

Otra

Effekter av regulering på fiskeproduksjonen i anadrom del



Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI)

NORCE Miljø LFI, Nygårdsgaten 112, 5008 Bergen, **Tel:** 55 58 22 28

ISSN nr: ISSN-2535-6623

LFI-rapport nr: 496

Tittel: Otra – Effekter av regulering på fiskeproduksjonen i anadrom del.

Dato: 8.02.2024

Forfattere: Sven-Erik Gabrielsen, Peter Flödl¹, Tormod Haraldstad, Christoph Hauer¹, Kurt Johansen og Sebastian Stranzl.

Bilder: Fotografier er tatt av Norce LFI.

Geografisk område: Kristiansand kommune, Agder, Norge

Oppdragsgiver: Otteraaens Brugseierforening

Kontaktperson hos oppdragsgiver: Svein Haugland

Antall sider: 38 + vedlegg

Emneord: Produksjon av fisk, reguleringseffekter, stranding

Kvalitetssikret av: Gunnar Bekke Lehmann

Gabrielsen, S.-E., Flödl, P., Haraldstad, T., Hauer, C., Johansen, K. & Stranzl, S. 2023. Otra – Effekter av reguleringen på fiskeproduksjonen i anadrom del. NORCE LFI Rapport nr. 496.

Innholdsfortegnelse

1. Sammendrag	4
1.1 Fangstutvikling og bestandsstatus	4
1.2 Vanntemperatur	4
1.3 Vannstandsendringer og produksjonsforhold.....	5
1.4 Forslag til tiltak	6
1.5 Oppsummering og konklusjon	7
2. Bakgrunn og målsetting	8
2.1 Hydromorfologisk beskrivelse av vassdraget	8
2.2 Bestandsdata og status	9
2.2.1 Ungfiskundersøkelser	9
2.2.2 Fangststatistikk og vurdering av gytebestandsoppnåelse.....	10
2.2.3 Generelle betraktninger rundt effekter av lavvannføring på ulike livsstadier av laks	11
3. Metoder	13
3.1 Temperaturforhold.....	13
3.2 Vannføring og vanndekt areal	13
4. Resultater	14
4.1 Vanntemperatur	14
4.2 Vannføring og vannføringsendringer nedstrøms Vigeland kraftstasjon	18
4.2.1 Senkningshastighet.....	18
4.3 Gytevannstand og reguleringseffekter.....	21
4.3.1 Reguleringseffekter på vanndekt areal med fokus på viktige gyteområder	22
4.3.2 Gyteområdet Stavsøyra	26
4.3.3 Endringer av lave vannføringene før og etter regulering.....	28
5. Oppsummering og diskusjon med forslag til tiltak	29
5.1 Bestandsutvikling og tilstand.....	29
5.2 Reguleringseffekter på vanntemperaturen.....	30
5.3 Reguleringseffekter på vannføringen og effekter på fiskeproduksjonen	30
5.3.1 Reguleringseffekter på vanndekt areal	31
5.3.2 Reguleringseffekter på ulike gyteområder i elva	31
5.3.3 Reguleringseffekter på gyteforhold	32
5.3.4 Reguleringseffekter på vannføringsregimet og swim-up av yngel.....	32
5.4 Forslag til tiltak	33
5.4.1 Forslag til tiltak for å bevare gyteområdene i Otra	33
5.4.2 Forslag til tiltak for å bevare gyteområdet ved Stavsøyra	34
5.4.3 Forslag til tiltak for å øke skjulmuligheten i Otra	35
6. Konklusjon	36
7. Referanser	37
8. Vedlegg 1	39

1. Sammendrag

1.1 Fangstutvikling og bestandsstatus

På slutten av 1800-tallet hadde Otra årlige fangster av laks og sjøørret på rundt 5 tonn i gjennomsnitt, med rekordår på over 10 tonn. Dette skilte Otra fra andre Sørlandselver takket være mindre forsuring på grunn av kalkholdig berggrunn i øvre deler av elvens nedbørfelt. Lokale industriutslipp på 1970-80-tallet førte imidlertid til nesten total utryddelse av Otralaksen. Sportsfiske ble gjenopptatt i 1993 etter sanering av industriutslipp, og fangstene økte betydelig fra omtrent 2 tonn til opptil 11 tonn i løpet av et tiår. Gjennomsnittsfangsten siden 1993 har ligget på ca. 5 tonn, med en rekord på 10,8 tonn i 2006. Nylige vurderinger viser at gytebestanden og høstbart overskudd i Otra har vært svært gode, spesielt fra 2016 til 2020. Den genetiske integriteten er også vurdert som svært god, med lav andel rømt oppdrettslaks i gytebestanden siden 2009, selv om det var en tid med påvirkning på 5-10 % i perioden 1989-2000. Sammenligning av historiske fangster før og etter reguleringen tyder ikke på at fangstene var lavere før reguleringen, til tross for mulig tørrlegging av gyteområder og lave vannføringer om vinteren trolig var en flaskehals før reguleringen fant sted. Men årsakene til dette er sammensatt. Vannføring i gytetiden med påfølgende vannføring i løpet av vinteren, vannføringsforhold ved swim-up og temperatur de første månedene etter, intra- og interspesifikk konkurranse og sjøoverlevelse kan være elementer som alle spiller inn på fiskeproduksjonen. Samlet sett indikerer fangstutviklingen og bestandsstatusen at reguleringen ikke har hatt en negativ effekt på fiskeproduksjonen. Det gjøres oppmerksom på at historiske fangster er beheftet med en del usikkerhet i datagrunnlaget, men gjengir trolig trender i utviklingen.

1.2 Vanntemperatur

Reguleringen av vannføringen i Otra har trolig ikke endret vanntemperaturen nevneverdig som følge av de lange avstandene fra kraftmagasinene til anadrome områder og passering gjennom store innsjøer. Generelt er det forventet høyere vanntemperaturer om vinteren og lavere om sommeren som følge av reguleringen, men i Otra ser det ut til at disse effektene kan ha blitt uttynnet. Derfor er det lite sannsynlig at det har vært store endringer i vekstbetingelsene basert på vanntemperatur for ungfisk i den anadrome delen av elven som følge av reguleringen, i motsetning til andre vassdrag der lignende reguleringer har påvirket ungfiskens utvikling og vekst negativt.

Vanntemperatur er avgjørende for laksungenes veksthastighet. Vanntemperaturen i Otra viser gunstige forhold for vekst hos lakseunger i store deler av vekstsesongen. Selv om Otra er forholdsvis sommervarm sammenlignet med andre norske vassdrag, overstiger temperaturen sjeldent den optimale veksttemperaturen. Det er imidlertid verdt å merke seg at temperaturer

som overstiger 20 °C kan være mer stressende for gytefisken, spesielt i kombinasjon med lave vannføringer. Høye temperaturer og redusert vannføring kan øke stressnivået hos kjønnsmoden laks og gjøre den mer sårbar for sykdommer. Med klimaendringer kan Otra bli utsatt for temperaturer som vil være stressende for laks. Det er derfor viktig å overvåke temperaturutviklingen og vurdere tiltak for å minimere effekten.

1.3 Vannstandsendringer og produksjonsforhold

Raske vannstandsendringer kan være et problem for laks i regulerte vassdrag. Vannstandsendingene i Otra, målt ved Heisel, viser generelt liten sannsynlighet for stranding av ungfisk. I Otra er de fleste senkningshastighetene lavere enn 5 cm/t (94,7 %), en mindre del er på mellom 5-13 cm/t (4,8 %). Noen målinger viser imidlertid stor til svært stor negativ effekt (0,1 %). Disse forekommer årlig og kan derfor medføre til stranding av ungfisk hvert år. Dette er uheldig og fører trolig til at flere ungfisk dør. Generelt er plommesekkkyngel og mindre fisk mer utsatt for stranding som følge av raske vannstandsendringer sammenliknet med større fisk siden disse har høyere mobilitet. Derfor er det viktig at slike hurtige endringer ikke forekommer i den sårbare tiden rett etter «swim-up». Strandingsfaren reduseres trolig med økende avstand fra kraftutløpet. Andre studier har vist at effekten av registrert senkningshastighet kan bli sterkt dempet nedover i vassdraget og at dette er avhengig av elvetopografi.

En vannføring på ca. 130 m³/s dekker hele elvas bredde. Dette gir et vanddekt areal på ca. 723 000 m². Det er en tilnærmet lineær sammenheng mellom vannføring og vanddekt areal fra 25 til 130 m³/s. Reduksjon i vannføringer under 130 m³/s vil ha større negativ effekt på fiskeproduksjonen enn om det er reduksjoner når vannføringene er over 130 m³/s. Årsaken til dette er at alle viktige gyte- og oppvekstarealer blir vanddekt ved 130 m³/s.

Gyte- og oppvekstområder er nøkkelhabitater for fiskeproduksjon. Sammenhengen mellom vannføring og vanddekte gyteområder er ikke lik den for vanddekt areal. Kurven har en utflating, som betyr at andelen vanddekte gyteområder øker raskere fra 25 m³/s og opp til 75 m³/s, mens den ikke øker like raskt fra 75 m³/s og opp mot 130 m³/s. I praksis betyr dette at en økning i vannføringen fra 25 til 75 m³/s vil gi større gevinst i vanddekte gyteområder enn fra 75 til 130 m³/s.

Stavsøyra er et viktig gyteområde for laksefisk i nedre del av Otra. Tidligere studier har vist at lav vannføring kombinert med fjære sjø kan føre til at store gyteområder på Stavsøyra blir tørrlagt, og ungfisk kan bli fanget i små pytter. En modell ble utviklet for å vurdere tidevannseffekter på dette området. Gyteområdet ved Stavsøyra tørrlegges ved vannføring lavere enn 80 m³/s ved et havnivå på -0.67 meter under NN2000. Et slikt lavt nivå inntreffer i snitt hvert femte år. Vannføringer over 80 m³/s vil alltid sørge for at det meste av gytearealet ved Stavsøyra er vanddekt ved lave nivåer for havnivå som oppstår hvert femte år (5-års intervaller).

Sammenlignet med uregulert tilstand, viser det seg at det er mer sannsynlig at det strandet flere gytegroper i Otra før reguleringen sammenlignet med etter reguleringen. Dette skyldes at vannstanden generelt har vært høyere i den perioden eggene ligger nede i gytegroperne i Otra etter reguleringen. I uregulert tilstand var vannføringen typisk rundt 60 m³/s i inkubasjonsperioden (høst, vinter og vår), mens den i regulert tilstand vanligvis er rundt 130 m³/s. Reguleringen har videre ført til mindre variasjon i vannføring, og de høye flomtoppene om sommeren og delvis om høsten er dempet. Dette kan ha endret på sedimentdynamikken i elva.

1.4 Forslag til tiltak

For å opprettholde tilstrekkelig vannføring og sikre **alle** gyteområdene i Otra, bør vannføringen ikke gå under 80 m³/s. Ved minstevannføringskravet på 50 m³/s, risikerer ca. 11 % av tilgjengelige gyteområder og 14 % av produksjonsområdene å tørke ut sammenlignet med vannstanden ved 130 m³/s som i praksis er full elveseng. Dette anses som betydelige andeler. For lakseproduksjonen isolert sett vil 130 m³/s være det beste siden det gir størst tilgjengelig areal for ungfisk, samtidig som tetthetsregulerende faktorer etter klekking antagelig vil kunne kompensere tap av gyteareal om tørrlagte gyteområder er relativt jevnt fordelt utover den anadrome strekningen. En tørrlegging av 11 % av gyteområdene er ikke det samme som en 11 % reduksjon i produksjonen av smolt. Dødelighet på rogn som følge av tørrlegging vil kunne kompenseres med lavere tetthetsavhengig dødelighet i perioden etter swim-up. Hvor stor effekt tørrlegging av egg og plommesekeyngel har på ungfiskproduksjon vil også være avhengig av gytebestandens størrelse. Tørrlegging vil ha en langt større effekt på ungfiskproduksjonen dersom gytebestandens er lav. I Otra er gytebestandens og høstbart overskudd svært gode, og tørrlegging av gyteområder vil derfor ikke utgjøre en så stor negativ effekt på ungfiskproduksjonen enn om gytebestandens hadde vært lav.

Det er foreslått flere tiltak for å bevare gyteområdene i Otra. En mulighet er å senke de høyeste områdene i elva ved å fjerne grusen og plassere den i dypere områder eller ta ut masser fra elva. Dette kan vurderes for de største og mest strandingsutsatte gyteområdene, som Sagjordet og Stavsøyra. Spesielt Sagjordet anbefales i denne sammenheng. En lignende tilnærming ble brukt ved utløpet av Byglandsfjorden i 2020 for å unngå stranding av gytegroper. Dette tiltaket gjør at behovet for vann reduseres uten at det fører til stranding av gyteareal. For å unngå stranding av gyteområdet ved Stavsøyra, er det nødvendig at vannføringen ikke går under 80 m³/s. Stranding kan likevel skje under ekstreme forhold ved nippflo. Det er teoretisk mulig å tilpasse kraftverksdriften i forhold til havnivåvariasjoner, men dette ville være utfordrende å gjennomføre i praksis. Alternativt kan steinblokker plasseres delvis i gyteområdet for å øke vannstanden og redusere risikoen for tørking. Dette krever nøye planlegging.

Det er også behov for å øke skjulmulighetene i elvebunnen for å støtte ungfiskproduksjonen. Dette kan oppnås ved å legge ut stein- og blokkgrupper, danne strømsettere og ledebuner for

å øke hydromorfologisk variasjon. Det kan også være aktuelt å åpne eldre flomløp for å skape variasjon i elvas hydromorfologi og bedre oppvekstforhold for ungfisk. Slike tiltak har tidligere vist seg å være vellykkede i andre vassdrag.

1.5 Oppsummering og konklusjon

Reguleringen har ført til høyere vannføring om vinteren. Dette betyr mest sannsynlig at færre gytegroper strander sammenliknet med situasjonen før reguleringen. I tillegg har den økte vintervannføringen gitt fisken tilgang på et større vanndekt areal. Videre er det lite sannsynlig at reguleringen har ført til endringer i vanntemperatur som kan ha ført til negative endringer med tanke på rognutvikling, klekketidspunkt eller vekstforhold for ungfisk. Derimot er det en klart negativ effekt av reguleringen at det hvert år forekommer hurtige vannstandsendringer som gir økt risiko for stranding og fiskedød. Imidlertid er denne effekten avtagende med økende avstand fra kraftutløpet. En forventet økende grad av effektkjøring i fremtiden vil kunne gi økt risiko for denne type stranding og bør derfor motvirkes gjennom tiltak. Samlet sett og med vekt på den økte vannføringen vinterstid, mener vi det er mest sannsynlig at effekten av reguleringen fram til i dag har hatt en mer gunstig enn negativ effekt for fiskebestanden i Otra.

Kunnskapsgrunnlaget gitt i rapporten gjør det mulig å vurdere hvordan fiskens habitat påvirkes ved ulike vannføringer. En slik tilnærming viser at en kan legge til rette for økt fiskeproduksjon ved aktiv styring av vannføringsregime tilpasset fiskens ulike livsstadier. Et prioritert tiltak vil være å sikre en betydelig reduksjon av andelen gytegroper som strander. Dette kan oppnås ved å sørge for at gyteområdene forblir vanndekt og/eller ved å flytte strandingsutsatte gyteområder til dypere partier av elva. Et annet tiltak er å hindre eller redusere forekomsten av hurtige vannstandsendringer som i dag fører til stranding og tap av ungfisk.

2. Bakgrunn og målsetting

På oppdrag fra Otteraaens Brugseierforening og Å Energi har NORCE LFI gjennomført ulike undersøkelser i Otra og på bakgrunn av innsamlede data utviklet en terrengmodell for vanddekt areal på lakseførende strekning. Målsettingen for disse undersøkelsene har vært å belyse effekter av reguleringen på fiskeproduksjonen nedstrøms Vigelandfossen. I tillegg ønsket Otteraaens Brugseierforening (OB) å avdekke om reguleringen i Otra totalt sett har en positiv eller negativ påvirkning på laksebestanden. Det foreligger derfor også en analyse av vannføringsforholdene før- og etter reguleringen på lakseførende strekning.

Den opprinnelige anadrome laksebestanden i Otra døde antagelig ut i perioden 1970-80 som følge av omfattende lokale forurensningen fra industri og utslipp av kloakk. En storstilt opprydding av utslippene var tilstrekkelig for at laksebestanden ble reetablert gjennom naturlig innvandring av gytelaks fra andre elver på 1990-tallet. Selv om vannkvaliteten er god i de øvre områdene av vassdraget, fører sure sidevassdrag til at vannkvaliteten i hovedelva til tider er skadelig for anadrom fisk. For å avbøte forsuringssituasjonen, ble Otra fullkalket i 2021 og de vannkjemiske forholdene er bedret. Imidlertid viser vannkjemisk overvåking at hovedløpet nedstrøms Vigeland fremdeles kan være utsatt for forsuring i perioder med høy vannføring om høsten. Dette ser imidlertid ikke ut til å påvirke sensitive bunndyr på denne strekningen, og basert på analysen av bunndyrsamfunnet har Otra «God» økologisk tilstand.

2.1 Hydromorfologisk beskrivelse av vassdraget

Otras anadrome del er generelt sett langsomt rennende med en gjennomsnittlig fallgradient på 0,02 %. De øverste 1,5 km av elven er imidlertid brattere med en fallgradient på 0,1 %. Det er i dette området man finner stryk med en høyere forekomst av stein og blokker i elvebunnen. På grunn av Otras lave vannhastighet og dype kulper, er sand og grus dominerende og utgjør hele 76 % av totalt elveareal. Stein og blokk utgjør kun 23 % av elvearealet. Denne fordelingen gjenspeiles i tilgjengeligheten av skjul og hulrom for ungfisk, som generelt er klassifisert som lite til svært lite skjul. Kun 2 % av totalt elveareal har en sammensetning av blokker og steiner med hulrom som gir rikelig med skjul for ungfisk. Det er tidligere foreslått å etablere langsgående rekker av blokker og steiner langs elvekanten i kombinasjon med skråstilte ledebuner som fysiske tiltak for å øke ungfiskproduksjonen i Otra (Gabrielsen et al. 2020). Slike tiltak bør være hovedfokus når det gjelder de fysiske forbedringene i hovedelven. Formålet er å øke hulromkapasiteten og å skape økt hydromorfologisk variasjon. Det ble anbefalt at tiltakene først utføres i dypere områder som er mindre synlige og der det allerede har vært inngrep i vassdraget, for eksempel langs eksisterende elveforbygninger. Disse kan utvides i bredden.

Gytearealet utgjør 3,4 % av totalt elveareal og representerer en moderat mengde gyteareal og er generelt bra fordelt i hele elvas lengde. I den nedre delen av brakkvannssonen ser det imidlertid ut til å være noe begrensa med gytemuligheter. Det antas at det kan være flere

spredte gyteområder her, men bruken er usikker på grunn av leirebunn (Kaasa et al. 2009). De viktigste og største gyteområdene er lokalisert ved Stavsøyra og Sagjordet.

En ny dronekartlegging og analyse av Otra viser at det totale elvearealet i den anadrome delen er rundt 700 000 kvadratmeter ved en vannføring på 100 m³/s. Ved en hendelse i januar 2021, ble vannføringen senket til rundt 60 m³/s noe som førte til at 85 200 kvadratmeter av elvearealet ble tørrlagt. Dette tilsvarte 12 % av det totale arealet. 4 552 m² gyteområder ble tørrlagt under denne hendelsen, tilsvarende 9 % av totalt gyteareal som er 52 742 m². Dette førte til at omtrent 52 % av eggene i de tørrlagte gyteområdene strandet og døde.

Et viktig spørsmål er hvor ofte vannstanden i Otra senkes, og hvilken betydning dette har på fiskeproduksjonen.

2.2 Bestandsdata og status

Den stedeagne laksestammen i Otra betraktes som utdødd som følge av lokal forurensing (Sivertsen 1989). Etter sanering av industriutslippene, ble det påvist økende mengder laksyngel på slutten av 90-tallet, men episoder med forsuring var sannsynligvis årsaken til dårlig overlevelse og lav tetthet av eldre laksunger (Kroglund mfl. 2001). Laks- og sjøørretfangsten begynte å øke betydelig på samme tid, antagelig bestod den av feilvandrede laks og avkom av laks produsert i andre vassdrag (Kroglund mfl. 2008). I 2005 ble fangstene dominert av egenrekruttert laks for første gang siden utryddelse av bestanden (Kroglund mfl. 2008).

2.2.1 Ungfiskundersøkelser

I 2020 ble ungfiskundersøkelser i Otra innlemmet som en del av nasjonal kalkingsovervåking i Norge. Ungfiskundersøkelsene gjennomføres årlig. Det ble etablert fem stasjoner, tre stasjoner i hovedvassdraget og én stasjon i en kalket sidebekk (Høiebekken) og én referansestasjon ovenfor strekningen med skjellsandutlegg i Straisbekken. Resultatene fra ungfiskundersøkelsene i 2020 - 2022, viser store mellomårsvariasjoner i tetthet av årsyngel av laks i både sidebekkene og i hovedelven, og gjennomgående svært lave tettheter av eldre laksunger i hovedelven. Eksponering for surt vann i enkelte år ble oppført som en mulig årsak til stor mellomårsvariasjon i laksetetthet i sidebekkene Høiebekken og Straisbekken (Kroglund mfl. 2001), men det er startet kalking av Høiebekken etter disse undersøkelsene. De svært lave tetthetsestimatene for laksunger i hovedvassdraget i alle undersøkte år, kan skyldes mangel på skjul og hulrom i elvebunnen. En habitatkartlegging av den lakseførende strekningen i 2020 identifiserte mangel på skjul som flaskehals for ungfiskproduksjon (Gabrielsen mfl. 2020). I tillegg kan kraftverksdriften påvirke ungfiskproduksjonen negativt. Bremset mfl. (2021) fant relativt høye fangster av laksunger i begge aldersgrupper under elektrisk båtffiske i Otra i august 2019. Kvantitative data fra båtffiske (antall fisk per minutt) kan ikke sammenlignes direkte med tetthetsestimater fra strandnært elfiske, men relativt god

fangst av laks ved båtelfiske i Otra sammenlignet med andre vassdrag kan tyde på at strandnært elfiske er dårlig egnet til å estimere ungfiskproduksjonen i hovedelven. Dette kan skyldes at det er lite skjul for spesielt stor ungfisk langsmed land, og at laksunger eldre enn årsyngel derfor i hovedsak oppholder seg på dypere vann. Dette utelukker likevel ikke at jevnlig strandnært elfiske kan benyttes til å avdekke trender i ungfiskproduksjonen over tid.

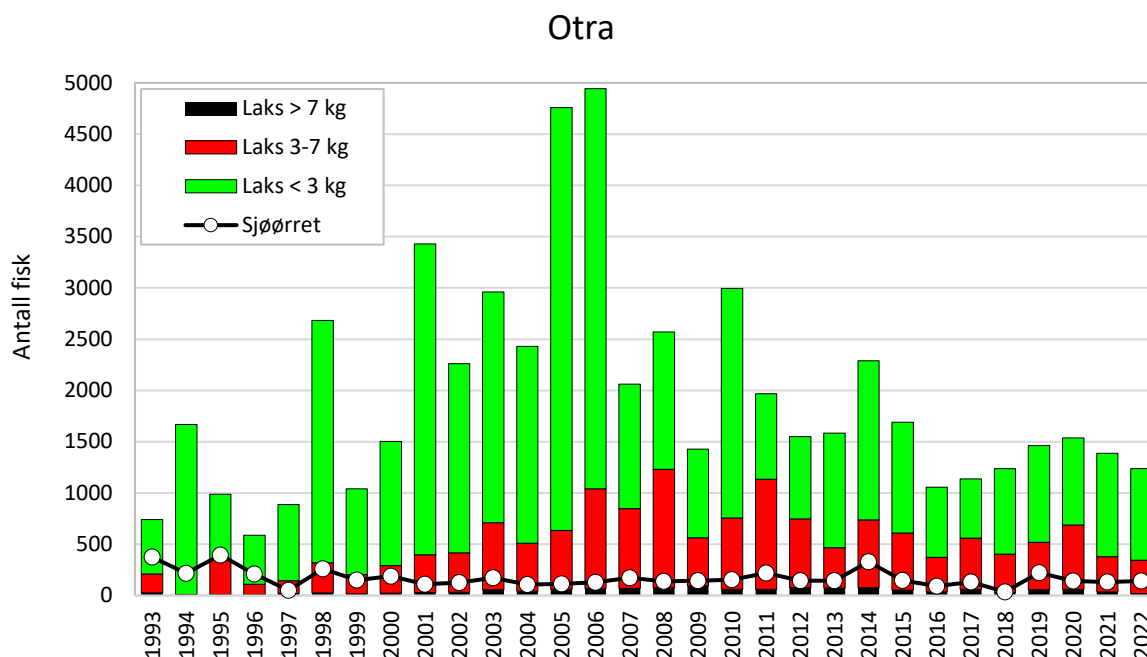
Tettheten av ørret er gjennomsnittlig høyere enn for laks, men med stor variasjon mellom stasjoner. Det var høyest tetthet av både ensomrig og eldre aure på stasjon 1 i Straisbekken med 13 ensomrige og 17,8 eldre aure pr. 100 m². Fra 1998 til 2000 ble det registrert variabel tetthet av årsyngel og svært lav tetthet av eldre ørret på undersøkte stasjoner i hovedelven (Kroglund mfl. 2001). I Straisbekken (st. 1) og Høiebekken (st. 2) var tettheten av ørret betydelig høyere i 1998-2000 enn i perioden 2020 - 2022.

2.2.2 Fangststatistikk og vurdering av gytebestandsoppnåelse

På slutten av 1800-tallet ble det i snitt innrapportert rundt 5 tonn laks og sjøørret per år, og over 10 tonn i rekordår. Otra skiller seg fra de andre Sørlandselvene med relativt gode fangster av laks også på midten av 1900-tallet. Forsuringssituasjonen var bedre i Otra som følge av kalkholdig berggrunn i de øvre delene av nedbørfeltet. Betydelig lokale utslipp fra industri førte imidlertid til at Otralaksen døde ut på 1970-80 tallet. Først i 1993 startet sportsfiske offisielt opp igjen og lokale industriutslipp ble sanert i 1995. Fangsten økte fra omtrent to tonn og opptil 11 tonn i løpet av et tiår (**Figur 1**). Ifølge genetiske undersøkelser av laks i Otra fra perioden 2000-2006 hadde en betydelig andel av laksen opphav i omkringliggende vassdrag (Kroglund mfl. 2008).

Vurdering av gytebestandsoppnåelse (2341 kg hunnlaks) og høstbart overskudd i Otra vurderes som svært god og i femårsperioden fra 2016 til 2020 som god, og det har vært et større høstbart overskudd enn det som har blitt utnyttet (Anon. 2021, <https://www.vitenskapsradet.no/VRLReport#/report/14>). Den genetiske integriteten ansees også som svært god i siste vurdering, med lav andel rømt oppdrettslaks i gytebestanden siden 2009. Fra 1989-2000 finnes det flere år da innslaget ble antatt å være 5-10 %, som innebærer en negativ påvirkning ifølge sårbarhetsvurderingen for ville laksebestander (Hindar & Diserud 2007). I løpet av de siste 18 årene (2001-2018) ble det antatt at denne grenseverdien på 5 % ikke ble overskredet, unntatt i 2008 (6,8 %).

Sjøørretfangsten har vært lav, men ganske stabil fra 1993 til 2022. Årlig fangst ligger i hovedsak mellom 100 og 250 individer i året. I 2022 ble det tatt 141 sjøørret, hvorav 52 ble gjenutsatt.



Figur 1. Antall laks og sjørørret fanget (gjenutsatt og avlivet) i Otravassdraget i perioden 1993 til 2022. Kalking har foregått i Dåsåna siden 2018 og ved utløpet av Brokke kraftverk siden 2019.

2.2.3 Generelle betraktninger rundt effekter av lavvannføring på ulike livsstadier av laks

Rogn

Laks og aure gyter om høsten ved å grave groper i grusen der eggene legges. Etter egglegging dekker hunnen gytegroperne med elvegrus. Gyteområdene finnes på grunt vann der kombinasjonen av substrat, vanddyb og overflatestrøm er ideell. Eggene ligger i gropene gjennom vinteren og klekker til plommesekkkyngel om våren. Naturlig dødelighet er oftest lav under inkubasjonen, men både eggene og plommesekkkyngelen har lav mobilitet og kan derfor ikke unnsnippe ugunstige forhold. Eggene er avhengig av rennende vann for å overleve slik at tørrlegging kan være kritisk for overlevelse. Samtidig er det vist at egg kan overleve lengre perioder med tørrlegging, opp mot flere uker. Fuktighet og temperaturforholdene i gytegroppen virker å være kritisk for overlevelsen i slike perioder, og dødelighet kan inntreffe under bare svært korte perioder med svært lav temperatur. Forholdene i gropa under tørrlegging er antagelig påvirket av flere faktorer inkludert gropens evne til å holde på fuktighet, temperatur, oksygentilførsel, kornfordeling og grunnvannstilsig (Skoglund et al 2022).

Vannføring på høsten under gyting er avgjørende for hvilke områder de benytter, og dermed hvor utsatt eggene vil være for tørrlegging gjennom inkubasjonsperioden. Det er naturlig forekommende med høyere høstvannføring enn vintervannføring i uregulerte elver, og selv om det kan forekomme vil graden av tørrlegging vanligvis være lav i uregulerte elver (Barlaup et al. 1994). Laksen krever en viss vannhøyde over substratet for å gyte og dermed er det rom for en betydelig lavere vannføring vinterstid enn under gyting uten at rogn blir tørrlagt.

I regulerte elver kan vann-nivået fluktuere på en annen måte enn i en uregulert elv. Det finnes flere eksempler på at unaturlig lav vannføring i regulerte elver kan tømme gytegrøper vinterstid (Skoglund et al 2022).

Klekking og swim-up

Rogna klekker om våren og klekkespunkt kan estimeres ut fra gytetidspunkt og temperatur gjennom vinteren. Etter klekking tilbringer yngelen noen uker i substratet der den først livnærer seg av plommesekken før den gradvis går opp og tar til seg ytre føde. Plommeseckyngelen tåler ikke tørrlegging, samtidig som den ikke er mobil nok til å forflytte seg ut av tørrlagt områder. Den er med andre ord svært utsatt i denne perioden. Perioden med swim-up i mai-juni er en periode i laksens liv med naturlig høy tetthetsavhengig dødelighet. Noe dødelighet på rogn og plommeseckyngel som følge av tørrlegging vil kunne kompenseres med tetthetsavhengig dødelighet i perioden etter swim-up.

Ungfisk

I de fleste sørlandselver lever laksungene 2-3 år i elva før de smoltifiserer. De danner små territorier som de forsvaret. Ungfisken er avhengig av skjul og tilgang på mat i form av bunndyr eller driv. Skjul kan den finne mellom steiner eller andre strukturer i elvebunnen. Flere skjulmuligheter gir behov for mindre territorier og flere ungfisk per kvadratmeter elveareal. Generelt kan man si at redusert vandningsareal gir proporsjonalt redusert ungfiskproduksjon. Samtidig er ikke alle områder av elva like attraktive for ungfisken. Ved å redusere vandningsareal kan gode ungfiskområder tørrlegges. Samtidig kan nye områder bli attraktive ved et endret strømmønster.

Smoltutvandring

Etter to til tre år i elva gjennomgår laksungene en smoltifisering som tilpasser de et liv i saltvann. Om våren er det en mer eller mindre synkron utvandring av smolt som trigges av økt vandningstemperatur og vandning. I de fleste elvene på Sørlandet inntreffer vårfloppen før smoltutvandringen starter, slik at vandningstemperatur ser ut til å være den viktigste triggeren for at smolten skal starte sin vandring (Haraldstad et al. 2016). Samtidig skal man ikke utelukke effektene av små vandningsendringer som følge av regn i uregulerte lokale nedbørfelt. Vandring under små flomtopper kan redusere predasjonsrisiko og gi høyere vandningshastighet som igjen letter utvandringen for smolt. Lav vandning under smoltutvandringen kan i så måte øke predasjonsrisiko og begrense vandningshastigheten til utvandrende smolt.

Gytelaks

Flere studier viser at vandningsendringer trigger gytelaksens vandring inn i og oppover elva. Man antar at dette er et av de viktigste vandningstriggerne. Lav sommervandning kan føre til en generell senere oppvandring i elvene. En del laks vandrer inn i elva tidlig i sesongen, for å stå i elva gjennom hele sommeren før gytningen starter om høsten. Redusert vandning kan

ha en negativ effekt på denne laksen. Lav vannføring kan gi høyere elvetemperatur og laksen kan bli tvunget til å stå tettere i hølene. Kombinasjonen varme og stress kan gjøre den økt mottakelig for sykdom samt øke energiomsetning som igjen kan gå utover gyteatferden.

3. Metoder

3.1 Temperaturforhold

Otravassdraget har blitt bygd ut over en lengre tidsperiode og med ulike typer inngrep, og det foreligger ikke noe informasjon om hvordan vassdragsreguleringen har påvirket temperaturforholdene i vassdraget over tid. Vi har gjort en vurdering av hvordan temperaturforholdene i Otra er sammenliknet med andre vassdrag, og hvordan de rådende temperaturforholdene er i forhold til laksens temperaturkrav for vekst. Videre har vi skjønnsmessig vurdert hvordan temperaturen kan ha endret seg som følge av reguleringen. Denne vurderingen er basert på fysiske forhold i Otra samt erfaringer fra andre regulerte vassdrag med kjente effekter på vanntemperaturen. Det foreligger data fra vanntemperatur fra den lakseførende strekningen i Otra for perioden 1986-2022 fra NVE sin stasjon 21.79.0 ved Mosby.

3.2 Vannføring og vanndekt areal

Store, hurtige og unormale reduksjoner i vannføring fører til at store områder av elveleiet tørrlegges, og at fisk og bunndyr strander. Slike brå endringer forekommer oftere i vannkraftregulerte vassdrag. De miljømessige påvirkningene av hurtige vannføringsreduksjoner vil variere med en rekke faktorer, som hvor hurtig vannstanden synker, hvor store deler av elveleiet som tørrlegges, hvor store vannføringsfluktuasjoner som forekommer, samt tidspunkt og hyppighet av vannføringsfluktuasjoner. En gjennomgang av kunnskapsstatus, samt et hjelpemiddel/system for å klassifisere miljøpåvirkning av hurtige vannføringsendringer finnes i Bakken mfl. (2016). Datagrunnlaget fra Otra var tilstrekkelig til å gjøre en full analyse i henhold til dette systemet.

Sannsynligheten for at fisk stander har blitt vist å øke betydelig når senkningshastigheten er høyere enn 10-15 cm per time (Saltveit mfl. 2001, Halleraker mfl. 2003), og Bakken mfl. (2016) vurderer påvirkning ved senkningshastigheter < 5 cm/t som *liten*, 5-13 cm/t som *moderat*, 13-20 cm/t som *stor*, og > 20 cm/t som *svært stor*. Senkningshastigheten skal etter dette systemet beregnes fra når vannføringsreduksjonen starter og ned til 90 % av reduksjonene er gjort, noe som fortrinnsvis krever data med høy tidsoppløsning. Det er benyttet timesverdier i vår beregning, som samsvarer med klassifiseringssystemet. Det er utført en egen analyse for å belyse senkningshastigheten for vannføring under 130 m³/s som påvirker produksjonsareal og gyteområder mer enn når vannføringen er over 130 m³/s.

Basert på data fra Å Energi, har vi sammenlignet vannføring før og etter regulering og sannsynligheten for tørrlegging av elveareal. I tillegg er vanntemperaturforholdene belyst.

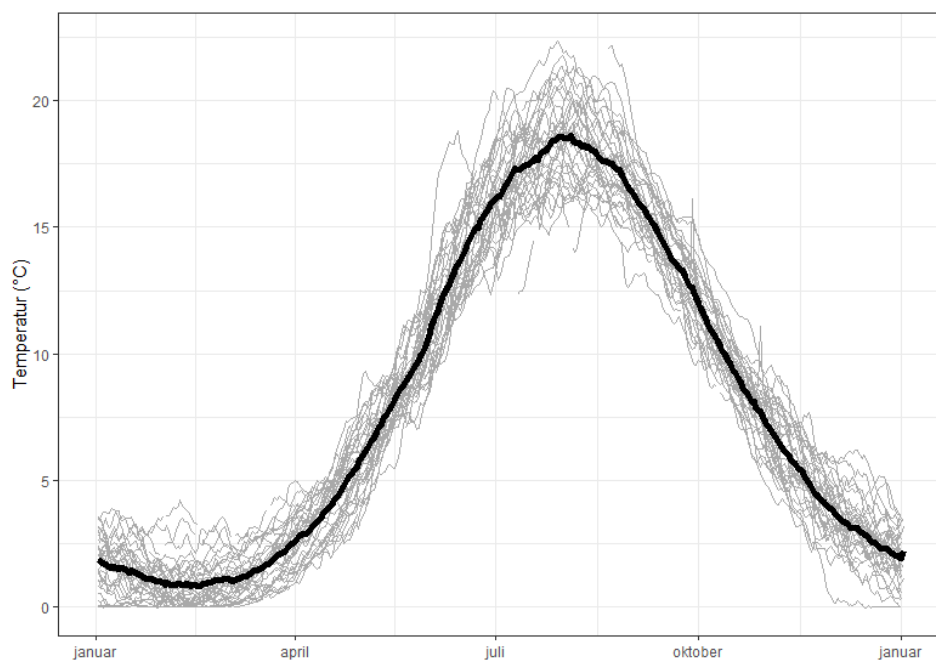
For å utvikle en modell for vanddekt areal på ulike vannføringer ble det benyttet data fra droneflygning, oppmålte dybder med ekkolodd fra båt samt punktmålinger utført med differensiell GPS. Punktmålingene ble konsentrert rundt strandingsutsatte gyteområder. Stavsøyra er det største og viktigste gyteområde i nedre del av Otra og har spesiell oppmerksomhet. Området blir påvirket av tidevannsforskjeller i Kristiansandsfjorden. For å ta høyde for havnivåets påvirkning på vanddekt areal ble det derfor utført egen modellering av dette gyteområdet. Det ble tatt utgangspunkt i data fra Kristiansandsfjorden. Data fra kartverket baserer seg på et nasjonalt høydesystem som kalles Normalnull 2000 (NN2000). Ved et vannstands nivå på 0.3 m over normalnull, er hele gyteområdet dekket med vann (Jostein Mosby pers kom.). Maksimale lavvannsnivåer (kombinasjonen nippflo og vær fenomener) som inntreffer årlig eller hvert femte år ligger på hhv. -0.60 og -0.67 meter under NN2000. Tilsvarende for maksimal springflo er hhv. 0.61 og 0.75 meter over NN2000.

4. Resultater

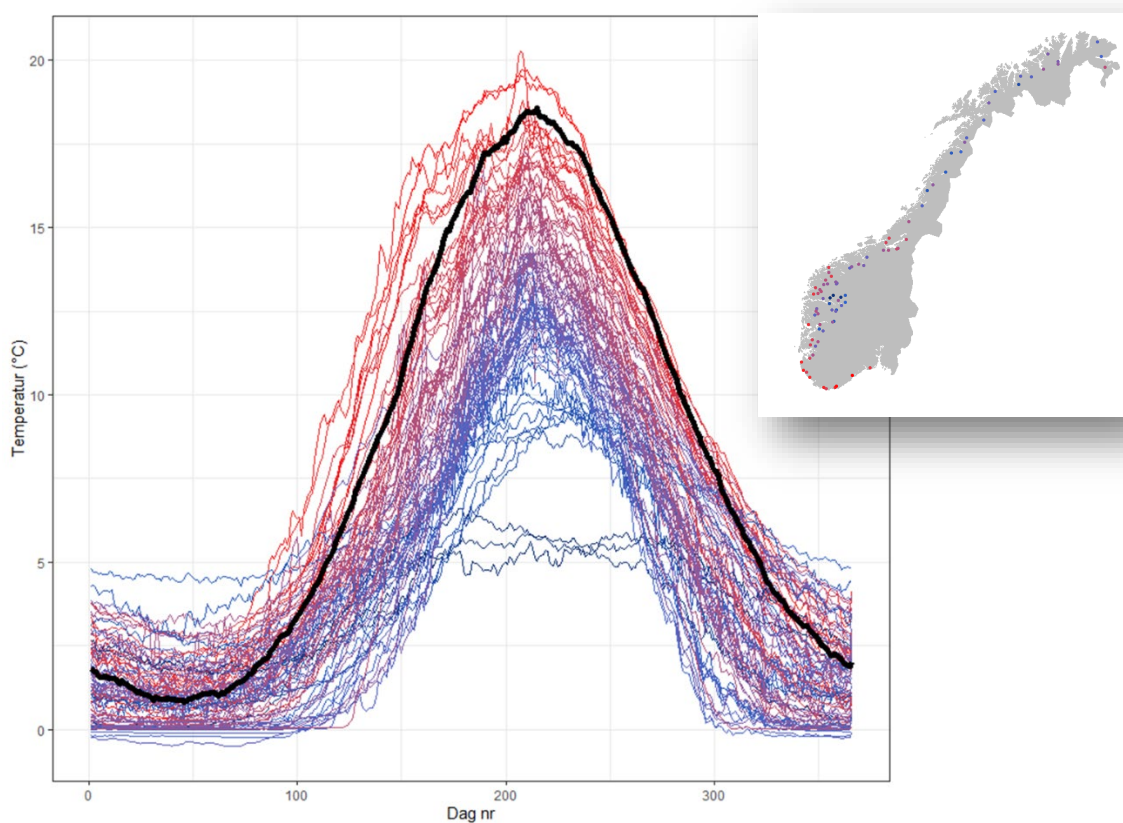
4.1 Vanntemperatur

Vanntemperaturen i Otra er normalt under 2 °C i vinterperioden (**Figur 2**). Fra starten av april øke vanntemperaturen til den når maksimum rundt 18 °C i august, før temperaturen deretter synker utover høsten.

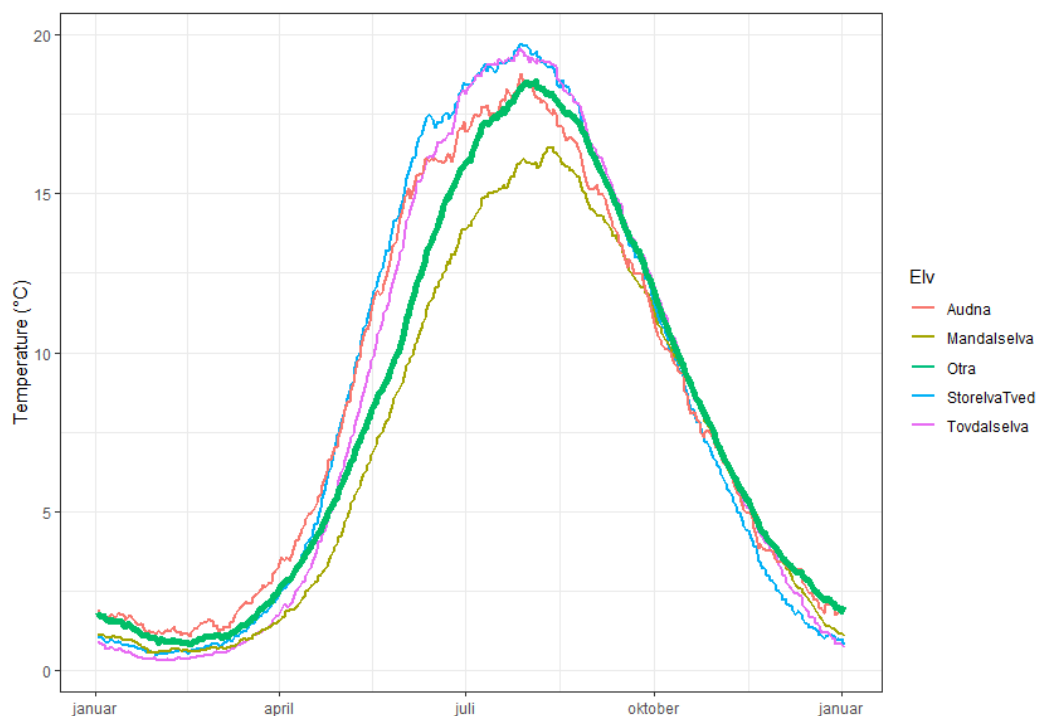
Otra er sammen med de andre Sørlandselvene forholdsvis sommervarme sammenliknet med andre norske lakseelver (**Figur 3**). Vanntemperaturen i Otra er noe lavere om våren og forsommeren enn Tovdalselva og Storelva i Tvedestrand, men noe høyere enn Mandalselva (**Figur 4**).



Figur 2. Døgnmiddel vanntemperatur fra NVE sin stasjon Otra v/Mosby (21.79.0) i perioden 1986-2022.



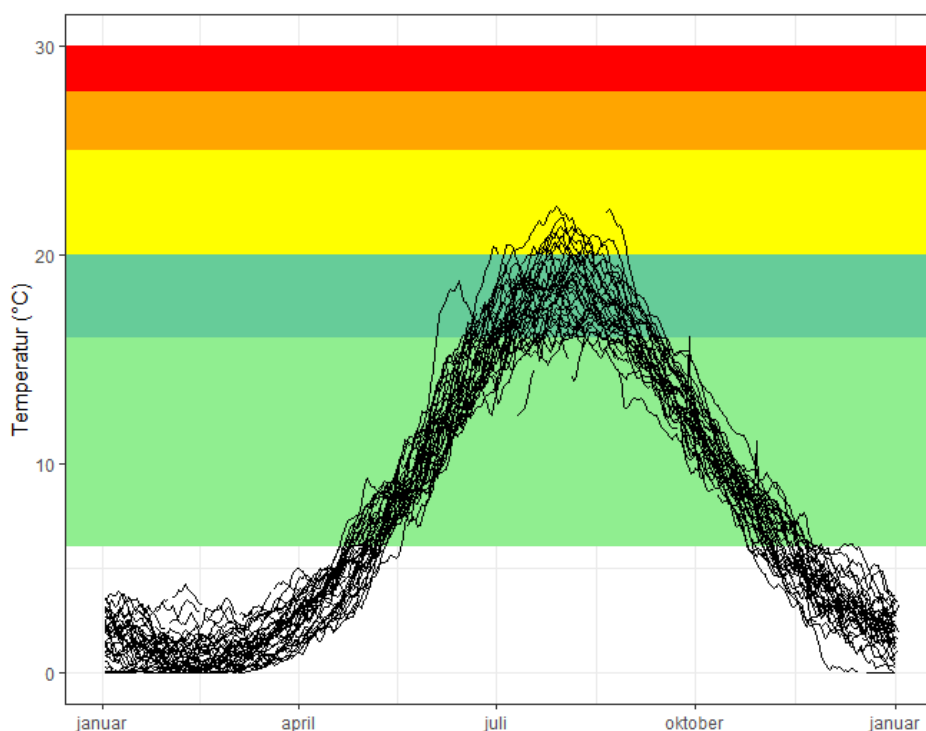
Figur 3. Gjennomsnittlig døgntemperatur gjennom året for 88 ulike lakseførende vassdrag i Norge. Fargen på kurvene reflekterer økende gjennomsnittstemperatur i sommerperioden fra kaldt (blått) til varmt (rødt). Kurven for Otra er markert i svart. Kartet illustrerer plasseringen til de ulike elvene med tilsvarende fargeskala for sommertemperatur.



Figur 4. Gjennomsnittlig vanntemperatur gjennom året i ulike Sørlandselver, med kurven for Otra uthevet i grønt. Data er hentet fra NVE.

Vanntemperaturen har en stor påvirkning på både utvikling og vekst hos fisk. Hos lakseunger er veksten vanligvis forholdsvis lav når vanntemperaturen er under 6 °C, og øker generelt med økende temperatur opp til et optimum rundt 16-20 °C. Når temperaturen overstiger 20 °C vil veksten avta selv når fisken har ubegrenset med mat. Øvre grense for vekst er om lag 25 °C og om lag 28 °C for overlevelse hos lakseunger. Grovt sett kan en si at laksen trives best når vanntemperaturen i vekstsesongen er i området 10-16 °C, og at fisken utsettes for temperaturrelatert stress om temperaturen overstiger 20 °C.

Temperaturen i Otra er i store deler av vekstsesongen i intervallet 6-20 °C, som vanligvis er forbundet med gunstig til optimal vekst (**Figur 5**). Kun unntaksvis overstiger temperaturen den optimale veksttemperaturen, og har aldri vært i nærheten av de øvre temperaturgrensene for fiskeoverlevelse.



Figur 5. Døgnmiddeltemperatur i Otra i ulike år. Fargene indikere ulike temperaturintervaller for vekst hos laks; 6-16 °C: gunstig, 16-20 °C: optimal, 20-25 °C: supraoptimal, 25-28°C: stressende, >28 °C: dødelig.

Reguleringen har endret på vannføringsregimet i Otra (se kapittel nedenfor om vannføring og vannføringsendringer nedstrøms Vigeland kraftstasjon). Siden det ikke foreligger temperaturdata før reguleringen startet, er det vanskelig å vite noe om effekter av reguleringen på vanntemperaturforholdene i Otra. Basert på generell kunnskap fra andre regulerte vassdrag er det typisk med høyere vanntemperaturer om vinteren og lavere vanntemperaturer om sommeren der reguleringen henter vannet sitt med bunntapping fra høyereliggende kraftmagasin. Avstanden fra Otra sine kraftmagasin med bunntapping er lokalisert svært langt fra anadrom strekning og vannet passerer store innsjøer som Åraks,- Byglands,- Kile- og Gåsefjorden for å nevne noen, før vannet kommer ned til anadrom strekning. Dette vil trolig begrense effektene av kaldere vann fra bunntappingen fra kraftmagasinene om sommeren og varmere vann enn naturlig om vinteren. Om reguleringen har en effekt så kan det kanskje være noe varmere vanntemperatur om vinteren grunnet mer vann som fører til en senere avkjøling, samt periodevis noe varmere vann om sommeren siden vannføringen generelt er lavere etter reguleringen slik at vannet blir fortere varmet opp på vei ned til anadrom strekning. Basert på de ovenfornevnte forhold er det skjønnsmessig vurdert til at det er lite trolig at vanntemperaturen har endret seg nevneverdig som følge av reguleringen. Videre er det lite sannsynlig at det har skjedd store endringer i utviklingen av ulike stadier for ungfisk i Otra sin anadrome del som følge av reguleringen. NORCE LFI har jobbet med denne problemstillingen i en rekke vassdrag der temperaturendringene har f.eks. endret tidspunktet for «swim-up» og ført til lavere vekst med påfølgende økt smoltalder.

Felles for disse vassdragene er at vann fra bunntapping fra oppdemte magasin har sitt utløp ikke langt fra eller i anadrom strekning. Dette er ikke tilfelle i Otra.

4.2 Vannføring og vannføringsendringer nedstrøms Vigeland kraftstasjon

4.2.1 Senkningshastighet

Basert på timesverdier fra vannstandsmåleren Heisel i perioden 1998 - 2023, kan endringene i vannstanden generelt klassifiseres som liten effekt på stranding av ungfisk. De fleste senkningshastighetene er lavere enn 5 cm/t (94,7 %) og en mindre del er på mellom 5-13 cm/t (4,8 %). Noen målinger viser imidlertid stor til svært stor negativ effekt (0,1 %) (**Figur 6**). Disse forekommer årlig og kan derfor medføre til stranding av ungfisk hvert år. Dette er uheldig. Det er utført en betydelig datakvalitetssjekk for å sikre riktig input av data til analysen (R Studio). Dette medførte til at 8 målinger ble fjernet fra analysen.

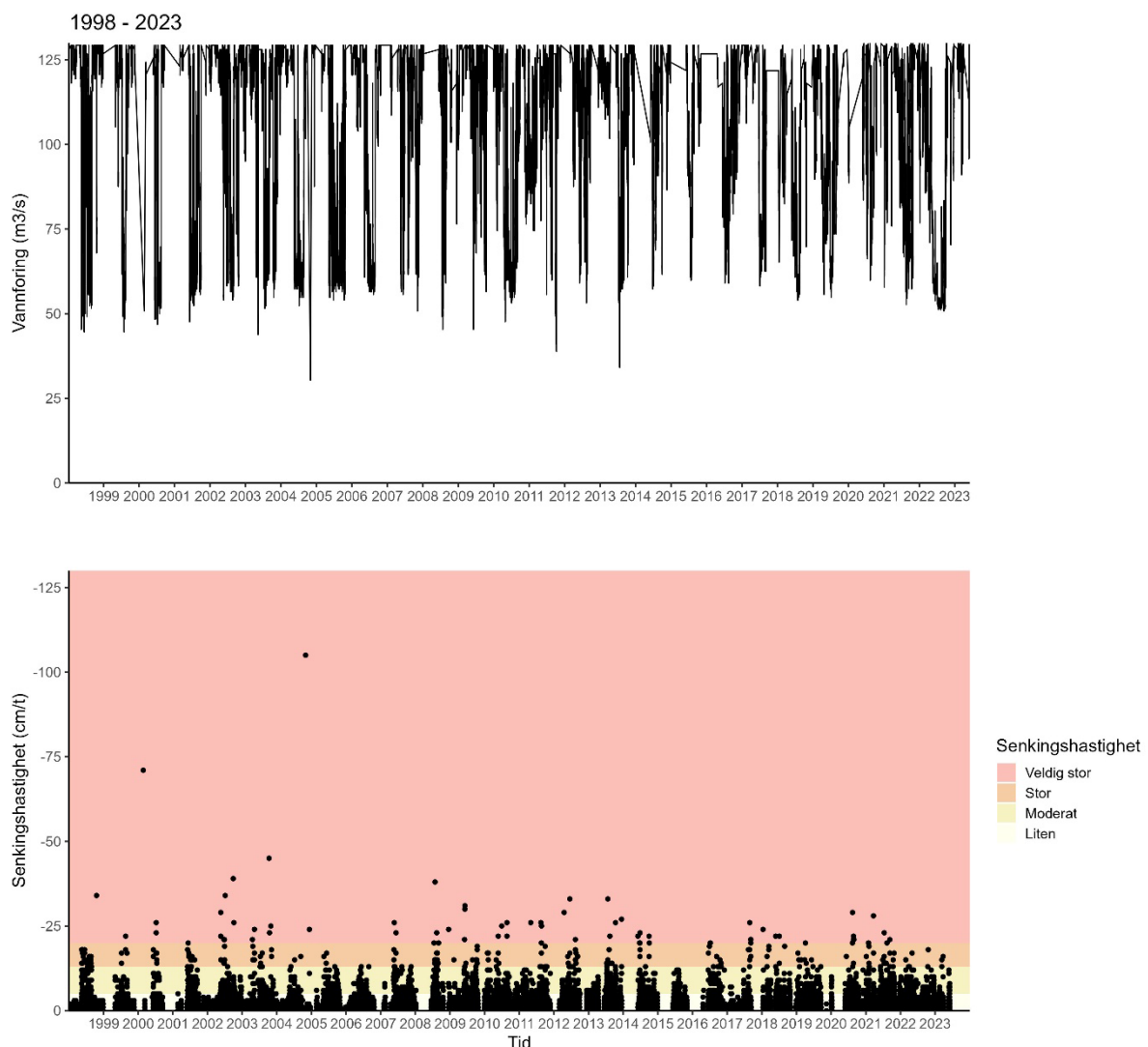


Figur 6. Senkningshastigheter, dvs. reduksjon i vannstand fra en time til neste i perioden 1998 - 2023 nedstrøms Vigeland kraftverk. Fargeskalaen indikerer grenseverdier for klassifisering av effekt fra Bakken mfl. (2016).

En egen analyse for senkningshastigheten for vannføring under $130 \text{ m}^3/\text{s}$ viser at vannstanden generelt kan klassifiseres som liten effekt på stranding av ungfisk hele perioden sett under ett (**Figur 7**). De fleste senkningshastighetene er lavere enn 5 cm/t (94,4 %), en mindre del er på mellom 5-13 cm/t (4,9 %). Noen målinger viser stor til svært stor negativ effekt og disse hendelsene forekommer årlig (0,7 %) (**Figur 7**). Dette viser at det er sannsynlig med stranding av fisk hvert eneste år i Otra og at dette kan medføre til at fisk dør. Årsaken til at det ble gjort

en egen analyse for vannføringer under $130 \text{ m}^3/\text{s}$, er at denne vannføringen i praksis dekker det totale elvearealet med vann. Negative effekter på fiskeproduksjon er derfor større ved vannføringer lavere enn $130 \text{ m}^3/\text{s}$ enn vannføringer over dette nivået.

Generelt viser vannstandsdata relativt stabile forekomster av hyppige nedkjøringer der senkningshastigheten er høy (rød sone) i årene fra 1998 – 2023, hvor det årlig forekommer mellom 1 – 5 tilfeller av hurtige vannstandsreduksjoner. Det finnes imidlertid et par unntaksår der det forekommer enda flere tilfeller. Disse forekom i 2008 (7 tilfeller), 2011 (7 tilfeller), 2014 (8 tilfeller), 2017 (12 tilfeller), 2018 (7) og 2020 (7 tilfeller).



Figur 7. Vannføringsvariasjoner under $130 \text{ m}^3/\text{s}$ (øverst) og senkningshastigheter (nederst), dvs. reduksjon i vannstand fra en time til neste i perioden 1998 - 2023 nedstrøms Vigeland kraftverk. Fargeskalaen indikerer grenseverdier for klassifisering av effekt fra Bakken mfl. (2016).

I teorien kan vannføringen stige relativt kjapt igjen etter ett fall, slik at fisk som har strandet får vann på seg igjen og av den grunn ikke kveles grunnet vannmangel. En analyse av hvordan vannføringen var timen etter en rask vannstandsending i oransje eller i rød sone i Otra, er vist

i **Tabell 1**. Analysen har tatt utgangspunkt i en startvannføring på 130 m³/s eller lavere, og analysert antallet ganger senkningshastigheten kommer i kategori oransje eller i rød sone. Videre er det analysert for hvor mange tilfeller av disse senkningene der vannføringen forblir uforandret eller lavere i timen etter denne senkningen, eller hvor mange ganger vannføringen stiger til opptil halvparten eller til over halvparten av det senkningen var. Ved redusert vannføring ligger det gjerne vann igjen i pytter og hulrom i tørrlagt elvekant som fisk kan overleve i i en stund til oksygenivået blir for lavt. I den sammenheng er det interessant å finne ut hvor ofte vannføringen øker igjen etter en rask senkning siden dette kan begrense omfanget av antallet fisk som strander og dør. Økt vannføring som dekker tørrlagt areal vil i tillegg redusere faren for at fisk som ligger igjen i pytter og vanddekte hulrom, blir spist av predatorer. NORCE LFI har i flere vassdrag i forbindelse med gjennomføringen av feltarbeid, observert spesielt kråker og fossefall som plukker levende fisk i pytter og dammer i tørrlagt areal ved redusert vannføring grunnet nedkjøring av kraftverk (NORCE LFI, egne observasjoner). Analysen for Otra viser at vannføringen i perioden 1988-2023, sank videre i 131 tilfeller eller forble uforandret i 2 tilfeller av i alt 184 senkningstilfeller i kategorien oransje sone. Tilsvarende for rød sone var 42 tilfeller med videre reduksjon eller forble uforandret i 2 tilfeller av i alt 73 senkningstilfeller. Noen ganger har vannføringen steget i timen etter senkningen hendte. For både oransje og rød sone har denne økningen i vannføringen i timen etter senkningen, vært på over halvparten av det senkningen var på i hhv. 51 tilfeller for oransje sone og 29 tilfeller for rød sone. Vi antar at fisk som strander og ikke har tilgang på vann i pytter eller andre hulrom dør, mens fisk som tilfeldigvis er igjen i slike områder kan overleve slike raske vannstandsendringer i Otra om de ikke blir spist. Dette kan begrense antallet fisk som strander og dør ved hurtige vannstandsdropp i Otra. Videre vil strandingsfaren trolig reduseres med avstand fra kraftutløpet siden effekten av registrert senkningshastighet kan bli sterkt dempet nedover i vassdraget avhengig av elvetopografi (Hauer mfl. 2014; Hauer m.fl. 2017) og er neglisjerbar i innsjøer av en viss størrelse (Person mfl. 2014).

Tabell 1. Målt endring i vannføringen timen etter at senkningshastigheten enten har vært på 13-20 cm/t (oransje sone) eller 20 cm/t eller lavere (rød sone) når vannføringen i utgangspunktet er 130 m³/s eller lavere i Otra i perioden 1998 - 2023. Analysen viser antall ganger der vannføringen enten synker videre, forblir stabil, øker opptil halvparten av senkningen eller over halvparten eller mer av det senkningen var.

Senkningshastighet	Synker videre	Ingen endring	opptil halvparten	Over halvparten
Oransje sone (13-20 cm/t)	131	2	0	51
Rød sone (> 20 cm/t)	42	2	0	29

En annen analyse av disse raske endringene i vannstand, er størrelsen på endringen i vannføringen ved disse hendelsene (maks vs. min vannføring). Hvis vannføringsforholdet er større enn 5, så er effekten svært stor, mens hvis den er lavere enn 1.5 så er den liten. Analysen viser at de fleste senkningstilfellene i oransje og rød sone, kommer i kategorien *liten* effekt (**Tabell 2**). Dette betyr at de fleste endringene i vannføringene ved hurtige senkningstilfeller, er lavere enn 1.5 slik at påvirkningen på fisk derfor er liten.

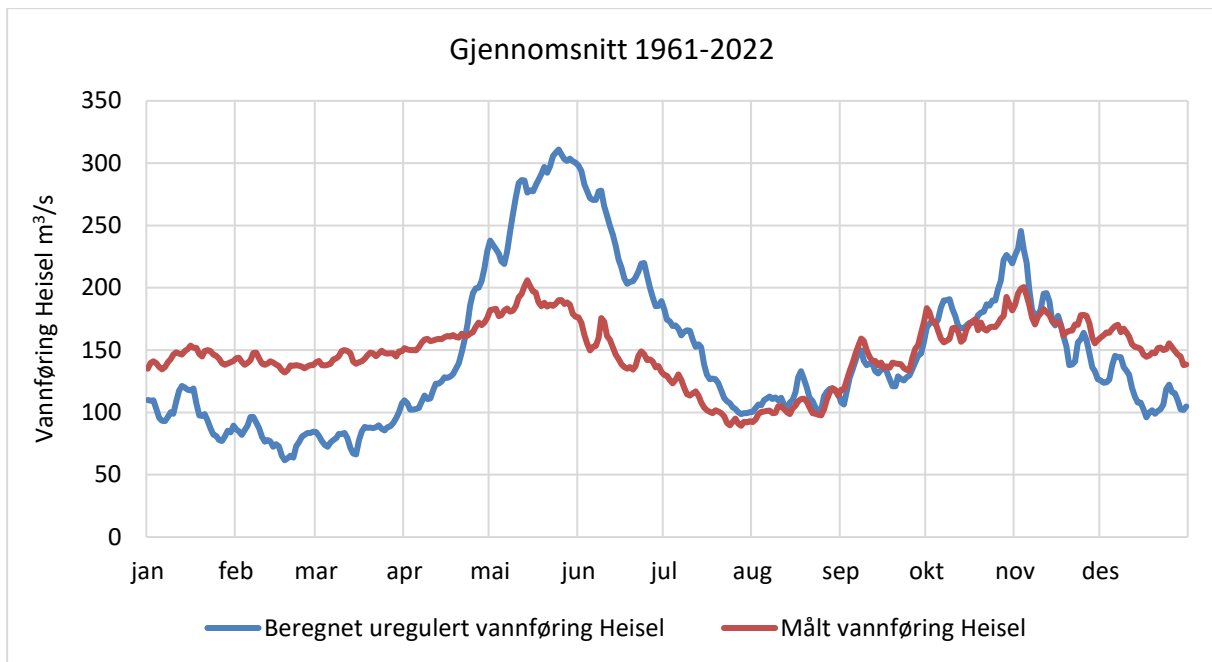
Tabell 2. Antallet tilfeller der størrelsen på svingningen i vannføringen er veldig stor (> 5), stor (3-5), moderat (1.5 - 3) eller liten (< 1.5) ved hurtige senkningshastigheter som er enten i oransje eller i rød sone i Otra i perioden 1998 - 2023.

Størrelse av vannføringssvingningene	Oransje sone	Rød sone
Veldig stor (>5)	0	1
Stor (3 - 5)	0	1
Moderat (1.5 - 3)	0	5
Liten (<1.5)	184	66

4.3 Gytevannstand og reguleringseffekter

Problemstillingen knyttet til gytevannstand er når det oppstår et misforhold mellom vannføring under gytingen og etterfølgende vannføring gjennom vinteren. Ved generelt høyere vannføring i gyteperioden sammenlignet med etterfølgende vintervannføring, står gyteområdene i fare for å tørrlegges. Gytetidspunktet til sjøaure og laks i Otra kan variere noe mellom år, men oftest foregår gytingen i perioden fra oktober til desember der sjøaure starter sin gyting før laksen. Vannets temperatur, tilgangen på gyteområder og individuelle forskjeller blant de kjønnsmodne hunnene kan påvirke nøyaktig når gytingen finner sted. Det er viktig å merke seg at det kan være lokale variasjoner langs elveløpet.

Beregnet vannføring før og etter regulering er relativt lik i gyteperioden (**Figur 8**). Vintervannføringen er derimot høyere etter regulering (**Figur 8**). I uregulert tilstand har vannføringen typisk vært ned mot ca. 60 m³/s i vinterperioden (høst, vinter og vår), mens tilsvarende i regulert tilstand typisk er 130 m³/s. Samtidig er vannføringen høyere under klekking og swim-up i uregulert elv. Dette er en kritisk periode, der individene er lite mobile og da mer sårbare for tørrlegging enn rogn samtidig som flommer kan spyle individene ut av elva og i tillegg vanskeliggjøre matopptak. Videre har reguleringen ført til mindre variasjon i vannføringen og de høye flomtoppene om sommeren og til dels om høsten er dempet. Mellomårsvariasjoner for perioden 2001-2021 er vist i **vedlegg 1**.

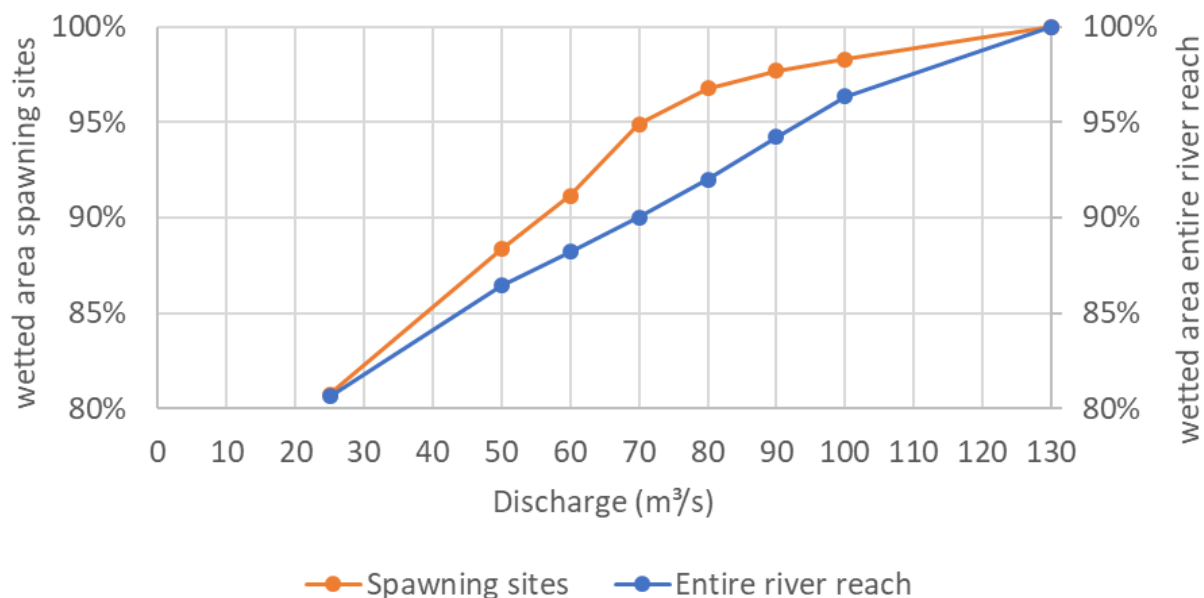


Figur 8. Beregnet vannføring ved målestasjon Heisel i anadrom del av Otra før (blå linje) og etter (rød linje) reguleringen fant sted. Figur fra Å Energi.

4.3.1 Reguleringseffekter på vanndekt areal med fokus på viktige gyteområder

En vannføring på ca. 130 m³/s dekker i praksis hele elva (full elveseng), og dette arealet blir i det videre omtalt som produksjonsarealet i Otra. Produksjonsarealet tilsvarer ca. 723 000 m² (**Tabell 3**). Videre beregninger viser at det er en tilnærmet lineær sammenheng mellom vannføring og vanndekt areal med økende vannføringer fra 25 til 130 m³/s. I konsesjonsvilkårene for Otra er minstevannføringen i anadrom strekning 50 m³/s. Ved denne vannføringen tørrlegges ca. 14 % av produksjonsarealet og 11 % av tilgjengelig gyteareal i elva (**Tabell 3**).

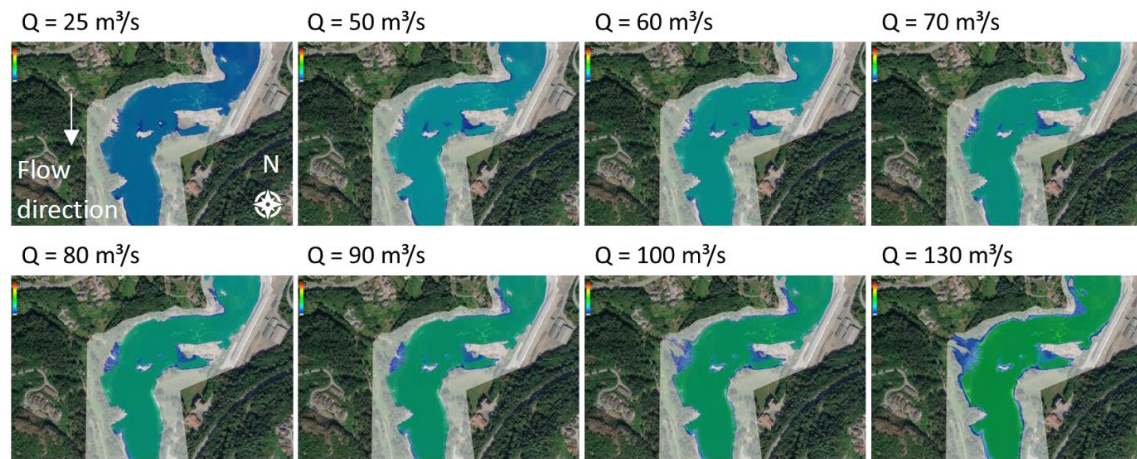
Gyteområder er nøkkelhabitater for fiskeproduksjon. Sammenhengen mellom vannføring og vanndekte gyteområder er ikke lik den for det totale vanndekte arealet. Kurven for gyteområder har en utflating, som betyr at andelen vanndekte gyteområder ikke øker slik vi ser for vanndekt areal. Andelen vanndekte gyteområder øker raskere enn det totale vanndekte arealet fra 25 m³/s og opp til 75 m³/s, mens den ikke øker like raskt fra 75 m³/s og opp mot 130 m³/s (**Figur 9**). Modelleringen viser at ca. 80 % av gytearealet er vanndekt ved den laveste modelleringen på 25 m³/s, 95 % ved 70 m³/s og 100 % ved 130 m³/s.



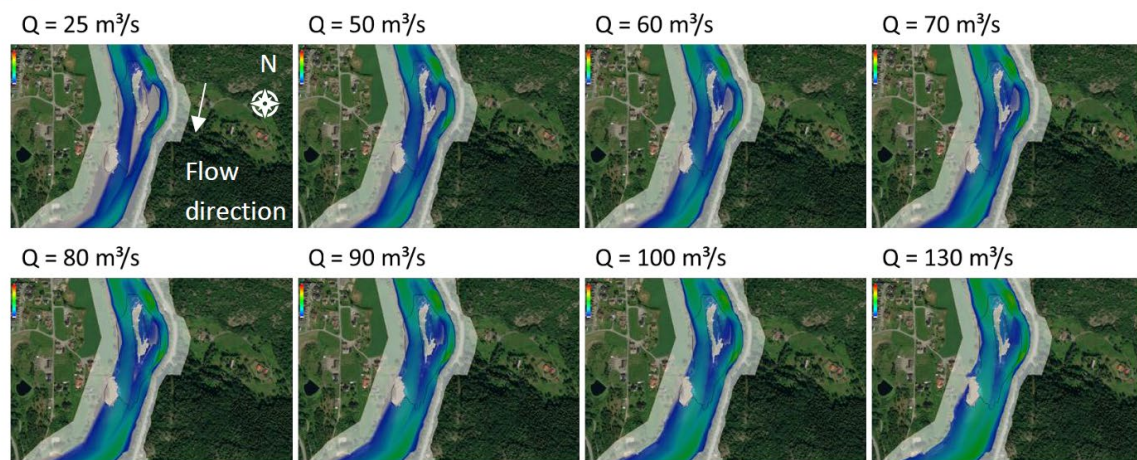
Figur 9. Prosentvis vanddekt areal i forhold til vannføring i Otra for gyteområder (oransje linje) og hele elvearealet (blå linje). For hele elvearealet er det en tilnærmet lineær sammenheng mellom vannføring og vanddekt areal. For gyteområdene er det et tydelig knekkpunkt ved 70 m³/s. Det er en økt tørrlegging av gyteområdene med vannføringer lavere enn 70 m³/s enn sammenlignet med vannføringer over 70 m³/s. Figuren er hentet fra Flödl & Hauer 2023, vedlagt appendiks.

Tabell 3. Vanddekt areal i forhold til vannføring i Otra for hele elven, gyteområder i øvre del og gyteområder i nedre del.

Vannføring (m ³ /s)	Hele elven (m ²)	Gyteområder øvre del (m ²)	Gyteområder nedre del (m ²)
25	583 114	21 756	20 935
50	625 047	23 549	23 171
60	637 933	24 157	24 033
70	651 000	24 671	25 520
80	665 263	24 956	26 213
90	681 403	25 183	26 488
100	696 764	25 348	26 635
130	723 130	25 858	27 019



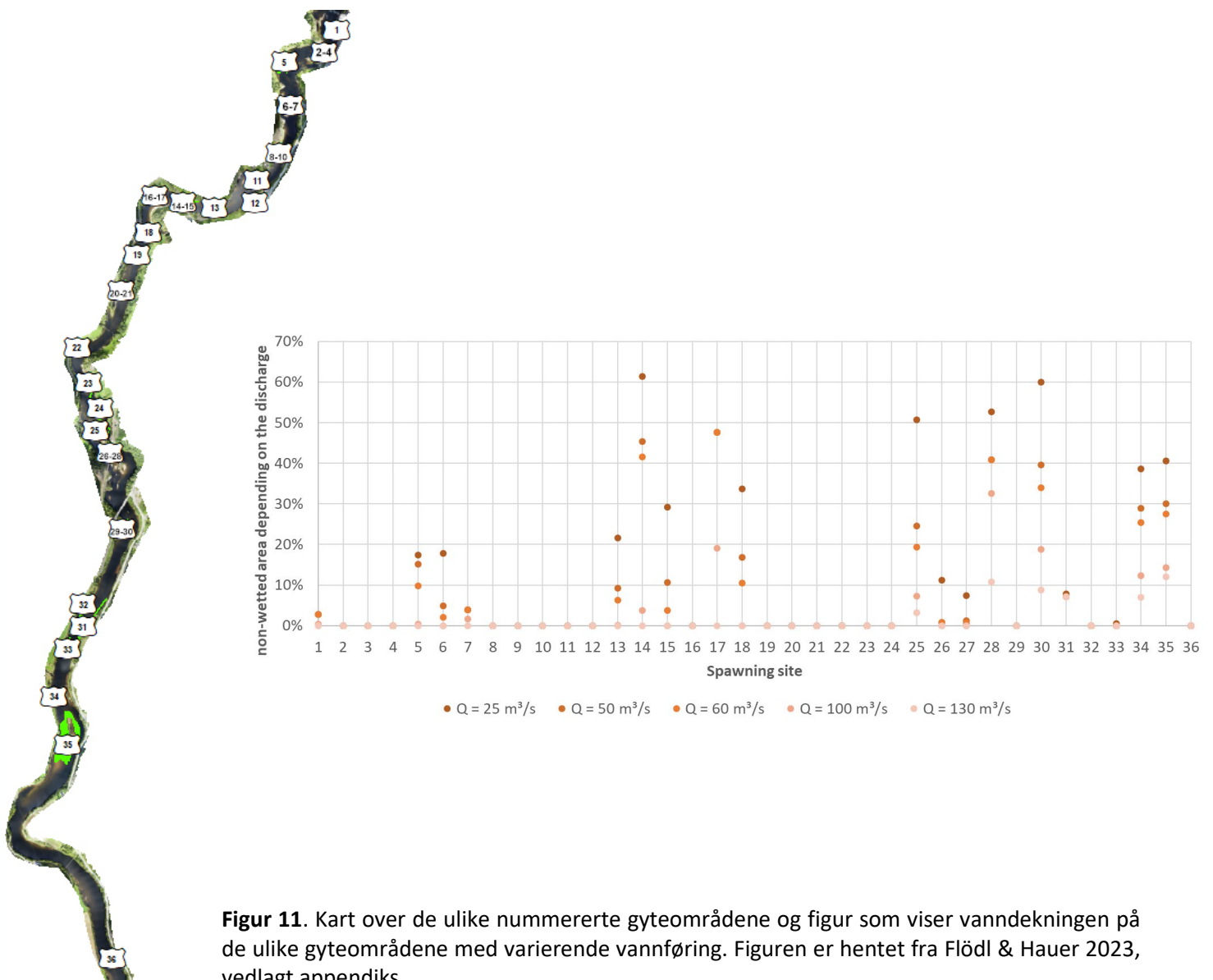
(a)



(b)

Figur 10. Modellert vanndekt areal og vanndyp for øvre del (a) og nedre del (b) i Otra for ulike vannføringer med $25 \text{ m}^3/\text{s}$ som den laveste vannføringen og $130 \text{ m}^3/\text{s}$ som den høyeste. Blå farge ar grunne områder, mens grønne angir dypere områder. Figuren er hentet fra Flödl & Hauer 2023, vedlagt appendiks.

Endringer i vannføringen har en ulik effekt på vanddekningen på de ulike gyteområdene lokalisert i elva (**Figur 11**). Ved Sagjordet som er det viktigste gyteområdet i øvre del av Otra (gyteområde 5 i **Figur 11**), tørtlegges 10 % av arealet ved en vannføring ned mot 60 m³/s, mens ved 100 m³/s er alt vanddekt. Flere gyteområder ligger så dypt at de alltid vil være vanddekt. Det finnes strandingsutsatte gyteområder i øvre, midtre og nedre del, men vannføringer over 70 m³/s synes å dekke de aller fleste gyteområdene med vann. Unntaket er ved det viktige gyteområdet ved Stavsøyra og for noen av gyteområdene som ligger rett oppstrøms dette.

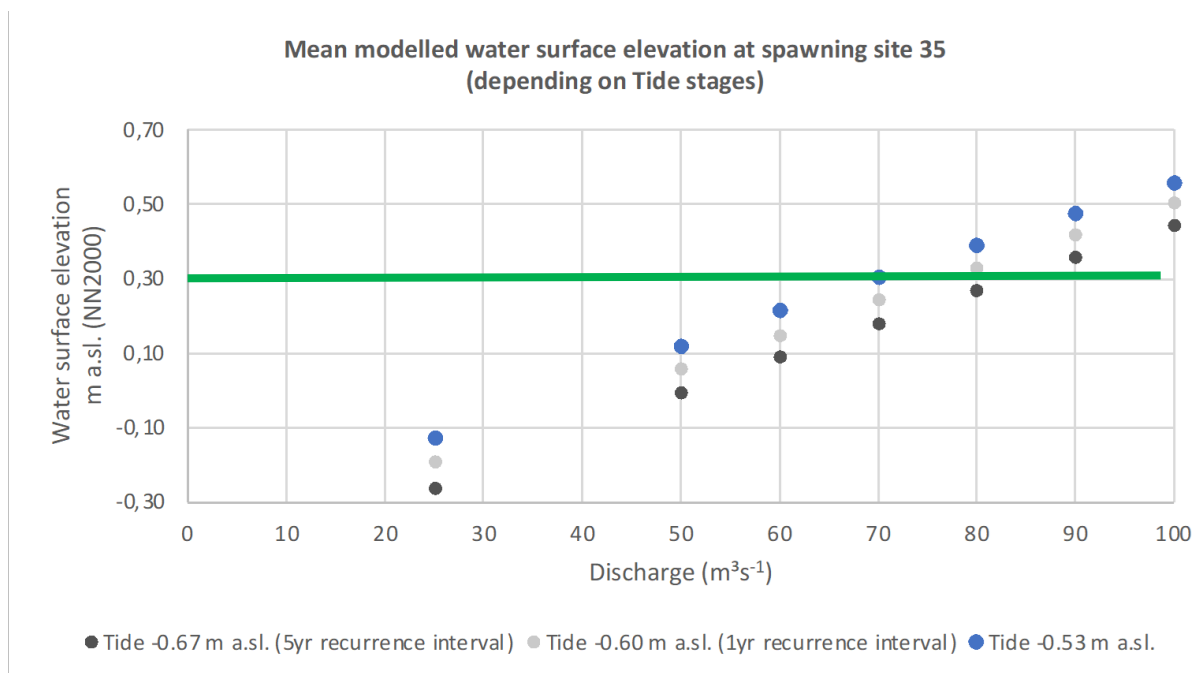


Figur 11. Kart over de ulike nummererte gyteområdene og figur som viser vanddekningen på de ulike gyteområdene med varierende vannføring. Figuren er hentet fra Flödl & Hauer 2023, vedlagt appendiks.

4.3.2 Gyteområdet Stavsøyra

Gyteområdet på Stavsøyra utgjør 41 % av totalt gyteareal i Otra og er det desidert største gyteområde i hele Otra og er derfor en viktig lokalitet (gyteområde nr. 35 i **Figur 11**). Ved en spesiell hendelse som fant sted i Otra i perioden 6-9. januar 2021 var vannføringen svært lav med $62 \text{ m}^3/\text{s}$. Da ble ca. $7\,500 \text{ m}^2$ av gytearealet tørrlagt ved Stavsøyra noe som tilsvarer 13 % av totalt gyteareal i Otra. Området blir sterkt påvirket av tidevann og tidligere undersøkelser har vist at det kan strande gytegroper her (Gabrielsen et al. 2021). I tillegg er det dokumentert at ungfisk blir liggende igjen i små pytter ved redusert vannføring (Jostein Mosby pers kom.). Det ble derfor utført egen modelleringen av dette gyteområdet på Stavsøyra som hensyntok tidevanneffekter siden dette gyteområdet blir påvirket av havnivået.

Basert på modelleringen så tørrlegges gyteområdet ved Stavsøyra om vannføring blir lavere enn $80 \text{ m}^3/\text{s}$ og ved et havnivå på -0.67 meter under NN2000 (**Figur 12**). Et slikt lavt nivå inntreffer i snitt hvert femte år. Vannføringer over $80 \text{ m}^3/\text{s}$ vil alltid sørge for at det meste av gytearealet ved Stavsøyra er vanddekt ved lave nivåer for havnivå som oppstår hvert femte år (5-års intervaller).



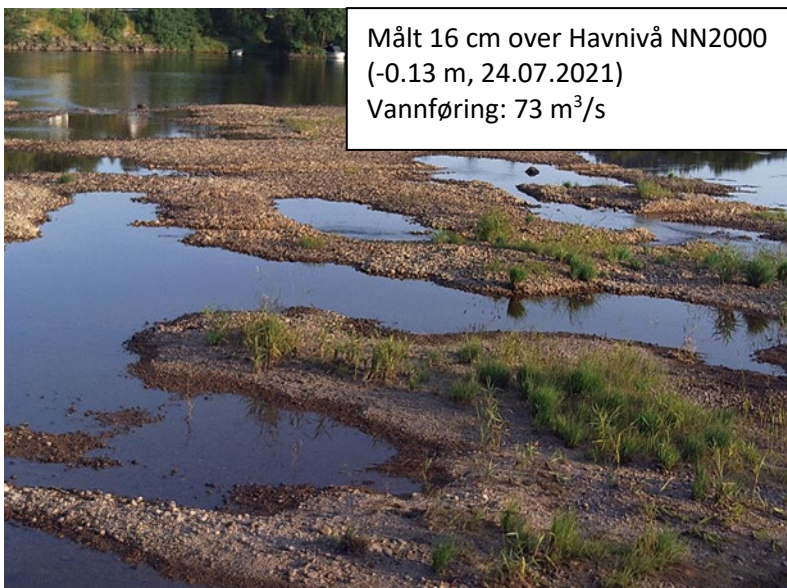
Figur 12. Modellert vannstands nivåer ved Stavsøyra ved ulike vannføringer og havnivåer på hhv. -0.67 m (svarte punkter), -0.60 m (grå punkter) og -0.53 m under NN2000. Grønn linje angir vannstands nivå på Stavsøyra som dekker gyteområdet helt med vann. Figuren er hentet fra Flödl & Hauer 2023, vedlagt appendiks.

Jostein Mosby har tatt bilder av hvordan deler av det utsatte gyteområdet ser ut i forhold til denne strandingsproblematikken. Det er også informasjon om vannstands nivå målt ved Stavsøyra, Havnivå NN2000 og vannføring på disse bildene (se bilder under).



Målt 4 cm over Havnivå NN2000
(-0.34 m, 19.07.2021)
Vannføring: 77 m³/s

Store arealer tørrlegges



Målt 16 cm over Havnivå NN2000
(-0.13 m, 24.07.2021)
Vannføring: 73 m³/s

Noen arealer dekkes med vann

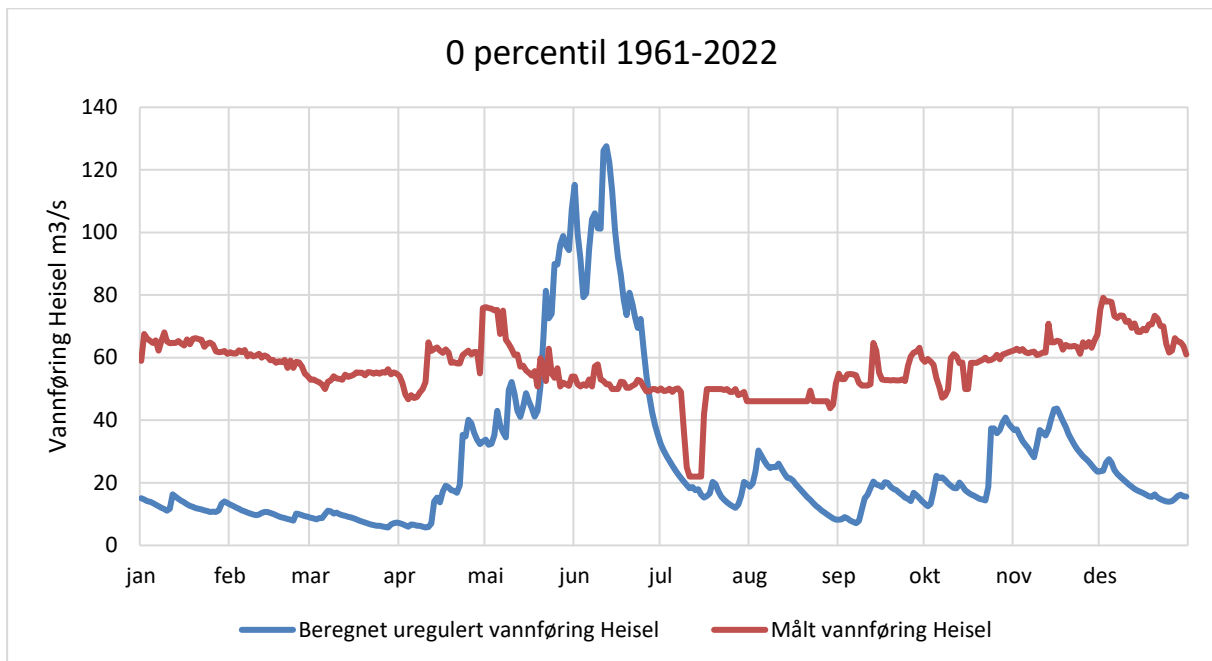


Målt 30 cm over Havnivå NN2000
(-0.01 m, 03.07.2021)
Vannføring 91 m³/s

Nesten alt er vanddekt

4.3.3 Endringer av lave vannføringer før og etter regulering

Flaskehals for ungfiskproduksjon er generelt lave vannføringer og spesielt om disse lave vannføringene oppstår med lave vintertemperaturer. Otra har generelt hatt lavere nivåer for de lave vannføringene i en uregulert form i perioden 1961-2022 sammenlignet med Otra med dagens regulering av vannføring (**Figur 13**). Samtidig kan en se av figuren at variasjonen i de lave vannføringene varierte betydelig mer før enn sammenlignet med etter reguleringen. Selv i regulert form kan vannføringen imidlertid bli lav. I 1992 ble det i 6 dager målt ned mot 22 m³/s ved Heisel. Gjennomsnittet for de lavest målte døgnene slik reguleringen er i dag for hele perioden er 57 m³/s. Dette viser at vannføringen med dagens situasjon kan være så lavt at store arealet går tørt om havnivå samtidig er lavt. I 2022 har vannføringen vært 60 m³/s eller lavere (på sitt laveste med 51 m³/s) i ca. 4 mnd. Dette har ført til tørrlegging av viktige produksjonsarealer.

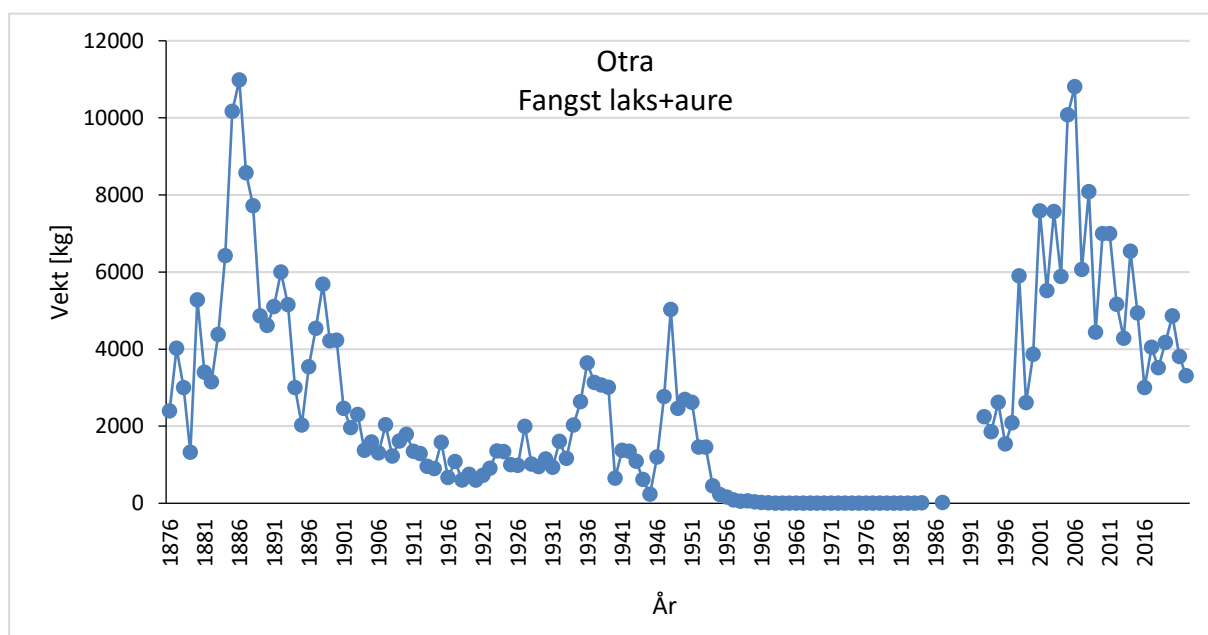


Figur 13. Laveste målte vannføring pr. døgn for hele perioden fra 1961 til 2022 i en uregulert situasjon (blå linje) og i dagens regulerte form (rød linje) . Data og figur fra Å Energi.

5. Oppsummering og diskusjon med forslag til tiltak

5.1 Bestandsutvikling og tilstand

På slutten av 1800-tallet og før reguleringen hadde Otra årlige lakse- og sjøørretfangster på rundt 5 tonn i gjennomsnitt, med rekordår på over 10 tonn (**Figur 14**). Otra skilte seg fra andre Sørlandselver ved å opprettholde relativt gode laksefangster selv på midten av 1900-tallet, takket være mindre forsuring på grunn av kalkholdig berggrunn i øvre deler av nedbørfeltet. Imidlertid førte lokale industriutslipp på 1970-80 tallet til at Otralaksen nesten døde ut. Sportsfiske ble gjenopptatt i 1993 etter sanering av industriutslipp. Fangsten økte fra omtrent to tonn til opptil 11 tonn i løpet av et tiår. Siden 1993 og frem til i dag har fangstene i gjennomsnitt vært ca. 5 tonn med rekordår på 10,8 tonn i 2006. Nylige vurderinger viser at gytebestanden og høstbart overskudd i Otra er svært gode, spesielt fra 2016 til 2020. Den genetiske integriteten er også vurdert som svært god, med lav andel rømt oppdrettslaks i gytebestanden siden 2009, selv om det var en tid med påvirkning på 5-10 % i perioden 1989-2000.



Figur 14. Fangst av laks og sjøørret (kg) i Otravassdraget i perioden 1876 til 2022. Fangster før 1900 tallet er upåvirket av regulering. Kalking har foregått i Dåsåna siden 2018 og ved utløpet av Brokke kraftverk siden 2019.

Sammenligner man de historiske fangstene før reguleringen med fangster etter, synes ikke fangstene å være lavere før reguleringen enn etter reguleringen selv om det er nærliggende å tro at større deler av gyteområdene ble tørrlagt før reguleringen enn etter og at det kunne være svært lave vannføringer i uregulert tilstand. Årsakene til dette er sammensatt. Vannføring i gytetiden med påfølgende vannføring i løpet av vinteren, vannføringsforhold ved swim-up og temperatur de første månedene etter, intra- og interspesifikk konkurranse og

sjøoverlevelse kan være elementer som alle spiller inn på fiskeproduksjonen. Samlet sett indikerer fangstutviklingen og bestandsstatusen at reguleringen ikke har hatt en negativ effekt på fiskeproduksjonen. Det gjøres oppmerksom på at historiske fangster er beheftet med en del usikkerhet i datagrunnlaget, men gjengir trolig trender i utviklingen.

5.2 Reguleringseffekter på vanntemperaturen

Reguleringen av vannføringen i Otra har trolig ikke endret vanntemperaturen nevneverdig som følge av de lange avstandene fra kraftmagasinene til anadrome områder og at vannet må passere gjennom store innsjøer. Det er forventet høyere vanntemperaturer om vinteren og lavere om sommeren som følge av reguleringen, men disse effektene kan ha blitt uttynnet slik at endringen i vanntemperaturen er begrenset. Derfor er det lite sannsynlig at det har vært store endringer i vekstbetingelsene basert på vanntemperatur for ungfisk i den anadrome delen av elven som følge av reguleringen, i motsetning til andre vassdrag der lignende reguleringer har påvirket ungfiskens utvikling og vekst negativt.

Elvetemperaturen i lakseførende del av Otra er i store deler av vekstsesongen innenfor intervallet 6-20 °C, som vanligvis er forbundet med gunstig til optimal vekst. Selv om vassdraget er forholdvis varmt i nasjonal målestokk, er det kun unntaksvis at temperaturen overstiger den optimale veksttemperaturen. Basert på gjeldene data har temperaturen aldri vært i nærheten av de øvre temperaturgrensene for vekst eller overlevelse. Totalt sett fremstår derfor tempeturforholdene i Otra å være gjennomgående gunstige for vekst av lakseunger.

Den relativt høye sommertemperaturen kan imidlertid påvirke gytelaksen negativt, spesielt for laks som ankom elva tidlig i sesongen og blir stående på elva gjennom sommeren. Kombinasjonene av høy temperatur og lave vannføringer kan føre til at laksen bruker unødvendig mye energi og er mottakelig for sykdom. Økende infeksjon med *Saprolegnia* ble observert i andre sørlandselver denne høsten 2022 (Mandalselva og Sygna) og relateres til dette (Haraldstad et al 2023). Både Otra og de øvrige Sørlandsvassdragene kan i økende grad i fremtiden bli utsatt for temperaturer som vil være stressende for laks ettersom temperaturen øker ytterligere med klimaendringer. Det er derfor viktig å overvåke temperaturutviklingen og vurdere tiltak for å minimere effekten.

5.3 Reguleringseffekter på vannføringen og effekter på fiskeproduksjonen

Laksen er godt tilpasset et liv i elver med variable vannføringsforhold. Likevel kan hurtige reduksjoner i vannføring, spesielt i regulerte elver, føre til at store områder av elveleiet tørrlegges, og at fisk strandar. Endringshastighet i vannstanden i Otra kan generelt klassifiseres som liten effekt på stranding av ungfisk sett hele den analyserte perioden under

ett. Imidlertid forekommer det årlig så hurtige endringer i vannstand at fisk trolig strander og dør. Ved gyteområdet ved Stavsøyra er det fra lokalt hold dokumentert stranding av yngel og store oppvekstarealer for ungfisk. Hvorvidt dette skyldes hurtig endring i vannstand eller bare generelt lav vannstand i løpet av sommeren er imidlertid usikkert. Uansett dannes det lommer med vann hvor nylig klekte yngel fanges inne ved lavere vannføring. Større fisk har større mobilitet og vil hurtigere kunne følge vannstrømmen ut i de dypere delene av elva og vil klare å unngå disse tørrlagte områdene i langt større grad enn yngel som nylig har kommet opp av elvegrusen.

5.3.1 Regulerings effekter på vanddekt areal

En vannføring på ca. 130 m³/s dekker hele elvas bredde. Dette gir et vanddekt areal på ca. 723 000 m². Det er en tilnærmet lineær sammenheng mellom vannføring og vanddekt areal fra 25 til 130 m³/s. Reduksjon i vannføringer under 130 m³/s vil ha større negativ effekt på fiskeproduksjonen enn om det er reduksjoner når vannføringene er over 130 m³/s. Årsaken til dette er at alle viktige gyte- og oppvekstarealer blir vanddekt ved 130 m³/s. Gyte- og oppvekstområder er nøkkelhabitater for fiskeproduksjon. Sammenhengen mellom vannføring og vanddekte gyteområder er ikke lik den som for vanddekt areal. Kurven har en utflating, som betyr at andelen vanddekte gyteområder øker raskere fra 25 m³/s og opp til 75 m³/s, mens den ikke øker like raskt fra 75 m³/s og opp mot 130 m³/s. I praksis betyr dette at en økning i vannføringen fra 25 til 75 m³/s vil gi større gevinst i vanddekte gyteområder enn fra 75 til 135 m³/s. Modelleringen viser at en økt vannføring fra 25 - 70m³/s (45 m³ økning) gir 15 % mer vanddekte gyteområder, mens en tilsvarende økning fra 70 - 115m³/s (45 m³ økning) gir mindre enn 5 % økning i vanddekte gyteområder. I et kost-nytte perspektiv får en mer igjen for å øke vannføringen opp mot 70 m³/s enn videre oppover. I konsesjonsvilkårene for Otra er minstevannføringen i anadrom strekning 50 m³/s. Ved denne vannføringen tørrlegges ca. 14 % av produksjonsarealet og 11 % av tilgjengelig gyteareal i elva. For lakseproduksjonen isolert sett vil 130 m³/s være det beste siden det gir fullt produksjonsareal, samtidig som tetthetsregulerende faktorer etter klekking antagelig vil kunne kompensere tap av gyteareal om tørrlagte gyteområder er relativt jevnt fordelt utover den anadrome strekningen.

5.3.2 Regulerings effekter på ulike gyteområder i elva

Modellen for vanddekt areal viser at endringer i vannføringen gir ulik grad av tørrlegging mellom de ulike gyteområdene i elva. Flere gyteområder ligger så dypt at de vil være vanddekt selv ved 25 m³/s (80 % av alle gyteområdene). Ved Sagjordet, som er det viktigste gyteområdet i øvre del av Otra, tørrlegges 10 % av arealet ved en vannføring ned mot 60 m³/s, mens ved 100 m³/s er alt vanddekt. Det finnes strandingsutsatte gyteområder i øvre, midtre og nedre del, men vannføringer over 70 m³/s synes å dekke de aller fleste gyteområdene med vann. Unntaket er ved det viktige gyteområdet ved Stavsøyra og for noen av gyteområdene som ligger rett oppstrøms. Her vil en vannføring på 70 m³/s føre til tørrlegging av gyteområder ved fjære sjø, med økende tørrlegging med lavere havnivå.

En tørrlegging av 11 % av gyteområdene er ikke det samme som en 11 % reduksjon i produksjonen av smolt. Dødelighet på rogn som følge av tørrlegging vil kunne kompenseres med lavere tetthetsavhengig dødelighet i perioden etter swim-up. Hvor stor effekt tørrlegging av egg og plommesekkkyngel har på ungfiskproduksjon vil også være avhengig av gytebestandens størrelse. Tørrlegging vil ha en langt større effekt på ungfiskproduksjonen dersom gytebestanden er lav. I Otra er gytebestanden og høstbart overskudd svært gode, og tørrlegging av gyteområder vil derfor ikke utgjøre en så stor negativ effekt på ungfiskproduksjonen som hvis gytebestanden var lav.

5.3.3 Reguleringseffekter på gyteforhold

Vannføring om høsten er avgjørende for hvilke områder laksen benytter for gyting, og dermed hvor utsatt eggene vil være for tørrlegging gjennom inkubasjonsperioden (den perioden eggene ligger nede i gytegrusen). Problemstillingen knyttet til gytevannstand er når det oppstår et misforhold mellom vannføring under gytingen og etterfølgende vannføring gjennom vinteren. Beregnet vannføring før og etter regulering er relativt lik gjennom gyteperioden i Otra. Samtidig viser vannføringsdata at vintervannføringen er betydelig høyere nå enn før reguleringen. Sannsynligheten for tørrlegging av gytegroper vinterstid er redusert etter reguleringen. I andre regulerte vassdrag, f.eks. i Bjoreio i Eidfjord, prøver man å ha så lav vannføring som mulig i gyteperioden slik at mesteparten av gytegroperne ligger så dypt at de ikke strander i løpet av vinteren. I Otra er vanligvis vannføringen godt over 100 m³/s i gytetiden (oktober og november), og det er trolig vanskelig å redusere vannføringen i denne perioden siden hele dette vannsystemet er så stort med store uregulerte delfelt. Skulle det likevel være mulig å redusere vannføringen når de fleste fiskene gyter, så vil dette kunne styre gytingen mot dypere områder av elva. Dette vil redusere sannsynligheten for stranding av gytegroper om vannføringen skulle falle under 80 m³/s i løpet av vinteren.

5.3.4 Reguleringseffekter på vannføringsregimet og swim-up av yngel

Generelt har reguleringen av Otravassdraget ført til mindre variasjon i vannføringen og de høye flomtoppene om sommeren og til dels om høsten er dempet, mens vintervannføringen generelt har blitt høyere. Flommer i vassdraget graver i elvebunnen og endrer elvas utforming. Dette er en dynamikk man antar er viktig for å få tilført ny gytegrus fra elvebredden og ovenforliggende områder. I tillegg vil finsediment spyles bort og steiner flytte seg og danne nye skjulområder for ungfisken. Fravær av slik dynamikk vil være negativt for elvas egnethet for gyting og oppvekstområder. Derfor er det viktig å gjennomføre habitatforbedrende tiltak i elva. Annen aktivitet i Otra, som tømmerfløting og tilrettelegging av fergeleie har antagelig også bidratt til å gjøre elvebunnen mer monoton, med fjerning av steinblokker og utgraving av djupålen.

Vannføringen i Otra var høyere under klekking og swim-up i uregulert elv sammenliknet med etter regulering. Plommesekkkyngelen tåler ikke tørrlegging, samtidig som den ikke er mobil

nok til å forflytte seg lang bort fra gytegroppa. Lav vannføring i denne tiden kan være kritisk for overlevelsen. Samtidig er perioden med swim-up i mai-juni en periode i laksens liv med naturlig høy tetthetsavhengig dødelighet. Noe dødelighet på rogn og plommeseekkyngel som følge av tørrlegging vil kunne kompenseres med tetthetsavhengig dødelighet i perioden etter swim-up. I tillegg er det vist at store flommer i denne perioden også kan være negativt for overlevelsen, antagelig fordi store vannmengder kan spyle yngelen ut av elva (Jensen & Johnsen, 1999). For fiskeproduksjonen er det en fordel om vannføringen holdes relativt stabil og ikke under 80 m³/s i perioden mai-juni. Det er imidlertid vanskelig å holde en stabil vannføring i anadrom del av Otra siden Otra har svært store uregulerte delfelt. Ettersom yngelen bli mer svømmedyktig og har evne til å flytte på seg, kan vannføringen falle varsomt under 80 m³/s. Elvearealet reduseres med ca. 4 % om vannføring senkes fra 80 til 60 m³/s i juli, august og september. Dette vil antagelig ikke utgjøre en flaskehals for ungfiskproduksjonen. Dagens krav til minstevannføring er 50 m³/s. I forhold til full elveseng som er på 130 m³/s, så reduseres produksjonsarealet med 14 % ved minstevannføringskravet, tilsvarende 98 000 m².

5.4 Forslag til tiltak

For å sikre en god vanndekning på **alle** gyteområdene i Otra, bør vannføringen ikke bli lavere enn 80 m³/s. Ved minstevannføringskravet på 50 m³/s, strander ca. 11 % av alt tilgjengelig gyteareal og 14 % av produksjonsarealet i forhold til vanndekningen ved 130 m³/s i Otra. Dette vurderes til å være betydelige andeler.

5.4.1 Forslag til tiltak for å bevare gyteområdene i Otra

En mulighet for å redusere sannsynligheten for stranding av gytegroper og yngel, er å senke de aktuelle områdene i elva som ligger høyest ved å grave vekk grusen og legge det ut på dypere områder i elva eller bare ved å ta ut masser fra elva. I utgangspunktet er gyteområdene svært viktige for vassdragets produksjon og bør vernes om. Klarer man imidlertid å ta vare på de hydrauliske egenskapene i området på tross av at man senker terrenget ved å ta ut masser, så kan dette være aktuelt på Sagjordet og Stavsøyra som er de største og mest strandingsutsatte gyteområdene i Otra. Spesielt Sagjordet anbefales i denne sammenheng. Om man lykkes med dette tiltaket kan vannføringen være lavere uten at gyteområder strander. Hvor mye lavere avhenger av nivået på en eventuell senkning av gyteområdene.

Tilsvarende uttak av masser er utført på utløpet av Byglandsfjorden i 2020 for å unngå at gytegroper til bleka strander. Evaluering av dette tiltaket viser at fisken gyter på de områdene hvor gytegrusen er flyttet til (se bildet under).



Utsnitt som viser en av strekningene ved Vassenden i utløpet av Byglandsfjorden i Otra hvor det utfra stedsspesifikk erfaring er en rekke grusvoller, markert med rød sirkel, som kan tilbakeføres for å reetablere gyte- og oppvekstområder for bleka. Grønn sirkel viser strandingsutsatt gyteområder hvor grusen i 2020 ble flyttet til under kote 200 for å hindre stranding. Evaluering av dette gyteområdet har vist at bleka har tatt det «nye» gyteområdet i bruk.

I Daleelva er det, basert på utviklet terrengmodell for elva, vurdert en kombinasjon av å både ta ut masser og å legge ut blokker for å hindre stranding og samtidig bevare gyteområdene og oppveksthabitatet for fisk (LFI, rapport til publisering). Denne elva er mer påvirket av effektkjøring og av hurtige vannstandsendringer, og tiltakene vil dempe de negative effektene av effektkjøringen samtidig som de fører til bedre habitatkvalitet for fisk.

5.4.2 Forslag til tiltak for å bevare gyteområdet ved Stavsøyra

Med unntak av Stavsøyra, vil vannføringer over 70 m³/s dekke de aller fleste gyteområdene i Otra med vann. Tiltak for å unngå tørrlegging av gyteområdene ved Stavsøyra er å sørge for at vannføringen ikke er lavere enn 80 m³/s. Stranding kan likevel skje ved denne vannføringen, men da under ekstreme forhold ved nippflo. Våre beregninger tilsier et gjentaksintervall på 5 år for slike ekstremhendelser. Stavsøyra er det desidert største gyteområdet i Otra, og er sammen med Sagjordet, de viktigste gyteområdene i Otra og bør derfor ha stort fokus.

Teoretisk vil det kunne være mulig å justere driften av kraftverket i forhold til variasjon i havnivå. Der en kan tillate en lavere produksjon på høyvann og likevel dekke gyteområdene på Stavsøyra. I praksis vil en slik manøvrering måtte samkjøres med flere kraftstasjoner over store områder og i praksis være svært vanskelig gjennomførbart.

Et annet tiltak ved Stavsøyra kan være å plassere ut steinblokker på deler av gyteområdet, slik at området får økt rohet og lavere risiko for tørrlegging. Blokkene vil kunne stuve opp vann og bedre opprettholde det vanddekte arealet ved lavere vannføringer. Imidlertid vil et slikt tiltak være et større fysisk inngrep i elva og vil kunne endre det estetiske inntrykket av elva. I situasjoner med lav vannføring og lavt havnivå, vil blokkene være godt synlige i elva. På dette

punktet er elva ca. 130-150 meter bred og det vil trolig kreves et stort blokkutlegg for å oppnå ønsket effekt. Hvor mange blokker eller hvor store masser som trengs, er vanskelig å vurdere uten at det gjøres en detaljert modellering. Den etablerte terrengmodellen som er utviklet i dette prosjektet, vil imidlertid gjøre arbeidet kostnadssparende siden den allerede er laget for området og det er gode terrengdata tilgjengelig. En oppstuvning av vann over gyteområdet ved Stavsøyra, vil redusere faren for stranding selv med vannføring lavere enn 80 m³/s. Det er viktig at tiltaket ikke forringer egenskapene dette gyteområde har med spesielt hensyn på egnede vannhastigheter for gyting. I utgangspunktet er det tenkt å ha en irregulær utplassering av blokkene for å danne variasjon i de hydromorfologiske egenskapene ved Stavsøyra. I tillegg til å øke vannstanden, vil tiltaket øke skjulmulighetene for ungfisk og voksen fisk. Dette vil være positivt for ungfiskeproduksjonen. Et annet aspekt ved et slikt tiltak, er at det kan øke erosjonsrisiko ved flom siden det øker vannstanden. Området ved Stavsøyra er et område som er kjent for flomproblematikk i utgangspunktet. Utlegg av blokker kan øke problemene ved flom ytterligere og modellering av utlegg av blokker må gjøres for å belyse problemstillingen. Effektene av et slikt blokkutlegg må gjøres rede for i forkant av en eventuell gjennomføring.

5.4.3 Forslag til tiltak for å øke skjulmuligheten i Otra

Mangel på skjul i elvebunnen fremstår som en flaskehals som i stor grad begrenser produksjonen av ungfisk i Otra (Gabrielsen et al. 2020). Aktuelle tiltak for å bøte på dette er å legge ut stein- og blokkgrupper samt å danne strømsettere og ledebuner for å danne hydromorfologisk variasjon. Sannsynligvis har det vært større innslag av store steiner/blokker i Otra tidligere. Tilførsel av fluviale masser er trolig begrenset som følge av reguleringen, og store steiner har sannsynligvis blitt ryddet ut under tømmerfløting og for å bedre atkomst for større båter. Det finnes i dag dype områder med strukturer som kan virke som skjul, og spesielt forbygninger langsmed elvekanten i Otra danner skjul for ungfisk. Vannvegetasjon kan også fungere som skjul for ungfisk og bidra med økt mattilgang (Velle et al. 2014). De registrerte krypsivforekomstene i Otra gir trolig økte muligheter for ungfisk til både å finne skjul og mat. I utgangspunktet er strekningen fra Augland og ned til utløp sjø mest aktuell for denne typen tiltak. Langsgående rekker med blokker og steiner ved elvekant i kombinasjon med skråstilte ledebuner vil øke hulromkapasiteten og føre til økt hydromorfologisk variasjon. Vi foreslår at man i utgangspunktet velger å utføre tiltak i dypere parti (mindre synlig) og der en allerede har inngrep i vassdraget, for eksempel langsmed eksisterende elveforbygninger. Disse kan utvides i bredden. Foreslått tiltak bør prøves ut og evalueres før en tar standpunkt til å gjennomføre tilsvarende utlegg av blokker i større skala. Det kan være en fordel å prøve ut utlegg av blokker og ledebuner i brakkvannssonen i tillegg til en prøvelokalitet oppstrøms det brakkvannspåvirkede området. Etter større flommer kan en gjøre en vurdering av om finmasser tetter igjen hulrommene i tiltaksområdet. Det gjøres oppmerksom på at tiltakene kan endre hydromorfologisk utforming av elva og dermed også endre det estetiske inntrykket, samt at de kan påvirke erosjonen i elvekanten. Det er derfor viktig å ta stilling til i hvor stor grad en vil endre elva, før en utfører tiltak. NORCE LFI har gode erfaringer med tilsvarende tiltak

fra andre vassdrag, men i mindre skala. Et eksempel på dette er Teigdalselva der deler av elvebunnen var «steril» og hadde lav kompleksitet og skjulkapasitet og dermed få standplasser og skjulesteder for både ungfisk og gytefisk (Gabrielsen et al. 2016). Egnede habitattiltak i denne elva var ledebuner (strømsettere), utlegg av blokker og steiner, uttak av løsmasser og rotvelting av noen trær langs elvebredden. Evaluering av habitattiltakene viste at tiltakene gav økt fiskeproduksjon på disse områdene (Gabrielsen & Skår, 2019). Det ble funnet høyere tettheter av både årsunger og eldre ungfisk i de habitatjusterte områdene sammenlignet med referansestrekninger.

Vi vil også anbefale at eldre flomløp åpnes. Åpning av slike områder gir større variasjon i elvas hydromorfologi og gode oppvekstforhold for ungfisk så lenge vanntilførsel sikres under lavvannsperioder. Et aktuelt område for et slik prosjekt vil være på Holmane ved Kvarstein. På flyfoto fra 1977 ser en hvordan elva hadde et løp langs den østlige bredde og dannet tre holmer. I dag er dette grodd helt igjen. Antagelig er det lite jobb som må til for å reetablere disse løpene.



6. Konklusjon

I denne rapporten er det gjort en gjennomgang av hvordan reguleringen av Otravassdraget har påvirket fiskeproduksjonen i den lakseførende delen av Otra. Reguleringen har ført til høyere vannføring om vinteren. Dette betyr mest sannsynlig at færre gytegrøper strander sammenliknet med situasjonen før reguleringen. I tillegg har den økte vintervannføringen gitt fisken tilgang på et større vanddekt areal. Videre er det lite sannsynlig at reguleringen har ført til endringer i vanntemperatur som kan ha ført til negative endringer med tanke på rognutvikling, klekkespunkt eller vekstforhold for ungfisk. Derimot er det en klart negativ effekt av reguleringen at det hvert år forekommer hurtige vannstandsendringer som gir økt risiko for stranding og fiskedød. Imidlertid er denne effekten avtagende med økende avstand fra kraftutløpet. En forventet økende grad av effektkjøring i fremtiden vil gi økt risiko for denne type stranding og bør derfor motvirkes gjennom tiltak. Samlet sett og med vekt på den økte vannføringen vinterstid, mener vi det

er mest sannsynlig at effekten av reguleringen fram til i dag har hatt en mer gunstig enn negativ effekt for fiskebestanden i Otra.

Kunnskapsgrunnlaget gitt i rapporten gjør det mulig å vurdere hvordan fiskens habitat påvirkes ved ulike vannføringer. En slik tilnærming viser at en kan legge til rette for økt fiskeproduksjon ved aktiv styring av vannføringsregime tilpasset fiskens ulike livsstadier. Et prioritert tiltak vil være å sikre en betydelig reduksjon av andelen gytegroper som strander. Dette kan oppnås ved å sørge for at gyteområdene forblir vanddekt og/eller ved å flytte strandingsutsatte gyteområder til dypere partier av elva. Et annet tiltak er å hindre eller redusere forekomsten av hurtige vannstandsendringer som i dag kan føre til stranding og tap av ungfisk. Spesielt viktig er det å unngå store og hurtige endringer i vannstand i den perioden yngelen kommer opp av gytegrusen for å starte næringsopptaket. Dette er en sårbar periode hvor hurtige vannstandsendringer vil ha mer alvorlige konsekvenser sammenliknet med senere på sommeren da yngelen har vokst og er mer robust i forhold til å tåle større endringer i vannstand.

7. Referanser

Anon. 2020. Status for norske laksebestander.

<https://www.vitenskapsradet.no/VRLReport#/report/14>

Bakken, T. H., Forseth, T. & Harby, A. 2016. Miljøvirkninger av effektkjøring: Kunnskapsstatus og råd til forvaltning og industri. NINA Temahefte 62. 205 s.

Bremset, G., Museth, J., Ulvan, E.M. & Saksgård, R. 2021. Fiskebiologiske undersøkelser i fire laksevassdrag på Sørlandet. Resultater og erfaringer fra utprøving av elektrisk båtfske. NINA Rapport 1939. Norsk institutt for naturforskning.

Gabrielsen, S.-E., Postler, C. & Wiers, T. 2021. Otra – Evaluering av effekter av nedkjøring av vannstanden på gyteområder i Otra vinteren 2021. LFI Rapport nr. 413.

Gabrielsen, S.-E., Skår, B., Espedal, E.O., Postler, C. Lehmann, G.B., Velle, G. & Helle, T. 2020. Otra – Habitatkartlegging av lakseførende strekning og i utvalgte bekker i 2020. LFI Rapport nr. 395.

Halleraker, J. H., Saltveit, S. J., Harby, A., Arnekleiv, J. V., Fjeldstad, H. P., & Kohler, B. (2003). Factors influencing stranding of wild juvenile brown trout (*Salmo trutta*) during rapid and frequent flow decreases in an artificial stream. *River Research and Applications*, 19(5-6), 589-603.

Hauer, C., Holzapfel, P., Leitner, P. & Graf, W. 2017. Longitudinal assessment of hydropeaking impacts on various scales for an improved process understanding and the design of mitigation measures. *Sci. Total Environ.*, 575 (2017), pp. 1503-1514, 10.1016/j.scitotenv.2016.10.031

Hauer, C., Unfer, G., Holzapfel, P., Haimann, M. & Habersack, H. 2014. Impact of channel bar form and grain size variability on estimated stranding risk of juvenile brown trout during hydropeaking. *Earth Surf. Process. Landf.*, 39 (12) (2014), pp. 1622-1641, 10.1002/esp.3552

Hindar, K. & Diserud, O. 2007. Sårbarhetsvurderinger av ville laksebestander overfor rømt oppdrettslaks. - NINA Rapport 244. 45s.

Kroglund, F., Høgberget, R., Hindar, K., Østborg, G. og Balstad, T. 2008. Laks og vannkvalitet i Otra, 1990-2006. NIVA-rapport 5531-2008:1-49.

Kroglund, F., Larsen, B.M., Kaste, Ø. & Aanes, K.J. 2001. Tiltaksorientert overvåking av Otra i 2000. NIVA-rapport nr. 4429-2001. 56s.

Person, E., Bieri, M., Peter, A. & Schleiss, A.J. 2014. Mitigation measures for fish habitat improvement in alpine rivers affected by hydropower operations. *Ecohydrology*, 7 (2) (2014), pp. 580-599, 10.1002/eco.1380.

Saltveit, S. J., Halleraker, J. H., Arnekleiv, J. V., & Harby, A. (2001). Field experiments on stranding in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) during rapid flow decreases caused by hydropeaking. *Regulated Rivers: Research & Management: An International Journal Devoted to River Research and Management*, 17(4-5), 609-622.

Sivertsen, A. 1989. Forsuringstruede anadrome laksefiskbestander og aktuelle mottiltak. NINA utredning 10. Norsk Institutt for Naturforskning.

8. Vedlegg 1

