide outmigration timing of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts along 12 degrees of latitude in Norway. *Diversity and Distributions* 27, 1383-1392
- Wahli, T., Knuesel, R., Bernet, D., Segner, H., Pugovkin, D., Burkhardt Holm, P., Escher, M. & Schmidt-Posthaus, H. 2002. Proliferative kidney disease in Switzerland: Current state of knowledge. *Journal of Fish Diseases* 25: 491-500.
- Tops S, Lockwood W, Okamura B (2006) Temperature-driven proliferation of *Tetracapsuloides bryosalmonae* in bryozoan hosts portend salmonid decline. *Dis Aquat Org* 70:227–236
- Forseth T., Jørgensen A. & Mo T.A. (2007) Pilotkartlegging av PKD i norske laksevasdrag. NINA Rapport 259, 1–12.
- Johnsen, B.O. & Ugedal, O. 2001. Soppinfeksjoner (*Saprolegnis* spp) på laksefisk i Norge – statusrapport. NINAS Oppdragsmelding 716: 1-34
- Bruijs, M., & Durif, C. 2009. Silver eel migration and behaviour. In G. Van den Thillart, S. Dufour & J. C. Rankin (Eds.), *Spawning migration of the European eel. Fish and fisheries*, vol. 30. (pp. 65–95). Dordrecht: Springer Science + Business Media BV.

- Breukelaar, A. W., Ingendahl, D., Vriese, F. T., de Laak, G., Staas, S., & Klein Breteler, J. G. P. 2009. Route choices, migration speeds and daily migration activity of European silver eels *Anguilla anguilla* in the River Rhine, northwest Europe. *Journal of Fish Biology* 74: 2139–2157.
- Cullen, P., & McCarthy, T. K. 2003. Hydrometric and meteorological factors affecting the seaward migration of silver eels (*Anguilla anguilla*, L.) in the lower River Shannon. *Environmental Biology of Fishes* 67: 349–357.
- Deelder, C. L. 1984. Synopsis of biological data on the eel *Anguilla Anguilla* (Linnaeus, 1758). FAO Fisheries Synopsis no. 80, revision 1: 1-73. Food and Agriculture Organization of the United Nations
- Frost, W. 1950. The eel fisheries of the River Bann, Northern Ireland, and observations on the age of the silver eels. *Journal du Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer* 16 : 358–383.
- Haraldstad, Ø., Vøllestad, L. A., & Jonsson, B. 1985.. Descent of European silver eels, *Anguilla anguilla* L., in a Norwegian watercourse. *Journal of Fish Biology* 26: 37–41.
- Haro, A. (2003). Downstream migration of silver-phase anguillid eels. In K. Aida, K. Tsukamoto, & K. Yamauchi (Eds.), *Eel Biology* (pp. 215–222). Tokyo: Springer-Verlag.
- Kroglund, F, Gjelland, K.Ø., Güttrup, J., Haraldstad, T. & Hegeland, P.V 2013. Overvåking av ål i Storelva og evaluering av tiltak for nedvandring forbi Fosstveit kraftverk. Resultater fra undersøkelser i 2023. NINA Rapport 6491-2013.
- Kroglund, F. Haraldstad, T. Güttrup, J., Hegeland, P.V. 2014: Evaluering av tiltak for nedvandrende blankål ved elvekraftverk. Resultater fra forsøk ved Fosstveit kraftverk, 2010- 2013. NIVA rapport 6722-2014.
- Lowe, R. H. 1952.. The influence of light and other factors on the seaward migration of the silver eel (*Anguilla anguilla* L.). *Journal of Animal Ecology* 21, 275–309.
- Palstra, A.P., Guerrero, M.A., deLaak, G., Klein Breteler, J.G.G & van den Thillart, G.E.E.J.M. 2011. Temporal progression in migratory status and sexual maturation in European silver eels during downstream migration. *Fish Physion Biochem* 37: 285-296.

NINA referansestil ble sist oppdatert i april 2021. Den største endringen fra tidligere er at NINA-rapporter, artikler og andre publikasjoner som er publisert på nettet skal ha med en unik identifikator (handle, DOI etc) til slutt i referansen. Her kan du lese mer om [referansehandling og NINA-stil](#).

Noen eksempler på referansetyper i NINA-stil:

Rapport:

Gjelland, K.Ø., Sandlund, O.T., Postler, C., Bækkeli, K.A., Eloranta, A., Pettersen, O., Solberg, I. & Saksgård, R. 2019. Overvåking av fisk i store innsjøer (FIST) i 2017. NINA Rapport 1644. Norsk institutt for naturforskning. <http://hdl.handle.net/11250/2608224>

Artikkel:

Landa, A. & Guidos, S. 2020. Bycatch in local fishery disrupts natural reestablishment of Eurasian otter in western Norway. Conservation Science and Practice 2(7): 208-211. doi:<https://dx.doi.org/10.1111/csp2.208>

Bok:

Sverdrup-Thygeson, A. 2020. På naturens skuldre : hvordan ti millioner arter redder livet ditt. Kagge forlag, Oslo.

Bokkapittel:

Halley, D.J. 2019. Woodland regeneration and farming in South-West Norway. I: Planterose, B. (red.) Highlands & islands woodlands handbook : for crofters, communities and small woodlands owners. Woodland Trust. S. 237-243.

Avhandling:

Bærum, K.M. 2015. Climate-driven population responses of resident brown trout, *Salmo trutta*: trends and future projections. Ph.D. Universitetet i Oslo, Oslo. <https://www.duo.uio.no/handle/10852/49289>

Datasekk:

Sandvik, A., Ådlandsvik, B., Asplin, L., Johnsen, I.A., Myksvoll, M. & Albretsen, J. 2020. Salmon lice ladim. V2. Institute of Marine Research. doi:<https://doi.org/10.21335/NMDC-410516615>

Lov eller forskrift:

Viltloven. 1982. Lov om jakt og fangst av vilt (LOV-1981-05-29-38). <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1981-05-29-38>

*Norsk institutt for naturforskning, NINA,
er en uavhengig stiftelse som forsker på natur og
samspillet natur–samfunn.*

*NINA ble etablert i 1988. Hovedkontoret er i
Trondheim, med avdelingskontorer i Tromsø,
Lillehammer, Bergen og Oslo. I tillegg driver NINA
Sæterfjellet avlsstasjon for fjellrev på Oppdal,
og forskningsstasjonen for vill laksefisk på lms i
Rogaland.*

*NINAs virksomhet omfatter både forskning
og utredning, miljøovervåking, rådgivning og
evaluering. NINA har stor bredde i kompetanse og
erfaring med både naturvitere og samfunnsvitere
i staben. Vi har kunnskap om artene, naturtypene,
samfunnets bruk av naturen og sammenhenger
med de store drivkreftene i naturen.*

XXXX

NINA Rapport

ISSN:1504-3312
ISBN: 978-82-426-[xxxx-x]

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim

Besøks-/leveringsadresse: Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

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

E-post: firmapost@nina.no

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>



Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger