

2063

NINA Rapport

Klorbehandling mot *Gyrodactylus salaris* ved transport av laks fra Klarälven til Trysil-elva og Femundselva

Kjetil Olstad, Anders Gjørwad Hagen & Haakon Hansen



NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er NINAs ordinære rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på engelsk, som NINA Report.

NINA Temahefte

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

NINA Fakta

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

Annen publisering

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

Klorbehandling mot *Gyrodactylus salaris* ved transport av laks fra Klarälven til Trysilelva og Femundselva

Kjetil Olstad
Anders Gjørwad Hagen
Haakon Hansen



Olstad, K. Hagen, A.G. & Hansen, H. 2021. Klorbehandling mot *Gyrodactylus salaris* ved transport av laks fra Klarälven til Trysilelva og Femundselva. NINA Rapport 2063. Norsk institutt for naturforskning.

Lillehammer, November 2021

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-4847-1

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV

Kim Magnus Bærum

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningsjef Jon Museth (sign.)

OPPDRAGSGIVER(E)/BIDRAGSYTER(E)

Statsforvalteren i Innlandet

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Ola Hegge

FORSIDEBILDE

Fra klorbehandling av elva Driva høsten 2021 © Anders Gjørwad

Hagen, NIVA

NØKKELOD

- laks
- *Salmo salar*
- *Gyrodactylus salaris*
- klor
- behandling
- fisketransport

KONTAKTOPPLYSNINGER

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

NINA Oslo
Sognsveien 68
0855 Oslo
Tlf: 73 80 14 00

NINA Tromsø
Postboks 6606 Langnes
9296 Tromsø
Tlf: 77 75 04 00

NINA Lillehammer
Vormstuguvegen 40
2624 Lillehammer
Tlf: 73 80 14 00

NINA Bergen
Thormøhlens gate 55
5006 Bergen
Tlf: 73 80 14 00

www.nina.no

Sammendrag

Olstad, K. Hagen, A.G. & Hansen, H. 2021. Klorbehandling mot *Gyrodactylus salaris* ved transport av laks fra Klarälven til Trysil-elva og Femundselva. NINA Rapport 2063. Norsk institutt for naturforskning.

Fra gammelt av har laks og ørret med oppvekstområder i Vänern utnyttet gyteområder i Klarälven og helt opp i Trysil-elva og Femundselva på norsk side. Siden tidlig på 1900-tallet har imidlertid etablering av totalt 11 elvekraftverk hindret naturlig oppvandring av laks i vassdraget. På bakgrunn av dette ble prosjektet «Vänerlaxens fria gång» initiert av svenske og norske miljøvernmyndigheter i 2011, og det oppfølgende prosjektet «Två länder – én elv» startet opp i 2017. Målsettingen i disse prosjektene har vært å utrede mulighetene for å styrke (svensk side) og reetablere (norsk side) bestanden av Klarälvlaks i hele vassdraget.

I 2020 ble det utarbeidet en bevarings- og reetableringsplan for Klarälvlaks i Trysil- / Femundsvassdraget. Som en videreføring av det innledende arbeidet er det i rapporten redegjort for et mulig scenario som innebærer flytting av voksen gytelaks fra Sverige til Norge. Et slik scenario er imidlertid utfordrende fordi det vil kreve tiltak for å hindre spredning av skadelige organismer, herunder blant annet *Gyrodactylus salaris*.

Gyrodactylus salaris er ansett som en stor trussel mot villaks, og dette er derfor spesielt hensyntatt i internasjonal lovgivning. Villaksen i Norge har vært spesielt utsatt, og norske myndigheter har som mål å utrydde den fra alle områder hvor den er etablert. Det har derfor blitt brukt store ressurser på bekjempelse av parasitten. I denne forbindelse er det de senere år lagt ned betydelig innsats i utviklingen av en ny skånsom bekjempelsesmetode mot parasitten ved bruk av kloramin. Svært lav tålegrense hos *G. salaris* overfor kloramin gjør at både fisk og øvrige biota i eksponerte vannforekomster tåler de konsentrasjoner som fjerner parasitten.

I denne rapporten er det lagt til grunn at kloramin på et fremtidig tidspunkt vil kunne bli tillatt som middel til fjerning av *G. salaris* på laks som skal transporteres fra Sverige til Norge. Med utgangspunkt i dette er det skissert mulige scenarioer med tilhørende tekniske og praktiske løsninger for å gjennomføre slike behandlinger på en sikker måte.

Konsekvensen av å innføre *G. salaris* til Trysil- / Femundselva er beskrevet som «svært skadelig». Hvis voksen laks skal flyttes forbi Höljes må det derfor gjennomføres tiltak for å unngå slik spredning. Uavhengig av hvilken metode som velges for fjerning av parasitten på fisk som skal transporteres, er det en forutsetning at det foreligger en nøye gjennomarbeidet plan for tiltaket.

Basert eksisterende kunnskap, vil det være realistisk å se for seg en behandling ved 30 til 45 µg klor/l. En behandling over fem dager ved 45 µg klor/l vil tilsvare mer enn dobbel konsentrasjon av hva som er nødvendig for å fjerne parasitten. I forbindelse med fisketransport vil det sannsynligvis være ønskelig å redusere behandlingstiden, samtidig som det må sikres at sannsynligheten for å mislykkes er lik null. Dette vil med høy sannsynlighet oppnås ved kortvarige behandlinger med høye konsentrasjoner av kloramin. Det er ikke tilstrekkelig erfaring med effekt på parasitten eller voksen laks ved slike kortvarige høye konsentrasjoner, og det er derfor ønskelig å gjennomføre slike forsøk for å få undersøkt om en reduksjon i behandlingstid er mulig. Det er grunnlag for å si at klor som behandling mot *G. salaris* for transport av fisk basert på dagens kunnskap vil være både gjennomførbart og like trygt som den metoden dagens lovverk åpner for. Det er imidlertid en forutsetning at det gjennomføres forsøk for å bygge ytterligere kunnskap om kortere behandlingstider med høye konsentrasjoner av klor.

Klorbehandling før transport av laks fra Sverige til Norge forutsetter avklaring av lovmessige forhold, og dette må avklares mot både svenske og norske forvaltningsmyndigheter. Flytting av levende fisk medfører også en generell risiko for spredning av andre fiskepatogener som ikke fjernes av kloramin. Hensyn til risikoen for spredning av slike organismer kommer i tillegg til det som er påpekt vedrørende *G. salaris* her.

Kjetil Olstad; Norsk institutt for naturforskning, Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim. Anders Gjørwad Hagen; NIVA Hovedkontor, Økernveien 94, 0579 Oslo. Haakon Hansen: Veterinærinstituttet, Arboretveien 57, 1433 Ås.

E-post: kjetil.olstad@nina.no

Innhold

Sammendrag	3
Innhold	5
Forord	6
1 Bakgrunn	7
1.1 Vassdraget og laksen	7
1.2 Reetableringsplanen.....	7
1.3 <i>Gyrodactylus salaris</i> og bekjempelse med kloramin.....	8
2 Grunnleggende om behandling med kloramin ved flytting av fisk	10
3 Tekniske forutsetninger ved bruk av kloramin ved fiskeflytting	13
3.1 Bakgrunn - utviklingen av klormetoden	13
3.2 Doseringsteknologi	14
3.2.1 Dosering i store vannføringer	14
3.2.2 Dosering i små vannføringer.....	15
3.2.3 Dosering til forsøksoppsett	16
3.3 Doseringsstrategi.....	17
3.3.1 Valg av klorkonsentrasjon – grunnlag	17
3.3.2 Totalbelastning av klor brukt som målekriterium	18
3.3.3 Test av dose-respons ved lokaliteten	18
3.3.4 Dokumentasjon av klorkonsentrasjon i vannet.....	18
4 Planleggingsgrunnlag for bruk av kloramin ved flytting av fisk fra Klarälven til Trysilelva og Femundselva	20
4.1 Krav til infrastruktur.....	20
4.2 Konsentrasjon og eksponeringstid – forslag basert på dagens kunnskap	21
4.3 Mulighet for å øke konsentrasjonen av klor – behov for kunnskap.....	21
4.4 Valg av teknisk løsning	22
4.5 Kontroll av klorkonsentrasjon - vannanalyser	22
4.6 Biologisk effektkontroll.....	22
4.7 Sammenlikning med saltmetoden i dagens lovverk.....	23
5 Punktvis sammenfatning	24
6 Referanser	26

Forord

Oppdraget er tildelt prosjektgruppen av Statsforvalteren i Innlandet på vegne av Interregprosjektet «Två länder – én elv». Formålet med prosjektet har vært å utarbeide en teoretisk vurdering av muligheter for, og forhold som må ligge til rette for, eventuell bruk av kloramin for fjerning av *G. salaris* før transport av fisk fra Klarälven til Femunds-/Trysil-elva. Utredningen bygger på kunnskapsgrunnlaget fra utviklingen av en metode for fjerning av *G. salaris* i elvesystemer ved bruk av kloramin («Gyroklor»).

I innværende rapport er det påpekt forhold som må ligge til grunn for utredningen, herunder en tidligere rapport med plan for bevaring og kultivering av laks i Trysil- / Femundvassdraget, inkludert de forbehold og forutsetninger som er lagt til grunn i denne rapporten. Slike forbehold er spesifisert løpende i teksten.

Store deler av utredningen er basert på arbeider som er gjennomført av prosjektet «Gyroklor» på oppdrag for Miljødirektoratet. «Gyroklor» er et samarbeidsprosjekt mellom NIVA, NINA og Veterinærinstituttet som jobber med utvikling av klormetoden til bruk i fullskala behandling mot *G. salaris* i norske vassdrag. Arbeidene fra prosjektet er publisert som selvstendige rapporter i NIVAs rapportserie.

Vi vil få takke oppdragsgiver ved Ola Hegge, Statsforvalteren i Innlandet for oppdraget og for løpende oppfølging underveis i prosjektperioden.

Rapporten er utarbeidet av forfatterne som representanter for sine respektive institusjoner.

Lillehammer, november 2021

Kjetil Olstad
Prosjektleder

1 Bakgrunn

1.1 Vassdraget og laksen

Trysil- / Femundselva, Klarälven, Vänern og Göta älv utgjør til sammen Nordens lengste vassdrag. Fra Rogen i Sverige strekker vassdraget seg via Femunden, Femunds- og Trysilelva på norsk side til den krysser grensen ved Höljes (**Figur 1**). På svensk side renner Klarälven videre fra Höljes til Sveriges største innsjø Vänern ved Karlstad. Videre drenerer Vänern til Kattegat gjennom Göta älv fra Trollhättan til Göteborg. Klarälvlaks, som er en av få gjenværende ferskvannsstasjonære laksestammer i Europa, har sine oppvekstområder i Vänern. Fra gammelt av har denne laksestammen utnyttet gyteområder i Klarälven og helt opp i Trysil- og Femundselva på norsk side.

Siden tidlig på 1900-tallet er det bygget 11 elvekraftverk i Klarälven og Trysilelva, 9 på svensk side og 2 på norsk side, noe som effektivt har hindret naturlig oppvandring av laks i vassdraget. I de to norske kraftverksdammene er det konstruert fisketrapper, mens det ikke finnes noen slike løsninger på svensk side. I det nederste kraftverket i Klarälven, Forshaga, er det imidlertid bygd en felle for fisk på vandring oppover vassdraget. Siden Klarälvlaksen i dag kun har naturlig tilgang til marginale deler av de opprinnelige gyteområdene i elvesystemet, holdes populasjonen levende gjennom et stort kultiveringsprogram med utgangspunkt i fisken som fanges i Forshaga. Fisken som fanges i denne fella brukes til ett av følgende tre formål: 1) de strykes og brukes til produksjon av yngel for kultivering, 2) de transporteres til gyteområdene på strekningen mellom Edsforsen og Höljes, eller 3) de settes ut oppstrøms dammen ved Forshaga for å gyte på strekningen mellom Forshaga og Deje. Det øverste kraftverket på svensk side, Höljes, representerer et absolutt oppvandringshinder for laks. Hvis laksen skal kunne få mulighet til å utnytte områdene på norsk side til naturlig gyting, vil den i dagens situasjon måtte transporteres med tankbil også forbi Höljesmagasinet.

På bakgrunn av den pressede situasjonen for Vänerlaksen ble prosjektet «Vänerlaxens fria gång» initiert av svenske og norske miljøvernmyndigheter i 2011. Målsettingen med prosjektet var å utrede mulighetene for å styrke (svensk side) og reetablere (norsk side) bestanden av Klarälvlaks i hele vassdraget. Prosjektet var delvis initiert med bakgrunn i EUs Vanddirektiv, implementert i Norge gjennom Vannforskriften. «Vänerlaxens fria gång» ble avsluttet i 2014. Resultater og sammenfatning av arbeidet i forbindelse med prosjektet er presentert i en rapport av Hedenskog mfl. (2015). Som oppfølging til prosjektet «Vänerlaxens fria gång» ble et nytt prosjekt, «Två länder – én elv» startet opp i 2017 (varighet til ut 2021). Dette prosjektet bygger direkte på det grunnarbeidet som er gjort gjennom «Vänerlaxens fria gång». Kultiverings- og reetableringsplanen som presenteres i denne rapporten er utarbeidet på oppdrag fra prosjektet «Två länder – én elv». Ytterligere detaljer om disse prosjektene, vassdraget og laksepopulasjonen finnes i prosjektrapporten (Hedenskog mfl. 2015)

1.2 Reetableringsplanen

I rapporten fra prosjektet «Vänerlaxens fria gång» er det gjort en beregning som tilsier at dagens gytebestand av både laks og ørret utgjør om lag 5 % av hva som tidligere ble fanget i Klarälven og Trysilelva (Hedenskog mfl. 2015). På bakgrunn av dette ble det derfor i 2020 utarbeidet en bevarings- og reetableringsplan for Klarälvlaks i Trysil- / Femundsvassdraget. Arbeidet ble gjennomført av en gruppe forskere fra NINA, Veterinærinstituttet og Sveriges Lantbruksuniversitet på oppdrag fra prosjektet «Två länder – én elv» og er oppsummert i en egen NINA-rapport (Olstad mfl. 2020). I rapporten er det utarbeidet et forslag til bevarings- og reetableringsplan for Klarälvlaks på norsk side i vassdraget, altså Femund-/Trysilvassdraget, med hensikt å i størst mulig grad ivareta Klarälvlaksens genetiske variasjon og integritet. Planen er i hovedsak basert

på prinsippet om genbankbasert kultivering og presentert i to faser. I Fase 1 legges det opp til å etablere grunnlag for opphavsfisk og å etablere genbankstamme for fisken som senere skal brukes i reetablering og kultivering. Fase 2 omfatter selve kultiverings- og reetableringsarbeidet i Trysilelva, inkludert overvåking og evaluering av effekter. Videre er det i planen redegjort for et sett forutsetninger knyttet til alternativet med å flytte voksen gytelaks fra Sverige til Norge (se **Figur 1**), både i forbindelse med etablering av genbankstamme og som direkte kultiveringstiltak ved utsetting av gytelaks på norsk side. I denne rapporten er hovedfokus rettet mot nettopp flytting av voksen laks.

1.3 *Gyrodactylus salaris* og bekjempelse med kloramin

Lakseparasitten *Gyrodactylus salaris* har sin naturlige utbredelse i vassdrag som drenerer til Østersjøen (Ergens 1983, Malmberg og Malmberg 1993) hvor den finnes i lave antall (lav intensitet) på den baltiske laksen. Parasitten ble introdusert til Norge på 70-tallet og det viste seg raskt at Atlantisk laks var svært mottagelig for infeksjoner med *G. salaris* og parasitten tok livet av en høy andel av yngelen i flere norske elver (Johnsen og Jensen 1991). Parasitten er til nå påvist i 51 norske elver (Hansen mfl. 2021) og er ansett som en stor trussel mot norsk villaks (Forseth mfl. 2017). Myndighetene har som mål å utrydde den fra alle områder hvor den er etablert (Anon 2014) og det brukes store ressurser på bekjempelse av parasitten. Etter flere år med innsats i form av kjemisk behandling er status mot slutten av 2021 at *G. salaris* kun er kjent forekommende i åtte vassdrag fordelt på to smitte-regioner; Drammensregionen og Drivaregionen (Hansen mfl. 2021). Rotenon (med virkestoffet CFT-legumin) har vært det mest brukte kjemikaliet for å utrydde *G. salaris*, men i løpet av de senere år har det vært fokus på å utvikle alternative metoder basert på andre kjemikalier. For eksempel ble aluminiumsmetoden brukt i Lærdalselva, som i 2017 ble friskmeldt som følge av behandlingen (NIVA: <https://www.niva.no/nyheter/friskmelder-laerdalselvi-for-gyrodactylus-salaris>).

Parasitten er påvist i mange vassdrag i Sverige, både i vassdrag som drenener til Østersjøen og i flere vassdrag på den svenske vestkysten. Våren 2013 ble lakseparasitten *G. salaris* påvist på voksen laks i Vänern, og høsten samme år ble den også påvist på laksunger fanget i Klarälven på strekningen mellom Syslebäck og Höljes (se Olstad mfl. 2013).



Figur 1. Kart over Klarälven/Trysilelva/Femundselva (modifisert etter: sv.wikipedia.org). Tallene 1-11 indikerer plassering av kraftverk. Gul skravering: gyte- og oppvekstområder for laks som i dagens situasjon fanges ved kraftverk 1 (Fors-haga) og transporteres forbi kraftverkene 2-8. Rød skravering: potensielle gyte- og oppvekst-områder på norsk side, i dagens situasjon forut-satt transport forbi Kraftverk 9 (Höljes). Fisken som transporteres hit kan ha sin opprinnelse fra eksisterende fangsinnretning ved Forshaga eller ved en eventuell ny fangsinnretning i øvre deler av det gulskraverte området.

Med tanke på situasjonen i Norge, ble det i sammenheng med påvisningen av lakseparasitten i Vänerne/Klarälvsdragnet utarbeidet en risikovurdering knyttet til potensiell spredning av *G. salaris* i forbindelse med planlagt aktivitet i prosjektet (Olstad mfl. 2013). Denne rapporten konkluderte med at flytting av fisk oppover i systemet ville utgjøre en risiko for spredning av parasitten, men at saltbehandling i henhold til gjeldende lovverk (saltbehandling med en konsentrasjon på 25 ‰ over 14 dager), eller i henhold til foreslått endret lovverk (se vedlegg i Olstad mfl. 2013), ville gjøre at denne sannsynligheten ville være svært lav. Det ble imidlertid poengtert at selv om sannsynligheten for en eventuell spredning videre fra Femundsvassdraget til vassdrag med Atlantisk laks på norsk side ville være lite sannsynlig, så tilsa erfaringen fra tidligere innførsler av *G. salaris* til Norge at konsekvensene potensielt ville være svært alvorlige.

I dagens lovverk er saltbehandling eneste godkjente metode for fjerning av *G. salaris* før transport. Salt er imidlertid ikke det eneste kjente stoffet som har effekt på parasitten. I en gjennomgang av publiserte arbeider listet Thrush mfl. (2019) hele 80 stoffer som hadde blitt testet mot forskjellige arter innen slekten *Gyrodactylus*, og hvorav flere med effekt på *G. salaris*. Grunnlaget for å vurdere klor i form av kloramin som kjemikalium til behandling mot *G. salaris* kommer fra et prosjekt («Gyroklor»: NIVA: <https://www.niva.no/nyheter/vellykket-utproving-av-klorbehandling-i-driva>) som over en lengre periode har arbeidet med å etablere en skånsom bekjempelsesmetode mot parasitten i norske elver. Det er godt dokumentert at klor dreper patogener i vann (World Health Organization 2006) og klorforbindelser brukes for eksempel til å desinfisere drikkevann, til behandling av avløpsvann og som behandling mot bakterier og alger i forskjellige sammenhenger. Klor i ulike former er verdens mest brukte desinfeksjonsmiddel, og klor er også forsøkt som behandlingsmiddel i akvakultur (From 1980, Bullock mfl. 1991, Thorburn & Moccia 1993, Smith mfl. 1993). Fra tidlige laboratorieforsøk viste det seg at lav konsentrasjon av hypokloritt kunne fjerne *G. salaris* fra laksunger i løpet av kort tid og uten synlige negative effekter på fisken (Hagen mfl. 2014). På bakgrunn av dette er det i ettertid lagt ned en betydelig innsats for å utvikle en bekjempelsesmetode basert på klor i form av monokloramin (se Hagen mfl. 2014, 2018, 2019ab, 2021ab, Eriksen 2018, Hytterød mfl. 2021, Olstad mfl. 2021). Status for Gyroklorprosjektet per ultimo 2021 er at det er gjennomført en generalprøve med tilnærmet fullskala behandling av elva Driva i Møre og Romsdal med svært lovende resultater. Den svært lave tålegrensen hos *G. salaris* overfor kloramin gjør at både fisk og øvrige biota i eksponerte vannforekomster tåler de konsentrasjoner som fjerner parasitten. På bakgrunn av de positive resultatene er det et uttrykt ønske (men ingen formell beslutning) fra Miljødirektoratet å anvende kloramin som hovedkjemikalium i en endelig behandling av elva Driva i 2022 og 2023.

I denne rapporten er det gjort en teoretisk vurdering av muligheter og forhold som må ligge til rette for eventuell bruk av kloramin for fjerning av *G. salaris* før transport av primært voksen laks fra Klarälven til Femunds-/Trysil-elva. Videre er kunnskapsgrunnlaget fra utviklingen av klormetoden for fjerning av *G. salaris* i elvesystemer vurdert med tanke på behandling av laks i fangenskap, altså i lukkede tanker eller åpne kar. Vurderingen innebærer relevante faktorer som vannkjemi, årstidsvariasjon, holdetid i anlegg med mer. En slik metode er per i dag ikke godkjent i henhold til gjeldende regelverk for transport av laks fra Sverige til Norge. Gjennomføring av planen slik det er presentert i denne rapporten forutsetter avklaring av lovmessige forhold og må også avklares mot både svenske og norske forvaltningsmyndigheter. Videre er det en rekke forutsetninger som må ligge til grunn med tanke på status i det generelle bevarings- og kultiveringsarbeidet i Klarälven og Trysil-elva. Flere slike forbehold er påpekt og utdypet der det er relevant i teksten.

2 Grunnleggende om behandling med kloramin ved flytting av fisk

I denne rapporten legges det til grunn at metoden for fjerning av *Gyrodactylus salaris* ved bruk av kloramin er tenkt benyttet på voksen laks som skal flyttes fra smittet til usmittet område. Flytting av voksen laks inngår som en del av bevaringsplanen- og reetableringsplanen for Vänerlaksen (Olstad mfl. 2020), og tiltaket med bruk av kloramin er tenkt gjennomført på det tidspunktet som er skissert i denne planen. Bevarings- og reetableringsplanen er lagt opp i to faser. Fase 1 omfatter å etablere grunnlag for opphavsfisk og å etablere en genbankstamme for fisken som senere skal brukes i reetablering og kultivering. Fase 2 omfatter selve kultiverings- og reetableringsarbeidet i Trysilelva, inkludert overvåking og evaluering av effekter. Nedenfor (**Tabell 1**) er det lagt inn en skisse over sentrale punkter i kronologisk rekkefølge slik det er presentert i denne planen (Olstad mfl. 2020).

Tabell 1. Sentrale punkter i kronologisk rekkefølge slik det er presentert i bevarings- og kultiveringsplanen for Klarälvs laks i Trysil- / Femundvassdraget (Olstad mfl. 2020).

- Fase 1 - Bevarings- og oppbyggingsfase
 - Etablere genetisk baseline som grunnlag for valg av opphavsfisk
 - Etablere rutiner for genetiske analyser
 - Valg av / etablering av genbankanlegg
 - Oppstart, årlig innsamling av opphavsfisk
 - Valg av strategi for bruk av overskuddsrogn

- Fase 2 - Reetablering og kultivering i Trysilelva
 - Oppstart, årlige utsettinger
 - Oppstart, overvåking av tilslag, Forshaga
 - Etablering av fangstinnretning nedstrøms Höljes
 - Oppstart, overvåking av tilslag, Höljes
 - Flytting av voksen laks forbi Höljes

I bevarings- og kultiveringsplanen (Olstad mfl. 2020) er det gitt en rekke forutsetninger som må være innfridd før man kan sette i gang med transport av voksen laks. En av disse forutsetningene er at uttak av gytefisk for oppflytting forbi Höljes slik at de kan gyte på norsk side ikke må resultere i en generell reduksjon av smoltproduksjonen i vassdraget som helhet. Videre er det poengtert at det må være en bestandsmessig (produksjonsmessig og/eller genetisk) gevinst i form av økt smoltproduksjon med oppflyttingen. Et viktig punkt i denne sammenhengen er utbedring og sikring av nedvandringmulighet for smolten fra norsk side og hele veien til Väneren. I tråd med anbefalingene i bevarings- og kultiveringsplanen, vil det være tilrådelig å vente med oppflytting av voksen laks til etter etablering av det genbankbaserte kultiveringsarbeidet, med de nevnte forutsetninger som er lagt til grunn for denne aktiviteten.

Den endelige målsettingen i prosjektet «Två länder en älv» er å legge til rette for at laksen skal kunne vandre fritt i hele Klarälvs-/Trysilelvsystemet. I første omgang vil imidlertid laksens mulighet for å komme til norsk side måtte baseres på aktiv transport. Den eneste fangstinnretningen for voksen laks finnes i dag ved kraftverksdammen i Forshaga, og der må uansett all fisk fanges inn for første trinn av oppflytting. Forutsatt at smittevernforhold er tatt hensyn til, kan i utgangspunktet voksen laks transporteres direkte med tankbil fra Forshaga til Norge. Av hensyn til det

økologiske aspektet ved valg av fisk som er motivert for å vandre langt, er dette imidlertid ikke ansett å være en langsiktig holdbar løsning. Det er derfor foreslått etablering av en innfangings-lokalitet i nærheten av Höljes. En nærmere redegjøring for implikasjoner knyttet til dette finnes i bevarings- og reetableringsplanen (Olstad mfl. 2020).

Når det gjelder selve metoden for å fjerne *G. salaris* fra laksen i forbindelse med transport, vil det være et antall logistikkmessige forutsetninger som må være på plass, uavhengig av lokalitet. Disse forutsetningene er redegjort for nedenfor.

Det prinsipielle grunnlaget for gjennomføring av en klorbehandling av laks, inkludert en beskrivelse av teknologiske forutsetninger, er utdypet i **kapittel 3**.

Gangen i prosedyren foreslås slik:

- Innfanging
- Eventuell transport
- Oppstalling
- Behandling
- Eventuell karantene (m/ eventuell effektkontroll) før transport
- Transport mot endelig destinasjon

Monokloramin er et kjemikalium som er ustabil selv når det ikke har andre stoffer å reagere med, og brytes ned gjennom en serie kompliserte reaksjoner som til slutt resulterer i oksidering av ammoniakk/ammonium og reduksjon av aktivt klor (Jafvert og Valentine 1992). Denne auto-nedbrytingen skjer raskere ved lav pH enn ved nøytral pH. I tillegg kan monokloramin reagere med organisk materiale i vannet og stoffer som jern (II), nitritt og bromid (Vikesland mfl. 1998 2001). Tilsetningen av kloramin som må til for å oppnå en bestemt konsentrasjon av aktivt klor i ellevannet er altså avhengig av enkelte vannkjemiparametere slik som pH, organisk materiale og et utvalg metaller. Ved en behandling mot *G. salaris* vil det derfor være viktig å ha kjennskap til stedlige vannkjemiske forhold og å forstå hvordan vannkjemiske variasjoner påvirker klorforbruket for å kunne tilsette riktig klormengde.

Gjennomføring av klorbehandling forutsetter mulighet for oppstalling av fisken for en tidsperiode. I utgangspunktet er det ikke nødvendig at slik oppstalling finner sted i umiddelbar nærhet av innfangingslokaliteten, men prinsipper angående minst mulig transportdistanse bør tas i betraktning ved valg av lokalitet. Videre er det en viktig forutsetning at behandlingen finner sted innenfor opprinnelig geografisk smittesone. De relevante konsentrasjonene av klor i behandlingsvannet tilsvarer verdier som er innenfor drikkevannsnormen, og det er derfor ingen spesielle krav til bestandighet mot korrosive forhold med tanke på materialvalg i holdetanker og rør. Jorddammer er imidlertid ikke anbefalt av hensyn til at klor reagerer med humusstoffer som nevnt ovenfor. I forbindelse med transport av fisk er det viktig at den utsettes for så lite forstyrrelser som mulig. Det er derfor en stor fordel om fisken ikke må flyttes mellom kar i forbindelse med oppstalling for klorbehandling. Et alternativ hvis det skal behandles flere grupper samtidig eller med en tidsforskyvning, er at anlegget er konstruert/dimensjonert slik at hvert enkelt kar kan brukes som oppstallingskar, til behandlingskar og til eventuelle karantenekar. På denne måten vil fisken kunne stå i ett og samme kar gjennom hele prosessen uten å måtte flyttes.

Det er en forutsetning at vannforsyningen til anlegget hvor klorbehandlingen skal foregå må ha egenskaper i tråd med generelle retningslinjer og regler som for et hvilket som helst anlegg til oppstalling av fisk i kultiveringsøyemed. Dette gjelder vannets opphav, kvalitet og tilgjengelig volum i forhold til biomasse fisk til oppstalling og eventuelle krav til behandling av avløpsvannet. Når det gjelder selve klorbehandlingen vil det være noen gjeldende forutsetninger og anbefalinger. Slike forhold er omtalt kort her, og hvor teknologisk og logistikkmessig bakgrunn er redegjort for nedenfor i **kapittel 3** og **kapittel 4**.

Som nevnt vil kloramin tilsatt vann brytes ned over tid, og det grunnleggende prinsippet for en klorbehandling vil derfor være kontinuerlig tilsetning av behandling kjemikalier i gjennomstrømmende vann. I praksis vil dette innebære å tilsette kjemikalier til vannet før det når behandlingskaret. På stabil vanngjennomstrømming og stabil dosering og med tilstrekkelig gjennomstrømming vil mengden aktivt klor per volum (se **kapittel 3**) være stabil og jevnt fordelt gjennom hele karet. Kontroll av reell eksponeringsdose vil dermed kunne oppnås ved analyse av avløpsvannet (nærmere beskrevet i **kapittel 3**). I prinsippet er ikke størrelsen på vannvolumet (volum per tidsenhet) avgjørende i forbindelse med behandlingen, siden doseringsteknologien kan la seg tilpasse til forskjellige vannføringer. Det er imidlertid viktig at vannforsyningen er så stabil som mulig av hensyn til presisjon i doseringen. Beregning av mengde doseringskjemikalier baseres på vannvolumet inn i den aktuelle fisketanken per tidsenhet. Det er derfor en stor fordel om vannforsyningen har påmontert en automatisk måler som kvantifiserer passerende vannvolum.

Flytting av levende fisk medfører også en generell risiko for spredning av andre organismer, herunder fiskepatogener som i dag ikke finnes på norsk side i vassdraget. Hensyn til risikoen for spredning av slike organismer generelt kommer i tillegg til det som er spesielt adressert vedrørende *G. salaris* her. Dette temaet er behørig redegjort for i to nylig utgitte rapporter: Veterinærinstituttet gjorde i 2020 en risikovurdering i forbindelse med import av rogn og gytefisk fra Väneren til Femund- og Trysilvassdraget med tanke på spredning av fiskepatogener (Garseth mfl. 2020). Vitenskapskomiteen for mat og miljø (VKM), gjorde på oppdrag fra Miljødirektoratet i 2021 er vurdering av risikoen for negative effekter på biologisk mangfold og økosystemer i Norge ved import av laks eller rogn fra Klaraälven i Sverige for utsetting i Trysilvassdraget (Thorstad mfl. 2021).

3 Tekniske forutsetninger ved bruk av kloramin ved fiskeflytting

3.1 Bakgrunn - utviklingen av klormetoden

Utviklingen av en skånsom bekjempelsesmetode med bruk av kloramin mot lakseparasitten *G. salaris* i norske elver har sitt utspring i laboratorieforsøk ved Veterinærinstituttet (VI) i Oslo. Disse forsøkene viste at hypokloritt tilsatt i lave konsentrasjoner (15-50 µg/l) til vannet kan fjerne *G. salaris* fra laksunger i løpet av 2-6 dager uten å ha synlige negative effekter på fisken (Hagen mfl. 2014).

Klor i form av natriumhypokloritt (NaClO) er virksomt mot *G. salaris* og kan i utgangspunktet benyttes for å behandle laks for å fjerne parasitten. Hypokloritt er imidlertid svært reaktivt, og vil derfor både ha en kraftig virkning mot fisk og parasitt og avgiftes raskt i møte med for eksempel organiske stoffer i vannet. Denne reaktiviteten er en ulempe og ikke logistisk hensiktsmessig når et vassdrag skal behandles, siden varigheten av effekten ville blitt begrenset både i tid og elvestrekning. Ved å blande natriumhypokloritt og ammoniumklorid (NH₄Cl, «salmiakksalt») under kontrollerte betingelser kan man få dannet monokloramin (NH₂Cl), som er mindre reaktivt og frigjør aktivt klor på en mer forutsigbar måte over tid. Den tekniske delen av behandlingen handler derfor om hvordan man på en hensiktsmessig måte kan få blandet disse kjemikalierne i det riktige forholdet og dosert de ut i en elv, bekk eller et forsøkskar.

Den mer langvarige effekten av monokloramin mot patogene bakterier er også kjent fra drikkevannsbehandling, hvor noen vannverk bruker kloraminering for at klor skal holde seg på aktiv form mens vannet spres på distribusjonsnettet (EPA: <https://www.epa.gov/dwreginfo/basic-information-about-chloramines-and-drinking-water-disinfection>). Med aktivt klor¹ menes her samlet konsentrasjon av klorforbindelser med desinfiserende effekt. I denne fraksjonen inngår fritt klor (klogass, hypoklorsyre og hypokloritt) og bundet klor (monokloramin, dikloramin og trikloramin). Det er forskjeller på hvor effektive de spesifikke forbindelsene er mot ulike organismer. Totalkonsentrasjon av aktivt klor, men også hvilke av de spesifikke klorforbindelsene som utgjør aktivt klor, er avgjørende for hvor effektivt klor er som desinfeksjonsmiddel mot bakterier. Fri klor, og spesielt klogass og hypoklorsyre har høy antibakteriell effekt, men reagerer (inaktiveres) raskt. Ved lave doser vil derfor effekten forsvinne fort. Monokloramin har den fordel at det reagerer langsommere enn fritt klor og at effekten derfor varer lenger ved lave doser.

I 2015 ble det gjort karforsøk i vann fra Drammenselva som viste at klorforbindelser er svært effektivt mot *G. salaris*. Tilsetning av 30-50 µg klor/l fjernet også her alle parasittene fra laksunger i løpet av 2-6 dager (Hagen mfl. upublisert). I dette forsøket ble klorforbindelsene tilsatt som monokloramin, og effekten mot parasitten var svært god selv 120 minutter etter kjemikaliet var tilsatt vannet. Det ble også dokumentert en god terapeutisk margin, det vil si ingen dødelighet hos fisk som kunne relateres til kloreksponeringen, innenfor behandlingstiden som var nødvendig for å fjerne alle *G. salaris*. Forsøkene i 2015 viste dermed at resultatene fra laboratorieforsøkene var reproducerbare i et feltforsøk med elvevann fra et *G. salaris*-infisert vassdrag. Disse forsøkene viste også at klor tilsatt som monokloramin ga lengre virketid mot *G. salaris*, enn klor tilsatt som natriumhypokloritt. Denne varigheten av effekten er en viktig egenskap ved fullskala behandling i vassdrag, og basert på disse funnene har derfor valg av kjemikalium i den videre utviklingen av metoden vært kloramin.

¹ Også kjent som tilgjengelig klor. Klogass, hypoklorsyre og hypokloritt oksiderer stoffet N, N-diethyl-p-phenylenediamine, forkortet DPD. Monokloramin, dikloramin og trikloramin gjør det samme i en reaksjon katalysert av jodid. Vi utnytter reaksjonen til å bestemme samlet konsentrasjon av de spesifikke klorforbindelsene.

Siden ferdigblandet kloramin brytes ned over tid ved lagring, innebærer en slik tilnærming at kjemikaliet bør lages på stedet umiddelbart før tilsetning til behandlingsvannet. I praksis har dette vært løst ved å blande løsninger med på forhånd beregnede forhold av natriumhypokloritt og ammoniumklorid i vann som er dosert til elva. Et slik opplegg med blanding på stedet ble utprøvd i klordoseringsforsøk i elva Glitra, øverst i Lierelva i Buskerud høsten 2017. Doseringsteknologien og metodikken for produksjon av monokloramin på elvebredden fungerte etter hensikten, og ga ønsket konsentrasjon av aktiv klor i elva nedstrøms doseringspunktet (Hagen mfl. 2018). Resultatene herfra viste også at monokloramin har god effekt mot *G. salaris* når kjemikaliet tilsettes og transporteres med vannmassene i et naturlig vassdrag, og at effekten fra ett doseringspunkt vedvarte i minimum 80 minutter etter kloramintilsettingen (Hagen mfl. 2018).

I perioden 2018 til 2021 er det blitt gjennomført doseringsforsøk med stadig økende grad av logistikkomfang, og hvor noe av hovedmålet har vært å utvikle automatisert doseringsteknologi. Fremstillingen (blandingen) av kloramin har blitt optimalisert, fra å gjennomføres forenklet med blanding i bølter i Glitra og Batnfjordelva i 2017/2018 (se Hagen mfl. 2018 og Hagen mfl. 2019a), til å fremstilles prosesskjemisk ved bruk av et mer avansert blandeanlegg i Driva i 2019/2020 (Hagen mfl. 2020).

3.2 Doseringsteknologi

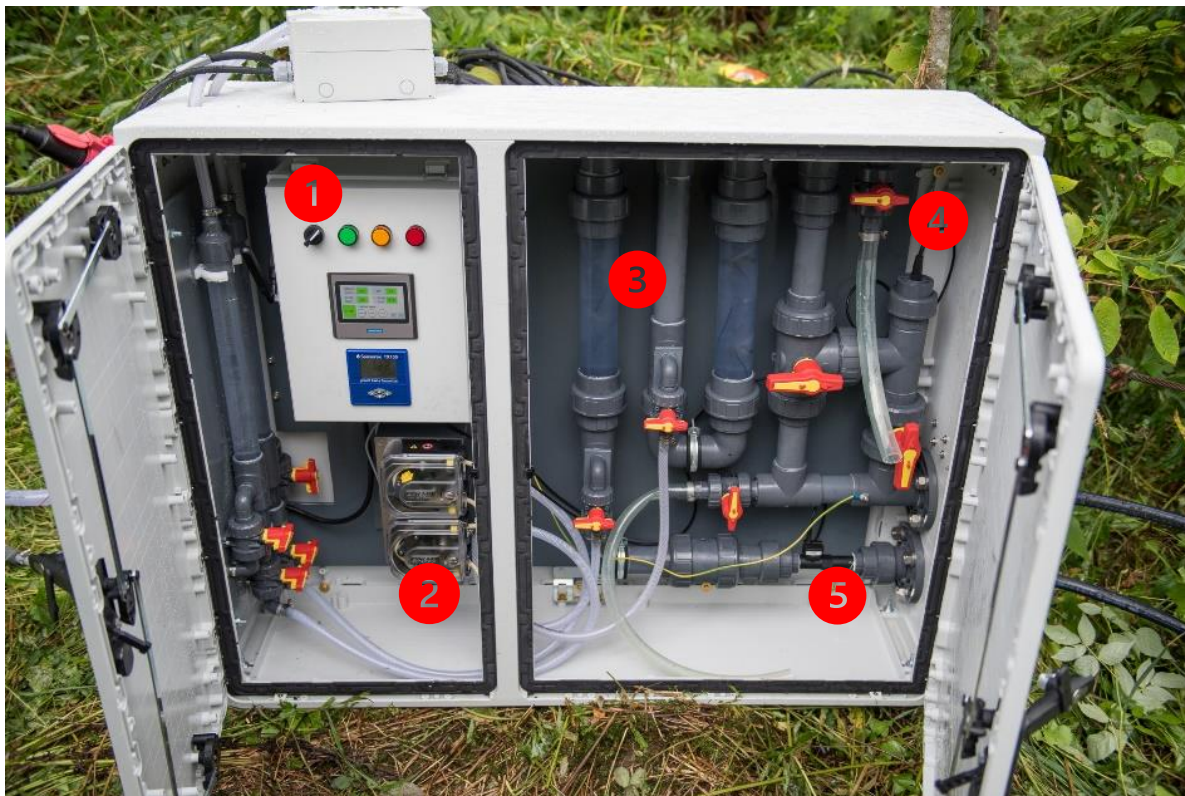
Den eksakte lokasjonen og omfanget av logistikk i forbindelse med transport av voksen laks fra Sverige til Norge er ikke klart. I det videre er det derfor lagt vekt på å vise fleksibiliteten til klorometoden slik den foreligger per i dag. Det er i tillegg forsøkt belyst hvilke muligheter for logistiske løsninger som kan tenkes. Per i dag er status at doseringsanlegg for kloramin er utviklet og testet i vannveier av varierende størrelse. For bruk i store vannveier (elv) har det blitt bygget egne blande- og doseringsskap med innbygde elektriske styringsapparat (Figur 2). Disse gjorde det mulig å behandle hele elva Driva fra fiskesperra ved Gjæra til elvas utløp i sjøen i 2021. I sidebekker og tilsvarende vannveier med mindre vannføring har det blitt bygget mindre og portable blandeanlegg (Figur 3). En nærmere beskrivelse av den utviklede teknologien er presentert nedenfor.

3.2.1 Dosering i store vannføringer

Doseringsanleggene tilpasset store vannveier er testet og finjustert på lengre elvestrekninger i Driva i perioden fra 2019 frem til 2021, da en siste fullskalatest («generalprøve») ble gjennomført. I denne testen ble en elvestrekning på 23 km behandlet. Det ble dosert fra et primær-doseringsanlegg øverst på behandlingsstrekningen, samt fra fire såkalte påfriskstasjoner nedover elva. Fra disse ble det tilsatt fersk kloraminløsning for å opprettholde en behandlende konsentrasjon av klor helt frem til elvas utløp. I tillegg ble sideelver og vann fra to kraftverk behandlet.

Målt vannføring på et utvalg lokasjoner ble brukt som styringsgrunnlag for doseringen. I tillegg gjorde en vurdering av klorkonsentrasjon i daglige vannprøver det mulig å ha meget god kontroll på konsentrasjonen av klor i elva til enhver tid.

Doseringsanleggene inneholder elektronisk styreskap med integrert modem for fjernstyring, men er også utstyrt med berøringspanel for manuell justering på stedet. En illustrasjon av doseringsanlegg med komponenter er vist i Figur 2. Vann for blandesystemet pumpes inn fra elva til anlegget, og en vannstrømsmåler sikrer varsel ved avvik fra normal vannstrøm. Kjemikaliene tilsettes ved hjelp av peristaltiske doseringspumper. Blanderør sikrer at kjemikaliene blandes skikkelig i blandevannet før sensor for måling av pH kvalitetssikrer at blandingen er riktig. Ferdig monokloraminblanding ledes ut til elv og fordeles over elveprofilen ved hjelp av dyser eller liknende. Anleggene kan fjernstyres såfremt det er mobildekning for datatrafikk. Anleggene er egnet for dosering i vannføringer opp til 150 m³/sekund i Driva, og forsynes vanligvis med kjemikalier fra 1000L PE-tanker, såkalte IBC.



Figur 2. Doseringsanlegg ved en påfriskstasjon tilknyttet hovedløpet i elva Driva. Skapet inneholder styreskap med touchpanel for manuell justering på stedet (1), doseringspumper (2), blanderør (3), sensorer for måling av pH (4) og vannstrøm (5).

3.2.2 Dosering i små vannføringer

For å sikre tilstrekkelig klorkonsentrasjon i alle vannveier, er det nødvendig med portable små doseringsanlegg i sidebekker. Denne typen doseringsanlegg ble utprøvd i et utvalg av sidebekkene langs Driva i 2021. De små doseringsanleggene (**Figur 3**, **Figur 4**) benytter vann på fall fra bekken, som ledes gjennom en blandestav for innblanding av kjemikaliene. Det tilsettes hypokloritt og ammoniumkloridløsning til blandestaven ved hjelp av en tokenals slangepumpe, slik at kloramin dannes og ledes ut i bekken sammen med blandevannet. Slangepumpen drives av to 12V batterier. I behandling av vassdrag er disse anleggene ansett å være egnet for dosering i vannføringer opp til typisk 500 liter/sekund, og de forsynes vanligvis med kjemikalier fra 5-30 liters polyetylenkanner.



Figur 3. To-kanals slangepumpe og blandestav i beskyttelseskasse.



Figur 4. Doseringssystem for sidebækker med kjemikalier (blå kanner), strømtilførsel via batteri, samt pumpekasse.

3.2.3 Dosering til forsøksoppsett

I forbindelse med utviklingen av klormetoden har det vært utført en rekke eksponeringsforsøk for å undersøke effekt av klor på både fisk og *G. salaris*, se for eksempel Olstad mfl. 2021. I den forbindelse har det vært relativt små vannstrømmer gjennom forsøksoppsettet, typisk noen titalls liter per minutt. Ved så små vannstrømmer og lave behov for kjemikalietilsetninger har det vært hensiktsmessig å dosere klor fra beholdere med ferdigblandet kloramin, heller enn å blande det kontinuerlig. **Figur 5** viser eksempel på et slik forsøksoppsett. Grensen i vannstrøm for når det er hensiktsmessig å endre fra ferdigblandet kloramindoseringsløsning til kontinuerlig blanding av kloramin må beregnes for vannkvaliteten der gjennomføringen er aktuell.



Figur 5. Forsøksoppsett under eksponeringsforsøk

3.3 Doseringsstrategi

Det er ikke klart hva slags strategi som bør velges med tanke på doser og behandlingstidsrom ved transport av laks til Norge. Som beskrevet over eksisterer det imidlertid et godt erfaringsgrunnlag gjennom en rekke forsøk siden 2013. Disse har vært utført både i naturlige systemer i felt og i kontrollerte former i fiskekar innendørs og utendørs. Det er benyttet ulike konsentrasjoner av klor som kloramin under en rekke ulike vannkjemiske betingelser. En fellesnevner er imidlertid at det trengs en tilstrekkelig dose av klor over et tilstrekkelig tidsrom for å fjerne parasitten, og at klordosen må beregnes og måles for å sikre rett kvalitet på behandlingen. Det er en fleksibilitet i valg av konsentrasjon, og det ser ut til å være totalbelastningen av klor over tid som er utslagsgivende for hvorvidt parasitten forsvinner fra laksen. En nærmere beskrivelse av valgene som foreslås med tanke på tidsrom og konsentrasjon ved behandlingen presenteres nedenfor.

3.3.1 Valg av klorkonsentrasjon – grunnlag

Det er godt kjent at klorforbindelser er giftig for fisk (Larson mfl. 1978), men det er stor variasjon i litteraturen med hensyn på tålegrenser for ulike fiskearter, særlig ved lave klorkonsentrasjoner. Det er også uklarerhet rundt faktiske grenseverdier for enkelte arter, da det er rapporter forskjellig tålegrense for samme fiskeart i ulike studier. Flere arter innenfor laksefamilien (Salmonidae) er beskrevet som svært følsomme for klor (Singleton & Bio 1989). Det er imidlertid stor variasjon i oppgitte konsentrasjoner for akutt giftighet der 96-timers LC-50 verdier er fra 10 til 132 μg residualt² klor/l (Singleton & Bio 1989). Kronisk giftighet for klor er observert etter eksponering for residualt klor helt ned i 3 μg /l, men da over en eksponeringsperiode på 12 uker (Buckley 1976). Effektene fra de laveste klorkonsentrasjonene som er rapportert for laksefisk i litteraturen samsvarer i liten grad med det som er observert under kloreksposering av laks infisert med *G. salaris* (Hagen mfl. 2014, 2018, 2019b). I et forsøk hvor det ble gjennomført fysiologiske undersøkelser av fisken, viste Hagen mfl. (2019b) også at laksunger (ett- og toåringer) kan eksponeres for 22 μg klor/l i 14 dager uten alvorlige konsekvenser for fisken.

Innen farmakologi brukes begrepet terapeutisk indeks eller terapeutisk vindu om forholdet mellom den terapeutiske dosen (dosering for å helbrede en tilstand) og den giftige dosen (dosering som gir ikke-akseptable uønskede virkninger) til et legemiddel (SNL: https://sml.snl.no/terapeutisk_indeks). Klor er ikke et legemiddel, men i praktisk bruk som middel mot ektoparasitter på levende fisk må dosering skaleres i tråd med et kjent terapeutisk vindu. Dette vinduet strekker

² Med begrepet residualt klor menes klor som ikke har blitt inaktivert kort tid etter at det er tilsatt til vannet. Dette kan være fritt klor (klorgass, hypoklorsyre, hypokloritt) eller bundet klor (kloraminer) som reagerer langsommere enn fritt klor, og derfor holder seg aktiv lenger. Summen av fritt og bundet klor kalles aktiv klor eller total aktiv klor fordi det har desinfiserende effekt.

seg fra laveste kjente konsentrasjon av klor som er virksomt mot parasitten, til den (høyere) konsentrasjonen der det påvises negative helseeffekter for laksen. Det er fra tidligere undersøkelser kjent at så lave konsentrasjoner som fem μg klor/liter er effektivt mot parasitten, men at det da tar mer enn 13 dager før all parasitt blir borte (Hytterød mfl. 2021). Videre har tålegrenseforsøk vist at ørretunger (*Salmo trutta*) tåler minst 10 dager eksponering for 45 μg klor/liter før det observeres dødelighet blant fisken (Olstad mfl. 2021). I forbindelse med samme forsøk ble det vist at all parasitt er borte fra laksunger på mindre enn fire dager ved samme klorkonsentrasjon i vannet. Tidligere undersøkelser har vist at 11 $\mu\text{g}/\text{l}$ fjerner parasitten på mellom seks og ni dager, og 22 $\mu\text{g}/\text{l}$ fjerner parasitten på cirka fire dager (Hytterød 2021). Basert på disse funnene ble det under forsøksbehandlingen i 2021 i Driva valgt et mål om å ha en konsentrasjon av klor på 15 $\mu\text{g}/\text{l}$ ved målepunktene i elva.

3.3.2 Totalbelastning av klor brukt som målekriterium

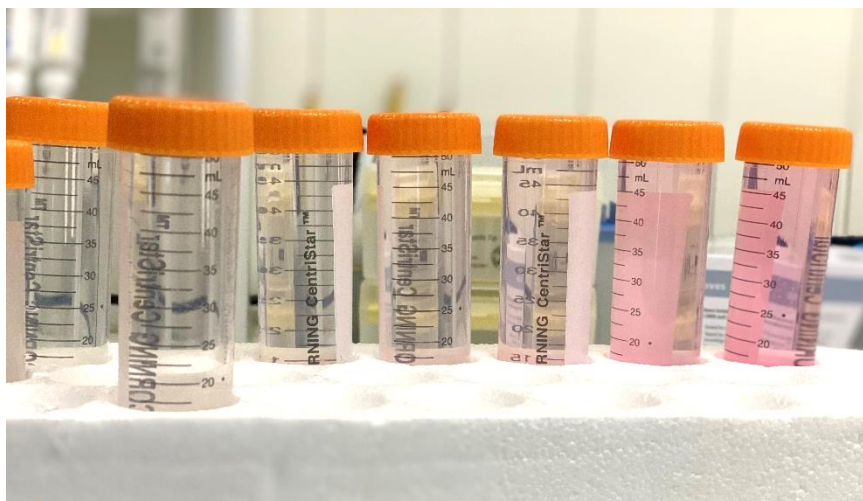
Resultater fra forsøk gjennomført senere år (Hagen mfl. 2014, 2018, 2019, 2021ab, Hytterød mfl. 2021, Olstad mfl. 2021) viser at det er en klar dose-respons-sammenheng på klorkonsentrasjonen i vannet og hvor fort parasittene forsvinner fra fisken. Ved å multiplisere den gjennomsnittlige klorkonsentrasjonen i vannet med antall eksponeringsdøgn, eller å summere de daglige målte klorkonsentrasjonene i forsøksperioden, kan man komme frem til en totalbelastning av klor målt i «mikrogramdøgn». Fem eksponeringsdøgn med klorkonsentrasjonen 10 $\mu\text{g}/\text{l}$ vil eksempelvis gi 50 mikrogramdøgn. Erfaringer fra forsøkene de senere år viser at 70 mikrogramdøgn vil gi en sterk reduksjon av parasittinfeksjonen på laks, og 90 mikrogramdøgn vil føre til utryddelse av parasitten. Effekten av disse doseverdiene er imidlertid ikke testet for det som i denne sammenhengen kan anses som ekstremverdier, altså veldig høye eller veldig lave konsentrasjoner.

3.3.3 Test av dose-respons ved lokaliteten

Erfaringer fra flere ulike vannkvaliteter tilsier at klorkonsentrasjoner på 10-20 $\mu\text{g}/\text{l}$ har god effekt mot *G. salaris* (Hagen mfl. 2014, 2018, 2019, 2021ab, Hytterød mfl. 2021, Olstad mfl. 2021). Når formålet er en utryddelse av parasitten for å hindre spredning av denne med fisk som flyttes oppstrøms vandringshinder, er imidlertid risikobildet slik at det er nødvendig å kvalitetssikre effekten av klor på parasitten i den lokale vannkilden før oppstart. Dette kan gjennomføres ved å eksponere to grupper av fisk for to kjente og ulike klorkonsentrasjoner samt en tredje gruppe som ueksponert kontroll. Resultatene vil sannsynliggjøre hva slags konsentrasjon av klor, og over hvilket tidsrom (eller antall mikrogramdøgn om man vil), som vil være tilstrekkelig for å utrydde parasitten fra laks før flytting. Eventuelle krav fra myndigheter om å dokumentere effekt av metoden kan komme i tillegg, eller påvirke hvordan undersøkelsen gjennomføres.

3.3.4 Dokumentasjon av klorkonsentrasjon i vannet

I forbindelse med forsøkene som har vært gjennomført med kloramin i Driva har det vært etablert et feltlaboratorium der det var mulig å måle klorkonsentrasjonen i vannprøver fra elva. Det ble daglig tatt prøver fra et større antall lokasjoner, noe som ga et godt helhetsbilde av klorkonsentrasjonene i elva. Prøvene ble filtrert for å fjerne partikler i vannet som kunne påvirke analysen, deretter ble det tilsatt kjemikalier som reagerer med klor og danner en rosa farge (**Figur 6**; for en mer utførlig beskrivelse av metodikken, se for eksempel Hagen mfl. 2021ab). Mengden farge som utvikles kan avleses på et spektrofotometer og sammenlignes med en rekke kjente konsentrasjoner. Metoden gir under optimale forhold pålitelige resultater ved konsentrasjoner ned mot 5 μg aktivt klor/liter i naturlig vann.



Figur 6. Vannprøver med forskjellig grad av fargeutvikling som kan måles av et spektrofotometer. Foto: Marit Måsøy Amundsen/Veterinærinstituttet

For vannprøver der det har vært behov for lavere grad av presisjon på klorresultatene har det blitt benyttet en komparator (**Figur 7**; for en mer utførlig beskrivelse av metodikken, se for eksempel Hagen mfl. 2021ab). I komparatoren sammenlignes to rør med vannprøve fra elv eller bekk, der det ene røret er tilsatt kjemikalier som utvikler farge ved reaksjon med klor. Det andre røret fungerer som kontroll, og dekkes av en transparent fargeskala fra en komparatorskive slik at omtrentlig klorkonsentrasjon kan bestemmes ved sammenlikning av farger på prøve og fargeskive. Komparatoren egner seg for bestemmelse av klor i området 10-100 $\mu\text{g/liter}$. Komparatoren gir en rask men nødvendigvis mindre presis indikasjon på klorkonsentrasjonen i vannet. Dette er likevel tilstrekkelig til mange formål, og brukes for eksempel til måling av klorkonsentrasjonen i forbindelse med drikkevannsproduksjon.



Figur 7. Komparator (venstre) og demonstrasjon av fargenyansen som tilsvarer 40 μg klor/L (høyre bilde). Foto: Anders Gjørwad Hagen/NIVA.

4 Planleggingsgrunnlag for bruk av kloramin ved flytting av fisk fra Klarälven til Trysilelva og Femundselva

Slik situasjonen er i dag vil det måtte gjøres spesielle tiltak i forbindelse med all form for transport av potensielle verter for *G. salaris* fra Klarälven og over til norsk side. For laks i senere livsstadium enn plommeseekkyngel vil dette, etter lovens ordlyd, kun være aktuelt hvis fisken har vært holdt i vann med 25 % saltinnhold i minst 14 dager. Konsekvensen av å innføre *G. salaris* til Trysil- / Femundelva er beskrevet som «svært skadelig» (jf. for eksempel Olstad mfl. 2013 og Thorstad mfl. 2021), og ved eventuell flytting av fisk må det derfor gjøres tiltak for å unngå slik spredning. Enten fisken blir saltbehandlet før transport eller den skal undergå en eventuell annen fremtidig godkjent metode for desinfeksjon, er det en forutsetning at det foreligger en nøye gjennomarbeidet plan for tiltaket. En slik plan må omfatte hele tiltaket fra innfangning til utsetting. I tillegg til spesifikke detaljer angående den aktuelle metoden for fjerning av *G. salaris*, må den også omfatte andre aktuelle skadelige agens i tillegg til generelle og spesielle tiltak for reinfeksjon. Teksten nedenfor gir en oppsummering av hvilke aspekter som må tas hensyn til ved planlegging av klormetoden for fjerning av *G. salaris* i forbindelse med flytting av voksen laks fra Klarälven til Trysil- / Femundelva.

4.1 Krav til infrastruktur

I bevarings- og reetableringsplanen (Olstad mfl. 2020) er det skissert et utvalg kriterier for utvelgelse av fisk som kan flyttes oppstrøms til gyteområder på norsk side. Herunder er det foreslått at innfangning av fisken skjer i et anlegg som bør bygges i nærheten av Höljes. Rent praktisk skal det være av mindre betydning hvor selve anlegget der klorbehandlingen skal foregå, forutsatt at anlegget imøtegår generelle krav til fiskehold i tillegg til de krav som stilles med tanke på å hindre reinfeksjon av fisken etter behandling. Nedenfor er det gitt en oppsummering av konkrete forslag til fremgangsmåte og prosedyrer for en klorbehandling i anlegg i forbindelse med flytting av voksen laks fra Klarälven til Trysil- Femundvassdraget.

Klorbehandlingen vil foregå over en begrenset tidsperiode. Det er av avgjørende betydning at vannkilden til oppstillingslokaliteten ikke gir mulighet for at fisken som skal behandles kan motta smitte av *G. salaris* eller andre patogene agens i løpet av perioden hvor fisken er oppstallet der. Av hensyn til «infeksjonshygiene» og sikkerhet mot ny-infeksjon med infeksjøs agens, vil det være viktig å operere med en prinsipiell inndeling i tid hvor fisken flyttes fra «uren sone» til «ren sone». Denne grensen bør settes til starttidspunkt for behandling. Effekten av at fisken er i «ren sone» må medføre et sett strenge regler for å unngå ny infeksjon.

Vannstrømmen gjennom anlegget vil være avhengig av størrelse på kar og mengden biomasse i anlegget. Den brede erfaringen med ulike vannstrømmer (0,1 l/s – 150.000 l/s) og anlegg (klekkerier, fangsthus, naturlig bekk og elv) fra utviklingen av klormetoden tilsier at en tilpassing av metoden til de stedlige forhold skal være gjennomførbart. Holdekarene i det aktuelle anlegget må være dimensjonert i henhold til forventet antall fisk som skal til behandling. Av denne dimensjoneringen følger også vanngjennomstrømmingen til karene, som i sin tur legges til grunn for dimensjonering av blandesystemet for kloramin. Fisken som velges ut for transport settes i behandlingskaret under sorteringen. Ved valg av lav til middels behandlingskonsentrasjon (se nedenfor) kan doseringen startes før fisken settes i karet. Det definerte tidspunktet for start av behandlingen vil imidlertid alltid være tidspunktet da den siste fisken i gruppen settes til behandling.

Ved klorbehandling av laks vil det være viktig med en kontinuerlig og tilfredsstillende konsentrasjon av klor i vannet. Dette vil sikre at parasittene blir borte innen et ønsket tidsrom, uten uønskede effekter på fisken. Behandlingskonsentrasjonen som velges vil ha betydning for hvor

lenge eksponeringen skal foregå. Uavhengig av valg av teknisk løsning vil det være nødvendig med stedlig daglig tilsyn, kontroll av kloramindoseringen og vannanalyser. Det vil være mulig å lage alarmsystemer for doseringen på en slik måte at det holder med et kort daglig tilsyn og målinger, men med mulighet til å rykke ut for å rette opp eventuelle avvik i dosering. Valg av behandlingstid vil derfor ha betydning for ressursbruken i forbindelse med behandlingen, både i form av tidsbruk for personell og beslag av plass i anlegg.

4.2 Konsentrasjon og eksponeringstid – forslag basert på dagens kunnskap

Det eksisterer allerede en bred erfaring fra bruk av klor til behandling av laks, og det er en kjent dose-respons-sammenheng innenfor konsentrasjonsbredden 5-45 µg klor/l (målt som aktivt klor i behandlingsvannet). I en reell behandling bør det endelige valg av strategi med tanke på antall mikrogramdøgn og konsentrasjon av klor i vannet baseres på stedlige undersøkelser av vannkjemi og effekten av klor på fisk og *G. salaris*. Basert på eksisterende kunnskap, vil det imidlertid være realistisk å se for seg en behandling ved 30 til 45 µg klor/l. I forsøk i Driva (Olstad mfl. 2021) ble infisert laks eksponert for 22 og 45 µg klor/l. I disse forsøkene var abundansen (antall parasitter) redusert til henholdsvis 3,3 og 0,1 % på dag to av behandlingen. På dag fire var alle parasittene fjernet ved begge konsentrasjoner. Ved valg av 45 µg klor/l, innebærer dette at en behandling over fem dager vil tilsvare over dobbel konsentrasjon av hva som er nødvendig for å fjerne parasitten.

4.3 Mulighet for å øke konsentrasjonen av klor – behov for kunnskap

Kunnskapsstatus om dose-respons forhold i forbindelse med klorbehandling mot *G. salaris* er basert på at formålet har vært å utvikle en metode til behandling i elvesystemer. Strategien i denne sammenhengen har vært å behandle laks med moderate konsentrasjoner over et lengre tidsrom (typisk 10 dager) for å oppnå den ønskede effekten mot parasitten. Videre har strategien for behandling av vassdrag generelt vært lagt opp til to etterfølgende år med slik behandling, noe som utgjør en relativt god margin med tanke på å fjerne parasitten (se for eksempel Hindar mfl. 2015 eller Sandodden mfl. 2018). Dette innebærer at dose-respons-sammenhengen har vært testet ut primært for moderate konsentrasjoner av behandlingskjemikaliet. I forbindelse med fisketransport vil det sannsynligvis være ønskelig å redusere behandlingstiden, samtidig som det må sikres at sannsynligheten for å mislykkes er lik null. Dette vil trolig kunne oppnås ved kortvarige behandlinger med høye konsentrasjoner av kloramin. Det er ikke tilstrekkelig erfaring med effekt på parasitten eller voksen laks ved slike kortvarige høye konsentrasjoner, og det er derfor ønskelig å gjennomføre slike forsøk for å få undersøkt om en reduksjon i behandlingstid er mulig. I forbindelse med testing av tålegrense for fisk Olstad mfl. (2021), ble grupper av ørret ble eksponert for henholdsvis 45, 78 og 104 µg klor/l (målt som gjennomsnittlig konsentrasjon aktivt klor i behandlingsvannet). Ved den laveste konsentrasjonen mistet den første fisken svømmeevnen og ble erklært døende etter 10 dager. I de to høyeste konsentrasjonene skjedde dette for første fisk i løpet av den tredje eksponeringsdagen. Som tidligere nevnt, har forsøk vist at alle parasitter ble fjernet mellom dag 2 og dag 4 etter eksponering for 45 µg klor/l (Olstad mfl. 2021). Effekten på *G. salaris* av de to høyeste konsentrasjonene i tålegrenseforsøkene er imidlertid ikke testet. Slike tester bør gjennomføres for å belyse omfanget av det terapeutiske vinduet, slik at behandlingen optimaliseres med tanke primært på hovedformålet; å fjerne parasitten med maksimal effektivitet.

Det eksisterende kunnskapsgrunnlaget er basert på forsøk der formålet har vært utvikling av en bekjempelsesmetode i elver. Det er derfor behov for nye forsøk med fokus på utvikling av en metode som kan brukes i forbindelse med transport av fisk. Det er sannsynlig at en slik behandlingmetode vil innebære kortere eksponeringstid og høyere klorkonsentrasjoner enn det som er

gjort i forbindelse med Gyroklor. Det bør for eksempel testes ut hva som er effekten av høye og svært høye klorkonsentrasjoner over en dags behandling eller også ned mot noen timers behandling.

4.4 Valg av teknisk løsning

I prinsippet vil en klorbehandling av fisk i fangenskap være avhengig relativt lite teknisk utstyr. Forutsatt muligheten til gode analysemuligheter for å dokumentere konsentrasjonen av klor, vil det i utgangspunktet kun være behov for pålitelige pumper som kan dosere kjente konsentrasjoner til innblanding. Med økende grad av automasjon slik det er presentert i forbindelse med styrings- og blandeskap i **avsnitt 3.2.1**, vil imidlertid dette medføre høyere grad av doseringspålitelighet og redusert behov for oppfølging. For eksempel er de mest avanserte variantene av doseringsteknologi som er brukt i elvebehandling utstyrt med overvåking som både loggfører doseringen og som gir alarm ved avvik etter bestemte definisjonskriterier. Slike styringsenheter vil være mulig å tilpasse alle tenkelige vannvolumer. Dette er noe som bør hensyntas i forbindelse med planlegging og dimensjonering av en behandlingslokalitet.

4.5 Kontroll av klorkonsentrasjon - vannanalyser

Den viktigste måleenheten for kontroll av behandlingen vil være å analysere konsentrasjonen av aktivt klor i det behandlede vannet. Oppholdstiden for vannet i behandlingskarene bør ligge på maksimalt en halv time, noe som medfører minimalt klortap i vannet og at vannprøver for kontroll av konsentrasjonen derfor kan hentes fra karetts avløp. Selv om løpende dosekontroll i prinsippet kan gjennomføres ved hjelp av komparator (se **avsnitt 3.3.4**) anbefales det som et minimum at kalibrering av doseringen, og jevnlig kontroll av denne, gjennomføres basert på analyser ved hjelp av spektrofotometer (se **avsnitt 3.3.4**). Dette er portabelt utstyr som kan installeres på lokaliteten såfremt det finnes noe plass på en benk. Det må tas vannprøver for karakterisering av vannkjemien i vassdraget. Resultatet fra disse vil brukes til å beregne nødvendig tilsetning av kloramin for å oppnå ønsket konsentrasjon i vannet. .

4.6 Biologisk effektkontroll

I utgangspunktet vil det være ønskelig å kontrollere effekten av en klorbehandling gjennom direkte å fastslå fravær av parasitten i en behandlet gruppe. Klorbehandling før transport av laks vil ha som formål å fjerne absolutt alle parasitter fra fisken og en biologisk effektkontroll vil følgelig ha som formål å påvise en eventuell mislykket behandling. I en slik tenkt situasjon vil det være forventet at antallet *G. salaris* i den aktuelle gruppen er svært lavt, i hvert fall i tiden umiddelbart etter behandlingen.

Den tradisjonelle metoden for å påvise forekomst av *G. salaris* i en populasjon av laks, enten det er i anlegg eller i ville populasjoner, er visuell påvisning. Parasitten *G. salaris* har en typisk kroppslengde på rundt en halv millimeter, og slik påvisning må derfor gjøres ved å studere fiskens hud, finner og gjeller under lupe slik det gjøres i overvåkingsprogrammet for *Gyrodactylus salaris* i Norge (se Hansen mfl. 2021). I prinsippet kan undersøkelsen gjøres av levende fisk bedøvet med egnet bedøvelsesmiddel eller eventuelt på død fisk konserveret i etanol. Metoden er imidlertid kun gjennomførbar med en viss grad av sikkerhet for laksunger inntil smolts størrelse. For voksen laks vil det uansett ikke være praktisk gjennomførbart å studere hele fisken under lupe og metoden vil derfor være uegnet til dette.

Et alternativ av nyere dato for påvisning av parasitten er molekylærgenetiske analyser av DNA ekstrahert fra filtrerte vannprøver, omtalt som miljø-DNA-analyser (se for eksempel Rusch mfl. 2018 og Fossøy mfl. 2019). Slike analyser vil i prinsippet kunne gjennomføres ved å analysere

filtrat fra utløpsvannet fra karet hvor fisken er oppstallet etter behandling. Det er imidlertid et problem at selv om metoden for *G. salaris* allerede er i bruk og er egnet til å påvise parasitten, så er deteksjonsgrenser ikke etablert. Metoden er derfor foreløpig ikke egnet til å fastslå at et agens ikke er tilstede. En annen metode som nylig ble publisert er å holde fisk i lave doser med hydrogenperoksid slik at parasittene faller av. Parasittene kan deretter samles opp ved en filtrering av vannet (Thrush mfl. 2019) og deretter artsbestemmes. Thrush mfl. (2019) anser metoden for å være svært sensitiv og sannsynligvis mer sensitiv enn miljø-DNA.

Alle metoder for påvisning av *G. salaris* har avtagende sannsynlighet for påvisning med avtagende antall parasitter. Dette medfører at en biologisk effektkontroll i et tilfelle hvor behandlingen er mislykket, uansett valg av metode, vil være underlagt stor sannsynlighet for å gi falskt negativt resultat. Med de metoder som er aktuelle i dag, vil det være mulig å redusere dette problemet ved å holde fisken i oppstalling over en karanteneperiode hvor eventuelle parasitter får mulighet til å reproducere til et antall hvor sannsynligheten for påvisning ville være akseptabel. Metoder med utgangspunkt i miljø-DNA er imidlertid i stadig utvikling, og relevant metodikk for biologisk effektkontroll må derfor vurderes i forhold til tilgjengelig kunnskap på tidspunktet hvor tiltaket planlegges. Alternativet er å utelate en slik biologisk effektkontroll helt hvis metoden kan dokumenteres å være 100% effektiv ved de konsentrasjoner som brukes. Ved bruk av saltbehandlingsmetoden (se avsnitt 4.7) er dette ikke et krav. Kontrollen på at metoden har fungert vil da være dose-kontrollen og ikke en undersøkelse i etterkant av behandlingen. Forutsatt god dokumentasjon på dose-respons-sammenheng ved korte behandlingstiderbasert på nye forsøk beskrevet over (se avsnitt 4.3), vil en slik tilnærming være minst like trygg som de krav som forutsettes i dagens lovverk (se avsnitt 4.7).

4.7 Sammenlikning med saltmetoden i dagens lovverk

Transport av fisk fra Klarälven i Sverige til Trysilleva i Norge medfører at fisken flyttes til et område som er definert fritt for *G. salaris* fra et område som ikke har slik status. I henhold til gjeldende lovverk kan laks på senere livsstadier enn plommeseekkyngel ikke transporteres over en slik grense annet enn hvis den har vært holdt i vann med 25 ‰ saltholdighet i minimum 14 dager. Hvis klormetoden skal godkjennes for fjerning av lakseparasitten ved transport over en smittesonegrense, innebærer dette at metoden må erstatte kravet om saltbehandling eller komme som en tilleggsmulighet. Selv om det i lang tid har vært en allment akseptert sannhet at *G. salaris* har en øvre toleransegrense for saltholdig vann, er det publisert relativt lite på dose-respons sammenheng i dette forholdet. For *G. salaris* spesielt, er det publisert to arbeider; Soleng og Bakke (1997) og Soleng mfl. (1998). I Soleng og Bakke (1997) er det etablert en dose-respons sammenheng mellom salinitet og overlevelse hos *G. salaris* som også tar høyde for variasjon i temperatur. Soleng mfl. (1989) bidrar til å øke denne kunnskapen. Ingen av de publiserte arbeidene inkluderer spesifikt effekt av 25 ‰ saltholdighet. Fra Soleng og Bakke (1997) fremgår det imidlertid at ved 20 ‰ overlever *G. salaris* i 12 - 42 timer (maksimal observert overlevelse ved hhv 12 og 1,4°C) og at tilsvarende overlevelse ved 33 ‰ er 10 - 20 minutter (maksimal observert overlevelse ved hhv 12 og 1,4°C).

5 Punktvis sammenfatning

I denne rapporten er det gjort en teoretisk vurdering av muligheter og forhold som må ligge til rette for eventuell bruk av kloramin for fjerning av *G. salaris* før transport av primært voksen laks fra Klarälven til Femunds-/Trysil-elva. Kunnskapsgrunnlaget for vurderingen stammer i hovedsak fra prosjektet «Gyroklor» som over en lengre periode har arbeidet med å etablere en skånsom bekjempelsesmetode mot parasitten i norske elver. Selv om fokuset i denne rapporten er det spesifikke tilfellet Vänerlaksen, vil grunnprinsippene være allmenngyldige på en slik måte at metoden vil kunne brukes for fisk i fangenskap generelt. nedenfor er imidlertid gitt et punktvis sammendrag av viktige aspekter knyttet til behandling av Vänerlaks spesielt.

- I denne rapporten legges det til grunn at metoden for fjerning av *Gyrodactylus salaris* ved bruk av kloramin er tenkt benyttet på voksen laks som skal flyttes fra smittet til usmittet område. Flytting av voksen laks inngår som en del av bevaringsplanen- og reetableringsplanen for Vänerlaksen (Olstad mfl. 2020), og tiltaket med bruk av kloramin er tenkt gjennomført på det tidspunktet som er skissert i denne planen. Det er på generelt grunnlag anbefalt å vente med oppflytting av voksen laks til etter etablering av det genbankbaserte kultiveringsarbeidet, med de forutsetninger som er lagt til grunn for denne aktiviteten.
- Teknologien som skal til for å gjennomføre en klorbehandling er ikke mer omfattende enn at utstyret er transportabelt. Dette innebærer at selve klorbehandlingen kan settes opp i en hvilket som helst godkjent oppstillingsenhet for fisk. For å sikre at den behandlede fisken ikke mottar ny infeksjon og dermed kan spre parasitten videre, vil imidlertid ekstra tiltak måtte vurderes stedlig.
- I likhet med det som foreslås i bevarings- og reetableringsplanen fremholdes det her at den beste løsningen ved flytting av voksen laks fra Klarälven til Trysil- Femundelva vil være via innfangingsanlegg i tilknytning til Höljes.
- Klormetoden er i utgangspunktet fleksibel med tanke på forskjellige vannvolumer, konsentrasjon og behandlingstid. For stedsrelevant effekt vil det imidlertid være rom for optimalisering med tanke på tilpasning til vannkjemi.
- Kjent dose-respons forhold er i dag basert på at metoden utvikles til bruk i behandling av elver og bekker. Basert på eksisterende kunnskap, vil det imidlertid være realistisk å se for seg en behandling ved 30 til 45 µg klor/l. Ved valg av 45 µg klor/l, vil en behandlingstid på fem dager tilsvare over dobbel konsentrasjon av hva som er nødvendig for å fjerne parasitten. Det er rom for, og anbefalt, videre eksperimentell utvikling av metoden med tanke på konsentrasjon og behandlingstid i forbindelse med behandling.
- Den viktigste metoden for kvalitetskontroll av behandlingen er analyse av klorkonsentrasjonen i behandlingsvannet. Selv om løpende forenklet dosekontroll i prinsippet kan gjennomføres ved hjelp av komparator anbefales det som et minimum at kalibrering av doseringen, og jevnlig kontroll av denne, gjennomføres basert på analyser ved hjelp av spektrofotometer.
- Bruk av klormetoden slik det er presentert i denne rapporten forutsetter avklaring av lov-messige forhold og må avklares mot både svenske og norske forvaltningsmyndigheter.

- Flytting av levende fisk medfører også en generell risiko for spredning av andre organismer, herunder fiskepatogener som i dag ikke finnes på norsk side i vassdraget. Hensyn til risikoen for spredning av slike organismer generelt kommer i tillegg til det som er spesielt adressert vedrørende *G. salaris* her.

6 Referanser

- Anon. 2014. Handlingsplan mot lakseparasitten *Gyrodactylus salaris* for perioden 2014-2016. Miljødirektoratet 2014. 114 s.
- Buckley, J. A., Whitmore, C. M. & Matsuda, R. I. 1976. Changes in blood chemistry and blood cell morphology in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) following exposure to sublethal levels of total residual chlorine in municipal wastewater. J. Fish. Res. Board Can. 33, 776–782.
- Bullock, G.L., Herman, R.L. & Waggy, C. 1991. Hatchery efficacy trials with Chloramine-T for control of bacterial gill disease. Journal of Aquatic Animal Health 3, 48-50.
- Ergens, R. 1983. *Gyrodactylus* from Eurasian freshwater Salmonidae and Thymallidae. Folia Parasitologica 30, 15-26.
- Eriksen, T.E. 2018. Korttidseffekter på elvelevende bunnfauna av kloraminbehandling mot parasitten *Gyrodactylus salaris* i Glitra. NIVA-rapport 7237-2018. 28 s.
- Forseth T, Barlaup B, Finstad B, Fiske, B., Gjøsæter, H., Falkegård, M., Hindar, A., Mo, T.A., Rikardsen, A., Thorstad, E.B., Vøllestad, L.A. & Wennevik, V. 2017. The major threats to Atlantic salmon in Norway. ICES Journal of Marine Science 74, 1496-1513.
- Fossøy, F., Brandsegg, H., Sivertsgård, R., Pettersen, O., Sandercock, B., Solem, Ø., Hindar, K. & Mo, T.A. 2019. Monitoring presence and abundance of two gyrodactylid ectoparasites and their salmonid hosts using environmental DNA. Environmental DNA 2, 53-62.
- From, J. 1980. Chloramine-T for control of bacterial gill disease. Prog. Fish-Cult 42, 85-86.
- Garseth ÅH, Adolfsen P, Hansen H. 2020. Risikovurdering – Import av rogn og gytefisk fra Väneren til Femund- og Trysilvassdraget. Veterinærinstituttets rapportserie 12-2020.
- Larson G.L., Warren C.E., Hutchins F.E., Lamperti L.P., Schlesinger D.A. & Seim W.K. 1978. Toxicity of Residual Chlorine Compounds to Aquatic Organisms. United States Environmental Protection Agency, Ecological Research Series EPA-600/3/78/023, 105 pp.
- Hagen, A.G., Hytterød, S., & Olstad, K. 2014. Low concentrations of sodium hypochlorite affect population dynamics in *Gyrodactylus salaris* (Malmberg, 1957); Practical guidelines for the treatment of the Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) parasite. Journal of Fish Diseases 37, 1003-1011.
- Hagen, A.G., Becsan, I., Escudero, C., Garmo, Ø., Grønneberg, E., Hansen, P.S., Holter, T., Hytterød, S., Martínez-Francés, E., Olstad, K., Ribiero, A.L. & Rusch, J. 2021a. Forsøksbehandling med monokloramin mot *Gyrodactylus salaris* i elva Driva. NIVA-rapport 7575-2021. 42 s.
- Hagen, A.G., Becsan, I., Garmo, Ø., Hansen, P.S., Holter, T., Olstad, K., Skogan, O.A.S., Amundsen, M.M., Ribiero, A.L. 2021b. Forsøksbehandling med monokloramin mot *Gyrodactylus salaris* ved flere doseringspunkter i Driva. NIVA-rapport 7617-2021. 39 s.
- Hagen, A.G., Hytterød, S., Olstad, K., Garmo, Ø., Darrud, M., Holter, T. & Martinez-Francés, E. 2019a. Utvikling av klormetoden mot *Gyrodactylus salaris*. Feltforsøk i Batnfjordelva. NIVA-rapport 7359-2019. 44 s.
- Hagen, A.G., Hytterød, S., Olstad, K., Garmo, Ø., Darrud, M., Holter, T., Martinez-Francés, E., Höglund, E., Uhlig, S., Fæste, C.K., Ivanova, L. & Gjessing, M. 2019b. Effekter på laks (*Salmo salar*) ved eksponering for monokloramin. NIVA-rapport 7358-2019. 37 s.
- Hagen, A.G., Hytterød, S., Olstad, K., Garmo, Ø., Darrud, M., Holter, T., Svendsen, J., Mo, T.A., Escudero, C., Martinez-Francés, E. & Gjessing, M. 2018. Forsøksbehandling med monokloramin mot *Gyrodactylus salaris* i elva Glitra. NIVA-rapport 7238-2018. 27 s.
- Hansen, H., Fornes, G.J., Mohammad, S.N., Hokseggen, T., Amundsen, M.M. & Welde, H.I. 2021. The surveillance programme for *Gyrodactylus salaris* in Atlantic salmon and rainbow trout in Norway 2020. Surveillance program report. Veterinærinstituttet 2021. 10 s.
- Hedenskog M, Gustafsson P, Qvenild T. (Red.). 2015. Vänerlaxens fria gång. Två länder, en älv. Ekologisk status och underlag till åtgärdsprogram för Klarälven, Trysilälva och Femundsälva med

- biflöden. Länsstyrelsen i Värmlands län, Fylkesmannen i Hedmark. ISBN 82-7555-155-2, EAN 9788275551557. 356 s.
- Hindar, A., Hagen, A.G., Hytterød, S., Høgberget, R., Moen, A., Olstad, K. & Garmo, Ø. 2015. Tiltak med AIS for utryddelse av lakseparasitten *Gyrodactylus salaris* i Lærdalselva i 2011 og 2012. NIVA-rapport 6701-2014. 75 s.
- Hytterød, S., Olstad, K., Holter, T., Rusch, J., Garmo, Ø., Gjessing, M., Kraugerud, M. & Hagen, A.G. 2021. Effekter av kloramineksponering på stor, voksen laks (*Salmo salar*). NIVA-rapport 7576-2021. 31 s.
- Jafvert, C.T. & Valentine, R.L. 1992. Reaction scheme for the chlorination of ammoniacal water. Environ. Sci. Technol. 26, 577–586.
- Johnsen, B.O. & Jensen, A.J. 1991. The *Gyrodactylus* story in Norway. Aquaculture 98, 289-302.
- Malmberg, G. & Malmberg, M. 1993. Species of *Gyrodactylus* (Platyhelminthes, Monogenea) on salmonids in Sweden. Fisheries Research 17, 59–68.
- Olstad, K., Holter, T., Hagen, A.G., Ribiero, A.L., Amundsen, M.M. & Garmo, Ø. 2021. Tålegrense hos ørret (*Salmo trutta*) og effekt på *Gyrodactylus salaris* ved eksponering for monokloramin. NIVA-rapport 7616-2021. 21 s.
- Olstad, K., Hytterød, S. & Hansen, H. 2013. Risiko for spredning av *Gyrodactylus salaris* fra Vänern og Klarälven til norske vassdrag ved reetablering av laks i Trysil- / Femundselva - NINA Rapport 991. 46 s.
- Olstad, K., Karlsson, S., Lo, H. & Palm, S. 2020. Bevarings- og reetableringsplan for Klarälvs laks i Trysil- / Femundsvassdraget. NINA Rapport 1789. Norsk institutt for naturforskning.
- Rusch J.C., Hansen, H., Strand, D.A., Markussen, T., Hytterød, S. & Vrålstad, T. 2018. Catching the fish with the worm: a case study on eDNA detection of the monogenean parasite *Gyrodactylus salaris* and two of its hosts, Atlantic salmon (*Salmo salar*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Parasite Vector 11, 333.
- Sandodden, R., Brazier, B., Sandvik, M., Moen, A., Nordtug Wist, A. & Adolfsen, P. 2018. Eradication of *Gyrodactylus salaris* infested Atlantic salmon (*Salmo salar*) in the Rauma River, Norway, using rotenone. Management of Biological Invasions 9, 67-77.
- Singleton, H.J. & Bio, R.P. 1989. Ambient water quality criteria for chlorine. Technical appendix. Resource Quality section, Water Management Branch, Ministry of Environment, Province of British Columbia, Victoria, Canada. 105s.
- Smith, S.A., McAllister, P.E., Hrubec, T.C. & Veit, H.P. 1993. Survey of endemic diseases of cultured rainbow trout in Virginia. Proceedings of the Aquaculture Association of Canada, vol. 10. Charlottetown, P.E.I. pp. 62.
- Soleng, A & Bakke, TA 1997. Salinity tolerance of *Gyrodactylus salaris* (Platyhelminthes, Monogenea): laboratory studies. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 54, 1837-1845.
- Soleng, A, Bakke, TA & Hansen, LP 1998. Potential for dispersal of *Gyrodactylus salaris* (Platyhelminthes, Monogenea) by sea-running stages of the Atlantic salmon (*Salmo salar*): field and laboratory studies. Canadian Journal for Fisheries and Aquatic Sciences 55, 507-514.
- Thorburn, M.A. & Moccia, R.D. 1993. Use of chemotherapeutics on trout farms in Ontario. Journal of Aquatic Animal Health 5, 85-91.
- Thorstad, E.B., Garseth, Å.H., Gjøn, T., Gulla, S., Lo, H., Malmstrøm, M., Mo, T.A., Velle, G., de Boer, H., Eldegard, K., Hindar, K., Hole, L.R., Järnegren, J., Kausrud, K., Kirkendall, L., Måren, I., Nilsen, E.B., Olsen, R.E., Rimstad, E., Rueness, E., Øverli, Ø. & Nielsen, A. 2021. Assessment of the risk of negative impact on biodiversity from import and release of eggs or live fish from landlocked salmon from Klarälven in Sweden to Trysilelva in Norway. Scientific Opinion of the Panel on Alien Organisms and Trade in Endangered Species of the Norwegian Scientific Committee for Food and Environment. VKM report 2021:04, ISBN: 978-82-8259-358-8 ISSN: 2535-4019. Norwegian Scientific Committee for Food and Environment (VKM), Oslo, Norway.

- Thrush, M.A., Hill, T. & Taylor N.G.H. 2019. Development of a non-lethal hydrogen peroxide treatment for surveillance of *Gyrodactylus salaris* on trout farms and its application to testing wild salmon populations. *Transbound Emerging Diseases* 66, 1-13.
- Vikesland, P.J., Ozekin, K. & Valentine, R.L. 1998. Effect of Natural Organic Matter on Monochloramine Decomposition: Pathway Elucidation through the Use of Mass and Redox Balances. *Environ. Sci. Technol.* 32, 1409–1416.
- Vikesland, P.J., Ozekin, K. & Valentine, R.L. 2001. Monochloramine Decay in Model and Distribution System Waters. *Water Research* 35, 1766–1776.
- World Health Organization (2006). *Guidelines for Drinking- Water Quality, Vol. 1, Recommendations*, 3rd edn. World Health Organization. Available at: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq0506.pdf.

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

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

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

ISSN:1504-3312
ISBN: 978-82-426-4847-1

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim

Besøks-/leveringsadresse: Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

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

E-post: firmapost@nina.no

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>



Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger