



Jan Heggenes, Eivind Schartum, Torgeir B. Havn
og Finn Økland

Nedvandring av laksesmolt i Telemarksvassdraget

Radiotelemetri-undersøkelser 2022-2024

Skriftserien fra Universitetet i
Sørøst-Norge nr. 175
2025

Jan Heggenes, Eivind Schartum, Torgeir B. Havn
og Finn Økland

Nedvandring av laksesmolt i Telemarksvassdraget

Radiotelemetri-undersøkelser 2022-2024

© Heggnes, Schartum, Havn og Økland, 2025
Universitetet i Sørøst-Norge
Bø

Skriftserien fra Universitetet i Sørøst-Norge nr. 175

ISBN 978-82-7206-984-0

ISSN 2535-5325



Denne publikasjonen er lisensiert med en Creative Commons lisens. Du kan kopiere, distribuere og spre verket i hvilket som helst format eller medium. Du må oppgi korrekt kreditering, oppgi en lenke til lisensen, og indikere om endringer er blitt gjort.

Se fullstendige lisensbetingelser på <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.no>



Fangst og merking av vill laksesmolt i skrufeller i Heddøla og Bøelva 2022-2023 for å undersøke naturlig vandring og overlevelse til vill smolt på anadrom strekning i vassdraget. I 2022 og 2024 ble det jobbet eksperimentelt med smolt merket og utsatt ved Skotfoss-Klosterfoss for å undersøke vandringsveier og overlevelse forbi kraftverksdammene.

Sammendrag

Nedvandring av laksesmolt i Telemarksvassdraget og vandringsveier og overlevelse ved Skotfoss og Skiensfallene ble undersøkt med radiomerking og peiling av 590 individer fordelt på tre sesonger (2022-2024). Merket smolt ble peilet kontinuerlig fra faste stasjoner (innløp Heddøla og Bøelva, Nautesund, Akkerhaugen, meget detaljerte peilinger oppstrøms og nedstrøms Skotfoss, innløp Bliva/Falkumelva i Hjellevannet, og oppstrøms Klosterfoss og Eidet) supplert med manuell peiling i elvene.

Både i Heddøla og Bøelva gikk radiomerket vill smolt ganske raskt ut i hhv. Heddalsvatner og Norsjø etter merking, de fleste innen et døgn. Gjennom innsjøene varierte vandringshastigheter mellom individer. I 2023 brukte vill smolt fra Heddøla vel 6 døgn (median = 6,3 døgn, minimum 2 døgn, maksimum 28 døgn, $n = 20$) gjennom Heddalsvannet og frem til Norsjø (minimum vandringslengde 22,5 km). For den litt kortere vandringsavstanden gjennom Norsjø (minimum 16,6 km) blir datagrunnlaget lite ($n = 6$), men vandringstiden var 1-2 dager kortere gjennom Norsjø med median 4,4 døgn (2,1 – 8,1 døgn, $n = 3$ fra Heddøla, $n = 3$ fra Bøelva).

Tap av merket fisk gjennom innsjøene var stort. Samlet tap fra merking og utsetting av smolt over 2 år (Heddøla, $n = 145$; Bøelva, $n = 155$) til ankomst Skotfoss var mer enn 90 %. Det store innsjøtapet samsvarer med de få innsjø undersøkelsene som tidligere er kjent. Tap skyldes sannsynligvis stor predasjon og at laksesmolt i liten grad synes å navigere retningsbestemt i innsjøer. De aller fleste radiomerkede smolt (80 – 90 %) som ankom Skotfoss og Klosterfoss, fant ganske raskt en vandringsvei (innen et halvt døgn eller mindre) og passerte forbi kraftverk og dam. Smoltens passering av Skotfoss særlig tidlig i sesongen, synes være knyttet til høyere vannføringer og særlig til endringer i vannføringene, både start på økning og kulminering av høyere vannføringer.

I 2022-2024 ble det eksperimentert med utsetting av radiomerket, stedegen, klekkeri laksesmolt oppstrøms og nedstrøms Skotfoss, hhv. 95 i 2022, en dødfiskgruppe på 10 i 2023 og 186 smolt i 2024. Uten overvann i 2022 gikk all smolt gjennom turbinene og med en overlevelse ned til Skiensfallene på 41 % (hhv. 9 av 22 smolt). Med tilgang på overløp dam Skotfoss (50 % vannmengde i overløp og 50 % i turbiner) valgte 70 % av smolten overløpet (33 av 47 smolt), med en overlevelse ned til Skiensfallene på 61 %. Smolt som gikk gjennom turbinene hadde en overlevelse på 50 %. Overlevelse er minimumsestimerer ettersom de også inkluderer tap på vandringen ned Farelva og Hjellevannet. Merket smolt brukte median 4,0 døgn (0,5 til 31,4 døgn, 2022, $n = 10$) ned Farelva til Klosterfoss. Utsetting av merket klekkeri smolt rett nedstrøms Skotfoss ($n = 30$) og ved innløp Hjellevannet ($n = 27$) viste stort tap av smolt også ned Farelva og Hjellevannet (37-57 %, 2022 data).

Både i 2022 og 2024 fulgte langt de fleste smolt som kom fra Skotfoss ned Farelva og Hjellevannet, hovedstrømmen og passerte over Klosterfoss. Av smolt utsatt nedstrøms Skotfoss og særlig nær i Hjellevannet, var det en høyere andel som passerte over Eidet/Mølla. I 2022 ankom 40 radiomerkede smolt Skiensfallene, og 33 passerte (83 %), 23 i Klosterfoss (70%) og 10 i Mølla (30 %). I 2024 ankom 72 merket smolt Skiensfallene, og 92 % passerte, 25 av 27 (92,5 %) fra oppstrøms Skotfoss og 41 av 45 fra smolt utsatt i Hjellevannet. Igjen fulgte de fleste (56 %) hovedstrømmen og passerte over Klosterfoss. Smolt som følger hovedstrømmen mot Klosterfoss, møter turbininntakene før flomlukene, og synes å passere der det går mest vann. Nær alle smoltene (36/37) vandret ned gjennom turbinene, bare 1 vandret over flomlukene, selv om det i 2024 tidvis gikk betydelige mengder vann over dammen. Smolten nyttet i liten grad tilrettelagt smolt tunnel forbi Klosterfoss. Det var 29 smolt (44 %) som passerte ved Eidet/Mølla og nær alle (96 %) over Mølla. Nesten alle disse var satt ut nær Eidet/Mølla for å undersøke vandringsveiene her spesielt.

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	II
1 Innledning	1
2 Kort historisk bakgrunn	3
3 Områdebeskrivelse	10
4 Metoder og materiale	14
4.1 Fangst av vill smolt	14
4.2 Klekkeri smolt til eksperimenter	17
4.3 Forsøksdesign	17
4.4 Radiomerking	23
4.5 Peiling og registrering av radiomerket smolt	26
4.6 Dataanalyser	28
4.7 Miljødata og telling av vandrende fisk	30
5 Resultater og kommentarer	31
5.1 Naturlig nedvandring 2022-2023 gjennom de to store innsjøene	31
5.1.1 Overlevelse og tap fra Bøelva og Heddøla til Skotfoss	32
5.1.2 Tidsbruk	37
5.1.3 Diskusjon	40
5.2 Nedvandring forbi Skotfoss 2022 og 2024	44
5.2.2 Vandringsvei og tidsbruk Skotfoss 2022	45
5.2.3 Nedvandring og overlevelse Skotfoss 2024	49
5.2.4 Vandringsvei og tidsbruk Skotfoss 2024	50
5.2.5 Vandringsvei og overlevelse Skotfoss: Alle data 2022-2024	54
5.3 Nedstrøms Skotfoss til Skiensfallene 2022 og 2024	57
5.3.1 Vandringsvei og overlevelse nedstrøms Skotfoss 2022	57
5.3.2 Vandringsvei og tidsbruk Skiensfallene 2024	58

5.3.3 Vandringsvei og tidsbruk Klosterfoss 2024	61
6 Konklusjoner	64
7 Litteratur	66
8 Vedlegg	71

1 Innledning

Laks (*Salmo salar*) og sjøørret (*Salmo trutta*) smolt som vandrer ut til sjøen fra sine gyte og oppvekstområder i elvene på anadrom strekning i Telemarksvassdraget (Fig. 1), møter først innsjøene Heddalsvannet og Norsjø, og deretter kraftverksdammer og turbiner ved Skotfoss og Skiensfallene (Klosterfoss/Eidet) som må passeres før fisken kan vandre videre ut i sjøen. Mens Heddalsvannet og Norsjø har vært naturlige innsjøer siden siste istid, var 'fallene' ved Skotfoss og Klosterfoss/Eidet intet nedvandringshinder, men glattstrøms- og strykpartier som lett kunne passeres (Fig. 2). Skiensfallene ble etter hvert utbygd, og vannkraften utnyttet i dag i flere kraftverk med damanlegg som hindrer både opp- og nedvandring av laks og sjøørret. Det er flere eiere som her er representert med Skien Kraftproduksjon AS, en del av Akershus Energi AS (<https://akershusenergi.no/om-akershus-energi/konsernstruktur/>). Som et kompensierende tiltak, primært for oppvandring, er det bygget tre fisketrapper nederst i vassdraget; en ved Skotfoss og to ved Skiensfallene, hhv. Klosterfoss og Mølla (fornytt i 2018). Ved naturtilstand kunne fisk vandre begge veier forbi både Skotfoss og Klosterfoss.

Ved Skotfoss ble all oppvandring stengt med en nåledam i ca. 1872. Det er fisketrapp ved Skotfoss, men det er ikke gjort noen tiltak av hensyn til nedvandring av smolt. Siden ca. 2014 har regulanten avgitt lokkevann fra en luke i Skotfossdammen for å lokke oppvandrende laks inn mot fisketrapp åpningen. Lokkevannet slippes fra en understrømsluke og kan derfor neppe ha vært en nedvandringsvei for smolt eller vinterstøing. Lokkevann blir normalt heller ikke igangsatt før 1. juni. Frem til undersøkelsen som blir beskrevet i denne rapporten har vi manglet den systematiske kunnskapen som er nødvendig for å kunne danne grunnlaget for å vurdere slike tiltak. Særlig viktig er når (tidsvindu) og hvordan nedvandrende smolt vandrer og fordeler seg (vandringsveier) ned mot og forbi Skotfoss. Det er tidligere gjort anekdotiske observasjoner om at det kan være betydelige mengder med smolt (og måker) ved dam og turbininntak i mai/juni. Etter at smolt har passert Skotfoss må de vandre videre ned hovedløpet ca. 3 km i Farelva og 1,5 km gjennom Hjellevannet til Skiensfallene. Også her mangler systematiske kunnskap om når og hvordan nedvandrende smolt vandrer og fordeler seg ned mot fallene. I Klosterfoss er det bygget en omløpstunnel for smolt (ferdig i 2020) som driftes i perioden 15.04-15.06 med åpne rør (vannslipp 2,5 m³/s i hvert rør), fra 16.06 til 14.08 med rørene stengt, og med åpne rør (vannslipp 2,5 m³/s i hvert rør) i perioden 15.08-15.11. Det er foreløpig ikke funnet svar på hvor godt omløpsspassasjen fungerer. Inn i Hjellevannet kommer det også et betydelig bidrag av smolt fra den mindre, men produktive, sideelven Falkumelva (kalles Falkumelva i ca. 3,5 km, deretter Bliva (Bøelva) i ca. 9 km og sideelv Hoppestadelva i 0,2 km) (e.g., Hvidsten 2010, Økland et al. 2022). På elvestrekningen nedstrøms Skiensfallene (saltvannspåvirket) og mellom Skiensfallene og Skotfoss (med unntak av Falkumselva/Bliva) er det begrenset med gyteområder og mulig produksjon av laksefisk (Heggenes and Dokk 1995, Schwert 2020). Hvordan de menneskeskapte hindrene i nederste del av Telemarksvassdraget påvirker opp- og nedvandringen hos laks og sjøørret, er avgjørende for artenes etablering og produksjon i den

videre anadrome strekning oppstrøms Skotfoss (ca. 8 mil innsjø/elv, pluss ny strekning i Hjartdøla). Her ligger den vesentlige del av gyte og oppvekstarealer for anadrom fisk i vassdraget.

Som en del av en konsesjonsprosess og et større kunnskapsgrunnlag for videre forvaltning av laks og sjørørret i Telemarksvassdraget, ønsket Skien Kraftproduksjon AS å få undersøkt oppvandring av voksen laks og sjørørret og nedvandring av laksesmolt i Telemarksvassdraget. Oppdraget ble gitt til Universitetet i Sørøst Norge (USN) og Norsk Institutt for Naturforskning (NINA) som i et nært samarbeid har undersøkt dette med radiotelemetry som metode. Undersøkelser av oppvandring til voksen laks og sjørørret ble gjennomført i 2019-2021 og er rapportert i Økland et al. (2022). I 2022-2024 ble undersøkelser av nedvandrende laksesmolt gjennomført og rapporteres her. De nærmere målsettinger var å undersøke:

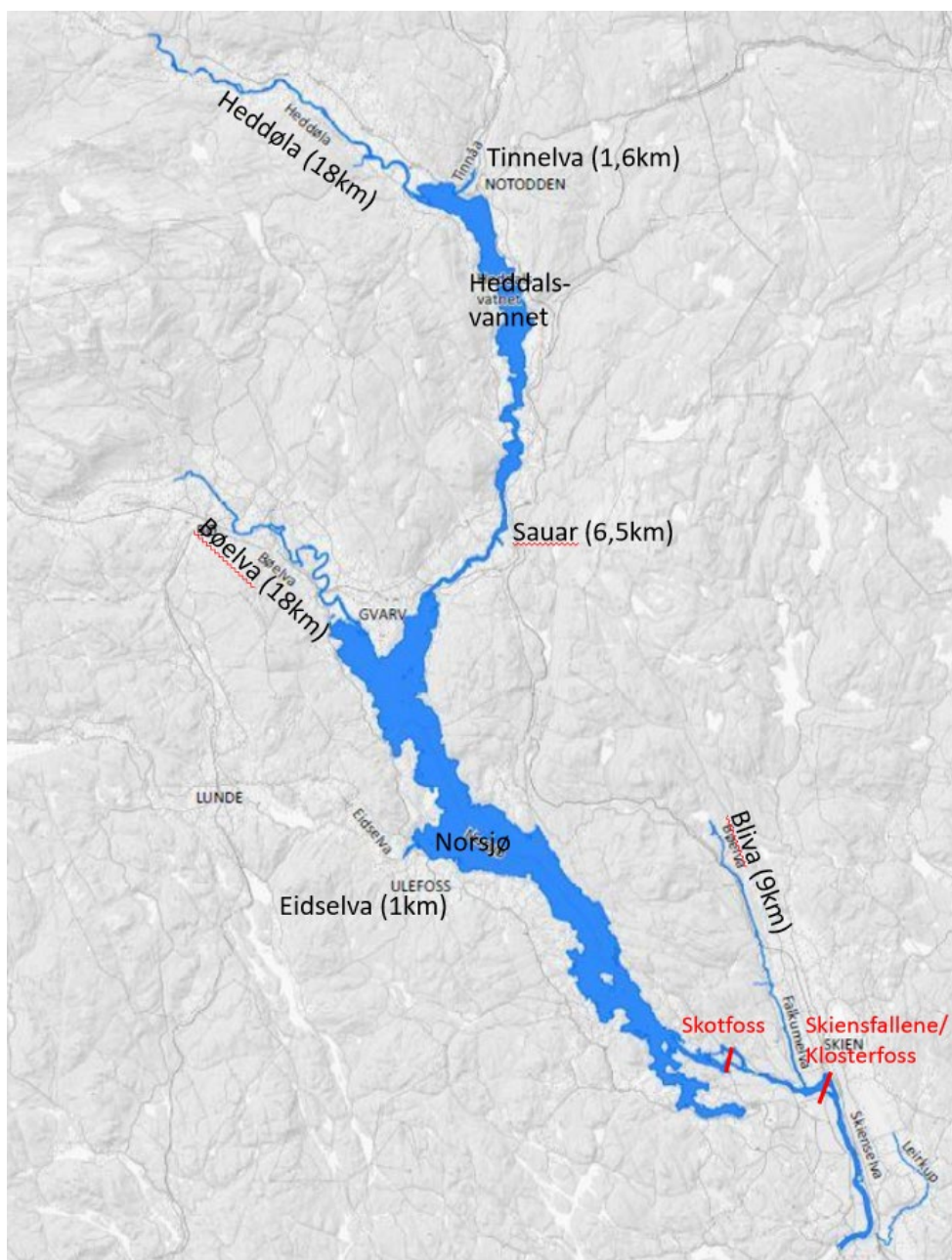
1. Når vandrer smolten ut, og hvor fort?
2. Hvilke vandringveier velger smolten forbi Skotfoss og Skiensfallene, og
3. kan tiltak gjøres mht. vannføringsforhold og alternative overløp?
4. Hva er dødeligheten for smolt som vandrer gjennom turbinene?
5. Hvor godt fungerer omløpsrøret for smolt forbi Klosterfoss?

Ettersom prosjektet innebar en stor ressursinnsats i form av radiomerking av nedvandrende laksesmolt, og det kunne trekkes synergistiske virkninger med et prosjekt som allerede har vært i gang i flere år (bestandsestimeringer og telling av utvandrende smolt i Bøelva og Heddøla, (Schartum et al. 2022), undersøkte også oppdragstakere på eget initiativ:

6. Hvordan er den naturlige vandringen, fordelingen og overlevelsen hos laksesmolt fra Bøelva og Heddøla ned til Skotfoss?

2 Kort historisk bakgrunn

Tidligere hadde Telemarksvassdraget (også kalt Skiensvassdraget) en god bestand av både laks og sjøørret (videre avsnitt tilpasset fra Økland et al. 2022). Fisk hadde naturlig fri vandringsvei fra havet og ca. 13 km opp Skienselva (også omtalt som Porsgrunnselva) til Norsjø og videre ca. 29 km til nordenden av Norsjø (Fig. 1). Sidevassdraget Eidselva kommer inn ved Ulefoss, ca. 19 km opp i Norsjø, men har bare en kort anadrom strekning på ca. 1 km før laksen stoppes av Ulefossen. I nordenden av Norsjø deler hovedvassdraget seg i Bøelva og Sauarelva. Bøelva er den viktigste rekrutteringselven i Norsjø med en anadrom strekning på 18 km opp til Oterholtfoss. Det østlige hovedløpet er den stilleflytende Sauarelva (ca. 6,5 km, fall ca. 0,8 m) som renner ut av den 16 km lange Bråfjorden/Heddalsvannet. Den viktigste rekrutteringselven i Heddalsvannet er Heddøla med naturlig anadrom strekning på knapt 18 km opp til Omnesfoss. Laks er i ferd med å kolonisere videre oppstrøms (hvor elven endrer navn til Hjartdøla), iallfall til Hanfoss (7,5 km) (Heggenes 2023). I nordenden av Heddalsvannet kommer også Tinnelva som har den største vannføringen av disse elvene, men det er her bare en kortere anadrom strekning (ca. 1,6 km) opp til Tinfos (Fig 1).



Figur 1. Kart over anadrom strekning i Telemarksvassdraget (Akershus-Energi-AS 2018). Nedre del utgjøres av Skienselva (delvis brakkvann). Eidet kraftverk og Klosterfoss kraftverk (rødt) utnytter Skiensfallene, som all oppvandrende laks og sjørret må passere via fisketrapper i hhv. Klosterfoss og Møllefoss. Herfra kan fisk vandre opp i sidevassdraget Falkumelva/Bliva/Bøelva, mens hovedløpet går ca. 4,5 km opp til Skotfoss. Hovedrekrutteringsområdene oppstrøms Skotfoss er elvene Bøelva og Heddøla. Det er i tillegg kortere anadrome strekninger i Tinnelva og Eidselva. Sauarelva er stilleflytende, bortsett fra en kort øvre strekning.



Figur 2. I naturlig tilstand var Klosterfossen' et stryk som man visstnok kunne ro opp på gitte vannføringer.

At laks har vært en viktig ressurs også i de øvre deler av vassdraget (oppstrøms Norsjø), fremgår av historiske kilder. Navnet på plassen Notodden er selvforklarende, og «Rundt denne odden var det fine sandgrunnar, og her var det i gamle dagar, helst om hausten i gytetida, store mengder fin aure, sik og laks som blei tatt i garn eller not.» (Notodden-Historielag 2011). På plassen Sandodden, nær Heddølas innløp i Heddalsvannet, bodde Hans Hansen (1754-1816) som omtales som en «dyktig smed og laksefisker» (Holta 1927).

Fra slutten av 1800-tallet ble imidlertid vannføringen i nedre del av vassdraget regulert, først for båttrafikk og treindustri (Klosterfoss 1854-61; Skotfoss 1854-61, nåledam 1872), og deretter for kraftproduksjon (Klosterfoss 1883-93; Skotfoss 1950). Reguleringene stanset laks og sjørret sine gytevandringer fra havet og skapte nedvandringshinder for smolt inntil laksen forsvant fra øvre deler av vassdraget. Særlig dramatisk var sannsynligvis byggingen av en nåledam for sagbruksformål tvers over Skotfoss i ca. 1872 (Fig. 3). Denne blokkerte all oppvandring av fisk slik at laks og sjørret forsvant fra de øvre deler av vassdraget i nær hundre år (Carm and Langkaas 1993).



Figur 3. Nåledam over Skotfoss 1890. Denne stengte all oppvandring av fisk fra ca. 1872, og laks og sjørørret forsvant i nær hundre år fra de øvre deler av vassdraget. Et målrettet arbeid for å reetablere laks og sjørørret i øvre deler av vassdraget startet først i 1980 (Carm and Langkaas 1993). Kilde: Dag Natedal.

Fiskebestandene ble følgelig sterkt påvirket av inngrepene i vassdraget. Som kompensasjon ble det etter hvert bygget fisketrapper og gjennomført utsetninger av laks og sjørørret. Begge deler har en lang og til dels kronglete historie som bare er delvis dokumentert (se Økland et al. (2022) for historisk oversikt over hhv. bygging av fisketrapper og utsetninger av laks og ørret). Det er ikke dokumentert noen spesiell omtanke for nedvandningsveier for smolt før foreliggende prosjekt.

De første trappene (i tre) ble bygget i 1886 i Klosterfoss, noe som ga laksefisk tilgang til de nederste delene av hovedelva og sidevassdraget Bliva (Fig. 1, Vedlegg 1). Effektiviteten til denne og følgende trapper er ikke kjent, men kan neppe antas å ha vært god. Først i 1939, 70 år etter at oppvandringen ble stengt, ble det bygget fisketrapp i Skotfoss (Vedlegg 1), slik at laks og sjørørret også kunne komme opp til Norsjø, og til de langt større gyte- og oppvekstområdene i de store tilløpselvene til Norsjø (Eidselva, Bøelva, Sauarelva, Heddøla, Tinnelva). Laksetrappene har til dels fungert mindre godt, særlig i Skotfoss, og er blitt bygget om flere ganger. Det er uvisst om de har hatt noen betydning for nedvandrende smolt.

Som videre kompenserende tiltak er regulantene siden 1980 også pålagt betydelige utsetninger av laks og ørret. Før denne tid ble det også satt ut noe laks og ørret, men i svært

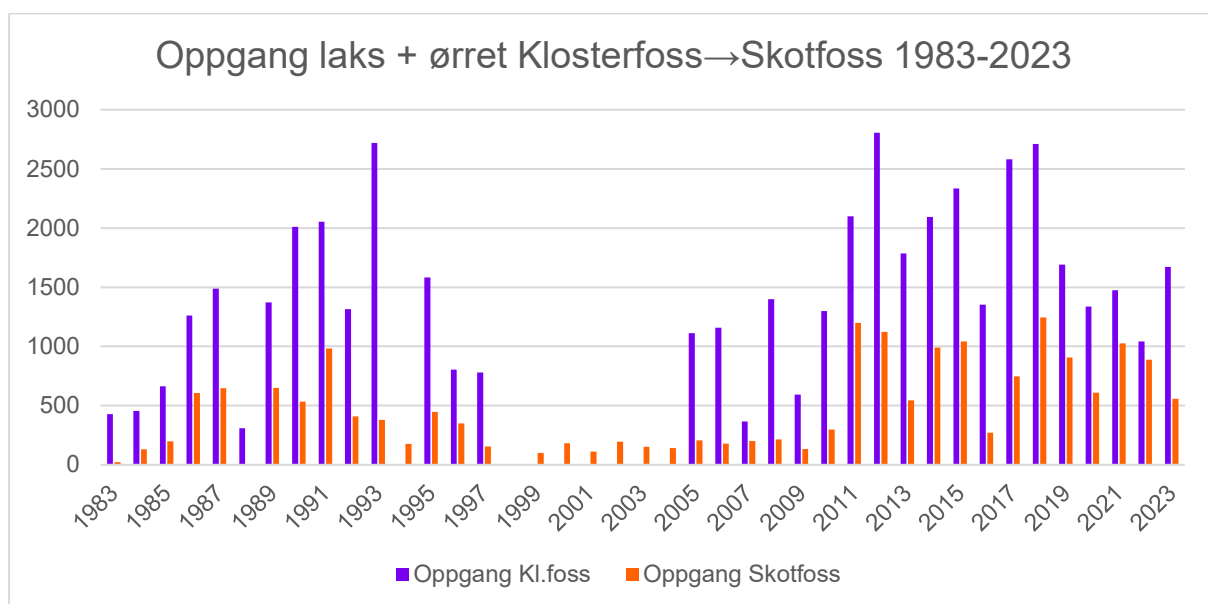
varierende antall og hovedsakelig ved frivillig innsats i de nedre deler av vassdraget. Siden 1980 har det pågått systematisk utsetting av laks og ørret i øvre deler av vassdraget (Norsjø med tilløpselver). I 1988 kom det et ikke tidsbegrenset pålegg fra Direktoratet for vilt og ferskvannsfisk (i dag Miljødirektoratet) til regulantene om årlige utsettinger av laks og ørret i Bøelva, Heddøla, Tinnelva og Norsjø-bekkene (Carm og Langkaas 1993, Heggenes & Dokk 1995, Grenland Sportsfiskere ved Tor Askjem, pers. med.). I dag settes det hvert år ut ca. 10 000 fettfinneklippet sommergammel laks både i Heddøla (siden 1998) og Bøelva (siden 2015) på det som før reguleringene var naturlige gytestrekninger for anadrome bestander. For å vurdere effekten av utsettingene er all én-somrig settefisk (0+) pålagt fettfinneklipping, slik at utsatt fisk kan skilles fra naturlig reprodusert fisk. Det settes også ca. 30 000 én-somrig ørret i Heddøla/Norsjø. Mulige hovedeffekter av disse tiltakene har blitt fulgt opp med årlige rekrutteringsundersøkelser (smoltfeller og bestandsberegninger /elektrofiske) i Bøelva og Heddøla inntil 2022. Undersøkelsene dokumenterte betydelig naturlig rekruttering av laks i disse elvene, og en fortsatt, men langt mer beskjeden direkte effekt, av utsettinger (Hvidsten 2010, Schartum et al. 2020, Heggenes et al. 2021, Schartum et al. 2022).

Antall oppvandrende laks og sjøørret i de nederste trappene i vassdraget (Klosterfossen og Møllefoss) varierer i nyere tid hvor vi har dokumentasjon. Siden 1983 viser systematiske tellinger (Grenland Sportsfiskere, Dag Natedal, pers. med.) at i perioden 1983-2010 lå antall oppvandret fisk i Klosterfoss normalt rundt 1000-1500 individer (gjennomsnitt $1109 \pm SD 657$), mens antallet i den øverste trappen i Skotfoss var betydelig mindre (gjennomsnitt $289 \pm SD 228$). Dette tilsvarer bare 26 % av de som vandret opp Klosterfoss (Fig. 4, 5). Det er derfor antatt at fisketrappa i Skotfoss har fungert mindre godt tross flere ombygginger. Etter 2010 og fram til 2020 har det vært en større oppgang av laks og sjøørret i vassdraget (Klosterfoss: gjennomsnitt $2079 \pm SD 533$; Skotfoss: gjennomsnitt $868 \pm SD 318$), og en større andel av de som har passert Klosterfoss har gått opp trappa i Skotfoss (42 %). Fisketrappa i Skotfoss er dimensjonert for en vannføring på ca. $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Siden ca. 2014 har regulanten i tillegg avgitt lokkevann fra første luke i Skotfosdammen fra ca. 1 juni, (understrømsluke), noe som sannsynligvis er med på å forklare den forbedrede oppgangen i senere år. Tidligere var eventuelt lokkevann avhengig av tilstrekkelig overskuddsvannføring (mer enn slukeevne i Skotfoss = $280 \text{ m}^3/\text{s}$). Andre faktorer som trolig har bidratt til større oppgang i senere år, er Grenland Sportsfiskere sine utsettinger av smolt nedstrøms Klosterfoss (inntil 50 000, Vedlegg 2), og redusert fiskestrekning/lavere fangstandel nedstrøms Klosterfoss (D. Natedal, pers. med.). I 2019-2020 viste første del av foreliggende prosjekt at av oppvandrende laks radiomerket i Klosterfoss, klarte bare hhv. 39 og 27 % av de som ankom Skotfoss å passere laksetrappa og vandre inn i Norsjø. Dette tilsvarte 23 og 24 % av all merket laks. Detaljerte telemetridata viste at av merket laks som ankom Skotfoss (2019: 58 %; 2020: 87 %), oppholdt 88-100 % seg nær utløpet av fisketrappa, dvs. 'fant' inngangen (ca. 70 % innen et døgn). I 2019 forsøkte nær alle å gå inn i trappa, mens i 2020 var det mindre enn halvparten av laksen som forsøkte å gå inn i trappa. Imidlertid endte de absolutte fleste forsøkene med at laksen snudde i en av de to første trappekulpene. De fleste

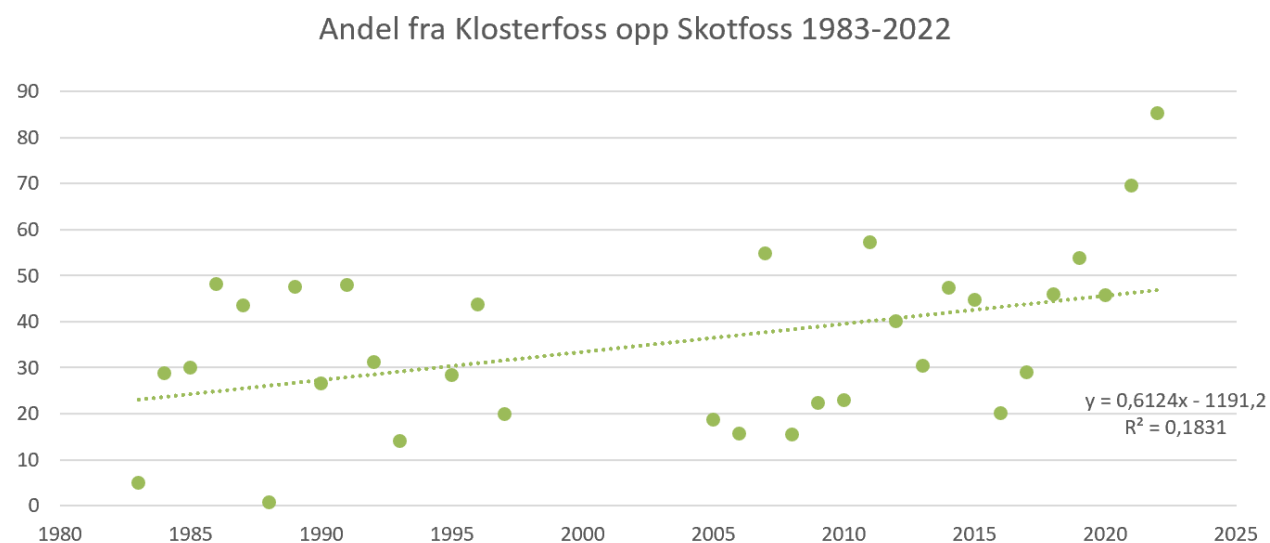
laksene som passerte disse to kulpene, gikk imidlertid relativt raskt opp resten av trappa (22 kulper), som regel i løpet av noen få timer.

Observasjoner og hydrauliske beregninger viste at disse to første kulpene var for grunne og strie. De ble derfor ombygd våren 2021, og samtidig ble det installert to omløpsrør (samlet kapasitet på inntil 90 l/s) som tok ut vann midt i trappa og dermed ga redusert vann i nedre del. Omløpsvannet munnet ut som lokkevann ved inngangen. Disse tiltakene synes å fungere godt. I 2021 gikk all laks (unntatt én) som først gikk inn i trappa, opp hele trappa og opp i Norsjø. Dette utgjorde 83 % av all fisk som vandret opp til Skotfoss, og 60 % av all merket laks. Dette er en over dobbelt så høy andel som i 2019 (39 %) og mer enn tre ganger så høyt som i 2020 (27 %). I løpet av de 38 årene det har vært tellinger av oppvandrende laks og sjørret i laksetrappene, har det aldri blitt registrert at en så stor andel av de som vandret opp Klosterfoss også har gått opp Skotfoss, som i 2021 (70 %) og 2022 (85 %) (Fig. 4, 5). Noe av denne høye andelen skyldes sannsynligvis at det har vært en betydelig bedre oppgang i trappa i Møllefoss enn i tidligere år. I 2023 var derimot andel oppgang i Skotfoss bare 33 % (Fig. 4). I 2024 var det en helt uvanlig svak lakseoppgang i hele landet, og resultatet fra trappetellingene er neppe representativt for hvor godt trappene fungerer.

Den første del av foreliggende prosjekt som undersøkte oppvandring, har gitt oss mye kunnskap om hva som skjer med laks og sjørret som går opp Klosterfoss og Skotfoss, samt fordeling av gytefisk i øvre del av vassdraget oppstrøms Skotfoss. Laksen fordeler seg og gyter på hele den anadrome strekningen i øvre del av vassdraget, langt de fleste i Bøelva og Heddøla, og sørger for naturlig rekruttering (Schartum et al. 2022) som etter hvert gir en økt nedvandring av smolt. Nedvandring undersøkes her i denne andre del av prosjektet.



Figur 4. Oppvandring av laks og sjøørret i Klosterfoss og Skotfoss 1983-2023 (kilde: Grenland Sportsfiskere/Dag Natedal). Manglende data fra Klosterfoss 1998-2004 skyldes defekt fisketeller.



Figur 5. Andel av laksene og sjøørretene som vandret opp Klosterfoss som også gikk opp laksetrappa i Skotfoss. Etter 2010 har oppgangen av laks og sjøørret i Telemarksvassdraget og i Skotfoss økt.

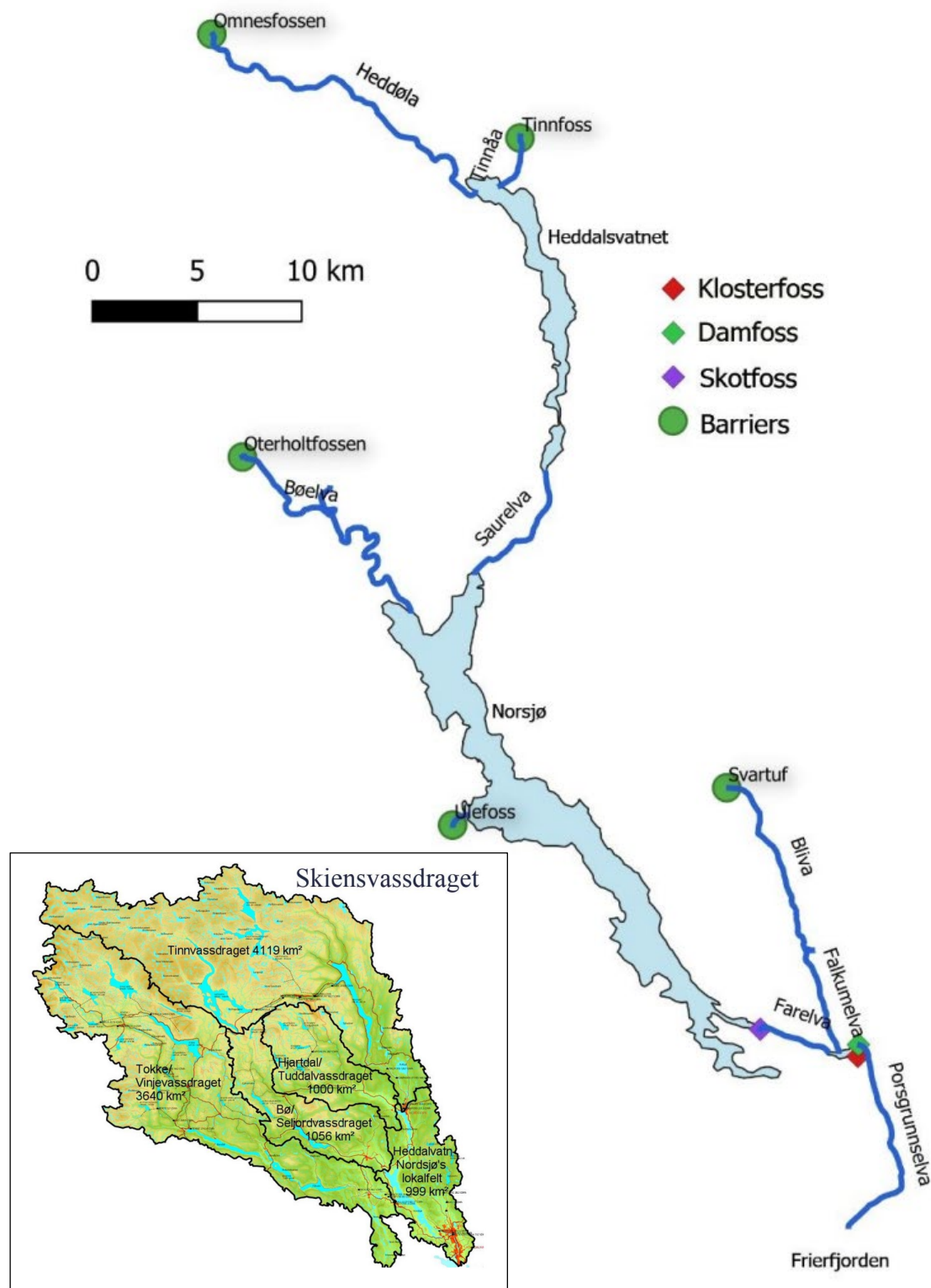
3 Områdebeskrivelse

Telemarksvassdraget er Sør-Norges tredje største vassdrag med et nedbørfelt på 10808 km² fra Kvenna på Hardangervidda til utløp i sjøen ved Gunneklev-/Frierfjorden (Fig. 6, <https://nevina.nve.no/>). Fra fjorden er det fri nedstrøms og oppstrøms vandringsvei nær uten fall ca. 8 km opp til Skiensfallene (Klosterfoss, Damfoss, Møllefoss), fall 5 m, middelvannføring Klosterfoss 307 m³/s) (Fig. 6, 7). Ved Klosterfoss må anadrome arter vandre opp en ca. 20 meter lang Denil fisketrapp forbi Klosterfoss kraftverk (slukeevne 240 m³/s, <https://akershusenergi.no/kraftverk/klosterfoss/>). Trappa er stri, og det er derfor bare laks og sjøørret som kan vandre opp denne trappa (digital teller og videoovervåkning siden 2018). For nedvandring av smolt og ål ble det bygget ny omløps rørgate i 2020. Alternativt kan fisk vandre opp og ned forbi Eidet kraftverk (slukeevne 60 m³/s) i Møllefoss via den ca. 65 meter lange kulpe/spalte-fisketrappa som ble ombygget og nyåpnet i 2018 (Fig. 6, 7). Trappa har svak strøm med lave kulper forbundet med spalter i hele vannhøyden som gjør vannhastigheten langs bunnen lav. Den er derfor lett å vandre både opp og ned. Alle aktuelle anadrome arter (laks, sjøørret, pukkellaks, ål, niøye) er registrert på oppvandring i trappa (digital teller og videoovervåkning). Ved tilstrekkelig vannføring kan nedvandrende smolt også passere over luke og/eller slusene ved Damfoss (Fig. 7). Oppstrøms Skiensfallene (Fig. 7, øverst) er det ferskvann, og det ca. 1,5 km lange Hjellevannet demmes opp av reguleringsinngrepene i Skiensfallene. Fra Hjellevannet kan både ned- og oppvandrende fisk følge den ca. 3 km lange roligflytende glattstrømmen i hovedløpet Farelva mellom Hjellevannet og Skotfoss (Fig. 6, nedbørfelt 10 300 km², middelvannføring 294 m³/s, fall 10 m, slukeevne Skotfoss kraftverk 280 m³/s) (<https://akershusenergi.no/kraftverk/skotfoss/>). Skotfoss er et absolutt oppvandringshinder utenom fisketrappa (Fig. 7, nederst; kulpetrapp med vertikale åpninger, 20 kulper, ca. 55 m lang). Nedvandrende smolt og annen fisk kan vandre over damkronen når der er overvann, men må ellers gå gjennom turbinene eller fisketrappa. Oppstrøms Skotfoss er det frie ned- og oppvandringsveier på hele resterende naturlige anadrom strekning. Spesielt for vassdraget er de lange innsjøene som både oppvandrende laks og nedvandrende smolt må vandre gjennom. Nederst ligger den lange og dype innsjøen Norsjø (gammelnorsk nor betyr lang, smal) (Fig. 6; lengde ca. 30 km, største bredde ca. 3 km, areal 55,12 km², 15.3 moh., midlere dyp 87 m, største dyp 171 m, volum 5,1 km³, nedbørfelt ca. 10 388 km²). I Norsjø sin øvre ende kommer den større og viktige gyte- og rekrutteringselva Bøelva inn fra nord-vest (ca. 18 km anadrom strekning, middelvannføring ca. 23,5 m³/s, minstevannføring 4,5 m³/s (utløp Seljordsvatn), vanndekket areal ca. 0,94 km²). I tillegg er det mulige gyte- og oppvekstområder i flere små bekker og vassdrag som renner ut i Norsjø, og i den korte strekningen i Eidselva (1 km, nedbørfelt 3642 km², middel vannføring 106,7 m³/s). I Norsjø sin nord-østre ende renner den stilleflytende Sauarelva inn (6,5 km, fall ca. 0,8 m, nedbørfelt 5424 km², middel vannføring ca. 148 m³/s)) fra den ovenforliggende store, dype, lange og smale innsjøen Heddalsvannet (Fig. 6; lengde ca. 16,5 km, største bredde ca. 1,5 km, areal 13,21 km², 16 moh., midlere dyp 37 m, største dyp 54m, volum 0,44 km³, nedbørfelt ca. 5373 km²). I Heddalsvannet sin øvre ende kommer

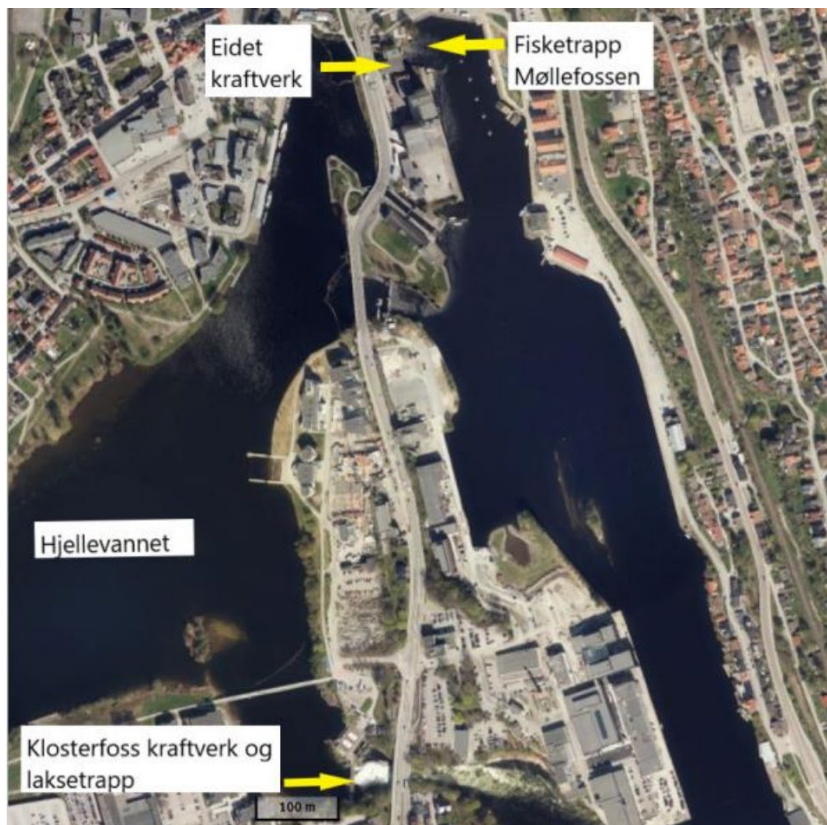
den andre større og viktige gyte- og rekrutteringselva i systemet inn, Heddøla (ca. 18 km anadrom strekning, middelvannføring ca. 24 m³/s, selvpålagte minstevannføringer er hhv 1 og 2,5 m³/s vinter og sommer (Omnes) og vanndekket areal ca. 0,99 km². Øverst i Heddalsvannet kommer også Tinnelva inn, men bare med 1,6 km anadrom strekning (nedbørfelt 4122 km², middel vannføring 110,4 m³/s). Til sammen utgjør dette mer enn 44 km med anadrom elvestrekning med fri vandringsvei ovenfor Skotfoss.

De nedre deler av både Bøelva og Heddøla er 'flate' og innsjø-lignende der de meandrer sakte ut i hvert sitt større innlandsdelta (begge vernet som naturreservat). Bøelvas 'flate' del utgjør 8,5 km med et fall på ca. 0,4 m, i Heddøla har nederste 4,5 km med et fall på ca. 0,2 m. Disse innsjø-lignende nedre deler må passeres av vill smolt som alle produseres oppstrøms på mer rasktflytende strekninger (Schartum et al. 2022).

Alternativt kan fisk som kommer opp Skiensfallene vandre opp i, eller smolt fritt vandre ned fra det mindre sidevassdraget Falkumelva (nedbørfelt 305 km², middelvannføring ca. 8 m³/s, <https://nevina.nve.no/>). Ved Fossum, ca. 5 km oppstrøms fra Hjellevannet (Fig. 6), deler Falkumelva seg i to tilløpselver. Videre oppvandring i det østlige løpet, Hoppestadelva, er stengt etter ca. 200 m av en kraftverksdam. Det vestlige løpet, Bliva (Bøelva) (nedbørfelt ca. 83,5 km², middelvannføring ca. 1,2 m³/s) har derimot fri vandringsvei 11 km (krevende foss ved Gromstul kan være vandringshinder på lave vannføringer), opp til Svartufs-fallet oppstrøms Røjevannet (Fig.6).



Figur 6. Anadrom strekning og ned- og oppvandringsveier for fisk i Telemarksvassdraget (Schwert 2020). Ved Skien må all ned- eller oppvandrende fisk passere Skiensfallene via fisketrapper i Klosterfoss og Damfoss/Møllefoss eller omløpsrør i Klosterfoss. Fra Hjellevannet kan anadrom fisk følge hovedløpet Farelva mellom Hjellevannet og Skotfoss, eller alternativt sidevassdraget Falkumelva/Bliva. Innsett: oversikt over Telemarksvassdraget (Akershus-Energi-AS 2018).



Figur 7. Øverst: Skiensfallene med Klosterfoss og Eidet kraftverk og fisketrapper og omløpsrør i Klosterfoss og fisketrapp i Møllefoss hvor fisk kan vandre ned til eller opp fra brakkvann i Bryggevatnet/Porsgrunnselva. Nederst: Skotfoss kraftverk og fisketrapp. De to nedre innløpene ved utløp fra Skotfoss kraftverk er ikke i bruk i dag.

4 Metoder og materiale

4.1 Fangst av vill smolt

Vill, nedvandrende laksesmolt ble fanget i skrufeller (RST = Rotary Screw Taps) i nederste del av hhv. Bøelva og Heddøla. Fellene ble skjøttet gjennom hele utvandringssesongen for smolt (medio april – ultimo juni), idet de også ble brukt gjennom flere år i et annet prosjekt for å klarlegge tidsperiode og fordeling av utvandring, eventuelle sammenhenger mellom vannføring og temperatur, og for å vurdere overlevelse og bidraget til smoltproduksjon fra hhv. utsetninger og naturlig rekruttering (for detaljer se Schartum et al. 2022).

Skrufellen er en flytende, roterende skrue-sil som avsiler en del av vannvolumet i elva (e.g., Music et al. 2010). Skrufellen består av en trommel med skovler (Fig. 8, 9). Skovlene gjør at vannstrømmen får trommelen til å rotere, med typiske hastigheter på 4 – 10 omdreininger per minutt. Dersom vannhastigheten er så liten at trommelen roterer saktere enn 4 omdreininger per minutt, vil smolten kunne slippe unna. Smolten som fanges i åpningen, føres skånsomt bakover gjennom et rør til en oppsamlingstank. Tanken tømmes ved behov, stort sett hver dag eller morgen og kveld, avhengig av antall smolt som vandrer ut. Fella står på samme sted i elva gjennom hele smoltutvandringsperioden, og tømmes og kontrolleres ved at den trekkes inn til land. Fella i Heddøla var fortøyd til land oppstrøms, og ble skjøvet ut i hovedstrømmen med en bom/bjelke som var festet til fortøyingstauet (Fig. 8). Fella i Bøelva var fortøyd i en yttersving i elva, slik at strømmen dro fella ut fra land. Et tau fra fella og rett inn til land gjorde det mulig å dra fella inn til bredden (Fig. 9). Åpningen på skrufella ble senket slik at den silte 0,90 kvadratmeter av elvetverrsnittet, mens avsilt vannvolum nødvendigvis varierte med vannføring og vannhastigheter (Fig. 8, 9).



Figur 8. Plasseringen av skrufella i Heddøla ved Hustveit (Fellesfjøset) i 2017, på en dag med normal vannføring.



Figur 9. Skrufella i Bøelva ved Østtveit i 2016, på en dag med stor vannføring.

Undersøkelsene omfattet art, antall og lengde (mm) av fangsten, nedvandringstidspunkt, om fanget smolt er fra vill eller utsatt fisk (fettfinneklipp), samt rotasjonshastighet. I tillegg ble morfologisk smoltindeks (SI) bestemt for laks og ørret, beregnet utfra kriteriene a) sølvfarge, b) fravær av parmerker og c) pigmentering av halefinne. Hvert kriterium fikk en verdi fra 1 til 4, og SI ble beregnet som summen av disse. Laks med SI >3 og lengde over 100 mm ble regnet som smolt (e.g., Johnston and Eales 1970). Ved skrufella ble det plassert loggere (HOBO Pendant Temperature/Light 64K) som registrerte vanntemperatur og lysintensitet. Data for vannføring ble hentet fra NVE (sildre.nve.no) og stasjon Omnesfoss 16.10.0 i Heddøla, og Hagadrag 16.51.0 kombinert med Hørte 16.193.0 i Bøelva.

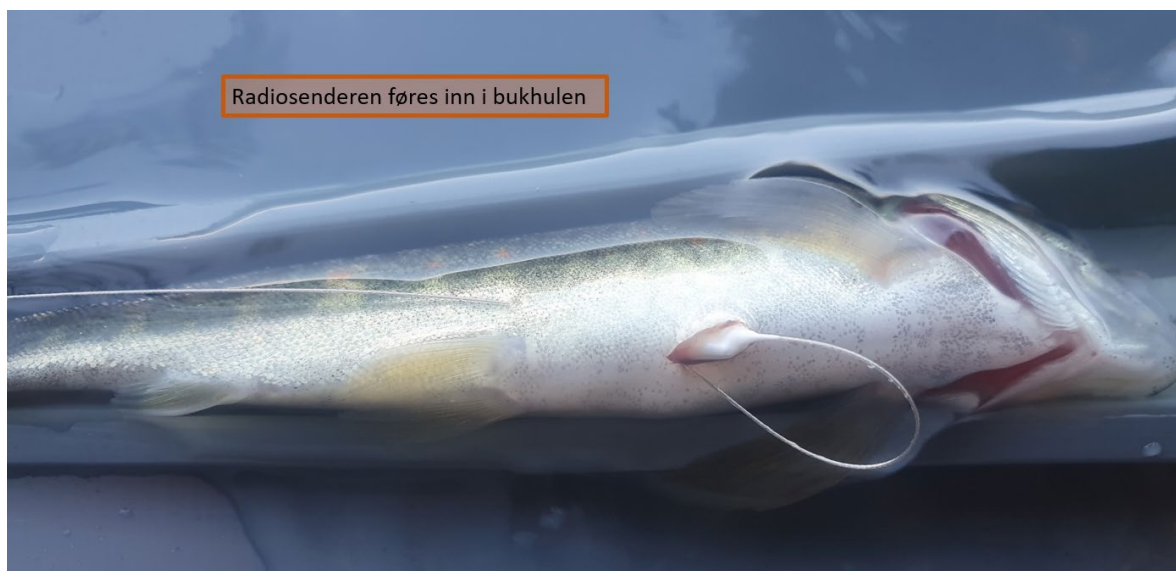
Skrufella i Heddøla ble plassert ved Hustveithølen (Fellesfjøset) og i Bøelva ved Østtveit (Fig. 2.6). Plasseringene var på nederste stryk i elva egnet for lakserekruttering, og var en

avveining mellom flere kriterier: 1) å få størst mulig lakseproduserende habitat areal oppstrøms fellene, 2) plassering slik at gradienten gir sterk nok strøm til at fella roterer med tilfredsstillende hastighet (mer enn 4 rotasjoner per minutt) på alle vannføringer, og 3) minst mulig bredde på elva og en klart definert og strømkraftig dypål, slik at smolten ble konsentrert og fangbarheten av smolt maksimert. Smolten er antatt å bevege seg hovedsakelig nær overflaten. Dessuten ble det tilstrebt å legge fellene nær land, med fortøyning bare på den ene elvebredden. Dette fordi det er enklere å røkte en felle som er plassert i en hovedstrøm som går langs land, fremfor å måtte feste fella i en stålwire spent tvers over elva. En slik stålwire kan også være en risikofaktor for andre aktiviteter på elva (båt, kajakk og kano). I Bøelva ble fella i 2016 plassert i elvens aller nederste sterke stryk, i en yttersving med en markert dypål nært land. Nedstrøms fella danner elva en ca. 8,5 km lang, stilleflytende, meanderende strekning (fall ca. 0,4 m) før det renner inn i Norsjø i et større vernet estuarie i Årnesbukta naturreservat. I 2017 ble den flyttet ca. 150 m oppstrøms på samme side (Fig. 10) for å få vannstrømmen mer konsentrert inn mot smoltskruen. I Heddøla ble fella utplassert (første år 2017) nedstrøms elvas nederste stryk, i en dypål nært land på sørsiden av elva på en rett strekning ved Hustveit (Fellesfjøset) rett nedstrøms siste stryk i Heddøla. Nedstrøms fella er Heddøla svært stilleflytende ca. 4,5 km (fall ca. 0,2 m) før det renner inn i Heddalsvatnet i et større estuarie, Semsøyene naturreservat (Fig. 10).



Figur 10. Skrufellene i hhv. Heddøla og Bøelva ble plassert på nederste stryk egnet for lakseerekuttering, og begge er synlig på flyfoto fra 2017.

I 2022 og 2023 ble fangststinsatsen for smoltfellene konsentrert om å fange vill laksesmolt til radiomerking (Fig. 11). I 2022 ble villfanget smolt supplert med klekkeri laksesmolt i den grad det ikke ble fanget nok vill smolt.



Figur 11. Radiomerking av vill laksesmolt i Heddøla, mai 2023.

4.2 Klekkeri smolt til eksperimenter

I 2022 og 2024 ble også spissede eksperimenter med radiomerking og utsetting av klekkeri smolt ovenfor og nedenfor Skotfoss gjennomført for å undersøke mer i detalj valg av vandringsveier, vandringstider og overlevelse ved nedvandringshindrene ved dam og turbininntak ved Skotfoss og Skiensfallene, dvs. Klosterfoss og Eidet. Ved Klosterfoss ble også funksjonene til omløpsrør for smolt spesielt undersøkt. Klekkeri smolt var av lokal stamme og produsert lokalt ved Grenland Sportsfiskere sitt settefiskanlegg.

Smoltifiseringsgrad ble bedømt visuelt på ytre drakt (se tekst over) og særlig på om smolten endret atferd til negativ rheotaxis ved at den snudde seg og gikk med strømmen i oppdrettskarene. Smoltstatus ble også kontrollert ved ukentlige enzymanalyser (FV-ATPase) av blodprøver fra 10 smolt per uttak (<https://www.eurofins.no/environment-testing/>).

4.3 Forsøksdesign

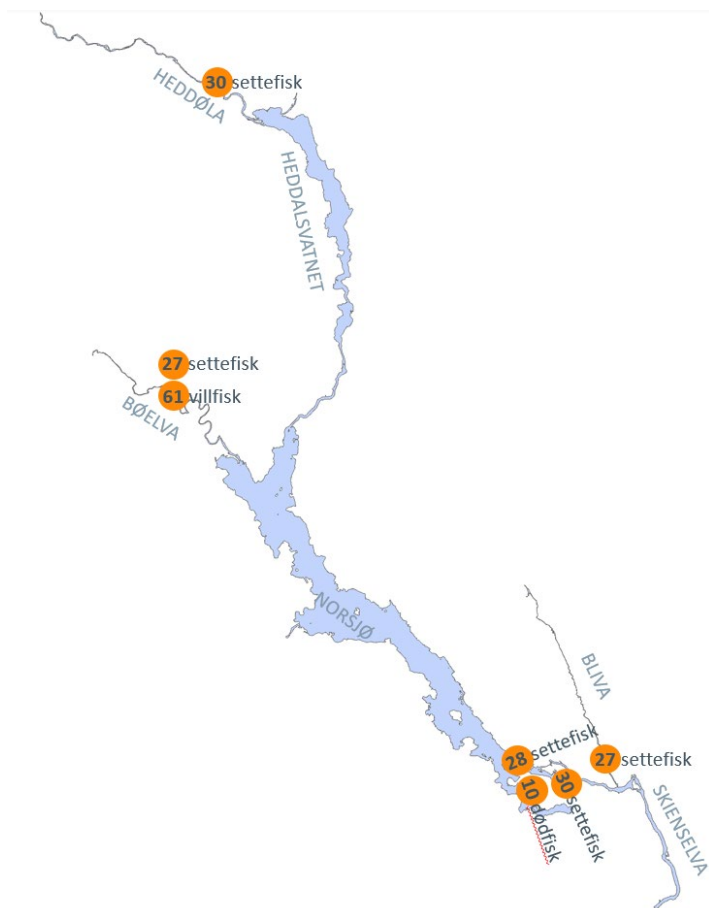
Radiomerket smolt ble i grove trekk satt ut i to forskjellige områder av vassdraget; 1) ovenfor Norsjø eller Heddalsvatnet for å se på overlevelse og vandringshastighet gjennom innsjøene,

og 2) i områdene nært kraftverkene for å se på vandringsruter og overlevelse forbi disse. Smolt som passerte Norsjø og ankom Skotfoss ble også brukt for å undersøke kraftverksproblematikken.

For senere analyser er det nødvendig å kunne skille mellom levende smolt som vandrer nedstrøms og hvor langt smolt som er død, kan drive passivt nedstrøms f.eks. nedstrøms turbiner. Det ble derfor også sluppet ut forsøksgrupper med død radiomerket smolt i utløpet av Skotfoss kraftverk (10 smolt hvert år i 2022, 2023 og 2024). Resultatene viste at disse ikke drev ned til Skiensfallene. Vi kunne derfor anta at levende smolt som passerte Skotfoss og som også ankom Skiensfallene, hadde overlevd passeringen av Skotfoss.

I 2022 ble 213 smolt radiomerket. Av disse var 61 vill smolt fanget og radiomerket i Bøelva (Fig. 12). Ingen villfisk ble fanget i Heddøla pga. uvanlig lave vannføringer. Det ble derfor satt ut 30 radiomerkede klekkeri smolt i Heddøla, og supplert med 27 klekkeri smolt i Bøelva. Fisken ble merket og satt ut i perioden 22 april til 13 mai i Bøelva og 21 april til 10 juni i Heddøla.

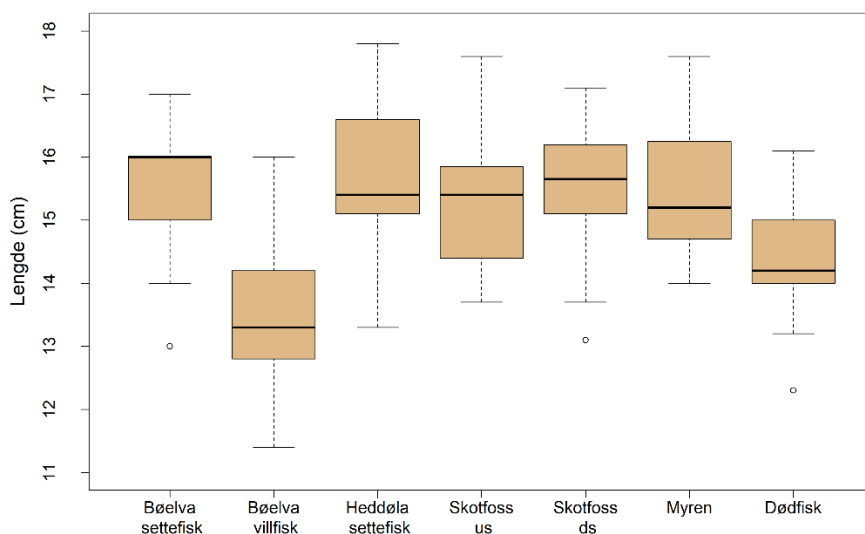
For eksperimentelle undersøkelser ved Skotfoss ble det 13. mai satt ut 28 klekkeri smolt ca. 350 m ovenfor Skotfosdammen og en dødfiskgruppe på 10 smolt i undervannet til kraftverket. I tillegg ble en gruppe på 30 satt ut på nedsiden av Skotfosdammen for å undersøke aktiv nedvandring og overlevelse mot Skiensfallene (Fig. 13). Likeledes ble 27 radiomerket settefisk satt ut i Bliva rett oppstrøms innløp i Hjellevannet. Som forventet var vill smolt gjennomgående mindre (13-14 cm) enn klekkerismolt (15-16 cm) (Fig. 14).



Figur 12. I 2022 ble 213 smolt radiomerket og peilet; 61 vill smolt og 142 settefisk. Til sammen 128 smolt i Bøelva (61 vill, 27 settefisk) og Heddøla (30 settefisk) ble merket for å undersøke naturlig nedvandring gjennom innsjøene. Ved og nedstrøms Skotfossdammen ble 85 klekkeri smolt satt ut for å undersøke vandringsveier og overlevelse i forhold til kraftverksdammer/turbininntak. I tillegg ble en dødfiskgruppe på 10 klekkeri smolt satt ut ved utløpet til Skotfoss kraftverk.

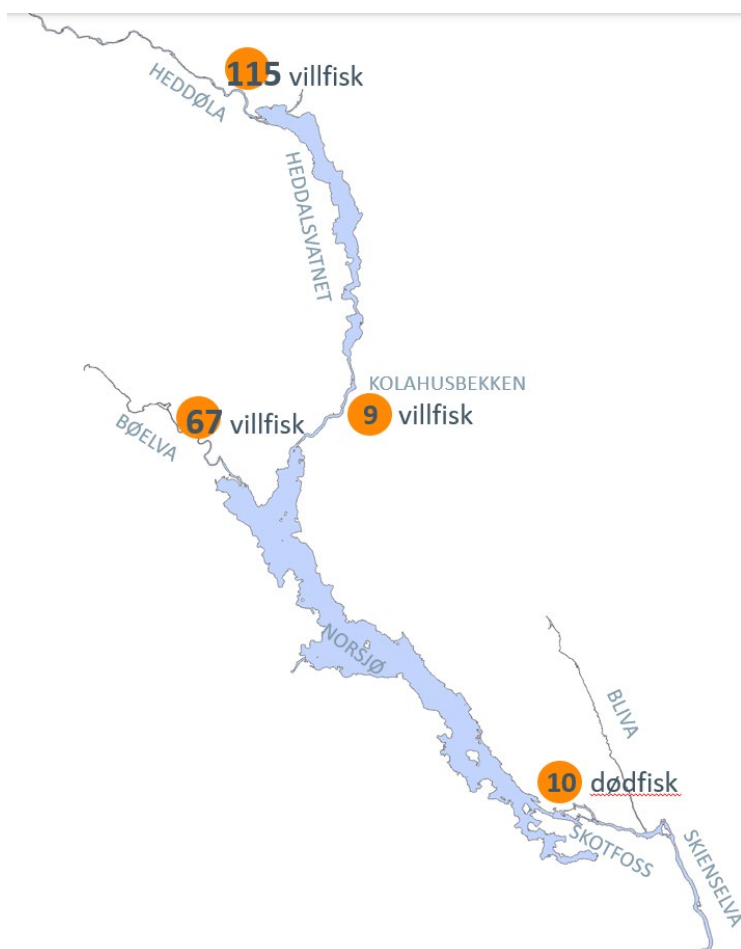


Figur 13. Radiomarking og utsetting av smolt rett nedstrøms Skotfoss, 13 mai 2022.

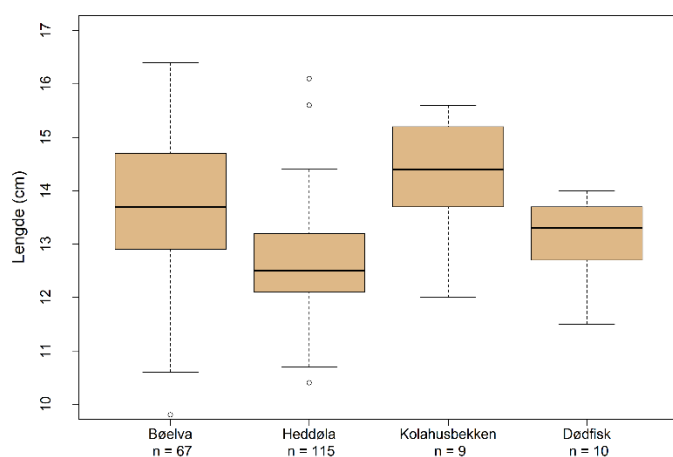


Figur 14. Box-plot (minimum, maksimum, median og 25-75 percentiler) av lengder til 213 radiomerket smolt i 2022. Klekkeri smolt var gjennomgående ganske lik i lengder på 15-16 cm, mens villfanget smolt var mindre.

I 2023 ble 191 laksesmolt fanget og radiomerket. Alle var av vill opprinnelse og ble fanget i løpet av perioden 21 april til 10 juni. Av disse ble 67 merket i Bøelva, 115 i Heddøla og ni i Kolahusbekken (sidegren til Sauarelva, Fig. 15). Merket vill smolt var i gjennomsnitt ca. 13-14 cm lange (Fig. 16). Det ble også satt ut en dødfiskgruppe på 10 klekkerismolt rett nedstrøms Skotfoss for å kontrollere passiv drivlengde.



Figur 15. I 2023 ble 191 vill smolt radiomerket og peilet; 67 i Bøelva, 115 i Heddøla og 9 i Kollahusbekken (Åsdalselva). Det ble også satt ut en dødfisk gruppe på 10 klekkeri smolt nedstrøms Skotfossdammen. Ingen merket smolt fra Kollahusbekken ble videre registrert og data derfor utelatt.



Figur 16. Box-plot (minimum, maksimum, median og 25-75 percentiler) av lengder til 191 radiomerket vill smolt i 2023, samt en dødfiskgruppe på 10.

I 2024 fokuserte undersøkelsene kun på nedvandringsveier og -hindre ved Skotfoss og Skiensfallene, og det ble ikke merket fisk ovenfor innsjøene (Fig. 17). Det ble radiomerket og satt ut 186 klekkeri smolt (21-22 mai); 54 rett oppstrøms Skotfoss (350 m), 59 omtrent 1500 m oppstrøms Skotfoss, 44 smolt ved innløpet til Hjellevannet og 29 smolt ble satt ut ved Hjellen rett overfor Eidet kraftverk/Møllefoss/Damfoss (Fig. 16). Disse ble satt ut så nær Eidet kraftverk for å sikre at datamaterialet var tilstrekkelig til å beskrive vandringsruter i denne delen av vassdraget. Erfaringer fra tidligere år har vist at den klart største andelen av smolten passerer ved Klosterfoss, og at få går forbi Eidet kraftverk/Møllefoss. I tillegg ble 10 dødfisk sluppet ut i turbinutløpet ved Skotfoss.



Figur 17. I 2024 ble 186 klekkeri smolt radiomerket og peilet for å spesielt undersøke vandringsveier og overlevelse i forhold til kraftverksdammer/turbininntak. Smolt ble satt rett oppstrøms (350 m; 54 smolt) og 1500 m oppstrøms (59) Skotfoss, 44 smolt ble satt ut oppstrøms innløpet til Bliva (Falkumelva) i Hjellevannet og 29 ved Hjellen/Eidet (dampskipskaia). I tillegg ble 10 dødfisk sluppet ut i turbin undervann Skotfoss.

Undersøkelsene 2022-2024 ble gjennomført med tilnærmet samme metodikk for å gi et bedre grunnlag for sammenligning av resultatene over tid og rom. Vektlegging av problemstillinger, og dermed fordeling av utsettingene, varierte derimot noe mellom år. I 2022 ble merket smolt ($n = 213$) fordelt omtrent likt for å undersøke de to overordnede problemstillingene; å undersøke naturlig nedvandring gjennom innsjøene i øvre del av vassdraget ($n = 118$) og for å undersøke betydninger av nedvandringshindre (dammer, overløp og turbiner) ved Skotfoss og Skiensfallene ($n = 95$) (Fig. 12). I 2023 ble undersøkelsene spisset mot å undersøke naturlig nedvandring i øvre del av vassdraget, hvor all smolt ble merket ovenfor Norsjø ($n = 201$, pluss 10 dødfisk nedstrøms Skotfoss) (Fig. 15). I 2024 fokuserte undersøkelsene på nedre strekning Skotfoss-Skiensfallene og kraftverksproblematikk ($n = 186$) (Fig. 17).

4.4 Radiomerking

Radiosenderne som ble brukt var de minste som er tilgjengelig, Lotek Nanotag NTF-2-1 med en vekt på 0,30 g og størrelse 9,6x5x3 mm. Senderne sendte ut signaler (pulsrepetisjonsrate) med intervall mellom 2 og 7 sekunder som ga estimert batterilevetid på 39 - 77 dager (<https://www.lotek.com/products/freshwater-nanotag-series/>; Fig. 18).



Figur 18. Merkene som ble brukt var de minste som er tilgjengelig, Lotek Nanotag NTF-2-1 (vekt 0,30 g, størrelse 9,6x5x3 mm).

Ved radiomerking (Forsøksdyrtillatelse nr. 29223 og 30719) ble smolten først plassert i et bedøvelses kar med vann og benzocain (Benzoak vet., 20-30 ml Benzoak pr 100 liter vann). Når smolten var tydelig bedøvet (sakte og uregelmessig ventilasjon, manglende balanse) ble den plassert med buken opp i et V-formatet trau forsynt med en slange med rennende bedøvelsesvann (7-15 ml Benzoak pr 100 liter vann) over fiskens hode og gjeller (Fig. 19). Med en skalpell ble det gjort et 10 mm langt snitt inn bukhulen i bakkant av brystfinnene. En radiosender (se over) ble satt inn, og antennen ledet ut gjennom et lite hull i bakkant av venstre side, laget med en kanyle. Snittet ble deretter lukket med et sting og 5/0 monofilament sutur. Radiosenderne sendte kodede signaler på frekvens 150,340 MHz som gjorde det mulig å identifisere hvert enkelt individ, samtidig som vi lyttet på bare én frekvens. Etter merking ble all fisk overført til et oppvåkingskar, inntil indikasjon på gjenvunnet full balanse (0:40 -4:30 min.), før utsetting.

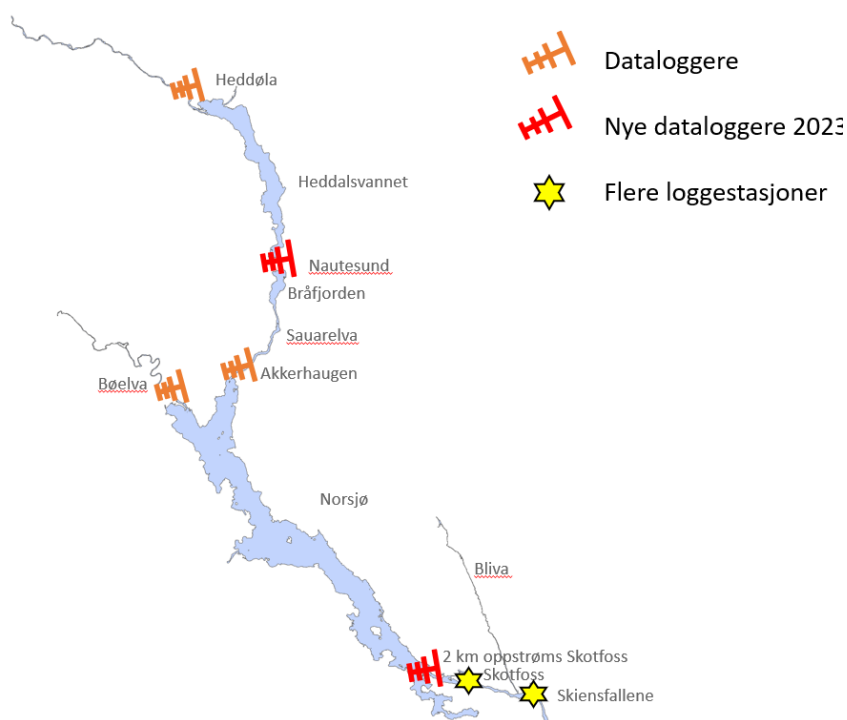


Figur 19. Radiomerking av smolt ved Skotfoss, 22 mai 2024.

4.5 Peiling og registrering av radiomerket smolt

Peilinger ble gjennomført primært med strategisk plasserte stasjonære dataloggestasjoner som automatisk og kontinuerlig registrerte når radiomerket fisk oppholdt seg i nærheten gjennom hele prosjektperioden (model Lotek SRS1200). Ettersom radiosignalene i nanotags har begrenset rekkevidde (våre pilottester viste 300 – 500 m og minst 20 m dyp), er det liten sannsynlighet for å finne signaler ved å drive manuell peiling i de store innsjøene. Gjentatte forsøk med manuell peiling fra båt uten å finne radiomerket smolt underbygget dette. Det ble derfor strategisk utplassert antenner og automatiske loggestasjoner ved smale partier langs hele den mulige vandringsruten 2022-2024: i estuariene så nær munningen som mulig for begge elvene (Heddøla ca. 950 m til åpne Heddalsvannet (utplassert i 2023); Bøelva ca. 1300 m til åpne Norsjø), ved Nautesund, Akkerhaugen og Skotfoss (Fig. 20).

Nedstrøms Skotfoss var det et tett nettverk av loggestasjoner som ga mer detaljerte vandingsdata (Fig. 21, Vedlegg 1). I tillegg ble det supplert med manuelle peilinger i både Bøelva og Heddøla, og i Farelva nedstrøms Skotfoss. De manuelle peilinger i Bøelva og Heddøla avdekket blant annet om smolt hadde stoppet på de stilleflytende elvestrekningene nedstrøms loggerne. I 2022 ble smolt i Heddøla peilet 14. og 18. juni, og i Bøelva den 13. og 14. juni. I 2023 ble begge elvene peilet én gang, den 1. juli.



Figur 20. Passeringer av radiomerket nedvandrende laksesmolt fra Bøelva og Heddøla ble kontinuerlig registrert av automatiske loggestasjon plassert ved strategiske punkter rundt Norsjø og Heddalsvannet i 2022 og 2023.



Figur 21. Et tettere nett med automatiske peilestasjoner fra Skotfoss til Skiensfallene (15 stasjoner og 24 antenner; Vedlegg 1) ga mer detaljerte vandringsdata for nedvandrende laksesmolt 2022-2024. Se Vedlegg 1 for detaljer. Gule stjerner er loggestasjoner.

I alle tre årene var de stasjonære loggerne i drift fra første uke av juni og ut året. Loggerne var plassert slik (minimum avstand, fri sikt, høyde) at de skulle detektere all smolt som vandret forbi. Deteksjonsrekkevidde for de ulike stasjonære loggerne er vanskelig å angi (men neppe over 500 m), ettersom den kan variere med så mange faktorer, og særlig i innsjøene, ettersom det også vil variere med smoltens vandringsdyp, selv om smolt vanligvis vandrer nær overflaten (e.g., Coutant and Whitney 2000, Thorstad et al. 2012).

Supplerende manuell peiling posisjonerte fisk vha. triangulering (krysspeiling) og signalstyrke, og hadde en nøyaktighet på ca. 25 m, avhengig av størrelse på elv og lokal topografi, signalstyrke og støy. Manuell peiling ble gjennomført ved systematisk skanning av vassdraget ved å fotgå elven, bruk av kajakk eller bil, og en håndholdt 4-element Yagi antenne (142 MHz, Laird Technologies, Missouri, USA) koblet til en mottaker (LoteK SRS1200). Ettersom smolt ble fanget, merket og gjenutsatt ved RST fellene hhv. ca. 8,5 og 4,5 km fra innløpet i Norsjø (Bøelva) og Heddalsvatnet (Heddøla), mens nederste loggestasjon var i estuariene hhv. 1300 og 950 m fra åpen innsjø, var det særlig interessant å undersøke med manuell peiling skjebnen til smolt som forsvant mellom utsettingssted og nederste loggestasjon før innløp i innsjø.

4.6 Dataanalyser

Kun smolt som hadde passert loggestasjonene i estuariene til Heddøla og Bøelva ble vurdert til å ha overlevd fangst og merking og inngikk i beregningen av overlevelse gjennom innsjøene i øvre del av vassdraget. Smolt registrert på både loggestasjonene i estuariene til de respektive elvene og i utløpet av innsjøene ble vurdert til å ha overlevd vandringen gjennom innsjøen. Smolt som gikk inn i innsjøene, men som ikke ble registrert ved et utløp, ble vurdert til å være tapt. Siden loggestasjonene sto i øvre del av estuariene, kan smolt ha gått tapt i estuariene og ikke i selve innsjøene. Imidlertid ble svært få fisk registrert på den siste manuelle peilingen nedstrøms loggerne, så det er sannsynlig at de aller fleste faktisk gikk inn i innsjøene og gikk tapt der. Smolt kan også ha vandret inn i innsjøen etter siste manuelle peiling, f.eks. kan de tre som ble registrert i Heddøla nedstrøms loggeren ved den siste peilingen 18. juni i 2022 ha gått ut i innsjøen etter at peilingen var gjennomført.

Loggestasjonen i Bøelva var ute av funksjon i en kort periode (3 dager) i 2022. Det ble derfor en liten usikkerhet om merket fisk som aldri ble registrert igjen (på peilinger eller på loggestasjoner), hadde gått forbi loggestasjonen eller ikke, og dermed hvor mange smolt som gikk ut i Norsjø fra Bøelva i 2022. For å ta høyde for denne lille usikkerheten ble antallet oppgitt fra minimum antall (ingen av de som ikke ble registrert igjen hadde gått ut i innsjøen) til maksimum antall (alle de som ikke ble registrert igjen hadde gått ut i innsjøen). På grunn av dette oppgis også beregnet dødelighet i Norsjø hos smolt fra Bøelva i 2022 som et minimums til maksimumsestimat.

I 2022 var det ikke en loggestasjon ved utløpet av Heddalsvannet, slik at fisk som ikke ble registrert igjen etter å ha passert loggestasjonen i Heddøla kan ha gått tapt enten i nedre del av Heddøla (som imidlertid ble manuelt kontrollert for eventuell merket smolt, jfr. over), i Heddalsvatnet eller i Sauarelva. Inkludering av en loggestasjon ved utløpet av Heddalsvatnet i 2023 gjorde at man spesifikt kunne estimere dødeligheten i Heddalsvatnet og også nedre del av Heddøla nedstrøms smoltfellen.

Som beskrevet under 4.1 Forsøksdesign, viste eksperimenter med slipp av dødfisk i turbinvannet i Skotfoss (10 smolt hvert år i 2022, 2023 og 2024) at disse ikke drev ned til Skiensfallene. Vi kunne derfor anta at levende fisk som passerte Skotfoss og som også nådde Skiensfallene, hadde overlevd passeringen ved Skotfoss. Imidlertid er det ytterligere to forhold som vanskelig lar seg kontrollere. Smolt kan være skadet en stund før de dør lengre nedstrøms. Disse har derfor potensiale for å drive lengre enn fisk som dør umiddelbart ved passeringen av Skotfoss. Smolt kan også overleve passeringen av Skotfoss, men så gå tapt, mest sannsynlig pga. predasjon, på elvestrekningen mellom Skotfoss og Skiensfallene. Vi kan ikke skille mellom tap forårsaket av kraftverket og tap mest sannsynlig forårsaket av predasjon på elvestrekningen nedenfor. Oppgitte tapstall for smolt som passerer Skotfoss er derfor en sum av kraftverksdødelighet og dødelighet på strekningen nedenfor, sannsynligvis sen-skader eller predasjon.

Nedstrøms Skiensfallene er det brakkvann. Radiosignaler har svært kort rekkevidde i brakkvann. Vi har derfor ikke forsøkt å registrere eller estimere overlevelse til smolt som passerer Skiensfallene.

Ettersom prosentvis tap er baserte på ulike utvalgsstørrelser, noen relativt begrenset, er tall avrundet til nærmeste 0,5 % for ikke å indikere overdreven nøyaktighet i data.

Vandringshastighet gjennom innsjøene ble basert på minimum lengde mellom loggestasjoner (målt langs vassdragets midtlinje) og tiden det tok fra siste deteksjon på loggeren i nedre del av elvene til første deteksjon på loggerne i innsjøutløpene. Vandringshastigheter mellom kraftverkene ble basert på siste deteksjon på Skotfoss til første deteksjon ved Skiensfallene over en gitt terskelverdi i styrke på signalet. Midtlinjen ble hentet ut fra databasen NVE Elvenett (<https://gis3.nve.no/link/>). Avstandsberegningene ble gjort i programvaren Google Earth Pro (<https://www.google.com/intl/no/earth/versions/>) eller ArcMap 10.8.1.

Alle data ble ordnet og sortert i Excel og klargjort for statistiske analyser. Alle statistiske analyser ble gjort i R v.3.6.3 (R Core Team 2022).

4.7 Miljødata og telling av vandrende fisk

Fisketrappene i Klosterfoss og Skotfoss har nå begge Vaki Riverwatcher fisketellere og videokamera (<https://vakiiceland.is/counters/>) som har gitt verdifulle tilleggsdata (<https://grenland-sportsfiskere.no/laks-og-sj%C3%B8%C3%B8rret.php>) (<http://www.riverwatcherdaily.is/Migration>). Før dette ble tellinger i laksetrappene gjennomført manuelt av Grenland Sportsfiskere (siden 1983). Akershus Energi AS har sørget for data på vannføring i Skotfoss og Klosterfoss gjennom hele prosjektperioden, i tillegg til offentlige vannføringsdata fra Farelva (nedenfor). Vanntemperatur er hentet fra Akershus Energi AS, Riverwatcher (over) og fra NVE Sildre sin målestasjon i Farelva nedenfor Skotfoss (<https://sildre.nve.no/Station/16.497.0>).

For å undersøke betydning av overløp på dammen på Skotfoss som et mulig nedvandringalternativ til turbinene, ble det i 2024 valgt å kjøre et forsøksoppsett med halv vannføring forbitapping over dam og halv vannføring i turbiner. Dette kjøringsregimet ble vurdert som et realistisk manøvrerings alternativ for smolt utvandningsperioden.

5 Resultater og kommentarer

For å undersøke naturlig nedvandring gjennom innsjøene, ble vill smolt fanget (skrufeller), radiomerket og gjenutsatt i Bøelva og Heddøla. Til de eksperimentelle undersøkelsene, samt supplerende av utsettinger i Bøelva og Heddøla i 2022, ble det brukt klekkeri smolt av lokal stamme fra lokalt klekkeri (<http://www.telemarksettefisk.no/>). Den vesentlige grunnen til bruk av klekkeri smolt var nødvendig logistikk; tilgang til merking av et større antall smolt i løpet av 1-2 dager. Det var også en fordel at smoltstatus hos disse kunne kontrolleres via FT-ATPase analyser og smolten settes ut når de var nedvandringssklare. Dette sikret et mest mulig ensartet og synkronisert eksperimentelt materiale. De eksperimentelle undersøkelsene fokuserte også alle på direkte korttidsresponser. Synkroniserte klekkeri smolt kan være velegnet til å undersøke dette, ettersom de raskt vandrer nedstrøms etter utsetting (e.g., Hansen and Jonsson 1985b). En mulig forstyrrende faktor er at vill og klekkeri smolt kan ha ulik dødelighet. Over tid kan særlig sjøfase settefisk smolt vise større dødelighet enn vill fisk (e.g., Jonsson et al. 2003, Saloniemi et al. 2004, Serrano et al. 2009), kanskje pga. domestiseringseffekter og lavere næringsopptak (Jonsson and Jonsson 2006, Larsson et al. 2011). Vi har visst lite om hvordan settefisk smolt greier seg i forhold til vill smolt under nedvandringen i ferskvann (se oversikt i Thorstad et al. 2012). Nyere, sammenlignende undersøkelser av nedvandringen i ferskvann har imidlertid funnet at det er liten forskjell mellom utsatt og vill smolt (Lærdalselva; Urke et al. 2013), også ved passering av nedvandringshindre som dammer og turbiner som er undersøkt her (Nygqvist et al. 2017).

5.1 Naturlig nedvandring 2022-2023 gjennom de to store innsjøene

Både i 2022 og 2023 var det et stort tap av smolt som vandret ut i innsjøene fra Bøelva og Heddøla (Fig. 22, 23). De aller fleste gikk tapt i estuariet/selve innsjøene. Det kan ikke utelukkes at enkelte døde på de sakteflytende korte elvestrekningene i Bøelva og Heddøla nedenfor loggestasjonene, men disse fiskene var da på vei inn i estuariet.

I 2022 ble de to innløpselvene peilet manuelt fra land to ganger med samme resultat, Bøelva 13. og 18. juni, og Heddøla 14. og 18. juni. I Bøelva ble 10 merkede smolt funnet. Alle lå stille i sakteflytende dype deler av elva. De var derfor trolig predatert, sannsynligvis av gjedde. Alle 10 lå oppstrøms datalogger, men 3 av disse lå innenfor rekkevidden til loggerantennen. I Heddøla ble 5 merkede smolt funnet. Alle disse lå, liksom i Bøelva, oppstrøms logger ved innløpet til estuariet (som i Heddøla ble utplassert først i 2023). Fire radiomerkede smolt lå stille i sakteflytende, dype deler av estuariet/elva nedstrøms RST felle, mens én var i strykparti rett oppstrøms RST felle. I 2023 ble Heddøla og Bøelva peilet

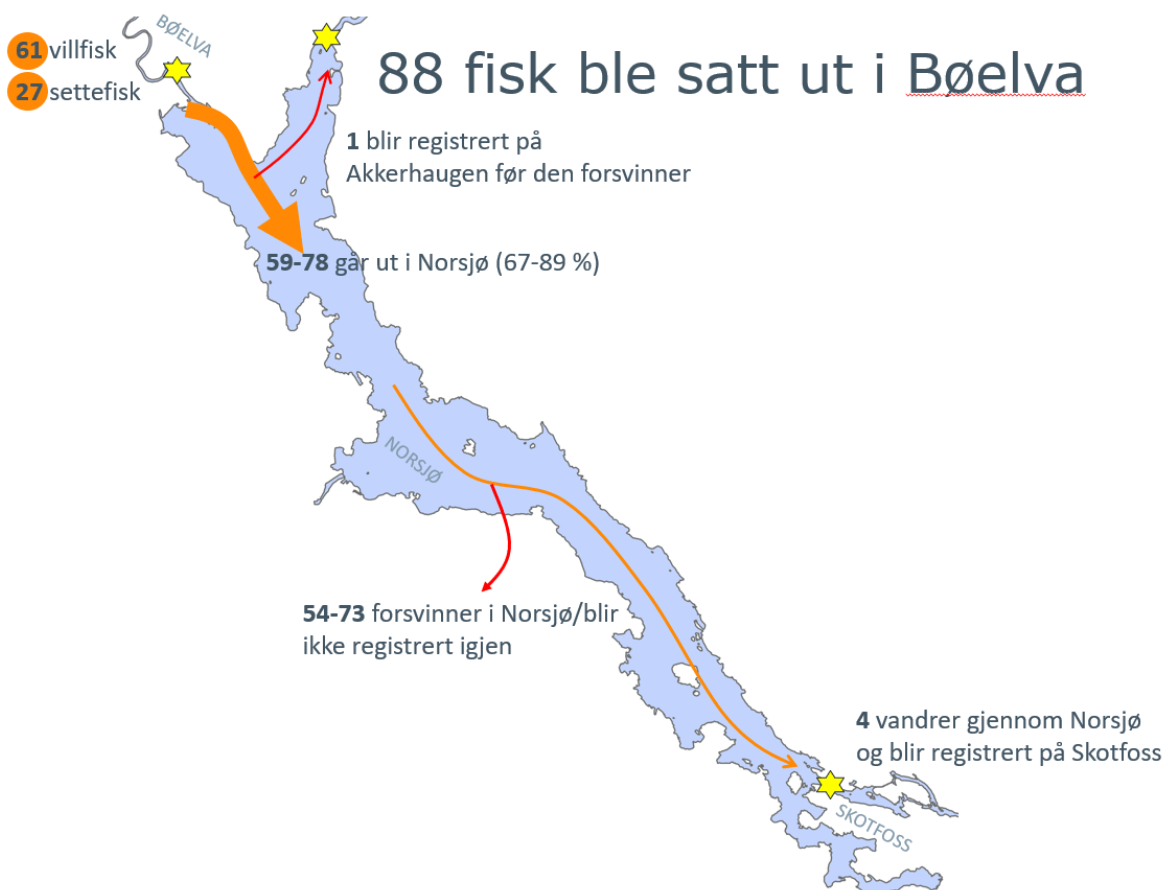
manuelt fra kajakk 1. juli, i tillegg ble Kolahusbekken peilet fra land samme dag. I Heddøla ble 10 smolt funnet, hvorav 5 var i strykpartier oppstrøms RST felle og kunne være i live og vandre ut senere. Tre smolt ble funnet i dype sakteflytende partier av elva mellom RST felle og logger i estuariet og var sannsynligvis spist av gjedde, f.eks. lå én inne i den avsnørte kroksjøen Hustveithølen. De to siste smolt var sannsynligvis tatt av fugl, ettersom den ene lå på et nærliggende jorde, og den andre ved en måkeflokk på en sandbanke i estuariet. I Bøelva ble 16 smolt gjenfunnet, samtlige i dype sakteflytende partier av elva nedstrøms RST felle og derfor sannsynligvis predatert av gjedde. Av disse 16 lå 6 smolt nedstrøms dataloggeren ved innløpet til estuariet, og regnes derfor, per definisjon, som innvandret til Norsjø. I Kolahusbekken ble én fisk gjenfunnet, trolig død. Samlet indikerer derfor data fra de manuelle peilingene at predasjon, særlig av gjedde, men også av fugl, var den vesentlige tapsårsak i de nedre stilleflytende del av elvene og inn i estuariene.

5.1.1 Overlevelse og tap fra Bøelva og Heddøla til Skotfoss

Bøelva 2022

Av de 88 laksesmoltene som ble radiomerket i Bøelva i 2022 (61 vill og 27 klekkeri) passerte de fleste nederste loggestasjon (59-78 smolt, 67-89 %) og gikk ut i Norsjø (Fig. 22). Kun 4 smolt (5-7 %) klarte å passere Nordsjø og ble registrert igjen ved Skotfoss. Dette tilsvarer et tap på ca. 93-95 %. Med minimum vandringslengde på ca. 16,5 km fra munning Bøelva gjennom Norsjø til dam Skotfoss, tilsvarer dette et tap på 5,7 % per km (Fig. 22).

Alle de 4 smoltene fra Bøelva som vandret gjennom Norsjø, passerte Skotfoss. Deretter forsvant to mellom Skotfoss og Skiensfallene, mens én passerte Klosterfoss og den andre passerte Mølla (Fig. 23).



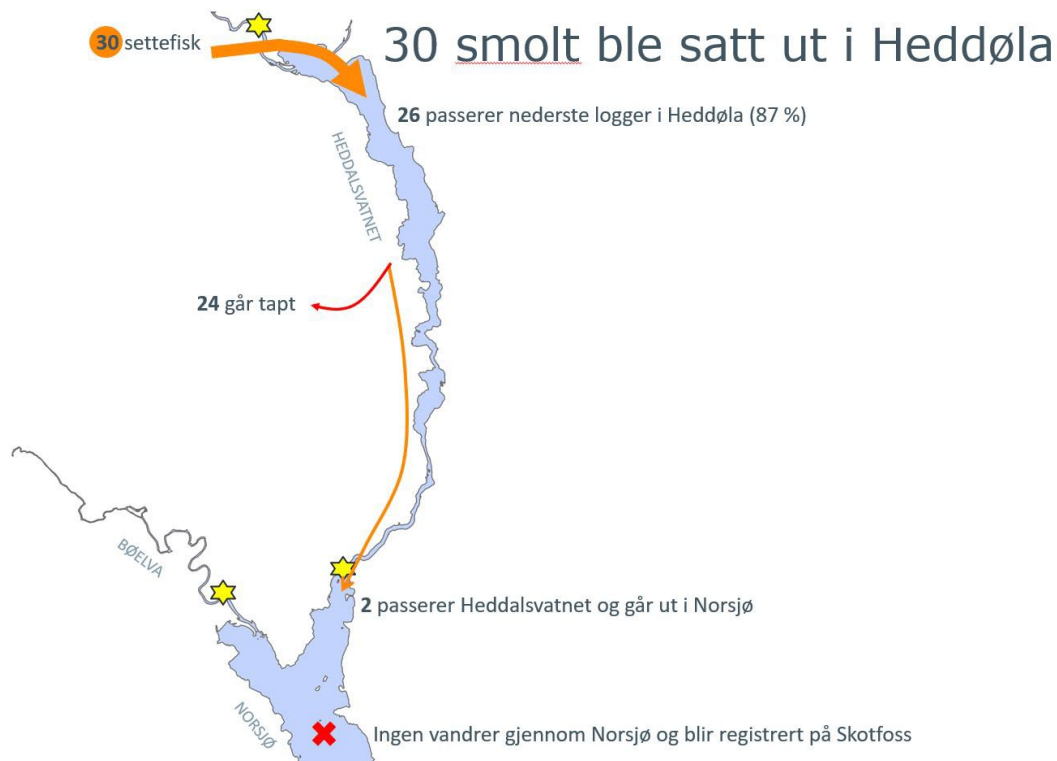
Figur 22. Av 88 radiomerkede laksesmolt i Bøelva i 2022, var det 4 som ble registrert nedvandret til Skotfoss. På grunn av at loggestasjonen i Bøelva var ute av funksjon i en tredagersperiode var det usikkerhet rundt hvor mange smolt som gikk ut i Norsjø, som derfor oppgis som et minimums til maksimumsestimat (se 4.5 Dataanalyser).



Figur 23. Av 88 radiomerkede laksesmolt i Bøelva i 2022 var det 4 som vandret gjennom Norsjø og ble registrert på Skotfoss. Alle 4 passerte Skotfoss, men to forsvant på veien ned til Skiensfallene. Ved Skiensfallene passerte én smolt Klosterfoss og den andre passerte Mølla.

Heddøla 2022

Av de 30 laksesmoltene utsatt i Heddøla i 2022 (alle klekkeri smolt) passerte 87 % nederste loggepunkt og ble inkludert i beregningen av overlevelse på strekningene nedenfor (Fig. 24). På den ca. 22 km lange veien fra loggestasjonen i Heddøla og ned til Sauarelva sitt innløp i Norsjø forsvant 24 smolt, dvs. 92 %, idet bare to smolt (8 %) ble registrert inn i Norsjø. Dette tilsvarer et tap gjennom Heddalsvatnet/Sauarelva på ca. 4 % per km (Fig. 24). Begge de to som gikk inn i Norsjø gikk tapt der.



Figur 24. Av 30 radiomerkede laksesmolt i Heddøla i 2022, var det 26 som vandret ut i Heddalsvatnet, men bare to ble registrert inn i Norsjø, og ingen av disse ble registrert nedvandret til Skotfoss.

Heddøla 2023

Av de 115 ville laksesmolt fanget, radiomerket og gjenutsatt i Heddøla i 2023, passerte 89 smolt (77 %) loggestasjonen i estuariet i Heddøla (Fig. 25, Tab. 1). Utplassering av en ny loggestasjon ved Nautesund (innløp Bråfjorden/Sauarelva) gjorde at det var mulig å beregne dødelighet gjennom Heddalsvatnet. På den 14 km lange strekningen forsvant 63 smolt, dvs. 71 %, mens 26 smolt passerte Nautesund. Dette tilsvarer et tap gjennom Heddalsvatnet på

vel 5 % per km (Fig. 25). Interessant nok var tapet mindre, seks smolt (23 %), dvs. mer enn halvert på de sakteflytende men klart strømmende 8 km i Bråfjorden/Sauarelva ned til Norsjø. Det tilsvarer knapt 3 % per km.

I 2022 var det som nevnt ikke en loggestasjon ved Nautsund, slik at tapet ble beregnet samlet for Heddalsvannet og Bråfjorden/Sauarelva. Tapet på denne strekningen var lavere i 2023 (78 %, ca. 3,5 % per km) enn i 2022 (92 %, ca. 4 % per km).

Av de opprinnelig 115 radiomerkede smoltene var det 20 som ankom Norsjø, og av disse forsvant 17 i Norsjø. Dette representerte et tap på 85 %, dvs. vel 5 % per km. Av de 89 som gikk ut av Heddøla og ble inkludert i overlevelsesestimaterne, var det derfor kun 3 som ankom Skotfoss, dvs. et tap på 97 %, tilsvarende et gjennomsnittlig tap på ca. 2,5 % per km (Fig. 25, Tab. 1).

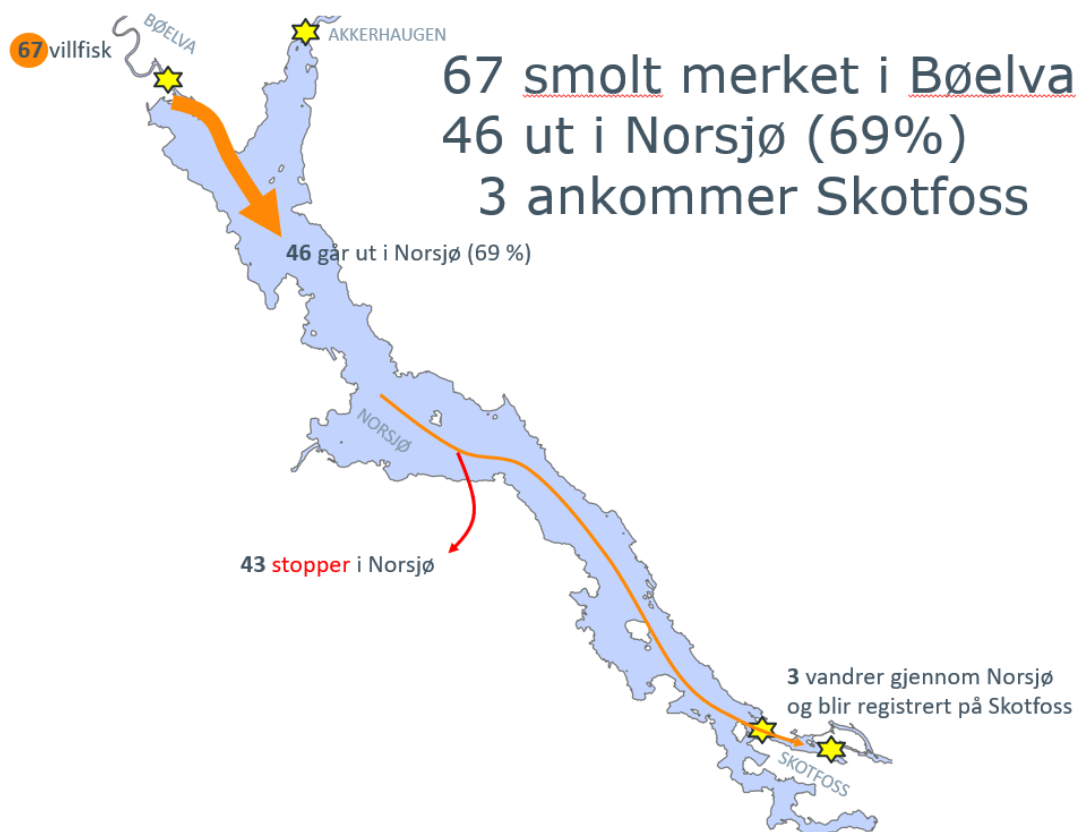
115 smolt ble merket i Heddøla



Figur 25. Av 115 radiomerkede vill laksesmolt i Heddøla i 2023, var det 89 som vandret ut i Heddalsvannet, 20 ble registrert inn i Norsjø, og 3 av disse ble registrert nedvandret til Skotfoss.

Bøelva 2023

Av de 67 radiomerkede laksesmolt i Bøelva i 2023 (alle ville) passerte 46 loggestasjonen nederst i Bøelva inn i estuariet og ble inkludert i overlevelsesestimaterne (Fig. 26, Tab 1). Av disse var det kun 3 smolt (ca. 6,5 %) som vandret gjennom Nordsjø og ble registrert igjen ved Skotfoss. Dette tilsvarer et tap på nær 94 %, og var omtrent i samme størrelsesorden som i 2022 (93-95 %). Med minimum vandringslengde på ca. 16,5 km fra munning Bøelva gjennom Norsjø til dam Skotfoss, tilsvarer dette et tap på ca. 5,5 % per km, det samme som i 2022 (Fig. 26, Tab. 1).

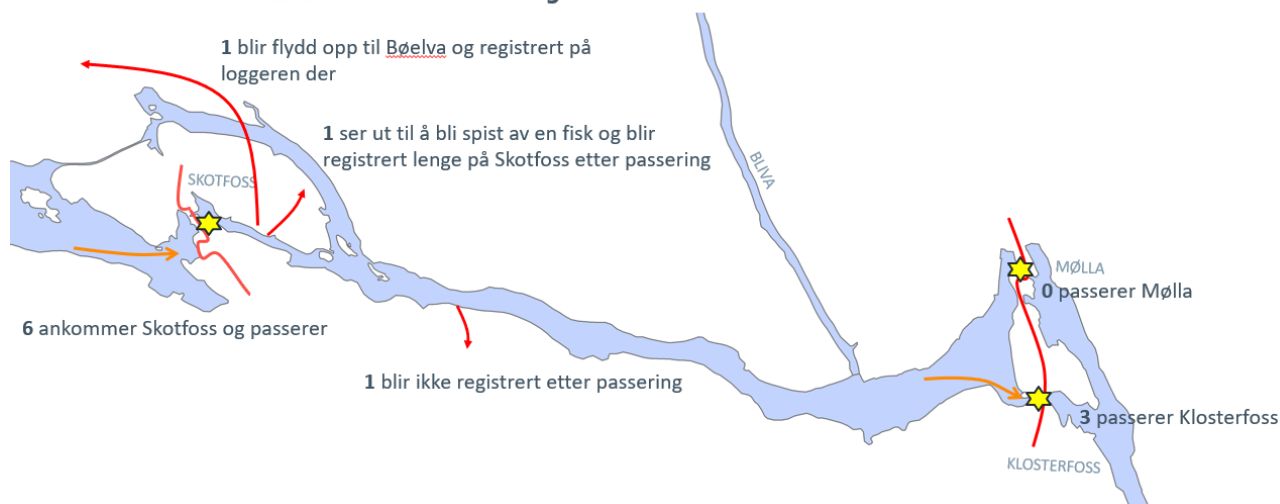


Figur 25. Av 67 radiomerkede vill laksesmolt i Bøelva i 2023, var det 46 som vandret ut i Norsjø, men bare 3 ble registrert nedvandret til Skotfoss.

Smolt fra Heddøla og Bøelva ved Skotfoss i 2023

Av de 6 radiomerkede smolt som ankom Skotfoss, 3 fra Heddøla og 3 fra Bøelva, passerte alle 6 Skotfoss. Nedstrøms ble 1 spist av fugl og 1 av fisk, mens 1 til ikke ble gjenregistrert. Av de 3 som nådde Skienfallene, fulgte alle hovedstrømmen og passerte over Klosterfoss (Fig. 26).

6 smolt fra Norsjø ankommer Skotfoss



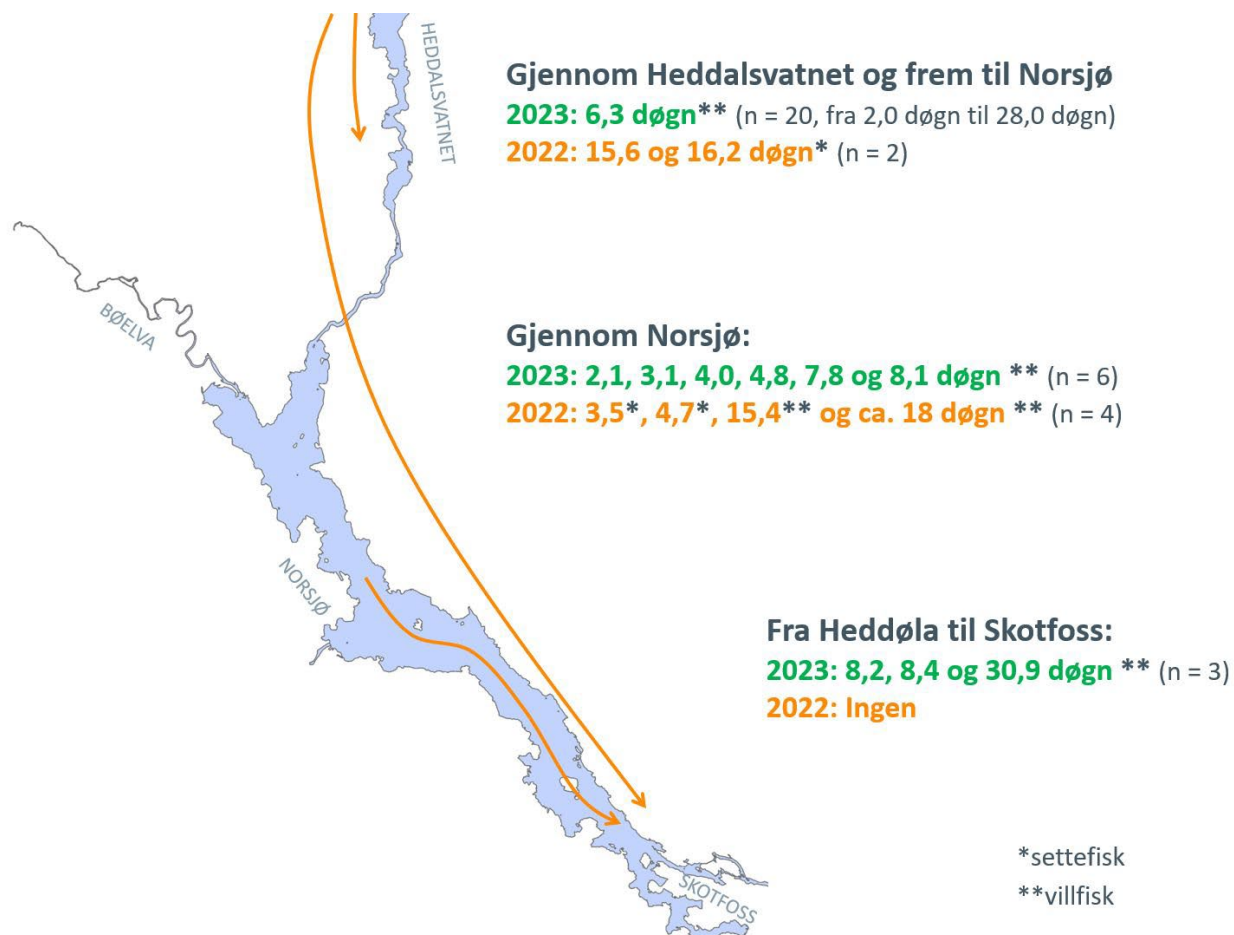
Figur 26. Av 182 radiomerkede vill laksesmolt i Heddøla og Bøelva i 2023, var det 66 som vandret ut i Norsjø, men bare seks ble registrert nedvandret til Skotfoss.

5.1.2 Tidsbruk

Både i Bøelva og Heddøla gikk radiomerket smolt ganske raskt ut i innsjøen etter merking. I Bøelva vandret merket vill smolt ut i hovedsak på litt mindre enn et døgn (median = 0,7 døgn, minimum 3,6 timer, maksimum 18,9 døgn, $n = 53$). De få settefisk smolt som ble registrert ut i Norsjø, brukte lengre tid, median 20,3 døgn (minimum 3,3 døgn, maksimum 27,2 døgn, $n = 5$). I Heddøla som bare hadde settefisk smolt, vandret merket smolt ut i hovedsak på omtrent et døgn (median = 1,3 døgn, minimum 1,8 timer, maksimum 31,8 døgn, $n = 23$) (Fig. 27).

Det store tapet (Fig. 22-24) gjorde at det ble lite og derfor mer anekdotiske data for tidsbruk på nedvandringene gjennom innsjøene i 2022. De to smoltene som vandret ned gjennom Heddalsvannet og Sauarelva brukte hhv. 15,6 og 16,2 døgn på å nå Norsjø. De fire smoltene som vandret gjennom Norsjø i 2022, brukte hhv. 3,5, 4,7 og 15,4 døgn. Data for den fjerde smolten var noe mer usikre, men den brukte sannsynligvis omkring ca. 18 døgn.

Vandringen gjennom innsjøene synes være raskere for vill smolt i 2023 enn for et blandet vill-klekke smolt sample i 2022. Gjennom Heddalsvannet og frem til Norsjø (minimum 22 km) brukte vill smolt fra Heddøla vel 6 døgn i 2023 (median = 6,3 døgn, minimum 2 døgn, maksimum 28 døgn, $n = 20$). Selv om det er få data, er dette raskere enn for settefisk i 2022 (Fig. 27). For den litt kortere vandringsavstanden gjennom Norsjø (minimum 16,5 km, men bredere enn Heddalsvannet) blir datagrunnlaget lite, men tidsbruken er i omtrent samme størrelsesorden som gjennom Heddalsvannet, dvs. 2-8 døgn i 2023, og noe raskere enn i 2022 (Fig. 27).



Figur 27. Tidsbruk til radiomerkede laksesmolt fra Heddøla og Bøelva i 2022 og 2023.

Tabell 1. Naturlig vandringsvei fra rekrutteringselv til Skotfoss og tap av merket smolt: Andel radiomerket smolt 2022 og 2023 som vandret ut i Heddalsvannet, Norsjø, og ankom Skotfoss.

År	Sted	Smolt (n smolt merket/ Inkluderti overlevelsesestimert)	Tap Heddalsvatnet	Tap i Heddalsvatnet		
				+ Sauarelv Heddalsvatnet	+ Norsjø	+ Sauarelv + Norsjø
2022	Heddøla	Klekkeri (30/26)	-	92 % (24/26)	100% (2/2)	100 % (26/26)
2022	Bøelva	Vill (61/54-58)	-	-	96-97% (52/54-56/58)	-
2022	Bøelva	Klekkeri (27/5-20)	-	-	60-90% (3/5-18/20)	-
2022	Bøelva	Vill + klekkeri (88/59-78)	-	-	93-95% (55/59-74/78)	-
2023	Heddøla	Vill (115/89)	71% (63/89)	78% (69/89)	85% (17/20)	97% (86/89)
2023	Bøelva	Vill (67/46)	-	-	93% (43/46)	-

5.1.3 Diskusjon

Våre data viser liten forskjell i overlevelse mellom radiomerket vill smolt og klekkeri smolt. Det var kanskje noe bedre overlevelse gjennom Heddalsvannet/Sauarelva for vill smolt i 2023 mot klekkeri smolt i 2022 (77 vs. 92 % tap), men det er to ulike år og lavt antall merket i 2022. Det er tidligere kjent at over tid kan særlig klekkeri smolt i sjøfasen ha større dødelighet en vill fisk (e.g., Jonsson et al. 2003, Saloniemi et al. 2004, Serrano et al. 2009). Men for nedvandringen i ferskvann har vi visst lite om hvordan klekkeri smolt greier seg i forhold til vill smolt (se oversikt i Thorstad et al. 2012). Nyere, sammenlignende undersøkelser av nedvandringen i ferskvann har funnet liten forskjell mellom utsatt og vill smolt (Lærdalselva; Urke et al. 2013), også ved passering av nedvandringshindre som dammer og turbiner (Nyqvist et al. 2017).

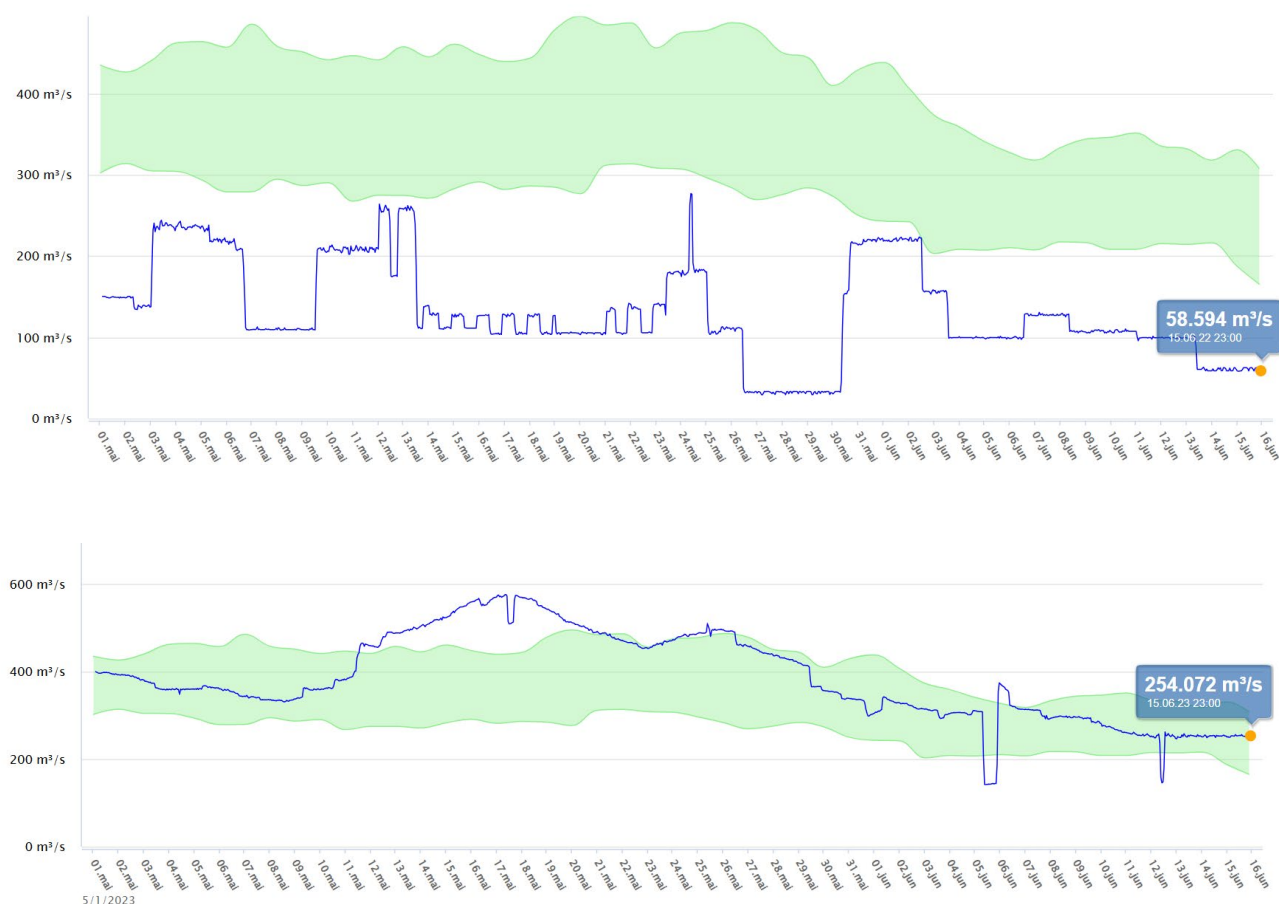
Tapet i løpet av den naturlige nedvandringen fra gyte- og oppvekstområdene i Heddøla og Bøelva og gjennom innsjøene ned til Skotfoss, var uansett stort, stort sett 90 % eller mer (Tab. 1). Av de som måtte vandre lengst, fra Heddøla gjennom Heddalsvannet, Sauarelva og Norsjø, var det bare 3 av 115 som ankom Skotfoss. Tapsraten på den naturlige nedvandrings strekningen til Skotfoss var omkring 5 % per km (3 - 7 %) (Tab. 1). Ved passering av overløp, dammer og turbiner var imidlertid dødeligheten dobbelt så høy, 11 % per km, for smolt som vandret naturlig ut (se eksperimenter senere).

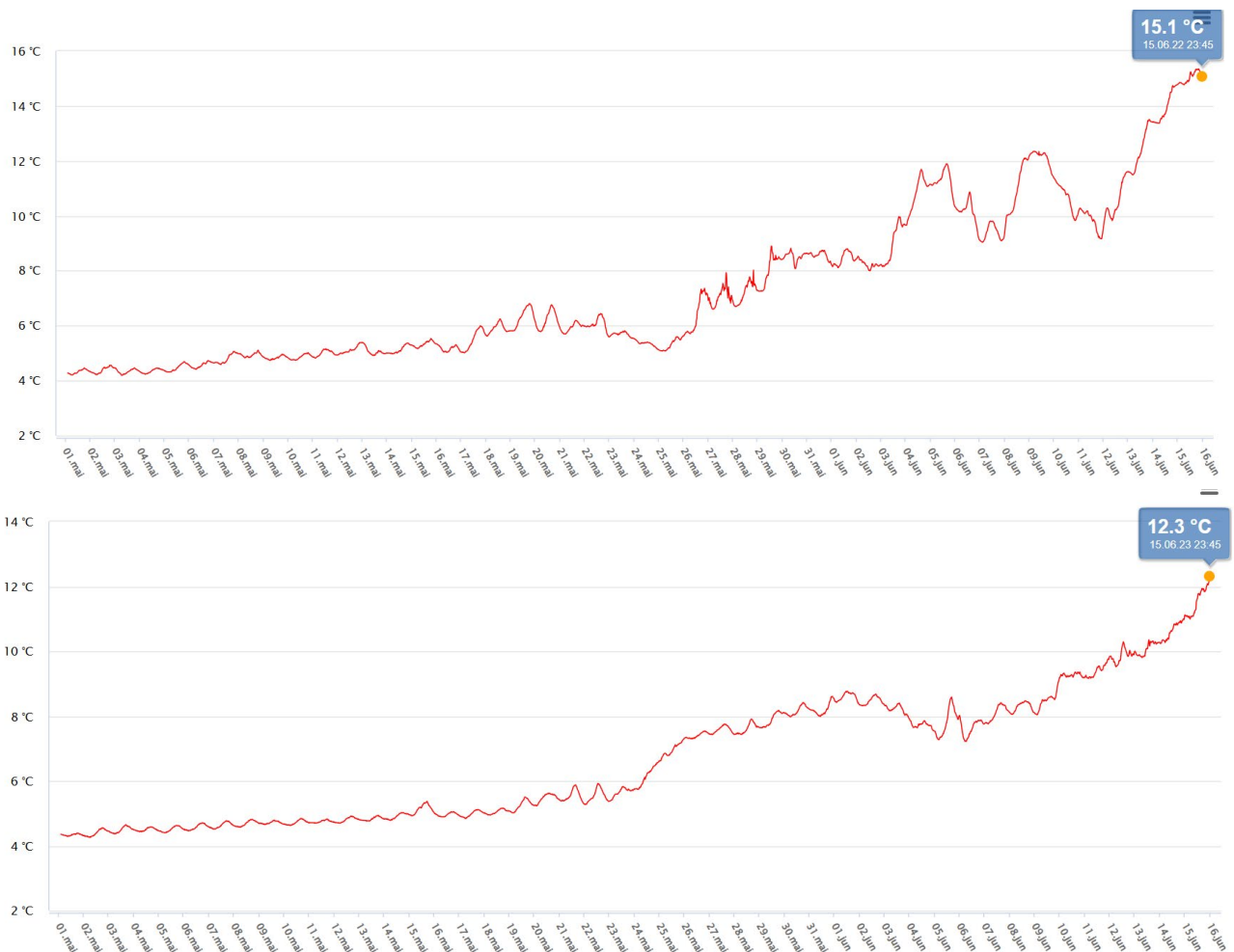
Disse resultatene samsvarer med det som er funnet i de få tilsvarende undersøkelser vi kjenner til fra andre vassdrag. Men disse er gjort i mindre skala, mindre vassdrag og innsjøer, over kortere tid og med færre merket fisk enn i vår undersøkelse. I sin oversiktsartikkel fant Thorstad et al. (2012) en median dødelighet på 2,3 % km⁻¹ (0,3 – 7,0 %) for nedvandring i elver, betydelig høyere dødelighet på median 6,0 % km⁻¹ (0,6 – 36 %) i (marine) estuarier, men igjen lavere dødelighet i kystområdene med median 1,4 % km⁻¹ (0,3 – 3,4 %). Estuarier og elvemunninger var områdene med høyest dødelighet, hovedsakelig pga. predasjon, selv om andre dødelighetsfaktorer også spilte inn. Interessant nok var dødeligheten mer variabel i estuarier enn i elver. Thorstad et al. (2012) mener dette sannsynligvis gjenspeiler stor variasjon i egenskapene til ulike estuarier. En åpenbar egenskap til estuarier er mangelen på eller svært begrensede rettede vannstrømmer som smolten eventuelt kan navigere etter. Vi kan spekulere på om stillestående og stilleflytende habitater er mer passende for flere predatorer både i antall arter og tetthet, som ørret (Hanssen et al. 2022), som laks nesten alltid forekommer sammen med i vår del av verden, og gjedde (*Esox lucius*) (Jepsen et al. 1998, Kennedy et al. 2018) og også fugl (Jepsen et al. 1998, Jepsen et al. 2006, Koed et al. 2006). Mangel på vannstrøm kan i seg selv gjøre det vanskeligere for smolt å orientere seg, forsinke utvandringen, medføre større predasjonsfare og føre til at smolt rett og slett ikke finner fram. Men selv om smoltnedvandring i elver er relativt mye undersøkt (e.g., Hansen and Jonsson 1985b, Davidsen et al. 2009, Persson et al. 2019), er nedvandring gjennom innsjøer lite undersøkt (Lennox et al. 2021). Gjennom

innsjøer må smolt bevege seg aktivt og navigere (Bourgeois and O'Connell 1988). Vi vet lite om hvordan smolt beveger seg og navigerer gjennom innsjøer. De få undersøkelsene som er kjent, fra små innsjøer, med få merket smolt og over kort tid, indikerer at smolt gjennom innsjøer er mest nattaktive (Thorpe et al. 1981, Hanssen et al. 2022), at de vandrer saktere enn i elv (Thorpe et al. 1981, Hansen and Jonsson 1985a, Bourgeois and O'Connell 1988, Kennedy et al. 2018, Hanssen et al. 2022) og at de svømmer i ulike retninger, dvs. vandringer synes i liten grad å være retningsbestemt (Thorpe et al. 1981, Honkanen et al. 2021, Hanssen et al. 2022). Gitt høyere predasjonsrisiko i innsjøer (Jepsen et al. 1998, Jepsen et al. 2006, Honkanen et al. 2018, Hanssen et al. 2022), vil derfor dødeligheten hos smolt over en gitt vandringsdistanse være større i innsjøer enn i elv.

Av 20 laksesmolt (villfanget og akustisk merket 6-7 Mai) som måtte vandre gjennom det 6,5 km lange Evangervatnet nederst i Vosso, fant Hanssen et al. (2022) at 60 % forsvant i innsjøen, dvs. vel 9 % per km. Av disse ble 30 % dokumentert spist av ørret. I den 12 km lange, oppdemmede Tange Sø på Jylland (reguleringsmagasin), viste Jepsen et al. (1998) 90 % dødelighet for 50 radiomerkede klekkeri laksesmolt (Mai, trolig merket i løpet av en til to dager), dvs. et tap på 7.5 % per km. Dødeligheten skyldtes predasjon fra gjedde (56 %) og fugl (31 %, særlig skarv). I en skotsk undersøkelse ble 30 akustisk merkede laksesmolt satt ut oppstrøms en liten (1-2 km) naturlig innsjø og hhv. 30 og 20 km oppstrøms to små (1-2 km) reguleringsmagasin (Honkanen et al. 2021). Det var samlet høy dødelighet på 90 % ned til havet (mer enn 9 km elvestrekning), og høyere dødelighet gjennom innsjøene (16-53 % per km) enn i elven nedstrøms (4-11 % per km). De fant ingen forskjell i dødelighet mellom den naturlige innsjøen og de to magasinene, og konkluderte med at problemene med å navigere stillestående vann, mer enn om det er naturlig innsjø eller magasin, iallfall delvis forklarte høyere dødelighet. Vi kjenner bare én tidligere undersøkelse fra en større innsjø. I Lough Erne (168 km²), Irland, ble til sammen 90 villfanget laksesmolt akustisk merket, fluefisket i fire sideelver i løpet av fire dager i april. Kennedy et al. (2018) fant høy midlere dødelighet på 31,2 % per km i utløpet av elvene til innsjøen, lavere dødelighet i selve innsjøen (middel 2,4 % per km), og en total dødelighet ned til utløpet på 91,1 % (for tre sideelver, 94,1 % i den fjerde). Avstandene fra sideelv til innsjøens utløp varierte fra 7,3 til 59,1 km, men det var ingen sammenheng mellom dødelighet og avstand. For vår betydelig mer omfattende undersøkelse i et betydelig større innsjøsystem, med 300 laksesmolt radiomerket over hele utvandringssesongen og gjennom to år, fant vi en ganske jevn dødelighet på ca. 5 % per km (3 – 7 %) og en total dødelighet ned til utløp Norsjø på vel 95 %. Dette samsvarer med de få tidligere undersøkelsene som er gjort, og dokumenterer at sammenlignet med elv, kan innsjøer kan gi vesentlig høyere tap av laksesmolt på utvandring. Men med ulike innsjøer og år fant vi også noe variasjon i det høye tapet, fra 71 % gjennom ett stort vann (Heddalsvatnet) i 2023, 91 % for begge elver gjennom Norsjø i 2023 til 93-95 % for begge elver i 2022. Heddøl smolt hadde også litt høyere overlevelse gjennom Norsjø i 2023 enn Bø smolt fisk som vi kanskje kan spekulere at indikerer en form for læring eller seleksjon.

Laksesmolt vandrer ut om våren, men det kan være til ulike tider i ulike vassdrag. Dette kan speile lokale tilpassinger, særlig slik at forholdene når smolten kommer ut i havet er gunstige for marin overlevelse (e.g., Thorstad et al. 2012). Det er alminnelig antatt at vannføring og temperatur i elvene påvirker utvandringen. Disse faktorene vil også åpenbart variere i innsjøene, og kan tenkes å påvirke smoltens overlevelse, f.eks. i våre undersøkelser i to ulike år. Vannføringene representerte to sterke kontraster. Vannføringene gjennom innsjøene var ekstremt lave i 2022 (Fig. 28) (midlere vannføring 134,2 m³/s, minimum 29,2, maksimum 277,2) ([Skotfoss | Sildre](#)). I 2023 var vannføringene normale, og ca. tre ganger så høye som i 2022 (midlere vannføring 389,9 m³/s, minimum 141,7, maksimum 576,5). Denne vesentlige kontrasten synes ikke å ha hatt noen betydning for overlevelsen gjennom innsjøene som var ganske lik i begge år (Tab. 1). Dersom svake vannstrømmer gjennom innsjøene på grunn av lav vannføring skulle ha betydning for smoltens navigering, burde tapene vært betydelig større i 2022 enn i 2023. De var omtrent like, og det er nærliggende å spekulere at vannstrømmene uansett var for svake til at de eventuelt hadde betydning for smoltens navigering gjennom innsjøene i disse to årene. Vanntemperaturene var ganske like i begge år, bortsett fra litt høyere temperaturer helt mot slutten av utvandningsperioden på de lave vannføringene i 2022 (Fig. 28) (2022: median vanntemperatur 6,0 °C, minimum 4,2, maksimum 14,9; 2023: median vanntemperatur 6,6 °C, minimum 4,3, maksimum 11,1) ([Farelva ndf. Skotfoss | Sildre](#)).





Figur 28. Vannføringer og temperaturer gjennom smoltens utvandringssesong i hhv. Skotfoss og Farelva 1 mai- 15 juni 2022 (øverst) og 2023 (nederst) (<https://sildre.nve.no/Station/16.497.0>).

Høyere dødelighet for smolt som må vandre gjennom innsjøer, er en ekstra kostnad for de lokale bestandene oppstrøms. For smolt som vandret ned gjennom Heddalsvannet/Norsjø fant tap på 91 – 100 %. Dette er i samme størrelsesorden som samlet sjøtap/overlevelse for mange norske laksebestander (e.g., Forseth et al. 2024). Det kanskje viktigste forvaltningsredskapet for norske laksebestander mht. gyting og rekruttering i ferskvann, er modellene for gytebestandsmål (Hindar et al. 2007, Hindar et al. 2019). Et gytebestandsmål er den mengden hunnlaks som må gyte for at et maksimalt antall smolt skal produseres i en elv/vassdrag hvert år. Ved fastsetting av gytebestandsmål tas det ikke høyde for om de største gyteområdene ligger ovenfor innsjøer eller ikke. Resultatene i denne undersøkelsen, og flere andre, viser at fravær eller tilstedeværelse av innsjøer kan ha stor påvirkning på hvor mange smolt som når sjøen. Selv om bestander ovenfor innsjøer kan være høyst levedyktige, som våre resultater viser, er de sannsynligvis mer sårbare for beskatning pga. det store innsjøtapet dokumentert her..

Basert på merking av 50 laksesmolt i ett år – som viste 90 % dødelighet gjennom Tange Sø (og ingen smolt vandret ut av sjøen), konkluderte Jepsen et al. (1998) med at utsetting av laks oppstrøms Tange Sø for å reetablere en laksebestand, ville være fånyttet. Dette synes være en for drastisk konklusjon basert på for begrensede data. Dødelighet vil kunne variere over tid, og påvirkes av svært mange både abiotiske og biotiske faktorer, slik vi ser for sjøoverlevelse som har blitt redusert i senere år (Forseth et al. 2024). Bestander oppstrøms innsjøer vil kanskje også oppleve mer varierende rekruttering over tid, men de 'gode' årene vil opprettholde bestanden. Og selv med høy dødelighet, kan bestander oppstrøms innsjøer være klart levedyktige. Retablering av laks på anadrom strekning oppstrøms Skotfoss dokumenterer nettopp dette. Retableringen begynte med systematiske utsetninger fra 1980 (Carm and Langkaas 1993, Økland et al. 2022). I løpet av noen få tiår er det re-etablert levedyktige bestander av vill laks i Bøeva og Heddøla (Schartum et al. 2018, Schartum et al. 2022) og sannsynligvis også i flere mindre tilløp. Dette til tross for at våre undersøkelser viser over 90 % tap av smolt gjennom Heddalsvannet og Norsjø. Det er desto viktigere å etablere gytebestandsmål i slike systemer, men grad av høsting av slike bestander er det grunn til å vurdere nøye.

Tapsårsakene i innsjøer er sannsynligvis predasjon og navigeringsproblemer for smolten. Både i Heddalsvannet og Norsjø er det naturlige bestander av ørret, også fiskepisende storørret ute i selve innsjøene. Innsjøene har begge bestander av gjedde, som også holder til i de nedre sakteflytende delene av elvene. Innsjøene forsinker nedvandringen. Dette kan ha ført til et tillegg tap i form av 'batteritap', dvs. noen radiomerket smolt bruker så lang tid på å vandre rundt i innsjøene, at levetiden på batteriene går ut. Den var estimert til median 55 dager (min. 39, maks. 76, avhengig av pulsrate). Imidlertid brukte ingen av de 26 radiomerkede smoltene som ankom Skotfoss nær så lang tid, maksimum var 28 døgn (Fig. 27). Man kan heller ikke se bort fra at radiomerking i seg selv kan medføre en negativ 'merkeeffekt'.

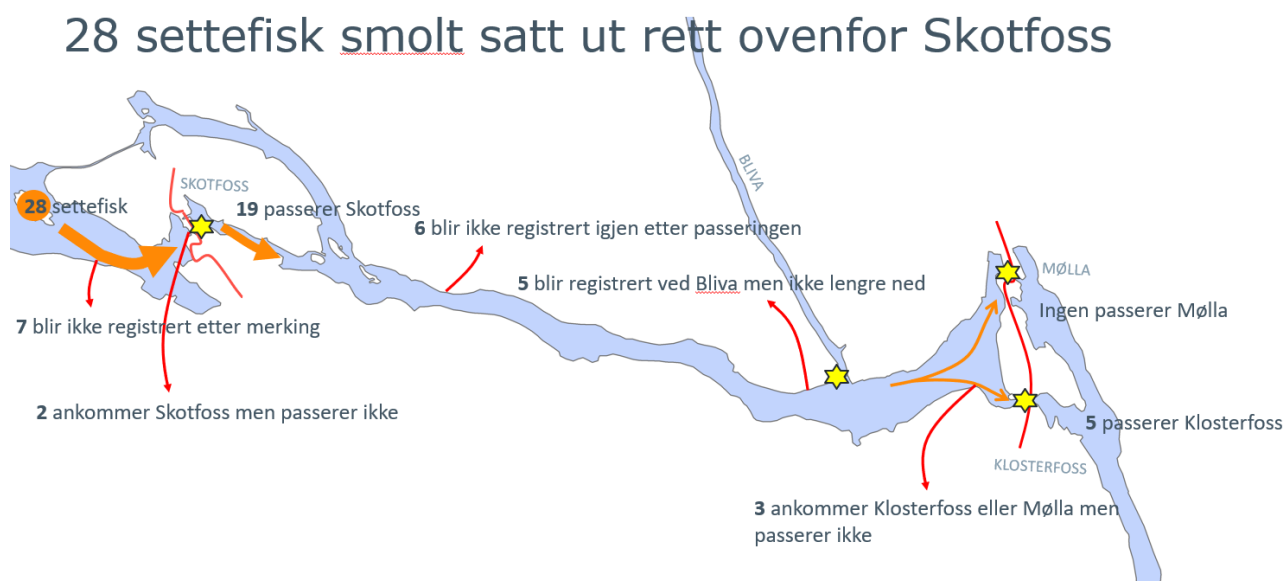
5.2 Nedvandring forbi Skotfoss 2022 og 2024

I 2022 og 2024 ble det gjennomført en serie med eksperimenter med radiomerket smolt settefisk for å undersøke valg av vandringsveier, tidsbruk og overlevelse når smolt passerte Skotfoss, og deretter nedvandring til og passering av Skiensfallene, hvor smolten enten kan velge å følge hovedstrømmen og passere over Klosterfoss, eller alternativt passere over Mølla.

5.2.1 Nedvandring og overlevelse Skotfoss 2022

I 2022 ble det gjennomført et første eksperiment med utsetting av 28 radiomerkede klekkeri smolt rett oppstrøms (ca. 350 m) dammen ved Skotfoss (Fig. 29).

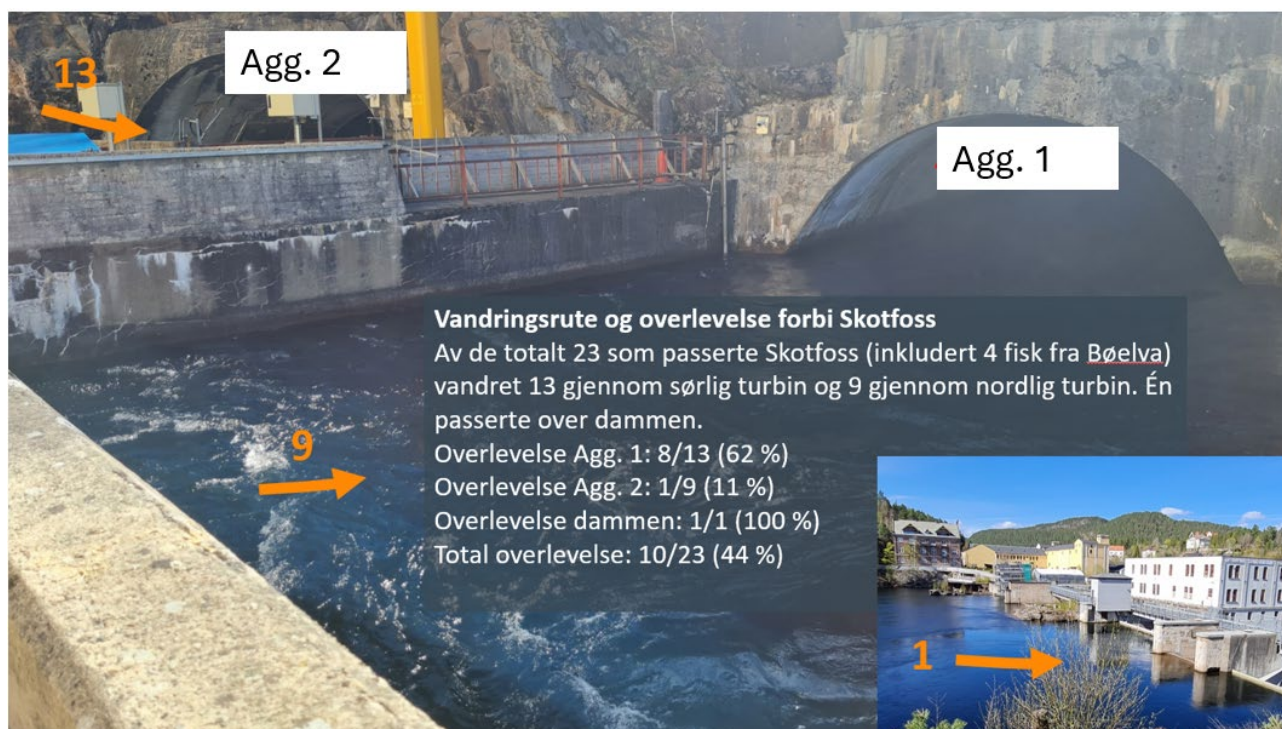
Av disse 28 utsatte laksesmoltene ble 21 registrert ved dammen på Skotfoss (Fig. 29). At 7 ikke ble registrert etter utsetting, skyldes sannsynligvis predasjon og/eller feilvandring/residualisering ut i Norsjø (se senere). To av de 21 som ankom Skotfoss ble stående oppstrøms dammen uten å passere (innen batterienes levetid), mens 19 passerte Skotfoss. Av disse ble 6 aldri registrert igjen (dvs. forsvant i Farelva), og fem smolt forsvant i Hjellevannet. Dette tilsvarer et tap på ca. 60 % over strekningen på ca. 4,5 km, dvs. et relativt høyt tap på ca. 13 % per km. Av de 19 som passerte Skotfoss, var det 8 som vandret ned til Skiensfallene.



Figur 29. Av 28 radiomerkede laksesmolt satt ut oppstrøms Skotfoss i 2022, var det 21 som ankom Skotfoss og 19 som passerte dammen ved Skotfoss. Av disse var det 8 som ankom Skiensfallene (42 %), og 5 av disse passerte Klosterfoss (62,5 %).

5.2.2 Vandringsvei og tidsbruk Skotfoss 2022

De aller fleste smolt som ankom Skotfoss i 2022 (21 fra eksperiment over, pluss 4 fra Bøelva), fant ganske raskt en vandringsvei forbi kraftverket (23 av 25 smolt, 92 %; Fig. 26). Av de totalt 23 smolt som passerte Skotfoss (inkludert 4 fisk fra Bøelva) i 2022, vandret 13 gjennom Agg. 1 og 9 gjennom Agg. 2). Én passerte over dammen (Fig. 30). Mulighetene for å vandre over dammen var ytterst begrenset. Overløp dam i aktuelle nedvandringsperiode var kort og sporadisk pga. de ekstremt lave vannføringene i 2022 (01.05.15.06.2022: ingen dager med vannføring over maksimal slukeevne 280 m³/s).



Figur 30. Laksesmolt vandringsveier forbi Skotfoss i 2022. Av de totalt 23 smolt som passerte Skotfoss (inkludert 4 fisk fra Bøelva), vandret 13 gjennom Agg. 1 (nordlig) og 9 gjennom Agg. 2 (sørlig). Én passerte over dammen.

For de 23 smolt som fordelte seg på de tre mulige vandringsveier og passerte Skotfoss, var overlevelse (= de som de ankom Skiensfallene) gjennom Agg. 1 8 av 13, dvs. 62 %, overlevelse gjennom Agg. 2 en av 9, dvs. 11 %, og overlevelse overløp dammen var en av en, dvs. 100 %. Den totale overlevelsen forbi Skotfoss og ned til Skiensfallene var dermed 10 av 23, dvs. 44 % (Fig. 30, Tab. 2). Denne overlevelsen er et minimumsestimat ettersom den også inkluderer vandringen gjennom Farelva og Hjellevannet.

Tabell 2. Andel radiomerket smolt 2022 og 2024 som ankom og passerte Skotfoss, ankom Skiensfallene og passerte enten Klosterfoss eller Mølla.

	2022 Skotfoss % (antall/totalt)	2022 utsatt nedstrøms Skotfoss/ Hjellevannet % (antall/totalt)	2024 Skotfoss % (antall/totalt)	2024 utsatt Hjellevannet % (antall/totalt)
Ankom og passerer Skotfoss	92 % (23/25)		67 % (47/70)	
Vandringsvei:				
Overløp	4 % (1/23)		70 % (33/47)	
Agg. 1	57 % (13/23)		21 % (10/47)	
Agg. 2	39 % (9/23)		9 % (4/47)	
Ankom Skiensfallene (overlevelse):				
Overløp	100 % (1/1)		61 % (20/33)	
Agg. 1	62 % (8/13)		50 % (5/10)	
Agg. 2	11 % (1/9)		50 % (2/4)	
Samlet overlevelse Skotfoss/Hjellevannet-Skiensfallene	44 % (10/23)	43 % (13/30)/		
Tap (% per km)		63 % (17/27)	58 % (27/47)	

	10 %	12,5 %/24,5 %	9,5 %	
Ankom og passerer Skiersfallene fra oppstrøms/ nedstrøms Skotfoss	70 % (7/10)	70/86,5 % (7/10+26/30)	92,5 % (25/27)	91 % (41/45)
Vandringsvei:				
Klosterfoss	86 % (6/7)	86/65 % (6/7+17/26)	88 % (22/25)	33 % (15/45)
Mølla	14 % (1/7)	14/35 % (1/7+9/26)	12 % (3/25)	57 % (26/45)

Tidsbruken til de 23 smolt som passerte Skotfoss i 2022 varierte som forventet mellom individer, men viste likevel noen mønstre (Fig. 26). Etter ankomst Skotfoss, passerte de fleste smoltene ganske raskt, median 8,2 timer (0,1 minutt - maksimum 14,6 døgn, n = 23). De 22 smoltene som gikk inn i turbininntakene (13 gjennom sørlig turbin og 9 gjennom nordlig) ble raskt dratt gjennom (median 2,7 minutter; 1,4 min – maks 2,1 døgn, n = 22). Fire smolt nøyte og brukte lengre tid foran turbinene (hhv. 4, 6 og 10 timer og 2,1 døgn). Fra de hadde passert Skotfoss til de ble registrert på Klosterfoss (n = 9) eller Mølla (n = 1) gikk det median 4,0 døgn (0,5 til 31,4 døgn) (Fig. 27).

Mediantider forbi Skotfoss

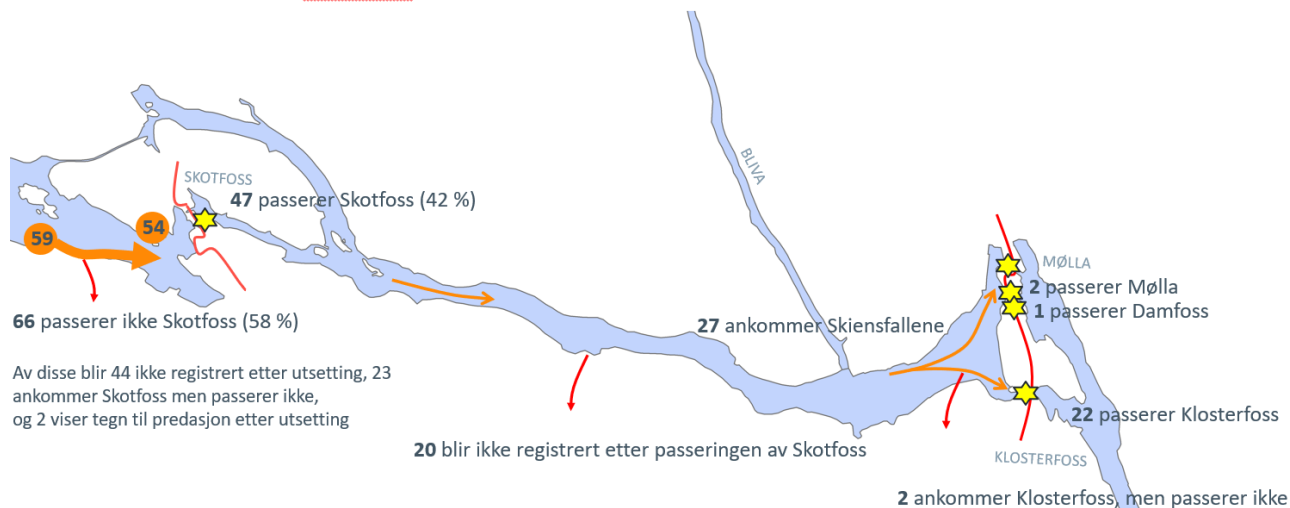


Figur 31. Tidsbruken til 23 smolt som passerte Skotfoss i 2022 viste at smolt passerte ganske raskt etter at de først kom fram til dam, overløp og turbininntak. Median tid til passering var 8,2 timer, og de som gikk inn i en av turbinene ble raskt dratt gjennom på 2,7 minutter. Etter passering brukte smolten imidlertid ofte flere dager på å vandre ned til Skiensfallene, median 4 døgn.

5.2.3 Nedvandring og overlevelse Skotfoss 2024

I 2024 ble det gjennomført eksperimenter med utsetting av 186 radiomerkede settefisk laksesmolt fordelt på 4 grupper: 59 ca. 1500 m. oppstrøms Skotfoss dammen, 54 rett oppstrøms (ca. 350 m.) Skotfosdammen, 44 øverst i Hjellevannet (oppstrøms innløp Falkumelva) og 29 ved Hjellevannet (Eidet/Mølla) (Fig. 17).

113 smolt satt ut ovenfor Skotfoss



Figur 32. Av 113 radiomerkede laksesmolt satt ut oppstrøms Skotfoss i 2024, var det 70 som ankom Skotfoss og 19 som passerte dammen ved Skotfoss. Av disse var det 8 som ankom Skienfallene (42 %), og 5 av disse passerte Klosterfoss (62,5 %).

Av disse 113 utsatte laksesmoltene satt ut på oversiden av Skotfoss ble 70 registrert ved dammen på Skotfoss (Fig. 32). At 41 ikke senere ble registrert etter utsetting, skyldes som i 2022, sannsynligvis predasjon og/eller feilvandring/residualisering ut i Norsjø. For to smolt som ankom Skotfoss, indikerte atferds-data at de var spist av predator. Av de 70 som ankom Skotfoss, ble 23 registrert ved dammen eller turbininntakene, men passerte ikke, mens 47 smolt passerte, dvs. 67 %. Dette er en noe lavere andel enn i 2022 da 92 % av smolt som ankom Skotfoss, også passerte Tab. 2). Av de 47 som passerte dammen i 2024, ble 20 senere ikke registrert, dvs. forsvant på vei ned Farelva og Hjellevannet. Dette tilsvarer et tap på ca. 43 % over strekningen på ca. 4,5 km, dvs. liksom i 2022 et relativt høyt tap på ca. 9,5 % per km (2022: ca. 13 % per km).

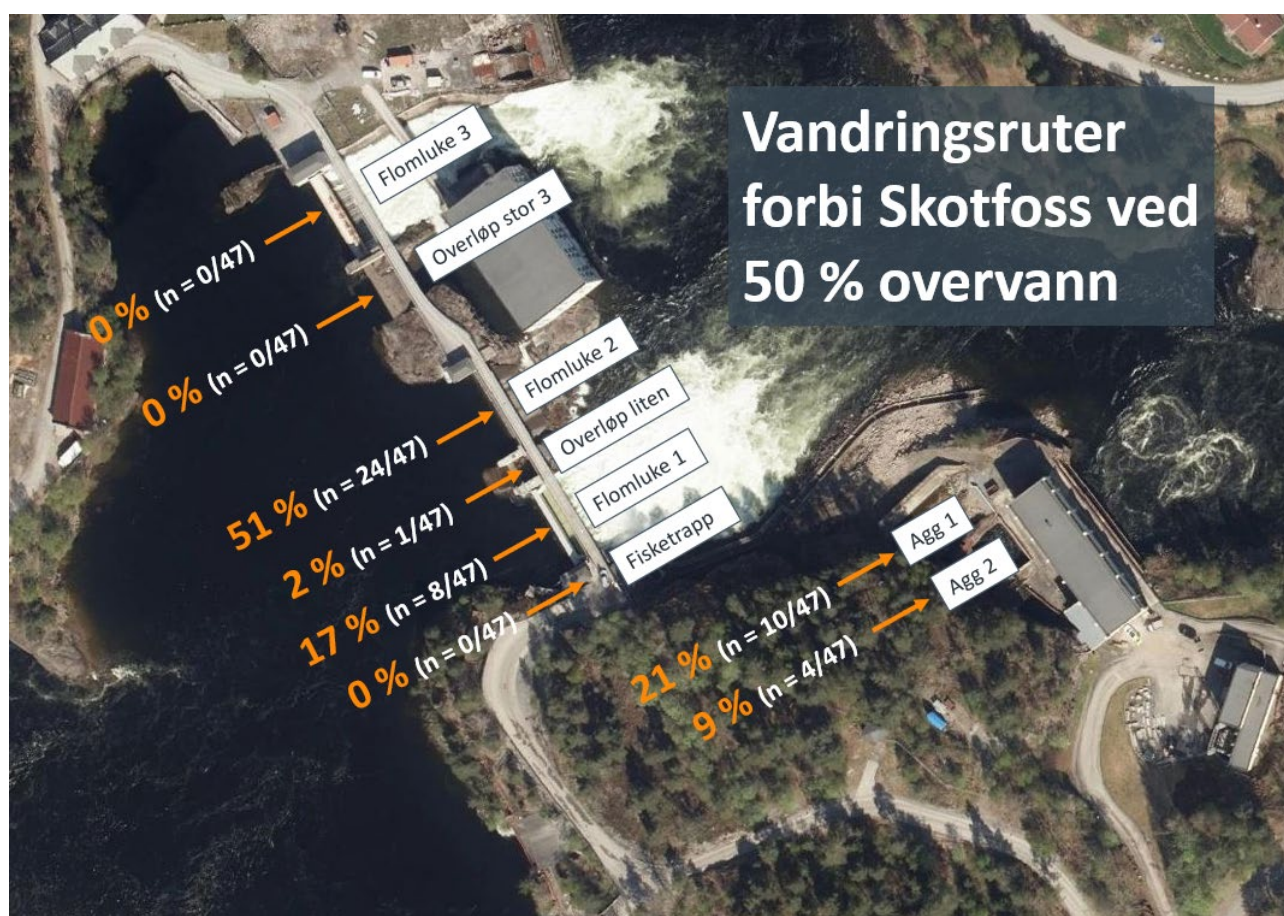
Av de 27 merkede smolt som ankom Skienfallene, ble 2 værende oppstrøms dammene. Av de 25 smolt som passerte Skienfallene, vandret 22 smolt med hovedstrømmen og passerte ned Klosterfoss (Fig. 32). Både i 2022 og 2024 fulgte derfor langt de fleste smoltene hovedstrømmen og passerte over Klosterfoss; 88 % i 2024 og 100 % i 2022, men data fra bare 5 smolt. Kun 2 smolt passerte over Mølla og 1 over Damfoss (Fig. 32).

5.2.4 Vandringsvei og tidsbruk Skotfoss 2024

I 2024 ble vannet over Skotfoss eksperimentelt og systematisk fordelt med 50 % overvann dam (primært flomluke 2 klappeluke vurdert som beste nedvandringsvei over dammen; øvrige flomluker, først flomluke 1, åpnet ved behov) og 50 % i turbiner, med en øvre begrensning bestemt av slukeevnen. Vannføringen i 2024 var høyere enn normalt i

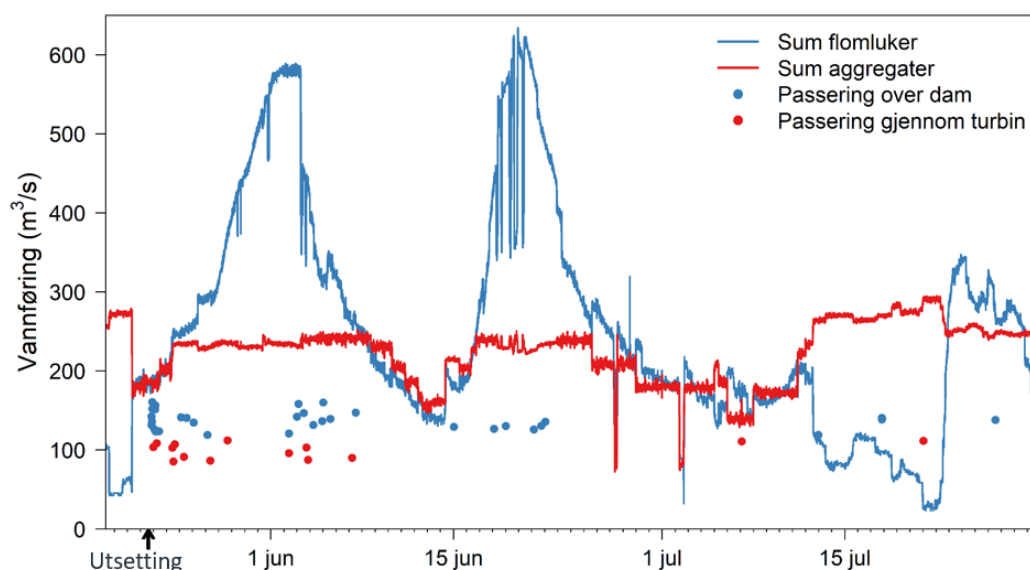
utvandningsperioden 01.05. - 15.06.2024 med en midlere vannføring på 491,0 m³/s, minimum 297,4, maksimum 815,1)

Dette ga en tydelig respons sammenlignet med tidligere år. Av de totalt 47 smolt som passerte Skotfoss i 2024, vandret 33 smolt (70 %) over dammen, mens 14 (30 %) gikk i turbinene (Fig. 33). Av de sistnevnte gikk, på samme måte som i 2022, de fleste (n = 10) gjennom Agg. 1 (nordlig turbin), mens 4 gikk gjennom Agg. 2 (sørlig turbin). Av de smolt som gikk over dammen, gikk de fleste i flomluke 2 som også var den som alltid førte overvann. De øvrige lukene ble tatt i bruk ved høyere vannføringer, og da først flomluke 1 (Fig. 33). Smoltens passering av Skotfoss særlig tidlig i sesongen, synes være knyttet til høyere vannføringer og særlig til endringer i vannføringene, både start på økning og kulminering av høyere vannføringer (Fig. 34).



Figur 33. Systematisk fordeling av vannet over Skotfoss i 2024 med 50 % overvann dam og 50 % i turbiner, ga en klar respons sammenlignet med tidligere år; flere smolt vandret over dammen. Av 47 smolt som passerte Skotfoss i 2024, vandret 33 smolt (70 %) over dammen og 14 (30 %) gikk i turbinene. Merk at alternative vandringsveier over luker ikke er direkte sammenlignbare, og bare Flomluke 2 (klappluke, vurdert som beste nedvandningsvei) hadde overvann gjennom hele utvandringssesongen.

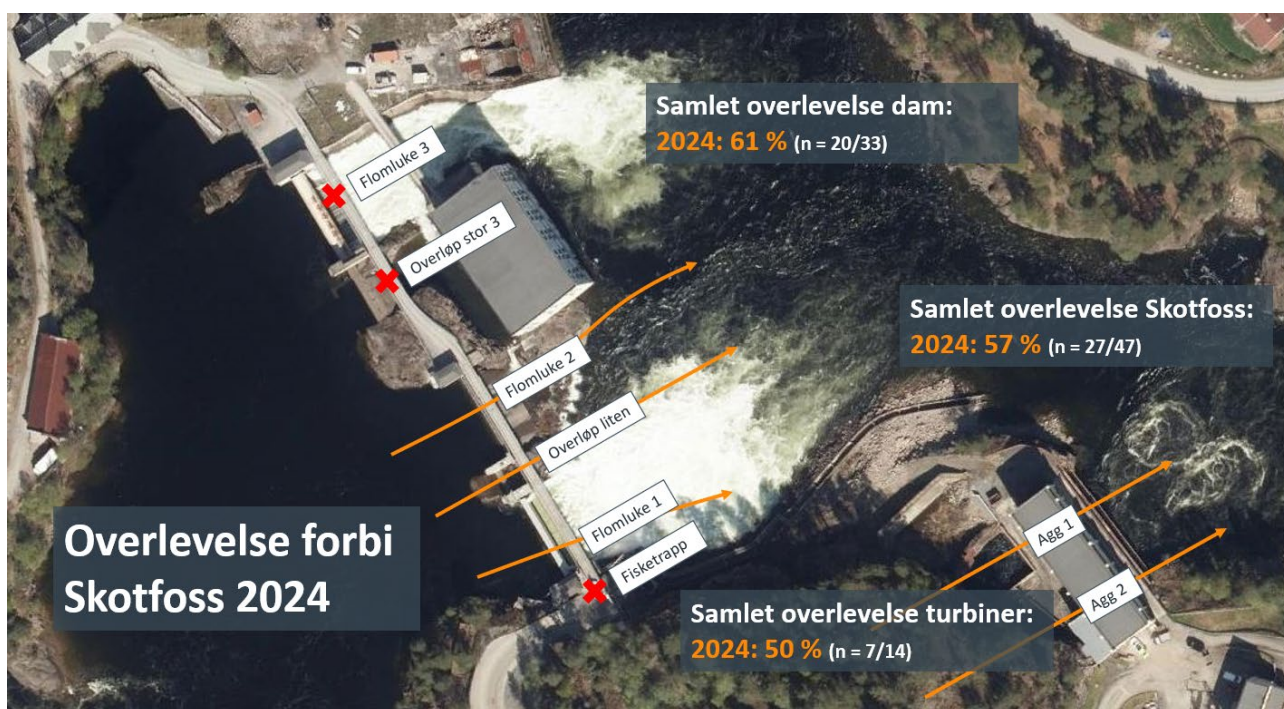
Vannføring mot passeringer ved Skotfoss



Figur 34. Smoltens passering av Skotfoss (2024 data, driftsregime 50 % overvann og 50 % turbinvann) særlig tidlig i sesongen, synes være knyttet til høyere vannføringer og særlig til endringer i vannføringene, både start på økning og kulminering av høyere vannføringer.

På samme måte som i 2022 og 2023, fant de aller fleste av de 47 smolt som passerte Skotfoss i 2024 etter ankomst ganske raskt en vandringsvei forbi kraftverket, særlig de som gikk med overløpet over dammen med median tidsbruk på 40 minutter (minimum 1,4, maksimum 92801). De smoltene som gikk inn i turbinene, brukte imidlertid betydelig lengre tid, median 302 minutter (minimum 2,7, maksimum 83594).

De 47 smolt som passerte Skotfoss i 2024, fordelte seg med 33 over dam og 14 gjennom turbinene. Gjennom turbinene, var overlevelse (= de som de ankom Skiensfallene) i Agg. 1 (sørlig turbin) 5 av 10, dvs. 50 %. Overlevelse i Agg. 2 (nordlig turbin) var 2 av 4, dvs. også 50 %, og dermed var samlet overlevelse gjennom turbinene 50 % (7 av 14). Overlevelse overløp dammen var 20 av 33, dvs. 61 %. Den totale overlevelsen forbi Skotfoss og ned til Skiensfallene var dermed 27 av 47, dvs. 57 % (Fig. 35, Tab. 2). Denne overlevelsen er et minimumsestimat ettersom den også inkluderer vandringen gjennom Farelva og Hjellevannet.



Figur 35. Laksesmolt vandringsveier og overlevelse forbi Skotfoss i 2024. Av de totalt 47 smolt som passerte Skotfoss, og 27 som ankom Skiensfallene (57 % overlevelse), overlevde 61 % vandring over dammen (20 av 33), og 50 % gjennom turbinene (7 av 14). For detaljer, se Vedlegg 2.

Det bemerkes spesielt at overløp flomluke 2 har en uheldig utforming med sterk strøm mot en fjellnabbe. Dette kan medføre økt dødelighet av smolt (Fig. 36).



Figur 36. Overløp rett nedstrøms flomluke 2 (her sett nedstrøms fra damkrone) har en uheldig utforming idet sterk strøm møter en fjellnabbe.

Tidsbruken til de 27 smolt som passerte Skotfoss i 2024 og til de ble registrert ved Skiensfallene, varierte mye, men var gjennomgående lengre enn i 2022, med median 8,5 døgn (minimum 1,2 timer, maksimum 70,5 døgn), mot median 4 døgn (0,5 til 31,4 døgn) i 2022.

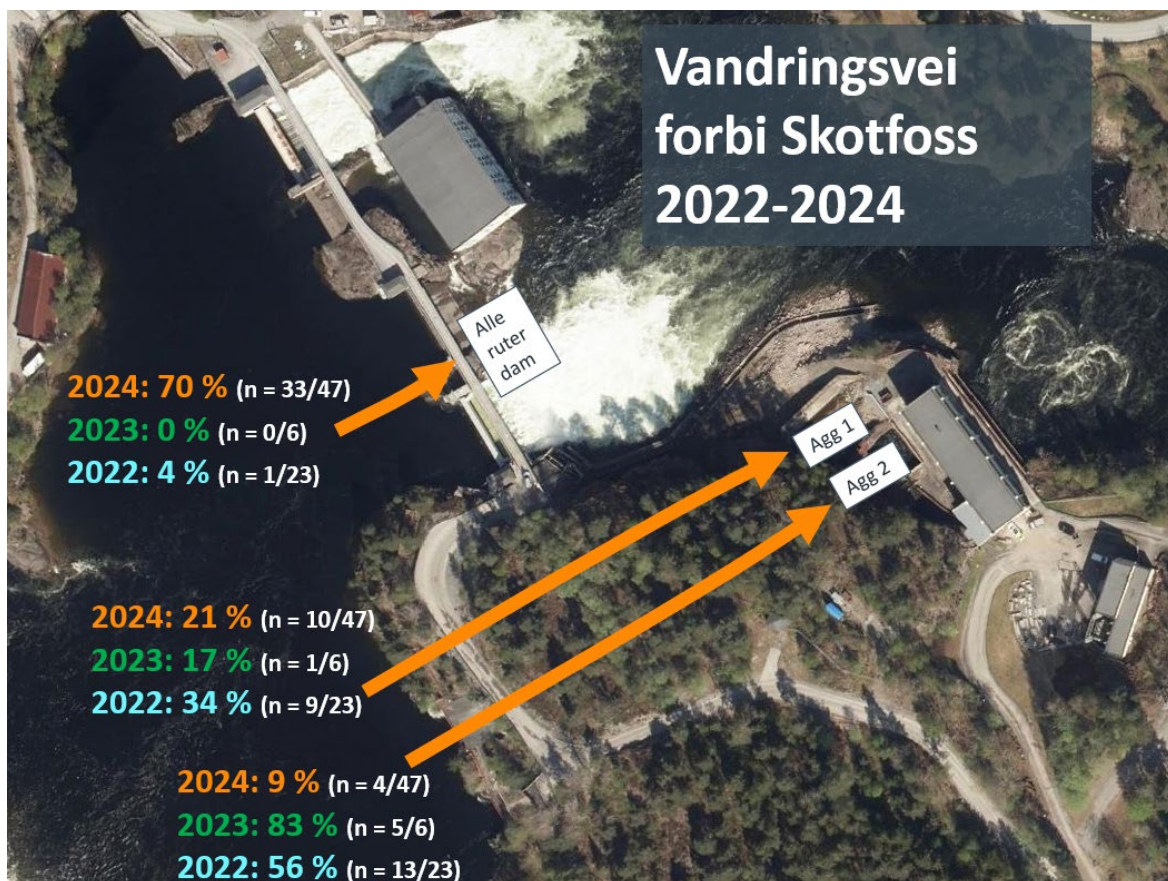
5.2.5 Vandringsvei og overlevelse Skotfoss: Alle data 2022-2024

Dette prosjektet er gjennomført over flere år og med et betydelig antall merket smolt. Antall merket smolt var likevel relativt beskjedent i forhold til antallet som naturlig vandrer ut. For å få et bredest mulig datagrunnlag til å vurdere vandringsveier og overlevelse ved Skotfoss, har vi satt sammen alle år og all radiomerket smolt. Det må da tas hensyn til at det bl.a. er ulike antall og opprinnelse på smolt i de ulike år, delvis noe ulik spissing av forsøk og utsettingssteder mellom år, de ulike årene representerer ulike hydro-fysiske forhold, særlig mht. vannføring, og at manøvreringen ved Skotfoss var annerledes særlig i 2024.

Langt de fleste laksesmoltene som ankom Skotfoss, passerte Skotfoss (2022: 92 %, 23 av 25 smolt; 2023: 100 %, 6 av 6 smolt; 2024: 67 %, 47 av 70 smolt. Smolten passerte videre ganske raskt, i løpet av noen timer, men de som gikk inn i turbinene nølte og brukte betydelig lengre tid (2022 gjennom turbin: median 8,2 timer, n = 23; 2024: i overløpet over dammen median 40 minutter, gjennom turbinene median 302 minutter).

Det er vanlig at smolt er overflateorientert og følger hovedstrømmen (se oversiktsartikkel Coutant and Whitney 2000). Denne går ofte mot turbininntak, men tiltak for å unngå turbininntak som alternative vandringsveier med over-/forbiløp og ulike typer lede- og skremme-anordninger, kan med varierende effektivitet påvirke dette (e.g., Schilt 2007, Noonan et al. 2012, Silva et al. 2018). Smolt går som regel inn i turbininntakene 'baklengs' med hodet orientert mot strømmen, men vil ved den raske passasjen gjennom turbinene som regel være prisgitt de sterke og sammensatte vannstrømmene i turbinene (Coutant and Whitney 2000).

Nær all smolt som passerte Skotfoss i 2022 og 2023 gikk gjennom turbinene (Fig. 37), naturlig nok ettersom det var lite eller intet overløp over dammen, særlig på de lave vannføringene i 2022 (Fig. 28, 37). I 2024 ga naturlig høye vannføringer og manøvrering med minimum 50 % overløp på dam, en sterk respons ved at 70 % av smolten passerte over dammen og 30 % gjennom turbinene.

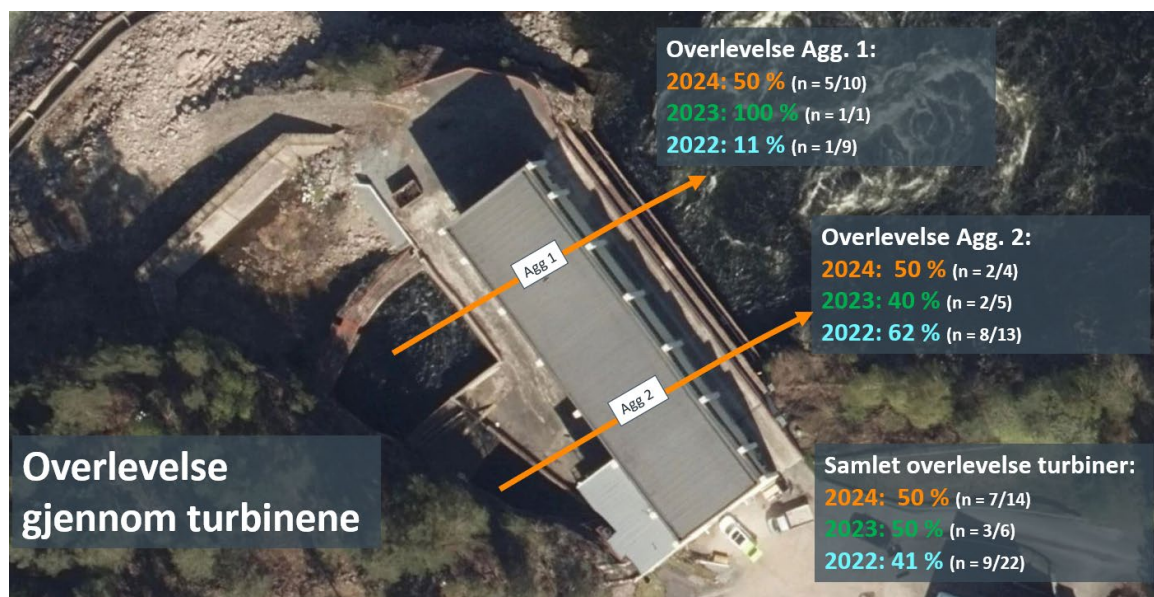


Figur 37. Laksesmolt vandringsveier forbi Skotfoss i 2022-2024. Ved 50 % vann i overløp dam i 2024, valgte 70 % av smolten å passere over dammen.

Ettersom de eksperimentelle dødfisk gruppene viste at ingen død smolt driftet hele veien ned Farelva til Skiensfallene, kunne vi anta at levende fisk som passerte Skotfoss som også nådde Skiensfallene, hadde overlevd passeringen ved Skotfoss, og begrunne overlevelses estimatene. Dette er minimumsestimater. Tapet av smolt som rapporteres her, innbefatter summen både av dødelighet forårsaket av passeringen av Skotfoss og dødelighet på strekningen Farelva/Hjelle vannet ned til Skiensfallene. Ettersom død smolt også kan drive ned Farelva, lar det seg ikke gjøre å skille på hvor mye av den rapporterte dødeligheten som var rent relatert til selve passeringen av kraftverket, og hvor mye som var forårsaket av tap (sannsynligvis predasjon) på strekningen på nedsiden. En del smolt ville trolig dødd på denne strekningen uavhengig av om det var en dam og et kraftverk eller ikke ovenfor. Dette er vanskelig å finne ut av selv med andre metoder (for eksempel radiosendere med predasjonssensorer), da fisk som passerer Skotfoss kan skades eller belastes på en måte slik at de kan være ekstra utsatt for predasjon.

Av smolt som passerte Skotfoss over dammen i 2024 overlevde 61 % i 2024 (20 av 33 smolt) (Fig. 35). Smolt passerte gjennom turbinene i alle tre undersøkelsesår. Overlevelse var 41 - 50 %, dvs. lavere gjennom turbinene enn over dammen, (Fig. 35, 38). Det var for

lite data til å sammenligne og ev. se noen tydelig forskjell i overlevelse hos smolt som passerte de to alternative turbinene (Fig. 38).



Figur 38. Laksesmolt overlevelse gjennom turbinene forbi Skotfoss og ned til Skiensfallene i 2022-2024.

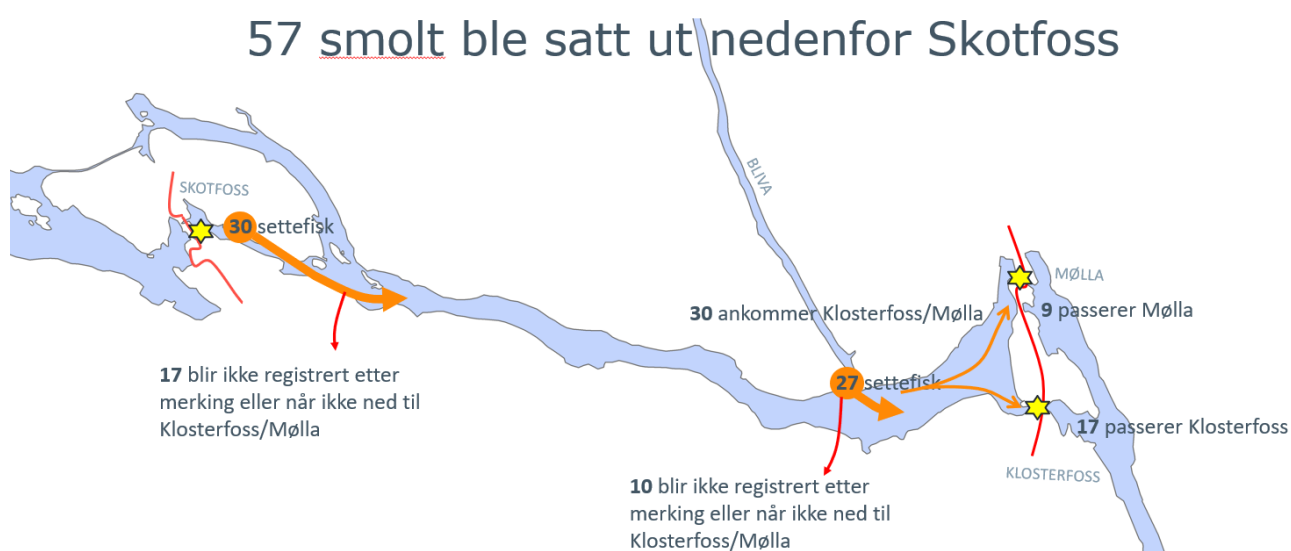
Turbinpassasje medfører dødelighet fordi fisk treffes av turbinskovlene. Følgelig vil dødelighet avhenge bl.a. av type turbin, som i Skotfoss er Kaplan, og øke bl.a. med fiskestørrelse, men vil også kunne påvirkes av pre- og post-stress, f.eks. nedstrøms gassovermetning (e.g., Coutant and Whitney 2000, Algera et al. 2020, Radinger et al. 2022). Turbindødelighet for smolt (ca. 9-17 cm) i Skotfoss er tidligere estimert til 20-25 %, og høyest i Skotfoss II (Skåre et al. 2006), basert på litteratur data (e.g., Radinger et al. 2022) og simuleringer av treffsannsynlighet i turbiner. For nedvandrende vinterstøinger (over ca. 40 cm) ble det antatt 100 % dødelighet. Økt overløp og lede/skremmeanordninger ble pekt på som mulige tiltak. I en nyere beregning simulerte Afry (2024) igjen treffsannsynlighet for de to turbinene i Skotfoss basert på en alternativ modell (Montén 1985, Leonardsson 2014). Modellen fant betydelig lavere turbindødelighet/treffsannsynlighet med median ca. 4–9 % tap for fisk 10-20 cm ved en vannføring på 100 m³/s. tap, økende ved lavere vannføringer og svakere avtagende ved høyere vannføringer. Tilsvarende ble tap for 90 cm fisk, f.eks. vinterstøing, beregnet til ca. 35 % ved 100 m³/s. Vi fant en faktisk overlevelse på radiomerket smolt som gikk gjennom turbinene (totalt) forbi Skotfoss og ned til Skiensfallene på 40-50 %. Gitt at vi av metodiske grunner også må inkludere naturlig dødelighet på strekningen ned til Skienfallene, kan dette samsvare med tidligere modellert smoltoverlevelse (basert på treffsannsynlighet), men sannsynligvis nærmere en overlevelse på 75-80 % enn over 90 % gjennom turbinene på Skotfoss. Det kommer uansett en vesentlig tilleggs dødelighet på strekningen Skotfoss-Skiensfallene.

Tiltaket med 50 % overløp dam i nedvandingsperioden for smolt, ga god respons, ettersom 70 % av smolten vandret i overløpet over dammen (se oversiktsartikkel Noonan et al. 2012). Estimert overlevelse for denne smolten var høyere, 61 %. Overfallet i flomluke 2 hvor de fleste smoltene passerte, har dessverre en utforming som kan være utfordrende for passerende smolt (Fig. 36).

5.3 Nedstrøms Skotfoss til Skiensfallene 2022 og 2024

5.3.1 Vandringsvei og overlevelse nedstrøms Skotfoss 2022

I 2022 ble det også gjennomført eksperimenter med utsetting av 30 radiomerkede settefisk laksesmolt rett nedstrøms Skotfoss og 27 ved innløp Falkumelva i Hjellevannet. (Fig. 39).



Figur 39. Av 30 radiomerkede laksesmolt satt ut nedstrøms Skotfoss i 2022, forsvant 17 på vei ned til Skiensfallene. Av 27 merket smolt satt ut ved innløp Falkumelva i Hjellevannet, forsvant 10 i Hjellevannet. Av 26 smolt som passerte Skiensfallene, vandret 17 med hovedstrømmen over Klosterfoss, mens 9 passerte ved Mølla.

Av de 30 radiomerkede settefisk laksesmolt satt ut rett nedstrøms Skotfoss, forsvant 17 smolt, dvs. 57 %, på veien ned til Klosterfoss/Mølla, et tap gjennom Farelva og Hjellevannet på ca. 12,5 % per km. Av de 27 radiomerkede settefisk laksesmolt som ble satt i innløpet til Falkumelva i Hjellevannet, forsvant 10 smolt, dvs. 37 %, på veien ned til Klosterfoss/Mølla, et tap gjennom Hjellevannet på ca. 24,5 % per km (Tab. 2). Merk at tap her er for merket smolt direkte etter utsetting, og derfor ikke uten videre sammenlignbart med oppstrøms data som er for smolt som må forventes å ha lavere tap fordi de ble satt ut, akklimatisert og data er fra de smolt som selv valgte å vandre nedstrøms.

Av de 30 smoltene som ble registrert ved Skiensfallene (13 fra Skotfoss og 17 fra innløp Falkumelva), var det 26 som passerte, dvs. 86,7 %. Hoveddelen, 17 smolt (65 %), fulgte hovedstrømmen og passerte over Klosterfoss, mens 9 (35 %) passerte ved Mølla (Tab. 2, Vedlegg 3).

Av alle radiomerkede smolt i 2022, var det totalt 40 som ankom og 33 som passerte Klosterfoss (83 %). Av disse gikk 23 i Klosterfoss (70%) og 10 i Mølla (30 %) (Tab. 2). Av de som gikk i Klosterfoss, var det 2 smolt (9 %) som passerte via omløpstunnelen/smoltpassasjen.

I 2023 ble det ikke gjennomført tilsvarende eksperimenter, i det all merking var av vill smolt i Bøelva og Heddøla. Kun 6 vill smolt ankom og passerte Skotfoss, og av disse forvant 3 på veien ned, og de 3 som ankom Mølla/Klosterfoss fulgte hovedstrømmen og passerte over Klosterfoss (Fig. 26).

5.3.2 Vandringsvei og tidsbruk Skiensfallene 2024

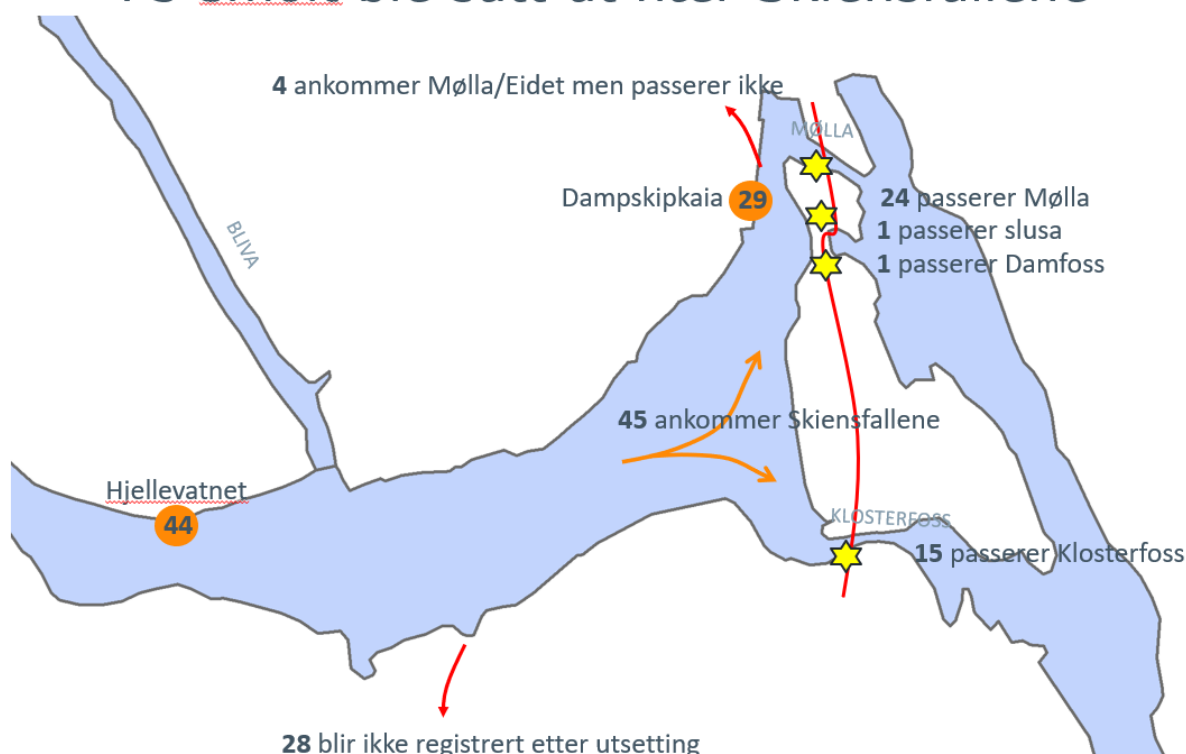
I 2024 fokuserte nedstrøms eksperimenter på vandringsveier mot Skiensfallene og funksjonalitet av fiskepassasje (omvandringssør) ved Klosterfoss. Eksperimentet med utsetting av radiomerkede settefisk laksesmolt øverst i Hjellevannet oppstrøms innløp Falkumelva i Hjellevannet ble derfor gjentatt i 2024, med utsetting av 44 merket smolt (Fig. 40). I tillegg ble det satt ut 29 smolt ved Hjelle (dampskipskaia rett overfor Eidet kraftverk/Damfoss/Møllefoss) spesielt for å undersøke vandringer og passering nær Eidet/Mølla.

Av de 44 smolt som ble satt ut i Hjellevannet, ble 26 ikke senere registrert, dvs. et tap på ca. 59 % eller ca. 13 % per km. Av de $44 + 29 = 73$ smolt som ble satt ut nær Skiensfallene (Hjellevannet + Hjelle), ble 28 ikke senere registrert, mens 45 smolt ankom Skiensfallene. I tillegg ankom 27 smolt fra utsettingene oppstrøms Skotfoss (Fig. 32), Av de 113 utsatt her, var det 47 som passerte Skotfoss, men 20 som forsvant, dvs. et tap ned Skotfoss-Farelva-Hjellevannet på ca. 42,5 % eller ca. 9,5 % per km, noe som er ganske nær tapet i 2022 (12,5 %, Tab. 2).

Av de til sammen $45 + 27 = 72$ merket smolt som ankom Skiensfallene, var det igjen en høy andel som passerte, 66 av 72, dvs. 92 % (Fig. 41). Av disse passerte 25 av 27 (92,5 %) fra oppstrøms Skotfoss (se kap. 5.2.3) og 41 av 45 fra smolt utsatt i Hjellevannet (Tab. 2). Igjen fulgte de fleste smoltene (37 stk.) hovedstrømmen og passerte over Klosterfoss, dvs. 56 % (Vedlegg 3). Det var 29 smolt (44 %) som passerte ved Eidet/Mølla. Av disse passerte nesten alle over Mølla, kun to smolt passerte over Damfoss og en smolt via sluse. Merk at 29 smolt ble satt ut nær Eidet/Mølla for å undersøke vandringsveiene her spesielt. Av disse

passerte nær alle (96 %) over Mølla, unntatt 1 som gikk over slusa (Fig. 40). Andelen av samlet antall smolt som vandret ut over Eidet/Mølla i 2024 er derfor ikke representativ, dvs. betydelig høyere enn for naturlig nedvandrende smolt. Av de 27 smoltene som i 2024 kom nedvandrende fra Skotfoss var det 25 som passerte Skiensfallene (92,5 %, Tab. 2, se kap. 5.2.3), og av disse passerte 22, dvs. 81,5 % over Klosterfoss og kun 3, dvs. 18,5 %, over Eidet/Mølla (Tab. 2). Dette er nær samme fordeling mellom de to vandringsalternativene som i 2023 og 2022, 80 – 90 % passerte over Klosterfoss (Tab 2) selv om vannføringene var ganske ulike disse årene.

73 smolt ble satt ut nær Skiensfallene

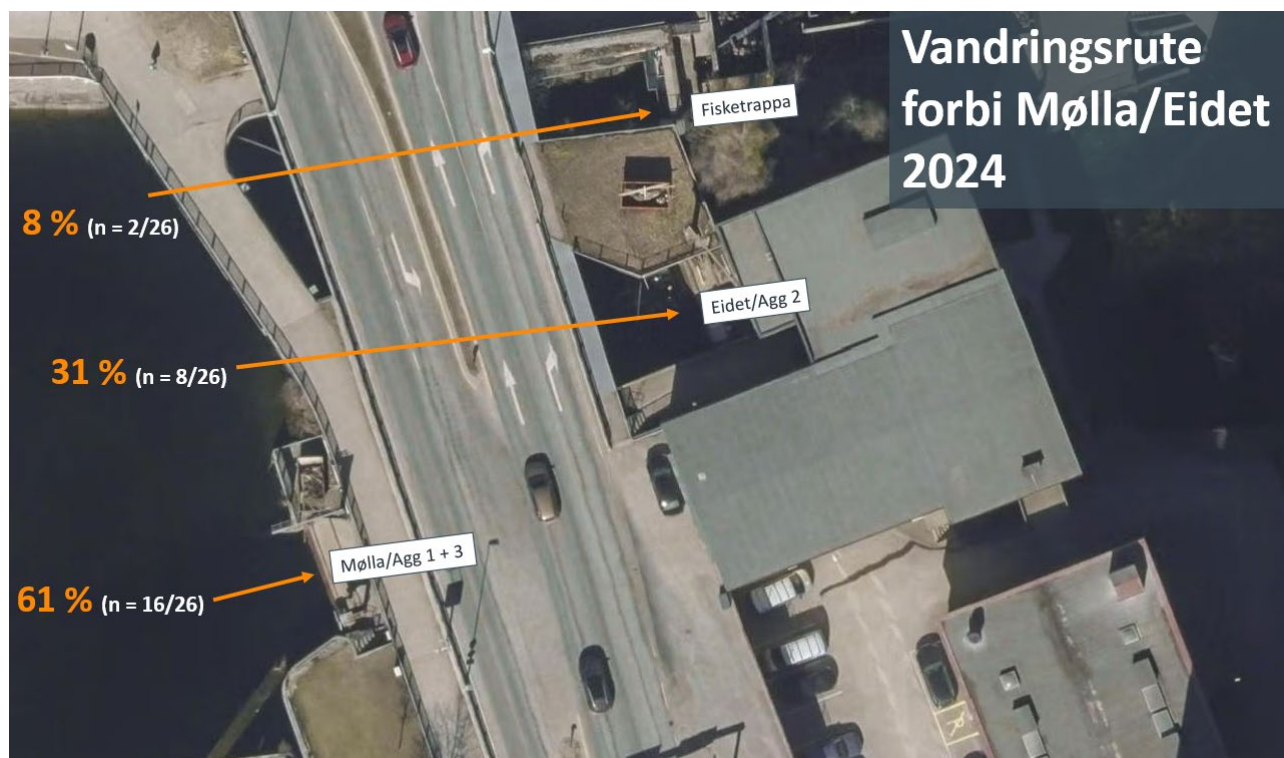


Figur 40. I 2024 ble eksperimentet med utsetting av radiomerkede settefisk laksesmolt øverst i Hjellevannet gjentatt for å undersøke vandringsveier mot Skiensfallene, med utsetting av 44 merket smolt. Det ble også satt ut 29 smolt ved Hjelle (dampskipkaia) spesielt for å undersøke vandring nær Eidet/Mølla, og 96 % av disse smoltene vandret ut over Mølla.

Gjennomgående brukte den radiomerkede smolten kort tid fra ankomst til passering, selv om detsom vanlig var mye individuell variasjon i tidsbruk, særlig pga. enkelte etternølere. Videre trenger klekkeri smolt satt ut nesten innenfor rekkevidde av antennene på Mølla, litt tid på å komme seg etter merking/utsetting og bli vandringsklare/helt smoltifisert. Dette forklarer sannsynligvis den lengre tiden i 2024 sammenlignet med tidligere data. I de relativt stillestående vannmassene ved Eidet/Mølla var median tid i 2024 mellom ankomst og passering 301,3 min. (minimum 9,9 – maksimum 21,6 døgn, $n = 26$). En smolt som passerte slusa brukte 679 min., mens de to smoltene over Damfoss gikk svært raskt, på hhv. 1,3 og

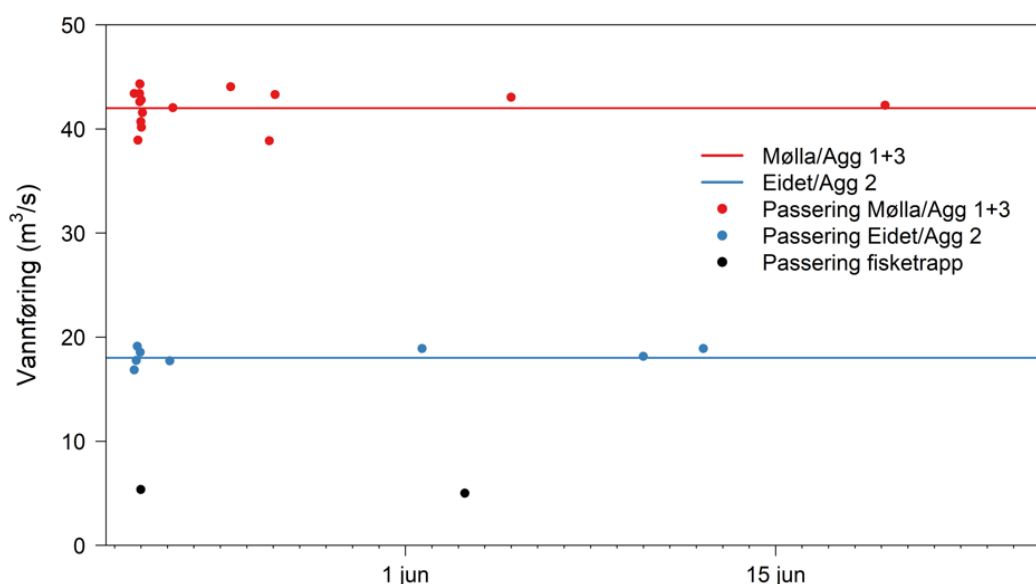
0,5 min. Dette vil variere med ev. åpning av slusene og vannføring over Damfoss. De 37 smoltene som passerte med hovedstrømmen gjennom turbinene på Klosterfoss, passerte også svært raskt, median 5,9 min. (0,3 – 7 døgn). For de to vandringsveiene Mølla og Klosterfoss har vi lite data fra 2023, mens tidsbruken varierer litt sammenlignet med 2022. I 2022 var median tid mellom ankomst og passering Eidet/Mølla kortere med 108,3 min. (minimum 1 – maksimum 69,6 timer, n = 10). For passering Klosterfoss var passeringstiden i 2022 betydelig lengre med 660 min. (1,4 min. – 4,9 døgn, n = 23). Det er nærliggende å anta at dette skyldes lave vannføringer i 2022. Vandringsvei og tidsbruk Eidet/Mølla 2024

Også ved passering Eidet/Mølla i 2024 fulgte smolten i all hovedsak vannføringen (Fig. 41) og gikk inn i turbinene. Data fra 2022 er ikke vist, fordi mye støy gjorde det vanskelig og for usikkert å ta ut vandringsrutene. I 2023 passerte ingen merket smolt Mølla/Eidet. I utvandringssesongen 2024 gikk aggregatene stabilt med full kapasitet, dvs. stabile vannføringer (Fig. 42). Av de 26 smoltene som passerte over Eidet/Mølla i 2024, gikk de fleste smoltene (61 %, 16/26) gjennom Agg. 1 + 3 som også hadde 70 % av vannføringen, mens 31 % av smolten (8/26) gikk gjennom Agg. 2, igjen omtrent sammefallende med ca. 30 % av vannføringen (Fig. 42). To smolt (8 %) vandret ned via fisketrappa.



Figur 41. Vandringsvier til 26 radiomerket smolt ved passering Mølla/Eidet i 2024. De fleste smoltene (61 %) passerte gjennom Agg. 1 + 3 med ca. 70 % av vannføringen. 8 smolt (31 %) vandret ned gjennom Agg. 2 med ca 30 % av vannføringen. To smolt vandret ned fisketrappa.

Vannføringer og passeringer ved Mølla/Eidet 2024



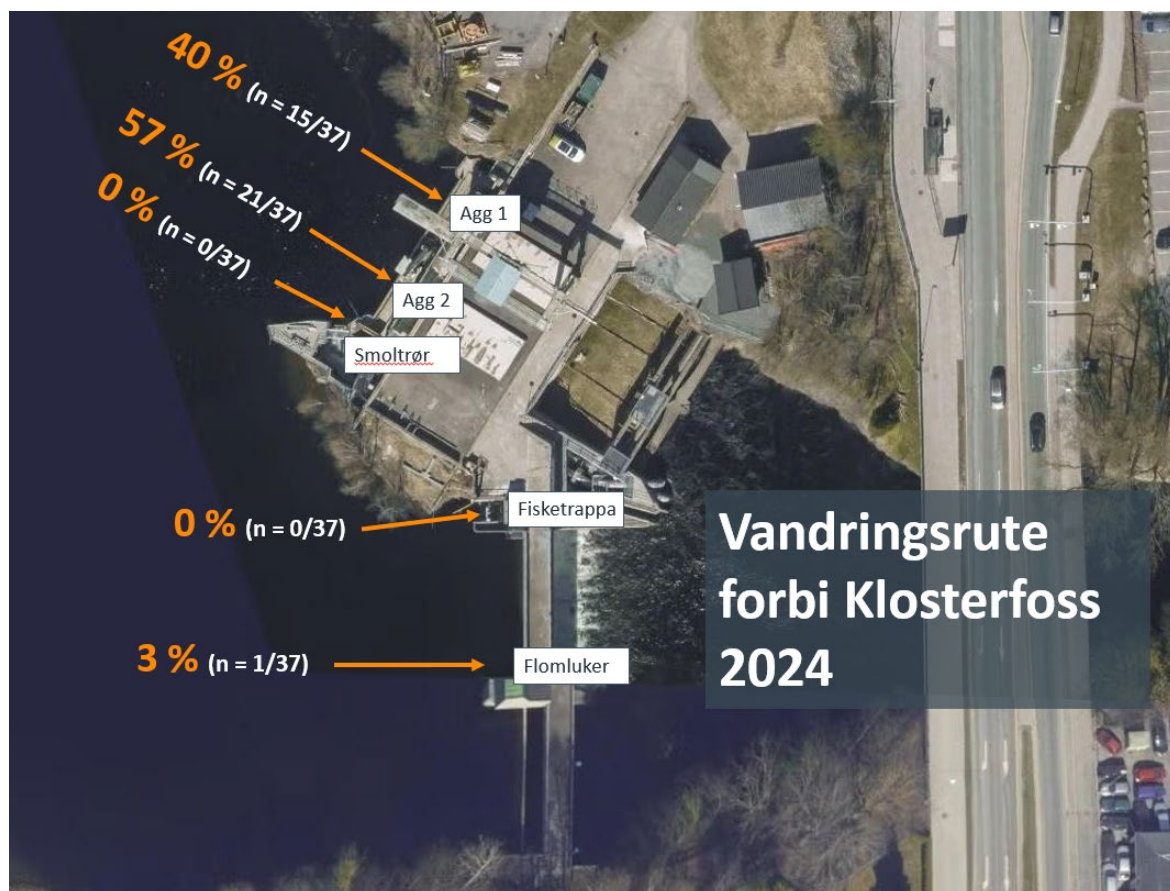
Figur 42. Av 26 radiomerket smolt som passerte over Eidet/Mølla i 2024, gikk de fleste smoltene (61 %, 16/26) gjennom Agg. 1 + 3 som hadde 70 % av vannføringen, mens 31 % av smolten (8/26) gikk gjennom Agg. 2, samsvarende med ca. 30 % av vannføringen. To smolt (8 %) vandret ned via fisketrappa.

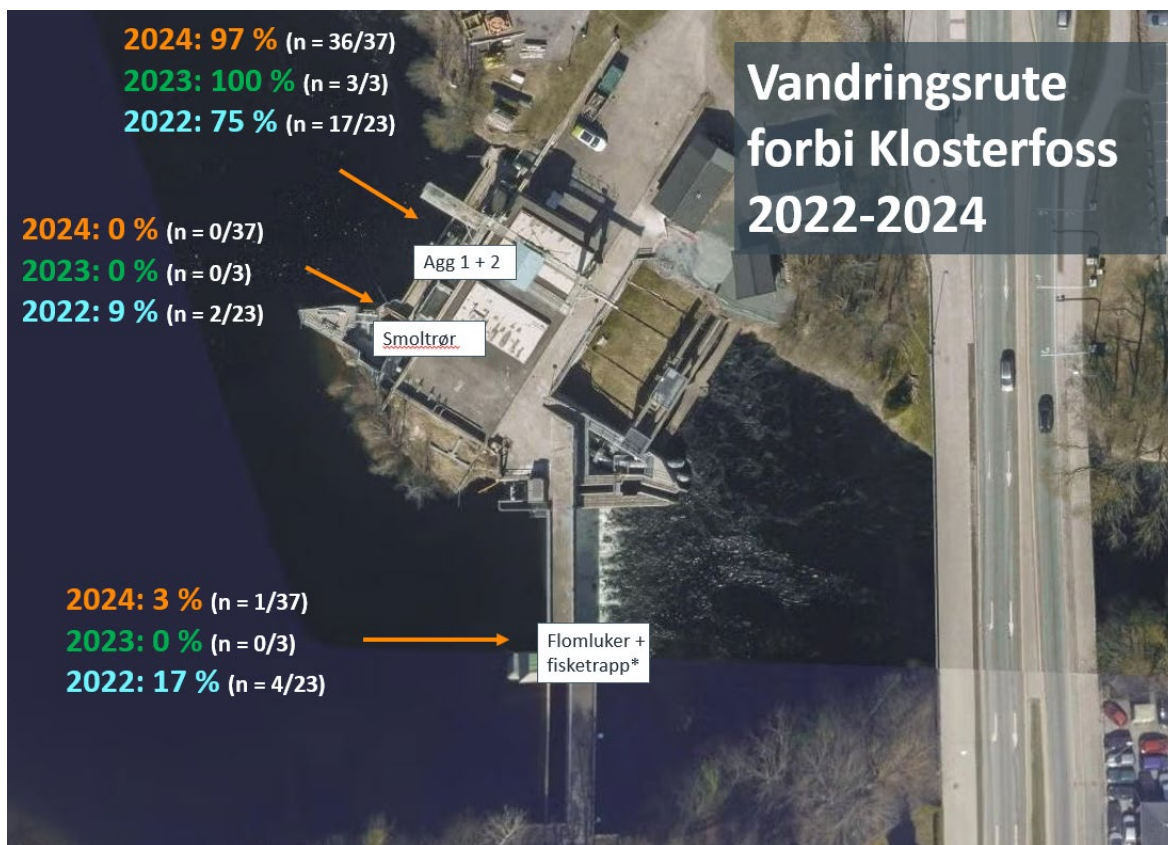
Smolten brukte omtrent like lang median tid fra ankomst til passering Eidet/Mølla som det vi fant for smolt ved Skotfoss (Fig. 31, kap. 5.3), men data er få og igjen med mye individuell variasjon. Dette gir usikre data som ikke bør tillegges større vekt. Ved Skotfoss brukte utsatt og vill smolt hhv. median 8,2 timer ($n = 23$) og median 4,1 timer ($n = 4$) fra ankomst til passering. Ved Eidet/Mølla var tidsbruk fra ankomst til passering for smolt som passerte Agg. 1 + 3 median 4,7 timer (9,9 min. – 5,4 døgn, $n = 16$) og for Agg. 2 4,1 timer (10,6 min. – 21,4 døgn, $n = 8$).

5.3.3 Vandringsvei og tidsbruk Klosterfoss 2024

Hovedvannføringen i Skiensfallene går over Klosterfoss, og 80-90 % av smolten som kom vandrende ned fra Skotfoss, passerte over Klosterfoss (Tab. 2). Smolt som følger hovedstrømmen mot Klosterfoss, møter turbininntakene før flomlukene, og synes igjen å passere der det går mest vann, dvs. turbin inntakene til Agg. 1 og 2 (Fig. 43). Nær alle smoltene (36/37) vandret ned gjennom turbinene, bortsett fra 1 som vandret over flomlukene. Så selv om det i 2024 tidvis gikk betydelige mengder vann over dammen (Fig. 43), gikk nesten all smolt i turbinene. Median tidsbruk fra ankomst til passering var svært kort, bare 16,7 min. (0,3 – 10036,2, $n = 15$) for Agg. 1 og median 3,7 min. (0,3 – 4376,8, $n = 21$) for Agg. 2.

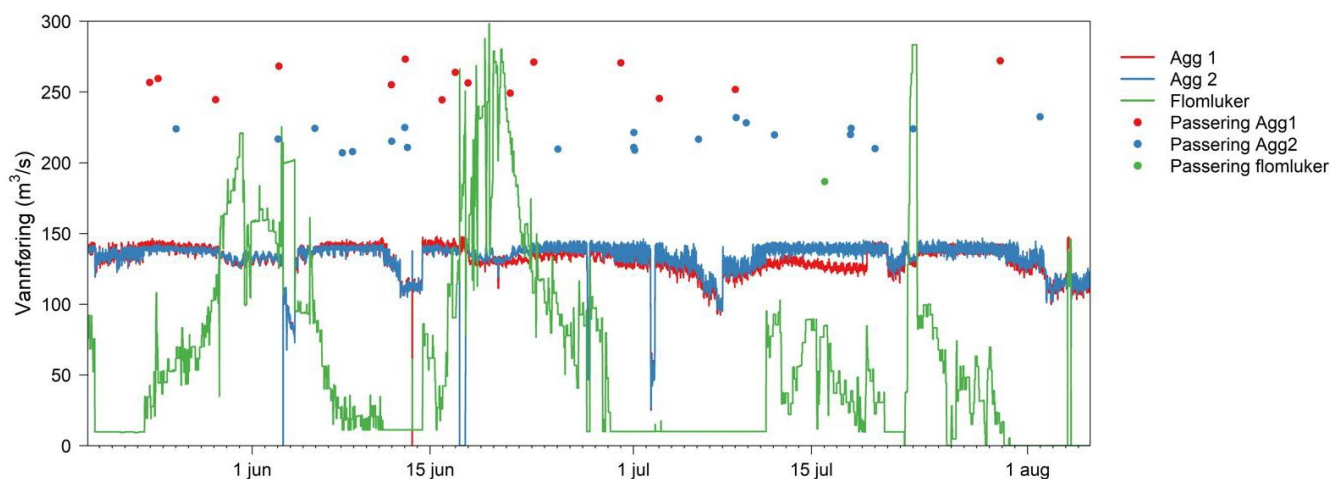
Selv om vannføring og antall merket smolt passert har variert betydelig mellom de tre undersøkelsesårene, synes dette hovedmønsteret å være det samme (Fig. 43, nederst).





Figur 43. Øverst: Vandringsveier til 37 radiomerket smolt ved passering Klosterfoss i 2024. Alle smoltene (15 + 21, 97 %) passerte gjennom Agg. 1 eller 2, unntatt 1 smolt som gikk over flomluken. Nederst: Data samlet for årene 2022-2024.

Vannføring og passeringer ved Klosterfoss



Figur 44. Vannføringer ved Klosterfoss 2024 og passeringer av radiomerket skolt. Selv om det tidvis gikk betydelige mengder vann over dammen, gikk nesten all smolt med hovedstrømmen inn i turbinenes inntak som smolten møter før flomlukene.

6 Konklusjoner

Vill laksesmolt vandrer ut fra de to hovedrekrutteringselvene på øvre anadrome strekning, Bøelva og Heddøla, fra sent april til midten av juni, med en topp omkring midten av mai. De bruker ca. 6-7 dager på å nedvandre gjennom Heddalsvannet og 4-5 dager gjennom Norsjø, men det er stor individuell variasjon.

Det er et stort tap av merket smolt gjennom den nedre innsjølignende delen av elvene og gjennom innsjøene til ankomst Skotfoss, i størrelsesorden mer enn 90 %. Det skyldes sannsynligvis stor predasjon og at laksesmolt i liten grad synes å navigere retningsbestemt i innsjøer uten markert strømdrag. Dette gjør bestandene sårbare for ytterligere tap.

De aller fleste radiomerkede smolt (80 – 90 %) som ankom Skotfoss og Klosterfoss, fant raskt en vandringsvei (innen et halvt døgn eller mindre) og passerte raskt forbi kraftverk og dam.

Ved Skotfoss gikk all smolt gjennom turbinene i 2022 da det ikke var overvann over dammen. Overlevelse ned til Skiensfallene var 41 % (9 av 22 smolt).

Med tilgang på forbitapping over dam Skotfoss i 2024 (50 % vannmengde i forbitapping og 50 % i turbiner) ga smolten respons. Den endret vandringsvei til at 70 % passerte via overløpet (33 av 47 smolt). Overlevelse ned til Skiensfallene var 61 %. De 30 % som gikk gjennom turbinene i 2024 hadde en overlevelse på 50 %. Overlevelser er minimumsestimer ettersom de også inkluderer naturlig dødelighet på vandringen ned Farelva og gjennom Hjellevannet.

Smoltens passering av Skotfoss særlig tidlig i sesongen, synes være knyttet til høyere vannføringer og særlig til endringer i vannføringene, både start på økning og kulminering av høyere vannføringer.

Selv om data er begrenset, indikerte utsetting av radiomerket settefisk laksesmolt rett nedstrøms Skotfoss (n = 30) og innløp Hjellevannet (n = 27) stort tap av smolt også ned Farelva og gjennom Hjellevannet (hhv. ca. 12,5 og 24,5 % per km, 2022 data).

I alle undersøkelsesår fulgte de fleste smolt som kom ned Farelva gjennom Hjellevannet, hovedstrømmen og passerte over Klosterfoss.

Av smolt utsatt i Hjellevannet, var det en høyere andel som passerte over Eidet/Mølla, og av smolt utsatt nær Eidet/Mølla i 2024, passerte nær alle over Mølla.

Smolt som følger hovedstrømmen mot Klosterfoss, møter turbininntakene før flomlukene, og synes å passere der det går mest vann. Nær all radiomerket smolt i 2024 (36/37) vandret ned gjennom turbinene, og bare én over flomlukene, selv om det tidvis gikk betydelige mengder vann over dammen.

Det ble i liten grad observert at smolten nyttet tilrettelagt omløpstunnel/smoltpassasje forbi Klosterfoss.

7 Litteratur

- Afry, P. 2024. Beräkning av förlust av fisk vid nedströms passage genom turbiner tillhörande Skien kraftproduksjon. AFRY PM.
- Akershus-Energi-AS. 2018. Konesjonssøknad Skotfoss Kraftverk, Skien kommune, Telemark fylke. Akershus Energi AS, Akershus-Energi-AS.
- Algera, D. A., T. Rytwinski, J. J. Taylor, J. R. Bennett, K. E. Smokorowski, P. M. Harrison, K. D. Clarke, E. C. Enders, M. Power, and M. S. Bevelhimer. 2020. What are the relative risks of mortality and injury for fish during downstream passage at hydroelectric dams in temperate regions? A systematic review. *Environmental Evidence* **9**:1-36.
- Bourgeois, C., and M. O'Connell. 1988. Observations on the seaward migration of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts through a large lake as determined by radiotelemetry and Carlin tagging studies. *Canadian Journal of Zoology* **66**:685-691.
- Carm, K., and O. Langkaas. 1993. Laks i Skiensvassdraget 1992 -Telemark Laksestyres virksomhet 1967-1992. Fylkesmannen i Telemark, Skien.
- Coutant, C. C., and R. R. Whitney. 2000. Fish behavior in relation to passage through hydropower turbines: a review. *Transactions of the American Fisheries Society* **129**:351-380.
- Davidson, J., A. Rikardsen, E. Halttunen, E. Thorstad, F. Økland, B. Letcher, J. Skarðhamar, and T. Næsje. 2009. Migratory behaviour and survival rates of wild northern Atlantic salmon *Salmo salar* post-smolts: effects of environmental factors. *Journal of Fish Biology* **75**:1700-1718.
- Forseth, T., S. Einum, P. Fiske, M. Falkegård, Ø. A. Garmo, Å. H. Garseth, H. Skoglund, M. F. Solberg, E. B. Thorstad, and K. R. Utne. 2024. Status for norske laksebestander i 2024. 1891-5302, Vitenskapelig råd for lakseforvaltning, Vitenskapelig råd for lakseforvaltning.
- Hansen, L. P., and B. Jonsson. 1985a. Downstream migration of hatchery-reared smolts of Atlantic salmon (*Salmo salar* L) in the river Imsa, Norway. *Aquaculture* **45**:237-248.
- Hansen, L. P., and B. Jonsson. 1985b. Downstream migration of hatchery-reared smolts of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in the River Imsa, Norway. *Aquaculture* **45**:237-248.
- Hanssen, E. M., K. W. Vollset, A. G. V. Salvanes, B. Barlaup, K. Whoriskey, T. E. Isaksen, E. S. Normann, M. Hulbak, and R. J. Lennox. 2022. Acoustic telemetry predation sensors reveal the tribulations of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts migrating through lakes. *Ecology of Freshwater Fish* **31**:424-437.

- Heggenes, J. 2023. Laks i Hjartdøla - Elektrofiske undersøkelse av mulig lakserekuttering Omnesfossen-Hjartsjå. VANA AS.
- Heggenes, J., D. T. Bui, S. Ahrabi, T. C. E. Aune, and H. E. G. Sørvik. 2021. Dronevideo registreringer i Bøelva høst/vinter 2019/2020: fysisk tilstand, gytegroper og substratforhold. Universitetet i Sørøst Norge, Universitetet i Sørøst Norge, Bø.
- Heggenes, J., and J. G. Dokk. 1995. Undersøkelser av gyteplasser og gytebestander til storørret og laks i Telemark, høsten 1994., Universitetet i Oslo, Universitetet i Oslo, Oslo.
- Hindar, K., O. Diserud, P. Fiske, T. Forseth, A. J. Jensen, O. Uggedal, N. Jonsson, S. E. Sloreid, J. V. Arnekleiv, and S. J. Saltveit. 2007. Gytebestandsmål for laksebestander i Norge. NINA rapport.
- Hindar, K., O. H. Diserud, R. D. Hedger, A. G. Finstad, P. Fiske, A. Foldvik, T. Forseth, E. Forsgren, E. Kvingedal, and G. Robertsen. 2019. Vurdering av metodikk for andregenerasjons gytebestandsmål for norske laksebestander. Norsk Institutt for Naturforskning (NINA), Norsk Institutt for Naturforskning (NINA), Trondheim.
- Holta, O. H. 1927. Hitterdalsboken Gaarde og slegter. Forfatterens forlag og Lokalhistorisk Forlag, Forfatterens forlag og Lokalhistorisk Forlag.
- Honkanen, H. M., D. L. Orrell, M. Newton, S. McKelvey, A. Stephen, R. A. Duguid, and C. E. Adams. 2021. The downstream migration success of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts through natural and impounded standing waters. *Ecological Engineering* **161**:106161.
- Honkanen, H. M., J. R. Rodger, A. Stephen, K. Adams, J. Freeman, and C. E. Adams. 2018. Counterintuitive migration patterns by Atlantic salmon *Salmo salar* smolts in a large lake. *Journal of Fish Biology* **93**:159-162.
- Hvidsten, N. A. 2010. Smolt og unfiskundersøkelser I Skiensvassdraget – Smoltutvandring i Skotfoss og ungfisk i Bøelva, Heddøla, Tinnåa og Bliva. Norsk Institutt for Naturforskning, Trondheim.
- Jepsen, N., E. Holthe, and F. Økland. 2006. Observations of predation on salmon and trout smolts in a river mouth. *Fisheries Management and Ecology* **13**:341-343.
- Jepsen, N., K. Aarestrup, F. Økland, and G. Rasmussen. 1998. Survival of radiotagged Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)–and trout (*Salmo trutta* L.) smolts passing a reservoir during seaward migration. *Hydrobiologia* **371**:347.
- Johnston, C., and J. Eales. 1970. Influence of body size on silvering of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) at Parr–Smolt transformation. *Journal of the Fisheries Board of Canada* **27**:983-987.

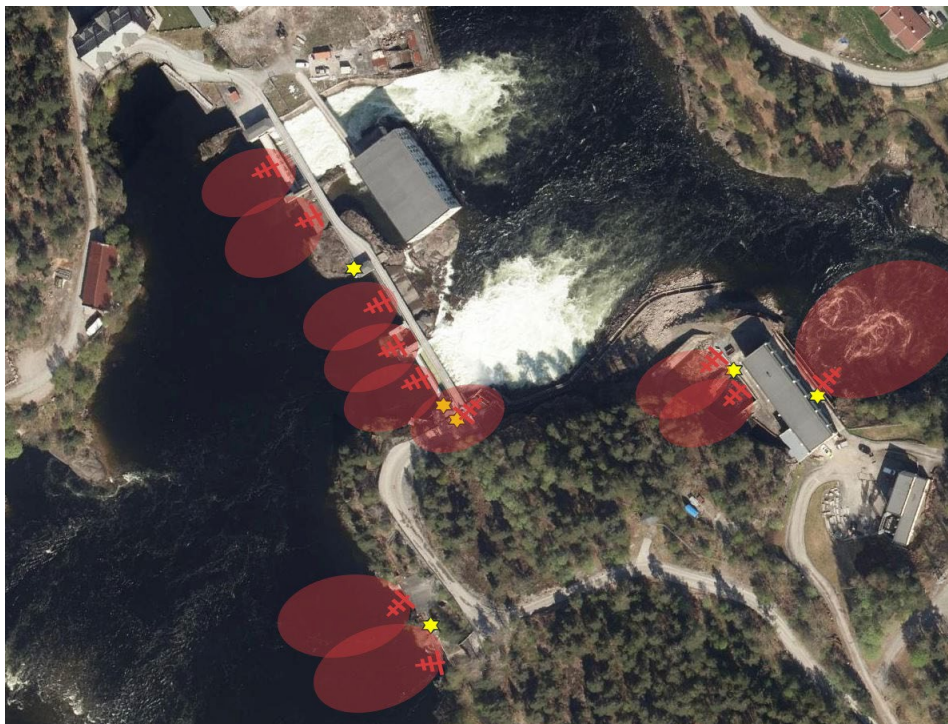
- Jonsson, B., and N. Jonsson. 2006. Cultured Atlantic salmon in nature: a review of their ecology and interaction with wild fish. *Ices Journal of Marine Science* **63**:1162-1181.
- Jonsson, N., B. Jonsson, and L. P. Hansen. 2003. The marine survival and growth of wild and hatchery-reared Atlantic salmon. *Journal of Applied Ecology* **40**:900-911.
- Kennedy, R. J., R. Rosell, M. Millane, D. Doherty, and M. Allen. 2018. Migration and survival of Atlantic salmon *Salmo salar* smolts in a large natural lake. *Journal of Fish Biology* **93**:134-137.
- Koed, A., H. Baktoft, and B. D. Bak. 2006. Causes of mortality of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) smolts in a restored river and its estuary. *River Research and Applications* **22**:69-78.
- Larsson, S., T. Linnansaari, S. Vatanen, I. Serrano, and A. Haikonen. 2011. Feeding of wild and hatchery reared Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts during downstream migration. *Environmental Biology of Fishes* **92**:361-369.
- Lennox, R. J., U. Pulg, B. Malley, S.-E. Gabrielsen, E. M. Hanssen, S. J. Cooke, K. Birnie-Gauvin, B. T. Barlaup, and K. W. Vollset. 2021. The various ways that anadromous salmonids use lake habitats to complete their life history. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **78**:90-100.
- Leonardsson, K. 2014. Interaktiv analys av förluster av nedströmsvandrande fisk i samband med kraftverkspassager - version för lax. Ver 2.0 cdf.
- Montén, E. 1985. Fisk och turbiner: om fiskars möjligheter att oskadda passera genom kraftverksturbiner. Vattenfall.
- Music, P. A., J. P. Hawkes, and M. S. Cooperman. 2010. Magnitude and causes of smolt mortality in rotary screw traps: an Atlantic salmon case study. *North American Journal of Fisheries Management* **30**:713-722.
- Noonan, M. J., J. W. Grant, and C. D. Jackson. 2012. A quantitative assessment of fish passage efficiency. *Fish and Fisheries* **13**:450-464.
- Notodden-Historielag. 2011. Husmannsplassar i Notodden kommune Bind 1. Notodden Historielag, Notodden.
- Nyqvist, D., S. D. McCormick, L. Greenberg, W. Ardren, E. Bergman, O. Calles, and T. Castro-Santos. 2017. Downstream migration and multiple dam passage by Atlantic salmon smolts. *North American Journal of Fisheries Management* **37**:816-828.
- Persson, L., A. Kagervall, K. Leonardsson, M. Royan, and A. Alanärä. 2019. The effect of physiological and environmental conditions on smolt migration in Atlantic salmon *Salmo salar*. *Ecology of Freshwater Fish* **28**:190-199.
- R Core Team. 2022. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2014 URL <https://www.R-project.org/>.

- Radinger, J., R. van Treeck, and C. Wolter. 2022. Evident but context-dependent mortality of fish passing hydroelectric turbines. *Conservation Biology* **36**:e13870.
- Saloniemi, I., E. Jokikokko, I. Kallio-Nyberg, E. Jutila, and P. Pasanen. 2004. Survival of reared and wild Atlantic salmon smolts: size matters more in bad years. *Ices Journal of Marine Science* **61**:782-787.
- Schartum, E., H. Pavels, S. J. Saltveit, and J. Heggenes. 2018. Utvandring av smolt i Telemarkvassdraget - Bøelva 2016 og 2017 og Heddøla 2017. Naturhistorisk Museum, Universitetet i Oslo, Naturhistorisk Museum, Universitetet i Oslo.
- Schartum, E., H. Pavels, S. J. Saltveit, and J. Heggenes. 2020. Naturlig rekruttering og utvandring av smolt i elver til Norsjø. Årsrapport for 2019., Naturhistorisk Museum, Universitetet i Oslo, Naturhistorisk Museum, Universitetet i Oslo.
- Schartum, E., H. Pavels, S. J. Saltveit, and J. Heggenes. 2022. Naturlig rekruttering og utvandring av smolt i elver til Norsjø. Årsrapport for 2021., Naturhistorisk Museum, Universitetet i Oslo, Naturhistorisk Museum, Universitetet i Oslo.
- Schilt, C. R. 2007. Developing fish passage and protection at hydropower dams. *Applied Animal Behaviour Science* **104**:295-325.
- Schwert, S. L. 2020. Adult Atlantic salmon (*Salmo salar*) spawning migration and behaviour in the lower Skienselva. An investigation into the behavior of Atlantic salmon below the Skotfoss hydropower plant. University of South-Eastern Norway, Campus Bø.
- Serrano, I., S. Larsson, and L.-O. Eriksson. 2009. Migration performance of wild and hatchery sea trout (*Salmo trutta* L.) smolts—Implications for compensatory hatchery programs. *Fisheries Research* **99**:210-215.
- Silva, A. T., M. C. Lucas, T. Castro-Santos, C. Katopodis, L. J. Baumgartner, J. D. Thiem, K. Aarestrup, P. S. Pompeu, G. C. O'Brien, and D. C. Braun. 2018. The future of fish passage science, engineering, and practice. *Fish and Fisheries* **19**:340-362.
- Skåre, P. E., N. A. Hvidsten, T. Forseth, and H.-P. Fjeldstad. 2006. Smoltutvandring forbi Skotfoss kraftverk i Skiensvassdraget ved bygging av et nytt flomkraftverk., Norsk institutt for naturforskning NINA, NINA, Trondheim.
- Thorpe, J., L. Ross, G. Struthers, and W. Watts. 1981. Tracking Atlantic salmon smolts, *Salmo salar* L., through loch Voil, Scotland. *Journal of Fish Biology* **19**:519-537.
- Thorstad, E. B., F. Whoriskey, I. Uglem, A. Moore, A. H. Rikardsen, and B. Finstad. 2012. A critical life stage of the Atlantic salmon *Salmo salar*: behaviour and survival during the smolt and initial post-smolt migration. *Journal of Fish Biology* **81**:500-542.
- Urke, H., T. Kristensen, J. Ulvund, and J. Alfredsen. 2013. Riverine and fjord migration of wild and hatchery-reared Atlantic salmon smolts. *Fisheries Management and Ecology* **20**:544-552.

Økland, F., E. Schartum, T. B. Havn, S. L. Schwert, T. Omland, D. Natedal, E. B. Thorstad, and J. Heggenes. 2022. Oppvandring av laks og sjøørret i Telemarksvassdraget – radiotelemetri-undersøkelser 2019-2021. University of South Eastern Norway, University of South Eastern Norway campus Bø.

8 Vedlegg

Vedlegg 1. Antenner og loggestasjoner ved Skotfoss og Skiensfallene i 2024. Oppsettet var omtrent likt i 2022, og 2023 (med små variasjoner), mens Damfoss og slusa der bare ble overvåket i 2024.



Skotfoss

- 6 loggestasjoner
- 11 antenner



Klosterfoss

- 4 loggestasjoner
- 6 antenner





Mølla/Eidet

- 2 loggestasjoner
- 4 antenner

www.nina.no

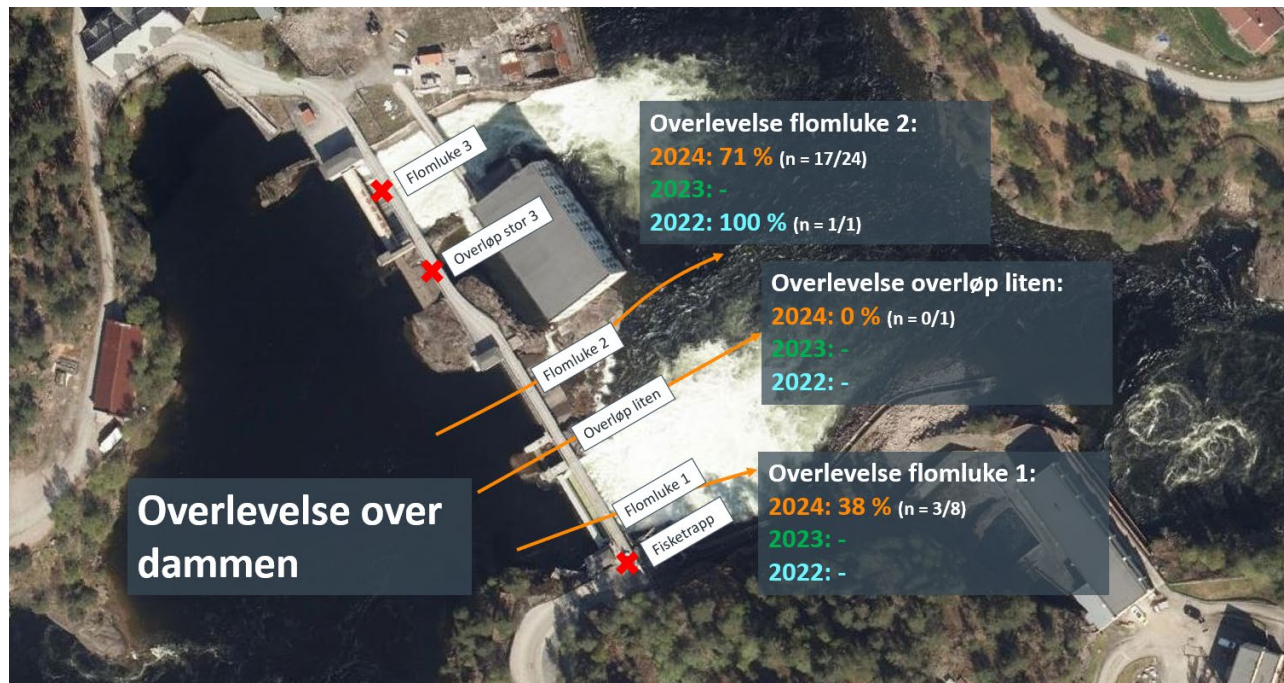


Damfoss og slusa

- 3 loggestasjoner
- 3 antenner

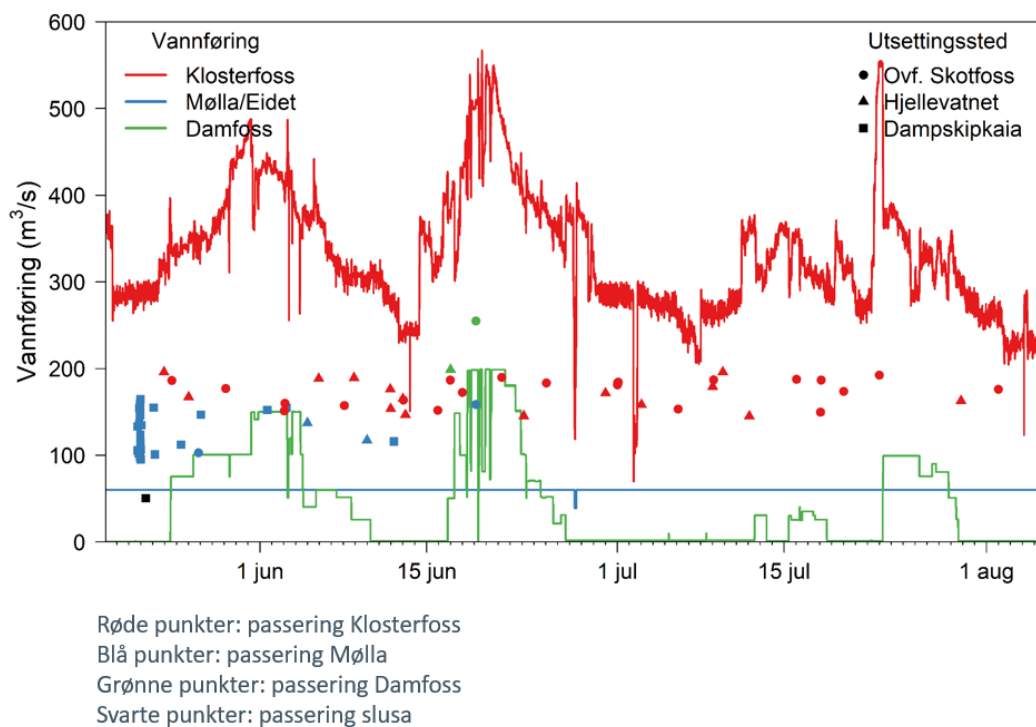


Vedlegg 2. Detaljerte vandringsvei overlevelse for laksesmolt over dammen på Skotfoss 2022-2024. Merk at år og vandringsveier ikke er direkte sammenlignbare, ettersom det var ulikt antall smolt som vandret ned i de ulike år, og tilgjengelighet av de alternative vandringsveier varierte med vannføring i de ulike år. I 2024 hadde flomluke 2 minst 50 % av vannføringen gjennom hele utvandringssesongen, mens flomluke 1 bare første vann ved høye vannføringer.



Vedlegg 3. Vannføringer og passeringer ved Skiensfallene 2024. Smolt som kommer fra ovenfor Skotfoss og fra Hjellevatnet følger i hovedsak den vandringsruten som har høyest vannføring, dvs. Klosterfoss.

Vannføring og passeringer ved Skiensfallene 2024



**Nedvandring av laksesmolt i
Telemarksvassdraget**
Jan Heggenes, Eivind Schartum,
Torgeir B. Havn og Finn Økland

**Skriftserien fra Universitetet i
Sørøst-Norge nr. 175**

ISSN 2535-5325
ISBN 978-82-7206-984-0

usn.no