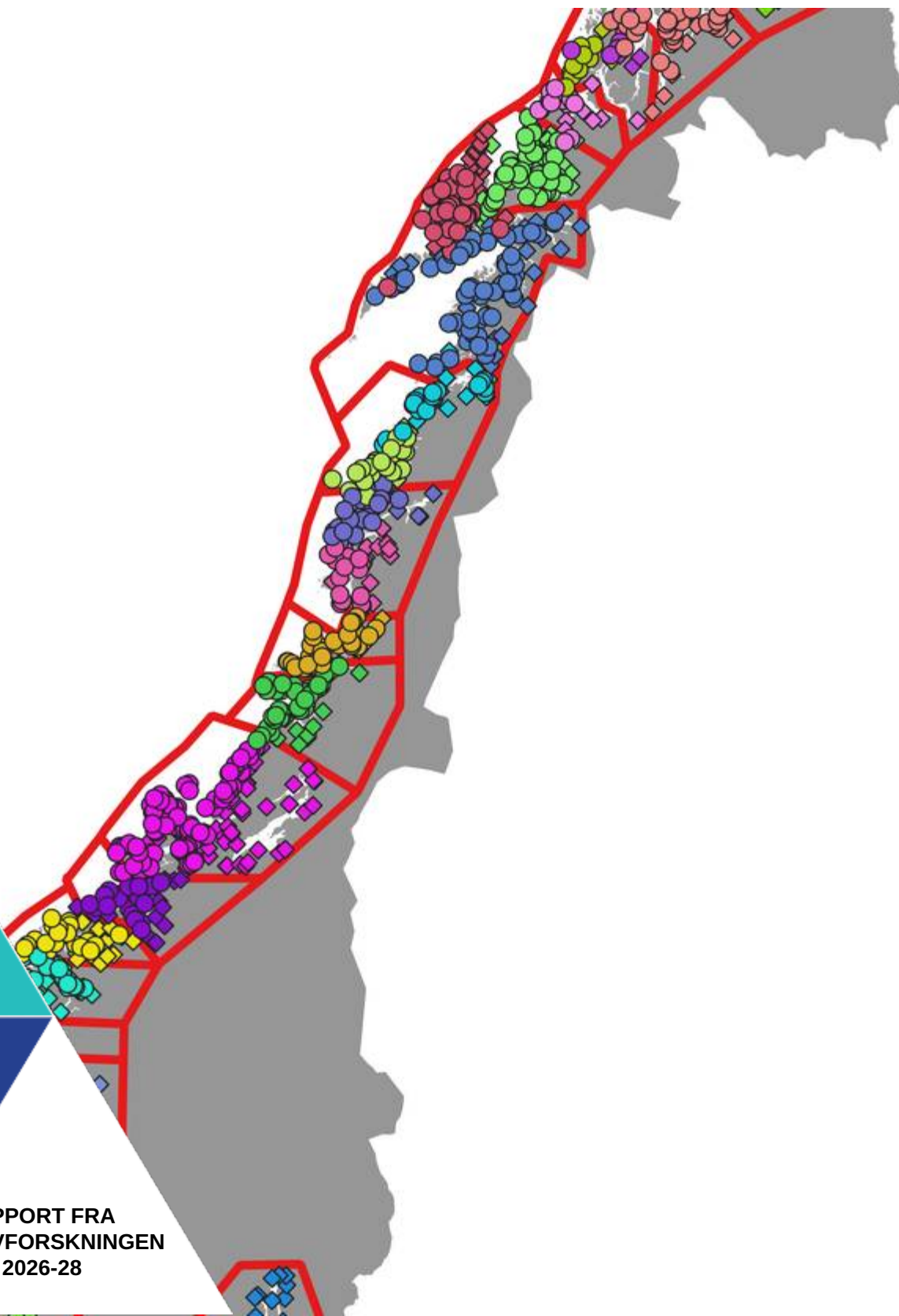




FORSLAG TIL REGULERINGSOMRÅDER FOR UTSLIPP AV LAKSELUS

Pål Næverlid Sævik, Ingrid Askeland Johnsen, Mari Fjalstad Jensen, Anne Dagrund Sandvik, Mari Skuggedal Myksvoll (HI), Agnes Holstad (NINA), Geir H. Bolstad (NINA), Tor Næsje (NINA) og Ola Diserud (NINA)



Tittel (norsk og engelsk):

Forslag til reguleringsområder for utslipp av lakselus

Proposal for Regulatory Zones for Salmon Lice Emissions

Rapportserie:

Rapport fra havforskningen

ISSN:1893-4536

År - Nr.:

2026-28

Dato:

29.06.2026

Forfatter(e):

Pål Næverlid Sævik, Ingrid Askeland Johnsen, Mari Fjalstad Jensen, Anne Dagrun Sandvik, Mari Skuggedal Myksvoll (HI), Agnes Holstad (NINA), Geir H. Bolstad (NINA), Tor Næsje (NINA) og Ola Diserud (NINA)

Forskningsgruppeleder(e): Ingrid Askeland Johnsen (Kystoseanografi)

Godkjent av: Forskningsdirektør(er): Geir Lasse Taranger

Programleder(e):

Distribusjon:

Åpen

Prosjektnr:

15907

Oppdragsgiver(e):

Nærings- og fiskeridepartementet

Oppdragsgivers referanse:

25/5756-5

Program:

Miljøeffekter av akvakultur

Forskningsgruppe(r):

Kystoseanografi

Antall sider:

38

Samarbeid med

Forord:

I brev datert 19. desember 2025 til Havforskningsinstituttet (HI) bestiller Nærings- og fiskeridepartementet (NFD) råd om akseptabelt nivå av lakselus. Denne rapporten besvarer en spesifikk problemstilling i bestillingen: å vurdere om eksisterende produksjonsområder (Produksjonsområdeforskriften, 2017) er egnede geografiske avgrensninger i et fremtidig system for regulering av lakselus. Miljømålet er å oppnå mindre enn 10% lakselusindusert dødelighet av vill laksefisk innenfor et område (der bestandene i alle elver vektes like mye). Det forutsettes at lokalitetsstruktur og driftsformer er som i dag. NFD ønsker også en beskrivelse av usikkerheter som oppstår i beregningene, og hvilke konsekvenser dette kan ha for måloppnåelsen.

HI er bedt om å involvere andre relevante institusjoner i arbeidet, og har samarbeidet med Norsk institutt for naturforskning (NINA), Veterinærinstituttet (VI), NORCE og SINTEF. NINA har i denne rapporten spesielt bidratt med kunnskap knyttet til sjøørret og sjøørretindikatoren.

Miljømålet gjelder all laksefisk (laks, sjøørret og sjørøye), og beregningene skal baseres på den gitte kunnskapen om påvirkning på de ulike artene. Miljømålet skal gjelde for hvert reguleringsområde. Det skal gjøres en naturfaglig vurdering av hensiktsmessig geografisk avgrensning av reguleringsområdene for best mulig måloppnåelse.

Basert på naturfaglige vurderinger foreslår vi i denne rapporten en ytterligere inndeling av dagens produksjonsområder for å bedre oppnå miljømålet i bestillingen. Resten av bestillingen blir besvart i en egen rapport.

Sammendrag (norsk):

Rapporten presenterer et forslag til geografiske enheter (kalt reguleringsområder) for framtidig regulering av utslipp av lakselus, med mål om å oppnå mindre enn 10 % lakselusindusert dødelighet hos vill laksefisk. Analysen bygger på modellert smittespredning mellom oppdrettsanlegg og laks/sjøørret.

Det er utviklet en nettverksanalyse basert på en smittematrise som beskriver sammenhengen mellom utslipp av lakseluslarver fra oppdrettsanlegg og eksponering hos villfisk fra ulike elver. Analysen kombinerer hydrodynamiske modeller for spredning av lakselus med modeller for vandringsmønster hos laksesmolt og sjøørret. To sentrale kriterier er brukt for å vurdere geografisk områdeinndeling: homogenitet, som beskriver følsomhet for utslippsfordeling innenfor et område, og uavhengighet, som beskriver følsomhet for utslipp mellom områder.

Resultatene viser at dagens produksjonsområder har høy grad av uavhengighet, men svak homogenitet. Konsekvensen er at effekten av lakselusutslipp varierer betydelig avhengig av hvor utslippet skjer innenfor samme område. Dette skaper usikkerhet ved fastsettelse av akseptable utslippsnivåer og reguleringsgrenser. Ved hjelp av klyngeanalyse foreslås derfor en ny inndeling der de eksisterende 13 produksjonsområdene deles inn i totalt 28 reguleringsområder.

Den foreslåtte områdeinndelingen gir bedre homogenitet, særlig for laks, samtidig som internsmitten fortsatt dominerer over ekstermsmitten i alle områder. Likevel viser analysene at reguleringsystemet fortsatt vil være følsomt for hvordan utslipp fordeles mellom anlegg innenfor samme område. Rapporten peker derfor på at framtidige reguleringsmodeller bør ta hensyn til denne følsomheten når endelig nivå av akseptabelt utslipp skal fastsettes.

Sammendrag (engelsk):

The report presents a proposal for geographic units (referred to as regulatory zones) for future regulation of salmon lice emissions, with the objective of achieving less than 10% salmon lice-induced mortality in wild salmonids. The analysis is based on modeled transmission of salmon lice between aquaculture facilities and Atlantic salmon/sea trout.

A network analysis framework was developed based on an infection matrix describing the relationship between salmon lice larval emissions from fish farms and exposure of wild fish originating from different rivers. The analysis combines hydrodynamic models of salmon lice dispersal with models of migration patterns for Atlantic salmon smolts and sea trout. Two key criteria were used to evaluate the geographic area division: homogeneity, which describes sensitivity to the distribution of emissions within an area, and independence, which describes sensitivity to emissions between areas.

The results show that the current production zones have a high degree of independence but low homogeneity. Consequently, the impact of salmon lice emissions varies substantially depending on the distribution of emissions within each zone. This creates uncertainty when determining acceptable emission levels and regulatory boundaries. A cluster analysis therefore forms the basis for a proposed new division in which the existing 13 production zones are subdivided into a total of 28 regulatory zones.

The proposed zone structure provides improved homogeneity, particularly for Atlantic salmon, while internal infection pressure still dominates over external infection pressure in all zones. Nevertheless, the analyses show that the regulatory system remains sensitive to how emissions are distributed among farms within the same zone. The report therefore highlights that future regulatory frameworks should account for this sensitivity when determining the final acceptable level of emissions.

Innhold

1	Innledning	6
2	Livshistoriene til laks, sjørret og sjørøye	8
3	Metode for å beregne områdeinndeling	9
3.1	Smittematrise	9
3.2	Lusekonsentrasjon	9
3.3	Oppholdstid	10
3.4	Smitteeffekt og eksponeringsgrad	10
3.5	Homogenitet og uavhengighet	11
3.6	Klyngeanalyse	12
4	Resultater	14
4.1	Nettverksanalyse	14
4.2	Lusekonsentrasjon	14
4.3	Oppholdstid	14
4.4	Smitteeffekt og eksponeringsgrad	17
4.5	Klyngeanalyse	23
4.6	Homogenitet og uavhengighet	27
5	Konklusjon	30
6	Referanser	31
7	Appendiks	33
7.1	Koordinater for reguleringsområder	33

1 - Innledning

De eksisterende 13 produksjonsområdene er fastsatt etter anbefalinger fra Havforskningsinstituttet (Ådlandsvik 2015, 2019, 2022), på oppdrag fra NFD. Hovedkriteriet for produksjonsområdeinndelingen var å gi minst mulig smitte mellom anlegg i ulike områder, og grensene ble satt ut fra en nettverksanalyse. Den opprinnelige bestillingen omfattet altså bare smitte mellom anlegg, og ikke smitte fra anlegg til villfisk. I tillegg lå det en føring fra NFD om at antall områder burde være mellom 11 og 13. I den nye bestillingen er målet å redusere smitte fra anlegg til villfisk. Dette gjør at vurderingene rundt områdeinndeling blir noe annerledes enn tidligere.

Et «optimalt» reguleringsområde er karakterisert av to kriterier:

1. *Homogenitet*: Effekten av lakselus på villfisk er lik uansett hvor i området utslippet^[1] skjer.
2. *Uavhengighet*: Utslipp inne i området påvirker ikke villfisk utenfor området.

Det første kriteriet (homogenitet) gjør det mulig å bruke samme reguleringsbetingelser for alle anlegg i området, fordi konsekvensen av utslippet er lik for alle anlegg. Det andre kriteriet (uavhengighet) gjør at akseptabelt utslipp kan fastsettes uten å ta hensyn til utslipp som skjer i andre områder.

Kriteriene er dessverre vanskelig å oppfylle i praksis, i alle fall samtidig:

Store reguleringsområder gjør det enklere å oppfylle uavhengighetskriteriet, men vanskelig å oppfylle homogenitetskriteriet. I et stort område har det avgjørende betydning hvor utslippet skjer (se f.eks. Skardhamar m.fl. 2018 for Altafjorden), og en reguleringsbetingelse (avgift eller kvoter) må ta høyde for at hovedtyngden av utslippet kan bli konsentrert på et lite område som er følsomt for smitte.

Små reguleringsområder gjør det enklere å oppfylle homogenitetskriteriet, men vanskelig å oppfylle uavhengighetskriteriet. Små områder gir betydelig utveksling av smitte på tvers av grensene, og importsmitten må derfor tas hensyn til når akseptabelt utslippsnivå skal fastsettes.

De eksisterende produksjonsområdene er definert på bakgrunn av uavhengighetskriteriet, siden dette er det mest relevante kriteriet når det gjelder smitte mellom anlegg. For smitte mellom anlegg og villfisk er homogenitetskriteriet vel så viktig, og en god områdeinndeling må balansere hensynet til både homogenitet og uavhengighet.

I denne rapporten gir vi først en kort oversikt over forskjellene mellom ulike typer laksefisk, og hvilke konsekvenser det har for smitteberegning. Med dette som utgangspunkt viser vi hvordan kriteriene for optimal områdeinndeling kan formuleres mer presist og matematisk, og hva som blir konsekvensene når kriteriene ikke er oppfylt. Deretter legger vi fram et forslag til ny områdestruktur basert på nettverksanalyse av smittekontakt mellom dagens aktive anlegg (2020 – 2025) og habitat for villfisk.

[1] Et «utslipp» av lakselus skjer når lakseluslarver klekker og slippes løs i vannmassene.

2 - Livshistoriene til laks, sjørøret og sjørøye

Laks (*Salmo salar*) og sjørøret (*Salmo trutta*) finnes langs hele Norskekysten, mens sjørøya (*Salvelinus alpinus*) hovedsakelig finnes i Nordland (sør til Bindalen), Troms og Finnmark. Til tross for at Atlantisk laks, sjørøret og sjørøye er anadrome fiskearter (dvs. at de gyter og klekker i ferskvann, og oppholder seg i saltvann på næringsvandring), har de vesentlig forskjellige livshistorier som påvirker vurderingene av størrelsen på reguleringsområdene og lakseluskvotene. Kunnskapen om sjørøyas vandringer i havet er begrenset, og vurderingen av reguleringsområdene er derfor hovedsakelig basert på kunnskapen om laksens og sjørøretens områdebruk.

Laksen smoltifiserer og vandrer ut i havet vanligvis to til fem år etter at den klekker, avhengig av de fysiske og biologiske forholdene i elva. Laksesmoltene er vanligvis 10 til 16 cm når den vandrer ut i havet om våren, men kan også være noe større (Thorstad et al. 2011). Med unntak av noen hannlaks, som kjønnsmodner i elva som parr, vandrer all laks ut i havet hvor de vanligvis oppholder seg ett til tre år før de vandrer tilbake til hjemelva for å gyte om høsten. Avhengig av vassdragenes geografiske plassering, f.eks. langt inn i fjorder, ute ved kysten og produksjonsområdets lokalisering, vil postsmolt av laks om våren/forsommeren oppholde seg fra noen dager til noen få uker i sjøområder med mye lakselus. Laksens næringsvandring i havet kan være på mer enn 2000 km.

Dette vandringsmønsteret er annerledes hos ørret og røye. I de aller fleste sjørøret- og sjørøyevassdrag finnes både stasjonære og anadrome individer. De stasjonære individene blir i ferskvann hele livet. I de fleste ørretbestandene er det stor genflyt mellom stasjonære og anadrome individer, dvs. at de i stor grad gyter med hverandre. Dette synes også å være tilfelle for mange av røyebestandene, men i noen vassdrag er bestander av sjørøye og stasjonær røye mer genetisk atskilte (Svenning et al. 2013). Størrelsen på førstegangsvandrende smolt av sjørøret og sjørøye varierer mer enn for laks, og er blant annet avhengig av levestandardene i vassdraget. For eksempel, i vassdrag med innsjøer kan sjørøret være fra 10 til mer enn 25 cm første gang den vandrer ut i sjøen om våren, mens den i andre vassdrag kan være mer lik laksesmoltene i størrelse (Jonsson et al. 2005, Paterson et al. 2021).

Sjørøret og sjørøye skiller seg vesentlig fra laksen ved at de oppholder seg kystnært og potensielt påvirkes av lakselus under hele sjøoppholdet. Samtidig vil det marine habitatet for unge sjørøret ofte være i tilknytning til estuarier hvor det er mindre smitte, på grunn av ferskvannsavrenning. Lengden på næringsvandringen til sjørøret og sjørøye i sjøen kan variere fra noen få hundre meter til 20-30 km eller mer, og kan vare i flere måneder eller over et år (sjørøye har vanligvis noe kortere sjøopphold enn sjørøret). De vil derfor være utsatt for lakselus i lengre perioder enn laksen. Vassdragenes nærhet til oppdrettsanleggene vil også i større grad kunne virke inn på de enkelte bestandene av sjørøret og sjørøye. Ved høye lakseluspåslag vil deler av sjørøret- og sjørøyebestanden avbryte sjøvandringen og vandre tilbake til områder med stor ferskvannspåvirkning for å avluses. Sjørøret og sjørøye har ofte flere sjøvandringar før de blir kjønnsmodne, og etter kjønnsmodning kan sjørøret ha flere repeterte sjøvandringar enn laksen. Kunnskapen om sjørøyas livshistorie er mer begrenset enn for laks og sjørøret, men det er kjent at den er mer følsom for varmere vann og vandrer ofte tilbake til ferskvann etter en til to måneder i sjøen.

3 - Metode for å beregne områdeinndeling

For å komme fram til en inndeling i reguleringsområder som er bedre egnet enn produksjonsområdene til å oppnå miljømålet, har vi gjort en nettverksanalyse der modellert overlapp mellom villfiskområder og lakselus fra oppdrettsanlegg er brukt som grunnlagsdata. Vi har benyttet HI sitt modellsystem 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, 2021), og som også er grunnlaget for HI sine leveranser til Trafikklyssystemet. Når det gjelder vandringsmønster for villfisk har vi benyttet HI sin vandringsmodell for laksesmolt og NINA sin modell for sjørørret. Det eksisterer pr. i dag ingen vandringsmodell for sjørøye, og nettverksanalysen er derfor basert på kunnskap om ørret og laks. Det antas at leveområdet for sjørøye vil ligne mye på sjørørretens leveområde. Det finnes enkelte sjørøyevassdrag som ikke har ørret, disse er ikke inkludert i nettverksanalysen.

3.1 - Smittematrise

Nettverksanalysen tar utgangspunkt i en *smittematrise* som uttrykker sammenhengen mellom utslippsraten på et anlegg og smittepresset på fisk som kommer fra en bestemt elv. *Utslippsraten* er totalt antall produserte luselarver delt på lengden av tidsperioden. *Smittepresset* er lusekonsentrasjon ganger eksponeringstid. Smittematrisen (A) er definert slik at

$$P_i = \sum_j A_{ij} L_j$$

der P_i er forventet smittepress på en fisk fra elv i (lus·s/m³), L_j er utslippsraten for lus fra anlegg j (lus/s), og A_{ij} er tilsvarende element i smittematrisen.

Sammenlignet med leveransene i Trafikklyssystemet er dette en forenklet modell for å gjøre den senere nettverksanalysen mer håndterbar. For det første varierer ikke smittematrisen over tid. Vi har i stedet valgt å beregne en smittematrise basert på gjennomsnittsverdier over flere år, i de tidsperiodene som er relevante for påvirkning på villfisk. Videre fokuserer vi på sammenhengen mellom utslippsrate og gjennomsnittlig smittepress, ikke antall voksne hunnlus på anlegget og dødelighet/fitness på villfisk. Smittepress og dødelighet samvarierer, men er ikke direkte proporsjonale, særlig dersom utslippet er svært ujevnt fordelt over tid eller innen reguleringsområdet. For eksempel vil et moderat smittepress gi lav dødelighet ved jevn fordeling, men noe høyere dødelighet dersom smittepresset er konsentrert rundt enkelte regioner eller tidsperioder. På den andre siden vil et høyt, jevnt smittepress gi høy dødelighet overalt, mens en ujevn fordeling vil gi lavere smittepress noen steder og dermed lavere gjennomsnittlig dødelighet totalt sett. Vår vurdering er at forenklingen er akseptabel når det gjelder analyse av nettverksstruktur, men at flere detaljer må inkluderes når nivået av akseptabelt luseutslipp/lusekvoter skal tallfestes.

Smittematrisen beregnes på bakgrunn av overlapp mellom lus fra anlegg og villfisk i sjø,

$$A_{ij} = \sum_x T_{ix} C_{xj}$$

der det summeres over alle modellens gitterceller x . Variabelen C_{xj} er forventet konsentrasjon av smittsomme luselarver (lus/m³) i celle x ved en utslippsrate på 1 lus/s på anlegg j , og T_{ix} er forventet oppholdstid (s) i celle x for en fisk fra elv i . Vi beregner separate smittematriser for ørret og for laks.

3.2 - Lusekonsentrasjon

Vi har beregnet lusekonsentrasjonsfelt per anlegg ved å benytte spredningssimuleringene fra HI sine leveranser

til Trafikklyssystemet i årene 2020 til 2025. Vi har hentet spredningssimuleringer fra tidsperioden fra 1. mai til 1. august. Dette er noe kortere enn tidsperioden som ble brukt til å beregne grensene for produksjonsområdene (Ådlandsvik 2015, 2019, 2022), siden vi her fokuserer på effekter på villfisk og ikke smitte mellom anlegg. Simuleringene er bare brukt til å beregne spredningsmønsteret (romlig fordeling av lus), ikke utslippsmengde. Det er derfor ikke kritisk at start- og sluttdato sammenfaller nøyaktig med utvandringsperioden/beiteperioden. For å gjøre spredningsmønsteret mindre følsomt for småskalavariasjoner har vi dessuten glattet lusefeltet med et gaussisk filter med standardavvik 10 km.

Simuleringene er gjort på bakgrunn av reelle lusetall per anlegg, og anlegg som ikke har hatt lus i perioden er derfor ikke inkludert. For hvert anlegg har vi regnet gjennomsnittlig konsentrasjonsfelt for lus som er sluppet i perioden og skalert med gjennomsnittlig utslippsrate, slik at vi får et konsentrasjonstall som tilsvarer gjennomsnittlig utslippsrate på 1 lus/s. Med andre ord,

$$C_{xj} = (\sum_t c_{xjt} \Delta T) / (\sum_t N_{jt})$$

der c_{xjt} er konsentrasjon av smittsomme luselarver som kommer fra anlegg j , i gridcelle x , i tidssteg t . Variabelen N_{jt} er antall luselarver som klekker i anlegg j , i tidssteg t , og ΔT er lengden av tidssteget.

3.3 - Oppholdstid

For å beregne forventet oppholdstid for laks har vi brukt HI sin modell for smoltutvandring (Johnsen et al. 2020). Laksen er forventet å vandre korteste vei fra elvemunning mot åpent hav, med en viss tilfeldig bevegelse, i de øvre 2 meter av vannsøylen. Midlere utvandringshastighet er 0.14 m/s (ca. en kroppslengde pr. sekund), og hver gridcelle tilordnes en verdi for forventet oppholdstid basert på modellen. Formelen er

$$T_{ix} = (\sum_t f_{ixt} \Delta T) / (\sum_t F_{it})$$

der f_{ixt} er antall fisk fra elv i i gridcelle x ved tidssteg t . Variabelen F_{it} er antall fisk som går ut av elv i i løpet av tidssteg t , og ΔT er lengden av tidssteget.

Forventet oppholdstid for ørret har samme matematisk form som oppholdstid for laks, men modellen for vandringsmønsteret er annerledes. Romlig fordeling av fisk i sjø er hentet fra modellen i Bolstad et al. (2025a, 2025b). Total tid i sjø er satt til 294,5 dager minus 3,5 dager per breddegrad (f.eks. 67 dager ved 65 °N), som er en forenklet versjon av modellen i Bolstad et al. (2025b). Høyt lusepress vil i virkeligheten kunne føre til at ørreten vandrer tidligere tilbake til elva enn den ellers ville gjort. Dette er ikke tatt hensyn til i beregningen, her er det antatt at ørreten befinner seg i sjøen i hele den definerte beiteperioden uavhengig av lusepresset.

3.4 - Smitteeffekt og eksponeringsgrad

Lus fra forskjellige anlegg gir ulik *smitteeffekt*, og villfisk fra forskjellige elver kan ha ulik *eksponeringsgrad*. Et anlegg har lav smitteeffekt dersom utslippene ikke overlapper i særlig grad med noen villfiskområder, og en elv har lav eksponeringsgrad dersom oppholdsområdet ikke overlapper i særlig grad med noen utslippsområder. Matematisk tallfester vi smitteeffekt og eksponeringsgrad ved å summere radene og kolonnene i smitematrisen:

$$\text{Eksponeringsgrad elv } i = \sum_j A_{ij}$$

$$\text{Smitteeffekt anlegg } j = \sum_i A_{ij}$$

Med denne definisjonen er eksponeringsgraden til elv i det samme som forventet smittedose ved konstant utslipp på 1 lus/s fra alle anlegg. Tilsvarende er smitteeffekten til anlegg j det samme som summen av all

villfisksmitte som kommer fra dette anlegget, dersom alle elver vektet like mye.

Lav eksponeringsgrad og lav smitteeffekt handler vanligvis om at det er stor avstand mellom elver og potensielle utslippskilder, men det kan også handle om at saltholdigheten i området er så lav at lakselus unngår de øvre vannmassene, at strømforholdene gir stor fortynningseffekt, eller at strømmen transporterer lakseluslarvene bort fra villfiskområdene. Antallet har også stor betydning: Mange anlegg i samme område gjør de nærliggende elvene svært følsomme, og mange elver i samme område gir høy smitteeffekt for nærliggende anlegg.

3.5 - Homogenitet og uavhengighet

En god områdeinndeling må balansere hensynet til homogenitet innad i området, og hensynet til uavhengighet mellom områdene. Homogenitet og uavhengighet kan måles på ulike måter, men i denne rapporten har vi valgt noen måltall som både har en presis matematisk definisjon og som samtidig har en forståelig tolkning.

Homogenitet handler om hvor vidt et gitt utslipp har lik effekt uansett hvor i området utslippet skjer. Svak homogenitet kan gi utslag både på anleggssiden og på villfisksiden. For eksempel kan effekten av utslipp være kraftigere i en trang fjord enn ved åpen kyst der fortynningseffekten er mye større. Videre kan det være noen elver som ligger langt fra oppdrettsanlegg, og disse vil være mindre påvirket av utslipp enn elver som ligger nærmere. Svak homogenitet kan også oppstå dersom smitte fra anlegg har stor påvirkning på noen få nærliggende elver, men liten påvirkning på resten av elvene i området.

Uavhengighet handler om at utslipp skal ha minst mulig påvirkning utenfor reguleringsområdet. Perfekt uavhengighet oppnås når utslipp fra anlegg i området ikke påvirker elvene utenfor området (ingen eksportsmitte), og utslipp fra andre områder ikke påvirker elvene innenfor området (ingen importsmitte). I et område med høy grad av importsmitte kan ikke miljømålet nås uten å sette begrensninger både på interne og eksterne utslipp.

Både homogenitet og uavhengighet påvirker *usikkerheten* i beregninger av miljøpåvirkning. Enhver utregning av «akseptabelt utslipp» innenfor et reguleringsområde må gjøre antagelser om fordelingen av luseutslippet: Kommer alle anlegg til å slippe ut like mye, eller vil det være ujevnt fordelt? Hva med anleggene i nærliggende reguleringsområder, vil de slippe ut så mye de har lov til, eller vil de overoppfylle^[2] miljømålet? Høy grad av homogenitet og uavhengighet reduserer usikkerheten siden fordelingen av luseutslipp vil ha mindre betydning.

Det er likevel en vesentlig forskjell på usikkerhet knyttet til fordeling av luseutslipp mellom områder (uavhengighet) og usikkerhet knyttet til fordeling av luseutslipp innenfor et område (homogenitet). Det første er direkte under forvaltningsmyndighetenes overvåking og kontroll, siden det handler om hvor vidt næringsaktørene oppfyller reguleringsbegrensningene, og hvor mye de bruker av tildelte kvoter. Det andre er knyttet til *hvilke anlegg* innenfor reguleringsområdet som kommer til å ha høye luseutslipp. Over tid har det blitt identifisert flere faktorer som bidrar til skjevheter i påslag: naturgitte forskjeller i saltholdighet, temperatur, strøm og fortynning, episodiske hendelser med f.eks. innstrømming av luserikt vann inn i en fjord, og ikke minst ulike strategier hos næringsaktørene i forhold til avlusing og koordinert brakklegging. Dette er forhold som forvaltningsmyndighetene ikke har direkte kontroll over, og som det er knyttet store usikkerheter til.

I denne rapporten har vi tallfestet homogenitet ved å se på forholdet mellom et «pessimistisk scenario» og et «gjennomsnittsscenario». I gjennomsnittsscenariet er utslippet fordelt jevnt på alle anlegg og deretter regnes gjennomsnittlig påvirkning på alle bestander. I det pessimistiske scenariet slippes lus fra den halvparten av anleggene som gir kraftigst effekt, og deretter regnes gjennomsnittlig påvirkning på den halvparten av elvene som har størst eksponeringsgrad^[3]. Matematisk ser det slik ut:

Homogenitet i område $k = A^{(kk)} / A_{Q25}^{(kk)}$

der uttrykket over brøkstreken er gjennomsnittsverdien av alle elementene i delmatrise (k, k) , det vil si at både anlegg og elv befinner seg i reguleringsområde k . Uttrykket under brøkstreken er gjennomsnittet av de 25% største elementene i delmatrise (k, k) . Forholdstallet har en minsteverdi på 0,25 (ekstremt dårlig homogenitet) og en maksverdi på 1 (perfekt homogenitet).

For å tallfeste uavhengighet har vi brukt forholdet mellom internsmitte og totalsmitte i den områdeaggregerte smittematrisen. Det vil si: For hvert reguleringsområde antar vi at utslippet er fordelt jevnt på alle anlegg, og vi regner gjennomsnittlig påvirkning på alle elver i samme område. Deretter bruker vi forholdet mellom internsmitte og totalsmitte som et mål på uavhengighet,

Uavhengighet for område $k = 2A^{(kk)} / (\sum_p A^{(pk)} + \sum_q A^{(kq)})$

der $A^{(pq)}$ er gjennomsnittsverdien av alle elementene i delmatrise (p, q) , det vil si smitte til elver i reguleringsområde p , fra anlegg i reguleringsområde q . Tallverdien går fra 0 (all smitte er ekstern) til 1 (all smitte er intern). Det er en fordel at uavhengigheten er større enn 0,5 for alle reguleringsområder, altså at internsmitte er større enn eksternsmitte. Dette gir en såkalt diagonaldominant matrise, og det finnes da en naturlig fordelingsnøkkel av kvoter mellom reguleringsområdene (rekkesummen av den inverterte matrisen).

3.6 - Klyngeanalyse

Vi har benyttet Dhillon-algoritmen (Dhillon, 2001) slik den er implementert i python-pakken scikit-learn, til å definere naturlige grupperinger av elver og anlegg. Antall klynger må gis på forhånd, deretter vil algoritmen finne den grupperingen som passer best. Metoden er valgt fordi den er tilpasset systemer der det finnes én gruppe av kilder og én gruppe av mottakere, i dette tilfellet oppdrettsanlegg og villfisk fra ulike elver. Algoritmen har et element av tilfeldighet, derfor kan den gi noe ulike resultater fra gang til gang. Særlig i områder der det ikke finnes noen sterke geografiske skillelinjer, eller der det er få oppdrettsanlegg, vil klyngeanalysen kunne gi litt sprikende resultater. Vi har kjørt algoritmen mange ganger og valgt en oppdeling i reguleringsområder basert på mønstrene som er framkommet, i tillegg til generell fagkunnskap om strøm og smittemønstre. Grensene er hovedsakelig valgt på bakgrunn av klyngeanalysen, og unntaksvis endret basert på en ekspertvurdering.

Vi har valgt å ta utgangspunkt i de eksisterende produksjonsområdene, siden disse allerede representerer en form for områdeinndeling, og er godt etablert i næring og forvaltning. Der analysen gir grunnlag for det, foreslår vi oppdeling av de eksisterende områdene i mindre områder. Vi har deretter regnet ut homogenitet og uavhengighet for hvert av områdene, som beskrevet i avsnittene ovenfor.

Det finnes ikke noe fasitsvar på hvor fin-inndelt en områdeinndeling bør være, siden homogenitet og uavhengighet må veies mot hverandre. Inndelingen vi presenterer er altså bare et av mange mulige alternativer.

[2] Det kan høres urealistisk ut at anleggene i et oppdrettsintensivt reguleringsområde overoppfyller miljømålet i betydelig grad. Men dersom reguleringsområdene er svært små, er det høyst realistisk at en klynge av anlegg kan ha lite eller ingen lus over en lengre periode, selv i et oppdrettsintensivt område.

[3] Dette er en noe forenklet tolkning av det pessimistiske scenariet; ligningen angir den presise matematiske definisjonen.

4 - Resultater

4.1 - Nettverksanalyse

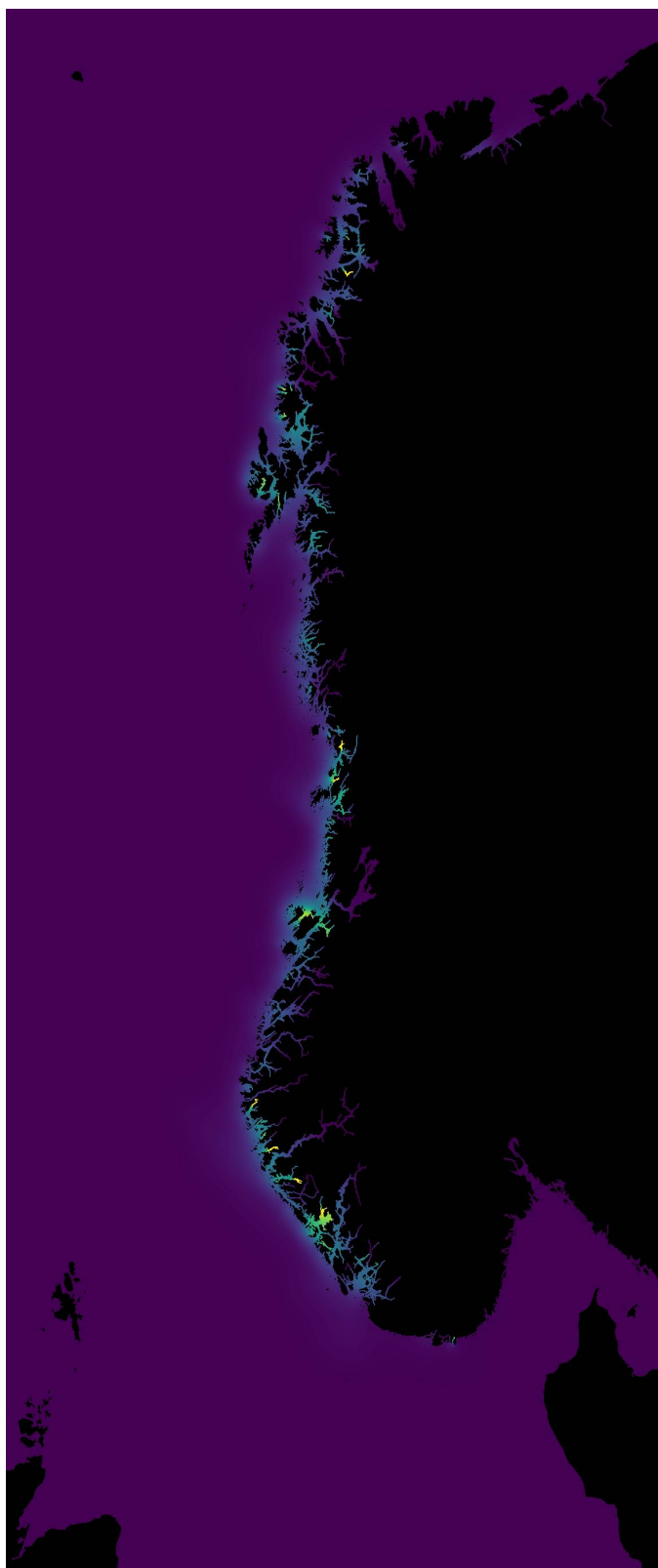
Nettverksanalysen inkluderer 982 oppdrettsanlegg. Dette er anleggene som rapporterte tellinger av lakselus til Mattilsynet i perioden 2020-2025. Analysen inkluderer totalt 1028 ørretelver og 401 lakseelver. Smittematriksen har dermed 982×1028 elementer for ørret, og 982×401 elementer for laks. De fleste elementene er null, siden hvert anlegg bare smitter et fåtall av elvene i systemet.

4.2 - Lusekonsentrasjon

Figur 1 viser forventet lusekonsentrasjonsfelt i øvre 2 meter av vannsøylen, for hele landet dersom alle anlegg slipper ut 1 lus/s. Områder med særlig høy tetthet er typisk områder med mange anlegg, der det i tillegg er lite strøm og høy saltholdighet. Fjorder med mange store elver har ofte lav saltholdighet i overflaten, som gjør at lakselus svømmer dypere og får mindre overlapp med villfisken. Elveavrenning setter dessuten opp en utadgående strøm i øvre vannlag, som bidrar til å transportere lus ut av fjorden.

4.3 - Oppholdstid

Figur 2 viser sum av forventet oppholdstid for alle elver. Oppholdstid for laks er konsentrert rundt tynne striper av utvandningsruter, og oppholdstid for ørret er konsentrert rundt elvemunningen. Usikkerheten i habitatmodellene er delvis ivare tatt ved glattingen av lusefeltet, som gjør resultatene mindre følsomme for romlig fordeling av villfisk. Forventet oppholdstid i sjø er mye lenger for ørret enn for laks, noe som er en av grunnene til at sjøørret vanligvis eksponeres for større doser av lakselus enn utvandrende postsmolt av laks.



Figur 1. Gjennomsnittlig lusekonsentrasjon i de øvre 2 meter av vannsøylen langs kysten av Norge, dersom alle oppdrettsanlegg slipper ut 1 lus/s kontinuerlig i perioden 1. mai til 1. august, for årene 2020 til 2025. Fargeskalaen går fra null (mørk lilla farge) til en maksverdi på 0.003 lus/m³ (lys gul farge).



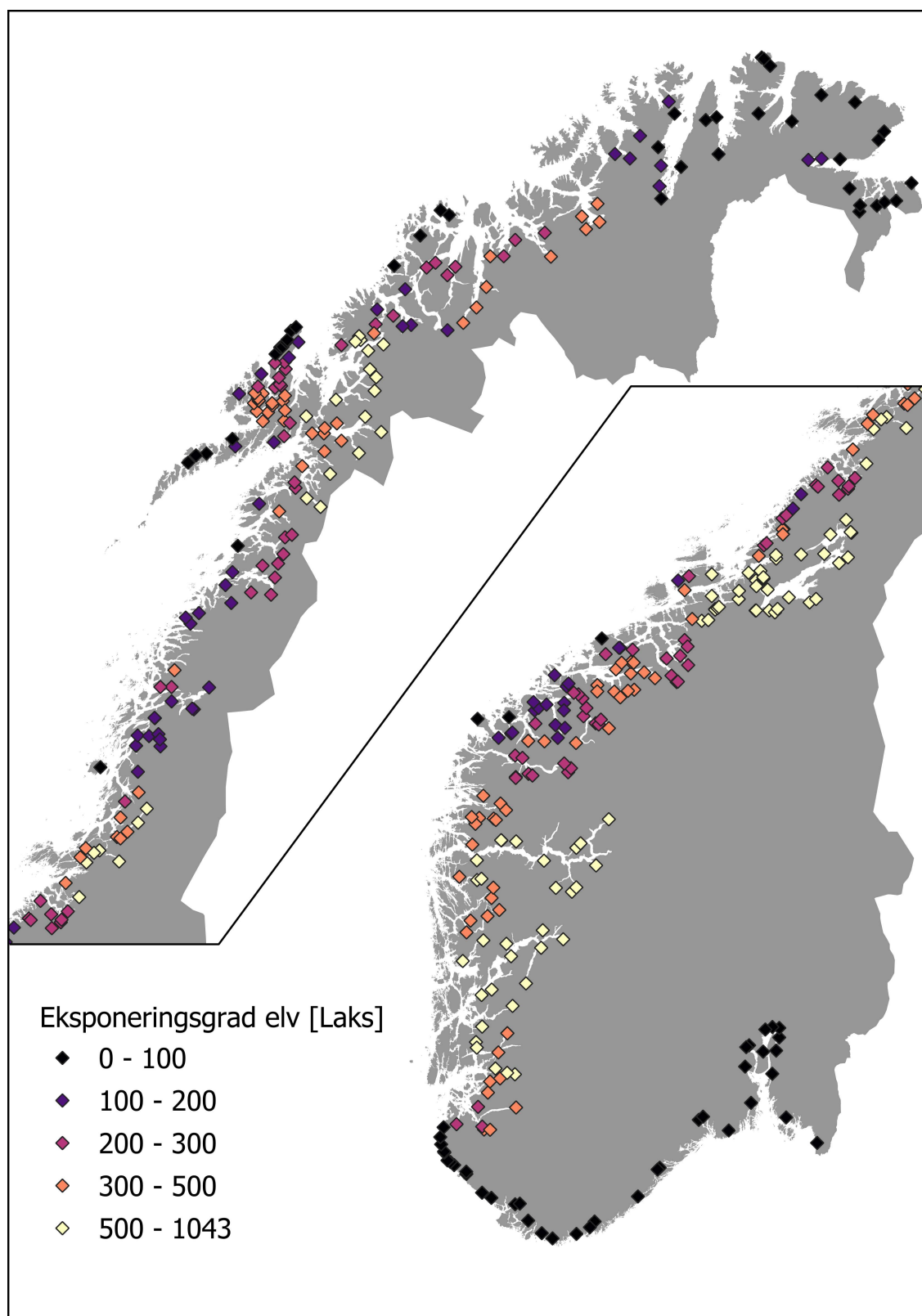
Figur 2. Forventet oppholdstid per gridcelle for laks (til venstre) og ørret (til høyre), summert over alle elver. Hver gridcelle er 800m x 800m. Skalaen går fra null (mørk lilla farge) til 4 timer (lys gul farge) for laks, og fra null (mørk lilla farge) til 100 timer (lys gul farge) for ørret.

4.4 - Smitteeffekt og eksponeringsgrad

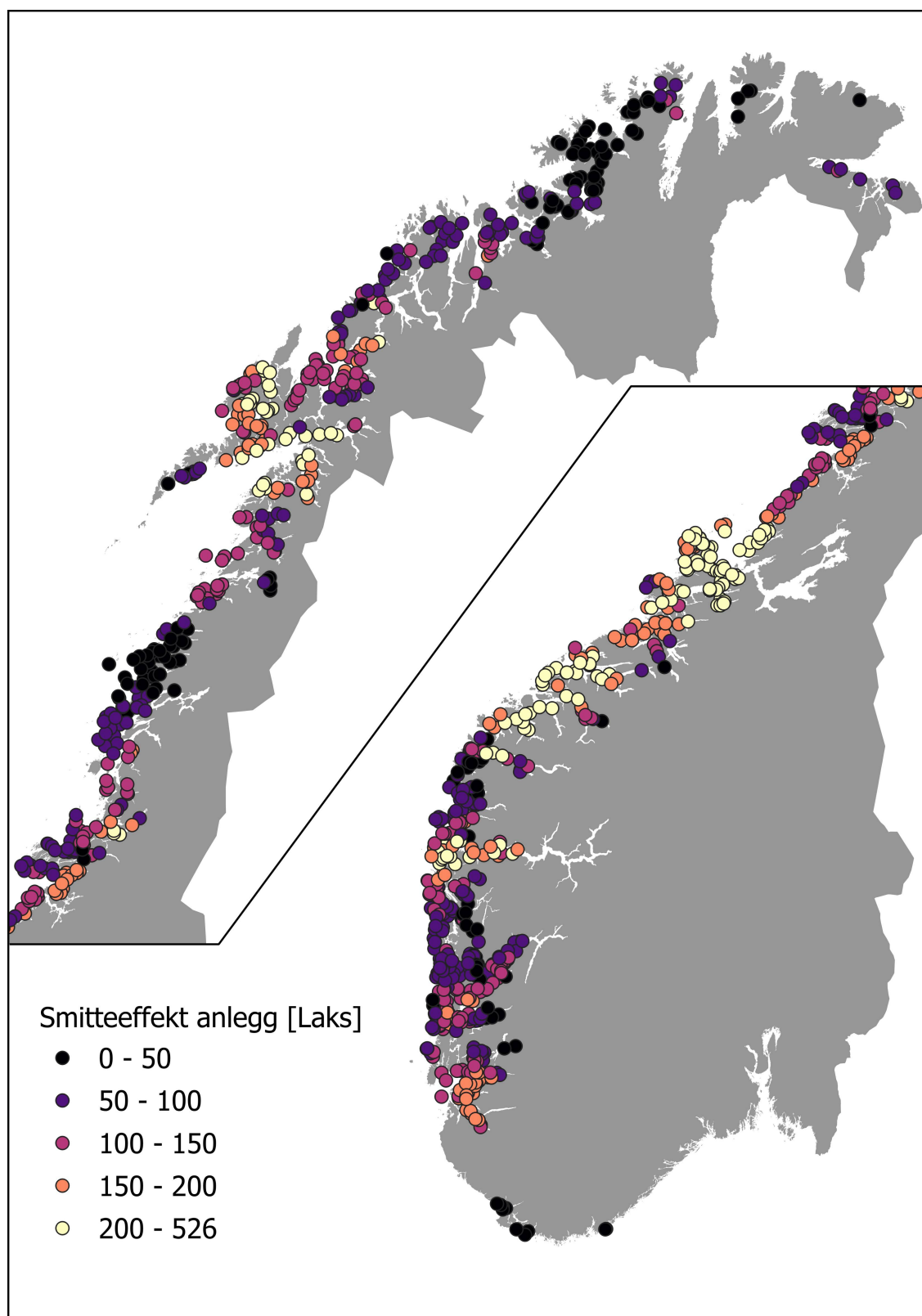
Figur 3 til Figur 6 viser smitteeffekt (samlet lusepåvirkning per anlegg) og eksponeringsgrad (samlet lusepåvirkning per elv) for ørret og for laks. Figurene viser samlet påvirkning fra anlegg til villfisk ved konstant utslipp av 1 lus/s fra alle anlegg. Verdiene er svært ujevnt fordelt, noe som indikerer at konsekvensen av lakselusutslipp er svært avhengig av hvor utslippet skjer.

Median modellert smitteeffekt (ved utslipp av 1 lus/s fra alle anlegg) er 108 lus·s/m³ for smitte til vill laks og 1892 lus·s/m³ for smitte til vill ørret, med betydelig spredning (Figur 7). Faktorer som bidrar til lav smitteeffekt er stor hydrodynamisk blanding/fortynning, lav saltholdighet, og strøm som transporterer lakselus bort fra oppholdsområder for villfisk. For laks ser vi at anlegg som ligger like innenfor et større fjordsystem ofte har stor smitteeffekt, fordi saltholdigheten er høy, fortynningen moderat, og det er en rekke utvandningsruter for laks som passerer gjennom anleggene sine spredningsområder (Figur 4). For ørret ser vi det samme mønsteret med tanke på saltholdighet og fortynning, men her spiller nærhet til elvemunningen en mye større rolle (Figur 6). I tillegg er variasjonen i smitteeffekt større siden oppholdsområdene er mer lokalisert.

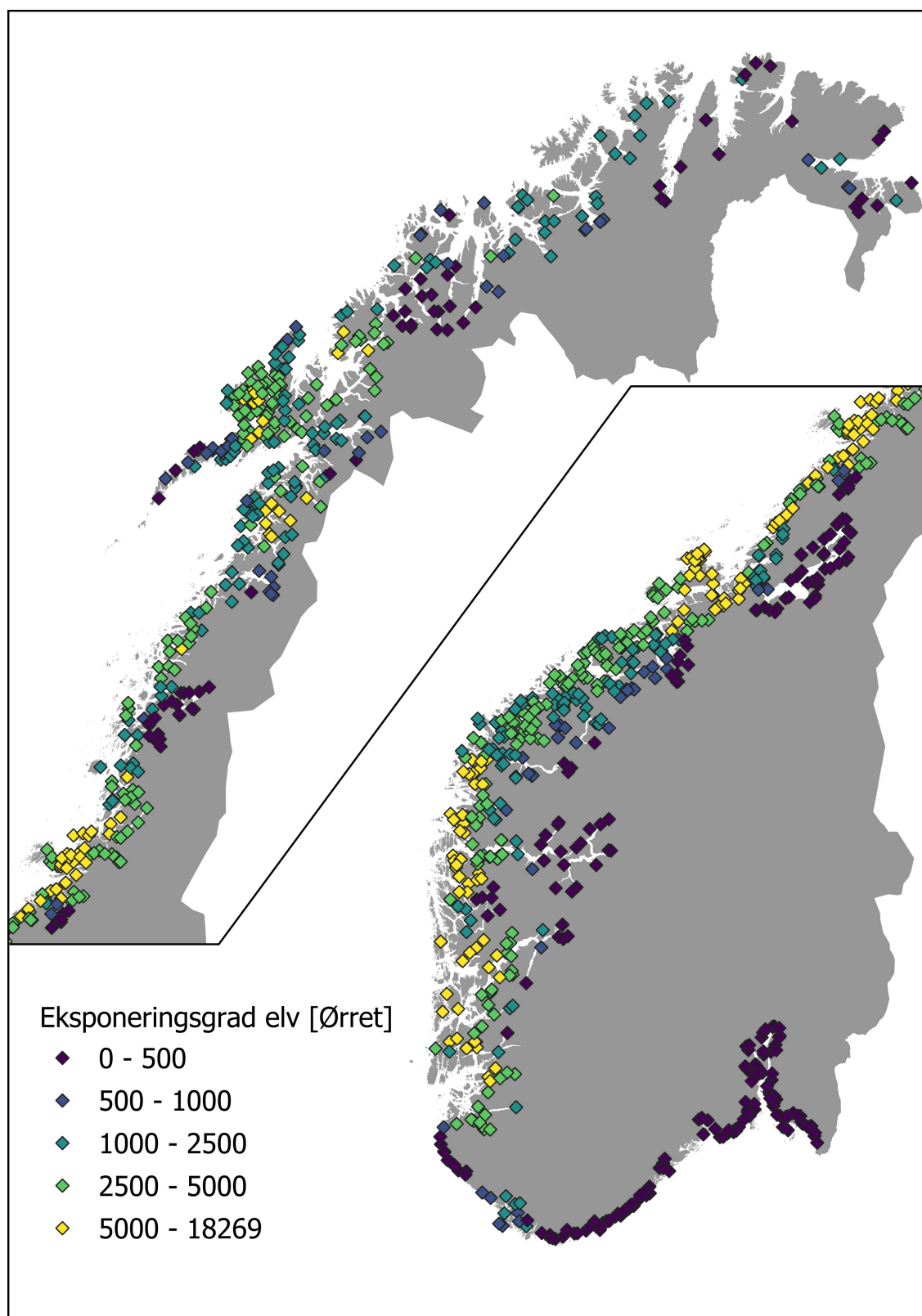
Median modellert eksponeringsgrad (ved utslipp av 1 lus/s fra alle anlegg) er 274 lus·s/m³ for bestander av laks og 1932 lus·s/m³ for bestander av ørret, men også her er det store variasjoner (Figur 7). Mekanismene som driver eksponeringsgrad er de samme som for smitteeffekt (fortynning, saltholdighet og strøm). I tillegg ser vi tydelig en effekt av oppdrettstetthet; Utslipp på 1 lus/s fra alle anlegg har større konsekvenser når det er mange anlegg som sprer lus til oppholdsområdet. For laks ser vi at elver i nasjonale laksefjorder kan være sterkt påvirket selv om elvemunningen ligger langt fra nærmeste oppdrettsanlegg, siden postsmolten må vandre forbi mange oppdrettsanlegg på vei til havet (Figur 3). For ørret ser vi derimot at nasjonale laksefjorder av en viss størrelse virker beskyttende, og luseutslipp har begrenset effekt på disse gitt eksisterende lokalitetsstruktur (Figur 5).



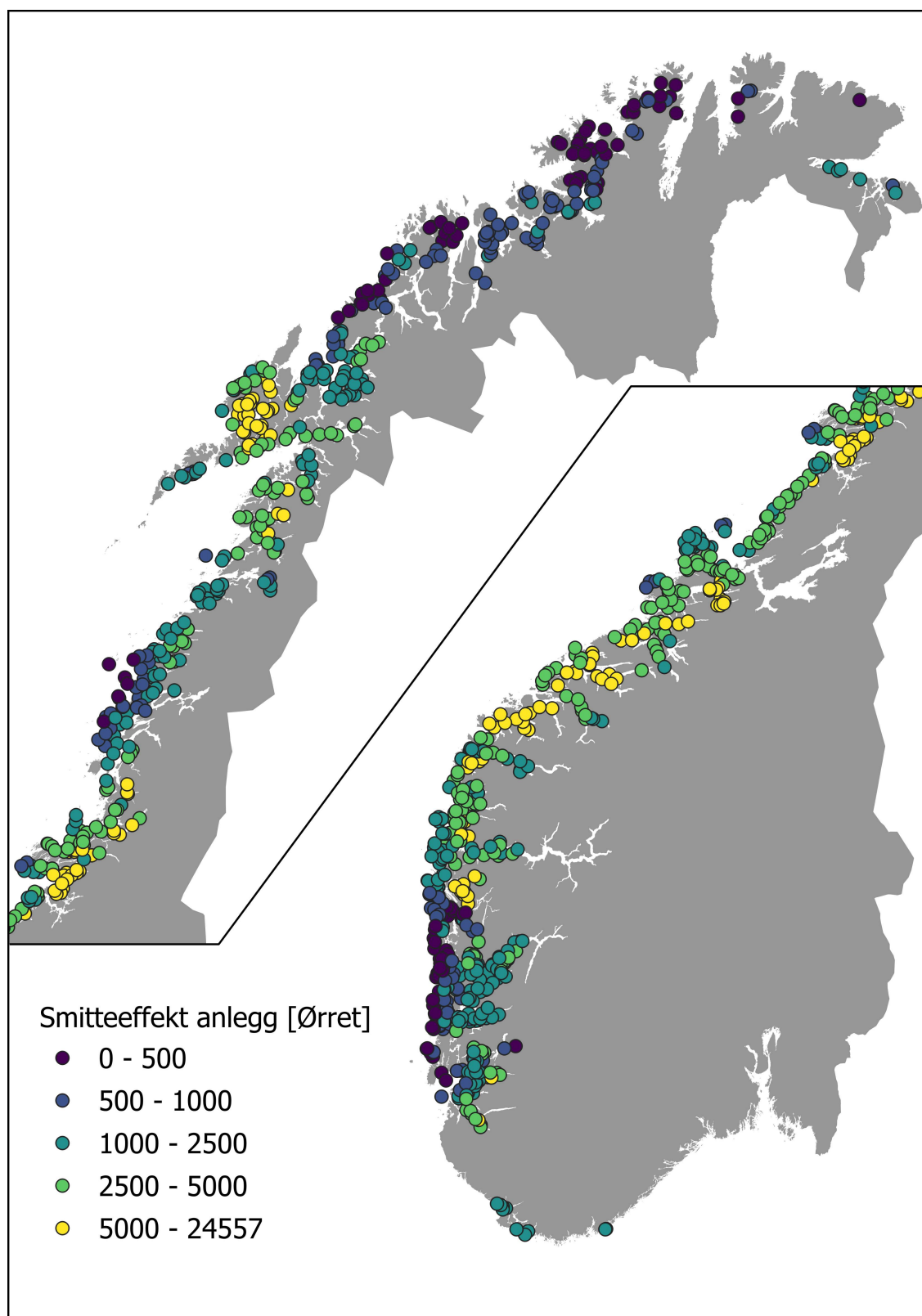
Figur 3. Ulike lakseelvers eksponeringsgrad for lakselusutslipp. Høye verdier indikerer at konstant utslipp på 1 lus/s fra alle anlegg vil ha stor negativ påvirkning på villfisken. Dette skjer typisk i områder med mange anlegg og betydelig overlapp mellom lakseluskonsentrasjon i øvre 2 meter og utvandningsruter for postsmolt.



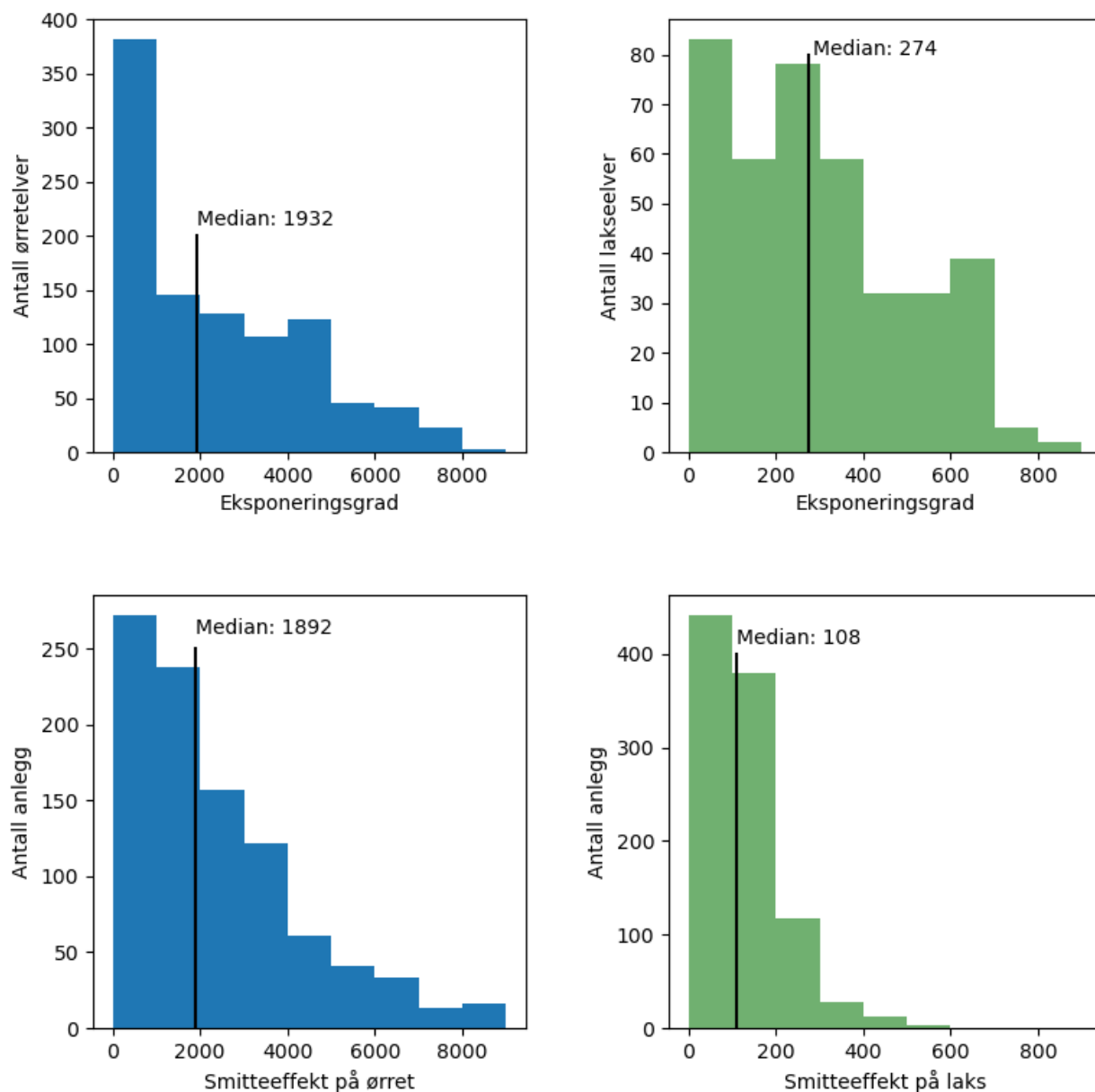
Figur 4. Ulike anleggs smitteeffekt på utvandrende postsmolt av laks. Høye verdier indikerer at konstant utslipp på 1 lus/s vil ha stor negativ påvirkning på villfisken. Dette skjer typisk i områder med mange lakseelver og betydelig overlapp mellom lakseluskonsentrasjon i øvre 2 meter og utvandningsruter for postsmolt.



Figur 5. Ulike ørretelvers eksponeringsgrad for lakselusutslipp. Høye verdier indikerer at konstant utslipp på 1 lus/s fra alle anlegg vil ha stor negativ påvirkning på villfisker. Dette skjer typisk i områder med mange anlegg og betydelig overlapp mellom lakseluskonsentrasjon i øvre 2 meter og oppholdsområder for ørret.



Figur 6. Ulike anleggs smitteeffekt på sjøørret. Høye verdier indikerer at konstant utslipp på 1 lus/s vil ha stor negativ påvirkning på villfisken. Dette skjer typisk i områder med mange ørretelver og betydelig overlapp mellom lakseluskonsentrasjon i øvre 2 meter og oppholdsområder for ørret.



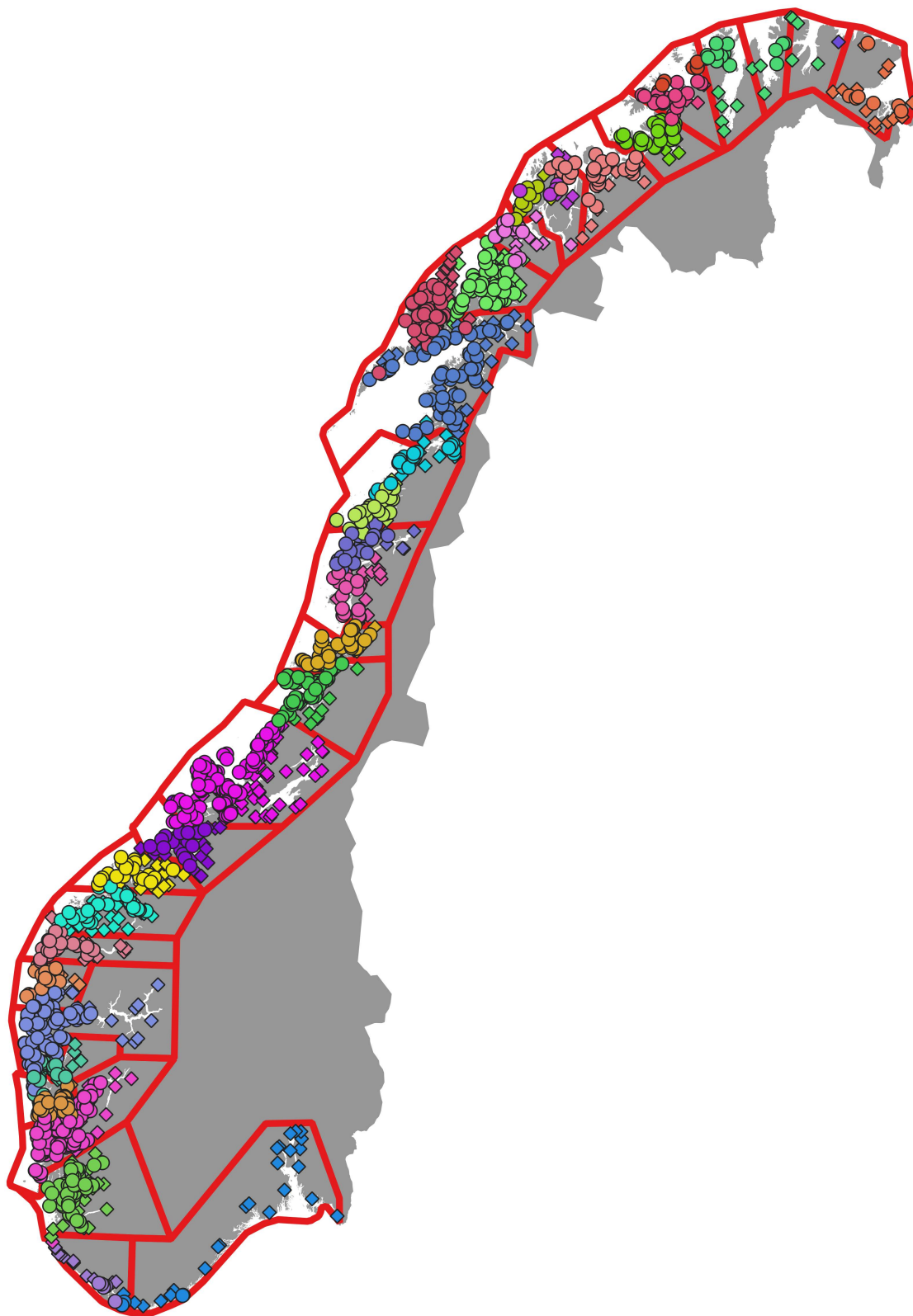
Figur 7. Histogram over eksponeringsgrad for alle elver (øverst) og smitteeffekt for alle anlegg (nederst) for ørret (til venstre) og laks (til høyre). Verdiene for eksponeringsgrad og smitteeffekt er de samme som er plottet i Figur 3 til Figur 6.

4.5 - Klyngeanalyse

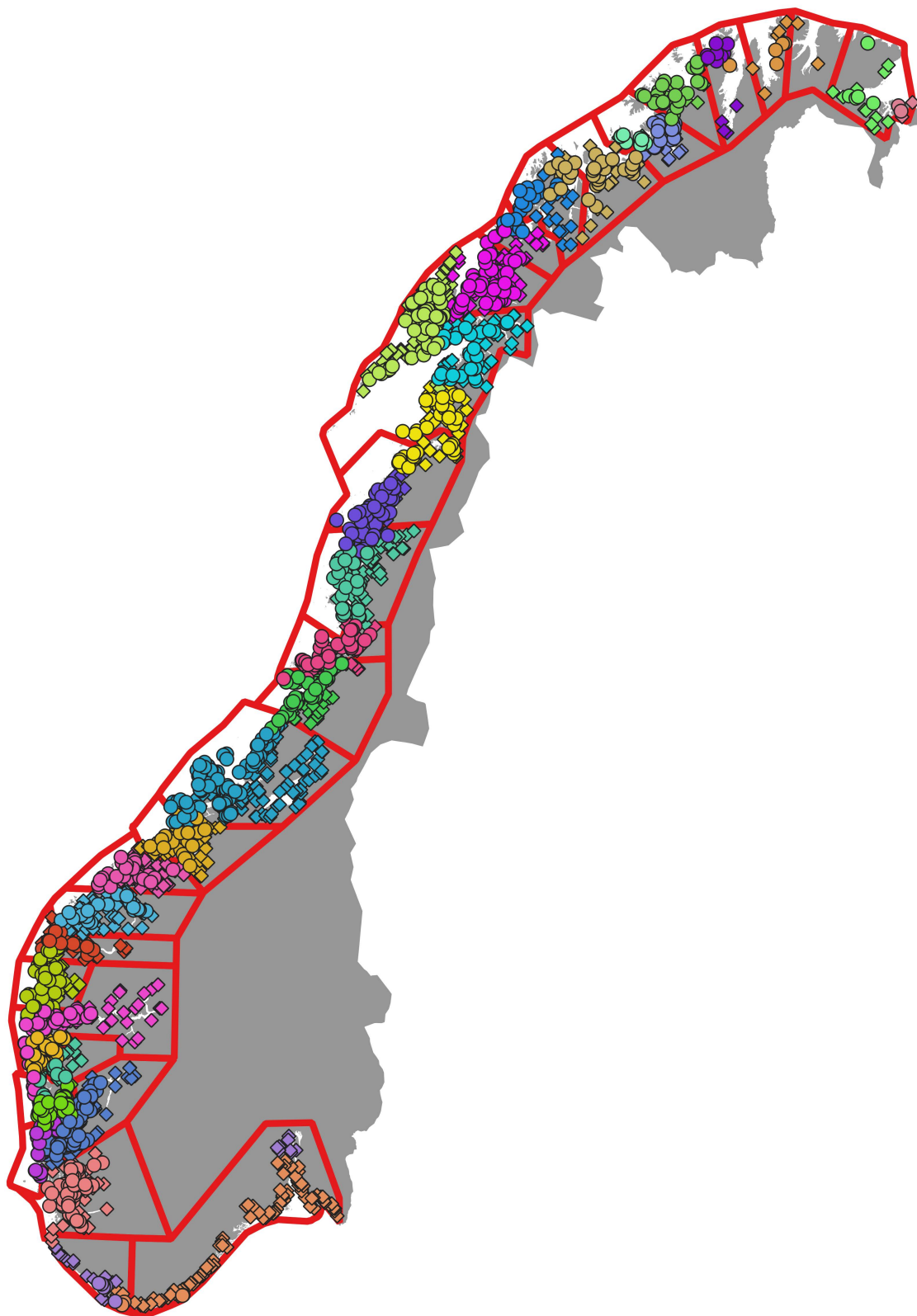
Vi har gjentatt klyngeanalysen for flere ulike antall klynger (8, 16, 32, 64). Som forventet vil flere klynger gi større homogenitet innenfor klyngene, men også større avhengighet mellom klyngene. Klyngene svarer stort sett til grupper av fjordsystemer. Analysen med 16 klynger bekrefter at grensene for de eksisterende produksjonsområdene er naturlige avgrensninger også for smitte mellom anlegg og villfisk, ikke bare mellom anlegg. Når antallet klynger økte til 64, foreslo algoritmen å dele enkelte fjorder inn i indre og ytre områder, men stort sett foreslo algoritmen at både indre og ytre områder var samlet i samme klynge.

Etter en samlet vurdering av homogenitet og uavhengighet ble det bestemt å bruke klyngeanalysen for 32 klynger som utgangspunkt for områdeinndelingen (Figur 8 og Figur 9). Som beskrevet tidligere gir algoritmen noe sprikende resultater i enkelte områder, siden det er et element av tilfeldighet hver gang analysen gjentas. Vi har derfor slått sammen noen av klyngene som er foreslått av algoritmen og foretatt mindre justeringer av grensene mellom dem basert på faglig skjønn. Det endelige resultatet består av 28 ulike reguleringsområder som vist i Figur 10. Koordinater for reguleringsområdene er gitt i appendiks.

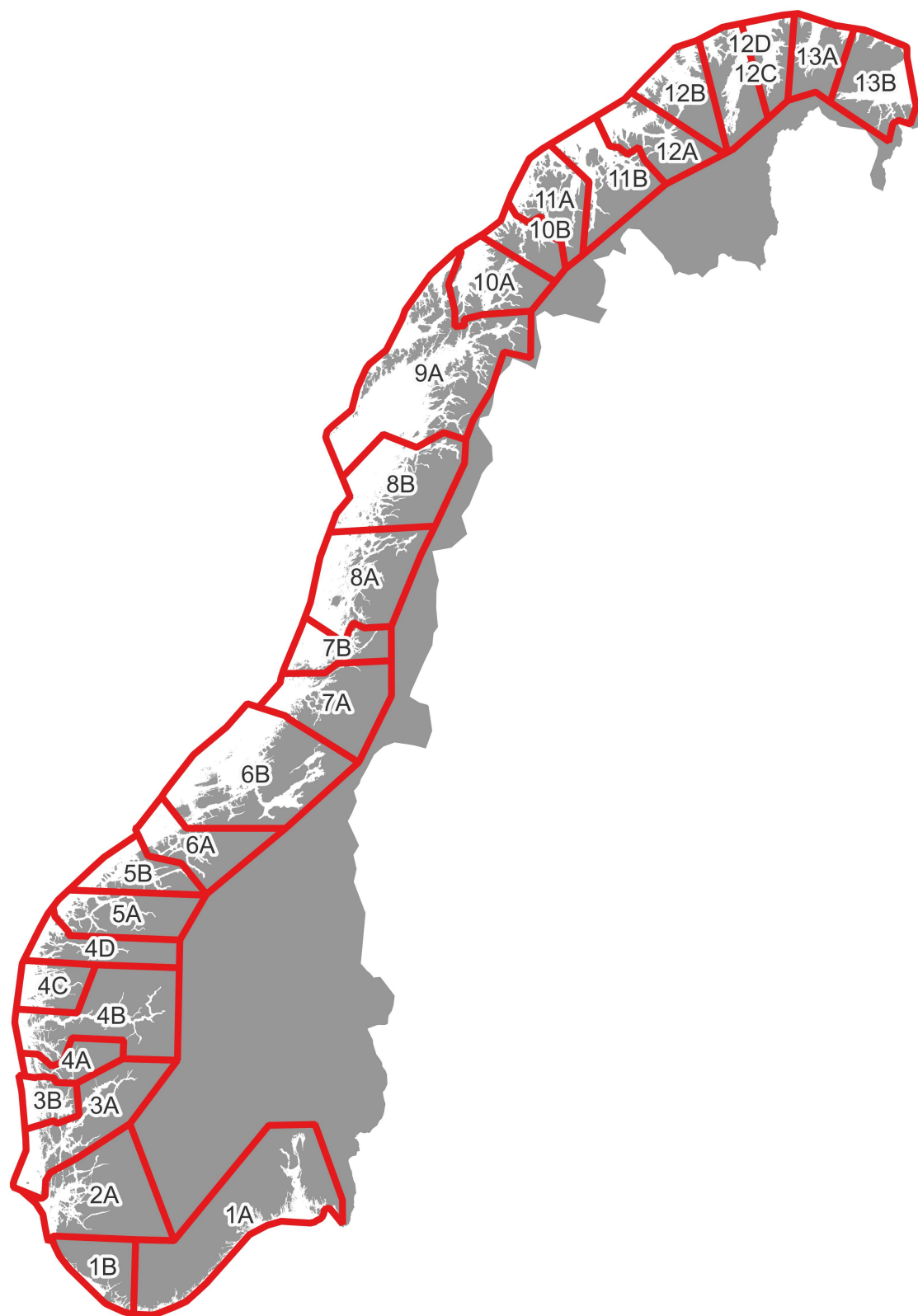
Vi refererer til hvert av de nye reguleringsområdene med et tall og en bokstav, der tallet representerer det produksjonsområdet som reguleringsområdet er en del av. For eksempel foreslår vi at produksjonsområde 4 deles opp i reguleringsområdene 4A, 4B, 4C og 4D, mens produksjonsområde 2 bare består av reguleringsområdet 2A.



Figur 8. Elver (firkanter) og anlegg (sirkler), fargelagt etter resultatet av klyngeanalysen for laks. Analysen har et element av tilfeldighet og gir litt ulikt resultat fra gang til gang. Figuren viser én av de realiserte klyngemønstrene. Særlig i områder med få anlegg, eller i overgangen mellom områder, kan resultatet fra analysen sprike litt. Røde linjer viser de foreslåtte reguleringsområdene.



Figur 9. Elver (firkanter) og anlegg (sirkler), fargelagt etter resultatet av klyngeanalysen for ørret. Analysen har et element av tilfeldighet og gir litt ulikt resultat fra gang til gang. Figuren viser én av de realiserte klyngemønstrene. Særlig i områder med få anlegg, eller i overgangen mellom områder, kan resultatet fra analysen sprike litt. Røde linjer viser de foreslåtte reguleringsområdene



Figur 10. Grensene for foreslåtte reguleringsområder. De nye reguleringsområdene tar utgangspunkt i de etablerte 13 produksjonsområdene, men gjør en ytterligere inndeling av disse.

4.6 - Homogenitet og uavhengighet

Tabell 1 viser uavhengighet og homogenitet for de eksisterende produksjonsområdene og Tabell 2 viser uavhengighet og homogenitet for de nye reguleringsområdene. Merk at noen av områdene inneholder svært få oppdrettsanlegg, og tallene for disse områdene må tolkes med varsomhet.

De eksisterende produksjonsområdene er svært uavhengige, mellom 0,94 og 1,00 for ørret, og mellom 0,75 og 1,00 for laks. De nye reguleringsområdene har større grad av eksternsmitte, med uavhengighet ned mot 0,60 for ørret (område 10B) og 0,56 for laks (område 11A). Likevel er det internsmitten som dominerer i alle områder, også med de nye reguleringsområdene.

De eksisterende produksjonsområdene har lav homogenitet. Verdien er nær 0,25 for ørret i alle områder, som er det matematisk laveste mulige tallet. Smitten er altså dominert av anleggene med størst smitteeffekt, og elvene med størst eksponeringsgrad. Homogeniteten er mellom 0,27 og 0,46 for laks. De nye reguleringsområdene har betydelig sterkere homogenitet for laks, og noe sterkere homogenitet for ørret. Homogeniteten er likevel svakere enn ønskelig; systemet er fortsatt følsomt for flytting av utslipp fra et anlegg til et annet, også med de nye reguleringsområdene. Dessverre er det ikke åpenbart hvordan homogeniteten kan forbedres betydelig uten at områdene gjøres så små at eksternsmitten dominerer.

Homogeniteten kan forbedres uten å gjøre reguleringsområdene mindre, dersom man innfører *vekting* av kvoter innenfor et område. For eksempel: Dersom et luseutslipp skal flyttes fra et anlegg med lav smitteeffekt, til et anlegg med høy smitteeffekt, må kvoten først ganges med en skaleringsfaktor.

		Ørret			Laks		
PO	Anlegg	Elver	Hom.	Uavh.	Elver	Hom.	Uavh.
1	10	150	25 %	94 %	38	28 %	78 %
2	49	26	29 %	99 %	18	46 %	95 %
3	137	40	26 %	99 %	12	40 %	95 %
4	138	116	25 %	98 %	40	28 %	94 %
5	46	115	27 %	99 %	44	33 %	98 %
6	137	159	26 %	95 %	62	35 %	95 %
7	73	69	27 %	98 %	22	32 %	96 %
8	92	81	25 %	95 %	30	30 %	93 %
9	108	158	25 %	94 %	57	27 %	87 %
10	70	37	27 %	95 %	25	35 %	89 %
11	46	34	27 %	95 %	17	35 %	93 %
12	69	28	26 %	97 %	18	27 %	94 %
13	7	15	27 %	100 %	18	30 %	100 %

Tabell 1. Homogenitet og uavhengighet for de eksisterende 13 produksjonsområdene. Antall anlegg viser til anlegg som er inkludert i nettverksanalysen, det vil si anlegg som har rapportert lusetall til Mattilsynet i perioden 2020-2025.

RO	Anlegg	Ørret			Laks		
		Elver	Hom.	Uavh.	Elver	Hom.	Uavh.
1A	2	128	25 %	60 %	24	26 %	57 %
1B	8	22	35 %	89 %	14	39 %	77 %
2A	49	26	29 %	98 %	18	46 %	93 %
3A	85	35	28 %	90 %	10	55 %	82 %
3B	52	5	31 %	94 %	2	51 %	79 %
4A	26	9	31 %	68 %	6	60 %	63 %
4B	49	51	26 %	88 %	16	47 %	81 %
4C	41	24	31 %	88 %	8	42 %	82 %
4D	22	32	28 %	90 %	10	45 %	92 %
5A	21	63	32 %	97 %	26	43 %	91 %
5B	25	52	36 %	95 %	18	55 %	90 %
6A	29	48	32 %	92 %	14	48 %	90 %
6B	108	111	26 %	85 %	48	43 %	87 %
7A	38	49	28 %	82 %	15	39 %	90 %
7B	35	20	34 %	90 %	7	47 %	93 %
8A	45	52	26 %	85 %	19	42 %	84 %
8B	47	29	29 %	86 %	11	36 %	75 %
9A	18	18	34 %	96 %	6	47 %	88 %
9B	41	60	27 %	85 %	21	40 %	85 %
9C	49	81	28 %	89 %	31	32 %	76 %
10A	54	23	30 %	77 %	16	42 %	72 %
10B	16	13	27 %	60 %	8	51 %	73 %
11A	21	19	30 %	76 %	8	44 %	56 %
11B	25	15	32 %	92 %	9	44 %	78 %
12A	29	12	31 %	86 %	4	65 %	85 %
12B	26	5	35 %	88 %	3	54 %	85 %
12C	10	6	26 %	94 %	7	60 %	87 %
12D	4	5	33 %	95 %	4	58 %	86 %
13A	0	2			5		
13B	7	13	27 %	100 %	13	32 %	100 %

Tabell 2. Homogenitet og uavhengighet for de foreslåtte 28 reguleringsområdene. Antall anlegg viser til anlegg som er inkludert i nettverksanalysen, det vil si anlegg som har rapportert lusetall til Mattilsynet i perioden 2020-2025.

5 - Konklusjon

Vi foreslår å dele hvert av de eksisterende produksjonsområdene inn i 1-4 reguleringsområder, til sammen 28 områder (Figur 10). Dette gir økt homogenitet i forhold til de opprinnelige 13 produksjonsområdene, det vil si at påvirkningen på villfisken er mindre følsom for flytting av utslipp fra et anlegg til de andre. Men også med de nye områdene vil fordelingen av utslipp innenfor et område ha stor betydning, og reguleringsbestemmelsene bør ta høyde for dette.

6 - Referanser

- Albretsen et al. (2011). *Norkyst-800 Report No. 1: User Manual and technical descriptions*. Fisken og havet 2011-2. https://www.hi.no/en/hi/nettrapporter/fisken-og-havet/2011/fh_2-2011_til_web.
- Asplin, L. et al. (2020). *The hydrodynamic foundation for salmon lice dispersion modeling along the Norwegian coast*. Ocean Dynamics 70(8). <https://doi.org/10.1007/s10236-020-01378-0>.
- Bolstad, G.H., Diserud, O.H., Paterson, R.A. et al. (2025a). *A Fitness-Based Indicator for the Effect of Aquaculture-Produced Salmon Lice on Wild Sea Trout*. ICES Journal of Marine Science 82(5). <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsae192>.
- Bolstad, G.H., Holstad, A., Diserud, O., Eldøy, S., Karlsen, Ø., Sandvik, A.D., Haraldstad, T., Haugen, T., Hawley, K.L., Karlsson, S., Lamberg, A., Paterson, R.A., Sægrov, H., Ugedal, O., Ulvan, E.M., Urke, H.A., Vollset, K.W. og Næsje, T.F. (2025b). *Foreløpige indikatorverdier (Itrutta) for sjøørret i produksjonsområdene i 2021 og 2024*. NINA Rapport 2635. Norsk institutt for naturforskning. <https://hdl.handle.net/11250/3215425>
- Johnsen, I.A. et al. (2020). *Salmon lice-induced mortality of Atlantic salmon during post-smolt migration in Norway*. ICES Journal of Marine Science 78(1). <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsaa202>.
- Jonsson, N., Jonsson, B., Knutsen, J.A., Knutsen, H. og Olsen, E.M. (2005). *Sjøørretens habitatbruk og ernæring i kystnære farvann*. NINA Temahefte 31: 39-47.
- Myksvoll, M.S. et al. (2018) *Evaluation of a national operational salmon lice monitoring system—From physics to fish*. PLOS ONE, 13(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201338>.
- Paterson, R.A., Berntsen, H.H., Næsje, T.F., Berg, M. og Finstad, B. (2021). *Factors influencing return rate and marine residence duration in sea trout populations in Central Norway*. Journal of Fish Biology 99.
- Produksjonsområdeforskriften (2017). *Forskrift om produksjonsområder for akvakultur av matfisk i sjø av laks, ørret og regnbueørret* (FOR-2017-01-16-61) Lovdata. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-01-16-61>
- Sandvik AD, Johnsen IA, Myksvoll MS, Sævik PN, Skogen MD. 2020. *Prediction of the salmon lice infestation pressure in a Norwegian fjord*. ICES Journal of Marine Science 77(2). <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsz256>.
- Sandvik, A.D. et al. (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(5). <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsab077>.
- Skarðhamar, J. et al. (2018). *Modelled Salmon Lice Dispersion and Infestation Patterns in a Sub-Arctic Fjord*. ICES Journal of Marine Science 75(5). <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy035>.
- Svenning, M.-A. et al. (2013). *Sjørøye – økologisk og/eller genetisk segregering?* NINA Rapport 957.
- Thorstad, E. B., Whoriskey, F. G., Rikardsen, A. H. og Aarestrup, K. (2011a). *Aquatic nomads: the life and migrations of the Atlantic salmon*. In *Atlantic Salmon Ecology* (Aas, Ø., Einum, S., Klemetsen, A. og Skurdal, J. eds), pp. 1–32. Oxford: WileyBlackwell.
- Vollset, K.W. et al. (2021). *Predicting the nationwide outmigration timing of Atlantic salmon (Salmo salar) smolts along 12 degrees of latitude in Norway*. Diversity and Distributions 27(8). <https://doi.org/10.1111/ddi.13285>.
- Ådlandsvik, Bjørn (2022). *Havbruk til havs – yttergrense for produksjonsområdene*. Rapport fra havforskningen

2022-2. <https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-2022-2>.

Ådlandsvik, Bjørn (2019). *Havbruk til havs – smittespredning*. Rapport fra havforskningen 2019-58.
<https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-2019-58>.

Ådlandsvik, Bjørn (2015). *Forslag til produksjonsområder*. Rapport fra havforskningen 2015-20.
https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen/2015/produksjonsomrader_rapp_20-2015.

7 - Appendiks

7.1 - Koordinater for reguleringsområder

Reguleringsområde 1A: POLYGON((7.20000, 57.94511), (7.20000, 58.75064), (8.00000, 58.75000), (10.00000, 60.00000), (11.00000, 60.00000), (11.53282, 59.17483), (11.52025, 58.91235), (11.25200, 59.09400), (11.22800, 59.08800), (11.15000, 59.08000), (11.13000, 59.03000), (11.12000, 59.02000), (11.09000, 58.99000), (11.08000, 58.99000), (11.07000, 58.98000), (10.98000, 58.96000), (10.95000, 58.95000), (10.92000, 58.94000), (10.88000, 58.94000), (10.85439, 58.93360), (10.53188, 58.94733), (10.23430, 58.96003), (10.16402, 58.94937), (10.16312, 58.94924), (9.94736, 58.91974), (9.63869, 58.83793), (9.57025, 58.81964), (9.33966, 58.68593), (9.11082, 58.55181), (8.88374, 58.41729), (8.68201, 58.29658), (8.67985, 58.29540), (8.49861, 58.20555), (8.49828, 58.20539), (8.27251, 58.09563), (8.26990, 58.09448), (8.26707, 58.09349), (8.26479, 58.09285), (8.20561, 58.07781), (8.20545, 58.07777), (8.03067, 58.03373), (8.02919, 58.03338), (7.71711, 57.96417), (7.69730, 57.95974), (7.69684, 57.95964), (7.65740, 57.95120), (7.65500, 57.95074), (7.62375, 57.94557), (7.62047, 57.94513), (7.61786, 57.94492), (7.56798, 57.94198), (7.56461, 57.94188), (7.56393, 57.94189), (7.22629, 57.94485), (7.20206, 57.94503), (7.20000, 57.94511), (7.20000, 57.94511))

Reguleringsområde 1B: POLYGON((7.20000, 58.75064), (7.20000, 57.94511), (7.19870, 57.94515), (7.19599, 57.94539), (6.99773, 57.96761), (6.99446, 57.96808), (6.99217, 57.96852), (6.67933, 58.03680), (6.65880, 58.04124), (6.65858, 58.04129), (6.64962, 58.04328), (6.64657, 58.04405), (6.64555, 58.04436), (6.61076, 58.05542), (6.60796, 58.05642), (6.60642, 58.05708), (6.57477, 58.07151), (6.57422, 58.07177), (6.32165, 58.19175), (6.06738, 58.31122), (5.85270, 58.41108), (5.85087, 58.41200), (5.83992, 58.41794), (5.83881, 58.41858), (5.67776, 58.51524), (5.67682, 58.51583), (5.63503, 58.54323), (5.63303, 58.54469), (5.63210, 58.54550), (5.52116, 58.64916), (5.52019, 58.65014), (5.50954, 58.66180), (5.50822, 58.66346), (5.50821, 58.66349), (5.46244, 58.73185), (5.46169, 58.73300), (5.48900, 58.75200), (7.20000, 58.75064), (7.20000, 58.75064))

Reguleringsområde 2A: POLYGON((5.36318, 58.72839), (5.36061, 58.73267), (5.35993, 58.73399), (5.29768, 58.86086), (5.29695, 58.86242), (5.24471, 58.97986), (5.08142, 59.09460), (4.78362, 59.21228), (4.77048, 59.21744), (4.76979, 59.21771), (4.76880, 59.21813), (4.76646, 59.21911), (4.76307, 59.22054), (4.76300, 59.22057), (4.75819, 59.22288), (5.19300, 59.14800), (5.27000, 59.18000), (5.26000, 59.35000), (5.29600, 59.37500), (5.34000, 59.43000), (5.91000, 59.61000), (7.00000, 60.00000), (8.00000, 58.75000), (7.19999, 58.75064), (5.48900, 58.75200), (5.39253, 58.68477), (5.36318, 58.72839), (5.36318, 58.72839))

Reguleringsområde 3A: POLYGON((4.75140, 59.88034), (5.36445, 59.99525), (5.43596, 59.96722), (5.90000, 60.07000), (5.80032, 60.41009), (6.80000, 60.70000), (8.00000, 60.70000), (7.00000, 60.00000), (5.91000, 59.61000), (5.34000, 59.43000), (5.29600, 59.37500), (5.26000, 59.35000), (5.27000, 59.18000), (5.19300, 59.14800), (4.75819, 59.22288), (4.59131, 59.25147), (4.58141, 59.29219), (4.60520, 59.34328), (4.71397, 59.51385), (4.80662, 59.65772), (4.78094, 59.78346), (4.75140, 59.88034), (4.75140, 59.88034))

Reguleringsområde 3B: POLYGON((5.80032, 60.41009), (5.90000, 60.07000), (5.43596, 59.96722), (5.36445, 59.99525), (4.75140, 59.88034), (4.73373, 59.93827), (4.67909, 60.11568), (4.62603, 60.28608), (4.61815, 60.30074), (4.53769, 60.44968), (4.53192, 60.46030), (4.90400, 60.44600), (4.92300, 60.45400), (4.93400, 60.45800), (4.94053, 60.46249), (4.95500, 60.45700), (4.96600, 60.44100), (4.98700, 60.45700), (5.03700, 60.45900), (5.07300, 60.46500), (5.23500, 60.45900), (5.27200, 60.46000), (5.33000, 60.45000), (5.33000, 60.41000), (5.80000, 60.41000), (5.80032, 60.41009), (5.80032, 60.41009))

Reguleringsområde 4A: POLYGON((4.54006, 60.70000), (4.92916, 60.70000), (5.24245, 60.58257), (5.47752, 60.63303), (5.65306, 60.90000), (6.80000, 60.90000), (6.80000, 60.70000), (5.80000, 60.41000), (5.33000, 60.41000), (5.33000, 60.45000), (5.27200, 60.46000), (5.23500, 60.45900), (5.07300, 60.46500), (5.03700, 60.45900), (4.98700, 60.45700), (4.96600, 60.44100), (4.95500, 60.45700), (4.94053, 60.46249), (4.93400, 60.45800), (4.92300, 60.45400), (4.90400, 60.44600), (4.67315, 60.45500), (4.66337, 60.47314), (4.56935, 60.64657), (4.54006, 60.70000), (4.54006, 60.70000))

Reguleringsområde 4B: POLYGON((4.37244, 61.17000), (5.73788, 61.17000), (6.10000, 61.70000), (8.00000, 61.70000), (8.00000, 60.70000), (6.80000, 60.70000), (6.80000, 60.70000), (6.80000, 60.90000), (5.65306, 60.90000), (5.47752, 60.63303), (5.24245, 60.58257), (4.92916, 60.70000), (4.54006, 60.70000), (4.47431, 60.81992), (4.37823, 60.99321), (4.36818, 61.01123), (4.36606, 61.01560), (4.36456, 61.02002), (4.36367, 61.02449), (4.36361, 61.02500), (4.36297, 61.03074), (4.36277, 61.03368), (4.36195, 61.07274), (4.36214, 61.07696), (4.37244, 61.17000), (4.37244, 61.17000))

Reguleringsområde 4C: POLYGON((6.10000, 61.70000), (5.73788, 61.17000), (4.37244, 61.17000), (4.38197, 61.25619), (4.40204, 61.43541), (4.42233, 61.61462), (4.42691, 61.65478), (4.42774, 61.65925), (4.42920, 61.66368), (4.43129, 61.66805), (4.43399, 61.67235), (4.43712, 61.67634), (4.45761, 61.70000), (6.10000, 61.70000), (6.10000, 61.70000))

Reguleringsområde 4D: POLYGON((8.00000, 61.70000), (6.10000, 61.70000), (4.45761, 61.70000), (4.58094, 61.84236), (4.68614, 61.96258), (4.68624, 61.96269), (4.76800, 62.05496), (4.77007, 62.05717), (4.92587, 62.21501), (4.93020, 62.21901), (4.93511, 62.22287), (4.93554, 62.22319), (4.96875, 62.24708), (5.04082, 62.29858), (5.10100, 62.19400), (5.44000, 62.04000), (5.44000, 62.00000), (8.00000, 62.00000), (8.00000, 61.70000), (8.00000, 61.70000))

Reguleringsområde 5A: POLYGON((5.37866, 62.49000), (8.58800, 62.49000), (8.00000, 62.00000), (5.44000, 62.00000), (5.44000, 62.04000), (5.10100, 62.19400), (5.04082, 62.29858), (5.14392, 62.37241), (5.14947, 62.37608), (5.15554, 62.37957), (5.15911, 62.38142), (5.37866, 62.49000), (5.37866, 62.49000))

Reguleringsområde 5B: POLYGON((8.58800, 62.49000), (5.37866, 62.49000), (5.42393, 62.51239), (5.69107, 62.64285), (5.87660, 62.73249), (5.87824, 62.73327), (6.15396, 62.86081), (6.15656, 62.86201), (6.16371, 62.86508), (6.17131, 62.86792), (6.17211, 62.86820), (6.48694, 62.97591), (6.80409, 63.08292), (6.94237, 63.12899), (7.10500, 62.98800), (7.20000, 62.90000), (8.00000, 62.83000), (8.60000, 62.50000), (8.58800, 62.49000), (8.58800, 62.49000))

Reguleringsområde 6A: POLYGON((7.48333, 63.54442), (8.10000, 63.21000), (10.47643, 63.21000), (8.60000, 62.50000), (8.00000, 62.83000), (7.20000, 62.90000), (7.10500, 62.98800), (6.87360, 63.18848), (6.94534, 63.21234), (7.01884, 63.25827), (7.25323, 63.40351), (7.48240, 63.54374), (7.48333, 63.54442), (7.48333, 63.54442))

Reguleringsområde 6B: POLYGON((10.47643, 63.21000), (8.10000, 63.21000), (7.48333, 63.54442), (7.57552, 63.61182), (7.72674, 63.70319), (7.96796, 63.84740), (8.22120, 63.99680), (8.25235, 64.01152), (8.44073, 64.08317), (8.75202, 64.20024), (9.04854, 64.31024), (9.09738, 64.33447), (9.37114, 64.46922), (9.56410, 64.56310), (10.51000, 64.42900), (10.61300, 64.39100), (12.30000, 63.90000), (10.47643, 63.21000), (10.47643, 63.21000))

Reguleringsområde 7A: POLYGON((10.45846, 64.88628), (11.55000, 64.88000), (11.86885, 64.98000), (13.25067, 64.98000), (13.20000, 64.60000), (12.30000, 63.90000), (10.61300, 64.39100), (10.51000, 64.42900), (9.84532, 64.52400), (9.95330, 64.57570), (10.06473, 64.62902), (10.34626, 64.76194), (10.40268,

64.78835), (10.41821, 64.83413), (10.41903, 64.83589), (10.41980, 64.83700), (10.45846, 64.88628), (10.45846, 64.88628))

Reguleringsområde 7B: POLYGON((13.25067, 64.98000), (11.86885, 64.98000), (11.55000, 64.88000), (10.45846, 64.88628), (10.48447, 64.91943), (10.48566, 64.92076), (10.65439, 65.08533), (10.82521, 65.24970), (10.98443, 65.40092), (11.07227, 65.49223), (11.96300, 65.23100), (11.97200, 65.22950), (12.03800, 65.21667), (12.10000, 65.22000), (12.20000, 65.33000), (12.33000, 65.41000), (12.60000, 65.35000), (13.30000, 65.35000), (13.25067, 64.98000), (13.25067, 64.98000))

Reguleringsområde 8A: POLYGON((11.78586, 66.40000), (14.64211, 66.40000), (14.20000, 66.10000), (13.30000, 65.35000), (12.60000, 65.35000), (12.33000, 65.41000), (12.20000, 65.33000), (12.10000, 65.22000), (12.03800, 65.21667), (11.97200, 65.22950), (11.96300, 65.23100), (11.08000, 65.49000), (11.07227, 65.49223), (11.14509, 65.56741), (11.22213, 65.64643), (11.32488, 65.82075), (11.42904, 65.99499), (11.51018, 66.12904), (11.51147, 66.13075), (11.51202, 66.13133), (11.68028, 66.29732), (11.78586, 66.40000), (11.78586, 66.40000))

Reguleringsområde 8B: POLYGON((14.64211, 66.40000), (11.78586, 66.40000), (11.85077, 66.46313), (11.99129, 66.59801), (11.99325, 66.59963), (11.99563, 66.60115), (11.99841, 66.60256), (11.99866, 66.60267), (12.30041, 66.73629), (12.38970, 66.77544), (12.23340, 66.94391), (12.19274, 66.98733), (13.40000, 67.43000), (14.31000, 67.26400), (14.80000, 67.35000), (15.10000, 67.40000), (15.70000, 67.30000), (15.60000, 67.05000), (14.64211, 66.40000), (14.64211, 66.40000))

Reguleringsområde 9A: POLYGON((15.95000, 67.50000), (15.70000, 67.30000), (15.10000, 67.40000), (14.80000, 67.35000), (14.31000, 67.26400), (13.40000, 67.43000), (13.40000, 67.43000), (13.40000, 67.43000), (12.19274, 66.98733), (12.07492, 67.11222), (11.91423, 67.28037), (11.80261, 67.39570), (11.80151, 67.39699), (11.78011, 67.42598), (11.77908, 67.42773), (11.77855, 67.42951), (11.77852, 67.43131), (11.77899, 67.43309), (11.77939, 67.43392), (11.77953, 67.43419), (11.78022, 67.43526), (11.81956, 67.48914), (11.82107, 67.49083), (11.82304, 67.49246), (11.82546, 67.49399), (11.82830, 67.49542), (11.83152, 67.49672), (11.83192, 67.49686), (11.94626, 67.53711), (11.94696, 67.53735), (11.98825, 67.55122), (11.99036, 67.55188), (12.36353, 67.66100), (12.54391, 67.71308), (12.68546, 67.88422), (12.73697, 67.94585), (12.73865, 67.94753), (12.73981, 67.94845), (12.95928, 68.10781), (13.02093, 68.15213), (13.02337, 68.15368), (13.02592, 68.15496), (13.11724, 68.19665), (13.12049, 68.19797), (13.12410, 68.19916), (13.12539, 68.19952), (13.51588, 68.30525), (13.63860, 68.33809), (13.88825, 68.49204), (14.14133, 68.64561), (14.17154, 68.66378), (14.27270, 68.75147), (14.27486, 68.75308), (14.27748, 68.75460), (14.27982, 68.75570), (14.59945, 68.89279), (14.92306, 69.02927), (15.12343, 69.11263), (15.12691, 69.11392), (15.13027, 69.11494), (15.53035, 69.22389), (15.93443, 69.33190), (16.01056, 69.35203), (16.01479, 69.35302), (16.01815, 69.35366), (16.07842, 69.36399), (16.09619, 69.36703), (16.12200, 69.32000), (15.65000, 69.00000), (15.63400, 68.96700), (15.65300, 68.96100), (15.75000, 68.70000), (15.72500, 68.60000), (15.70750, 68.53000), (16.00000, 68.53000), (16.00000, 68.60000), (16.57800, 68.62800), (18.00000, 68.60000), (17.80000, 68.10000), (17.05000, 68.20000), (16.55000, 67.80000), (16.54971, 67.79985), (15.95000, 67.50000), (15.95000, 67.50000))

Reguleringsområde 10A: POLYGON((16.76400, 69.47920), (18.83513, 68.87838), (18.00000, 68.60000), (16.57800, 68.62800), (16.00000, 68.60000), (16.00000, 68.53000), (15.70750, 68.53000), (15.75000, 68.70000), (15.65300, 68.96100), (15.63400, 68.96700), (15.65000, 69.00000), (16.12200, 69.32000), (16.09619, 69.36703), (16.47663, 69.43150), (16.76400, 69.47920), (16.76400, 69.47920))

Reguleringsområde 10B: POLYGON((18.83513, 68.87838), (16.76400, 69.47920), (16.92283, 69.50558),

(17.36486, 69.59642), (17.44663, 69.61302), (17.69663, 69.76986), (17.74777, 69.80161), (17.94900, 69.64400), (18.00100, 69.63600), (18.04700, 69.62300), (18.30000, 69.55000), (18.70000, 69.60000), (18.73400, 69.55800), (18.74200, 69.54400), (18.78000, 69.40000), (19.20000, 69.30000), (19.20000, 69.00000), (18.83513, 68.87838), (18.83513, 68.87838))

Reguleringsområde 11A: POLYGON((19.31379, 70.35382), (20.35683, 69.88551), (19.77769, 69.11554), (19.20000, 69.00000), (19.20000, 69.30000), (18.78000, 69.40000), (18.74200, 69.54400), (18.73400, 69.55800), (18.70000, 69.60000), (18.30000, 69.55000), (18.00100, 69.63600), (17.94900, 69.64400), (17.74777, 69.80161), (17.88955, 69.88907), (17.89198, 69.89041), (18.19093, 70.03749), (18.34261, 70.11114), (18.34281, 70.11123), (18.60287, 70.23415), (18.60620, 70.23554), (18.60995, 70.23681), (18.61408, 70.23793), (18.61855, 70.23889), (18.61922, 70.23902), (19.05620, 70.31854), (19.06070, 70.31925), (19.31379, 70.35382), (19.31379, 70.35382))

Reguleringsområde 11B: POLYGON((19.77769, 69.11554), (20.35683, 69.88551), (19.31379, 70.35382), (19.55435, 70.38667), (19.89327, 70.43192), (19.89331, 70.43193), (20.39255, 70.49692), (20.93367, 70.56536), (21.20000, 70.22300), (21.48000, 70.19000), (21.70000, 70.10000), (22.10000, 70.15000), (22.20000, 70.00000), (22.70000, 69.70000), (19.77769, 69.11554), (19.77769, 69.11554))

Reguleringsområde 12A: POLYGON((22.21748, 70.74815), (24.70162, 69.87405), (22.70000, 69.70000), (22.20000, 70.00000), (22.10000, 70.15000), (21.70000, 70.10000), (21.48000, 70.19000), (21.20000, 70.22300), (20.93367, 70.56536), (21.40050, 70.62276), (21.90914, 70.68357), (21.95671, 70.68917), (22.21748, 70.74815), (22.21748, 70.74815))

Reguleringsområde 12B: POLYGON((24.70162, 69.87405), (22.21748, 70.74815), (22.40468, 70.79049), (22.77758, 70.87323), (22.77853, 70.87344), (23.24146, 70.96937), (23.70887, 71.06414), (23.94119, 71.11047), (23.94492, 71.11114), (23.95325, 71.11250), (23.95831, 71.11322), (23.96359, 71.11375), (23.96795, 71.11405), (24.05259, 71.11853), (24.05715, 71.11871), (24.60959, 71.13075), (24.71180, 71.13280), (24.80000, 71.13931), (24.80000, 69.88261), (24.70162, 69.87405), (24.70162, 69.87405))

Reguleringsområde 12C: POLYGON((26.31000, 71.18803), (26.31000, 70.12150), (25.00000, 69.90000), (24.80000, 69.88261), (24.80000, 71.13931), (25.25238, 71.17269), (25.66434, 71.20194), (25.66983, 71.20222), (25.67538, 71.20231), (25.67852, 71.20228), (26.23292, 71.18997), (26.31000, 71.18803), (26.31000, 71.18803))

Reguleringsområde 12D: POLYGON((26.31000, 70.12150), (26.31000, 71.18803), (26.78658, 71.17602), (27.33941, 71.16044), (27.66263, 71.15057), (27.66716, 71.15036), (28.07707, 71.12489), (28.05600, 71.08800), (27.72000, 70.81000), (27.07000, 70.25000), (26.31000, 70.12150), (26.31000, 70.12150))

Reguleringsområde 13A: POLYGON((29.82673, 70.77261), (28.34123, 70.09946), (28.00000, 70.25000), (27.07000, 70.25000), (27.72000, 70.81000), (28.05600, 71.08800), (28.07707, 71.12489), (28.18940, 71.11774), (28.19091, 71.11764), (28.20882, 71.11631), (28.21414, 71.11581), (28.21926, 71.11514), (28.22412, 71.11428), (28.22700, 71.11367), (28.67597, 71.00941), (29.12019, 70.90409), (29.26956, 70.86818), (29.75337, 70.78542), (29.82673, 70.77261), (29.82673, 70.77261))

Reguleringsområde 13B: POLYGON((28.34123, 70.09946), (29.82673, 70.77261), (30.11895, 70.72158), (30.12359, 70.72065), (30.12634, 70.71999), (30.24448, 70.68925), (30.24656, 70.68868), (30.65077, 70.56979), (31.05024, 70.45003), (31.18058, 70.41045), (31.18433, 70.40918), (31.18728, 70.40795), (31.20361, 70.40044), (31.20652, 70.39894), (31.20745, 70.39837), (31.21223, 70.39532), (31.21445, 70.39369), (31.21613, 70.39199), (31.21726, 70.39023), (31.21781, 70.38854), (31.21793, 70.38778),

(31.21794, 70.38599), (31.21738, 70.38421), (31.21625, 70.38246), (31.21507, 70.38121), (31.11205, 70.28491), (31.02212, 70.10825), (30.92162, 69.90636), (30.88493, 69.83212), (30.86117, 69.75907), (30.50000, 69.60000), (30.20000, 69.68000), (30.00000, 69.67000), (29.70000, 69.50000), (28.34123, 70.09946), (28.34123, 70.09946))



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

Postboks 1870 Nordnes

5817 Bergen

Tlf: 55 23 85 00

E-post: post@hi.no

www.hi.no