



Restaureringsuksess i norske vassdrag med dårlig vannmiljø og begrenset handlingsrom for fysiske restaureringstiltak – eksempel på beste praksis fra Leirelva i Trondheim

Av Morten A. Bergan og Terje H. Nøst

Morten A. Bergan (Cand. scient) er ferskvannsøkolog og forsker 1 ved Norsk institutt for naturforskning i Trondheim.

Terje H. Nøst (Cand. real) er ferskvannsøkolog og naturforvalter ved Klima- og miljøenheten i Trondheim kommune.

Summary

Restoration success in Norwegian watercourses with poor ecological status and limited scope for physical measures – A best-practice example from the Leirelva River in Trondheim. Leirelva, a tributary to Nidelva in Trondheim, is highly urbanized. The river's 2.4-kilometer-long anadromous stretch has hydromorphological alterations in and along the riverbed, and suffers from unstable water quality, particle pollution and riverbed siltation problems. However, in 2024 the river was one of Norway's most productive salmon and sea trout rivers per square meter, yielding an average total juvenile fish density (trout and salmon, all age classes) of 551 fish per 100 m² for the river's entire anadromous stretch. Despite little change in measured water quality and observed particle pollution, macroinvertebrate benthic monitoring also showed a significant increase in biological diversity of clean-water-requiring mayflies, stoneflies, and caddisflies, with an increase in total macroinvertebrate benthic production, and an improvement in ecological status (from "Poor/Moderate" to "Good"). Despite the extensive present

sum of human impacts, degraded ecological status and limited room for full -scale naturlike restoration: How was this possible? A restoration plan developed in 2021-/22 identified bottlenecks for salmonid fish and macroinvertebrate benthic fauna. Restoration measures within the riverbed were proposed and implemented for the entire anadromous stretch of the river. From 2021/22 to 2024 the river was supplied with approximately 1600 m³ of spawning substrate (small river stones/gravel) and about 500 large stones (diam. 0,5- 1m), while physical/technical impacts (manmade fish migration obstacles) in the riverbed were removed or altered to allow easier fish migration. The combination of supplying sufficient amounts of spawning gravel and placement of numerous large stones has provided many waters ecological benefits reflected in the results. The river's recipient capacity (i.e. ability to "self-purify") has increased, allowing it to handle the current particle pollution and riverbed siltation problems better. New microhabitats for benthic organisms and fish juveniles have been created

in the riverbed. The presence of large stones is also linked to recordings of a new species of caddisfly previously unrecorded in the river. Large stones and spawning gravel have formed preferred spawning areas for salmonids. Buried eggs are not washed out during extreme weather conditions, e.g. during flooding and ice breakup/ice drift, or riverbed freezing or drying out during winter or at low water levels. New spawning areas for salmonids are not as quickly silted, thanks to the variation in hydrology and the more favorable water flows and currents associated with the large stones. During floods, pockets of slow-moving water form along the river bottom, where both eggs, young of the year fish and older juvenile fish survive very well in channelized river stretches that previously had poor survival rates. Large stones have also provided new resting and shelters for spawning fish before, during, and after migration and the spawning season, and it is harder for predators (such as otters, minks and humans) to catch the spawning fish. Norway has many anadromous streams and river with diagnoses and restoration needs similar to those of Leirelva. These are watercourses that have been channeled and altered from their natural state, where smaller natural river stones/gravel, large stones, woody debris and riparian vegetation are missing. This makes them low-productive for salmonids and limits the biological diversity of macroinvertebrate benthic fauna and other aquatic or water-associated animals. The result of the restoration of Leirelva and similar streams or rivers in Norway shows that expectations for juvenile fish density from density-based assessment systems for ecological status are set too low, according to the Norwegian implementation of the Water Framework Directive. The environmental goal of "Good" ecological status, requiring no restoration or other mitigation measures, is therefore achieved in streams and rivers with highly reduced salmonid populations and significant human impacts. We recommend that Norwegian restoration practices follow the restoration approach of Leirelva, regardless of the cause of the diagnosis

(hydropower, agriculture, forestry/logging, timber floating, roads, urbanization/residential area development or other human activities). The combination of adding spawning substrates and larger stones in a sufficiently large enough quantity in such watercourses is crucial to achieving a sufficiently good water ecological effect for fish and other water-associated fauna. By following a "seven-step" stream/river restoration approach based on our experience from Leirelva, a successful outcome is more likely, and environmental goals can be achieved.

Sammendrag

Leirelva, et sidevassdrag til Nidelva i Trondheim, er sterkt urbanisert. Elvas 2,4 kilometer anadrome strekning har ulike hydromorfologiske inngrep og endringer i og langs elveløpet, og utfordringer med ustabil vannkvalitet, partikkelpåvirkning og nedslamming. I 2024 var elva likevel en av Norges mestproduserende laks- og sjøørretelv målt per kvadratmeter, og bunndyrfaunaen var tallrik og mangfoldig, dominert av rentvannskrevende bunndyrformer. Hvordan var dette mulig? En tiltaksplan utarbeidet i 2022 identifiserte flaksehalsar for laksefisk og vannlevende bunndyr, og et stort omfang av restaureringstiltak innenfor dagens elveløp ble foreslått for hele anadrom strekning av elva. I løpet av en tre-/fire-årsperiode (2021/22 til 2024) ble elva tilført omlag 1600 m³ gytesubstrat (små elvestein) og om lag 500 store stein, samtidig som fysisk/tekniske inngrep i elvestrengen ble fjernet eller endret for å gi lettere fiskevandring. Ungfisktettheten av ørret og laks økte i perioden. I 2024 var en gjennomsnittlig samlet ungfisktetthet (ørret og laks, alle årsklasser) 551 fisk per 100 m² for elvas anadrome strekning. Til tross for lite endring i målt vannkvalitet og fortsatt stor partikkelpåvirkning, viser bunndyrovervåking i 2024 en stor økning i biologisk mangfold av rentvannskrevende døgn-, stein- og vårfluer, økt samlet bunndyrproduksjon og forbedring av økologisk tilstand (fra «Dårlig/Moderat» til «God»). Et stort næringstilbud av bunndyr gjennom året er en viktig medvirkende årsak til at elva holder høyt



Foto 1: Leirelvas opprinnelige naturtilstand ved samløp med Nidelva i 1875. Fotograf: Knud Knudsen.
Kilde: Spesialsamlingene ved Universitetet i Bergen. Nettside: <https://marcus.uib.no/>

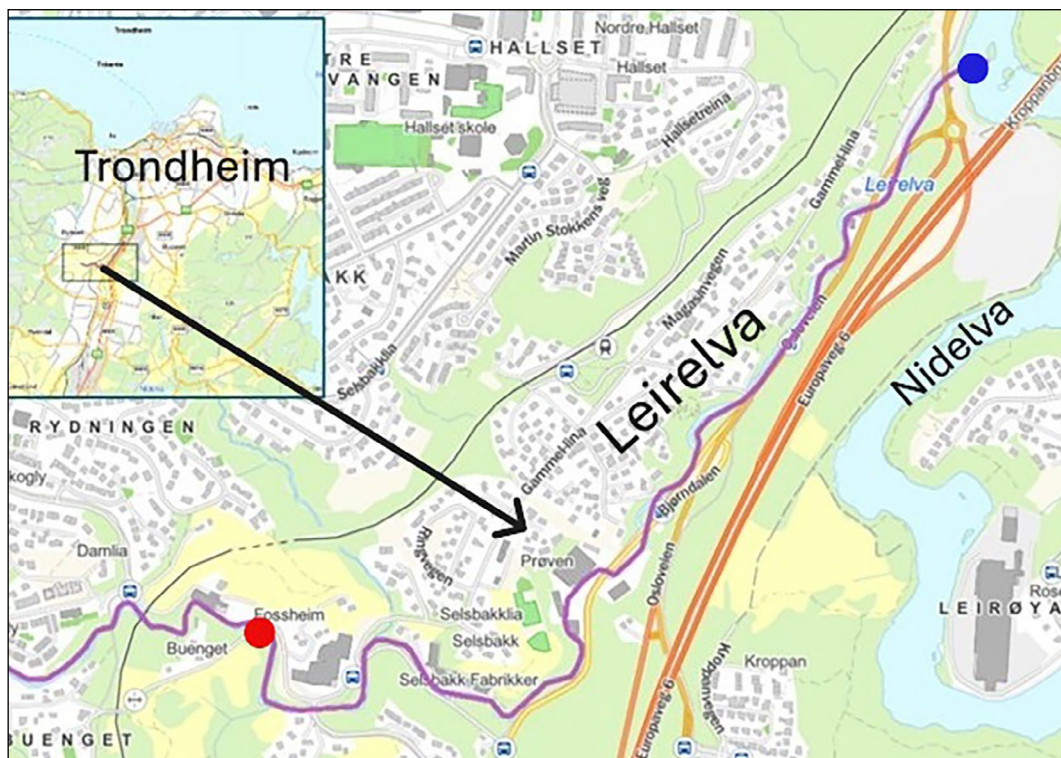
produksjonsnivå av ungfisk i 2024. Kombinasjonen av å tilføre nok gytesubstrat og stor stein har gitt store vannøkologiske fordeler som gjenspeiles i resultatene. Elvas resipientkapasitet har økt, slik at den bedre håndterer dagens partikkelforurensning. Nye mikrohabitater for bunndyr og ungfisk har blitt skapt i elvebunnen. Utlegg av stor stein i elva er knyttet også til påvisning av en ny vårflue-art som aldri tidligere er registrert i elva. Gytesubstrat og stor stein har dannet nye, foretrukne gyteområder for laksefisk. Nedgravd rogn blir ikke skylt ut under ekstreme værforhold (flom/isgang), og unngår bunnfrysing og uttørking om vinteren eller ved lav vannføring. Gyteområder slammes i mindre grad igjen, takket være økt variasjon i hydrologi knyttet til strømmingsbildene rund utlagt stor stein. Under flommer dannes rolige lommer langs elvebunnen, hvor både egg, yngel og eldre ungfisk overlever vesentlig bedre enn før restaurering. Store steiner har også gitt nye hvile- og skjulesteder for gytefisk før, under og etter vandring og i gyteperioden, og det er vanskeligere for rovdyr (som oter, mink og mennesker) å fange gytefisken. Resultatene fra Leirelva viser at en generell forventning til ungfisktetthet (tetthetsbaserte vurderingssystemer for økologisk tilstand) er satt altfor lavt. Miljømålet «God» økologisk tilstand, uten krav til

restaureringstiltak, oppnås derfor i vassdrag med for stor menneskelig påvirkning og bestandsreduksjon av fisk. Norge har svært mange anadrome vassdrag med påvirkninger, diagnoser og restaureringsbehov som Leirelva. Dette er både små og store vassdrag som mangler naturlig elvestein og -grus, storstein, dødt trevirke og kantvegetasjon. Dette gjør dem lavproduktive for fisk, og begrenser øvrig biologisk mangfold av vanntilknyttede dyr. Vi anbefaler at tiltaks- og restaureringspraksis følger Leirelvas restaureringsoppskrift, uavhengig av årsak (vannkraft, landbruk, skogsdrift, tømmerfløting, gruvepåvirkning, vei, boligområder eller andre menneskelig aktiviteter).

Innledning

Leirelva er et sidevassdrag til Nidelva i Trondheim. Nidelva er kjent for en storvokst laks- og sjøørretbestand (Fremstad & Thingstad 2007), og Leirelva i en naturtilstand (**foto 1**) har hatt en nøkkelrolle for denne sjøørretbestanden (Grande 1965, Koksvik 1999, Bergan & Nøst 2022).

Leirelva har et samlet nedbørfelt på 40,1 km² (Reinemo 2015), med kilder fra innsjøer i Bymarka vest for Trondheim. Elva drenerer etter hvert boligområder og veier ved Byåsen før utløp i Nidelva. Naturlig anadrom strekning i Leirelva er om lag 2,4 kilometer, opp til en



Figur 1. Leirelva i Trondheim. Nedre, anadrom strekning av elva ned mot utløp i Nidelva.

naturlig foss (**figur 1**), og har hatt et svært dårlig vannmiljø i mer enn 100 år.

Fra 1880-årene ga utslipp fra industri, kloakk- og avløpssystem helsefarlig vannkvalitet i anadrom strekning (Anonym 1913, 1915, 1924a, 1924b, 1926a, 1926b). Vannmiljøet ble heller ikke bedre med raskt økende urbanisering, byutvikling og kloakkutslipp etter andre verdenskrig (Grande 1965, Bergan & Nøst 2017). Boligutvikling og veiprosjekter krevde stadig mer plass. Elvestrekninger i Leirelva ble flyttet og lagt i rør, samtidig som elva ble grøftet ut, erosjonsikret, kanalisert og avsmalnet (Bergan & Nøst 2022, 2024). Kantvegetasjon og naturlig elvestein i ulike størrelser ble litt etter litt fjernet fra elva i denne prosessen, og dypere kulper fylt igjen (Bergan 2025a). Vannhastigheten ble forhøyd, og mye av elva ble omgjort til hurtigrennede, lavproduktive områder for både fisk og andre vanntilknnyttede dyr. Industribelastningen avtok på et tidspunkt, og utslipp av kloakk i et stadig mer utbygd og urbanisert

nedbørfelt overtok forurensningsbildet. Forurensningstilstand og vannmiljø forble dårlig helt fram til 90-årene (Bongard & Arnekleiv 1989, Koksvis 1999) og noe utover 2000-tallet (Berger mfl. 2008, Bergan 2010, Nøst 2002-2023). Svært dårlig vannkvalitet medvirket til at Leirelva ble ansett som ubetydelig for fisk eller som fiske-elv. Terskelen for fysiske inngrep og endringer uten miljøhensyn var derfor lav når ulike samfunnsnyttige formål ble planlagt og gjennomført. En rekke inngrep og endringer etter andre verdenskrig, både som følge av vei, boligbebyggelse og industri, gjorde etter hvert at om lag 60-70 % av elvas anadrome strekning mistet sine naturlige hydromorfologiske vassdragskvaliteter (Bergan & Nøst 2017, 2022, Bergan mfl. 2024). Utover 2000-tallet økte fokuset på å begrense forurensning til vassdrag i Trondheim, med strengere krav og regelverk for aktiviteter i berøring med vassdragene (Bergan & Nøst 2017). Kloakkutslipp ble redusert, slik at vannkvaliteten ble kraftig

forbedret i elva, men uten at elvas sjørret- og laksebestand økte vesentlig (Nøst 2002-2023, Bergen & Nøst 2017, Bergen mfl. 2024). Små habitattiltak ble gjennomført etter 2015, men en vesentlig del av elva var fortsatt uproduktiv. Ulike fysisk-tekniske inngrep i elveløpet, som hadde vært undervurdert som medvirkende årsak til lav fiskeproduksjon, ga både ungfisk og gytefisk store problemer med vandringer opp fra Nidelva og innad i Leirelva (Bergen & Nøst 2022).

Utarbeiding av tiltaksplan

På bakgrunn av Leirelvas historie, kunnskapsgrunnlag, sannsynlig betydning for sjørret og tilknytning til Nidelva, valgte NINA og Trondheim kommune ut elva som satsningsvassdrag for restaurering. Kunnskapen om vassdraget ble sammenfattet, i en helhetlig tiltaks- og restaureringsplan (Bergen & Nøst 2022). Tiltaksplanen sammenfattet om lag 20 år med sammenhengende overvåkingsdata fra vannprøvetaking, ungfiskundersøkelser, bunndyrprøver, historisk informasjon og kunnskap om elva, i tillegg til nye tiltaksrettede problemkartlegginger. Dette ga det faglige grunnlaget for å peke på flaskehalsen for produksjon av laksefisk og biologisk mangfold i elva, fastsetting av diagnoser og miljømål, med forslag til ulike restaureringstiltak for å avbøte flaskehalsene som begrenser oppnåelse av miljømålene «produksjon av laksefisk på nivå med naturtilstand», og «høyt biologisk mangfold dominert av rentvannskrevende bunndyr». Planen avdekket at handlingsrommet for fysisk restaurering var begrenset, det vil si tilbakeføring av tidligere elveløp, naturlige elvebredder, reetablering av kulper, gjenåpninger og revegetering av kantvegetasjon. Det omkringliggende arealet var tatt av vei og boliger (E6, fylkesvei, asfaltert gang/sykkelbane og bolig- eller industriområder). Like fullt ble andre restaureringstiltak, innenfor dagens hydromorfologiske utgangspunkt, vurdert å kunne ha en god nok effekt til oppnå miljømålene dersom omfanget på tiltakene var store nok, og gjaldt hele anadrom strekning av elva.

Diagnoser

Tiltaksplanen viste at Leirelva ovenfor anadrom strekning fortsatt ga vassdraget tilstrekkelig helårsvannføring til å kunne oppfylle miljømål etter vannforskriften. Episodisk (vannkjemisk) forurensning og generell partikkelbelastning i anadrom strekning var et problem, men trolig ikke like begrensende for miljømålene som tiårene før. Spesielt partikkelpåvirkning og nedslamming fra økt menneskelig aktivitet i nedbørfeltet ble utpekt som en lite stabilisert risikofaktor og fortsatt uavklart problem i tiltaksplanen. Elvas resipientkapasitet (selvrensningsevne; evnen til å håndtere dagens vannkjemiske belastning og nedslamming i elveløpet) ble vurdert som god, og restaureringstiltakene kunne potensielt øke denne evnen. Bunndyrundersøkelser over mange tiår viste stor påvirkning og ustabil vannmiljø i anadrom strekning av Leirelva (Bongard & Arnekleiv 1989, Koksvik 1999, Berger mfl. 2008, Bergen 2009-2021). Årlige ungfisktellinger over om lag 20 år viste at potensialet for ungfiskproduksjon i anadrom strekning av elva var svært god, men dårlig habitatkvalitet (underskudd på egnede gyte- og oppvekstområder for laksefisk) og vanskelige vandringsveier for fisk ble framhevet som to hovedproblemer. Handlingsrommet for å restaurere tilbake naturlige vassdragskvaliteter måtte derfor fokuseres på dagens elveløp, og hva som var mulig å gjenskape (gitt dagens hydromorfologiske tilstand) for å oppnå miljømålene.

Restaurering av elvehabitater og vandringsveier for fisk

Tilførsel av elvesteiner

Tilførsel av naturlig elvestein, fra gytesubstrat til storstein, ble valgt ut som et velegnet tiltak for å gjenskape naturlige vassdragskvaliteter og hydromorfologisk variasjon i dagens elveløp. Til sammen mer enn 1600 m³ gytesubstrat (diameter 2-16 cm) ble tilført elva i løpet av perioden 2021-2024 på steder man hadde enkel tilgang til (Bergen 2025a). Substratet ble lagt i deponier i eller ned mot elva (**foto 2**), slik at elva selv kunne fordele substratet til elvepartier man ikke kom til, eller områder man ikke ønsket å berøre med



Foto 2. Deponier fra 10- 150 m³ med gytesubstrat legges ut både i og langs hele elva på steder man kommer til, slik at flommer kan fordele substratet naturlig i elva. Foto fra utleggsområder i Leirelva.



Foto 3. Leirelvas svært få naturlike elvestrekninger med intakt kantvegetasjon og dødt trevirke langs elvebredden berøres ikke med anleggsmaskiner, og får tilført gytesubstrat gjennom naturlig sediment-transport fra oppstrøms deponier etter flom. Foto fra august 2024.



Foto 4. Før (sommer 2024.) og etter (vinter 2025) utlegging av stor elvestein i øvre del av Leirelva. Dette partiet hadde en gjennomsnittlig samlet ungfisktetthet på mer enn 650 ørret- og laksunger etter steinutlegging høsten 2024 (st. 1-10 og 1-11 i figur 1 og 2).



Foto 5. «Før» og «Etter» utlegging av storstein i Leirelva. Eksempel fra elvepartier i midtre del (øverst) og nedre del (nederst) av anadrom strekning.



Foto 6. Utlegging av storstein/blokk i nedre del av Leirelva før samløp med Nidelva. Før (øverst) og etter (nederst) tiltak. Dette elvepartiet er det samme som er vist i historisk foto fra 1875 (foto 1).



Foto 7. Flom har fordelt gytesubstrat i elveløpet (t.v.), og stor stein plassert ut for å bremse unaturlig høy sediment-transport og danne gode gyte- og oppvekstområder for ungfisk.



Foto 8. Restaurert nøkkelområde for gyting av sjørret og laks i midtre del av Leirelva. Tross langvarig partikkelforurensning av Leirelva gjennom vinteren 2025 (øverst, t.v.) framstår gyte- og oppvekstområdene lite nedslammet like etter at vannføringen gikk ned og elva rensket seg (øverst, t.h. og nederst). Foto fra samme elveparti med syv dagers mellomrom i mars 2025.

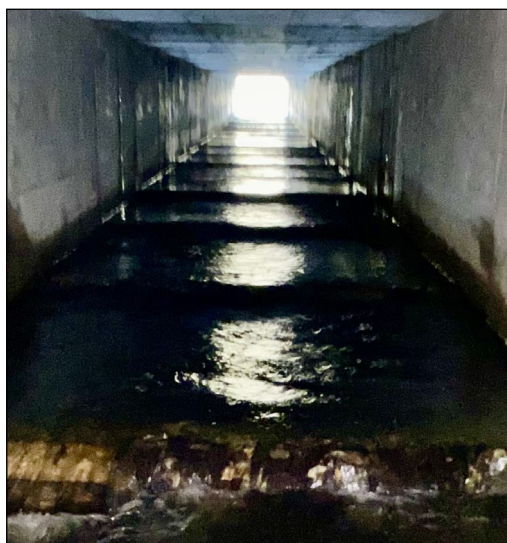
anleggsmaskiner (**foto 3**). Etter naturlig masse-transport av utlagt elvestein og -grus på flom, ble så godt som 100 % av elvestrekningene tilført nytt gytesubstrat fra oppstrøms deponier. De største deponiene (100 -150 m³) fungerer også over lengre tid, og sørger for stadig tilførsel og påfyll av gytesubstrat under flom, som i seg

selv er ett naturhermende tiltak, ikke ulikt naturlig tilførsel etter erosjon langs elvesvinger og kanter i urørte vassdrag med naturtilstand (**foto 3**, nederst).

Parallelt med tilførsel av gytesubstrat ble det gradvis tilført stor stein i elveløpet i hele anadrom strekning (**foto 4, 5 og 5**). Behovet for



Foto 9. Løsning med fastmonterte trestammer med spalter (buner) gjennom en 85 meter lang betongkultvert under vei i Leirelva (t.h.). Før tiltak (t.v.) hindret kulverten hindret oppgang av gytefisk til svært gode gyteområder i enkeltår, og fri vandring av ungfisk var svært vanskelig.



storstein var vesentlig større enn først vurdert. I perioden 2022/-24 ble det tilført til sammen om lag 500 storstein til Leirelva; større elvestein opp til store kampesteiner (0,5 -1 meter i diameter, mange hundre kilo i egenvekt), lagt ut både enkeltvis og i steingrupper/ formasjoner/ klynger.

Anslagsvis ble mer enn 50 % av hele elva tilført ny storstein, men først etter utlegging av gytesubstrat. Tanken bak å vente med storsteinutleggene var å forankre og bremse en «naturlig» transport av tilført gytesubstrat til etter at flommer hadde fordelt dette i hele elva, for deretter å danne foretrukne, varige gyteområder for sjørret og/eller laks, som ga redusert utspyling av rogn i en klimaperiode med mer ekstremvær. Storsteinutleggingen var også et forsøk på prøve å gjenskape og forbedre elvas resipientkapasitet og selvrensningsevne for å bedre håndtere dagens partikkelbelastning og nedslamming,

gjennom bedring i hydrologi og variasjon i strømningsmønster i elva rundt gyte- og oppvekstområdene, slik at disse i mindre grad ble slammet ned (**Foto 8**).

Et viktig moment med storsteinutlegget var også å styrke oppvekstområder for årsyngel og ungfisk av ørret og laks, som finner skjul og standplasser i tilknytning til steinene, spesielt i sårbare faser av livssyklusen, eller når flom og isgang herjer på sitt verste i elva (**foto 8, øverst t.v.**). Kvalitative undersøkelser i juni (rett etter swim-up) registrerte eksempelvis stor forekomst av årsyngel ørret og laks i refugier og lommer dannet av utlagt storstein i tilknytning til elvebredden nært gyteområder (Bergan & Nøst 2024). Dette er en økologisk funksjon av



Foto 10. Fjerning av en utrangert vannmålestasjon i betong (øverst t.v., før status) oppført i årene 1992-93. I 2022 (bilde t.h.) ble naturlig vandringsvei gjenopprettet for alle størrelser av sjørret og laks i nedre del av Leirelva. Nederst t.v. viser status etter endt anleggsarbeid.

utlagt storstein, noe som manglet på mange strekninger i Leirelvas kanaliserte elveløp.

Gjenoppretting av vandringsveier for fisk

Restaurering av elveløpet kan ha lav suksess dersom fisken hindres eller stoppes fra å nå de nyrestaurerte elvepartiene. Tiltaksplanen (Bergan & Nøst 2022) avdekket to fysisk-tekniske inngrep som i perioder hindret eller stoppet frie vandringer for ørret/sjørret og laks (i alle størrelser) i elva. Avbøtende tiltak som ga lettere vandringsveier ved to nøkkelpunkter i hhv. øvre del (**foto 9**) og nedre del (**foto 10**) har vært en avgjørende faktor for de positive resultatene knyttet til ungfisk av sjørret og laks for hele vassdraget etter restaureringen.

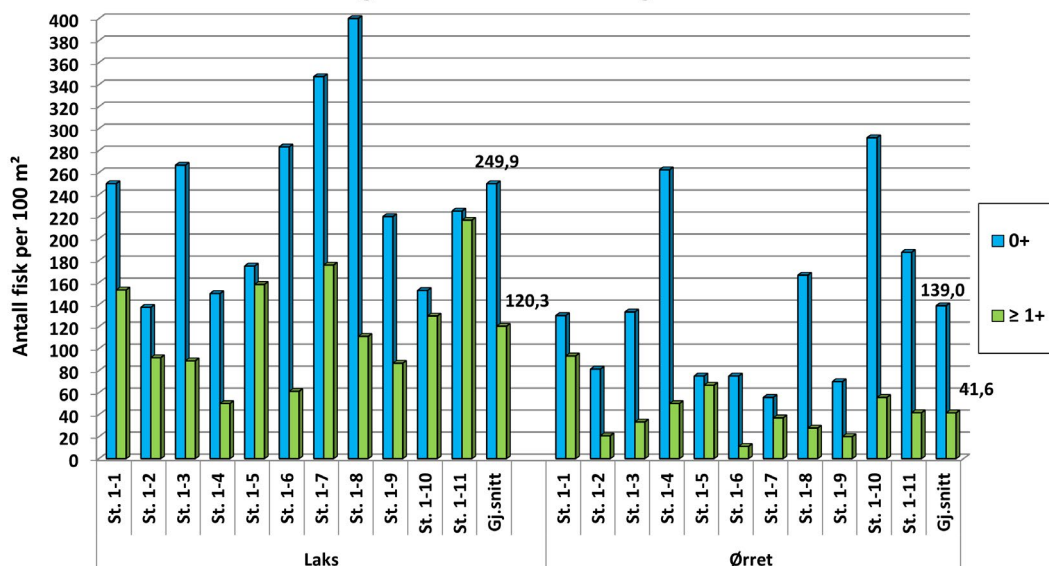
Resultater og vurderinger for ungfisk av laksefisk etter restaurering

Overvåking, oppfølging og kvalitetssikring av tiltakene ble fulgt opp gjennom årlig overvåking (Nøst 2002-2023, Bergan & Nøst 2024, Bergan 2010-2024), og har vært avgjørende for vellykket restaurering (jfr. Bergan mfl. 2017, 2021). Overvåkingsmetodene var elektrisk fiske med bærbart fiskeapparat («elfiske», standardiserte ungfisktellinger med tetthetsberegninger - se f. eks. Bergan & Nøst 2024).

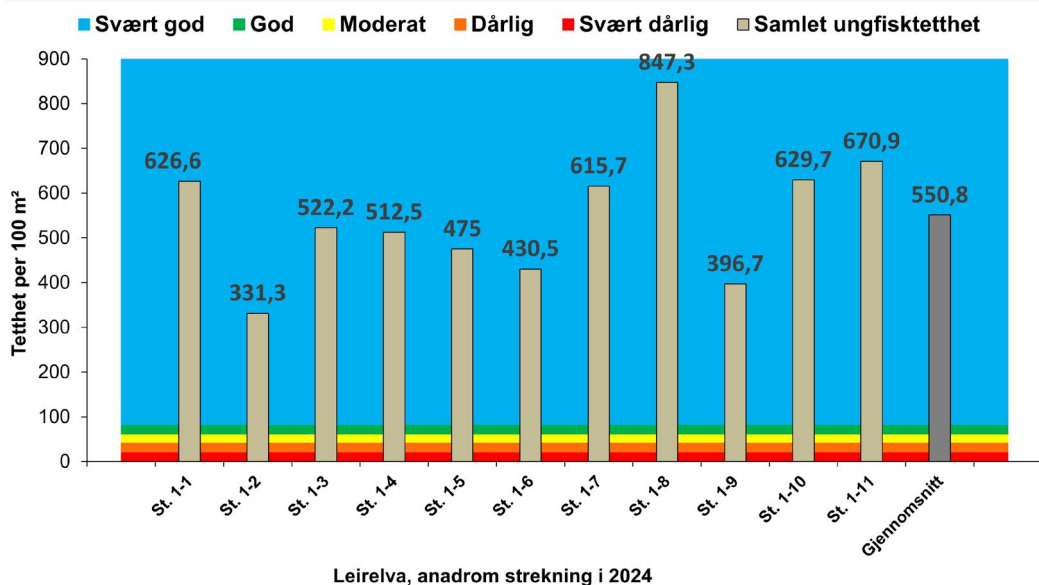
Resultater i 2024

Fangsten fra ungfisktellingerne i 2024 (Bergan 2025a) ga grunnlag for svært høye tetthetsestimater for både laks- og ørretunger på alle stasjoner i hele elva. For ørret var gjennomsnittlig tetthet på 139 årsyngel per 100 m² og 41,6 eldre ørretunger per 100 m² (**figur 2**). Laks hadde samlet sett høyere tettheter enn ørret,

Leirelva - Ungfisktetthet av laks og ørret i 2024



Figur 2. Tetthet per 100 m² av ungfisk ørret og laks i Leirelva på 11 stasjoner i 2024.

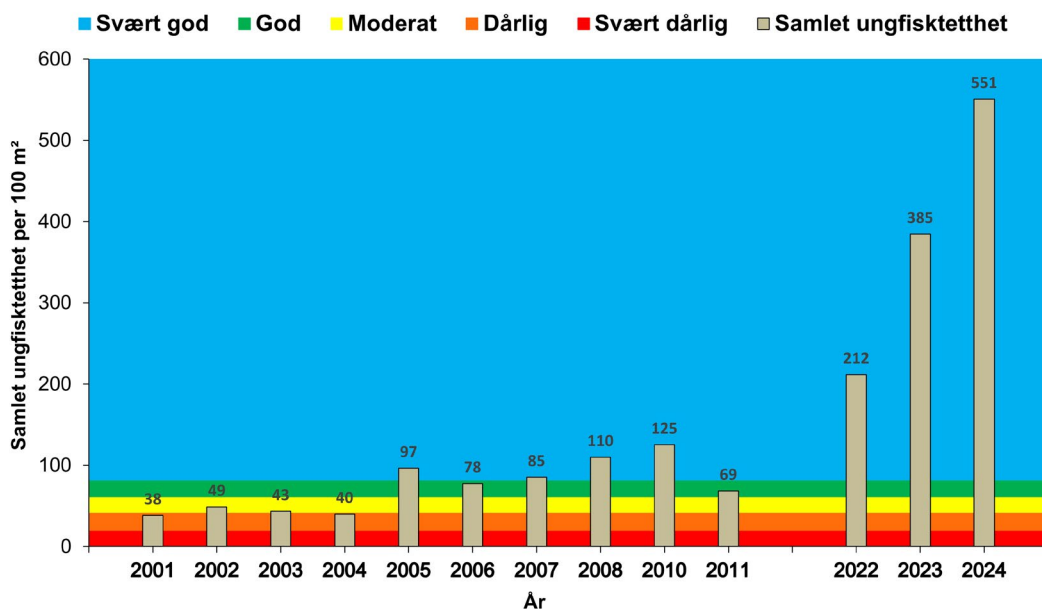


Leirelva, anadrom strekning i 2024

Figur 3. Samlet ungfisktetthet av ørret og laks i anadrom strekning av Leirelva i 2024. Fargekoder for økologisk tilstandsklasse (Svært dårlig, Dårlig, Moderat, God og Svært god/naturtilstand) er kalibrert etter forventningsverdier til tetthet i små, anadrome vassdrag (Sandlund mfl. 2013).

med en gjennomsnittlig årsyngeltetthet på nærmere 250 fisk per 100 m². Eldre laksunger viste en gjennomsnittstetthet på mer enn 120 fisk per 100 m² i elva i 2024 (figur 2).

Figur 3 viser sammenslått tetthet av all laksefisk (fra figur 2) i 2024. De ulike stasjonene hadde en samlet ungfisktetthet av laks og ørret som varierte fra 331,3 til 847,3 ungfisk per



Figur 4. Samlet ungfisktetthet (avrundet til nærmeste hele tall) av ørret og laks i anadrom strekning av Leirelva i 10-års perioden 2001-2011 sammenlignet med tre-årsperioden 2022- 2024. Fargekoder for økologisk tilstands-klasse (Svært dårlig, Dårlig, Moderat, God og Svært god/naturtilstand) er kalibrert etter forventningsverdier til tetthet i små, anadrome vassdrag (Sandlund mfl. 2013).

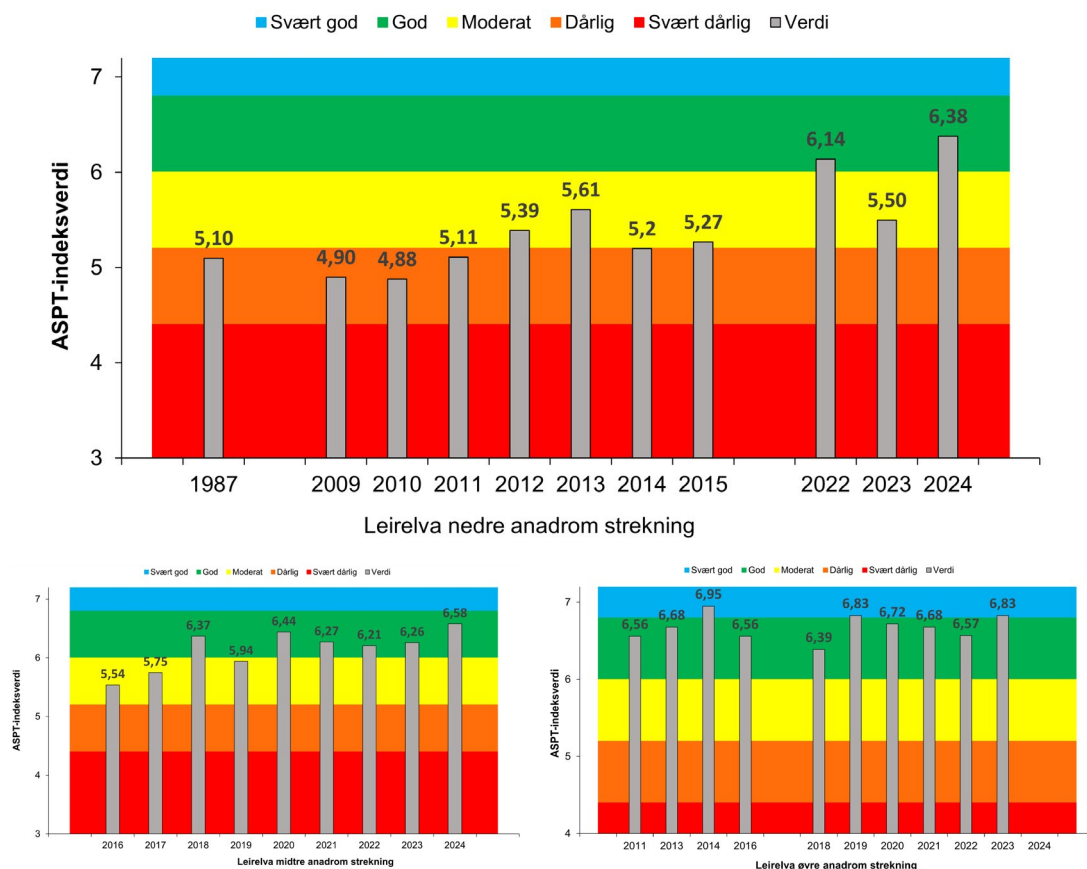
100 m², og en gjennomsnittlig tetthet på 550,8 fisk per 100 m² (figur 2). Resultatene fra 2024 overgår forventningsverdiene for «Svært god» økologisk tilstand vurdert med laksefisk som kvalitetselement etter et gjeldende forslag for vannforskriften (Anonym 2013, Sandlund mfl. 2013). Med 11 stasjoner, fordelt over hele anadrom strekning (Bergan 2025a), gjelder denne tilstandsvurderingen for hele elva i 2024. Til tross for svært hyppige isgangs- og vinterflommer de siste årene (Bergan & Nøst 2024, Bergan 2025a), og flere ekstremvær (av typen «Gyda» vinteren 2022 og «Hans» høsten 2023), har Leirelva likevel hatt svært høy ungfishproduksjon av ørret og laks i perioden. Hovedelva Nidelva har på ingen måte vist samme utvikling eller tendens i samme periode (2021-2023), og har tetthetstall av ungfish som ligger på knappe 10 % av Leirelvas nivå (Kjærstad mfl. 2023, 2024). Leirelva's positive utviklingstrend kan derfor ikke forklares med positive fiskebiologiske forhold i Nidelva.

Utvikling siden 2001

Utvikling i ungfishbestandene av ørret og laks i Leirelva i perioden 2001-2024, med faglige vurderinger, årsaksforklaringer for enkeltår og andre betraktninger, er gjennomgått i Bergan (2025a). Sammenlignet med data fra en 10-års tidsperiode før større fiskeforsterkende habitattiltak eller annen restaurering ble utført i elva (2001-2011), så er forskjellen i samlet ungfish-tetthet i tre-årsperioden etter oppskalering av tiltak og restaurering svært stor (figur 4).

Resultater og vurderinger for biologisk mangfold av bunndyr-samfunn etter restaurering

Overvåking, oppfølging og kvalitetssikring av tiltakene med hensyn til bunndyr-samfunn ble fulgt opp gjennom et årlig overvåkingsprogram (Nøst 2002-2023, Bergan 2010-2025, se f.eks. Bergan 2025b for nærmere beskrivelser av metoder). Prøvetaking på et varierende antall stasjoner har blitt gjennomført minimum en gang i året (høstprøver) i perioden 2009-2024 (Bergan 2010-2025b).



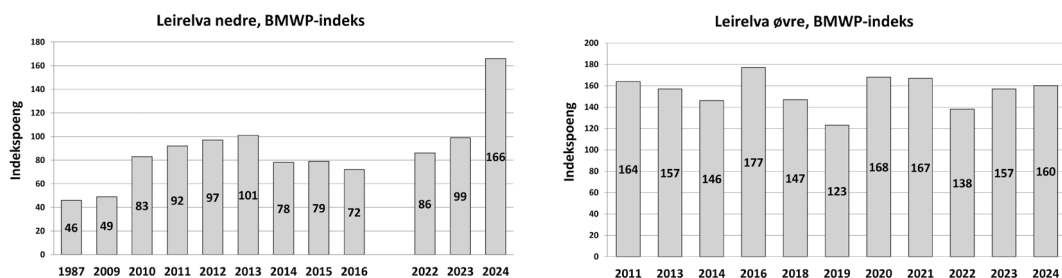
Figur 5. ASPT-verdier fra bunndyrprøver i øvre, midtre og nedre del av anadrom strekning i Leirelva i perioden 1987-2024. Bakgrunnsfarger etter femdel skala for økologisk tilstand. Grensenivå for miljømål og «God økologisk tilstand» er 6,0.

Forurensningsindekser

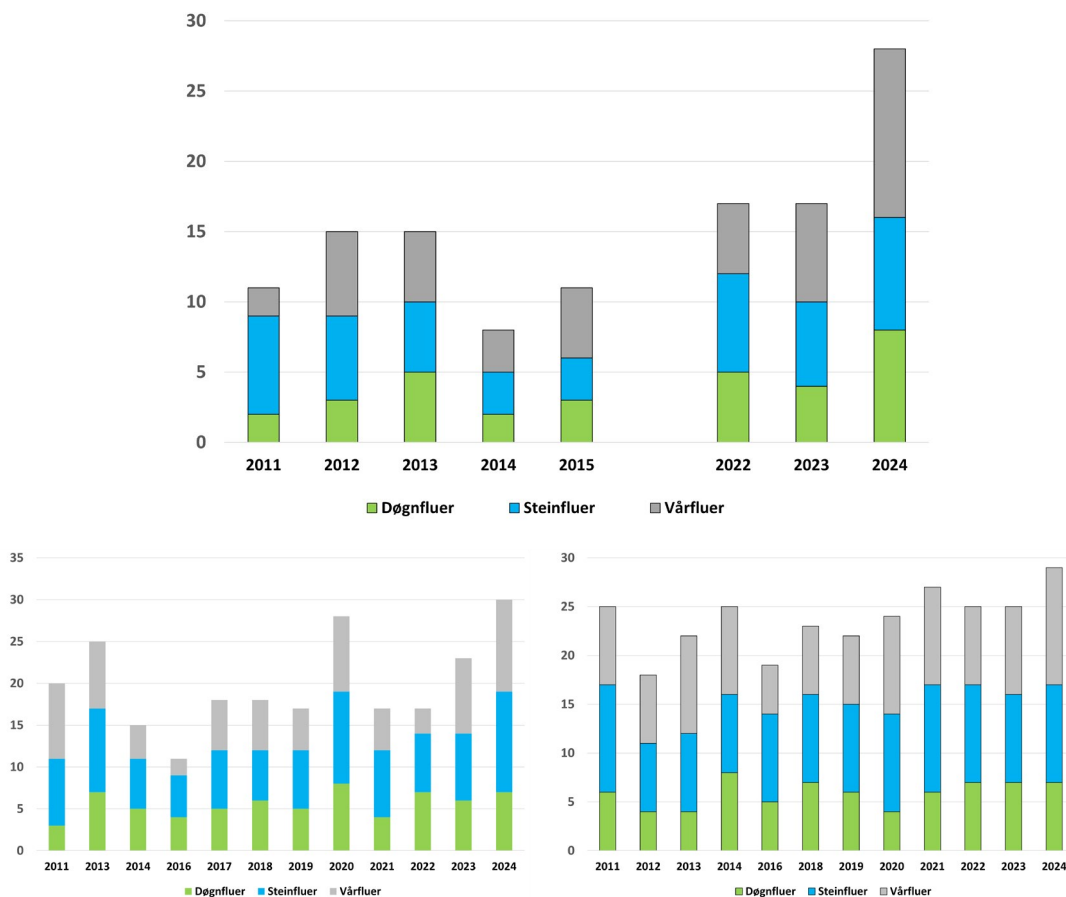
I 1987 (Bongard & Arnekleiv 1989) og i 7-års perioden 2009 - 2015 ble ASPT-verdier innenfor miljømålet «God» økologisk tilstand aldri oppnådd i nedre anadrom del av Leirelva (figur 5, øverst). Økologisk tilstand varierte mellom «Dårlig» og «Moderat», og avviket ble faglig vurdert som stort (Bergan 2010-2025b, Bongard & Arnekleiv 1989). Trenden etter restaurerings-tiltakene (årene 2022- 2024) viser oppnådd miljømål i to av tre år i den nedre delen. For midtre anadrom del (figur 5, nederst t.v.) og øvre anadrome referanseområder i Leirelva (figur 5, nederst t.h.) viser resultatene ingen tilsvarende variasjoner. Midtre del av elva varierer mellom «Moderat» og «God» økologisk tilstand, mens øvre referansestasjoner har stabilt høye

ASPT-verdier som varierer mellom «God» og «Naturtilstand/Svært god» økologisk tilstand, uavhengig av tidsperiode. Resultater knyttet til forurensning/biologisk mangfold-indeksen BMWP viser samme trend som ASPT for Leirelva, men dette endres etter restaurering og i 2024. Nedre del oppnår nå høyere verdi dette året sammenlignet med øvre del (figur 6).

Tilsvarende utvikling som for ASPT og BMWP avdekkes også for EPT-indeks (figur 7). I nedre del av Leirelva varierer EPT-indeks mellom 7-15 i årene 2010-2015, mens verdien i 2024 er 29 EPT, som er identisk med øvre del, og noe lavere enn midtre del (30). Spesielt arter/taksa innen vårfluer har økt i nedre del av Leirelva etter restaureringen (figur 7).



Figur 6. BMWP-indeks for bunndyrprøver i nedre anadrom strekning av Leirelva (t.v.) i perioden 1987-2016 (før restaureringstiltak) og etter restaurering (2022-2024) sammenlignet med øvre referanseområder (t.h.) i både anadrom og ferskvannstasjonær strekning av Leirelva i perioden 2011-2024.

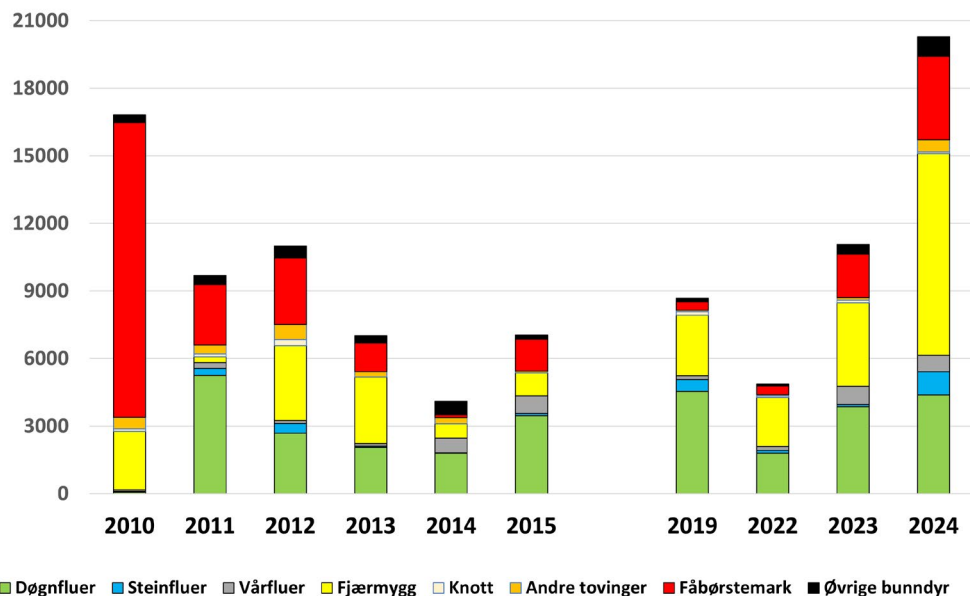


Figur 7. Biologisk mangfold av døgn-, stein- og vårfluetaksa (EPT-indeks) fra bunndyrprøver i nedre del (øverst.), midtre del (nederst, t.v.) og øvre referanseområder (nederst, t.h.) i Leirelva i perioden 2010-2024.

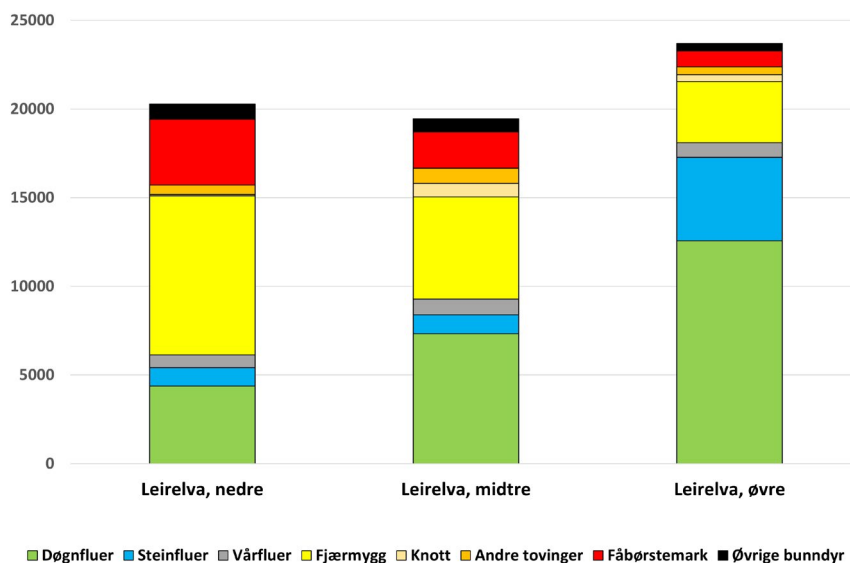
Bunndyrssamfunnets sammensetning og bunndyrproduksjon

Samlet bunndyrproduksjon i nedre del av Leirelva har i 2024 økt vesentlig målt mot tidligere

år (figur 8). Bunndyrgruppene fjærmygg og døgnfluer dominerer bunndyrssamfunnet, samtidig som steinfluer og vårfluer øker i antall. Strukturell og funksjonell bunndyr-



Figur 8. Antall bunndyr per prøve (som mål på bunndyrproduksjon) i nedre del av Leirelva i perioden 2010-2015 (før restaurering og tiltak) sammenlignet med restaureringsperioden 2022-2024.



Figur 9. Antall bunndyr per prøve (som mål på bunndyrproduksjon) i nedre, midtre og øvre del av anadrom strekning av Leirelva i 2024.

sammensetning, antall individer av rentvannskrevende bunndyrformer og EPT-taksa avviker mindre fra midtre del og øvre referansestrekninger av elva enn tidligere år. I 2010-2015

dominerte forurensningstolerante bunndyrformer som fåbørstemark sterkt i bunndyrfaunaen i mange undersøkelsesår, mens forurensningsfølsomme EPT-arter ofte ble registrert

kun med enkeltindivider (Bergan 2010-2021, se f.eks. året 2010 i **figur 8**). Resultatene i 2024 viser at bunndyrfaunaen i nedre del av Leirelva nå nærmer seg et bunndyrssamfunn som lever på øvre referansestrekninger i elva, både i antall, mangfold og sammensetning (**figur 9**).

Hele Leirelva har i 2024 svært høy bunndyrproduksjon (**figur 9**) etter tilførsel av nytt elve-substrat. Hoveddelen av bunndyrssamfunnet utgjøres av viktige næringsdyr for ungfisk av ørret og laks. Antall bunndyr varierer mellom 19-24 tusen individer per prøvetaking (3-minutters innsats, se Bergan 2025b), som er svært høyt sammenlignet med lignende vassdrag i regionen, hvorav viktige byttedyr for fisk utgjør mesteparten av dette antallet. Tilgjengeligheten på byttedyr og mat gjennom året for ungfisk i elva er en viktig årsak til restaureringsuksess, og de høye ungfisktetthetene av ørret og laks.

Restaurering for laksefisk gir også suksess for bunndyrssamfunn

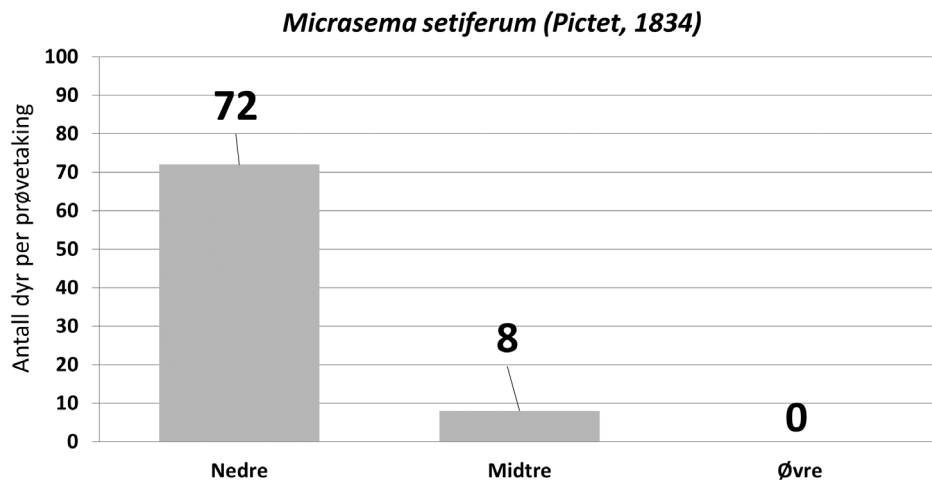
Bunndyrdata fra stasjonsområder i nedre del av Leirelva viser en klar positiv utvikling for miljøbedømmingsindekser som ASPT-indeks (økologisk tilstand), BMWP-indeks og EPT-indeks etter restaurering sammenlignet med perioden før tiltak. Vannkvaliteten i samme periode er lite endret (Nøst 2011-2023). Bunndyrssamfunn i øvre referansestrekninger av Leirelva har ingen tilsvarende utvikling for de samme miljøbedømmingsparameterne, med mer stabile bunndyrssamfunn og bedre miljøbedømming etter de samme indeksene. Årsaken til den positive utviklingen hos bunndyrfaunaen skyldes restaureringstiltakene. Restaureringen har gitt en mer naturlig dynamikk i strømningsforholdene i elva, og dannet hulrom og mikrohabitat for et større antall og mangfold av bunndyr. Elvas evne til selvrensing har økt slik at den nå håndterer dagens belastning bedre. Tross høy partikkelbelastning er det mindre nedslamming, og flere leveområder i mikrohulrom på elvebunnen er skapt for bunndyrene. Resultatene fra bunndyrundersøkelser i både midtre og nedre restaurerte strekninger av Leirelva viser at enkelte nøkkelarter av bunndyr øker i antall etter 2022,

og spesielt i 2024 (Bergan 2022- 2025b). Rentvannskrevende steinfluearter som *Dinocras cephalotes*, *Siphonoperla burmeisteri* og *Capniopsis schilleri* påvises i økende antall på midtre og nedre elvestrekninger etter restaurering. Før restaureringen ble de enten aldri funnet, eller påvist kun i unntaksvis år, og da med svært få enkeltindivider. Arter innen steinflueslektene *Amphinemura* sp. og *Leuctra* sp., samt døgnflueartene *Heptagenia* sp./sulphurea og *Ephemera danica*, synes også å øke i antall og utbredelse innad i elva. Norges vanligste døgnflueart i rennende vann, *Baetis rhodani*, har økt vesentlig i antall i hele elva etter tilførsel av nytt elvesubstrat. Denne døgnflueslekten er svært viktige byttedyr for ungfisk gjennom året i elva. De fleste artene av døgn- og steinfluer som reetablerer seg i restaurerte strekninger deler stammer fra naturlig drift av bunndyr (Bergan & Nystad 2003) og spredning fra «artsbanker» i øvre del av elva.

Vårfluer responderer på restaureringen

Rekolonisering av vårfluefaunaen etter restaurering av vassdrag kan ofte være en god indikator på restaureringsuksess og om restaureringen har vært naturhermende (Bergan mfl. 2021). Mange vårfluearter har strenge krav til et naturligt habitat i elver, enten det er reetablert en velutviklet kantvegetasjon, naturlig substrat, stein eller dødt trevirke i elva. Vårfluefaunaen består b.l.a. av arter som bygger hus av plantemateriale, fingerus- og sandkorn i larvestadiet. Dette er naturlige elementer som finnes i rikt monn i urørte vassdrag, og som en ønsker å gjenskape ved en restaurering. Vårfluer er ofte fåtallige i naturlig drift i vannstrømmen nedover vassdrag (Bergan & Nystad 2003), og kan bruke lengre tid for å reetablere seg etter restaurering (Bergan mfl. 2021). Bunndyrgruppen vårfluer øker både i antall og mangfold etter restaureringen av Leirelva. Det er b.l.a. økt innslag av arter innen familien Limnephilidae, i tillegg til små husbyggende vårfluearter som *Silo pallipes*, *Sericostoma personatum* og *Micrasema setiferum* i 2024 (Bergan 2025b).

Vårflua *Micrasema setiferum* (Pictet 1834) er aldri påvist i Leirelva tidligere, og har trolig



Figur 10. Antall individer av vårflua *Micrasema setiferum* (Pictet 1834) i ulike deler av Leirelva i 2024.

rekolonisert fra Nidelva (oppstrøms sverming som voksent insekt). I Leirelva i 2024 avtar arten i forekomst med økende avstand fra Nidelva, og påvises ikke i bunndyrprøven fra øvre del av anadrom strekning i elva (**figur 10**). Dette viser at vårflua for første gang har gjennomført vellykket egglegging og overlevelse til larve i det restaurerte elvehabitatet i nedre og midtre del av anadrom strekning i Leirelva; en distanse på minimum 1,1 kilometer i luftlinje fra Nidelva (Bergan 2025b). Storstein i elveløpet kan spille en vannøkologisk viktig nøkkelrolle for etableringen vårflua *M. setiferum*. Arten er helt utdødd i Danmark som følge av menneskeskapte belastninger (Wiberg- Larsen 1986), men er vanlig forekommende i Norge i vassdrag med økt autokton produksjon (Lungrin 2020). I elver i de franske Jura-fjellene har forekomst av *M. setiferum* blitt knyttet til stor stein og begroing av mose (Verneaux, 1972). Arter i samme

slekt (*Micrasema* sp.) eller familie (Brachycentridae) har store krav til riktig hydrologi/strømforhold, begroing og substrat (hulrom, stabilitet og størrelser) for å fullføre livssyklus og gjennomføre egglegging (Waringer & Graf 2011, Katano mfl. 2005, Kennedy mfl. 2016). Kunnskapen om dette for *Micrasema setiferum* er imidlertid lav. Trolig behøver *M. setiferum* stabile strukturer som stikker opp av vatnet i elva, enten det er storstein eller dødt trevirke/trær som ligger delvis over og delvis under vann, for egglegging. Strukturen må bryte vannoverflaten. Voksne vårfluer lander på strukturen over vanddekt areal, og kryper deretter ned mot bunnen, og under vann (bak strukturen) for å legge egg i klebrige, fastsittende klaser. Stabile strukturer som storstein flytter seg ikke på flom, og bak steinene oppstår rolige lommer med lav vannhastighet, slik at eggene overlever fram mot klekking til larver. Når larven av *M. setiferum*

lever i elva bygger den nåletynne hus av sandpartikler, og er på størrelse med en blyantspiss, som kan lett spyles ut av elva dersom vannhastigheten eller sediment-transporten blir for høy. Storstein, eller andre større strukturer, gjør at vårfluelarvene ungår å bli tatt av strømmen og spylt ut av habitatet, på samme måte som negravd rogn av ørret / laks ikke spyles ut på de samme elvepartiene.

Konklusjon etter tre år med restaurering av Leirelva

Det har skjedd en stor økning i samlet fiskeproduksjon av sjørret og laks i Leirelva i perioden 2022-2024, samtidig som elvas bunndyrsamfunn har fått økt samlet produksjon og biologisk mangfold av rentvannskrevende bunndyr. Dette skjer til tross for at vannkvaliteten og partikkelbelastningen ikke er endret. Data- og kunnskapsgrunnlaget peker på en oppskalering av ulike habitatforsterkende restaureringstiltak i elva etter 2021 som årsak til resultatene. Med mangel på gode gyteområder som en tidligere stor flaskehals, viser resultatene for årsyngel av laksefisk i perioden fra 2022-2024 at restaureringen har vært særdeles vellykket. Omfanget av utlagt gytesubstrat i Leirelva mangler sidestykke i Norge med tanke mengde tilført substrat (ca 1600m³), sett opp mot størrelse på vassdraget (ca 2,4 kilometer). Resultatet viser god årlig oppgang av gytefisk, som velger å gyte på et stort omfang av nye gyteområder (Bergan 2025a), og at det er svært god overlevelse fra rogn til årsyngel. Ekstremvær de siste to årene, med hyppig styrtregnflommer og mange isgangsflokker gjennom vinteren, i tillegg til andre ugunstige klimaepisoder (langvarig tørke/kulde), har hatt liten eller ingen negativ effekt på måloppnåelsen for restaureringen av Leirelva. Manglende skjulmuligheter for eldre ungfisk og kunstig høy vannhastighet i kanaliserte strekninger har også vært en flaskehals for laksefisk i Leirelva. Dette har bidratt til lav produksjonsevne for ungfisk og et dårlig utgangspunkt for et tallrikt og velutviklet bunndyrsamfunn. Resultatene fra 2024 viser at tiltakene med utlegging av et stort antall større

stein de siste tre årene har gitt positive resultater både for ungfiskbestanden og bunndyrsamfunnet i elva. Produksjonsevnen for ungfisk, målt i tetthet per 100 m² for aldersgrupper av ungfisk eldre enn 1 år) har økt i hele elva etter storsteinutleggingen (Bergan & Nøst 2024, Bergan 2025a). Utplassering av stor stein har gitt mange vannøkologiske fordeler. Elvas evne til selvrensing har på kort tid økt, slik at den nå håndterer dagens belastning på en bedre måte, og det er dannet nye mikrohabitat og leveområder for bunndyrene i elvebunnen. Storstein kobles også til livsvilkår for bunndyrarter som ikke tidligere er registrert i elva. Nye gyte- og oppvekstområder for laksefisk slammes ikke like fort ned takket være variasjon i hydrologi og gunstigere vannstrøm i tilknytning til storsteinene. De utlagte steinene har dannet foretrukne gyteområder for laksefisk, der nedgravd rogn ikke spyles ut, bunnfryser eller tørker inn. Ved flommer dannes lommer med lav vannhastighet langs bunnen, der både rogn, årsyngel og eldre ungfisk overlever svært godt i kanaliserte elvestrekninger med tidligere dårlig overlevelse. Storstein har også gitt nye standplasser og hvilesteder for gytefisken før, under og etter gytetiden, og det er vanskeligere for predatorer (som oter, mink og mennesker) å fange gytefisken.

Overvåkingen av Leirelva har ingen hydrologiske data eller målinger som støtte for effekten av restaureringstiltakene. Suksessen er målt indirekte, gjennom biologiske overvåkingsdata på ungfisk av laksefisk og bunndyrsamfunn, med forankring i fastsatte miljømål for restaureringen. Hydrologiske laboratoriemålinger i forsøksvassdrag har dokumentert at steinutlegging øker vannets resirkulasjon, og at den hydrauliske kompleksiteten øker selv med lavt omfang av steintilførsel (Golpira mfl. 2022). Ved økt omfang av steintilførsel øker kompleksiteten ytterligere (Golpira mfl. 2022). Ut fra oppnådde feltbaserte resultater fra Leirelva viser dette at steinutlegging av stort omfang gir spesielt egnede habitater for elvelevende fiskearter som laksefisk. Gunstige økologiske effekter av steinutlegging og restaurering med elvestein for

fiskesamfunn er vist i andre studier (Yarnell mfl. 2006, Branco mfl. 2013, Bergan mfl. 2021, Bergan & Nøst 2024, Bergan & Holthe 2024), og økende heterogenitet i elvehabitater øker mangfoldet av akvatiske arter (Beisel mfl. 2000, Brown, 2003). Habitatmangfold gir ikke bare et større antall nisjer for bunndyrarter, men gir også et større utvalg av habitater tilgjengelig for arter til refugier, reproduksjon og fødesøk (Townsend mfl. 1997, Ward mfl. 1999, Ward og Tockner 2001). Leirelva har hatt flere menneskeskapte utfordringer med vandringsforholdene for både gytefisk og ungfisk i anadrom strekning. Restaureringstiltakene ville hatt lavere effekt dersom den naturlige vandringsveien for laksefisk opp fra Nidelva og innad i Leirelva ikke ble restaurert. Tiltakene som er gjennomført ved vandringsveiene er vellykket, og utgjør en viktig del av grunnlaget for restaureringssuksessen for laksefisk i elva, og vil være evigvarende.

Det er en økende kunnskap knyttet til produksjonsevnen av sjørret og laks i norske vassdrag uten påvirkninger. Samlet tetthet av ungfisk (laks og sjørret) i Leirelva og andre vassdrag etter restaurering (Bergan mfl. 2021, Bergan & Nøst 2024, Bergan & Holthe 2024, Solem mfl. 2021) viser at grensenivåer for tilstandsklassene «Moderat», «God» og Svært god» økologisk tilstand (Anonym 2013, Sandlund mfl. 2013) er for lave. Det er spesielt terskelverdien for «God økologisk tilstand som bør justeres for å unngå feilklassifisering av økologisk tilstand, slik at man unngår å «friskmelde» belastede vassdrag med redusert produksjonsevne av fisk, når behovet for tiltak og restaurering er stort. Grensenivået «Moderat/God» økologisk tilstand, som i Anonym (2013) er samlet tetthet av ungfisk på 61 per 100 m², ville friskmeldt Leirelva selv om elva har mer enn 80 % lavere produksjonsevne enn resultatene i 2024. Dagens forventning til ungfisktetthet for norske småvassdrag bør derfor justeres vesentlig opp. For små vassdrag, og spesielt sidevassdrag til større elver, må vurderinger knyttet til tapt areal, «økologisk funksjon» og årsyngel-tetthet av laksefisk løftes mer fram som en viktig miljøindikator for økologisk tilstand og miljø-

mål (Bergan mfl. 2011, Bergan & Nøst 2017, Bergan mfl. 2024, Solem mfl. 2021).

Suksessoppskrift for restaurering av norske vassdrag

Norge har svært mange store og små sjørret- og laksevassdrag med tilsvarende påvirkninger som Leirelva før restaurering. Hvorvidt årsakene er landbruk, tømmerfløting, vannkraft-regulering, vei, boligområder eller andre menneskelige aktiviteter, er mindre relevant. Erfaringene fra Leirelva viser at følgende suksesskriterier har vært helt avgjørende:

- Gode overvåkingsdata over flere år (tidsserier)
- Riktige, kunnskapsbaserte diagnoser og definerte miljømål
- Stort nok omfang av restaureringstiltak
- Overvåking før, under og etter (kvalitetssikring)

Vi mener at overføringsverdien fra arbeidet med Leirelva til andre norske vassdrag er stor, og anbefaler at norsk tiltaks- og restaureringspraksis følger «restaureringshjulet» (figur 11) hentet fra erfaringene med Leirelva.



Figur 11. «Restaureringshjul» for vellykket restaurering av norske vassdrag. Tekst: Morten Andre Bergan/NINA. Grafikk: Eva Setsaas/NINA.