RÅD OM AKSEPTABELT UTSLIPPSNIVÅ AV LAKSELUS

RAPPORT FRA
HAVFORSKNINGEN
NR. 2026-36

Tittel (norsk og engelsk):

Råd om akseptabelt utslippsnivå av lakselus

Rapportserie:	År - Nr.:	Dato:
Rapport fra havforskningen	2026-36	29.06.2026

ISSN:1893-4536

Forfatter(e):

Mari Skuggedal Myksvoll, Thomas Bøhn, Sussie Dalvin (HI), Geir H. Bolstad (NINA), Ola Diserud (NINA), Ole Folkedal, Håvard Guldbrandsen Frøysa (HI), Ingrid Ellingsen (SINTEF), Mari Fjalstad Jensen, Ingrid Askeland Johnsen, Ørjan Karlsen (HI), Agnes Holstad (NINA), Øyvind Knutsen (SINTEF), Frank Nilsen (UiB), Tor Næsje (NINA), Anne Dagrun Sandvik, Rosa Maria Serra-Llinares, Jofrid Skardhamar, Monica F. Solberg (HI), Lars Qviller (VI), Leif Christian Stige (VI), Pål Næverlid Sævik, Geir Lasse Taranger (HI) og Knut Wiik Vollset (NORCE)

Godkjent av: Forskningsdirektør(er): Karin Kroon Boxaspen
Programleder(e):

Distribusjon:

Åpen

Oppdragsgiver(e):

Nærings- og Fiskeridepartementet (NFD)

Oppdragsgivers referanse:

25/5756-5

Program:

Miljøeffekter av akvakultur

Forskningsgruppe(r):

Kystoseanografi
Smittespredning og sykdom

Antall sider:

40

Samarbeid med

Sammendrag (norsk):

Rapporten gir et samlet naturfaglig råd om hva som kan anses som et akseptabelt utslippsnivå av lakselus fra oppdrettsnæringen, med utgangspunkt i en bestilling fra Nærings- og fiskeridepartementet (NFD). Målet er å finne et akseptabelt lusenivå i oppdrett som sikrer at påvirkningen på vill laksefisk ikke overstiger det fastsatte miljømålet, definert som maksimalt 10% dødelighet i populasjoner av ville laksefisk grunnet lakselus alene.

Rådet er utarbeidet i samarbeid med flere forskningsmiljøer og bygger på flere ulike modeller. Felles for modellene er at de simulerer hvordan lakselus som produseres i oppdrettsanleggene spres og fester seg på villfisk, og medfører dermed økt dødelighet på utvandrende laksesmolt og redusert fitness (evne til å overleve og reprodusere) for sjøørret.

Utslippsnivået som beregnes i rapporten blir oppgitt som totalt antall voksne hunnlus i oppdrettsanleggene, og ikke antall luselarver. Et akseptabelt utslippsnivå basert på totalt antall hunnlus gir større forutsigbarhet for oppdretterne og er enklere å håndheve enn et utslippsnivå basert på antall luselarver.

Resultatene viser tydelig at det akseptable lusenivået varierer betydelig mellom ulike geografiske områder og mellom år. Denne variasjonen skyldes både biologiske forhold, som utvandringstidspunkt, og fysiske forhold som temperatur og strøm. For laks ligger medianverdiene for akseptabelt lusenivå i ulike produksjonsområder på omtrent 0,9 til 4 millioner voksne hunnlus til enhver tid, mens tilsvarende nivå for sjøørret er betydelig lavere, fra rundt 0,08 til 1,25 millioner hunnlus. Forskjellen skyldes i hovedsak artsspesifikke ulikheter i eksponering: laks oppholder seg relativt kort tid i kystsonen, mens sjøørret (og sjørøye) kan oppholde seg i fjorder og kystnære områder i lange perioder og dermed utsettes for lakselus over lengre tid.

Rapporten viser at hvis reguleringen av lakselus baseres på akseptabelt lusenivå for laksen alene, vil det i mange tilfeller gi for høye lusenivåer for sjøørret. Beregninger indikerer at en slik praksis kan føre til betydelig økt negativ påvirkning på sjøørretbestandene, i noen tilfeller godt over miljømålet. Derfor konkluderes det med at hensynet til sjøørret i praksis vil være dimensjonerende for hvor lave lusenivåene må settes dersom man skal beskytte begge arter.

Rapporten peker også på at det er betydelig usikkerhet knyttet til beregningene. Viktige kilder til usikkerhet er kvaliteten på lusetellinger og antallsberegninger av fisk i oppdrettsanlegg, variasjon i modellforutsetninger (for eksempel tålegrenser for lus), geografisk fordeling av oppdrettsanlegg og naturlige variasjoner mellom år. Resultatene er også oppgitt som intervaller, ikke absolutte grenser, for å tydeliggjøre at det akseptable lusenivået i oppdrett vil variere mellom år. For høy sannsynlighet for oppnåelse av miljømålet alle år så bør man sikte på de laveste verdiene innen intervallet.

Rapporten legger også fram et forslag til nye reguleringsområder. Dagens 13 produksjonsområder er foreslått oppdelt i 28 mindre reguleringsområder, kun basert på naturfaglige hensyn. Bakgrunnen er at dagens områder er for heterogene, slik at samme totale lusenivå kan gi svært ulik påvirkning avhengig av hvor i området utslippene skjer. Mindre og mer homogene områder vil gi bedre samsvar mellom regulering og faktisk miljøeffekt, selv om det innebærer en økt betydning av smitte mellom områder.

Rapporten påpeker at kunnskapsgrunnlaget for sjørøye er utilstrekkelig til å inkludere arten i de kvantitative beregningene. Likevel tyder eksisterende kunnskap på at også denne arten er svært sårbar for lakselus, noe som tilsier at fremtidig forvaltning er avhengig av mer kunnskap om denne arten.

Innhold

1 Om bestillingen 5

2 Beskrivelse av parasitten og artene 6

2.1 Lakselus 6

2.2 Laks 6

2.3 Sjøørret 7

2.4 Sjørøye 9

3 Oversikt over anvendte modeller og metoder 11

3.1 Modellsystemet til HI 11

3.2 Modellsystemet til VI 11

3.3 Modellsystemet til SINTEF 13

3.4 Modellsystemet til NINA 13

3.5 Indikatorverdiene fra virtuelle laks- og sjøørretmodeller 14

3.6 Definisjon av akseptabelt utslippsnivå 15

4 Sammenfatning av resultater fra vedleggene 16

4.1 Mellomårlig variasjon 16

4.2 Akseptabelt lusenivå i oppdrett - laks 17

4.3 Akseptabelt lusenivå i oppdrett - sjøørret 21

5 Råd og anbefalinger 23

5.1 Forutsetninger og rammer for rådet 23

5.1.1 Vurdering av hensiktsmessig geografisk avgrensning av reguleringsområder 23

5.1.2 Dagens lokalitetsstruktur og driftsform 23

5.1.3 Konsekvenser av uvektede gjennomsnitt på dødelighet i et område 24

5.1.4 Hvilke arter inkluderes i kvoteberegningene? 25

5.2 Kilder til variasjon og usikkerhet 25

5.2.1 Kvalitet på tellinger i anlegg 25

5.2.2 Modellforutsetninger 26

5.2.3 Mellomårlig variasjon 27

5.2.4 Variasjon mellom modeller 27

5.3 Størrelsen på et akseptabelt lusenivå 27

5.4 Hvor ofte bør lusenivået beregnes per område? 30

Vedlegg 31

Referanser 32

1 Om bestillingen

Havforskningsinstituttet (HI) mottok en bestilling fra Nærings- og fiskeridepartementet (NFD) 19. desember 2025 med tittel «Anmodning om innspill: Råd om akseptabelt utslippsnivå av lakselus». Hovedformålet med bestillingen var at HI skulle utarbeide et naturfaglig råd om størrelsen på et akseptabelt utslippsnivå av luselarver, som en oppfølging av Meld. St. 24 (2024-2025) Fremtidens havbruk (heretter: havbruksmeldingen). I havbruksmeldingen ble ulike måter å regulere utslipp av lakselus skissert, med tanke på å nå oppnå mindre enn 10% dødelighet i populasjoner av ville laksefisk grunnet lakselus alene, også kalt miljømålet.

Det er spesifisert i bestillingen at miljømålet gjelder all laksefisk og beregningene skal gjøres basert på kunnskap om påvirkning på de ulike artene. Svaret vil derfor omfatte laks, sjøørret og sjørøye, mens det bare vil bli beregnet utslippsnivå for laks og sjøørret.

Miljømålet gjelder på produksjonsområdenivå, men bestillingen ber også om at det skal gjøres en naturfaglig vurdering av hensiktsmessig geografisk avgrensning av reguleringsområdene for best mulig måloppnåelse. Dette punktet er besvart i en egen rapport «Forslag til reguleringsområder for utslipp av lakselus» og blir omtalt som Vedlegg I - Sævik mfl. 2026. Videre i rapporten vil alle resultater oppgis for dagens produksjonsområder og de nye foreslåtte reguleringsområdene.

Beregning av akseptabelt utslippsnivå av lakselus bygger på en rekke antakelser. Det følgende svaret vil derfor i stor grad omtale ulike kilder til variasjon og eventuelle konsekvenser av de valgene som blir tatt underveis.

NFD ba om at HI involverer relevante forskningsinstitusjoner i arbeidet, derfor er denne besvarelsen utarbeidet i samarbeid med Veterinærinstituttet (VI), Norsk Institutt for Naturforskning (NINA), SINTEF, NORCE og Universitetet i Bergen. Detaljer knyttet til beregninger av utslippsnivå er omtalt i egne appendiks levert av HI, VI, NINA og SINTEF, mens det samlede rådet er omtalt her.

2 Beskrivelse av parasitten og artene

2.1 Lakselus

Lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) er et lite krepsdyr og en parasitt som infiserer laksefisk i havet. Lakseluslarver klekker fra egg som hunnlusen bærer frem i eggstrenger til klekking. Som andre krepsdyr har lakselus flere livsstadier, og larvene må skifte skall to ganger før den kan infisere fisk. På fisken utvikles larvene videre gjennom flere stadier til voksne lus. En hunn kan pare seg med flere hanner og legger egg uavhengig av om den er befruktet, men ubefruktede egg klekker ikke. De voksne hunnene produserer eggstrenger kontinuerlig. Eggproduksjonen er temperaturavhengig, men ved sjøtemperaturer på 12°C legger hunnen et nytt sett med egg en gang i uken (Hamre et al. 2019). Eggstrengene varierer i lengde og også i antall egg mellom lakselus som sitter på vill eller oppdrettsfisk, med temperatur og mellom arter av vertsfisk (Thompson et al. 2023; Samsing et al. 2016). I tillegg er det første sett med eggstrenger hunnen produserer kortere enn de påfølgende. Nyere tall fra Norge viser at hunner på oppdrettslaks bærer 570 egg i snitt per hunn.

Lakselusen finnes i sjøen langs hele kysten, både i områder med høy saltholdighet (ca. 34 psu) og i fjorder med naturlig ferskvannspåvirkning. Den store produksjonen av laks og regnbueørret i åpne merder langs norskekysten gir lakselusen et høyt antall verter å feste og utvikle seg på og dermed et godt fødegrunnlag. Dette fører til unaturlig høye populasjoner av parasitten i oppdrettsintensive områder. Selv om antall lakselus tillatt på oppdrettsfisk er strengt regulert, produseres over 95% av all lakselus i Norge på oppdrettsfisk (Dempster et al. 2021).

Lakselusa spiser av vertens slim, hudceller og blod og fisken kan derfor utvikle sår, svekket helsetilstand og oppleve redusert vekst eller dø. De negative effekter av lus er tett korrelert med antallet av lus og størrelsen på fisken (Bui et al. 2024; Pioch et al. 2025). Fiskene er derfor mest sårbare for lakselus når de som små fisk utvandrer til sjøen fra ferskvann. Ved overgangen fra fastsittende til bevegelige stadier øker virulensen (den negative effekt på vertene) og dødelighet kan inntreffe hos fisk med høy forekomst av lus (Grimnes and Jakobsen 1996). Lus fra oppdrettslaks i oppdrettsintensive områder har også vist økt virulens sammenlignet med lus fra villfisk i områder med lavere oppdrettsintensitet (Ugelvik et al. 2017).

2.2 Laks

Atlantisk laks (*Salmo salar*) forekommer naturlig i omtrent 450 elver langs store deler av kysten fra Enningdalselva i sør til Grense Jakobselv i nord. Laks har en anadrom livshistorie der individene vokser opp i ferskvann før de smoltifiserer og vandrer til havs for å beite og vokse, før de som kjønnsmodne vender tilbake til hjemelven for å gyte (Klemetsen et al. 2003). Laks i ulike vassdrag utgjør med noe varierende grad genetisk distinkte bestander med lokal tilpasning til sine respektive miljøforhold. Genetiske forskjeller mellom bestander er knyttet til blant annet vandringsmønstre, vekst, tidspunkt for gytevandring og alder ved kjønnsmodning. Til tross for at laks har en sterk evne til å finne tilbake til sitt opphavsvassdrag, forekommer det en viss grad av feilvandring som bidrar til genetisk utveksling mellom bestander (Stabell 1984).

I Norge gyter laksen fra oktober til januar. Ved gyting lager hunnen en gytegrop i grusen på elvebunnen hvor eggene legges i flere reir, og befruktes av en eller flere hanner. Store hunner kan lage flere gytegroper. Antall egg en hunnlaks gyter varierer, men en generell antakelse for det fleste vassdrag er 1450 egg per per kilo hunnfisk, og antall egg er derfor sterkt avhengig av fiskens størrelse (VRL 2024).

Smolten vandrer ned elva og ut i sjøen om våren, når forholdene i elv og fjord er gunstige. Alder på smolten når den utvandrer varierer mellom bestander og påvirkes av både genetiske og miljømessige forhold (Thorpe and

Metcalfe 1998). I norske vassdrag vandrer de fleste laksesmolt ut etter 2–5 år i ferskvann, men både lavere og høyere smoltalder forekommer. Under smoltifiseringen gjennomgår fisken omfattende fysiologiske, morfologiske og atferdsmessige endringer som gjør den i stand til å overleve i saltvann. Utvandringen skjer hovedsakelig om våren og representerer en særlig sårbar fase i livssyklusen. Smolt som er utvandret kalles postsmolt.

Under vandringen gjennom fjorder og kystområder eksponeres postsmolten for naturlige dødelighetsfaktorer som predasjon og variasjoner i næringstilgang. Oppdrettsvirksomhet har introdusert ytterligere påvirkningsfaktorer for postmolten, hvor lakselus er den best dokumenterte dødelighetsfaktoren.

Etter å ha forlatt kysten gjennomfører laks omfattende næringsvandringer i Norskehavet og Barentshavet. Laks fra Sør-, Vest- og Midt-Norge vandrer i stor grad nordover gjennom Norskehavet, mens mange nordnorske bestander benytter beiteområder i Barentshavet (Rikardsen et al. 2021). I den tidlige marine fasen består dietten hovedsakelig av fiskelarver og amfipoder, mens større individer gradvis går over til større byttedyr som lodde og ungfisk av andre arter (Jacobsen and Hansen 2001). Veksten i sjøfasen er svært viktig for overlevelse og framtidig reproduksjon, og påvirkes av både næringstilgang, klima og parasittbelastning (Aykanat et al. 2025). Studier har vist at store havklimatiske endringer kan gi raske og langvarige endringer i vekst og overlevelse hos laks (Mills et al. 2013; Beaugrand and Reid 2012; Vollset et al. 2022).

Laksens livshistoriestrategi bestemmes av et samspill mellom arv og miljø. Individer kan returnere til elven etter ett, to eller flere år i sjøen, avhengig av vekstforhold i sjø og genetisk betinget lokal tilpasning til elvemiljø. Kjønnsmodning skjer vanligvis når fisken har nådd en viss kroppsstørrelse, og redusert vekst kan derfor føre til senere tilbakevandring og høyere alder ved kjønnsmodning. Det er også indikasjoner på at faktorer som lakselus kan påvirke alder ved kjønnsmodning indirekte gjennom redusert vekst (Vollset et al. 2018; Jansen et al. 2026).

Etter sjøoppholdet vender laksen tilbake til opphavsvassdraget for å gyte. Laks forekommer i et bredt spekter av elver og vassdrag og viser stor variasjon i habitatbruk mellom bestander, men gyter typisk i strømrike områder med relativt grovt, grusdominert substrat som sikrer god vanngjennomstrømning og oksygentilførsel til eggene (Gibson 1993). I mange vassdrag lever laks sammen med både sjøørret og sjørøye, og graden av konkurranse varierer med lokale miljøforhold som temperatur, vannføring og habitattilgjengelighet (Klemetsen et al. 2003).

Vitenskapelig råd for lakseforvaltning (VRL) vurderer årlig status for norske laksebestander. Bestandsstatus varierer betydelig mellom regioner og vassdrag, og påvirkes av en rekke trusselfaktorer, inkludert lakselus, rømt fisk, klimaendringer, habitatforringelse, vannkraftregulering og beskatning. Resultatene fra disse vurderingene utgjør et viktig grunnlag for forvaltningen av villaks og for vurderinger av påvirkningen fra havbruksnæringen.

2.3 Sjøørret

Sammenlignet med laksen har ørreten (*Salmo trutta*) mer variasjon i livshistorie, størrelse, vekst og habitatbruk. Variasjon forekommer både innen og mellom bestander (Klemetsen et al. 2003). Ørreten gyter i mindre bekker, i elver og enkelte steder også i innsjøer hvor de tilbringer de første leveårene i ferskvann, ofte nær foreldrenes gyteområde.

Den delen av ørretbestanden som har næringsvandringer til saltvann kalles sjøørret og forekommer langs hele norskekysten (Jonsson and Jonsson 2011). Sjøørret har ikke like stor global geografisk utbredelse som innlandsbestandene av ørret, men finnes naturlig blant annet i Skandinavia (Klemetsen et al. 2003).

Sjøørret i forskjellige vassdrag tilhører forskjellige genetiske grupper, slik at sjøørret i et vassdrag utgjør en bestand med genetisk egenart og lokal tilpasning (Hagen et al. 2025; Hansen et al. 2007; Bekkevold et al.

2020). Sjøørretbestander kan også være genetisk strukturert innenfor større vassdrag (Skaala and Nævdal 1989; Griffiths et al. 2009; Lehtonen et al. 2009). De stasjonære og sjøvandrende (anadrome) individidene i en bestand er ikke genetisk adskilte delbestander (Hindar et al. 1991; Duval et al. 2021; Hagen et al. 2025). En reduksjon i andel sjøvandrende individer i en bestand, som følge av økt lusetrykk, vil derfor påvirke hele ørretbestanden.

Det er funnet en betydelig forskjell i grad av genetisk strukturering innen laks og sjøørret, der bestander av sjøørret er genetisk mer forskjellig fra hverandre og har større grad av genetisk egenart sammenliknet med laksebestander (Bourret et al. 2013; Jensen et al. 2014; Hagen et al. 2025).

Ørret og laks lever sammen i mange av kystvassdragene og har mange fellestrekk i livshistorien, men det er langt flere sjøørretvassdrag enn laksevassdrag i Norge. Hos begge artene vandrer mesteparten av førstegangsvandrerne ut på våren som smolt. Fysiologisk blir fisken tilpasset til å leve i saltvann og morfologisk og atferdsmessig tilpasset et liv i de frie vannmasser. Smoltalderen hos sjøørret i norske vassdrag varierer fra 1 til 8 år, med økende alder og størrelse fra sør til nord (L'Abée-Lund et al. 1989). Livshistorien kan variere med bekkestørrelse, hvor de minste bekkene kan ha smolt på 7–8 cm, mens større bekker/elver smolt på 12–19 cm (Jonsson et al. 2005). Andre studier har vist at noen vassdrag har langt større førstegangsvandrende sjøørretsmolt (Paterson et al. 2021).

Ørretens livshistoriestrategi bestemmes av både arv og miljø, og andelen individ med ulik livshistorie varierer innad og mellom vassdrag. Antall sjøopphold før fisken kjønnsmodnes varierer mellom bestander (L'Abée-Lund et al. 1989), og andelen sjøvandrende individer varierer også og har vanligvis en overvekt av hunner (Jonsson and Jonsson 1993; Jonsson et al. 2005). Sjøvandringen gir økt tilvekst, men medfører også høyere kostnader (Thorstad et al. 2016). For hunnfisk kan beitevandring til saltvann være særlig gunstig, siden større kroppsstørrelse gir større eggproduksjonen (Elliott 1995). Kostnadene ved sjøvandring inkluderer fysiologiske tilpasninger under smoltifisering, økt eksponering for parasitter og patogener, predasjonsrisiko samt energiforbruk knyttet til selve vandringen (Thorstad et al. 2016; Thorstad et al. 2015). Generelt øker tilveksten til sjøørret med oppholdstid i sjøen, og individer som vandrer ut tidlig har ofte den høyeste vekstraten (Jensen et al. 2022).

Sjøørreten oppholder seg hovedsakelig i fjorder og kystnære områder, og de fleste individer holder seg innen 80 km fra vassdraget (Thorstad et al. 2016). Enkelte fisk kan imidlertid vandre betydelig lengre (Birnie-Gauvin et al. 2019). Større flergangsvandrere vandrer ofte lengre enn post-smolt og andregangsvandrere. Lengden på sjøoppholdet hos sjøørret varierer (Eldøy et al. 2021; Eldøy et al. 2015). Førstegangsvandrende individer kan tilbringe opp til 4–5 måneder i sjøen, men noen individer kan også returnere etter noen uker, vandre opp i andre vassdrag eller bli i sjøen i mer enn ett år før de vender tilbake til den opprinnelige elva (Haraldstad et al. 2024). Veteranvandrere kan enten overvintre i ferskvann etter gyting eller gå ut og oppholde seg i sjøen frem til neste gyting (Eldøy et al. 2015). Fiskens fysiologiske status ved utvandring og næringstilgangen i sjøen kan påvirke hvor lenge individene forblir i det marine miljøet (Eldøy et al. 2021). Fisk i dårlig kondisjon bruker ofte lengre tid på sjøoppholdet og kan hoppe over en gytesesong (Haraldstad et al. 2018).

Vitenskapelig råd for lakseforvaltning (VRL) har klassifisert tilstanden til norsk sjøørret i 1279 vassdrag (VRL 2025). Disse vassdragene danner utgangspunktet for vårt utvalg av sjøørretbestander i de 13 produksjonsområdene for vurdering av lakselusas påvirkning til bruk i Trafikklyssystemet. Av de 1279 vassdragene er 1028 klassifisert som «bestand» av VRL, resten er tapt eller ansett som «forekomster» (for små til å opprettholde egne bestander).

2.4 Sjørøye

Sjørøye (*Salvelinus alpinus*) har en begrenset geografisk utbredelse og forekommer bare i våre tre nordligste fylker, samt på Svalbard, noe som understreker artens kaldtvannstilpasninger. I de fleste norske vassdrag med sjørøye finner en også individer som ikke er sjøvandrende (Kristoffersen 1994), men det er ikke en klar avgrensning mellom disse gruppene. Sjørøya gyter alltid i ferskvann og som regel i innsjøer, mer sjeldent i elver (Svenning et al. 2022).

Røye er verdens nordligste ferskvannsfisk og trolig arten som først koloniserte kysten vår etter siste istid. Røya viser enda større variasjon (diversitet) enn laks og ørret i morfologi (form, utseende, farger), adferd (habitatvalg) og livshistorietrekk (vekst, fekunditet, alder og størrelse ved kjønnsmodning), grunnet tilpasninger til ulike miljø (innsjø, elv, sjø) (Klemetsen et al. 2003). For eksempel kan kjønnsmodne individer variere fra 3 gram til 12 kg, og tiden for gyting avvike med 5 måneder (Klemetsen et al. 2006). Den store diversiteten innenfor røyearten gjør at den vitenskapelige litteraturen beskriver adskilte økologiske morfer innenfor et artskompleks (Klemetsen et al. 2003). Røyekomplekset viser hvordan økologisk oppsplitting og begynnende artsdannelse har bakgrunn i ulike levemåter og tilpasninger til et variabelt, uforutsigbart, nordlig og is-preget miljø.

Røya kan, som ørreten, foreta næringsvandringer til sjøen, både som umoden og kjønnsmoden. Veteranene vandrer først til sjøen omtrent ved isgang, etterfulgt av de førstegangsvandrende individene (smolt). Sjøvandringen foregår primært inne i fjordene og ofte relativt nært hjemmeelva, selv om enkeltindivider også kan vandre langt (Jensen et al. 2022). Tilveksten i lengde er ca. 5 – 14 cm (Berg and Berg 1989) og i vekt 50 – 400 g (Jensen, Finstad, and Fiske 2019). Sjøoppholdet er likevel kort (30-60 dager) før sjørøya returnerer til elv og innsjø. Sjørøya overvintrer alltid i ferskvann. Årsaken til røyas korte opphold i sjøen er trolig en mer begrenset evne til å tåle saltvann (osmoregulering) sammenlignet med de andre laksefiskene. Dette gjelder særlig for fisk av liten størrelse og ved lave temperaturer (Finstad et al. 1989).

I sjøen trives sjørøya best i de kaldeste delene av fjordsystemene (Rikardsen et al. 2007). Dette gjør arten spesielt sårbar for et varmere klima og sjørøya har vist en markert nedgang i hele utbredelsesområdet. Røya lever i de mest næringsfattige innsjøene og er trolig også sårbar for økt næringsbelastning (eutrofiering) (Maitland 1995). I Nordland, hvor mange av sjørøyebestandene utgjør kun en liten andel av de anadrome bestandene (< 20 % i innsjøsystemer og < 5 % i elvesystemer) (Svenning et al. 2022) er det høy risiko for at sjørøyebestander allerede har gått tapt eller vil gå tapt i nær fremtid.

Alle de norske anadrome vassdragene med sjørøye ligger i Nord-Norge, hvor menneskelig påvirkning, inkludert lakseoppdrett, hittil har vært lavere enn i andre landsdeler. I 2024 ble det observert en dramatisk økning i smittepress av lakselus både på oppdrettet og vill laksefisk i nordlige deler av Troms og vestre Finnmark i forbindelse med en marin hetebølge. De siste 15 årene har Nord-Norge hatt en produksjonsvekst i nye lokaliteter på 31 %, mot 6 % i resten av landet. Bare fra 2024 til 2025 har det vært en kraftig produksjonsvekst i lakseoppdrett (ca. 200 000 tonn), og mye av denne veksten har skjedd i nord. Dette vil gi økt antall verter for lakselus og mer lus spredt i miljøet. Når temperaturen øker, vil lakselus reprodusere mer effektivt og infiserer også laksefisk mer effektivt (Skern-Mauritzen et al. 2020).

Lakselusa spiser hud, slim og blod, og bryter ned barrieren mellom fisken og miljøet. Dette kan redusere røyas evne til å tolerere saltvann ytterligere. Studier i laboratorium har vist at selv lave lusetall gir dokumenterbare negative effekter på vekst, kondisjon, osmoregulering og reproduksjon hos røye (Tveiten et al. 2010; Fjelldal et al. 2019). Feltstudier har vist dose-respons-effekter hos røye ved lavere konsentrasjoner enn for sjøørret og laks. På tross av sjørøyas korte vandring i sjøen, med relativt tidlig retur til elva (som regel i juli), er det vist at førstegangsvandrende sjørøye kan avbryte den viktige næringsvandringen i sjøen og vandre tilbake til elv

(prematur tilbakevandring) selv ved svært lave lusetall (< 0,05 lus per gram fisk). Dette kan igjen føre til tap av vekst og forsinket kjønnsmodning (Strøm et al. 2022). Flergangsvandrende sjørøyer (veteraner) kan tape vekst og kondisjon ved enda lavere påslag av lus (< 0,03 lus per gram fisk). Dette til tross for at røya er kort tid i sjøen og lakselusa så vidt har tid til å utvikle seg til de mer skadelige preadulte og adulte stadiene.

3 Oversikt over anvendte modeller og metoder

3.1 Modellsystemet til HI

Havforskningsinstituttet gjennomfører årlig modellering av spredning av lakselus fra oppdrettsanlegg langs hele kysten. Modellberegningene og analysene som presenteres her er basert på rapporterte tall fra oppdrettsanleggene (antall fisk og lus per fisk), samt etablert kunnskap, modeller og metoder tilgjengelig våren 2026. Dette gir et felles rammeverk for å vurdere miljøpåvirkning fra lakselus på villaks fra oppdrettsanlegg i hele landet.

For å beregne størrelsen på et akseptabelt utslipp av lus fra oppdrett et område kan tåle innenfor miljømålet, er HI sitt modellsystem benyttet for spredning av lakselus, som er beskrevet i en rekke rapporter og publikasjoner (se bla. Albretsen et al. (2011), Asplin et al. (2020), Johnsen et al. (2020), Myksvoll et al. (2018), Sandvik et al. (2020), Sandvik et al. (2021)), og utgjør også grunnlaget for HI sine leveranser til Trafikklyssystemet. Se Jensen et al. (2025) for en samlet beskrivelse av modellsystemet.

Modellberegninger av spredning av lakselus er analysert for å identifisere hvilke områder og tidsperioder gitte utslippsmengder av luselarver vil føre til lav, moderat eller høy påvirkning på villaks (ROC-analyse, Sandvik et al. (2021)). Videre er påvirkning på utvandrende vill laksesmolt fra alle elver i et produksjonsområde og reguleringsområde modellert med Virtuell postsmolt modell (VPS, Johnsen et al. (2021)). Tidsforløp for utvandring fra elvene brukt i VPS-modellen er basert på startdato fra Vollset et al. (2021), og vandringsruter og hastighet som forklart i Johnsen et al. (2021).

ROC og VPS er to forskjellige måter å beregne dødelighet på, og kan derfor gi noe forskjellige resultater for dødelighet i noen områder. VPS-modellen er utviklet for å estimere dødelighet på utvandrende postsmolt av laks og er kalibrert mot observert lusepåslag på vill laksefisk fanget i trål. ROC-modellen er utformet for å beregne smittepress over et geografisk område over en gitt tidsperiode, og er kalibrert mot lusepåslag i smoltbur (Sandvik et al. 2020). En viktig fordel med ROC-modellen er at den er godt egnet for scenario-analyser hvor en utfører beregninger for ulike betingelser og antagelser, i tillegg til at den gir et godt bilde av hvordan smittepresset varierer i rom og tid. Man kan for eksempel relativt raskt beregne resultat for flere tusen ulike scenarioer hvor en varierer mengden utslipp og antall anlegg. VPS-modellen er derimot tyngre å kjøre og derfor mindre egnet til å analysere mange scenario.

I vedlegg II er det beskrevet tre ulike metoder for å beregne hvilke utslippsnivå som oppfyller miljømålet. Modellberegningene for alle de tre metodene inkluderer variasjon i fysiske forhold og produksjonsmønster mellom år. I de oppsummerte figurer og tabeller er det derimot gjennomsnittlig tall fra årene 2022-2025 som er oppgitt. Beregningene er ikke gjort for reguleringsområdene 1A, 1B, 12C, 12D, 13A og 13B fordi disse områdene hadde få eller ingen aktive anlegg i utvandringsperioden, eller hadde svært lave lusetall slik smittepresset kunne økes med mer flere hundre prosent uten at man nærmet seg brudd på miljømålet. I slike områder må det vurderes om det bør gjøres særskilte vurderinger basert på området rundt de lokalitetene som finnes eller flere mulige anleggsposisjoner.

3.2 Modellsystemet til VI

Veterinærinstituttets virtuelle postsmoltmodell er beskrevet av Kristoffersen et al. (2018) og Stige et al. (2022), med modelloppdateringer og resultater beskrevet i årlige VI-rapporter (f.eks. Stige, Gangsei, and Qviller (2025)). Modellversjonen som er anvendt her er også brukt i ekspertvurderingene av lakselusindusert dødelighet i 2025 (Stige, Gangsei, and Qviller 2025; Stige et al. 2025).

Veterinærinstituttets virtuelle postsmoltmodell beregner hvor stor prosentandel av den utvandrende smolten fra hvert laksevassdrag som dør pga. lakselus, sett i forhold til hvor mange som ville overlevd uten en slik påvirkning. Risiko for dødelig luseinfestasjon modelleres stegvis fra lakselusas reproduksjon til påslag på utvandrende laksepostsmolt. Til slutt kvantifiseres risiko for at fisken dør på grunn av infestasjonen.

Utslipp av luselarver beregnes basert på rapporterte lusetall, antall fisk og sjøtemperatur fra ukentlige rapporter fra oppdrettsanlegg langs kysten. Eggproduksjon, larvenes utviklingstider og overlevelse er basert på eksperimentelle studier som beskrevet av Stige et al. (2021). Fra hvert anlegg spres larvene ut i vannmassene med avtakende konsentrasjon med økende sjøavstand (Kristoffersen et al. 2018; Stige et al. 2021; Aldrin et al. 2019). Det resulterende smittepresset tar også hensyn til temperaturavhengighet i larvenes evne til å feste seg til laksepostsmolten.

Påslagsmodellen benytter observerte lusepåslag på laksepostsmolt til å beregne antall lusepåslag per fisk per uke (påslagsrate) som en funksjon av smittepress. Her brukes både data for oppdrettede laksepostsmolt i vaktburforsøk og data for trålfanget vill laksepostsmolt til å finne sammenhengen mellom lusepåslag og hvilket smittepress postsmolten har vært utsatt for i perioden den har vært i sjøen. Trålfangstdataene som brukes inneholder genetisk identifisering til opphavselv, altså hvilken elv fisken har vandret ut fra. Funksjonen for påslagsrate tilpasses som en negativ binomial regresjonsmodell som tallfester hvor mange lus hver postsmolt får på seg avhengig av smittepresset og hvor mange dager postsmolten utsettes for smitte. Modellen beregner også forskjellen i påslagsrate mellom postsmolt i vaktbur og trålfanget postsmolt. Regresjonsmodellen brukes senere til å simulere lusepåslag på virtuelle postsmolt i postsmoltens utvandringsrute. Her kalibreres påslagsraten til nivået i tråldataene, siden disse mest direkte måler lusepåslaget på utvandrende vill laksepostsmolt. Regresjonsmodellen tallfester også hvor mye lusepåslagene varierer mellom produksjonsområder og år på grunn av andre faktorer enn det beregnede smittepresset. Denne variasjonen tallfestes som en såkalt tilfeldig effekt i modellen. Den tilfeldige område-år-effekten representerer variasjon i lusenivå mellom områder og år som ikke kan forklares av det beregnede smittepresset.

Modellen simulerer så utvandring, lusepåslag og luseindusert dødelighet for virtuelle postsmolt som vandrer ut fra alle vassdragene. Utvandringen fra hvert vassdrag modelleres over en periode på 40 dager. Antall smolt som vandrer ut per dag øker fram til datoen da halvparten har vandret ut og avtar deretter. Utvandringsdatoene for de ulike elvene er basert på en statistisk analyse av utvandringsdata fra et stort antall elver langs norskekysten (Vollset et al. 2021). Det antas at postsmolten beveger seg korteste vei i sjøen fra elveutløp til hav, med en hastighet på 10 km per dag (Vollset et al. 2016; Halttunen et al. 2018). Langs sin vei oppholder den virtuelle postsmolten seg i det beregnede smittepresset i en antatt kjent tidsperiode, slik at akkumulerte påslag kan beregnes ved hjelp av påslagsmodellen. Påslagsmodellen beregner andelen fisk med 0, 1, 2,… lus, som sammen med dødelighetsprognoser for 20 grams postsmolt (Taranger et al. 2015) brukes for å beregne andelen av den utvandrende smolten som dør av lus.

For å beregne grensen for akseptabelt lusenivå er en prosentvis endring i lusepåslag beregnet, som vil gi 10 % luseindusert dødelighet, og den samme prosentvise endringen er beregnet for lusemengden i oppdrettsanlegg. Luseindusert dødelighet er et uvektet gjennomsnitt for laksebestandene i et produksjons- eller reguleringsområde. Lusemengde er totalantall voksne hunnlus i oppdrettsanlegg i området i utvandringsperioden for postsmolt av villaks (gjennomsnitt av daglig beregnede tall fra median startdato til median sluttdato for bestandene i området). Beregningen gjøres med utgangspunkt i lusemengde og luseindusert dødelighet for ulike år. Forskjeller mellom beregninger basert på ulike år kommer bl.a. av den geografiske fordelingen av oppdrettsaktivitet og luseutslipp innad i området. Hvilken lusemengde som gir like stor sannsynlighet for luseindusert dødelighet under som over 10 % sett over flere år er også beregnet. I

vedlegg III vises også kontinuerlige funksjoner for dødelighet og risiko for dødelighet over 10 % som funksjon av lusemengde, usikkerheten som kommer av uforklart variasjon i lusenivå mellom områder og år og sensitiviteten for modellforutsetningene om laksepostsmoltens utvandringstid og tålegrenser for lus. For områder der lusepåslaget kan økes med mer enn 50 % utover historisk nivå før 10 % luseindusert dødelighet nås, er ikke akseptabelt lusenivå beregnet siden dette vil avhenge sterkt av hvor en eventuell økning i luseutslipp skjer.

3.3 Modellsystemet til SINTEF

SINTEFs modellsystem slik det blir brukt i Trafikklyssystemet er beskrevet i rapporten Knutsen et al. (2025). En forkortet versjon er tatt med her, og resultatene er vist i Vedlegg IV. SINMOD er en hydrodynamisk modell utviklet ved SINTEF siden 80-tallet (Slagstad and McClimans 2005). Modellen kjøres i et nøstet oppsett med 20 km oppløsning i det største domenet med utstrekning fra Nordatlanteren til Beringshavet, og som lager grensebetingelser til det mindre domenet med 4 km oppløsning. Dette domenet lager igjen grensebetingelser til de to domenene med 800 m oppløsning som brukes til å simulere strøm, temperatur, saltholdighet og overflatehevning langs kysten. På denne måten blir effekter av tidevann og større sirkulasjon ivaretatt i de høyt oppløste områdene med mindre romlig utbredelse.

For å drive modellene brukes det ulike datasett. Avrenningsdata for elver hentes fra tilgjengelige kilder og for elver i Norge er det tatt utgangspunkt i tidsserier fra NVE. Det er brukt to ulike kilder for atmosfæriske drivkrefter. For de to store områdene (20 og 4 km oppløsning) er det brukt data fra ERA5 (ECMWF, Hersbach et al. (2020)). For områdene med 800 m oppløsning er det brukt atmosfæriske data med 2,5 km oppløsning fra MetCoOp EPS2 fra met.no. Tidevann fra TPXO med 8 tidevannskomponenter anvendes på yttergrensene av 20 km modellområdet. Inngangsdata (klekkede nauplier av lakselus) for å beregne spredning av lakselus fra oppdrettslokaliteter baseres på databasen til den nasjonale overvåkingsplanen for lakselus (data levert av Havforskningsinstituttet, Johnsen et al. (2020)).

De virtuelle postsmoltene vandrer med strømmen og mot korteste avstand til grunnlinjen. Dette gir dynamiske vandringsmønstre der smolt bruker store deler av fjorden på vei til kysten, hvilket skiller denne VPS-modellen fra HIs og VIs. Det er brukt en forenklet metode for å estimere hvor stor reduksjon i smittepresset som kreves for å bringe det gjennomsnittlige dødeligheten av virtuell postsmolt i et produksjonsområde under 10 %. Metoden tar utgangspunkt i konsentrasjonen av lakselus, som deretter er redusert trinnvis med 1 % før påslag og dødelighet er beregnet på nytt. Perioden for utvandrende postsmolt er bestemt fra det tidligste utvandringstidspunktet for en populasjon i et produksjonsområde (eller reguleringsområde) og 53 dager frem i tid (7 dager der luselarvene ikke er utviklet til kopepoditter er trukket fra utvandringsperioden på 60 dager).

Parameterne i påslagsmodellen er kalibrert mot data fra trålobservasjoner. Det er imidlertid usikkert i hvilken grad alle påslåtte lus overlever, og dette er vanskelig å kvantifisere. Estimatene av lakselusindusert dødelighet hos utvandrende smolt er derfor sensitive for denne antakelsen. Havforskningsinstituttet benytter en overlevelsesrate på 60% (Johnsen et al. 2021), og samme verdi er benyttet i beregningene som presenteres i denne rapporten, for å sikre sammenlignbarhet mellom estimatene.

3.4 Modellsystemet til NINA

NINA sin sjøørretmodell beregner indikatoren I_{trutta} som ble utviklet av Bolstad et al. (2025) og resultatene er vist i Vedlegg V. Den består av en rekke delmodeller (Næsje et al. 2025) og blir brukt til årlig modellering av lakseluspåvirkning på sjøørret (Holstad et al. 2025). Indikatoren er et mål på forventet prosentvis nedgang i fitness til sjøørretene i et vassdrag («sjøørretbestanden») som skyldes lakselus. Fitness kan forstås som en organismes evne til å overleve og å reprodusere. Nedgang i fitness er beregnet som følge av påvirkning fra

lakselus de to første somrene i sjøen gjennom nedgangen i den forventede totale reproduktive suksessen, altså nedgang i antall avkom (befrukta egg) en sjøørrethunn er forventet å få (se Bolstad et al. (2025) for detaljert forklaring).

I modellen inkluderes bare sjøørret som vandrer ut på våren og kommer tilbake til elva på høsten. Noen sjøørret vandrer ut av elvene på høsten, spesielt sør i Norge, men konsekvensen av lakselus for disse inkluderes ikke i sjøørretindikatoren. Siste dato for lusepåvirkning i modellen er 30. september grunnet tidspunktet for de årlige vurderingene av fargelegging av produksjonsområdene (Holstad et al. 2025) i tide. Ut fra endringene i indikatorverdi gjennom sesongen hadde det blitt lite tilleggspåvirkning om også data på lus etter 30. september hadde blitt inkludert (se Holstad et al. (2025)).

I modellen inkluderes de relevante variablene ved hver sine delmodeller (Næsje et al. 2025; Holstad et al. 2025). Først modelleres en romlig fordeling av sjøørret i sjøen gjennom en sannsynlighetsfordeling. Denne sannsynlighetsfordelingen er påvirket av avstand til vassdragets munning og avstanden til land. Fordi fisk i vassdrag i sør vandrer ut tidligere og har et lengre opphold i sjøen enn fisk fra vassdrag i nord, modelleres også tidspunkt for utvandring og lengde på sjøopphold for et gitt vassdrag basert på vassdragets posisjon langs norskekysten. Hvor og når sjøørreten er i sjøen blir koblet mot en modell som gir romlig og temporær fordeling av luselarver. Denne lusemodellen er utviklet av HI (se bla. Albretsen et al. (2011), Asplin et al. (2020), Johnsen et al. (2021) , Myksvoll et al. (2018), Sandvik et al. (2020), Sandvik et al. (2021)) og er den samme som blir brukt i HIs modellsystem. Sammenkoblingen av sjøørretens og luselarvenes fordeling i tid og rom gir et estimat på den opplevde lusekonsentrasjonen for fisken, og gir et gjennomsnittsmål på hvor mange lus per liter vann en sjøørret fra et gitt vassdrag er eksponert for en gitt dag. Tettheten av lus i vannet rundt fisken blir oversatt til antall lus som fester seg på fisken gjennom en påslagsmodell.

Størrelsen på fisken ved utvandring er gitt av normalvariasjonen til norsk sjøørretsmolt. Etter at fisken har vandret ut i sjøen vokser den i henhold til en vekstmodell. Veksten til fisken påvirker påslaget av lakselus. En stor fisk får på seg flere lus enn en liten, gitt den samme lusetettheten i sjøen. Lakselusa fester seg på fisken som kopepoditt. Utviklingen til lusa er temperaturavhengig, ved 10 ºC tar det omtrent 18 dager fra lusa har festet seg til den er en mobil lus som beiter på skinnet til fisken, mens det ved 15 ºC tar omtrent 10 dager (Hamre et al. 2019). I perioden fra påslag til lusa har blitt mobil vil det dø eller falle av lus. I modellen er andel lus som dør eller faller av i denne perioden satt til 40 %. Antall mobile lus fisken har fått på seg blir oversatt til infestasjonsgrad, som er antall lus per cm^2 overflate på fisken. Når infestasjonsgraden har nådd en gitt terskelverdi fører dette til en sannsynlighet for at fisken blir påvirket negativt av lusa. En påvirket fisk kan enten dø eller «prematurt» tilbakevandre til ferskvann (dvs. avbryte sjøoppholdet og vandre tilbake til ferskvann der lakselusa dør). Prosentandelen av denne fisken som dør vs. prematurt tilbakevandrer er satt til 30:70 i modellen.

Prematur tilbakevandring fører til veksttap fordi næringstilgangen i havet oftest er mye bedre enn i ferskvann. Veksttapet blir beregnet gjennom å sammenligne størrelsen fisken ville hatt dersom sjøvandringen ikke ble avbrutt og den størrelsen den har den dagen den prematurt vandret tilbake til ferskvann. Med andre ord er veksttapet basert på antall dager med tapt sjøopphold. Basert på målet for luseindusert dødelighet og luseindusert veksttap kan den prosentvise nedgangen i fitness (indikatorverdien) beregnes. Dette blir regnet ut for 1028 norske sjøørretvassdrag. Indikatorverdien for et produksjonsområde eller et reguleringsområde er gitt av gjennomsnittlig indikatorverdi for sjøørretvassdragene i området.

3.5 Indikatorverdiene fra virtuelle laks- og sjøørretmodeller

Vurderingene av lakselusas påvirkning på laks i Trafikklyssystemet er basert på flere indikatorer, fire modeller i

tillegg til overvåkingsmetoder. Til vurdering av lakselusas påvirkning på sjøørret brukes en indikatormodell spesifikk for sjøørret, samtidig som de samme overvåkingsresultatene som for laksen og HI sin ROC-modell eventuelt kan benyttes i fremtidige vurderinger. De tre virtuelle postsmoltmodellene for laks beskriver risikoen for at den utvandrende postsmolten dør på grunn av lakselus, mens sluttproduktet i den virtuelle sjøørretmodellen beskriver reduksjon i fitness (reproduktiv suksess) på grunn av lakselus. Sluttproduktene fra modellene er på samme skala og gitt visse forutsetninger beskriver de endringer i villfiskbestandene som skyldes lakselus.

Modellene for laks og sjøørret beskriver lakselusas påvirkning på fisken når den er i sjøen, men mens laksen forlater områdene med mye lus når de forlater kystnære områder, kan hele sjøørretens sjøopphold være i områder med potensielt høy lusebelastning. For begge artene vurderes hvor stor andel som dør gitt ulike nivåer av lakselusinfestasjon. Laksen og sjøørreten har imidlertid forskjellig atferd når de får på seg kritisk mye lus, hvor noen sjøørret vandrer tilbake til ferskvann hvor lakselusa dør og luseskadene derfor reduseres. Alternativet til denne premature tilbakevandringen til ferskvann er at fisken dør. Den virtuelle sjøørretmodellen tar derfor hensyn til både andelen som dør og andelen som vandrer tilbake til ferskvann og får redusert vekst siden mattilgangen i ferskvann er mindre enn i sjøen.

Både død og redusert vekst fører til nedgang i antall egg som laks og sjøørret produserer. De virtuelle lakse- og sjøørretmodellene beskriver hvordan individene påvirkes av lus i sjøen. Og også hvordan mengden gytefisk (hunner) potensielt påvirkes gjennom reduksjon i antall fisk og kroppsstørrelse og derigjennom mengden rogn som gytes. Forutsetningen for dette er at den luseinduserte reduksjonen i overlevelse og vekst er uavhengig av andre faktorer som påvirker reproduktiv suksess. De indikatorene for de to artene er derfor på samme skala, noe som gjør at det er meningsfullt å bruke de samme terskelverdiene for hva som er akseptabel påvirkning (se Bolstad et al. (2025) for en detaljert sammenligning av de to indikatorene).

3.6 Definisjon av akseptabelt utslippsnivå

I bestillingen er det spesifisert at man ønsker et råd om akseptabelt utslippsnivå av lakselus. Forfattergruppen ble i de innledende diskusjonene enige om å oppgi totalt antall voksne hunnlus som estimat på utslippsnivå, ikke beregnede utslipp av antall luselarver. Bakgrunnen for dette valget er at antall voksne hunnlus er det oppdrettere kan måle og kontrollere, mens utslippet av luselarver må beregnes utfra antall voksne hunnlus og temperatur på laksens dyp. Det er dermed større usikkerhet knyttet til utslippet av luselarver enn totalantallet voksne hunnlus. Det er imidlertid viktig å være oppmerksom på at alle beregningene er gjort på grunnlag av de beregnede utslippene, før en så har regnet disse tilbake til voksne hunnlus. Siden antall voksne hunner i oppdrettsanleggene har en sesongsyklus vil denne tilbakeberegningen være følsom for hvordan utvandringsperioden er definert.

Et akseptabelt utslippsnivå basert på totalt antall hunnlus gir større forutsigbarhet for oppdretterne og er enklere å håndheve enn et basert på utslipp av luselarver. Disse fordelene må veies opp mot at utslippet av luselarver er et mer direkte mål på påvirkningen på villfisk. Dette er illustrert gjennom større mellomårlig variasjon i akseptable nivåer av hunnlus sammenlignet med akseptable nivåer luselarveutslipp i sjøørretmodellen (Vedlegg V, Holstad et al. 2026).

De beregningene av utslippsnivå som er inkludert i denne rapporten må forstås som en maksimumsgrense. Ikke en total kvote i tradisjonell forstand der man kan velge når i løpet av en gitt tidsperiode man ønsker å slippe ut en viss menge lus. Videre i rapporten så vil utslippsnivå omtales som lusenivå i oppdrett.

4 Sammenfatning av resultater fra vedleggene

En detaljert beskrivelse av resultatene fra de ulike modellene finnes i vedleggene fra de ulike institusjonene; Vedlegg II - HI, Vedlegg III - VI, Vedlegg IV - SINTEF og Vedlegg V - NINA. I dette kapittelet resultatene sammenfattes for å vise mellomårlig variasjon i lusenivå (avsnitt 4.1) og oppsummere det sammenstilte rådet for akseptabelt lusenivå i oppdrett for laks (avsnitt 4.2) og sjøørret (avsnitt 4.3). Alle beregningene oppgis både i produksjonsområder og reguleringsområder. Videre diskusjon av rådet og anbefalinger følger i kap. 5.

4.1 Mellomårlig variasjon

Tabell 1 og 2 viser hvordan akseptabelt lusenivå i oppdrettsanleggene varierer i årene 2022-2025 for å oppnå miljømålet i henholdsvis produksjonsområdene og reguleringsområdene. Beregningene for laks er basert på VPS-modeller fra HI, VI og SINTEF, mens beregningene for sjøørret er basert på sjøørretindikatoren til NINA. I tabellene så er minimums- og maksimumsverdien for denne fire års-perioden oppgitt for å vise hvordan det akseptable lusenivået kan variere mellom år. SINTEF sin modell er ikke landsdekkende og oppgir derfor akseptabelt lusenivå for produksjonsområdene 2-7. Den mellomårlige variasjonen i det akseptable lusenivået skyldes produksjonssyklusen i anleggene, i tillegg til fysiske og biologiske faktorer.

Tabell 1. Lusenivå i oppdrettsanlegg (antall millioner voksne hunnlus) som medfører 10% dødelighet på vill utvandrende laksesmolt og 10% reduksjon i fitness for sjøørret, høyeste og laveste verdi over årene 2022 til 2025 i de 13 produksjonsområdene.

PO	HI (laks)		VI (laks)		SINTEF (laks)		NINA (sjøørret)	
	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks
1								
2	0,7	1,2	0,8	2,4	0,4	0,6	0,06	0,09
3	0,7	1,0	0,9	1,4	0,3	1,3	0,14	0,32
4	1,5	2,1	1,5	1,7	0,7	2,2	0,19	0,37
5	1,3	1,7	1,4	2,4	0,6	2,3	0,09	0,17
6	1,8	4,3	3,6	5,2	1,4	6,8	0,23	0,40
7	0,5	2,8	1,5	2,6	0,5	0,8	0,06	0,14
8	2,0	5,2	1,5	2,3			0,26	0,50
9	2,6	4,7	1,4	2,9			0,28	0,53
10	1,0	2,4	1,3	3,5			0,35	0,44
11	0,8	1,8	0,9	1,8			0,61	0,77
12	3,1	4,2					0,78	1,68
13								

Tabell 2. Lusenivå i oppdrettsanlegg (antall millioner voksne hunnlus) som medfører 10% dødelighet på vill utvandrende laksesmolt og 10% reduksjon i fitness for sjøørret, høyeste og laveste verdi over årene 2022 til 2025 i de 28 nye reguleringsområdene.

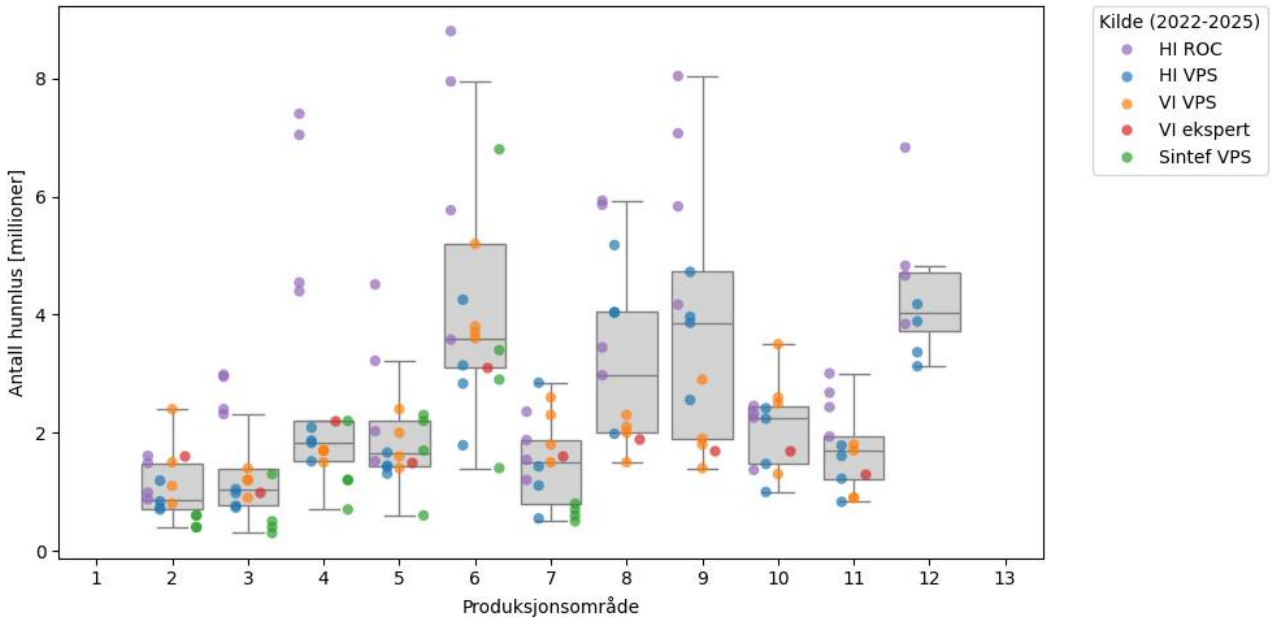
RO	HI (laks)		VI (laks)		SINTEF (laks)		NINA (sjøørret)	
	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks
1A								
1B							0,04	0,09
2A	0,7	1,2	0,8	2,4	0.4	0,6	0,06	0,09
3A	0,3	0,6	0,5	0,7	0,1	0,7	0,10	0,28
3B	0,4	0,9	0,7	1,2	0,1	0,6	0,03	0,04
4A	0,3	0,8	0,3	0,4	0,1	0,6	0,14	0,21
4B	0,3	0,5	0,4	0,5	0,2	0,9	0,08	0,33
4C	0,8	1,5	0,7	1,1	0,2	0,2	0,03	0,05
4D	0,2	0,6	0,3	0,6	0,1	0,9	0,03	0,05
5A	0,6	0,8	0,4	1,8	0,2	1,2	0,04	0,11
5B	0,6	0,9	0,8	1,6	0,5	2,1	0,05	0,07
6A	0,7	1,0	0,1	1,1	0,2	0,8	0,05	0,13
6B	1,3	3,1	2,4	4,5	0,8	3,8	0,16	0,30
7A	0,4	1,0	0,3	1,4	0,3	0,6	0,04	0,08
7B	0,2	1,0	0,2	1,6	0,1	0,4	0,04	0,05
8A	1,0	2,9	0,7	1,4			0,14	0,27
8B	1,0	2,3	0,8	1,3			0,10	0,20
9A	2,6	4,7	1,4	2,9			0,28	0,53
10A	0,6	1,5	0,9	3,0			0,21	0,28
10B	0,3	1,2	0,4	0,8			0,07	0,29
11A	0,5	1,3	0,5	1,4			0,33	0,50
11B	0,4	0,6	0,3	0,5			0,22	0,31
12A	0,3	0,5	0,1	0,5			0,15	0,26
12B	1,2	2,1	0,7	1,7			0,28	0,65
12C							0,50	0,87
12D							0,19	0,28
13A								
13B								

4.2 Akseptabelt lusenivå i oppdrett - laks

Ved å sammenstille VPS modellene fra HI, VI og SINTEF, ROC modellen fra HI, og estimatene til VI som baserer seg på Ekspertgruppens årlige vurderinger av lakselusindusert dødelighet (VI ekspert), er det akseptable lusenivået i oppdrett beregnet som er nødvendig for å oppnå miljømålet for laks. Alle estimatene

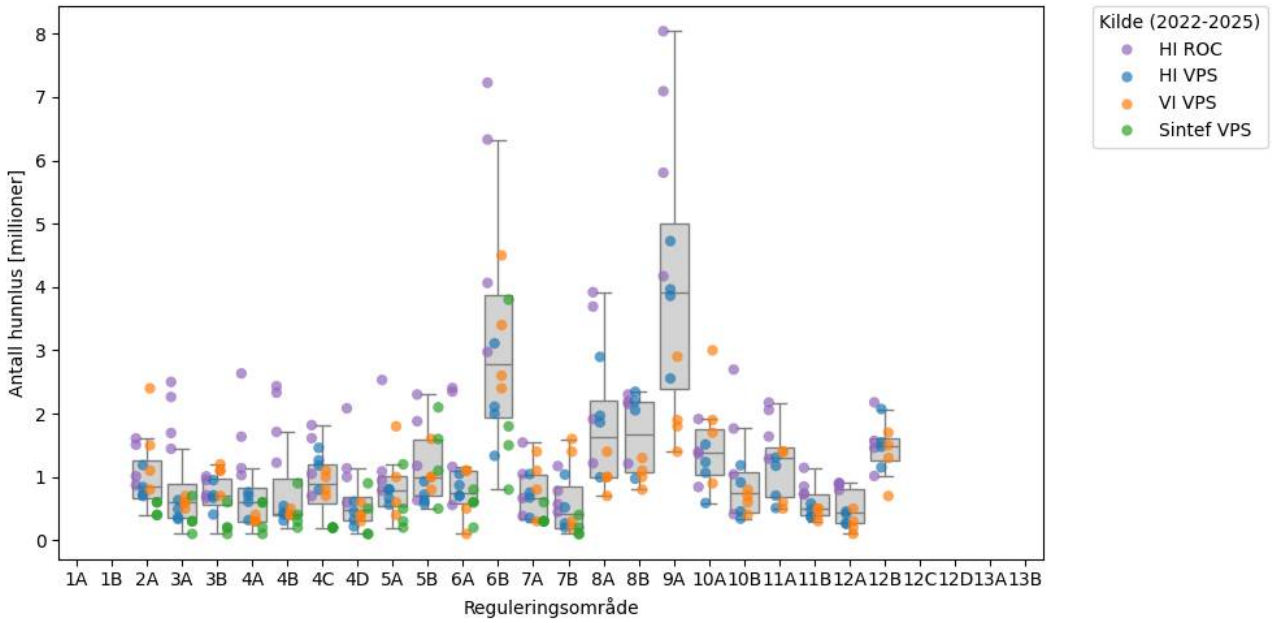
som ligger til grunn for beregningene er vist i Figur 1 og 2, og i Tabell 3 vises median i tillegg til 25- og 75-persentil basert på modellsammenstillingen. Merk at i motsetning til VPS-estimatene er HI ROC ikke et direkte mål på luseindusert dødelighet for utvandrende postsmolt av laks, men en indikator for utbredelsen av høyt smittepress. For en diskusjon om hvordan de ulike resultatene kan kombineres, se kapittel 5.2.4. VPS modellene har et sett med antakelser, blant annet valg av utvandringsruter som kan gi systematiske bias, derfor er HI ROC inkludert i figurene og i beregningene av akseptabelt lusenivå (Tab. 3) for å vise konsekvensene av andre antakelser. Det er verdt å merke seg at forskjellen mellom HI ROC og VPS modellene er størst i områder med lange utvandringsruter, feks i PO3 og PO4, RO3A (Hardangerfjorden) og RO4B (Sognefjorden). SINTEF VPS har kun estimater i områdene 2 til 7.

Sammenstillingen av modellene viser at spredningen er forskjellig i de ulike områdene. For produksjonsområdene så er modellene ganske samstemt og har liten spredning mellom år i områdene 2, 3, 4, 5, 7, 10, 11 og 12. Mens i produksjonsområdene 6, 8 og 9 er det større spredning som i hovedsak skyldes mellomårlig variasjon. HI ROC ligger høyt i flere produksjonsområder, samtidig som SINTEF VPS ligger lavt.



Figur 1. Akseptabelt lusenivå i oppdrett (antall millioner voksne hunnlus) i produksjonsområdene for å oppnå miljømålet for laks. Punktene viser ulike modellestimat fra Havforskningsinstituttet (HI ROC, HI VPS), Veterinærinstituttet (VI VPS) og SINTEF (Sintef VPS), i tillegg til tilbakeberegnet lusenivå basert på ekspertgruppevurderingen (VI ekspert). Den grå boksen viser spennet mellom 25- og 75-persentilen for alle verdiene, som også er gjengitt i Tabell 3, og streken viser medianverdien.

Spredningen av modellresultatene i reguleringsområdene følger i stor grad samme mønster som vist i produksjonsområdene, men merk også at reguleringsområde 2A tilsvarer produksjonsområde 2 og reguleringsområde 9A tilsvarer produksjonsområde 9.



Figur 2. Akseptabelt lusenivå i oppdrett (antall millioner voksne hunnlus) i reguleringsområdene for å oppnå miljømålet for laks. Punktene viser ulike modellestimat fra Havforskningsinstituttet (HI ROC, HI VPS), Veterinærinstituttet (VI VPS) og SINTEF (Sintef VPS). Den grå boksen viser spennet mellom 25- og 75-persentilen for alle verdiene, som også er gjengitt i Tabell 3, og streken viser medianverdien.

En enkel måte å kombinere resultatene fra ulike modeller, er å ta et gjennomsnitt eller en median av modellprediksjonene (det er det siste som er vist som sentermål i figurene ovenfor). Ulempen med en slik framgangsmåte er at det kan være grunner til å legge mer vekt på noen av modellprediksjonene, f.eks. hvis en modell systematisk over- eller underestimerer lusenivået på villfisk i et område. De røde punktene i Figur 1 viser estimater for akseptabelt lusenivå som er basert på siste to års ekspertvurderinger av luseindusert dødelighet i produksjonsområdene (se vedlegg III for framgangsmåten for beregningene). For de fleste produksjonsområdene samsvarer det ekspertbaserte estimatet godt med medianen av modellprediksjonene, for PO2 er det høyere enn de fleste modellprediksjonene mens for PO8 og PO9 er det lavere.

Tabell 3 viser median i tillegg til 25- og 75-persentilen for modellsammenstillingen vist i Figur 1 for produksjonsområdene og Figur 2 for reguleringsområdene. Merk at forskjellen mellom områdene PO2 og RO2A, og PO9 og RO9A, skyldes at VI ekspert bare er inkludert for produksjonsområdene og ikke for reguleringsområdene selv om disse områdene har helt lik utbredelse.

Tabell 3. Akseptabelt lusenivå i oppdrett (antall millioner voksne hunnlus) i produksjonsområdene (PO) og reguleringsområdene (RO) for å oppnå miljømålet for laks, basert på modellsammenstillingen i Figur 1 og 2.

PO	25-pers.	Median	75-pers.	RO	25-pers.	Median	75-pers.
1				1A			
				1B			
2	0,70	0,87	1,49	2A	0,67	0,86	1,30
3	0,76	1,05	1,40	3A	0,35	0,60	0,89
				3B	0,55	0,71	0,97
4	1,52	1,83	2,20	4A	0,30	0,60	0,83
				4B	0,40	0,43	0,98
				4C	0,57	0,90	1,20
				4D	0,32	0,48	0,68
5	1,44	1,66	2,20	5A	0,55	0,79	1,02
				5B	0,70	1,00	1,60
6	3,10	3,60	5,20	6A	0,59	0,75	1,10
				6B	1,95	2,79	3,87
7	0,80	1,50	1,88	7A	0,34	0,67	1,05
				7B	0,20	0,42	0,84
8	2,00	2,97	4,05	8A	1,00	1,63	2,20
				8B	1,08	1,68	2,19
9	1,90	3,86	4,73	9A	2,39	3,91	5,00
10	1,47	2,25	2,45	10A	1,03	1,38	1,75
				10B	0,44	0,75	1,08
11	1,22	1,70	1,94	11A	0,68	1,30	1,46
				11B	0,39	0,50	0,73
12	3,72	4,03	4,70	12A	0,27	0,44	0,82
				12B	1,26	1,49	1,60
				12C			
				12D			
13				13A			
				13B			

4.3 Akseptabelt lusenivå i oppdrett - sjøørret

For å beskrive lusenivåene med ulik grad av sikkerhet for å nå miljømålet for sjøørret, presenteres den laveste 25-persentilen, den gjennomsnittlige medianen og den høyeste 75-persentilen over årene 2022 til 2025. Den laveste 25-persentilen representerer et lusenivå der en med høy grad av sikkerhet vil nå miljømålet. Den gjennomsnittlige medianen representerer et lusenivå der det er like sannsynlig som ikke at miljømålet blir nådd, mens den høyeste 75-persentilen representerer et lusenivå der en med lav grad av sikkerhet vil nå miljømålet (Tabell 4). Usikkerheten er basert på variasjonen i de underliggende variablene til sjøørretmodellen: størrelse og tidspunkt for utvandring, tidspunkt for tilbakevandring og lusepåslag. Hovedkilden til usikkerhet kommer fra den observerte variasjonen i lusepåslag (Holstad et al. 2025).

Tabell 4. Akseptabelt lusenivå i oppdrett (antall millioner voksne hunnlus) som medfører 10% reduksjon i fitness for sjøørret, laveste 25-persentil, høyeste 75-persentil og gjennomsnittlig median over årene 2022 til 2025 i produksjonsområdene (PO) og reguleringsområdene (RO).

PO	25-pers.	Median	75-pers.	RO	25-pers.	Median	75-pers.
1				1A			
				1B	0,02	0,05	0,13
2	0,03	0,08	0,13	2A	0,03	0,08	0,13
3	0,08	0,25	0,46	3A	0,06	0,20	0,38
				3B	0,02	0,04	0,06
4	0,11	0,27	0,52	4A	0,11	0,18	0,26
				4B	0,05	0,17	0,47
				4C	0,02	0,04	0,07
				4D	0,02	0,04	0,06
5	0,05	0,12	0,24	5A	0,02	0,06	0,15
				5B	0,03	0,06	0,10
6	0,14	0,31	0,56	6A	0,03	0,08	0,17
				6B	0,10	0,24	0,43
7	0,04	0,10	0,20	7A	0,02	0,06	0,11
				7B	0,02	0,05	0,07
8	0,15	0,35	0,71	8A	0,08	0,18	0,38
				8B	0,06	0,16	0,29
9	0,16	0,38	0,78	9A	0,16	0,38	0,78
10	0,20	0,38	0,64	10A	0,13	0,24	0,40
				10B	0,04	0,17	0,41
11	0,37	0,66	1,06	11A	0,19	0,40	0,70
				11B	0,14	0,26	0,43
12	0,47	1,25	2,44	12A	0,09	0,20	0,34
				12B	0,17	0,39	0,98
				12C	0,28	0,69	>0,93
				12D	0,11	0,23	0,43
13				13A			
				13B			

5 Råd og anbefalinger

5.1 Forutsetninger og rammer for rådet

5.1.1 Vurdering av hensiktsmessig geografisk avgrensning av reguleringsområder

I en egen delrapport (Vedlegg I, Sævik et al. 2026) har det blitt undersøkt hva som er hensiktsmessig geografisk avgrensning av reguleringsområder, med tanke på best mulig måloppnåelse. Rapporten peker på at dagens 13 produksjonsområder ble innført med en annen hensikt, nemlig å begrense smitte av lakselus mellom oppdrettsanlegg, mens målet med den nye bestillingen fra NFD er å begrense smitte av lakselus fra oppdrettsanlegg til villfisk. Dette gjør at vurderingene omkring geografisk avgrensning blir noe annerledes enn vurderingene som ble gjort da produksjonsområdene ble innført.

Rapporten anbefaler at hvert av de eksisterende 13 produksjonsområdene deles opp i 1-4 mindre reguleringsområder, totalt 28 områder. Hvert av de nye områdene er angitt med et tall og en bokstav, der tallkoden viser til det opprinnelige produksjonsområdet og bokstaven viser til delområdet (1A, 1B, 2A osv.).

Hovedårsaken til at det anbefales en struktur med flere soner, er at de 13 produksjonsområdene ikke har tilstrekkelig homogenitet. Med andre ord har det stor betydning hvor i området utslippet av lakselus skjer, og dette gir stor usikkerhet i beregningen av akseptabelt lusenivå. Den foreslåtte strukturen av 28 reguleringsområder har bedre homogenitet, men fortsatt har det en betydelig effekt dersom utslipp av lakselus flyttes innenfor et område, f.eks. gjennom kjøp og salg av kvoter, eller ved flytting/lukking av anlegg.

Hovedårsaken til at det ikke anbefales enda flere områder, er at dette vil øke betydningen av eksternsmitte, altså smitte som krysser grensen mellom reguleringsområder. Høy eksternsmitte gjør at akseptabelt lusenivå i et område vil være sterkt avhengig av hvorvidt nærliggende områder (over)oppfyller grenser for lusenivå, og dette øker graden av usikkerhet i beregningene.

Den foreslåtte reguleringsområdestrukturen er derfor et kompromiss mellom ønsket om stor homogenitet og ønsket om liten eksternsmitte. Dagens lokalitetsstruktur gjør at disse to kriteriene er vanskelig å oppfylle samtidig.

5.1.2 Dagens lokalitetsstruktur og driftsform

Det er spesifisert i bestillingen at lusenivået i oppdrett skal beregnes på områdenivå basert på dagens lokalitetsstruktur og driftsform. Det betyr i praksis at utslippene er låst til dagens plassering av anlegg, og ingen utslippspunkter er lagt til eller trukket fra i disse beregningene. Men i beregningene er det brukt ulike metoder for å fordele utslippene blant de anleggene som har vært aktive de siste fire årene, for eksempel basert på historiske utslipp eller en lik fordeling på alle anlegg/fisk. Det er viktig å merke seg at akseptabelt lusenivå innen et område vil variere mye med lokalitetsstrukturen. Spesielt med tanke på at dette er et nytt forvaltningssystem, og det eksisterer ingen kunnskap om hvordan næringen vil tilpasse seg til et slikt system.

For å illustrere hvor stor effekt omrokkeringer innad i et område kan ha på det totale lusenivået så har HI gjort flere sensitivitetstester (se figur 7 i Vedlegg II). For eksempel, ved en omfordeling av 20 % av utslippene innen reguleringsområde 3A (Hardangerfjorden), så varierte den modellerte dødeligheten på utvandrende smolt mellom 6 % og 14 %, som tilsvarer en endring i lusenivå fra 0,3 til 0,7 millioner voksne hunnlus. For dette reguleringsområdet så betyr det at forskjellen mellom en gunstig og en ugunstig geografisk fordeling av utslippene tilsvarer mer enn en dobling av utslippsnivået som området tåler.

Flere prosjekter har vist hvordan strategiske tiltak bidrar effektivt til reduksjon i smittepresset, som for

eksempel «Fra rødt til grønt». I rødt til grønt II (Skår et al. 2025) ble HI sin metapopulasjonsmodell (kombinasjon av temperatur-avhengig luseutvikling på anlegg med strømavhengig lusespredning) brukt til å undersøke effekten av å innførte null-lusteknologi på anlegg i Nordhordland; et avgrenset område innenfor PO4. Resultatene viser at ved strategisk lukking av anlegg, det vil si innføring av null-lusteknologi på de anleggene som hadde størst luseeksport til andre anlegg, ble nedgangen i antall avlusninger større enn dersom man lukket anleggene basert på mindre strategiske kriterier (hvert enkelt firma i området innførte null-lusteknologi på ett anlegg). Da 11 lokaliteter ble lukket strategisk i modellen, ble antall avlusninger redusert med 77 % innenfor området, mens en noe mindre strategisk lukking (der det ble tatt hensyn til at valg av lokaliteter også skulle fordeles mellom selskapene i området) førte til en 59 % reduksjon. Luseeksporten er svært skjevt fordelt mellom anleggene, f.eks. står de seks anleggene med størst luseeksport for over halvparten av luseeksporten i modellen (av 45 anlegg), mens andre anlegg er plassert slik at de har svært lite eksport av lus til andre lokaliteter.

Lusenivået som er rapportert her vil for mange produksjonsområder og reguleringsområder være langt unna dagens situasjon. Det er allikevel rimelig å anta at strategiske tilpasninger av dagens lokalitetsstruktur, som i større grad reduserer smittepresset og spredning til vill fisk, vil kunne tillate et høyere akseptabelt lusenivå i fremtiden enn som beskrives i denne rapporten.

Med utgangspunkt i dagens lokalitetsstruktur så vil det i enkelte produksjonsområder/reguleringsområder være veldig få anlegg i drift. Det blir urealistisk å anta at all fremtidig økning i lusenivå vil være låst til dagens lokaliteter, mye av en potensiell produksjonsvekst her vil måtte skje på nye lokaliteter. Å beregne akseptabelt lusenivå vil derfor medføre stor usikkerhet, er derfor noen områder utelatt fra beregningene. For laks så gjelder dette produksjonsområde 1 og 13, og reguleringsområdene 1A, 1B, 12C, 12D, 13A og 13B. For sjøørret gjelder dette produksjonsområde 1 og 13, og reguleringsområde 1A, 12D, 13A og 13B. Områdene varierer noe mellom artene på grunn av ulike betingelser i modellene. For sjøørret har ikke vurderinger blitt gjort i områder der lusenivået må økes mer enn en dobling, mens for laks har det ikke blitt gjort vurderinger i områder med færre enn 6 anlegg.

5.1.3 Konsekvenser av uvektede gjennomsnitt på dødelighet i et område

Når man tar utgangspunkt i uvektede gjennomsnitt for å beregne dødelighet i et område, betyr det i praksis at alle bestander teller likt uavhengig av størrelse. Det kan imidlertid være stor spredning i påvirkningsgrad på den enkelte bestand. Denne spredningen, også kalt heterogenitet, varierer mye mellom produksjonsområder og reguleringsområder. Dette er eksemplifisert i figur 8 i Vedlegg II. Produksjonsområde 9 har størst spredning; der varierer dødeligheten på utvandrende smolt mellom 0 % og over 30 % mellom ulike elver, selv om gjennomsnittet er på 10 %. Ved å bruke reguleringsområder i stedet for produksjonsområder så reduseres spredning i flere områder, spesielt for produksjonsområde 4 og 7.

Noen vassdrag ligger langt unna områder med oppdrett (for eksempel vassdragene innerst i Sognefjorden og Trondheimsfjorden, og store deler av produksjonsområde 1). Disse vassdragene vil få liten påvirkningsgrad i sjøørretmodellen på grunn av sjøørretens relativt korte sjøvandring. Dette gjør at det kan bli store forskjeller mellom nærliggende reguleringsområder i akseptabelt lusenivå for sjøørret. Reguleringsområder som inkluderer vassdrag som ligger langt unna områder med oppdrett vil få et høyere akseptabelt lusenivå enn reguleringsområder som ikke har slike vassdrag. Dette kan ha konsekvenser for oppdrettsnære sjøørretbestander som vil få høyere lusebelastning fordi det inkluderes vassdrag i beregningen av akseptabelt lusenivå som ligger utenfor påvirkningssonen av lakselus fra anlegg. For å redusere heterogeniteten i påvirkning blant vassdrag innen og mellom reguleringsområder, kan man vurdere hvilke vassdrag som skal inkluderes innenfor hvert reguleringsområde for å fastsette akseptabelt lusenivå.

5.1.4 Hvilke arter inkluderes i kvoteberegningene?

Bestillingen spesifiserer at miljømålet gjelder all laksefisk, altså laks, sjøørret og sjørøye. I trafikklyssystemet benyttes fire modeller og tre ulike typer overvåkingsdata (trål, ruse, vaktbur) for å vurdere lakselusas påvirkning på utvandrende postsmolt av laks, mens det benyttes en modell for sjøørret med indikatorverdier i form av reduksjon i fitness på første- og andregangsvandrende sjøørret. Laks har vært inkludert i trafikklyssystemet siden oppstarten i 2016, mens sjøørret ble vedtatt utredet med egen indikator for inkludering i trafikklyssystemet i 2023. Kunnskapsnivået om lakselusas påvirkning på sjørøye er dårligere enn for laks og sjøørret. Dette betyr imidlertid ikke at lakselusa også kan ha alvorlige konsekvenser for sjørøyas overlevelse og vekst. Sjørøye er i dag ikke inkludert i trafikklyssystemet med egen indikator.

I denne rapporten er akseptabelt lusenivå beregnet for å oppnå maks dødelighet på 10 % på utvandrende laksesmolt med tre forskjellige modeller og 10 % reduksjon i fitness for sjøørret med en modell. Per i dag så finnes det ingen modeller som beregner tilsvarende for sjørøye. Derfor oppgis det bare utslippsberegninger for utvandrende laksesmolt og sjøørret, men ikke for sjørøye fordi det ikke eksisterer et tilstrekkelig kunnskapsgrunnlag.

5.2 Kilder til variasjon og usikkerhet

5.2.1 Kvalitet på tellinger i anlegg

En viktig forutsetning for innføring av lusekvoter er god kvalitet på data fra anleggene. Kvaliteten på manuelle lusetellinger er trolig høyst variabel innad i næringen gitt en rekke identifiserte feilkilder. Metode for fangst av fisk kan påvirke representativitet av fisk som telles for lus, og grad av kontakt mellom fisk og fangstredskap påvirker andel lus som faller av fisken før den blir bedøvet. Det stilles ikke videre krav til denne delen av operasjonen i Luseforskriften utover representativitet, som er vanskelig å dokumentere. Forskriften stiller krav til telling av voksne hunnlus med og uten eggstrenger og telling av lus som faller av under bedøvelse (§3, §16 Vedlegg 1). Det er variabelt hvordan dette etterleves, som kan gi betydelige utslag på det innrapporterte lusetallet. Forskriften stiller krav til nøyaktig telling, hvor ulik praksis og kunnskapsnivå også er kilder til variasjon.

Modellering av nøyaktige manuelle lusetellinger (AutoSOP-tellemetodikk) viser at større utvalg (flere fisk per merd) bedre oppdager overskridelser av grenseverdier og reduserer sannsynligheten for falske overskridelser. F.eks. dersom det faktiske lusetallet er 0,6 og tiltaksgrensen er 0,5, vil en ved telling av 20 fisk overstige tiltaksgrensen i 71 % av tilfellene, eller 75 % med 30 fisk, 81 % med 50 fisk, og 89 % med 100 fisk. Mer enn 300 fisk er nødvendig for å oppdage dette i over 99 % av tilfellene.

Automatiske tellesystemer muliggjør kontinuerlig overvåking og kan dermed telle hundre- eller tusenvis av fisk per dag. Til tross for dette viser automatiske tellesystemer store daglige variasjoner i lusetall, som indikerer at representativiteten og/eller systemytelsen varierer. Inntil videre er det ikke kjent hvor stor variasjon det er mellom leverandører av automatisk lusetelling i presisjon for deteksjon av lus, eller hvordan presisjonen påvirkes av ulike miljøforhold i sjøen, som redusert sikt. For de fleste tellesystemer er lusedeteksjonen høyere enn hva oppdrettere teller, som har medført at rapporterte tall er justert ned med faktor som fastsatt av leverandør av det enkelte tellesystem. Bruken av automatisk lusetelling øker stadig i norsk oppdrett av laks og regnbueørret. Andelen merder det i dag rapporteres automatisk baserte lusetall fra er imidlertid ukjent ettersom tellemetodikk ikke spesifiseres i rapporteringen.

Pågående arbeid hos HI gjennom 2026 (bestilt av Mattilsynet, og FHF-prosjektet LuseMet) vil resultere i råd for manuell lusetelling, validering av automatisk lusetelling, og inkludere kunnskap om ytelsen til automatiske tellesystemer.

En annen kilde til usikkerhet er knyttet til registrering av antall fisk. Det er godt dokumentert at antall fisk per produksjonsenhet kan være beheftet med betydelig unøyaktighet som følge av avvik i telling gjennom produksjonsløpet, herunder ved håndtering, flytting og splitting av fisk, noe som kan gi avvik på flere prosent mellom oppgitte og faktiske antall og dermed få direkte betydning for beregning av lusekvoter .

5.2.2 Modellforutsetninger

Kunnskapsstatus på tålegrenser for laks er diskutert i kap. 4.1 i ekspertgrupperapporten fra 2025 (Stige et al. 2025). I samme rapport og i vedleggsrapportene diskuteres også andre modellforutsetninger og usikkerhetskilder i beregningene, slik som dødeligheten til fastsittende stadier av lus og sammenhengen mellom beregnet smittepress og lusepåslag. Effekten av lakselus deles inn i direkte (dødelighet) og indirekte effekter (tapt tilvekst, prematur tilbakevandring, økt risiko for predasjon, økt mottakelighet for sykdom, utsatt alder ved kjønnsmodning, redusert fekunditet o.l.). For beregningene av dødelighet (laks) eller fitness (sjøørret) har en tatt utgangspunkt i tabell 3.5.1 (utvandrende laksesmolt og første gangs utvandrende sjøørret og sjørøye < 150 g) og tabell 3.5.2 (veteranvandrere og modnende individer av sjøørret og sjørøye) i Taranger et al. (2012). Tabellene er basert på relativt få laboratorieforsøk på hovedsakelig oppdrettet eller kultivert fisk, samt noen observasjoner fra felt. I etterkant har det blitt gjort ytterligere laboratorieforsøk som har dokumentert en rekke direkte og indirekte effekter på vill laksefisk (Pioch et al. 2025; Bui et al. 2024; Fjelldal et al. 2019; Fjelldal et al. 2022; Fjelldal et al. 2025). Nylig er det gjort to forsøk på vill laksesmolt tatt inn i laboratoriet, hvor effekten av mengden lus på en fisk på bl.a. fysiologi, tilvekst og dødelighet er undersøkt. Disse forsøkene viser at effekten på vill laksefisk ikke avviker vesentlig fra tidligere forsøk med oppdrettet og kultivert laks.

Overføringsverdien av tålegrensen for lakselus fra labforsøk til naturen er omdiskutert da fisken i laboratoriet er beskyttet fra naturlige påvirkningsfaktorer som f.eks. predasjon, mangel på mat og sekundære infeksjoner. Fisk som er tatt fra naturen og flyttet inn i lab er beskyttet mot disse, men vil trolig oppleve denne overgangen som stressende. Forsøkene nevnt ovenfor viste en redusert vekst også hos fisk som ikke døde i forsøket. I forsøk hvor postsmolt som er medikamentelt beskyttet mot lakselus sluppet ut utenfor elver ble sammenlignet med ubeskyttede kontrollgrupper og overlevelsen er målt som antall tilbakevandrende, finner en at effekten av lakselus er større når den generelle overlevelsen (dvs. til medikamentelt beskyttet laks) er lav. Dette kan indikere at tålegrensene en finner fra labforsøk er konservative. At de benyttede tålegrensene er konservative understøttes av et nylig publisert arbeid hvor antall lus estimert med Veterinærinstituttets postsmoltmodell har blitt sammenholdt med tilbakevandringen av laks i en rekke ulike lakseelver (Jansen et al. 2026). Studien indikerer at modellen underestimerer effekten av lus på reduksjonen i totalantall laks som returnerer for å gyte. Samtidig er høy modellert lakseluspåvirkning knyttet til redusert andel av laks som returnerer etter én vinter i sjøen, sannsynligvis på grunn av redusert vekst og forsinket kjønnsmodning.

Da det er usikkerhet om både tålegrensene for lakselus til vill laks i naturen og for utvandringstid, er det gjort sensitivitetsanalyser hvor en bl.a. har testet effekten av å halvere og doble tålegrensene for lus. Som vist i vedleggsrapportene har endringer i tålegrenser for lus stor betydning for beregningene av hvilken lusemengde som gir 10 % luseindusert dødelighet/fitnessreduksjon. Ekspertgruppen for Trafikklyssystemet vurderer tålegrensene i Taranger et al. (2012) som de mest sannsynlige ut ifra dagens kunnskap, men poengterer at mer kunnskap er nødvendig.

Det er gjort sensitivitetsanalyser for ulike antakelser i sjøørretindikatoren med utgangspunkt i et akseptabelt lusenivå som gir 10 % reduksjon i fitness (miljømålet). Sensitivitetsanalysene testet en dobling og halvering av tålegrensene for lus, ytterpunktene for andelen sjøørret som vandrer tilbake til ferskvann eller dør når den blir lusepåvirket (0:100 og 100:0) og andelen av luselarvene som fester seg på fisken som dør før de blir mobile og

fører til en påvirkning på fisken (60 % og 20 %). Modellen er sensitiv for disse antakelsene, men ingen av verdiene i sensitivitetsanalysen ligger utenfor 95 % konfidensintervallet til sjøørretindikatoren under et akseptabelt lusenivå. Dette tyder på at hovedkilden til usikkerhet (usikkerhet i lusepåslag) er inkludert i modellen. Det antas derfor at 95 % konfidensintervallet til indikatorverdiene, presentert som akseptabelt lusenivå i tabeller i kap. 9 og 13.1 i vedlegg V, gir rimelige ytterpunkter for sannsynlige verdier.

5.2.3 Mellomårlig variasjon

I Tabell 1 og 2 er akseptabelt lusenivå i oppdrett oppgitt som et intervall som gjenspeiler en mellomårlig variasjon. Denne variasjonen skyldes mellomårlig variasjon i både fysiske faktorer som strømmønster, temperatur og saltholdighet, og variasjon i antall voksne hunnlus mellom lokalitetene, mens utvandringstidspunktet og utvandringsrutene er holdt konstant. Det er også gjort sensitivitetsanalyser som viser mellomårlig variasjon i tidlig og sen utvandring.

5.2.4 Variasjon mellom modeller

Sammenstillingen av de ulike modellresultatene, som vist i avsnitt 4.2, er inspirert av IPCC sin multimodell-ensemble-fremstilling. Denne måten å fremstille ulike modeller på er nyttig av to hovedgrunner: for å få et best mulig estimat på «mest sannsynlig» utvikling, og for å vise usikkerhet og mulige ytterpunkter.

Hver enkelt modell har sine styrker og svakheter, en modell kan ha systematisk skjevhet. Når man bruker et ensemble av flere modeller med ulike forutsetninger og ser på gjennomsnittet, vil potensielle skjevheter delvis kansellere hverandre. Dette gir et mer robust estimat av den sentrale utviklingen enn en enkelt modell alene. Spennet mellom modellene i ensemblet gir informasjon om hvor følsomt resultatet er for ulike antakelser og modellstrukturer. Et smalt spenn tyder på at modellene er relativt enig, og at resultatet er mer robust. Et bredt spenn viser at det finnes betydelig modellusikkerhet, og at beslutninger bør ta høyde for flere mulige utfall.

Modeller utvikles av ulike forskergrupper, med forskjellig numerisk oppbygning, parameterisering og datasett. Et multimodell-ensemble utnytter bredden i kunnskap i stedet for å låse seg til én bestemt modelltradisjon. Man prøver å utnytte forskjellene heller enn å strømlinje modellene. Dette gir større metodisk uavhengighet og øker tilliten til mønstrene som går igjen på tvers av modeller.

Ved å vurdere resultater fra flere modeller, får man et mer robust grunnlag for beslutninger. Som det framgår av Figur 1 og Figur 2, gir ulike modeller litt ulike prediksjoner. Disse forskjellene har sammenheng med forskjeller i modellforutsetninger og modelloppbygning. Forskjellen mellom modeller er for de fleste områder imidlertid mindre enn forskjellen mellom år for hver modell. Dette tyder på at hovedtrekkene i resultatene er robuste med hensyn på valg av modell. Merk samtidig at resultatene er sensitive for enkelte av modellforutsetningene, slik som laksesmoltens tålegrenser for lus og utvandringstidspunkt (se vedleggsrapporter). Variasjonen mellom estimatene i figurene viser derfor ikke alle kilder til usikkerhet.

Et alternativ er å gjøre ekspertvurderinger av modellresultatene i kombinasjon med annen informasjon, slik som det årlig gjøres for luseindusert dødelighet i produksjonsområdene i Trafikklyssystemet (se f.eks. (Stige et al. 2025)). Det er da mulig å tolke resultatene i lys av forutsetningene og usikkerhetene for hver metode. Ekspertvurderinger kan enten gjøres for sammenhengen mellom lusenivå i oppdrettsanlegg og luseindusert dødelighet hos villfisk (sjeldnere enn hvert år), eller for luseindusert dødelighet i hvert produksjonsområde (årlig).

5.3 Størrelsen på et akseptabelt lusenivå

Miljømålet satt av NFD gjelder alle tre laksefiskartene, og departementet ber om en vurdering av om det er hensiktsmessig at grensen for akseptabelt utslippsnivå varierer gjennom året. I denne rapporten er akseptabelt

lusenivå oppgitt for laks (avsnitt 4.2) og sjøørret (avsnitt 4.3). Grunnet kunnskapsnivået er det ikke beregnet et akseptabelt lusenivå for sjørøye. Generelt betyr det at laksen når det satte miljømålet ved et akseptabelt lusenivå for sjøørret, men ikke motsatt. Dette medfører at det kan få uheldige konsekvenser for sjøørret (og sannsynligvis sjørøye) om det i perioder slippes ut nivåer av lakseluslarver som kun er akseptabelt for laks og ikke de to andre artene.

Alle tre artene vandrer vanligvis ut i sjøen om våren/forsommeren (Tabell 5). Mens laksen vandrer ut til oppvekstområdene langt ut i havet oppholder sjøørreten og sjørøya seg kystnært og i fjordene. Oppholdstiden i områder med høy lusebelastning kan derfor variere mye mellom artene (Tabell 5). Mens laksen typisk blir eksponert i noen dager eller få uker, kan sjøørret og sjørøye bli eksponert for høy lusebelastning i uker og måneder. Sjørøyas sjøvandringer er dårligere undersøkt enn for laks og sjøørret, men den har en atferd som ligner sjøørreten, og oppholdstiden i sjøen er sannsynligvis noe kortere. Sjøørret og sjørøye er derfor i sjøen i samtidig med laksen, men kan bli der i lang tid etter at laksen har forlatt kystnære områder.

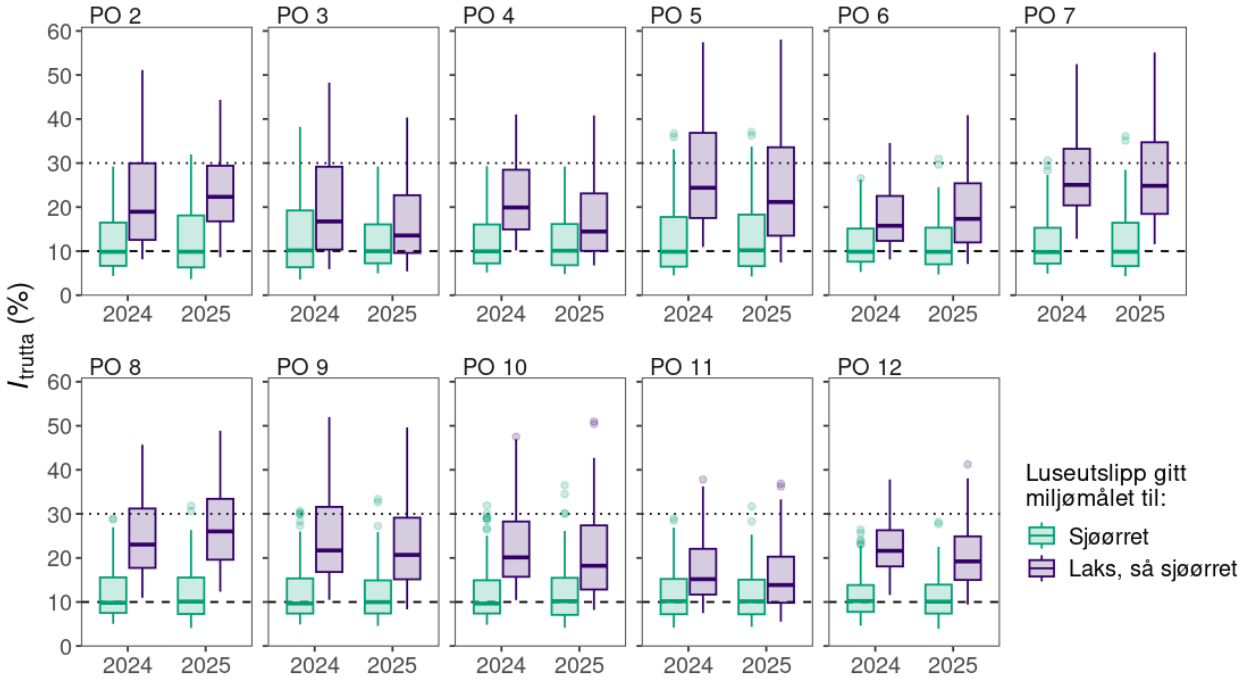
Den lange eksponeringstiden gjør sjøørret mer utsatt for lakselus enn laksen. Gjennomgående i alle de undersøkte produksjonsområder, alternativt reguleringsområder, er det akseptable lusenivået i oppdrettsanleggene derfor høyere for laks enn for sjøørret. Konsekvensen av dette er at om en i perioder av året, f.eks. når laksen vandrer ut av elvene om våren, innfører en lusegrense basert på miljømålet for laks vil det med samme målsetning være for høyt for sjøørret.

For å illustrere denne problemstillingen er konsekvensen for sjøørret vurdert om det om våren, er et lusenivå i oppdrettsanlegg basert på miljømålet for laks. Om det resten av året slippes ut lus i henhold til miljømålet for sjøørret vil det medføre en betydelig negativ endring i indikatorverdien for sjøørreten, i noen produksjonsområder til mer enn 20 % (Figur 3).

Tabell 5. Utvandringsperiode for postsmolt av laks og for opphold i sjø for sjøørret.

	Utvandringsperiode postsmolt laks fra elvene (forutsatt i Trafikklyssystemet)		Opphold i sjø for sjøørret (i sjøørretmodellen)		
RO	**Startdato**	**Sluttdato**	**Startdato***	**Sluttdato****	**Gjennomsnittlig sjøopphold (dager)*****
1A	24-04	23-06	01-03	30-09	102
1B	19-04	10-06	01-03	30-09	100
2A	20-04	19-06	01-03	30-09	100
3A	24-04	02-07	01-03	30-09	97
3B	23-04	16-06	01-03	30-09	91
4A	24-04	19-06	01-03	30-09	94
4B	25-04	08-07	01-03	30-09	94
4C	27-04	18-06	01-03	30-09	92
4D	28-04	25-06	01-03	30-09	90
5A	28-04	26-06	01-03	30-09	89
5B	30-04	26-06	01-03	30-09	88
6A	01-05	24-06	01-03	30-09	86
6B	03-05	14-07	01-03	30-09	82
7A	10-05	07-07	01-03	30-09	78
7B	15-05	07-07	02-03	30-09	75
8A	16-05	14-07	08-03	30-09	73
8B	20-05	13-07	17-03	30-09	68
9A	20-05	23-07	13-03	30-09	61
10A	20-05	19-07	29-03	30-09	60
10B	24-05	18-07	19-03	30-09	58
11A	29-05	24-07	30-03	30-09	59
11B	30-05	26-07	15-03	30-09	59
12A	06-06	30-07	25-03	30-09	57
12B	09-06	30-07	15-04	30-09	53
12C	10-06	06-08	31-03	30-09	54
12D	09-06	01-08	12-04	30-09	51
13A	08-06	29-07	02-04	30-09	50
13B	07-06	30-07	02-04	30-09	56

*Første individ i sjøen eller start på modellperioden (1. mars). **Modellperioden er avsluttet 30. september, alle områder har fortsatt sjøørret i sjøen. ***Normal sjøvandring, uten lusepåvirkning og prematur tilbakevandring



Figur 3. Endring i sjøørretindikatoren (I_{trutta}) dersom det reguleres etter miljømålet for laks i laksens utvandringsperiode. Grønne bokser viser 25., 50. og 75. persentilene til usikkerhetsfordelingen av sjøørretindikatoren (I_{trutta}) dersom det slippes ut lakselus fra oppdrettsanlegg tilsvarende miljømålet for sjøørret i hele modellperioden (1. mars til 30. september) i PO 2-12 i 2024 og 2025, strekene gir 2,5. og 97,5. persentilene. 50-persentilen gir indikatorverdien til produksjonsområdet og ligger på miljømålet for sjøørret på 10 %. Lilla bokser viser tilsvarende usikkerhetsfordeling av I_{trutta} dersom det om våren under utvandringsperioden til laks (fra Stige m.fl. 2025) slippes ut lakselus fra oppdrettsanlegg tilsvarende miljømålet for laks (data fra HI sin VPS-modell), og resten av modellperioden tilsvarende miljømålet for sjøørret. 50-persentilen (tykkere horisontal strek) gir indikatorverdien for produksjonsområdet.

Utslippet av lakseluslarver fra oppdrett kan i noen år i noen av produksjonsområdene være høyt om vinteren, f.eks. produksjonsområde 4. I mange av områdene er utslippet høyere om vinteren enn om våren når laksefisken vandrer ut fra elvene (se figur 3 i vedlegg III), og det er rapportert om høye lusetall på sjøørret som er i sjøen om vinteren (Vollset and Barlaup 2014).

Andelen av bestandene av laks, sjøørret og sjørøye som eksponeres for lakselus om vinteren er trolig lav. I noen sjøørretbestander kan imidlertid en betydelig andel av fisken vandre ut i havet igjen etter at de har gytt om høsten og bli der i lengre tid eller vandre opp i andre vassdrag med bedre leveforhold. Vassdragenes vannføring og om det er gode overvintringslokaliteter (f.eks. innsjøer eller store kulper) er faktorer som vil påvirke hvor stor andel som vandrer ut i havet igjen. Videre så vil en andel av den umodne sjøørreten forbli i havet om høsten og vinteren, spesielt om den kommer fra vassdrag med dårlig vinterforhold og det i tillegg er få større vassdrag i nærheten som de kan vandre opp i. Lakselusutslipp om vinteren vil kunne påvirke sjøørretbestander, spesielt bestander hvor en høy andel er i sjøen om vinteren. Det finnes ikke kunnskap idag til å vurdere andelen sjøørret i den enkelte bestand som oppholder seg i sjøen, og den vil også kunne variere mellom produksjonsområder/reguleringsområder avhengig av vassdragstypene i området. Det er derfor i denne rapporten ikke gjort modelleringer av konsekvensen av miljømålet for sjøørret om vinteren.

5.4 Hvor ofte bør lusenivået beregnes per område?

Akseptabelt lusenivå bør i utgangspunktet justeres annet hvert år på grunn av at produksjonssyklusen ligger opp mot 24 måneder. Men dette vil også avhenge av hvordan næringen tilpasser seg et nytt forvaltningssystem og hvor raskt endringer i lokalitetsstruktur og driftsform skjer som følge av det.

Vedlegg

Vedlegg I: Forslag til reguleringsområder for utslipp av lakselus. Sævik et al. (2026)

Vedlegg II: Akseptabelt utslipp av lakselus innenfor miljømål. Johnsen et al. (2026). Havforskningsinstituttet

Vedlegg III: Sammenheng lusemengde i oppdrettsanlegg og luseindusert dødelighet hos postsmolt av villaks. Stige et al. (2026). Veterinærinstituttet

Vedlegg IV: Beregnet utslipp av lakselus som tilfredsstiller miljømålet om 10% dødelighet hos vill laksefisk. Ellingsen og Knutsen (2026). SINTEF

Vedlegg V: Utslippsnivå av lakselus for sjøørret med miljømål om grønt lys. Holstad et al. (2026). NINA

Referanser

Albretsen, J., A.K. Sperrevik, A. Staalstrøm, A. D. Sandvik, F. B. Vikebø, and L. Asplin. 2011. "NorKyst-800 report no. 1: User manual and technical descriptions." In *Fisken og Havet*, 51.

Aldrin, M., P. A. Jansen, and H. Stryhn. 2019. 'A partly stage-structured model for the abundance of salmon lice in salmonid farms', *Epidemics*, 26: 9-22.

Asplin, Lars, Jon Albretsen, Ingrid Askeland Johnsen, and Anne Dagrun Sandvik. 2020. 'The hydrodynamic foundation for salmon lice dispersion modeling along the Norwegian coast', *Ocean Dynamics*, 70: 1151-67.

Aykanat, T., J. A. Jacobsen, and K. Hindar. 2025. 'Diet predicts performance trade-offs during Atlantic salmon ontogeny', *Marine Ecology Progress Series*, 762: 85-97.

Beaugrand, Grégory, and Philip C. Reid. 2012. 'Relationships between North Atlantic salmon, plankton, and hydroclimatic change in the Northeast Atlantic', *ICES Journal of Marine Science*, 69: 1549-62.

Bekkevold, Dorte, Johan Höjesjö, Einar Eg Nielsen, David Aldvén, Thomas Damm Als, Marte Sodeland, Matthew Peter Kent, Sigbjørn Lien, and Michael Møller Hansen. 2020. 'Northern European Salmo trutta (L.) populations are genetically divergent across geographical regions and environmental gradients', *Evolutionary Applications*, 13: 400-16.

Berg, Ole Kristian, and Magnus Berg. 1989. 'Sea Growth and Time of Migration of Anadromous Arctic Char (Salvelinus alpinus) from the Vardnes River, in Northern Norway', *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 46: 955-60.

Birnie-Gauvin, Kim, Eva B. Thorstad, and Kim Aarestrup. 2019. 'Overlooked aspects of the Salmo salar and Salmo trutta lifecycles', *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 29: 749-66.

Bolstad, Geir H., Ola H. Diserud, Rachel A. Paterson, Eva M. Ulvan, Sten Karlsson, Ola Ugedal, and Tor F. Næsje. 2025. 'A fitness-based indicator for the effect of aquaculture-produced salmon lice on wild sea trout', *ICES Journal of Marine Science*, 82: fsae192.

Bourret, Vincent, Matthew P. Kent, Craig R. Primmer, Anti Vasemägi, Sten Karlsson, Kjetil Hindar, Philip McGinnity, Eric Verspoor, Louis Bernatchez, and Sigbjørn Lien. 2013. 'SNP-array reveals genome-wide patterns of geographical and potential adaptive divergence across the natural range of Atlantic salmon (Salmo salar)', *Molecular Ecology*, 22: 532-51.

Bui, Samantha, Per Gunnar Fjelldal, Malthe Hvas, Ørjan Karlsen, and Sussie Dalvin. 2024. 'Louse-induced mortality thresholds in Atlantic salmon of wild-origin', *Conservation Science and Practice*, 6: e13079.

Dempster, T., K. Overton, S. Bui, L. H. Stien, F. Oppedal, Ø Karlsen, A. Coates, B. L. Phillips, and L. T. Barrett. 2021. 'Farmed salmonids drive the abundance, ecology and evolution of parasitic salmon lice in Norway', *Aquaculture Environment Interactions*, 13: 237-48.

Duval, Eloïse, Øystein Skaala, María Quintela, Geir Dahle, Aurélien Delaval, Vidar Wennevik, Kevin A. Glover, and Michael M. Hansen. 2021. 'Long-term monitoring of a brown trout (Salmo trutta) population reveals kin-associated migration patterns and contributions by resident trout to the anadromous run',

BMC Ecology and Evolution, 21: 143.

Eldøy, S. H., X. Bordeleau, M. J. Lawrence, E. B. Thorstad, A. G. Finstad, F. G. Whoriskey, G. T. Crossin, S. J. Cooke, K. Aarestrup, L. Rønning, A. D. Sjursen, and J. G. Davidsen. 2021. 'The effects of nutritional state, sex and body size on the marine migration behaviour of sea trout', *Marine Ecology Progress Series*, 665: 185-200.

Eldøy, Sindre Håvarstein, Jan Grimsrud Davidsen, Eva Bonsak Thorstad, Fred Whoriskey, Kim Aarestrup, Tor Fredrik Næsje, Lars Rønning, Aslak Darre Sjursen, Audun Håvard Rikardsen, and Jo Vegar Arnekleiv. 2015. 'Marine migration and habitat use of anadromous brown trout (Salmo trutta)', *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 72: 1366-78.

Elliott, J. M. 1995. 'Fecundity and egg density in the redd for sea trout', *Journal of Fish Biology*, 47: 893-901.

Finstad, Bengt, Kjell J. Nilssen, and Arne M. Arnesen. 1989. 'Seasonal changes in sea-water tolerance of Arctic charr (Salvelinus alpinus)', *Journal of Comparative Physiology B*, 159: 371-78.

Fjelldal, P. G., T. J. Hansen, Ø Karlsen, and D. W. Wright. 2019. 'Effects of laboratory salmon louse infection on Arctic char osmoregulation, growth and survival', *Conservation Physiology*, 7: coz072.

Fjelldal, Per Gunnar, Sussie Dalvin, Christine Sørfonn, Bjørnar Skjold, Audun Østby Pedersen, Tom J Hansen, and Ørjan Karlsen. 2025. 'Physiological responses in sea trout to repeated salmon louse infections and freshwater', *Conservation Physiology*, 13.

Fjelldal, Per Gunnar, Thomas W K Fraser, Tom J Hansen, Ørjan Karlsen, and Samantha Bui. 2022. 'Effects of laboratory salmon louse infection on mortality, growth, and sexual maturation in Atlantic salmon', *ICES Journal of Marine Science*, 79: 1530-38.

Gibson, R. J. 1993. 'The Atlantic salmon in fresh water: spawning, rearing and production', *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 3: 39-73.

Griffiths, Andrew M., Itsuro Koizumi, Dylan Bright, and Jamie R. Stevens. 2009. 'A case of isolation by distance and short-term temporal stability of population structure in brown trout (Salmo trutta) within the River Dart, southwest England', *Evolutionary Applications*, 2: 537-54.

Grimnes, A., and P. J. Jakobsen. 1996. 'The physiological effects of salmon lice infection on post-smolt of Atlantic salmon', *Journal of Fish Biology*, 48: 1179-94.

Hagen, Ingerid J., Øystein Skaala, María Quintela, Geir Dahle, Peder Fiske, Anders Foldvik, Kevin A. Glover, Kjetil Hindar, Halvor Knutsen, Håvard Lo, Marte Sodeland, Harald Sægrov, and Sten Karlsson. 2025. 'The genetic structure of sea trout (Salmo trutta L.) in Norway', *ICES Journal of Marine Science*, 82: fsaf151.

Halttunen, E., K. Ø Gjelland, S. Hamel, R. M. Serra-Llinares, R. Nilsen, P. Arechavala-Lopez, J. Skarðhamar, I. A. Johnsen, L. Asplin, Ø Karlsen, P. A. Bjørn, and B. Finstad. 2018. 'Sea trout adapt their migratory behaviour in response to high salmon lice concentrations', *Journal of Fish Diseases*, 41: 953-67.

Hamre, Lars A., Samantha Bui, Frode Oppedal, Rasmus Skern-Mauritzen, and Sussie Dalvin. 2019. 'Development of the salmon louse *Lepeophtheirus salmonis* parasitic stages in temperatures ranging

from 3 to 24°C', *Aquaculture Environment Interactions*, 11: 429-43.

Hansen, Michael M., ØYstein Skaala, Lasse Fast Jensen, Dorte Bekkevold, and Karen-Lise D. Mensberg. 2007. 'Gene flow, effective population size and selection at major histocompatibility complex genes: brown trout in the Hardanger Fjord, Norway', *Molecular Ecology*, 16: 1413-25.

Haraldstad, T., K. Johansen, E. Höglund, and L. Korslund. 2024. "Overvåking av sjøørret i kystvassdrag langs Sørlandskysten. - Utvandringstidspunkt, sjøoverlevelse og livshistoriestrategier." In *LFI Rapport* , 28.

Haraldstad, Tormod, Erik Höglund, Frode Kroglund, Anders Lamberg, Esben Moland Olsen, and Thrond Oddvar Haugen. 2018. 'Condition-dependent skipped spawning in anadromous brown trout (Salmo trutta)', *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 75: 2313-19.

Hersbach, Hans, Bill Bell, Paul Berrisford, Shoji Hirahara, András Horányi, Joaquín Muñoz-Sabater, Julien Nicolas, Carole Peubey, Raluca Radu, Dinand Schepers, Adrian Simmons, Cornel Soci, Saleh Abdalla, Xavier Abellan, Gianpaolo Balsamo, Peter Bechtold, Gionata Biavati, Jean Bidlot, Massimo Bonavita, Giovanna De Chiara, Per Dahlgren, Dick Dee, Michail Diamantakis, Rossana Dragani, Johannes Flemming, Richard Forbes, Manuel Fuentes, Alan Geer, Leo Haimberger, Sean Healy, Robin J. Hogan, Elías Hólm, Marta Janisková, Sarah Keeley, Patrick Laloyaux, Philippe Lopez, Cristina Lupu, Gabor Radnoti, Patricia de Rosnay, Iryna Rozum, Freja Vamborg, Sebastien Villaume, and Jean-Noël Thépaut. 2020. 'The ERA5 global reanalysis', *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146: 1999-2049.

Hindar, K., B. Jonsson, N. Ryman, and G. Ståhl. 1991. 'Genetic relationships among landlocked, resident, and anadromous Brown Trout, Salmo trutta L', *Heredity*, 66: 83-91.

Holstad, A., G. H. Bolstad, O. H. Diserud, S. H. Eldøy, Ø. Karlsen, A. D. Sandvik, T. Haraldstad, T. O. Haugen, K. L. Hawley, S. Karlsson, A. Lamberg, R. Paterson, H. Sægrov, O. Ugedal, E. M. Ulvan, H. A. Urke, K. W. Vollset, and T. Næsje. 2025. "Indikatorverdier (Itrutta) for sjøørret i Trafikklyssystemets produksjonsområder i 2024 og 2025." In *Norsk institutt for naturforskning* .

Jacobsen, Jan Arge, and Lars Petter Hansen. 2001. 'Feeding habits of wild and escaped farmed Atlantic salmon, Salmo salar L., in the Northeast Atlantic', *ICES Journal of Marine Science*, 58: 916-33.

Jansen, Peder A., Henning André Urke, Solveig Engebretsen, Magne Aldrin, and Kari O. Helgesen. 2026. 'Effects of salmon lice on numbers and size distributions of Atlantic salmon returning to spawn in Norwegian rivers', *Journal of Applied Ecology*, 63: e70212.

Jensen, Arne J., Ola H. Diserud, Bengt Finstad, Peder Fiske, and Eva B. Thorstad. 2022. 'Early-season brown trout (Salmo trutta) migrants grow and survive better at sea', *Journal of Fish Biology*, 100: 1419-31.

Jensen, Arne J., Sten Karlsson, Peder Fiske, Lars Petter Hansen, Gunnel M. Østborg, and Kjetil Hindar. 2014. 'Origin and life history of Atlantic salmon (Salmo salar) near their northernmost oceanic limit', *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71: 1740-46.

Jensen, Arne Johan, Bengt Finstad, and Peder Fiske. 2019. 'The cost of anadromy: marine and freshwater mortality rates in anadromous Arctic char and brown trout in the Arctic region of Norway', *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 76: 2408-17.

Jensen, M. F., A. D. Sandvik, P. N. Sævik, and J. Skardhamar. 2025. "Modellert påvirkning av lakselus på vill laksefisk i 2024 og 2025." In *Rapport fra havforskningen* .

Johnsen, I. A., L. H. Stien, A. D. Sandvik, L. Asplin, and F. Oppedal. 2020. 'Optimal estimation of lice release from aquaculture based on ambient temperatures', *Aquaculture Environment Interactions*, 12: 179-91.

Johnsen, Ingrid A., Alison Harvey, Pål Næverlid Sævik, Anne D. Sandvik, Ola Ugedal, Bjørn Ådlandsvik, Vidar Wennevik, Kevin A. Glover, Ørjan Karlsen, and Carrie Byron. 2021. 'Salmon lice-induced mortality of Atlantic salmon during post-smolt migration in Norway', *ICES Journal of Marine Science*, 78: 142-54.

Jonsson, B., and N. Jonsson. 2011. 'ECOLOGY OF ATLANTIC SALMON AND BROWN TROUT: HABITAT AS A TEMPLATE FOR LIFE HISTORIES - Edited by B. Jonsson and N. Jonsson', *Journal of Fish Biology*, 79: 2108-09.

Jonsson, Bror, and Nina Jonsson. 1993. 'Partial migration: niche shift versus sexual maturation in fishes', *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 3: 348-65.

Jonsson, N., B. Jonsson, J.A. Knutsen, H. Knutsen, and E. M. Olsen. 2005. "Sjøørretens habitatbruk og ernæring i kystnære farvann." In *NINA Temahefte* , 39-47.

Klemetsen, A., P. A. Amundsen, J. B. Dempson, B. Jonsson, N. Jonsson, M. F. O'Connell, and E. Mortensen. 2003. 'Atlantic salmon Salmo salar L., brown trout Salmo trutta L. and Arctic charr Salvelinus alpinus (L.): a review of aspects of their life histories', *Ecology of Freshwater Fish*, 12: 1-59.

Klemetsen, A., R. Knudsen, R. Primicerio, and P. A. Amundsen. 2006. 'Divergent, genetically based feeding behaviour of two sympatric Arctic charr, Salvelinus alpinus (L.), morphs', *Ecology of Freshwater Fish*, 15: 350-55.

Knutsen, Ø., I. H. Ellingsen, and C. Stefanakos. 2025. "Simulert luseindusert dødelighet på virtuell postsmolt i produksjonsområde 2 til 7, Resultater for 2024 og 2025. ." In *SINTEF Ocean AS* .

Kristoffersen, Anja Bråthen, Lars Qviller, Kari Olli Helgesen, Knut Wiik Vollset, Hildegunn Viljugrein, and Peder Andreas Jansen. 2018. 'Quantitative risk assessment of salmon louse-induced mortality of seaward-migrating post-smolt Atlantic salmon', *Epidemics*, 23: 19-33.

Kristoffersen, K. 1994. 'The influence of physical watercourse parameters on the degree of anadromy in different lake populations of Arctic charr (Salvelinus alpinus (L.)) in northern Norway', *Ecology of Freshwater Fish*, 3: 80-91.

L'Abée-Lund, Jan H., Bror Jonsson, Arne J. Jensen, Leif M. Sættem, Tor G. Heggberget, Bjørn O. Johnsen, and Tor F. Næsje. 1989. 'Latitudinal Variation in Life-History Characteristics of Sea-Run Migrant Brown Trout Salmo trutta', *Journal of Animal Ecology*, 58: 525-42.

Lehtonen, Paula K., Anni Tonteri, Dmitri Sendek, Sergey Titov, and Craig R. Primmer. 2009. 'Spatio-temporal genetic structuring of brown trout (Salmo trutta L.) populations within the River Luga, northwest Russia', *Conservation Genetics*, 10: 281-89.

Maitland, Peter S. 1995. 'The conservation of freshwater fish: Past and present experience', *Biological Conservation*, 72: 259-70.

Mills, Katherine E., Andrew J. Pershing, Timothy F. Sheehan, and David Mountain. 2013. 'Climate and

ecosystem linkages explain widespread declines in North American Atlantic salmon populations', *Global Change Biology*, 19: 3046-61.

Myksvoll, M. S., A. D. Sandvik, J. Albretsen, L. Asplin, I. A. Johnsen, O. Karlsen, N. M. Kristensen, A. Melsom, J. Skardhamar, and B. Adlandsvik. 2018. 'Evaluation of a national operational salmon lice monitoring system-From physics to fish', *PLoS One*, 13: e0201338.

Næsje, T., G. H. Bolstad, O. H. Diserud, S. H. Eldøy, I. J. Hagen, T. Haraldstad, T. O. Haugen, K. L. Hawley, Ø. Karlsen, S. Karlsson, A. Lamberg, R. Paterson, A. D. Sandvik, H. Sægrov, O. Ugedal, E. M. Ulvan, H. A. Urke, and K. W. Vollset. 2025. "Sjøørretindikator for implementering i Trafikklyssystemet." In *Norsk institutt for naturforskning (NINA)* .

Paterson, Rachel A., Henrik H. Berntsen, Tor F. Næsje, Marius Berg, and Bengt Finstad. 2021. 'Factors influencing return rate and marine residence duration in sea trout populations in Central Norway', *Journal of Fish Biology*, 99: 875-87.

Pioch, David, Ørjan Karlsen, Per Gunnar Fjelldal, and Sussie Dalvin. 2025. 'Salmon louse infection reduces condition and induces mortality in wild Atlantic salmon post-smolt', *ICES Journal of Marine Science*, 82: fsaf176.

Rikardsen, Audun H., Ola H. Diserud, J. Malcolm Elliott, J. Brian Dempson, Johannes Sturlaugsson, and Arne J. Jensen. 2007. 'The marine temperature and depth preferences of Arctic charr (Salvelinus alpinus) and sea trout (Salmo trutta), as recorded by data storage tags', *Fisheries Oceanography*, 16: 436-47.

Rikardsen, Audun H., David Righton, John Fredrik Strøm, Eva B. Thorstad, Patrick Gargan, Timothy Sheehan, Finn Økland, Cedar M. Chittenden, Richard D. Hedger, Tor F. Næsje, Mark Renkawitz, Johannes Sturlaugsson, Pablo Caballero, Henrik Baktoft, Jan G. Davidsen, Elina Halttunen, Serena Wright, Bengt Finstad, and Kim Aarestrup. 2021. 'Redefining the oceanic distribution of Atlantic salmon', *Scientific Reports*, 11: 12266.

Samsing, Francisca, Frode Oppedal, Sussie Dalvin, Ingrid Johnsen, Tone Vågseth, and Tim Dempster. 2016. 'Salmon lice (Lepeophtheirus salmonis) development times, body size, and reproductive outputs follow universal models of temperature dependence', *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 73: 1841-51.

Sandvik, Anne D., Samantha Bui, Mats Huserbråten, Ørjan Karlsen, Mari S. Myksvoll, Bjørn Ådlandsvik, Ingrid A. Johnsen, and Carrie Byron. 2021. 'The development of a sustainability assessment indicator and its response to management changes as derived from salmon lice dispersal modelling', *ICES Journal of Marine Science*, 78: 1781-92.

Sandvik, Anne D., Ingrid A. Johnsen, Mari S. Myksvoll, Pål N. Sævik, and Morten D. Skogen. 2020. 'Prediction of the salmon lice infestation pressure in a Norwegian fjord', *ICES Journal of Marine Science*, 77: 746-56.

Skern-Mauritzen, Rasmus, Nini H. Sissener, Anne D. Sandvik, Sonnich Meier, Pål N. Sævik, Morten D. Skogen, Tone Vågseth, Sussie Dalvin, Mette Skern-Mauritzen, and Samantha Bui. 2020. 'Parasite development affect dispersal dynamics; infectivity, activity and energetic status in cohorts of salmon louse copepodids', *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 530-531: 151429.

Skaala, Ø, and G. Nævdal. 1989. 'Genetic differentiation between freshwater resident and anadromous brown trout, Salmo trutta, within watercourses', *Journal of Fish Biology*, 34: 597-605.

Skår, K., H.G. Frøysa, M. F. Jensen, E. Lona, B. Misund, B.G. Næss, A. D. Sandvik, L.M. Sunde, G.-L. Taranger, and R. Tveterås. 2025. "Fra rødt til grønt 2.0 - Bærekraftig omstilling av sjømatproduksjon i Vestland, som region Nordhordland som eksempel." In. Veterinærinstituttet.

Slagstad, Dag, and Thomas A. McClimans. 2005. 'Modeling the ecosystem dynamics of the Barents sea including the marginal ice zone: I. Physical and chemical oceanography', *Journal of Marine Systems*, 58: 1-18.

Stabell, Ole B. 1984. 'HOMING AND OLFACTION IN SALMONIDS: A CRITICAL REVIEW WITH SPECIAL REFERENCE TO THE ATLANTIC SALMON', *Biological Reviews*, 59: 333-88.

Stige, L. C, L. E. Gangsei, and L. Qviller. 2025. "Kvantifisering av lakselusindusert dødelighet hos villaks i 2025." In. Veterinærinstituttet.

Stige, L. C, K. W. Vollset, O. H. Diserud, Ø. Karlsen, Ø. Knutsen, F. Nilsen, R. A. Paterson, L. Qviller, J. Skardhamar, and R. Lille-Langøy. 2025. "Produksjonsområdebasert vurdering av lakselusindusert villfiskdødelighet i 2025." In *Rapport fra ekspertgruppe for vurdering av lusepåvirkning* .

Stige, L. C., K. O. Helgesen, H. Viljugrein, and L. Qviller. 2021. 'A statistical mechanistic approach including temperature and salinity effects to improve salmon lice modelling of infestation pressure', *Aquaculture Environment Interactions*, 13: 339-61.

Stige, L.C., K. O. Helgesen, H. Viljugrein, and L. Qviller. 2022. 'Modelling salmon lice-induced mortality of wild salmon post-smolts is highly sensitive to calibration data', *Aquaculture Environment Interactions*, 14: 263-77.

Strøm, John Fredrik, Pål Arne Bjørn, Eirik Emil Bygdnes, Lars Kristiansen, Bjørnar Skjold, and Thomas Bøhn. 2022. 'Behavioural responses of wild anadromous Arctic char experimentally infested in situ with salmon lice', *ICES Journal of Marine Science*, 79: 1853-63.

Svenning, Martin- A., Morten Falkegård, J. Brian Dempson, Michael Power, Bård-Jørgen Bårdsen, Gudni Guðbergsson, and Per Fauchald. 2022. 'Temporal changes in the relative abundance of anadromous Arctic charr, brown trout, and Atlantic salmon in northern Europe: Do they reflect changing climates?', *Freshwater Biology*, 67: 64-77.

Sævik, P. N., A. Holstad, G. H. Bolstad, T. Næsje, O. H. Diserud, I.A. Johnsen, M. F. Jensen, A. D. Sandvik, and M.S. Myksvoll. 2026. "Forslag til reguleringsområder for utslipp av lakselus." In *Rapport fra Havforskningen* .

Taranger, Geir Lasse, Ørjan Karlsen, Raymond John Bannister, Kevin Alan Glover, Vivian Husa, Egil Karlsbakk, Bjørn Olav Kvamme, Karin Kroon Boxaspen, Pål Arne Bjørn, Bengt Finstad, Abdullah Sami Madhun, H. Craig Morton, and Terje Svåsand. 2015. 'Risk assessment of the environmental impact of Norwegian Atlantic salmon farming', *ICES Journal of Marine Science*, 72: 997-1021.

Taranger, Geir Lasse, Terje Svåsand, Pål Arne Bjørn, Peder Andreas Jansen, Peder Andreas Heuch, Randi N. Grøntvedt, Lars Asplin, Ove T. Skilbrei, Kevin Alan Glover, Øystein Skaala, Vidar Wennevik, and Karin Kroon Boxaspen. 2012. "Forslag til førstegangs målemetode for miljøeffekt (effektindikatorer) med hensyn til genetisk påvirkning fra oppdrettslaks til villaks, og påvirkning av lakselus fra oppdrett på

viltlevende laksefiskbestander " In *Rapport fra Havforskningen Nr. 13-2012 / Veterinærinstituttets rapportserie Nr. 7-2012* , 40. Bergen.

Thompson, C., S. Bui, S. Dalvin, and R. Skern-Mauritzen. 2023. 'Disentangling the key drivers of salmon louse Lepeophtheirus salmonis fecundity using multiyear field samples', *Aquaculture Environment Interactions*, 15: 161-78.

Thorpe, John E., and Neil B. Metcalfe. 1998. 'Is smolting a positive or a negative developmental decision?', *Aquaculture*, 168: 95-103.

Thorstad, E. B., C. D. Todd, I. Uglem, P. A. Bjørn, P. G. Gargan, K. W. Vollset, E. Halttunen, S. Kålås, M. Berg, and B. Finstad. 2015. 'Effects of salmon lice Lepeophtheirus salmonis on wild sea trout Salmo trutta—a literature review', *Aquaculture Environment Interactions*, 7: 91-113.

Thorstad, Eva B., Christopher D. Todd, Ingebrigt Uglem, Pål Arne Bjørn, Patrick G. Gargan, Knut Wiik Vollset, Elina Halttunen, Steinar Kålås, Marius Berg, and Bengt Finstad. 2016. 'Marine life of the sea trout', *Marine Biology*, 163: 47.

Tveiten, H., P. A. Bjørn, H. K. Johnsen, B. Finstad, and R. S. McKinley. 2010. 'Effects of the sea louse Lepeophtheirus salmonis on temporal changes in cortisol, sex steroids, growth and reproductive investment in Arctic charr Salvelinus alpinus', *Journal of Fish Biology*, 76: 2318-41.

Ugelvik, M. S., A. Skorping, O. Moberg, and A. Mennerat. 2017. 'Evolution of virulence under intensive farming: salmon lice increase skin lesions and reduce host growth in salmon farms', *Journal of Evolutionary Biology*, 30: 1136-42.

Vollset, K. W., and B. T. Barlaup. 2014. 'First report of winter epizootic of salmon lice on sea trout in Norway', *Aquaculture Environment Interactions*, 5: 249-53.

Vollset, K. W., B. T. Barlaup, S. Mahlum, P. A. Bjørn, and O. T. Skilbrei. 2016. 'Estimating the temporal overlap between post-smolt migration of Atlantic salmon and salmon lice infestation pressure from fish farms', *Aquaculture Environment Interactions*, 8: 511-25.

Vollset, Knut Wiik, Ian Dohoo, Ørjan Karlsen, Elina Halttunen, Bjørn Olav Kvamme, Bengt Finstad, Vidar Wennevik, Ola H. Diserud, Andrew Bateman, Kevin D. Friedland, Shad Mahlum, Christian Jørgensen, Lars Qviller, Martin Krkošek, Åse Åtland, and Bjørn Torgeir Barlaup. 2018. 'Disentangling the role of sea lice on the marine survival of Atlantic salmon', *ICES Journal of Marine Science*, 75: 50-60.

Vollset, Knut Wiik, Robert J. Lennox, Anders Lamberg, Øystein Skaala, Anne Dagrun Sandvik, Harald Sægrov, Eli Kvingedal, Torstein Kristensen, Arne Johan Jensen, Tormod Haraldstad, Bjørn Torgeir Barlaup, and Ola Ugedal. 2021. 'Predicting the nationwide outmigration timing of Atlantic salmon (Salmo salar) smolts along 12 degrees of latitude in Norway', *Diversity and Distributions*, 27: 1383-92.

Vollset, Knut Wiik, Kurt Urdal, Kjell Utne, Eva B. Thorstad, Harald Sægrov, Astrid Raunsgard, Øystein Skagseth, Robert J. Lennox, Gunnel M. Østborg, Ola Ugedal, Arne J. Jensen, Geir H. Bolstad, and Peder Fiske. 2022. 'Ecological regime shift in the Northeast Atlantic Ocean revealed from the unprecedented reduction in marine growth of Atlantic salmon', *Science Advances*, 8: eabk2542.

VRL. 2024. "Metoder for vurdering av norske laksebestander i 2024." In *Metoderapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning* . Trondheim.

VRL. 2025. "Vitenskapelig råd for lakseforvaltning. Status for norske laksebestander i 2025." In *Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning*. Trondheim.

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

Postboks 1870 Nordnes
5817 Bergen
Tlf: 55 23 85 00
E-post: post@hi.no
www.hi.no