

21



# Oppdrettsfiskenes biologi, teknologi, lakselustiltak og miljøfokuset forvaltning

Bengt Finstad<sup>1</sup> og Per Johan Røttereng<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, <sup>2</sup>INAQ AS

## SAMMENDRAG

I dette kapitlet gis en generell presentasjon av atlantisk laks, sjøørret og sjørøye basert på biologi, livshistoriestrategier og miljøpåvirkninger. Atlantisk laks og regnbueørret er viktige oppdrettsarter i Norge, der produksjonsvolumet av atlantisk laks er desidert størst etterfulgt av regnbueørret, mens produksjonsvolumet av sjørøye er relativt lite. Kommersiell produksjon av atlantisk laks, oppdrettsteknologier, ulike typer merder og konstruksjoner – både landbasert og sjøbasert – presenteres videre i dette kapitlet. Vi vil også presentere litt historikk bak kommersielt oppdrett og hvordan dette har utviklet seg til å bli en viktig industri nasjonalt og internasjonalt. Det vil videre gis en kort beskrivelse av aktuelle oppdrettsarter i internasjonalt oppdrett, samt en gjennomgang av biologi og livshistoriestrategier hos stillehavslaks. Vi vil videre gå nærmere inn på lakselus og skottelus mht. biologi, påvirkninger, tiltak og behandlinger i oppdrettsanlegg. Til slutt skal vi omtale et utvalg miljøeffekter knyttet til oppdrett og deretter veien videre – forvaltning i oppdrett og «trafikklysmodellen».

## 21.1 GENERELT OM LAKSEFISK

Atlantisk laks (*Salmo salar*), sjøørret (*Salmo trutta*) og sjørøye (*Salvelinus alpinus*) er diadrome (**boks 21.1**). Diadrome fisk vandrer mellom ferskvann og sjøvann. Dette sees på som en strategi for å optimalisere sitt habitat gjennom livssyklusen (**figur 21.1**). For atlantisk laks betyr dette at fisken har lange vandringer i det marine miljøet – fra ett til flere år – før fisken vandrer tilbake til ferskvann for å gyte. Noe av fisken dør etter gyting, men en stor andel av laksen kan også vandre ut fra elva etter gyting (iteropar) og foreta en ny marin vandring før den returnerer til elva året etter for å gyte. Slike flergangsgytere kan gjøre denne vandringen 2 til 3 ganger. For sjøørret og sjørøye er fiskens vandring mer kystnært og disse artene har et kortere sjøopphold enn atlantisk laks og de vandrer som regel tilbake til ferskvann etter et sesongopphold i det marine miljøet. Sjøørret og sjørøye kan ha flere gytevandring i løpet av livet. Felles for disse tre artene er altså at de er anadrome. Anadrom fisk må gjøre store fysiologiske tilpasninger (smoltifisering) for å tilpasse seg ett liv i sjøvann for deretter å returnere til ferskvann. Denne tilpasningen blir behandlet i kapittel 10 i denne boken. En annen vandringsstrategi ser vi hos den europeiske ålen (*Anguilla anguilla*) som er

### Boks 21.1. Beskrivelse av begreper

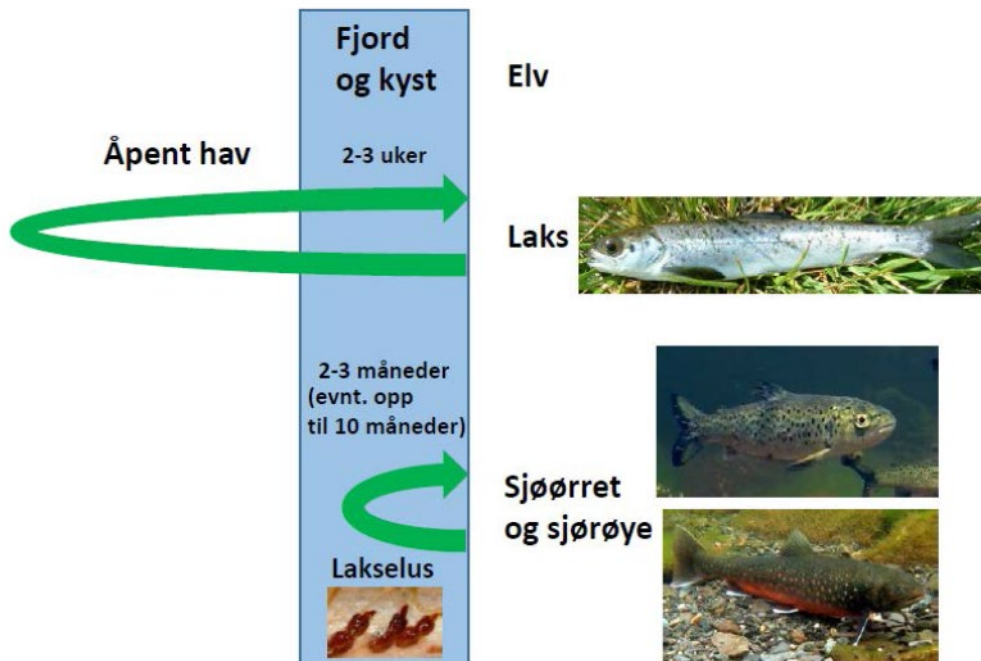
Diadrom er et begrep som benyttes for all fisk som vandrer mellom ferskvann og sjøvann. Anadrom er et begrep som benyttes om ferskvannsfisk som regelmessig vandrer til sjøvann på næringsøk og tilbake til ferskvann igjen for å gyte som f.eks. laks, sjøørret og sjørøye. Katadrom er et begrep som betegner fisk som vandrer fra ferskvann til sjøvann for å gyte som f.eks. ål. Iteropar er et begrep som beskriver at arten kan gyte flere ganger i løpet av livet (flergangsgytere) – eksempel her er atlantisk laks. Semelpar er et begrep som beskriver at arten dør etter gyting – eksempel her er stillehavslaks.

katadrom ved at den gyter i det marine miljøet og vandrer til ferskvann for å vokse opp der. Stillehavslaksene (*Onchorhynchus sp.*) dør så å si alle etter gyting i elva (semelpare) og har dermed en annen strategi enn våre laksearter. Eksempler på stillehavslaks er den velkjente pukkellaksen (*Onchorhynchus gorbuscha*) og sølvlaks (*O. kisutch*). En annen stillehavsart er regnbueørret (*O. mykiss*) som blir benyttet mye i oppdrett både nasjonalt og internasjonalt. Den har i sine oppvekstområder i Nord-Amerika og tilnærmet samme vandringsmønster som vår sjørørret. En viktig forskjell fra stillehavslaksene er at regnbueørreten ikke dør etter gyting, den er iteropar. **Tabell 21.1** viser tiden flere laksefiskarter lever ferskvann og i det marine miljø.

**Tabell 21.1.** Tid i ferskvann før smoltifisering og tid i det marine miljø (etter Dodson et al. 2013).

Navn	Art	Tid i ferskvann	Tid i marint miljø
Atlantisk laks	<i>Salmo salar</i>	1-7 år	1-5 år
Brunørret Sjørørret	<i>S. trutta</i>	1-5 år	1-4 år
Brunørret Ørret	<i>S. trutta</i>	Ferskvann hele livet	
Sjørøye	<i>Salvelinus alpinus</i>	1-4 år	4-6 uker
Røye	<i>S. alpinus</i>	Ferskvann hele livet	
Pukkellaks	<i>Oncorhynchus gorbuscha</i>	0-2 mnd	2 år
Ketalaks	<i>O. keta</i>	1-2 mnd	2-3 år
Kongelaks	<i>O. tshawytscha</i>	3-12 mnd	2-7 år
Sølvlaks	<i>O. kisutch</i>	1-2 år	1-2 år
Rødlaks	<i>O. nerka</i>	1-4 år	2-3 år
Kokaneelaks	<i>O. nerka</i>	Ferskvann hele livet	
Masulaks	<i>O. masu</i>	1-2 år	1-2 år
Regnbueørret	<i>O. mykiss</i>	1-2 år	1-3 år
Bekkerøye	<i>Salvelinus fontinalis</i>	1-4 år	4-6 uker
Bekkerøye	<i>S. fontinalis</i>	Ferskvann hele livet	
Canadarøye	<i>S. namaycush</i>	Ferskvann hele livet	

Livsløpet til våre norske laksearter, atlantisk laks, brunørret/sjørørret, sjørøye og deres biologi, utbredelse og vandringsøkologi er nærmere beskrevet i de neste avsnittene.



**Figur 21.1.** Vandringsstrategi hos atlantisk laks, sjørørret og sjørøye.

### 21.1.1 Atlantisk laks (*Salmo salar*)

#### *Kort funksjonsbeskrivelse og generell oversikt*

Vi vil her gi en kort beskrivelse av laksens organfunksjoner og anatomi. Leserne henvises til blant annet kapittel 2, 3, 4, 5, 7 og 8 for mer detaljerte beskrivelser av de enkelte fysiologiske mekanismene. Laksen er strømlinjeformet og har åtte finner; halefinne – størst og kraftigst; dorsalfinnen fungerer som en kjøl; analfinnen sørger for stabilitet; bryst- og bukfinnen regulerer styring og balanse, opp- og nedstiging og fettfinnen fremhever kjønnskarakterer, men ellers lite kjent som funksjon. Sidelinjen fungerer som et «øre» - den oppfatter vibrasjoner og trykkforskjeller. Det indre øret registrerer lydbølger. Mucus (slimet i slimlaget) fungerer som beskyttelse mot vanninntrengning (ferskvann) eller vanntap (sjøvann), sopp, parasitter, bakterier, virus og forurensninger og som beskyttelse mot steiner, nett osv. Fiskeskjell hos laks fungerer som «taksteiner» på overflaten og beskytter fisken mot fysiske påvirkninger. Man kan lese alder ut av vekstsonene (som minner om årringene i et tre) på skjell, og tapte skjell vil erstattes ved at det vokser ut nye. Laksen har rød og hvit svømmemuskelatur der den røde muskulaturen er forsynt med en stor andel blodkar og utgjør ca. 10% av muskelmassen og brukes av fisken til den mer kontinuerlige svømmingen. Den hvite muskulaturen har færre blodkar og brukes hovedsakelig til spurtsvømming og kan utmattes raskt. Neseåpningene har ikke forbindelse med munnen, men har direkte nerveforbindelse til hjernen slik at laksen kan lukte kjemiske stoffer i vann. Munnen består av skarpe tenner til å ta byttedyr. Tungen har også kraftige kroker for å holde på byttedyret. Laksen har to øyne, men den har ikke dybdesyn (stereoskopisk syn). Fisken kan bevege øynene uavhengig av hverandre og kan se mer enn 5 meter. Gjellene bruker den til å puste med ved at gjellelokkene pumper vann gjennom munnen. I gjellene er det primære- og sekundære gjellelameller fylt med blod og oksygen tas opp gjennom disse lamellene ved hjelp av motstrømsprinsippet. Blodvolumet hos laks er fra 2-5% av kroppsvekten. Sirkulasjonssystemet hos laks består av aorta (blod fra hjertet til kroppen – aorta dorsalis), arterier (fordeling av oksygenert blod), arterioler (korte og trange), kapillærer (diffusjonsårer) og vener (oksygenfattig blod til hjertet - vena caudalis).

Leveren er det største indre organet hos laksen og den er viktig for stoffskiftet hvor det skjer en rekke metabolske prosesser. Her produseres gallester til fettfordøyelsen, glykogen som energidepot, og mange metaller og organiske miljøgifter avgiftes her ved å gjøres vannløselige. Gallen som produseres, samles i galleblæren før den skilles ut til fremre del av tarmen. Det korte spiserøret danner forbindelsen mellom munn og tarmsystemet, som er delt inn i mage, midttarm og baktarm der næringsstoffer tas opp og ekskrementer skilles ut via baktarmen og gjennom gattåpningen. I bakkant av midtre tarmdel sitter milten som fungerer som lager for røde blodceller og resirkulerer blodceller. Blindsekkene er plassert

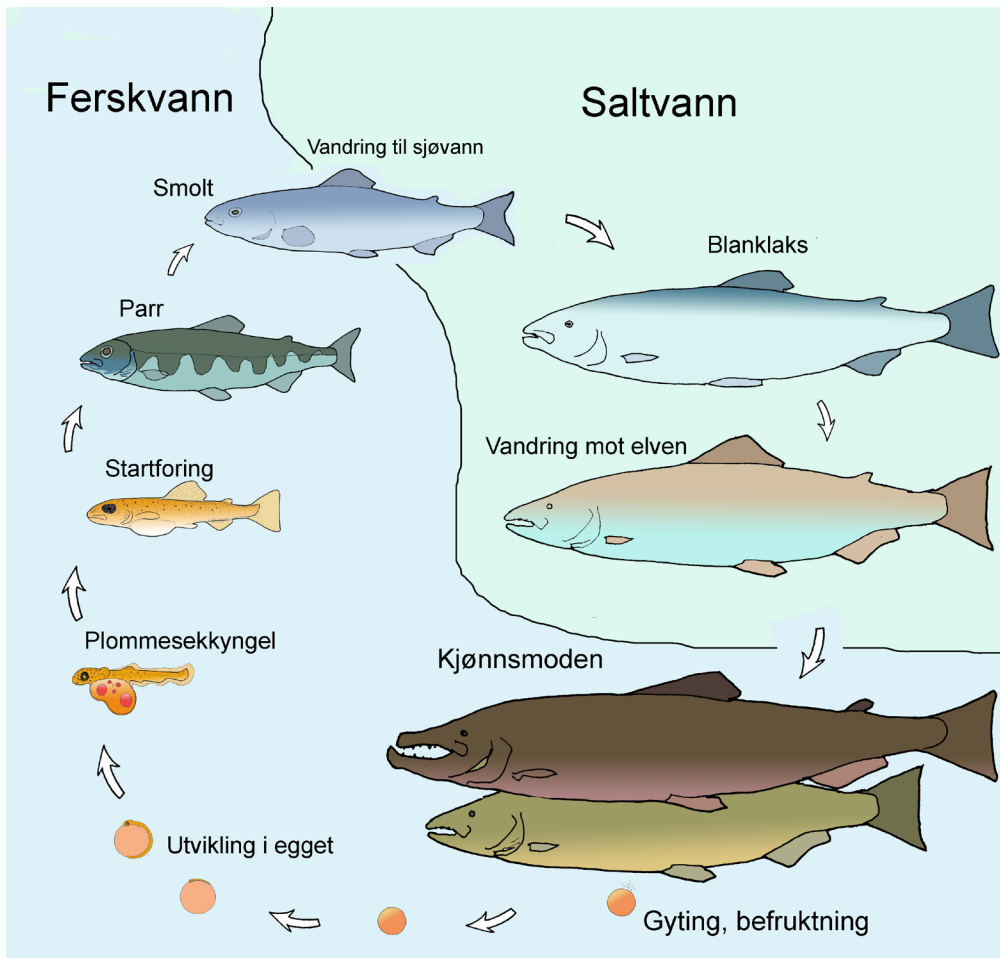
som kranser i midttarmens første del. De har som formål å øke arealet i fordøyelsessystemet for å øke absorpsjonen av næringsstoffer.

Kjønnsmodningen er avhengig av signaler som endringer i daglengde og fiskens næringsstatus. Hunnlaksen produserer ca 1450 egg per kilo laks. Hunnlaksen modner én eggporsjon per sesong, i motsetning til f.eks. torsk som er porsjonsgytere og kan modne ca 20 egggrupper per sesong (se også kapittel 17 om Reproduksjon).

Svømmeblæren er en luftfylt sekk som er dannet fra utposingen av tarmkanalen. Svømmeblæren sørger for oppdrift og laksen er fysostom – dvs. svømmeblæren har forbindelse med svelget. Laksen svelger luft for å regulere svømmeblærens volum og flyteegenskaper (laksen kan ikke produsere gass selv og må ha luft fra en overflate). Svømmeblæren er tynnvegget og gjennomsiktig. Hos andre fiskearter som f.eks. torsk er svømmeblæren lukket (fysoklist). Den fylles da med luft fra blodet via gasskjertler og et nettverk av arterielle og venøse kapillærer (*rete mirabile*) som skiller ut melkesyre. Denne melkesyren vil surgjøre dette nettverket og lette avgivningen av oksygen til svømmeblæren.

Laksen har en for- og baknyre der fornyren produserer røde blodceller og hormoner mens baknyren, som utgjør ca. 90%, har nefroner og fungerer som klassiske nyrer. Urinlederne ender i en langstrakt urinblære og kanalen ut fra fisken sitter bak gattåpningen. Hjertet er delt inn i 4 kammer: sinus venosus, atrium, ventrikkel og bulbus arteriosus. Skjelettsystemet har en ryggstøyle og lette ribber som beskytter indre organer. Dette gjør at laksen kan bevege seg fint fra side til side, men har begrenset bevegelse opp og ned. Hjernen består av en forhjerne (lukt og limbiske strukturer), midthjerne (syn, læring og respons til stimuli) og bakhjerne (koordinerer bevegelse og balanse). I hjernedelene ligger hypothalamus og hypofysen som er involvert i hormondannelse hos fisken.

Atlantisk laks er en art som oppdrettes kommersielt i land som Norge, Chile, UK, Australia, USA og Canada. Den har blitt avlet gjennom en årrekke for å bedre egenskaper som vekst og pigmentering, og i de senere årene også motstand mot ulike sykdommer. I 2022 ble det ifølge Vitenskapelig råd for lakseforvaltning fanget 109 000 laks i sjøen og elvene, med samlet vekt på 389 tonn. Antallet laks som hvert år kommer tilbake som gytefisk fra havet til Norge (innsiget), er halvert siden 1980-tallet. Innsiget i 2022 ble beregnet til 458 000 villaks og var også høyere enn året før (2021: 394 000 laks). Det er i hovedsak forekomsten av smålaks (< 3 kg) som er redusert siden 1980-tallet. Under naturlige forhold vandrer laksen mellom ferskvann og sjøvann. Laksen dekker store marine områder under sin vandring og etter ett eller flere sjøopphold kan størrelsen variere fra 1-25 kg (45-135 cm i lengde). Noen individer kan bli over 30 kg før de returnerer til elva for å gyte. Noen av fiskene dør etter gyting, men en andel av laksen kan også vandre ut fra elva etter gyting og foreta en ny marin vandring før den returnerer til elva året etter for å gyte. Omstillingen fra å leve i ferskvann som egg/yngel til å vandre ut i det marine miljøet – smoltifiseringen (kapittel 10) - krever store omstillinger hos fisken rent morfologisk, biokjemisk, fysiologisk (kapittel 9) og atferdsmessig (**figur 21.2**).



**Figur 21.2.** Laksens livssyklus. Livssyklusen fra å leve i ferskvann til å vandre ut i det marine miljøet – smoltifiseringen - krever store omstillinger hos fisken rent morfologisk, biokjemisk, fysiologisk og atferdsmessig.

I tillegg kan en andel av hannlaksen bli kjønnsmodne som parr («precocious parr») og kan blande seg inn i gytingen sammen med den voksne laksen som snikgytere og slik skape levedyktig avkom av dette. De kan året etter igjen kjønnsmodne som parr eller smoltifisere og ha en vandring ut i det marine miljø, før de vandrer tilbake til ferskvann igjen for å gyte.

Laksen har en stor biologisk, kulturell og økonomisk betydning. Oppveksten i ferskvann kan variere fra 1-7 år før den vandrer ut i det marine miljø som smolt. Så snart smolten kommer ut i sjø betegnes den som postsmolt. I det videre skal de ulike stadiene og atferd hos laksen beskrives fra egg til voksen gytelaks basert på blant annet Jobling mfl. (2010); Thorstad mfl. (2012); Rikardsen mfl. (2021).

#### Oppvekst i elv

Laks blir vanligvis kjønnsmoden etter 1-3 år i sjøen. Hver hunnlaks har om lag 1500 egg per kilo kroppsvekt med en diameter per egg på 5-6 mm. Laksen lager seg en gytegrep i utvalgte områder av elven og forbereder gytingen. Generelt sett gyter laksen i elvegrusen fra september til februar, gytegroppen dekkes til med sand og stein og eggene ligger der til de klekkes på vårparten. Etter om lag 230 døgngader (grader multiplisert med døgn) fra befruktning når den øyerognstadiet (laksens øyne kan skimtes i egget), og en regner ca. 500-530 døgngader fra befruktning til klekking. Nordlige bestander gyter tidligere enn sørlige bestander og de bruker lengre tid (døgn) for eggutvikling i kaldere miljø. Eggene klekkes om våren og plommeseekkyngelen (15-25 mm lang) ligger i elvegrusen og får næring fra plommesekken de første ukene. Omlag 3-8 uker etter klekking foretar yngelen en «swim-up». De reagerer positivt på lys (positiv fototaktisk) og tar til seg næring i elva. Yngelen er hovedsakelig karnivore (kjøttspiser), og dietten består hovedsakelig av insektlarver og drift av andre organismer, der størrelsen må være tilpasset yngelens munnåpning. Dette er en kritisk periode for yngelen siden den må ha umiddelbar tilførsel av næring. I fravær av dette vil den raskt sulte, og dø.

Stadieutviklingen i elven går da fra befruktet rogn og øyerogn, til plommeseekkyngel, yngel og parr og videre til smolt. Vanligvis tar denne utviklingen fra 1-7 år, lengst i de arktiske områdene. Utviklingen fra parr til smolt er kjennetegnet med at fisken får mørkere finner, parrmerkene forsvinner og fisken blir mer sølvfarget og har løse skjell. Rent atferdsmessig går fisken over fra å være territoriell og leve på bunnen av elven til å søke oppi vannmassene og svømme med strømmen («negativ rheotaxis») når den er ferdig utviklet smolt. Størrelsen på en ferdig utviklet smolt kan variere fra 10-20 cm (minimums og maksimumsverdier fra 7-30 cm) og vekt fra 10-80 gram. Biokjemisk og fysiologisk sett blir den tilpasset til å håndtere en overgang fra å leve i et miljø med lite salter til å håndtere et miljø med mye salter – dvs. den snur sin evne til å ta opp salter fra ferskvann, til å skille ut salter i det marine miljøet. Se kapittel 9 og 10 for detaljer.

Økende lysmengde, og til dels temperatur er faktorer som styrer utviklingen i smoltifiseringen. Økende daglengde vil medføre at laksen får et stimuli til å forberede seg til et liv i det marine miljø. De utløsende faktorene som stimulerer smolten til å vandre ut i sjø er hovedsakelig vannføring og vanntemperatur. I noen vassdrag kan kun temperatur være en utløsende faktor, mens i andre vassdrag kan økende vannføring gjøre det samme. Sørliche laksebestander i Norge vandrer ut tidligere enn nordlige bestander, og perioden for utvandring strekker seg fra 3 til 7 uker, men vanligvis er toppen på mellom 1-2 uker. Utvandring er ofte synkronisert ved at mange fisk går ut samtidig. Dette beskytter smolten mot predatorer i de kritiske fasene i det marine miljøet. Optimal sjøtemperatur for utvandring er 8 °C eller høyere.

#### *Tidlig marin fase*

Ofte er den innledende utvandringen fra elveutløp til estuarier passiv, med hovedvekt på den mørke del av døgnet. Utover sommeren blir utvandring mer utjevnet til hele døgnet. Smolten ser ut til å ha en «on-off» mekanisme som gjør at den ikke trenger noen grad av akklimatisering til sjøvann. Dette ser ut til å gi en maksimal predatorbeskyttelse ved overganger fra elv til estuarier. Vandringen hos postsmolt i tidlig marin fase er kompleks der noen postsmolt ser ut til å ha en direkte utvandring til havet mens andre vandrer litt fram og tilbake i kystnære områder. Hovedsakelig er vandringen aktiv og til dels drevet av tidevannsstrømmer. Fra norske undersøkelser er det observert en vandringshastighet hos postsmolten fra 0.4 til 1.2 kroppslengder per sekund og i noen tilfeller opp til 3.0 kroppslengder per sekund. Postsmolten holder seg hovedsakelig på 1-3 meters dybde i tidlig marin fase, men kan foreta regelmessige dykk. Man ser også fra flere undersøkelser at postsmolten holder seg nærmere overflaten om natten og dypere om dagen.

Postsmolten må kunne finne veien til det åpne havet for å søke næring, og flere studier har vist at havstrømmer er en hovedkilde til orientering der man har kraftige strømmer utover fjordene. I områder med mindre strømkraft er denne vandringen hovedsakelig basert på fiskens aktive svømmeatferd. Dykkeatferd hos postsmolten kan også være en veiviser til å finne utvandringsruter siden de ulike sjiktningene i vannsøylen har ulik strømhastighet. I tillegg har luktteorien vært framlagt ved at fisken kan lukte sjiktningen i vannsøylen og at dette kan være en driver, veiviser, for fiskens utvandringsrute. Svømming mot høyere saliniteter er også en teori for å lede postsmolten mot åpent hav. Det har vært framsatt teorier om at fisken kan bruke topografien langs strandlinjen til å orientere seg i. Det foreligger mange arbeider som viser at fisken hovedsakelig svømmer aktivt. Den bruker sensormekanismer (eks. fornemmelse av strømningsbildet i havet, lukt, geomagnetisme, magnetisk kart etc.) til orientering og en kombinasjon av slike mekanismer gir postsmolten en orienteringsevne ut fra elvemunningen til det åpne havet. Denne orienteringsevnen kan hjelpe fisken til å returnere til samme elv etter sjøoppholdet.

#### *Livet i åpent hav*

Som tidligere nevnt er en temperatur i det marine miljø  $> 8$  °C optimal for postsmolten. Dette resulterer i bedre vekst og tilgang på næringsdyr, der de går over fra en insektdiett til krepsdyr og små fiskelarver. Det er viktig at fisken får et treff med maksimal tilgang på næringsdyr når den vandrer ut dvs. en «match-match». Alternativt, hvis smolten vandrer ut for tidlig eller for sent vil dette resultere i en «match-mismatch» og redusert tilgang på næringsdyr. Dette gir dårligere tilvekst hos postsmolten og i verste tilfelle at den sulter og dør. Laks er opportunistiske spisere («altetende») og kan øke sin kroppsvikt opp til flere

hundre ganger under sitt opphold i det marine miljø. Undersøkelser har vist at laksen kan innta mer enn 40 fiskearter og mer enn 10 arter invertebrater (virvelløse dyr) med en viss grad av spesialisering på ulike byttedyr. I det marine miljø skifter den til større næringsdyr etter hvert som den vokser og kan innta næringsdyr som er opp til 30% av laksens lengde.

Smoltoverlevelse kan undersøkes ved hjelp av eksterntmerking (synlige T-bar merker og Carlinmerker) og fysisk gjenfangst av den merkede fisken. I tillegg har en de senere år begynt å benytte passive elektroniske avlesbare merker (PIT-merker) som kan registreres med en antenne i elven. Dermed kan en anslå andelen fisk som er merket på vei ut av elven, og sammenlikne med den gjenfangede fisken. Dette er metoder som benyttes i flere vassdrag nasjonalt og internasjonalt. For å registrere fiskens vandringer i ferskvann kan man benytte radiomerker og sporing av fiskens vandringer i elvesystemet. Hydroakustiske merker benyttes for å registrere postsmoltens vandringer i sjøen ved hjelp av hydrofoner (lyttebøyer), der en kan plassere ut mange lyttebøyer med digitale akustiske mottagere i et fjordsystem og slik følge fiskens vandringer. Satellittmerker benyttes også på større fisk (**figur 21.3**) for å kunne registrere fiskens vandringer i større havområder.

Ved hjelp av disse satellittmerkene har en vist en utvidet bruk av Nord-Atlanteren som oppvekstområde, inkludert Barentshavet. Dette står i kontrast til tidligere kunnskap om laksens bruk av områder rundt Færøyene, Vest-Grønland og i Norskehavet. Disse resultatene har bidratt til bedre kunnskap om oppvekstområder hos atlantisk laks, med hensyn til geografi, vandringsatferd og temperaturtoleranse. Beiteområdene ved grensen mellom atlantiske og arktiske overflatestrømmer antyder at laksen har en sterk kobling til arktiske oseaniske frontsystemer. Videre er det vist at laks fra ulike bestander kan vandre til ulike havfrontområder i Nord-Atlanteren og Barentshavet og derfor påvirkes av ulike økologiske forhold som kan bidra til variasjon innad i populasjonen i vekst og overlevelse. Klimainduserte endringer i oseanografiske forhold vil sannsynligvis også endre plasseringen av og avstanden til polare frontale beiteområder. Dette kan ha regionspesifikke påvirkninger på lengde og kostnad for laksens fôringsvandringer, noe som særlig rammer de sørlige bestandene mest. Når det polare havet blir varmere og nåværende mønstre skifter og produktivitet på høye breddegrader øker, vil migrasjonsavstandene blir lengre, eller mer variable. Dette kan medføre at variasjonen i marin overlevelse og produktivitet av ulike populasjoner blir mer markert.



Figur 21.3. Voksen laks.



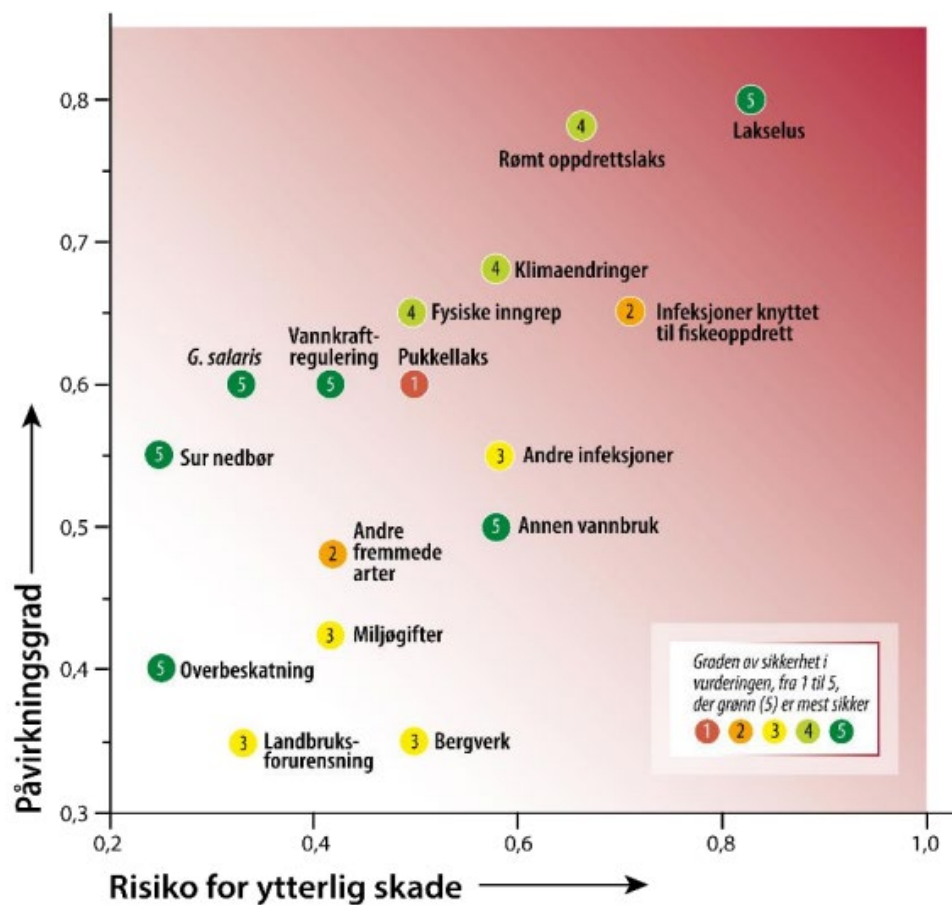
### Overlevelse hos laks i ferskvann og i den marine fasen

Overlevelse hos laks i ferskvann og i den marine fasen

Laksen er i alle faser utsatt for påvirkninger. Det gjelder fra tidlig elvefase, ved utvandring til den marine fasen og oppholdet i det marine miljø. Undersøkelser har vist at den totale dødeligheten i tidlig utvandningsfase hos laks fra 5 til 230 km fra elvemunningen varierer fra 8 til 71 prosent. I ferskvann er det trusler som vannkraftutbygging og andre hindringer som kan medføre redusert overlevelse hos fisken gjennom endret vannføring, endrede temperaturer og vannkvalitet. Parasitten *Gyrodactylus salaris* medfører også en trussel mot laksefisk i vassdrag som er infisert med parasitten (se kapittel 15). Turbiner i kraftverk kan også medføre dødelighet hos fisken når den passerer disse. På sin vei ut fra et vassdrag til den marine fasen lurer predatorer som gjedde (*Esox lucius*) og gråhegre (*Ardea cinerea*). Forurensninger i form av sur nedbør og ulike pesticider brukt i landbruk, samt ukontrollerte utslipp av kjemikalier fra industrien, påvirker også overlevelsen. I den marine fasen er lakselus en trussel mot laksefisk i tillegg til predasjon fra marine fisk som torsk (*Gadhus morhua*) og sei (*Pollachius virens*). Klimaaspektet er også viktig her, og økte temperaturer i ferskvann og sjøvann kan forrykke balansen med hensyn til utvandringstidspunkter for smolten og at byttedyr for laksen vandrer lengre nord og gjøres utilgjengelig for laksen som da må vandre over lengre avstander.

Vitenskapelig råd for lakseforvaltning vurderer menneskeskapt trusselfaktorer ut fra påvirkningen de har på laksebestandene. Rådet gjør en vurdering av disse faktorenes innvirkning på redusert produksjon og eventuelt tap av bestander, samt risikoen for at truslene medfører ytterligere framtidig redusert produksjon og tap av bestander (figur 21.4).

**Figur 21.4.** Plassering av de ulike trusselfaktorene i et påvirknings- og risikodiagram. Bakgrunnsfargen illustrerer alvorlighetsgrad (mørk farge mest alvorlig). Fargene på punktene symboliserer graden av sikkerhet i vurderingen, basert på hvor godt dokumentert effekten er, og hvor samstemt dokumentasjonen og ekspertene er i vurderingen, etter en femdel skala. (Anon. 2023).



Antallet laksebestander som vurderes som kritisk truet på grunn av lakselus har økt de senere årene. Det samme gjelder rømt oppdrettslaks som er en trussel mot bestandenes genetiske integritet. Andre trusselfaktorer er smittsomme virus- og bakteriesykdommer, vannkraftregulering, fysiske inngrep i vassdrag, pukkellaks, parasitten *Gyrodactylus salaris* og klimaendringer.

### 21.1.2 Brunørret/sjørret (*Salmo trutta*)

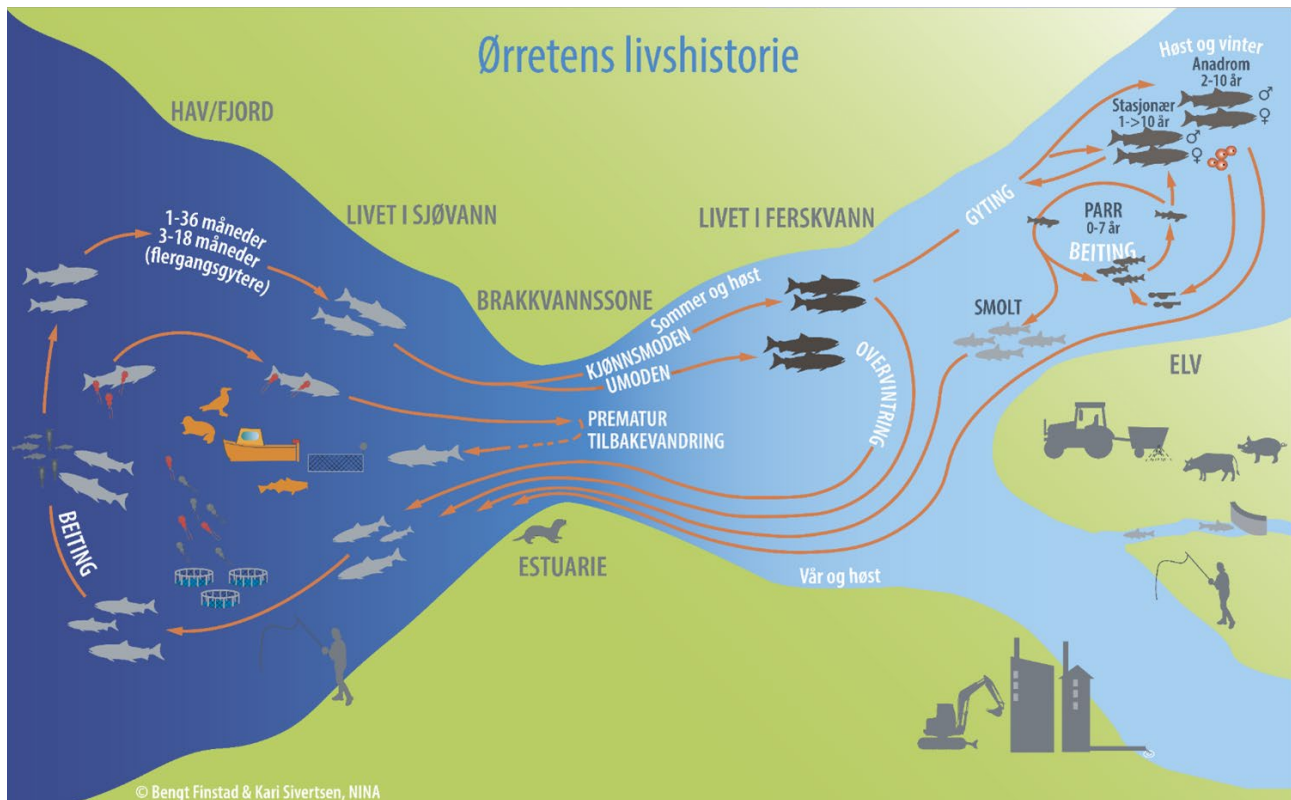
Brunørret (*Salmo trutta*) inkludert sjørret (**figur 21.5**) er en svært tilpasningsdyktig art og viser store livshistorievariasjoner mellom populasjonene. I det fortløpende vil brunørret/sjørret omtales som sjørret. Det refereres også videre til anbefalt litteratur gitt i referanselisten for en videre beskrivelse av sjørret og de andre laksefiskartene i dette kapitlet.



**Figur 21.5.** Sjørret med lakselus.

Sjørreten gyter i ferskvann mellom september og desember. Den gyter tidligere på nordlige breddegrader sammenlignet med sørlige breddegrader. Etter 1-5 år i ferskvann vandrer en del av populasjonen ut i det marine miljø, mens en annen del forblir i ferskvann som en stasjonær populasjon (**figur 21.6**). Livshistorien er ikke genetisk bestemt, så valget mellom å bli stasjonær eller anadrom kan påvirkes av veksthistoen og energistatus i tidligere livsfase hos fisken. Som for laks vil starten på den fysiologiske smoltifiseringen utløses av daglengde, mens vanntemperaturen regulerer hastigheten og varigheten på smoltifiseringsprosessen.

Voksen sjørret kan variere i lengde mellom 10 til 100 cm og er derfor gjennomgående mindre enn laks, men enkelte individer kan bli opptil 15 kg. Arten finnes i habitater fra små bekker til innsjøer, estuarier, kystområder og av og til i åpent hav. Noen sjørret forblir i sjøen mesteparten av sitt liv, unntatt når den gjør korte gytevandring til ferskvann, mens andre forblir mesteparten av sommeren i sjøen for så å vandre tilbake til ferskvann for



**Figur 21.6.** Livshistorien hos sjørret og trusler fisken har både i ferskvann og i det marine miljø.

overvintring. Det er betydelige variasjoner på utvandringsmønsteret mellom bestander, men det er i tillegg et betydelig element av individuelle tilpasninger. Normalt vil en større andel hunner enn hanner bli sjøørret, men det er også rapportert bestander med like andeler hunner og hanner blant sjøvandrerne. I den marine fasen spiser sjøørreten marine krepsdyr, flerbørstemark, fisk og overflateinsekter. Sjøørreten viser stor variasjon i tidspunkt for vandringen til sjøfasen og varigheten. Noen kan gyte etter første sommer i sjøen, mens andre kan vente med gytingen til de har vært to, tre eller flere somre i sjøen. Sjøalder ved første kjønnsmodning øker med økende breddegrad og er ikke avhengig av vekstraten i elvefasen, men av vekstraten i sjøen. En høyere alder ved smoltifisering kan medføre redusert alder ved kjønnsmodning. Sjøørret er som for laks, en iteropar art, noe som betyr at individer kan gyte mer enn én gang i løpet av livet. **Figur 21.6** viser livshistorien hos sjøørret og trusler fisken har både i ferskvann og i det marine miljøet.

Ifølge Vitenskapelig råd for lakseforvaltning har tilstanden for sjøørret i 1279 vassdrag blitt vurdert. Den viktigste negative påvirkningen på sjøørret var det lakselus som stod for fulgt av effekten av klimaendringer som var den nest største trusselen. Det er verdt å merke seg at denne faktoren er vurdert som en ikke-stabilisert bestandstrussel mot sjøørret.

Økt lakselus er en menneskeskapt faktor som i høy grad kan påvirke sjøørret i sjøen i flere områder langs norskekysten (**figur 21.6**). I motsetning til laks kan sjøørret vandre tilbake til ferskvann for å avluse seg (prematur tilbakevandring), men dette vil da gå på bekostning av tapt vekst i det marine miljøet og vil kunne medføre at sjøørreten går over fra å være en anadrom til en stasjonær bestand. Fiskeoppdrett kan påvirke sjøørretbestander ved å introdusere nye infeksjonssykdommer forårsaket av virus, bakterier, sopp og parasitter. Slike sykdommer kan påvirke sjøørret både i ferskvannsfasen og sjøfasen av livssyklusen. Det finnes generelt lite kunnskap og lite overvåking av slike effekter av fiskeoppdrett på bestander av ville laksefisk.

### 21.1.3 Sjørøye (*Salvelinus alpinus*)

Sjørøye har en sirkumpolar utbredelse og er den ferskvannsarten som har nordligst utbredelse. Størrelsen ligger vanligvis på rundt 2 kg, men kan komme opp i 4-5 kg i noen tilfeller. Produksjonen av mat i de høyarktiske områdene er begrenset grunnet isforhold som kan vare opp til 10 måneder per år. Arktisk røye består av både stasjonære og anadrome bestander. Deler av bestanden foretar næringsvandring ut i det marine miljøet i sommermånedene og oppholder seg der i opptil 8 uker før de returnerer til ferskvann igjen (**figur 21.7**). Sjørøya kan vandre mellom ferskvann og sjøvann gjennom flere sesonger. Det er blant annet observert individer av sjørøye fra fiskefella i Talvik (Alta) der sjørøya har hatt opptil 7 sjøvandringer (én pr. år). Næringen i den marine fasen består hovedsakelig av plankton og pelagisk fisk, men de kan også ta til seg hyperbentos (individer som lever rett over havbunnen) og overflateinsekter som føde. Alderen for utvandring til sjø som førstegangsvandrer varierer og er avhengig av de lokale vekstforholdene. Noen individer kan vandre ut ved en smoltalder på 2-3 år, mens andre ikke starter utvandringen før etter 4-5 år. Fisken er da mellom 15-25 cm. Både anadrome og stasjonære bestander i ferskvann kan gyte sammen og lage levedyktig avkom. Røya har også en stor variasjon i kroppsform og draktkarakterer og dette er ofte relatert til næringstilgangen. Gytingen tar til i innsjøer hovedsakelig i løpet av høsten og vinteren og hver hunn har fra 1500-3000 egg per kilo fisk. Eggene er fra 4-4,5 mm i diameter og ligger i gytegrusen, inntil de klekker på vårparten. Oppdrett av sjørøye pågår i Skandinavia, Irland og Canada og det pågår også oppdrett av røye i noen alpine regioner i Europa.

Sjørøyebestandene har i de senere år blitt redusert i de arktiske områdene og den har fått en økende konkurranse fra sjøørret. Som for sjøørret, er sjørøya utsatt for lakselus og det er mange eksempler på negative effekter på fiskens fysiologiske tilstand. En har også observert sjørøye som har vandret tilbake til brakkevann/ferskvann for å avluse seg (prematur tilbakevandring) og dermed tape sitt vekstpotensiale i sjø. Dette vil ha negative konsekvenser som sannsynligvis vil øke med økt påvirkning av lakselus fra akvakulturvirksomhet i de nordlige områdene. Et endret klimaaspekt vil også kunne ha konsekvenser for sjørøyebestandene i de arktiske områdene siden den ikke trives i varmt vann. Høyere sjøtemperaturer vil også kunne sette sjørøya utenfor sitt optimale temperaturområde, og et scenario er at sjørøyas leveområde flyttes lengre nord, eventuelt at dens leveområde grunnet høyere sjøtemperaturer blir forringet.



**Figur 21.7.** Sjøørret i gytedrakt fra Storsjøen i Talvik (Alta).

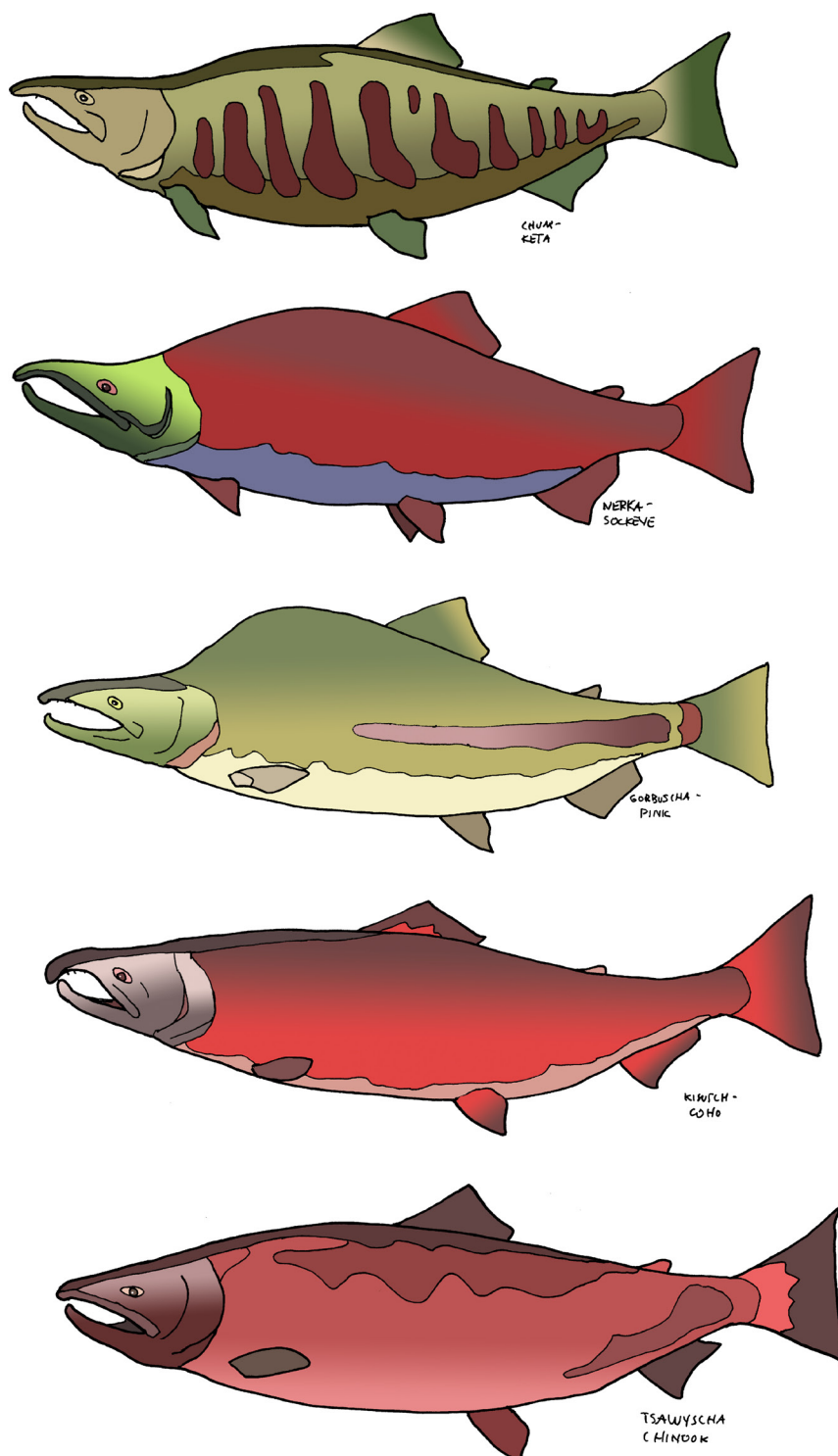
#### 21.1.4 Regnbueørret (*Oncorhynchus mykiss*)

Regnbueørret har en naturlig utbredelse rundt tempererte regioner i det nordlige Stillehavet fra Baja i California til de vestre Stillehavsområdene ved Kamchatka i Russland. Arten kan opptre både som stasjonær i ferskvann og som anadrom i sjøvann. Den anadrome formen tilbringer 1-2 år i ferskvann og deretter 1 til 3 år i sjøen før den vandrer tilbake til ferskvann for å gyte. Den gyter på våren når vanntemperaturen kommer over 6-7 °C. I arktisk klima kan den derfor gyte så sent som april og mai. Vanligvis gyter hunnfisken fra 300-3000 egg som legges i elvegrusen. Ved «swim-up», dvs. når plommesekken hos yngelen er absorbert, tar yngelen til seg føde som zooplankton og insekter. Ferskvannsformen gyter vanligvis etter 3 år og kjønnsmodner fra 100 og 700 gram kroppsvekt avhengig om de lever i små elvesystemer eller i innsjøer. Den anadrome formen kalles steelhead grunnet sølvfargingen. Livsløpet til stasjonær regnbueørret blir opptil 8 år mens for den anadrome formen kan livsløpet bli opptil 9 år og fisken blir i overkant av 5 kg ved kjønnsmodning. I dag fins regnbueørret over alle kontinenter etter mer enn 100 år med utsettinger. I Norge ble det allerede i 1903 importert regnbueørret for utsetting i flere vann og vassdrag. Regnbueørret er relativt hardfør og tolererer store variasjoner i vannkvaliteter (regnes å ligge mellom laks og ørret mht. toleranse til forurensning) og temperatur, er ettertraktet som en sportsfisk, enkel å kultivere sammenlignet med andre arter og er en god matfisk. I tillegg er den mindre kravstor til førsammensetning sammenlignet med laks. Arten er registrert i flere vassdrag i Norge og i tillegg er det rapportert om at arten har reproduisert i flere innlandsvassdrag de siste 10-årene. Regnbueørret benyttes i oppdrett i land som Frankrike, Italia, Spania, Danmark, Norge, Chile, Japan, Storbritannia og USA.

#### 21.1.5 Stillehavslaks (*Oncorhynchus sp.*)

Stillehavslaksene (*Oncorhynchus sp.*) er anadrome og foretar lange vandringer i havet, men noen arter lever hele livet i ferskvann (**tabell 21.1**). Felles for alle stillehavslaksene er at de dør etter gyting (semelpar, unntaket her er regnbueørret som lever videre etter gyting). Stillehavslaksene gyter fra august og ut året på den nordlige halvkule. Av stillehavslaksene er det registrert elleve arter. **Figur 21.8** viser noen av de vanligste artene. I Norge har vi arter som regnbueørret (*O. mykiss*) som benyttes i oppdrett samt at det i de senere år i Norge også er registrert mye pukcellaks (*O. gorbuscha*) i våre vassdrag. Dette er en effekt av storstilte utsettinger av denne arten i Russland for en tid tilbake.

**Figur 21.8.** Noen av de vanligste Stillehavsartene, her ovenfra og ned: Ketalaks (chum), rød laks (sockeye), pukkellaks (pink), søvlaks (coho) og kongelaks (chinook).



Fortløpende skal det tas en kort beskrivelse av 5 stillehavsarter hentet fra FAO Fisheries & Aquaculture – Species Fact Sheets.

Kongelaks (*Oncorhynchus tshawytscha*) eller chinook laks er den største av stillehavslaksene. Den fins i store elver fra Kamchatka i Russland til California i USA. Voksen laks kan vandre opptil 4800 km inn i vassdrag for å gyte og kan også gyte i innsjøer. Oppvekst i ferskvann tar 1-2 år og deretter vandrer den ut i sjø for et opphold fra 2-7 år. Normalvekten er 14 kg og normal lengde 100 cm, men den kan bli opptil 60 kg og 150 cm. Det er hovedsakelig villfangst av denne fisken. Den brukes lite i oppdrett.

Rødlaks (*O. nerka*) eller sockeye laks finnes fra Hokkaido i Japan til Kamchatka i Russland og til nordlige California. Oppveksten i ferskvann tar 1-4 år og deretter vandrer den ut i sjø hvor den blir i 2-3 år. Fangstvekten er 2.3-3.6 kg. Den fiskes hovedsakelig i Russland og USA og totalfangster rundt 150 000 tonn og er ikke brukt i oppdrett.

Pukkellaks (*O. gorbuscha*) eller pink salmon fins fra Koreahalvøya, østre Hokkaido i Japan og til nordlige California. Yngelen tilbringer kort tid i ferskvann (0-2 måneder) før den vandrer ut i brakkevannslaget og oppholder seg der en stund før den vandrer ut i sjø. Fangstvekten er rundt 3 kg og en lengde på om lag 50 cm. Den er en viktig kommersiell art og viktig for fiskeriene i det nordlige Stillehavet og fangster rapportert til rundt 400 000 tonn – hovedsakelig fra Russland og USA. Denne arten er lite brukt i oppdrett. Denne laksearten har blitt et problem i Norge der den har blitt en konkurrent til våre ville laksebestander og har i de senere år i sterkt økende antall vandret opp i elver særlig i Troms og Finnmark. Den har en kort oppholdstid i næringsfattig ferskvann, har en svært rask smoltifisering og tilpasning til sjøvann. At den tilbringer mesteparten av livssyklusen i næringsrik marin fase gjør at det oppstår store mengder fisk i sjøen. I tillegg har den en distinkt 2 årlig livssyklus med to populasjoner i hver elv som gyter annethvert år og som ikke mikses.

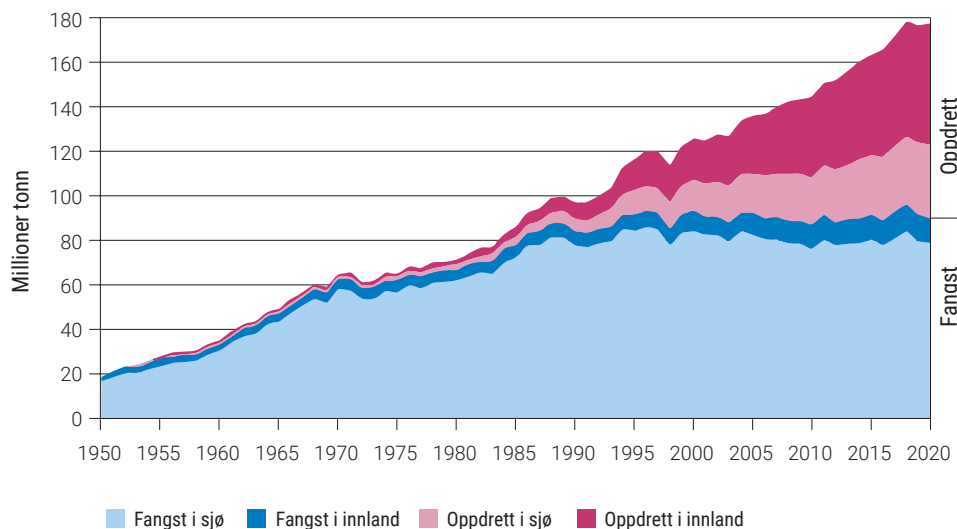
Sølvlags (*O. kisutch*) eller coho laks hører til i de kystnære områdene i det nordlige Stillehavet, men har blitt satt ut i mange områder i Nord-Amerika, Asia, Europa og Latin-Amerika. Ferskvannsfasen varer i 1-2 år før den vandrer ut i sjø hvor den oppholder seg i 1-2 år. Fangstvekten er fra 3.0-5.5 kg og med en lengde opptil 75 cm. Sølvlags har blitt brukt i oppdrett i over 40 år og i de senere år mer intensivt i Chile, Japan og Canada med en produksjon på over 150 000 tonn totalt.

Ketalaks (*O. keta*) eller chum salmon finnes fra Koreahalvøya og til nordlige California. Yngelen tilbringer kort tid i ferskvann (1-2 måneder) før den vandrer ut i brakkevannslaget og oppholder seg der en stund før den vandrer ut i det marine miljøet. Fangstvekten er rundt 6 kg med en lengde på om lag 65 cm. Den fiskes hovedsakelig i Japan og USA. Den har liten kommersiell verdi (lav markedsverdi).

## 21.2 KOMMERSIELT OPPDRETT

Verden står ovenfor store utfordringer knyttet til klimaendringer og tap av biologisk mangfold. Vi passerte 8 milliarder innbyggere i 2022, en dobling siden 1974, og FN antar at vi i 2050 er 9,7 milliarder mennesker på jorda. Vi har begrensede naturressurser som skal dekke mat- og ernæringsbehovene til en voksende befolkning. Av jordas overflate utgjør vannarealet 70%, mens bare 2-3% av maten vår kommer fra havet, regnet på proteinbasis. I dag er fiskeri og havbruk en viktig kilde til næringsrik mat og animalsk protein for verdens befolkning og fisk og fiskevarer er blant de mest omsatte matvarer over hele verden. Verden trenger at det produseres langt mer mat fra havet ifølge FAO (Verdens matvareorganisasjon).

**Figur 21.9.** Mens volumet av verdens fiskerier er stabile de siste 30 år, er akvakulturvirksomheten økende, både i det marine miljø (hav/kyst) og hos rene ferskvannsarter som oppdrettes på land.



Merknad: Unntatt akvatiske pattedyr, krokodiller, alligatorer, kaimaner og alger.  
Data tilsvarende levende vekt. Kilde: FAO.

Akvakultur er en av de de raskest voksende matproduserende sektorer (animalske proteiner). Av verdens akvakulturproduksjon utgjør oppdrett av fisk i merder i havet en mindre andel (**figur 21.9**). Den klart største produksjonen foregår på land i jorddammer, rismarker osv., og er totalt dominert av ferskvannsarter som karpe og andre herbivore (planteetende) fisk, der Asia har den største produksjonen.

I Norge produserer vi ca. 1,6 millioner tonn laks, som er over halvparten av verdensproduksjonen. Laks utgjør 1/3 av verdens marine oppdrettsproduksjon som er på 8,3 millioner tonn. Verdens innlandsproduksjon av oppdrettsfisk er 6 ganger høyere, om lag 50 millioner tonn. Av dette er gress-/sølv-/vanlig-karpe 14,4 millioner tonn - altså 10 ganger mer enn Norges lakseproduksjon. Spesielt nevnes også at noen arter av luft-pustende fisk (air-breathing fish, maller eller catfish) utgjør 6,2 millioner tonn, og disse kan ta opp oksygen både fra luft og vann og benyttes bla. i tropiske strøk som Vietnam.

Norge er for tiden verdens nest største eksportør av sjømat, der den samlede eksportverdien av akvakultur og fangst tredoblet seg fra 2012 til 2022 og utgjorde i 2023 172 MRD NOK, der laks/ørret utgjør ca. 75% av dette. I et globalt perspektiv viser norsk-utviklet teknologi vei for bruk av sjølokaliteter i kystnære strøk og bruk av verdenshavene til også å oppdrette andre arter enn laks under andre himmelstrøk og miljøforhold. En annen utvikling i retning av å øke produksjonen av laks i kar/bassenger på land (resirkulering (RAS) eller gjennomstrømming) er interessant for høyprisede oppdrettsarter for et godt betalende marked. Kan denne teknologien konkurrere for å oppdrette lavkost animalsk protein for verdens befolkning der energibruk og kostnader blir viktig? Her blir førkildene kritisk, der man må helt eller delvis erstatte bruk av fiskebaserte proteiner og oljer, til vegetariske eller animalske «ikke human spiselige» råvarekilder.

I det videre skal vi fokusere på oppdrettsteknologi for kaldtvannsarter i intensiv akvakultur, men også vise at av verdens akvakultur er det 15 ganger større volum som oppdrettes ekstensivt i dammer på land og i hovedsak i Asia.

### 21.2.1 Oppdrett i Norge

Norsk oppdrett har fokusert på kaldtvannsarter, der eksportvolumet i dag totalt domineres av atlantisk laks og en liten mengde regnbueørret. Historisk sett er lakseoppdrett i sjø en ung næring med sine vel 50 år. De første forsøk med oppføring av laks i sjøvann fant sted i 1957. Det var epokegjørende når brødrene Ove og Sivert Grøntvedt på Hitra i 1971 lyktes med å få 20 000 laksesmolt til å vokse i sjøen i flytende innhegninger av trerammer med notposer, etter inspirasjon fra ringnotfisket på sei som disse fiskerne var vant med. Disse flytemerdene var rimeligere innhegninger enn de pollene og avstengte sundene som allerede var i bruk på Vestlandet. Settefisk av laks fikk de fra et kultiveringsanlegg på Lundamo ved elva Gaula. Dette anlegget hadde i flere tiår produsert settefisk fra rogn for

å kompensere for vannkraftutbygging av vassdrag. Ferskvannsdelen av lakseproduksjonen fram til smolt hadde man altså god kunnskap av i Norge, men manglet grunnleggende kunnskap om fôring og utvikling av laks som husdyr i sjø. Kunnskapen kom derfor gradvis, dels ved prøving og feiling de første årene etter hvert som flere pionérer kom til. Noen få laks som ble fraktet i sjøfly til Lovund i 1972 til Hans P. Meland og Steinar Olaisen ble de første oppdrettslaks i Nord-Norge. Fra 1975 ble interessen for å etablere seg i næringen så stor at myndighetene innførte midlertidig konsesjonsstopp. Produksjonen i 1980 var på 8000 tonn. De tre fylkene Hordaland, Møre & Romsdal og Sør-Trøndelag hadde 70% av produksjonen mens Nord-Norge var lite representert.

Lakseoppdretterne lærte av hverandre, men det var mange tilbakeslag. Stor dødelighet i merdene førte til at næringens største fellesaktør Fiskeoppdretternes salgslag (FOS) i 1983 opprettet «FriskFisk»-programmet for å mobilisere forskningsmiljøene til å utvikle kunnskap om sykdomsbekjempende tiltak. På dette tidspunktet hadde man ennå ikke utviklet effektive vaksiner. Etter hvert kom de offentlige forskningsinstitusjonene mer på banen sammen med private førfirma og med en tidlig næring som også utviklet sine egne næringsorganisasjoner og avlsorganisasjon.

I 1985 var det mangel på settefisk og det ble importert fisk fra bl.a. Skottland, og mange nye settefiskanlegg ble etablert. Til matfiskproduksjonen i sjøen gjennomførte myndighetene i alt 4 konsesjonsrunder for matfisk på 80-tallet. På slutten av 80-tallet ble det overproduksjon av settefisk, og på 10 år ble produksjonen mer enn 20 doblet til 170 000 tonn. I 1990 var lakseprisen halvert, og oppdretterne regulerte markedet ved å fryse inn laks for senere salg. Den omfattende konkurransen i omsetningsmonopolet Fiskeoppdretternes salgslag i 1991 førte til flere konkurser blant oppdretterne, og etter hvert kom en restrukturering av næringen.

En vellykket markedssatsing på prosjekt "Japan" fikk laksen inn i sushirestaurantene. Ny optimisme oppstod på slutten av 90-tallet og økt internasjonalisering ved at utenlandske eiere (Nederlandske Nutreco) kom inn i norske oppdrettsselskap (Skretting som ble til Nutreco) og flere norske selskap engasjerte seg på eiersiden av oppdrettsbedrifter i Chile, USA, Canada og UK. Fra 2001 av fikk laksenæringen fire nedgangsår. EU-minstepris sammenfallende med utestenging fra USA-markedet førte til at oppdretterne drev med tap. En større restrukturering skjedde i 2005/06 der de 4 største selskapene (Marine Harvest, Fjord Seafood, Panfish og Stolt Seafarm) ble til Marine Harvest som senere endret navn til Mowi og ble verdens klart største lakseoppdretter.

Fra 2006 til 2012 var det jevnt volumøkning, og markedene utviklet seg. Blant annet økte sushimarkedet 30% i året i flere av disse årene, noe som ga økt forbruk av laks internasjonalt. Regjeringen ønsket at næringen skulle vokse, men myndighetene var klare på at det ikke kunne skje om en ikke løste noen av næringens utfordringer. Det ble derfor økt fokus på å hindre rømming og de biologiske problemene knyttet til lakselus. Nye grep måtte tas, og fra 2013 innførte myndighetene en ny type «grønne» konsesjoner som skulle føre til utvikling av teknologi som var mer bærekraftig, men konvensjonell teknologi med åpne merder dominerte og ga økende biologiske utfordringer.

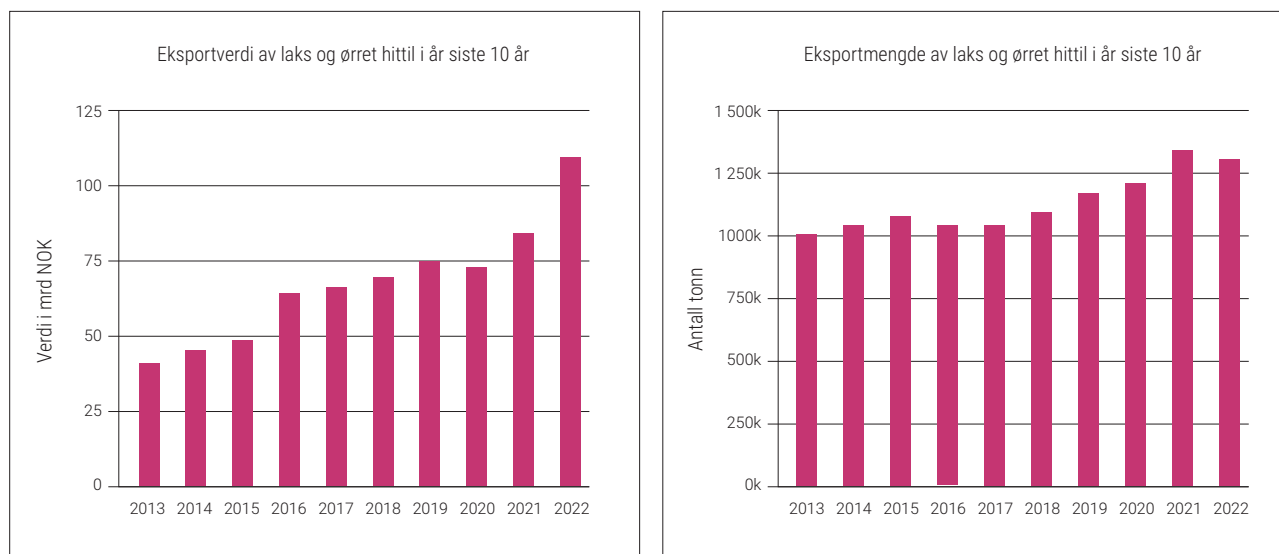
Fra 2012 til 2022 var det i realiteten en stagnasjon i eksportvolumet av norsk lakseproduksjon, men en 3-dobling i eksportverdi. Dette hadde en sammenheng med lakselussituasjonen der næringen ikke hadde tilstrekkelig kontroll, og dette førte til at myndighetene styrte/regulerte maksimalt tillatt produksjonsvolum for oppdrettsanlegg i sjø. Reguleringen skjedde dels gjennom å stramme inn nye tildelinger av konsesjonsvolum og dels gjennom begrensninger i drift.

I 2021 var det igjen økt eksportvolum etter at myndighetene hadde tillatt gradert økning i produksjonsvolumet i bestemte regioner og at nye utviklingstillatelser var kommet i drift. I et senere avsnitt vil vi beskrive myndighetenes regulering av produksjonsvolum gjennom «Trafikklysordningen». I 2022 og 2023 ble eksportvolumet redusert med 2% hvert av årene sannelignet med året før, mens eksportverdien økte med 15% hvert år.

I de siste 10 årene har det vært en økning i etterspørselen av norsk laks i verdensmarkedet, men eksportvolumet har ikke økt i samme grad. Det har ført til at prisen pr. kilo laks gått opp godt hjulpet av en svekket kronekurs (**figur 21.10**). Fremtidig vekst i myndighetsbestemte



tillatelser/produksjonsvolum vil kreve bedre kontroll med lakselus, der vi presenterer ulike strategier i et senere avsnitt.



**Figur 21.10.** Eksportvolum fra 2013 til 2022 lå i praksis jevnt på 1,1 til 1,3 mill tonn, men verdien av eksporten økte nesten 3 ganger fra 40 MRD til 111 MRD. I 2022 var eksportvolumet redusert fra 2021, men eksportverdien økte likevel med 26 MRD NOK pga. økte priser regnet i NOK. - www.seafood.no.

### 21.2.2 Beskrivelse av intensivt og ekstensiv oppdrettsproduksjon

Norsk lakseoppdrett er et eksempel på en *intensiv produksjon* der vi fôrer fisken, investerer i teknisk utstyr og «husdyrrom» eller lokaliteter som legger forholdene til rette for kostnadsmessig effektivisering og optimal vekst. Organisert avl, utvikling av spesialisert fôr og oksygentilsetning til vannet er faktorer som karakteriserer dette. Den intensive produksjonen innebærer økt veksthastighet eller økte tettheter, og vil alltid måtte ta hensyn til de biologiske behov hos fisken og hindre utvikling av smittsomme sykdommer. Vanntemperaturen er en viktig parameter som vi kan regulere i lukkede enheter, som i kar på land. Generelt vil en økt temperatur medføre raskere vekst, men høy temperatur utover artens naturlige komfortsone gir negative effekter. Dersom lakserogn blir plassert i høy vanntemperatur for å få raskere klekking, oppstår ofte misdannelser. All fisk har optimumstemperaturer, der en ikke må presse grensene for langt opp eller ned. Ulike organer og strukturer utvikler seg senere enn andre og med temperaturregimer som er under eller over fiskens optimumstemperatur kan det bli et misforhold her. Dersom lakseyngel i ferskvannsfasen går på høy vanntemperatur, vokser fisken raskt og blir raskt klar for sjøsetting, men hjertet trenger tid for å utvikle seg optimalt. Det er mye som tyder på at en får en «sterkere smolt» om den får mer tid på å utvikle seg.

Til forskjell fra intensiv akvakultur som hos atlantisk laks oppdrettes det langt større volumer i verden i dag med ekstensive metoder. Dette skjer i hovedsak på land og i jorddammer og kalles innlandsproduksjon. Ved ekstensiv produksjon søker en å utnytte næringsproduksjonen i vannressursen på stedet, f.eks. ved å innpasse fisken i polykultur (rekedammer eller rismarker). Dette gjøres ved å plassere mer enn en enkelt vannlevende organisme i samme vannkilde. Ved å bruke en blanding av forskjellige fiskearter kan man bedre utnytte den tilgjengelige naturlige maten som produseres i vannet. Fiskepolykulturer blir oftest produsert i dammer. Kina har praktisert polykultur i fiskeoppdrett i over 4000 år. Fiskeproduksjonen kan maksimeres når flere arter av fisk med ulike fôringsvaner settes sammen. Ulike fôringsvaner er viktig for å sikre at artene ikke begynner å konkurrere om ressursene med hverandre (**figur 21.11**).

Verdens innlandsproduksjon av oppdrettsfisk er 50 millioner tonn, og av dette er 90% (45 millioner tonn) i Asia. En stor andel av denne fisken oppdrettes i forhold der den ikke blir fôret (non-feed production), f.eks i polykulturer med filterspisende karper i Asia som sølvkarpe (*Hypophthalmichthys molitrix*) og bighead karpe (*Hypophthalmichthys nobilis*) hvor produksjonen utgjør 8,2 mill tonn.



**Figur 21.11.** Fish-cum-rice. Produksjon av fisk på rismarkene er utbredt i Kina, Vietnam og Thailand og en har her mange århundres erfaring i ekstensivt fiskeoppdrett.

Utviklingen i innlandsproduksjonen går også i retning av økt satsing på arter som føres som sort karpe (*Mylopharyngodon piceus*) i Kina. I Afrika har en ikke lyktes i å etablere oppdrett av lokale arter av non-feed fisk og har gått over til internasjonalt kjente oppdrettsarter som tilapia (*Coptodonini* og *Oreochromis sp.*) og maller (eks. *Ictalurus punctatus*) som alle føres (figur 21.12). Økningen i verdensproduksjonen de siste 20 år har kommet ved arter som føres, mens non-feed produksjonen har holdt seg stabil.



**Figur 21.12.** Føring av Tilapia i Padignan i Elfenbenskysten.

### 21.3 PRODUKSJONSMETODER FOR OPPDRETTSFISK

Laks har en ferskvannsfase fra egg til smolt og en sjøvannsfase fra settefisk til slaktemoden fisk. I lakseoppdrett starter vi med egget, og det ligger et betydelig avlsarbeid bak å tilby oppdrettsnæringen egg med ulike genetiske kvaliteter. I avlssystemene i Norge benyttes i dag ikke genmodifiserte organismer (GMO = genmodifiserte organismer) for å fremme egenskaper. I stedet baserer man seg på seleksjon av individer der vi kjenner hvilke faktorer det skal avles på, for å skape avlsmessig fremgang.

**En lakseparr** er en ungfisk av laks som lever i ferskvann. Den har utviklet seg fra plommeseekkyngel, vokst videre og fått såkalte fingermerker (parr-merker) på sidene, men har ennå ikke gjennomgått sjøvanntilpasning (smoltifisering).

En smolt er en sjøklar settefisk, dvs. den har vært gjennom en fysiologisk endring for å kunne leve et liv i sjøvann f.eks. ved å kunne kvitte seg med overskudd av salter i det marine miljøet, som i gjellene pumpes fra blodet og over i vannet. I fiskeoppdrett kan vi styre når vi vil ha fisken smoltifisert.

**Storsmolt** er et begrep som er mer rettet mot å beskrive en strategi enn å beskrive en bestemt størrelse fisk, for størrelsen ved sjøsetting kan variere. Det er vanlig å omtale smolt over 250 g som storsmolt. Storsmolt som *strategi* betyr at fisken lever lengre tid av sitt liv i kar på land, før den overføres til åpne merdanlegg i sjøvann. Strategien er å redusere den risikofylte tiden fisken står i åpne merder i sjø, ved å la den vokse seg større i kar på land eller i lukkede merder i sjø der vi kan skjerme den helt for bl.a. lakselus. En laks som settes i sjøen når det er fra 250 til 400 gram vil benytte betydelig kortere tid på å nå slaktemoden vekt sammenlignet med en fisk som blir satt i sjøen ved 130 gram, som var vanlig snittstørrelse for få får siden. Storsmolt i kar på land har vært gjennom en smoltifisering dvs. kan tåle å gå i sjøvann opp mot 35 promille, men om den ikke settes på sjøvann, vil den resmoltifisere og kan da ikke settes i sjøvann uten videre. Når den holdes i kar over tid er det vanlig å benytte brakkvann, dvs. vi blander sjøvann og ferskvann. Om laksen igjen skal settes i rent sjøvann, må den gjennomgå et lysprogram for å smoltifiseres.

**Postsmolt** er definert som fasen like etter at den ville laksen forlater sitt unge liv i elva og går inn i det marine miljøet. I en oppdrettssituasjon er det fasen der den overføres fra ferskvann til sjøvann og blir tilpasset et marint miljø for sin videre oppvekst. Postmoltfasen er starten av påvekstfasen som kan foregå i rent sjøvann, eller i kar på land med en valgt salinitet.

Videre vil produksjonen av laks gjennomgå fra stryking av fisken til den er slakteferdig. Deler av det fortløpende i teksten er tekstbidrag fra Stefansson mfl. (2016) og Benchmark Genetics (2022) og det henvises til videre detaljert informasjon i disse publikasjonene samt kapittel 17.

#### 21.3.1 Avl, stamfisk

Alle fiskeliv starter med en hunn og en hann og i kommersielt oppdrett ligger det et omfattende avlsarbeid bak genetikken til hver av foreldrene. Flere avlsorganisasjoner tilbyr egg befruktet (rogn) som er resultat av seleksjon i flere generasjoner, der en har forbedret egenskaper ved fisken. I avlsmålene var det opprinnelig et sterkt fokus på vekst og pigmentering (farge på kjøttet). I løpet av de senere år har det vært et fokus på å utvikle en mer robust laks, dvs. en laks som er motstandsdyktig mot sykdom, tåler miljøutfordringer og vokser godt under skiftende oppdrettsforhold. Hos fisk som inngår i avlsprogrammene måler man gjerne ytelse (overlevelse, veksthastighet og fôrutnyttelse) og benytter disse til seleksjon (fenotype er alt som man kan observere direkte på individet, og er en kombinasjon av arv og miljø). I tillegg har moderne genteknologi gitt oss metoder der en kartlegger selve arvematerialet, DNA (genotype er summen av alle genene til et individ). Metoden som benyttes i avlsarbeidet kalles genomisk seleksjon og kombinerer informasjon både fra genotypen og fenotypen.

Alle avlsorganisasjonene har stamfiskhold som en viktig kjerneaktivitet og fisk som skal bli stamfisk eller inngår i avlsprogrammene er verdifulle individer som en må beskytte i hele livet fram til den blir strøket. Særlig viktig er det å unngå at fisken blir smittet av sykdommer som enten tar livet av stamfisken, eller som kan overføres fra stamfisk til egg (vertikalt overførte smittestoff) som gjør at rogn må kasseres. Det har i Norge vært flere utbrudd i stamfiskpopulasjoner av ILA (virussykdommen Infeksiøs Lakse Anemi) som

har redusert rogn tilgangen til laksenæringen vesentlig. Stamfisk må holdes under sterke biosikkerhetstiltak, og hold av avlsfisk i åpne merder har medført problemer.

### 21.3.2 Stryking av laks

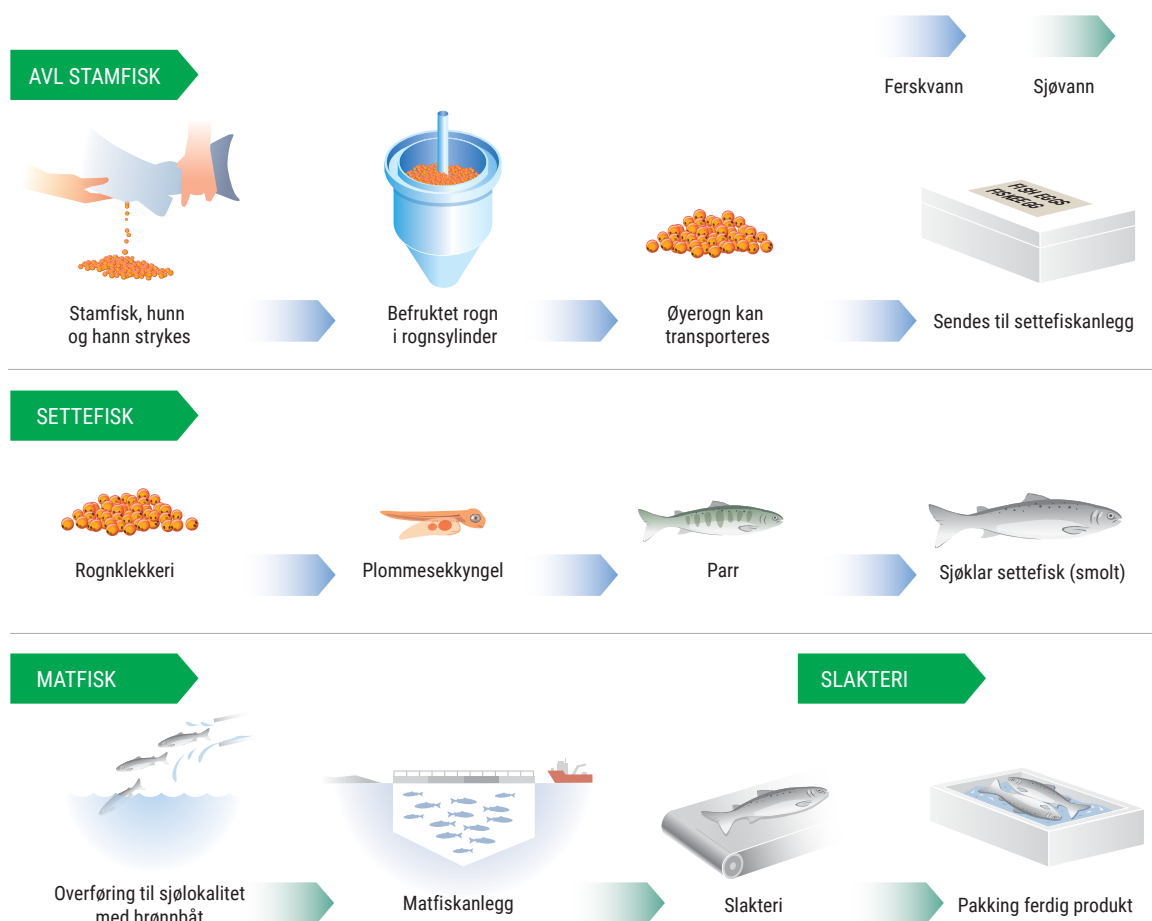
I denne prosessen (**figur 21.13**) må alt nødvendig utstyr være klargjort og desinfisert, ha nok vann med en god vannkvalitet, og en må ha tatt prøver av stamfisken for å sjekke om den ikke bærer noen sykdommer. Man stryker den voksne kjønnsmodne hunnlaksen for rogn og stryker hannlaksen for melke, og blander rogn og melke i en beholder slik at eggene befruktes og celledelingen starter. Etter 220 døgngader (grader i vannet x antall døgn) har fosteret utviklet pigmenterte øyne (øyerogn). En liter rogn har ca. 5000 egg og 1 ml melke ca. 10 milliarder spermier.

### 21.3.3 Rognstadiet til yngel

Rogna skal ligge frem til ca. 300 døgngader før den "sjokkes", og ukurant rogn sorteres ut på øyerognstadiet. Dette gjøres ved å helle rogn ned fra en høyde på opptil 30 cm i et kar med vann. Eggene som er ubefruktet, vil da sprekke og koagulere og kan sorteres fra befruktet rogn. Fra befruktning og frem til ca. 200 døgngader er rogn spesielt ømfintlig for håndtering og endringer i vannparametere. Rogn og yngel skal ha det mørkt i klekkeriet og dimming av lys bør brukes i forbindelse med røkting og lystilvenning i henhold til regelverk. Vanntilførselen bør ligge på 1 liter vann per liter rogn og temperaturer under 8°C.

Rogn fra atlantisk laks vil vanligvis klekke ved 480-520 døgngader, og klekkeperioden varer fra to til tre dager. Dette er imidlertid også avhengig av temperatur i vannet ved klekking. Ved kaldt vann (2-5 °C) kommer klekkingen ofte 50 døgngader tidligere.

Plommeseckyngel (**figur 21.14**) er navnet på den nyutklekkede laksen med nistepakke, dvs. plommesekken som er en direkte utposning i forbindelse med tarmen. Plommeseckyngelen ligger for det meste på bunnen av klekkebakken. Klekkingen skjer gjerne i klekkebakker



**Figur 21.13.** Laksen har en ferskvannsfase fra egg til smolt og en sjøvannsfase fra settefisk til slaktemoden fisk.

med en bunnmatte av beskyttende «gress» - astroturf. Etter hvert som næringsstoffene i plommesekken absorberes av fisken, reduseres plommesekken og yngelen vokser. Når fisken har absorbert plommesekken direkte til tarmen, må den lære seg å ta til seg næring gjennom munnen, dvs. ta til seg tørrfôr.

**Figur 21.14.** Øyerogn og nytutklekket plommesekkyngel.



#### 21.3.4 Yngel til smolt

Ved klekking er fiskeyngelen rundt 0,2 gram. Hvor lang tid tar det før den kan settes i sjø, dvs. blir til smolt? Vi kan i løpet av et halvt år føre den fram til en 100 grams smolt ved bruk av høy vanntemperatur, såkalt halvårssmolt (0+). Ved å senke vanntemperaturen kan tiden forlenges slik at det f.eks. tar 1,5 år (1-årssmolt) å nå 100 gram, evt. også lengre tid (2-årssmolt). I kommersielt oppdrett kan det altså produseres smolt til alle årets tider ved hjelp av lys- og temperaturmanipulering, som etterligner de naturlige miljøendringene som skjer i naturen for å igangsette smoltifisering. Etter en vekstperiode hvor lyset etterligner vinterhalvåret (12t lys og 12t mørke), så kommer en periode som etterligner vår/sommer (24t lys) som vil starte opp smoltifiseringsprosessen.

**Eksempel 1:** Produksjon av 0+ smolt ved 13 °C: Lysregime fra startfôring 12t:12t (lys:mørke) i 8,5 måneder, og deretter 24t:0t i 6 uker før utsetting i sjø. Vaksineres i 5. uke.

**Eksempel 2:** Produksjon av 1+ smolt ved <13 °C: Lysregime fra startfôring 12t:12t (lys:mørke) i 13 måneder, og deretter 24t:0t i 6 uker før utsetting i sjø. Vaksineres i 5. uke. Før smolten kan settes ut i sjøvann er det standard å gjennomføre en 24 eller 48 timers sjøvannstest med fisken og ta enten en blodprøve og analysere plasmaklorid, eller ta gjelleprøver for å analysere gjelleenzymaktiviteten. Slik kan en vurdere fiskens sjøvannstoleranse for å sikre at overføringen går bra. Se kapittel 10 for videre beskrivelse av smoltproduksjon og smolttesting.

I utviklingen av næringen har det fra starten av vært et fokus på å redusere tiden for å produsere en sjøklar settefisk (smolt). En startet med gjennomstrømningsanlegg med kaldt vann, og begynte etter hvert å heve vanntemperaturen ved ekstra energitilførsel og varmeveksling, og etter hvert ble RAS (resirkulering)-teknologien mer utbredt der vanntemperaturen kan holdes høy hele året. Høy temperatur har også vist seg å ha noen negative effekter på fisken som har fått økende oppmerksomhet de senere år. I løpet av tiden fra yngel til settefisk skal fisken gjennomgå en stor utvikling fysiologisk, organer som hjertet og skjelettet skal få tid til å utvikle seg og fisken skal gjennom vaksinerings gjøres immunologisk klar for å møte bakterier/virus senere i livet.

Det finnes visse tålegrenser for hvor temperaturen kan heves i ulike faser av fiskens liv. En erfarte at i visse faser av rognas utvikling ville en temperatur over en bestemt grenseverdi gi økte misdannelser, og dette er i dag velkjent for alle rognprodusenter og blir tatt hensyn til. En har nå sterkere erfaringsgrunnlag og kan sammenlikne ulike produksjonsformer som 0+, 1-årssmolt og 2-årssmolt, og det er sterkt fokus på ulikheter i parameteren «overlevelse i sjø» fra de forskjellige produksjonsformene. Det forskes på årsaker til de forskjeller av overlevelse man finner i sjøfasen. En finner kovariasjoner med ulik hjerteutvikling, men en søker også å identifisere årsakssammenhenger.

### 21.3.5 Sjøfasen til matfisk

Dette er en påvekstfase der det er lettere å definere slutten (slakting) enn å definere når fasen begynner, for det er utviklet en rekke produksjonsformer for å bringe fisken gjennom den siste vekstfasen fram mot slakting. Det er tidligere beskrevet den tradisjonelle sjøbaserte produksjonen i åpne merder som er en tottrinns teknologi med ferskvannsfasen i kar på land til fisken er smolt og med påfølgende sjøsetting i åpne merder. Vi har videre omtalt at storsmoltstrategien er utviklet for å redusere tiden fisken står i åpne merder i sjøen der den er utsatt for lakselus. Storsmoltstrategien vil forlenge tiden fisken er i lusefrie og mer kontrollerte forhold i kar på land eller i lukkede anlegg i sjø. Ulike former for lukkede og semilukkede flytende anlegg, der en søker å redusere interaksjonene mellom oppdrettsfisken og det ytre miljøet vil også beskrives (**figur 21.15 og i et senere avsnitt**).

Andre slakteformer ved åpne merder og flytende installasjoner er «Slakting av oppdrettsfisk på båt, direkte fra merd» (Dead haul). En avliver fisken i en båt ved merdkanten. Noen båter frakter den døde fisken direkte til et ordinært lakseslakteri på land for sløying, mens andre båter kan slaktebehandle fisken om bord (sløye) og levere den ferdig iset i kasse som



**Figur 21.15.** Det er utviklet en rekke produksjonsformer for å bringe fisken fra en nylig smoltifisert smolt (som alltid er landbasert), via ulike teknologier, fram til den siste vekstfasen fram til en slakteklar fisk. Grønt = lukket og landbasert; Lyseblått = lukkede/semi-lukkede merder i sjø; Rødlilla = åpne merder i tradisjonelle fjordlokaliteter; Lilla = havbruk til havs i åpne merder.

HOG (Head-on-gutted) klar for markedet. Tilsvarende slakteformer er planlagt ved store landbaserte påvekstanlegg (eks RAS-anlegg som ikke ligger ved sjø) der en bygger slakteriet i umiddelbar nærhet av påvekstanlegget for enklest mulig logistikk.

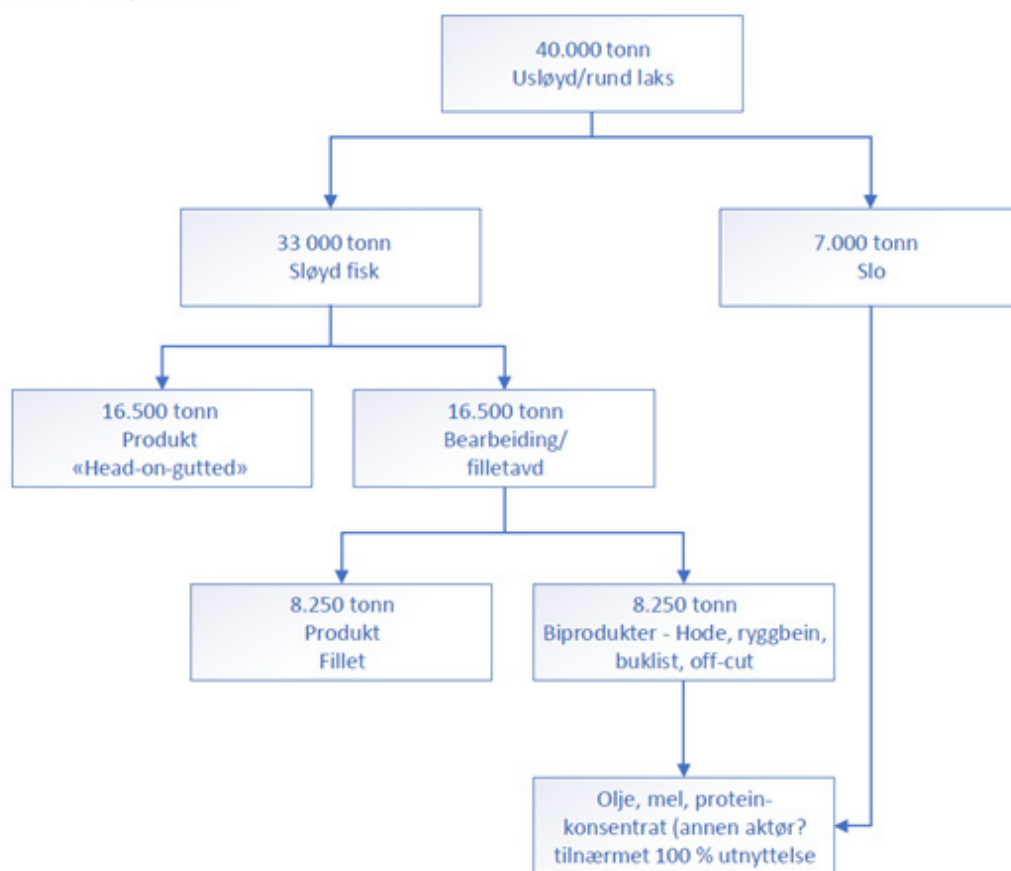
Slakting (Primary processing) er avliving (bedøving og deretter bløgging) og sløying (organuttak fra bukhulen). Resultatet (produktet som leveres) er enten en sløyd fisk med hode (HOG = Head-on-gutted) eller en sløyd fisk uten hode (HOFF).

Filletering/bearbeiding/foredling (Secondary processing) betyr at en splitter fisken og fjerner filleten (fiskekjøttet) fra ryggrad/hode og trimmer bort finner/buklist alt etter hvilken trimmingsgrad som etterspørres. Trim A der en kun splitter fisken, mens i trim E er bla. buklist (fettet langs midtlinjen) fjernet sammen med annet definert avskjær.

Når en omtaler volumet av lakseproduksjon, er det ofte snakk om et visst antall tonn. Det er imidlertid viktig å presisere om en snakker om tonn rund fisk (levende fisk) eller om det er HOG (Head-on-gutted). Forskjellen er at HOG er ca. 18% lavere enn levende fisk (grovt sett er HOG x 1,2 = levende vekt). I levende live i alle stadier er det alltid snakk om levende vekt, men fra slakting til marked er det HOG som gjelder

Av figur 21.16 framgår det at den levende fisken som ankommer et slakteri, vil gi opphav til flere produkter og biprodukter. Volumene av biprodukter viser også hvorfor det er et sterkt fokus på å øke foredlingsgraden i Norge for å redusere behovet for transport til utlandet og beholde verdiskapingen av biproduktene i Norge.

## Produktmiks: 50% fillet



**Figur 21.16.** Levendefisk vil etter slaktning ha fjernet ca. 18% slo og blod. Om vi velger å produsere fillet, beholder vi like mye volum av biprodukter som volum av de filleter vi sender til markedet. I eksemplet over har vi latt halvparten av fisken gå til fillet og halvparten selges som HOG.

### 21.3.6 Oppdrettsmetoder – andre laksefiskarter

Regnbueørret (*Oncorhynchus mykiss*) er den andre hovedarten i norsk akvakultur der begrepen laks og ørret ofte tas i samme åndedrett. Bakgrunnen for dette er at regnbueørreten og laksen begge viste seg i pionertiden å kunne oppdrettes i merder i sjø, og det har alltid vært marked for ørreten parallelt med laksen. Norge eksporterer ca. 50 000 tonn per år. Regnbueørret kan oppdrettes med en teknologi svært lik atlantisk laks og tillatelsene til oppdrett (konsesjonen) er ofte skrevet ut for begge artene slik at oppdretter har fleksibilitet for sin produksjon. Regnbueørret har mindre rognkornstørrelse (8500 rognkorn pr liter mot laksens 5000), den befruktes, inkuberes, startføres, smoltifiseres og oppdrettes i sjø ved en teknologi som er parallell med laksens. Størrelsen på regnbueørret produsert i norske sjøanlegg er mer lik laksens, mens den i mange andre land oppdrettes i jorddammer eller kar på land og vil ha langt mindre størrelse (om lag 1 kg). Porsjonsfisk av regnbueørret brukes også til rakfisk i Norge.

Regnbueørret har også egne avlsprogram og det er utviklet egne fôrtyper for regnbueørret som er forskjellig fra laksens. I oppdrettssammenheng viser regnbueørreten større appetitt. Ørreten vokser raskere, får en sterkere rødfarge i muskulaturen (fiskekjøttet) enn laksen og kan i mange tilfeller framstå som rundere og med sterkere grad av fettavleiringer både rundt innvollene og i fiskekjøttet. I mange markeder (særlig i Asia) etterspørres kraftigere rødfarge i fiskekjøttet. Mange framhever at regnbueørretene er en mer robust fisk enn laksen ved at den blant annet ikke får virussykdommen ILA og at CMS (Cardiomyopathy syndrom) er lite utbredt. Men den kan være mer utsatt for nefrokalsinose.

Norsk arktisk røye (*Salvelinus alpinus*) har populasjoner som kan leve deler av livet i sjøvann i tillegg til ferskvann, men i motsetning til laks og ørret har vi i Norge ikke lyktes med kommersielt røyeoppdrett i åpne merder. Sjørøye oppdrettes på land i kar med fokus på å

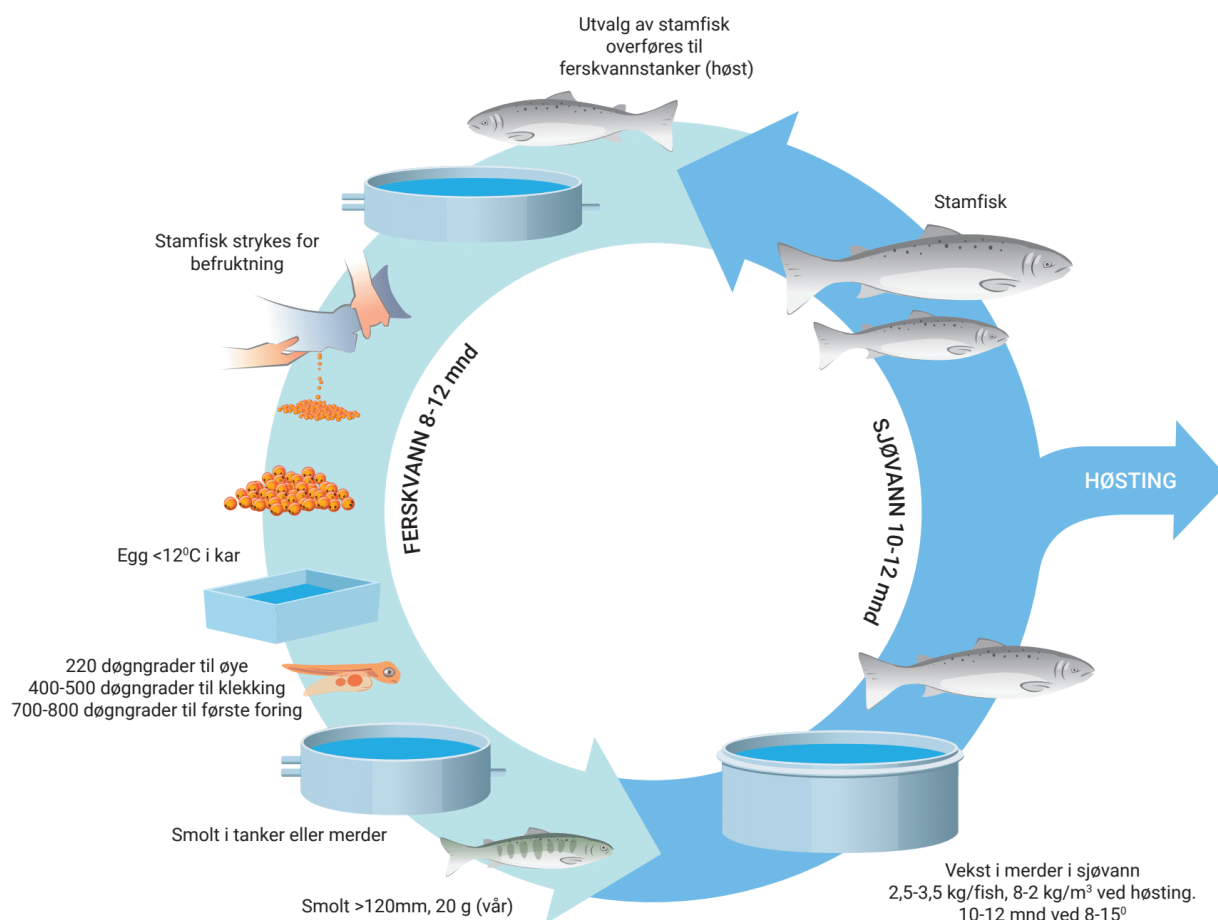
bli en porsjonsfisk. Det er en håndfull anlegg som fokuserer mer på betegnelsen fjellrøye enn sjørøye. Den går til rakfisk eller et restaurantmarked.

Det er etablert et avlsprogram og rognleveranser fra røyeanlegg som også har levert øyerogn siden 2019. Den er avlet for raskere vekst og sein kjønnsmodning. Stamfisk strykes en kort periode av året etter at avlsfisken er modnet ved lysstyring. Teknologien for videre rognutvikling, forsendelse av øyerogn på is til oppdrettere og påfølgende klekking er svært lik laksens.

Teknologien for påvekst er kar på land, og det er forsøkt ulike grader av gjenvinning som RAS mv. Det tilbys kommersielle fôrpellets til røye, og det er spesialfôr beregnet for lave temperaturer ned til under 8 grader. Det har vært utfordringer knyttet til landanlegg og geosmin-smak (en forbindelse produsert av jordbakterier og sopp) av røye (som det er også med andre arter som skal leveres til konsum rett fra RAS-anlegget) og ulike teknologier for purge (siste trinn før slakting, der fisken i mange dager går på reint vann uten fôring for å bli kvitt eventuell avvikende smak). Slakting skjer gjerne i tilgrensende bygg og fisken fraktes ut på is i isoporkasser som laksen, men ikke større enn porsjonsfisk.

Det er flere røyeprodusenter i Telemark, Innlandet, Nord Norge og Trøndelag og det satses på et internasjonalt marked. Norsk røyeforum er en interesseorganisasjon. Island produserer 7-8000 tonn og er verdens største produsent.

Av stillehavslaksene utenom regnbueørret er det nok søvlaks (*Onchorhynchus kisutch*) eller coho salmon som er den viktigste oppdrettsarten. Denne har blitt brukt i oppdrett i over 40 år og i de senere år i Chile, Japan og Canada med en produksjon på over 150 000 tonn totalt. Metodene for oppdrett av denne arten er lik den for atlantisk laks og skissert i **figur 21.17**.



**Figur 21.17.** Skisse som viser oppdrettsteknologien for stillehavslaks – søvlaks - coho salmon (*O. kisutch*).



## 21.4 OPPDRETTSTEKNOLOGI – TYPER MERDER - KONSTRUKSJONER.

Den sterke volumveksten i norsk oppdrettsnæring er knyttet til at en i oppstartfasen lyktes med å oppdrette laksen i sjø i merder (flytekrage med notpose). Teknologien er gradvis utviklet til det vi kaller «åpne merder i sjø». Denne teknologien er med og forklarer en suksess, men samtidig har denne teknologien medvirket til at oppdrettsnæringen fikk et luseproblem. Lakselus er den største biologiske utfordringen som må løses om næringen skal vokse. Fram til 2023 hadde man en tiårsperiode der eksportvolumet fra Norge stagnerte. Myndighetene ga i liten grad tillatelser til økt produksjonsvolum, dvs. en tillot ikke videre vekst før næringens biologiske utfordringer ble redusert til et akseptabelt nivå. Luseproblemet er knyttet til tiden fisken står i sjøen og flere av de teknologiske konseptene som er presentert de siste ti-årene er utviklet for å redusere luseproblemer.

Vi kan dele inn teknologier for sjøbasert og landbasert oppdrett etter hvilke lokaliteter de er beregnet for, og hvordan vannet kommer inn til fisken (åpen/lukket/semilukket/gjennomstrømming).

1. «Åpne merder i sjø» kalles også «konvensjonelt fjordbasert oppdrett»
2. Landbasert oppdrett
3. Offshore oppdrett
4. Lukkede/semilukkede kystnære merder

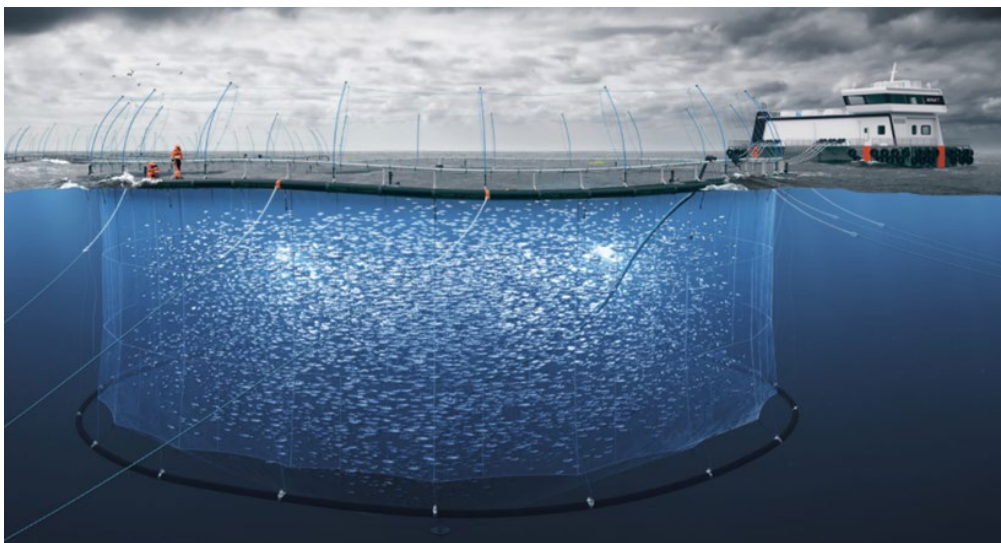
For å kategorisere ulike oppdrettsteknologier kan en også dele inn etter hvordan vannet kommer inn til fisken.

- Ved åpne merder i sjø strømmer vannet fritt inn og ut gjennom notveggen, og vi har liten styring av vannkvaliteten.
- Ved semilukkede og lukkede systemer har en i varierende grad av styring av vannets kjemi og innhold av ønskede/uønskede stoffer og smittestoff/skadelige organismer. Dette gjelder både vann inn og vann ut.
- En mellomting er gjennomstrømningsanlegg på land som gjerne ligger i flomålet (strandsonen), der sjøvann pumpes inn i lukkede enheter med varierende grad av vannbehandling. Ikke alle konsept har filtrering av inntaksvannet, men mange konsept tilsetter oksygen.
- Offshore havbruk er til nå kun åpne merder: Det er store utfordringer om en ønsker å utvikle lukkede merder for offshore oppdrett (stående bølger inne i lukkede vannvolumer) og foreløpig er det ikke utviklet lukkede konstruksjoner offshore.
- Landbaserte er lukkede anlegg. Alle landbaserte konsepter i intensivt oppdrett tilhører kategorien lukkede anlegg, der noen er «helt lukket» (RAS-teknologi – resirkulerende akvakultursystem - men avhengig av noe nytt vann gjennom produksjonen) og noen er gjennomstrømningsanlegg.

### 21.4.1 Åpne merder i sjø

Åpne merder i sjø er den teknologien som i volum er totalt dominerende for lakseoppdrett av matfisk i Norge, og konseptet dominerer også for laks/ørret/stillehavslaks i Chile, Canada, UK, Færøyene og Australia (**figur 21.19**). Vi kaller konseptet «konvensjonelt fjordbasert oppdrett» for det baserer seg på lokaliteter som til en viss grad er skjermet for eksponering fra bølger. Begrepet signifikant bølgehøyde blir benyttet for å beskrive graden av eksponeringen.

Plastringer vs. stålanlegg: Flyteringer i plast er fleksible og benyttes i de anleggene som ligger mest eksponert. Plastringene har en viss fleksibilitet, kan forme seg med bølgene og la bølgene passere gjennom anlegget. Stålanlegg derimot, er stive konstruksjoner som kun kan benyttes på mer skjermede lokaliteter og har dermed en begrensning. Stålanlegg benyttes til ventemerder (slakteremerder) ved slakteriene.



**Figur 21.19.** Flytekrage som bærer nota. En stiv bunnring holder nota utspilt. Omkrets 160 m og dyp ca. 30-50 m er vanlig i Norge. Her er kravene 97,5% vann og 2,5% fisk og max 200 000 fisk pr merd. Fuglenettet hindrer fugl å komme til og holdes oppe av «fiskestenger» på dette bildet, men «hamsterhjul» kan også benyttes. Ved siden av merden ligger fôrflåten, som er et stort pelletslager. Fôret blåses/pumpes i slanger ut til den enkelte merd og spres over vannoverflaten eller tilføres under vann.

Hva er så fordelene med åpne merder i sjø sett fra fiskens side? Fisken får store mengder vann transportert inn til seg. Den nyttiggjør seg oksygenet i vannet og kvitter seg med CO<sub>2</sub> og det giftige nedbrytingsproduktet ammoniakk som blir med vannstrømmen ut av merden. Fôret gis som pellet som spres i vannet. Når oppdretteren først har valgt en lokalitet, er det de naturgitte forhold som definerer kvaliteten på vannet inn til fisken. Oppdretteren kan i liten grad styre oksygenmengde i innkommende vann, vannutskifting og eksponering for negative faktorer i vannet. Eksempel på negative faktorer i vannet er lakseluslarver, sykdomsframkallende bakterier/virus eller giftige alger.

Hva er så det negative med åpne merder i sjø sett fra fiskens side? Fisken er eksponert for det som måtte komme med havstrømmene, enten det er alger, maneter, lakselus eller smittsomme virus og bakterier. Fisken er avhengig av at vanngjennomstrømmingen ikke hindres av begroing som tetter nota i sjøen, at det ikke er for stor biomasse (fisk) i forhold til tilgjengelig oksygen i merden til enhver tid. Merdens volum/konfigurasjon må opprettholdes i storm og uvær slik at fisken ikke kommer i kontakt med notveggen og får slitasjeskader.

De åpne merdene kan også gi mulighet for fugler å komme til, eller at sel, oter, hai, størje og andre predatorer gjør skade. Fuglenett spennes over merden og hindrer angrep fra luften, mens predatornett (engelsk prednet) er en ekstra notpose av kraftigere notlin som særlig benyttes i de områder som har et problem med sel (Chile, Tasmania) og brukes i liten grad i Norge (**figur 21.20**).



**Figur 21.20.** I Tasmania benyttes merder med en omkrets på 240 meter som ligger på svært eksponerte lokaliteter. De har store utfordringer med sel og vi ser her at predatornettet til venstre i bildet er som en vegg 2,5 meter over vannflaten og fortsetter under hele nota som en ekstra pose. Her er altså to lag med nøter under vann, som gir store krefter i sving når bølgene slår inn over anlegget. Her i Storm Bay. Solid fuglenett er sydd sammen med den indre fiskenota. Vi ser Fortress Pens F240.

Fordelen med åpent merdbasert oppdrett er at naturen selv besørger transporten av store vannmengder (**figur 21.21**). Åpen merdteknologi krever ingen pumping av vann og krever ikke energi for å flytte vann.

Vi har nå sett på hvordan teknologien vi velger skal møte behov hos fisken, og da med fokus på vannet fisken lever i. All oppdrettsteknologi skal oppfylle fiskens krav til vann. Vannet er en bærer av faktorer som er livsnødvendige, men kan også være bærer av negative faktorer, og vannet må bringe vekk nedbrytningsstoffer fra fisken. Ammoniakk, som er nedbrytningsprodukt fra proteiner, er akutt giftig for fisken og må kontinuerlig fjernes fra vannet fisken oppholder seg i. Både uorganiske salter (nitrat og fosfat) og organiske partikler (fra avføring og fôrspill) må fjernes fra oppdrettsenheten. Dette er gjødselstoffer som en må unngå til at det bidrar til forstyrrelser

**Figur 21.21.** Fysiologiske behov: Vannet er et transportmedium for oksygen og fôr, og frakter vekk skadelige nedbrytningsprodukter. Beskytte fisken: Oppdrettsteknologien må også beskytte fisken. Åpne merder gir fri flyt av vannet med evt. lakselus, alger, amøber og smittsomme virus/bakterier.

### Vannet er transportmedium

#### Inn-transport:



#### Ut-transport:

Fôr



Faeces (partikler + Nitrat)  
Amoniakk

Oksygen



CO<sub>2</sub>

Smittestoffer i vannet  
(bakterier, virus, lakselus)



Smitter oppdrettsfisken, oppformerer i merden og spres gjennom sjø til andre lokaliteter

Det er utviklet ulike teknologier som har som mål å kunne kontrollere og styre vannets kvalitet og særlig de negative faktorene som kan innvirke på fisken, dvs. beskytte fisken.

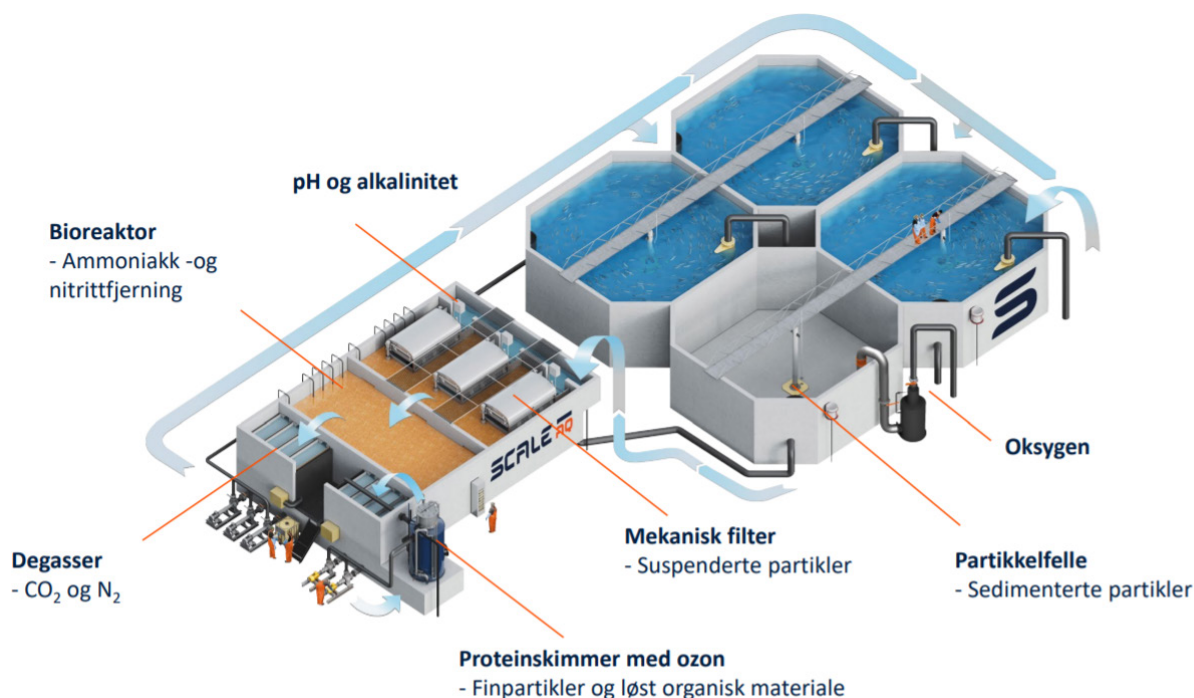
#### 21.4.2 Lukkede anlegg på land

De biologiske problemene knyttet til lakselus og lokale utfordringer i resipienten har ført til økende interesse for at også *sjøfasen* av laksens liv kan foregå i kar på land. Ferskvannsfasen dvs. oppdrettslaksens liv fra egg til settefisk, har jo alltid foregått i kar på land, men når fisken har nådd en størrelse på 80-150 gram har den tradisjonelt blitt satt i åpne merder i sjøen. Landbasert oppdrett er dermed ikke noe nytt, men det nye er at vi starter en påvekstfase for fisken i kar på land og at vi nå oppdretter større fisk i karene, gjerne kombinert med vann med varierende salinitet, helt til slaktemoden størrelse (4-7 kg).

Ulike teknologier er utviklet for å kontrollere og aktivt styre vannets kvalitet for å møte fiskens behov. Om vi tar eksempel i et resirkuleringsanlegg (RAS) (**figur 21.22**) har man kontroll på viktige vannparametere: Man kan regulere til optimal vanntemperatur, tilsette riktig mengde oksygen, fjerne nedbrytningsproduktet NH<sub>3</sub> (ammoniakk), fjerne CO<sub>2</sub>, fjerne partikler, fjerne næringssalter, desinfisere (redusere smittestoff) i inntaksvannet og kontrollere bakteriefloraen også for de «nyttige» bakteriene i biofilteret.

Enkelte RAS-anlegg er konstruert slik at per dag kun behøver å få tilsatt nytt vann for å erstatte fordampingen. Vi snakker da om en resirkuleringsgrad på 98 til 99,9 %. Alt vannet som fisken har brukt blir altså gjenbrukt og tilført fisken. En kan dermed drive opprett av laks på steder der en har minimalt med vann tilgjengelig. Andre RAS-anlegg konstrueres slik at en har en lavere resirkuleringsgrad dvs. tar inn mer nytt vann f.eks. fra en vannkilde der en ikke har pumpekostnader. Resirkuleringsgraden kan da være f.eks. 40-60-80% Energiregnskapet for et RAS-anlegg påvirkes av hvor stor resirkuleringsgrad en velger. Inntaksvannet og driftsvannet kan i enkelte tilfeller måtte avkjøles, mens for vinterstid i Norge er oppvarming mer aktuelt.

For sjøvanns-RAS er prinsippet det samme som ved ferskvanns-RAS: Vannet resirkuleres etter at vannet er rensset for uønskede stoffer, temperaturregulert og tilsatt oksygen.



Figur 21.22. Prinsippkisse av vannbehandlingen i et RAS-anlegg.

Partikkelfiltreringstrinnet kan foregå etter et prinsipp der en blåser luft inn i vannmassen og de minste partiklene blir med boblene opp til overflaten og danner et skum. Skummet fjernes fra systemet. Enheten kalles en proteinskimmer og fungerer bedre i et sjøvannsanlegg enn med ferskvann. Biofilter-trinnet må tilpasses sjøvann og teknologien i et RAS-anlegg for sjøvann kan være litt forskjellig fra et RAS for ferskvann. Her er det levende organismer som utgjør et samspill og en må unngå brå endringer i salinitet eller pH i det sirkulerende vannet.

Vi er ikke avhengig av å pumpe opp sjøvann fra havet til et RAS-anlegg, men kan produsere saltvann ved å tilsette "sjøsalt" til ferskvann. Saltvann med optimalt saltinnhold kan resirkulere og en kan da i prinsippet etablere et RAS-anlegg for sjøvann langt fra kysten basert på en ferskvannskilde og kombinere med en høy resirkuleringsgrad. Slike anlegg finner vi i Sveits og i innlandet i Norge. Det optimale saltinnholdet i et RAS-anlegg for postsmolt/matfiskproduksjon av laks er lavere enn havvannets 33-35 promille, kanskje det halve av dette og erfaringene her varierer.

En videre beskrivelse av et RAS-anlegg, oppbygging og funksjon er gitt i kapittel 22 i denne boken.

#### *Landbaserte gjennomstrømningsanlegg for matfisk.*

I tillatelsesregelverket vil landbaserte tillatelser (konsesjon) ikke omfattes av kapasitetsbegrensninger, kapasitetsjusteringer og vederlag (til staten) som gjelder for kommersielle tillatelser i sjø. Matfiskanlegg på land som pumper inn sjøvann fra dypet som gjennomstrømningsanlegg, bygges i strandsonen for å gi reduserte energikostnader. Inntaksvannet kan oksygeneres og UV-desinfiseres. Vannet kan delvis gjenbrukes i noen konsept, mens andre har 100% gjennomstrømming (flow-through). Noen konsepter har mange kar å fordele vannvolumet på, mens andre konsepter har få, men svært store bassenger med laminær gjennomstrømming. Anleggenes plassering i fjæresonen har medført innsigelser fra flere interessenter, men flere anlegg er i drift og flere er under planlegging.

### 21.4.3 Havbruk til havs

Med havbruk til havs (offshore oppdrett) mener vi oppdrett på lokaliteter som ikke er skjermet av øyer og kan ligge i åpent hav. I Norge har flere konsepter blitt utviklet, men det er langt færre som faktisk blir realisert (**figur 21.23, 21.24, 21.25**).

I et dokument om utfordringer med offshore oppdrett kalt «Forskning og utvikling for realisering av Havbruk til havs» i oktober 2022 skriver en arbeidsgruppe fra NTNU, SINTEF og SalMar Ocean: ««Havbruk til havs» vil skje under helt andre fysiske forhold enn konvensjonell akvakultur i Norge. Selv om de fysiske og klimatiske forholdene vil være annerledes, vil likevel mange av de biologiske utfordringene med havbruk til havs være felles med konvensjonelt kystnært fiskeoppdrett, med kjente problemstillinger i dag som f.eks. lus, sykdommer og fiskevelferd. Imidlertid vil utfordringene kunne anta en annen karakter ved at aktiviteten foregår i andre produksjonssystem og -miljø. Her kan nevnes problemstillinger knyttet til fiskevelferd i høyere bølger og sterkere strømforhold og i større populasjoner. I tillegg vil havbruk til havs medføre en langt høyere grad av automatisering og instrumentering enn mer konvensjonelt havbruk, noe som igjen vil medføre økt krav til teknologi, utdanning og profesjonalisering av personell».

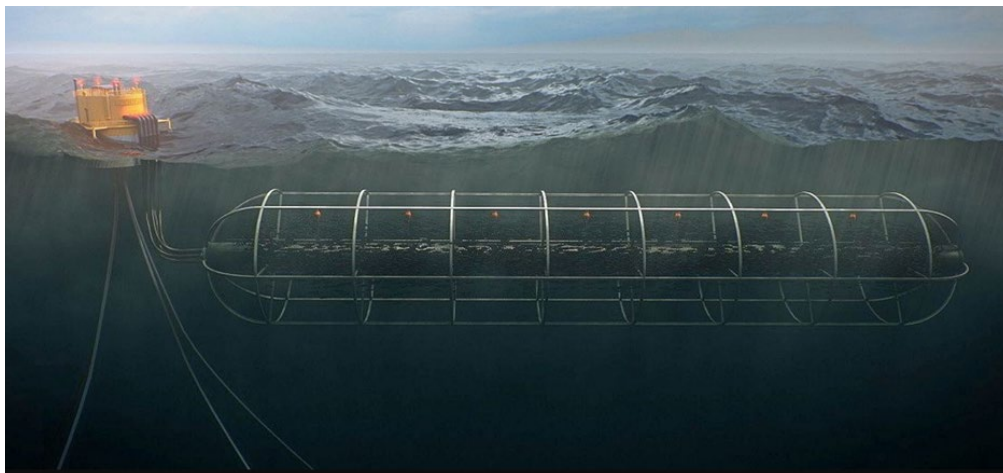
Arbeidsgruppen definerer «Havbruk til havs» slik: «I det følgende benyttes «Havbruk til havs» om havbruksinstallasjoner og -produksjon i de ytre sjøområdene, utenfor dagens trafikklyssystem, 20 – 30 nautiske mil utenfor grunnlinjen. Produksjonsformen som omtales, vil dermed være langt mer eksponert enn anleggene som i dag ligger lengst ut fra kysten».

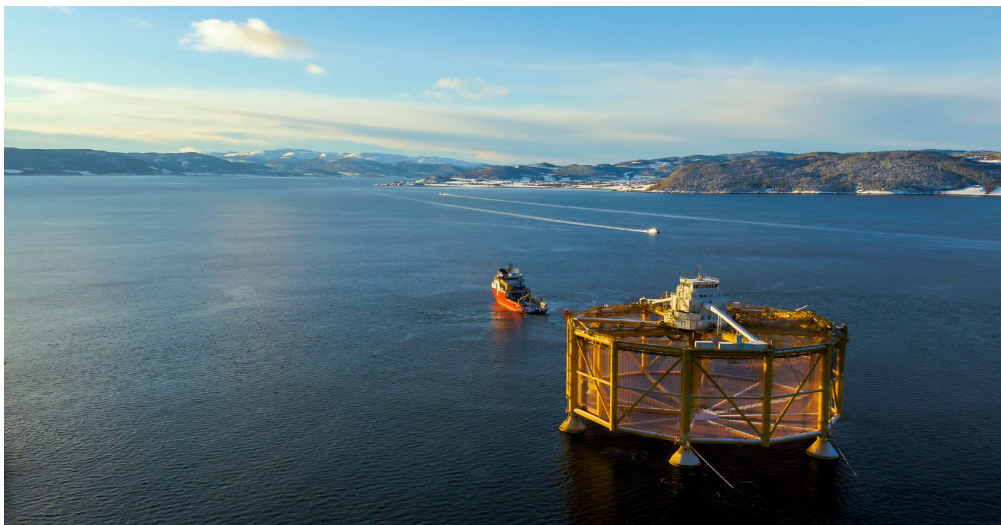
Status for praktiske erfaringer med å oppdrette fisk til havs, er at vi har svært liten erfaring å vise til. Kan laksen klare seg i åpne merder til havs? Må merdene senkes ned for å redusere bølgepåvirkningen på fisken? Om vi velger å fokusere på hva «Havbruk til havs» kan innebære for fiskens velferd, er det meget begrenset hva som finnes av dokumentasjon, og dette illustreres om vi her klipper inn noen løsrevne momenter fra arbeidsgruppens utfordringsdokument:

- *Et ukjent element er hvordan forekomsten av patogener og parasitter er på havlokaliteter, og hvordan dette påvirker interaksjonen mellom villfisk og oppdrettsaktivitet. Laksens atferd i eksponert miljø er ansett som en av hovedutfordringene for offshore havbruk.*
- *Hva er laksens atferdsresponser på eksponert strøm- og bølgedynamikk i kombinasjon med rigid merd/nettingstruktur.*
- *En forutsetning for offshore oppdrett er å utvikle en fisk som er tilpasset produksjonen. Dette krever produksjon av postsmolt (eller «offshore smolt») som er fysiologisk og biologisk tilpasset disse betingelsene, med optimalisering opp mot det miljøet den skal møte.*

Her er noen eksempler på konsepter som er tenkt benyttet for «Havbruk til havs»:

**Figur 21.23.** Nedsenkbare åpne merder. Usikkert om dette blir realisert. Illustrasjon: Beck cage.





**Figur 21.24.** Bilde av Ocean Farm 1 på vei ut til lokaliteten Håbranden fra Verdal i april 2023. Ocean Farm er ikke lagt på en off-shore lokalitet, men konseptet uttestes innaskjærs.



**Figur 21.25.** Arctic Offshore Farming er utviklet av Aker og Norway Royal Salmon. Et halvt nedsenkbart oppdrettsanlegg basert på betong.

#### 21.4.4 Lukkede/semilukkede kystnære merder

Åpne merder i sjø (konvensjonelt fjordbasert oppdrett) er en teknologi der bruk av det kystnære området for fiskeoppdrett møter andre brukerinteresser og det oppstår en konkurranse om det samme arealet. Både internasjonalt og i Norge er det mangel på egnede områder for fiskeoppdrett. Begrensningene er knyttet til at fiskeoppdrett kan gi belastninger på det omgivende miljø, lusepress, biosikkerhet og regulatoriske begrensninger. Dette har gitt motivasjon for næringen å utvikle andre produksjonsteknologier som kan benytte kystnære lokaliteter. Lukkede merder, semilukkede merder og nedsenkbare merder (også kalt «Dyp drift») er slike eksempler (**figur 21.26, 21.27**). Luselarver som sprer seg med vannmassene, har en høyere tetthet i de øverste meterne av vannsøylen. De øverste ca. 10 meterne kalles ofte for «lusebeltet». Flere av teknologiene har som mål å hindre fisken å komme i kontakt med lusebeltet, enten ved at hele merden senkes ned eller ved at det er en vegg (skjørt) i de øverste 8-20 meterne av merden, eller ved at løsningen er helt lukket. Noen konsepter er basert på at vann pumpes fra dypet (20-60 meter) og inn i de lukkede/semilukkede merdene/installasjonene. En reduserer dermed lusefaren og har en mer stabil temperatur. Tidligere forsøk i slike anlegg har dessverre vist seg at en i noen tilfeller ikke helt har unngått lusepåslag, men situasjonen er langt mer kontrollerbar enn i åpne merder. I noen lukkede merder har en vist at lusepåslag helt kan unngås. I havet er det så mye sirkulasjon og turbulens at begrepet «lusebelte» må tas med et stort forbehold.

**Figur 21.26.** Neptun er en lukket merd for kystnære lokaliteter. Vann pumpes inn fra et dyp «under lusebeltet».



**Figur 21.27.** Egget® (ovum) er et lukket oppdrettskonsept for bruk i fjordbasert havbruk. Konseptet har fokus på lus/alger, rømming, oppsamling av slam, predatorer, arealutnyttelse og vannstrøm for mosjonering av fisken. Vann pumpes fra dypet, oksygeneres og strømssettes.



## 21.5 UTFORDRINGER – MILJØEFFEKTER

Det er mange gode grunner til å ta miljøarbeidet alvorlig i havbruksnæringen. Opinionen og pressen, blir mer og mer bevisst på hva som skjer i norsk havbruksnæring. Lokalsamfunnene der produksjonen skjer har økende bevissthet om at produksjonen skal skje forsvarlig. Markedet for oppdrettsfisk legger i økende grad vekt på at oppdrett skal skje uten negativ miljøpåvirkning. De ansatte i havbruksnæringen ønsker å arbeide i bedrifter og i en næring som drives miljøvennlig. Videre er havbruk en biologisk produksjon som er avhengig av gode miljøforhold. For å få gode rammebetingelser fra sentrale og lokale myndigheter må næringen vise at den kan drive i pakt med samfunnets krav til å ivareta miljø, dyrevelferd, vill laksefisk mv. Gjennom sertifisering etter standardene GLOBALG.A.P eller ASC (Aquaculture Stewardship Council) kan oppdretterne dokumentere at de oppfyller slike krav.

Samfunnets krav til næringen er formulert slik i stortingsmelding: «For sykdom gjelder det at sykdom i oppdrett ikke skal ha en bestandsregulerende effekt på villfisk, og mest mulig av oppdrettsfisk skal vokse opp til slakt med minimal medisinbruk. For genetisk interaksjon og rømming skal ikke havbruk bidra til varige endringer i de genetiske egenskapene til villfiskbestandene. For forurensninger og utslipp gjelder det at alle oppdrettslokaliteter som er i bruk holder seg innenfor en akseptabel miljøtilstand, og har ikke større utslipp av næringsalter og organisk materiale enn det resipienten tåler. Havbruksnæringen skal ha en lokalitetsstruktur og arealbruk som reduserer miljøpåvirkning og smitterisiko. For fôr og fôrressurser gjelder det at havbruksnæringens behov for fôrråstoff dekkes uten overbeskatning av de villevende marine ressursene».

«Det er mange faktorer som kan påvirke mulighetene for vekst i oppdrettsnæringen, alt fra klimaendringer til manglende infrastruktur. Manglende kontroll med fiskehelse vil også kunne hindre vekst i næringen. Med dagens merdbaserte produksjonsform er næringen avhengig av en god miljøtilstand, noe som innebærer at vekst må skje på naturens premisser. I tillegg er tilgjengeligheten til areal, samt at det finnes et marked for produktene, av avgjørende betydning. Regjeringen anser miljømessig bærekraft som det viktigste hensynet myndighetene skal ta når videre vekst i oppdrettsnæringens produksjonskapasitet skal vurderes. Det vil si at markedshensyn eller andre hensyn normalt ikke skal tillegges vekt i myndighetenes vurdering av vekst på tillatelsesnivå.

Regjeringens mål for havbrukspolitikken er dermed å øke veksten i havbruksnæringen innenfor bærekraftige rammer. Dette innebærer at regjeringen vil legge til rette for at næringen:

1) Ivaretar god fiskehelse og fiskevelferd; 2) Produserer bærekraftig sjømat med lavt klima- og miljøavtrykk; 3) Produserer sunn og trygg sjømat som dekker ernæringsmessige behov og matpreferanser; 4) Har god adgang til markedene der produktet er konkurransedyktig, og kan dokumentere at norsk sjømat tilfredsstiller kravene til blant annet mattrygghet, bærekraftig produksjon og fiskehelse og -velferd og 5) Bidrar til gode og lønnsomme arbeidsplasser og lokale ringvirkninger langs hele kysten og inntekter til fellesskapet».

Basert på disse kravene beskrives et utvalg av de ulike miljøeffektene fra intensiv oppdrettsaktivitet. En stor del av denne informasjonen er hentet fra Havforskningsinstituttet årlige «Risikorapport norsk fiskeoppdrett – risikovurdering» og tilhørende «Kunnskapsstatus til risikorapport». Kunnskapsstatus kan HI ha hentet fra ulike temarapporter som f.eks. «Status for norske laksebestander» (Vitenskapelig råd for lakseforvaltning), status for lakselus, status for fiskevelferd, status for rømt oppdrettslaks mv.

### 21.5.1 Lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) og skottelus (*Caligus elongatus*) - biologi, påvirkninger og tiltak i oppdrettsanlegg

#### *Biologi og påvirkninger*

Lakselus og skottelus er den klart største trusselen for både vill og oppdrettet laksefisk og koster næringen flere milliarder per år (**boks 21.2**).

Lakseluspåslaget på laksefisk og etterfølgende behandling av oppdrettsfisk gir store utfordringer for fiskevelferden. For å overvåke forekomst og utvikling av lakselus i anleggene er oppdretterne pålagt å telle lakselus på fisken i henhold til «Forskrift om bekjempelse av lakselus i akvakulturanlegg». En teller antall fastsittende stadier, antall bevegelige stadier og antallet voksne hunnlus. Telling og temperaturdata sendes Mattilsynet via Altinn ukentlig og oppdateres og er åpent tilgjengelig på barentswatch.no. Hvor mange lakselus som slippes fra alle anlegg blir deretter beregnet basert på innrapporterte antall voksne hunnlus per fisk, antall fisk på lokaliteten og vanntemperaturen på 3 m dyp. Data for snittvekt og biomasse hentes fra Fiskeridirektoratet (månedlige data). Det generelle mønstret i utslippene følger et relativt stabilt årlig mønster knyttet til sesongmessige avlusningsregimer, produksjon og vanntemperatur. Som følge av dette øker vanligvis utslippene av klekte nauplier fra slutten av mai, tidligst i sør grunnet raskere temperaturøkning om våren, og mot en maksimal egg- og larveproduksjon fra august til oktober avhengig av landsdel. Mer om hva lusell benyttes til finner du i kapittel 21.6.

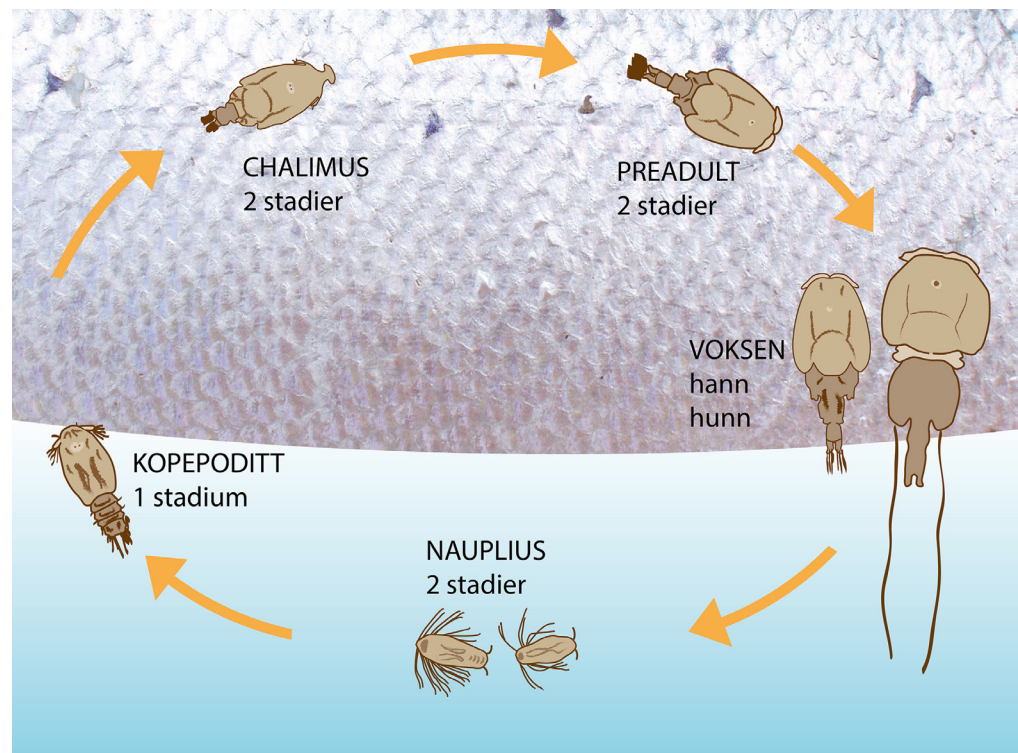


Utvikling av lakselus og påvirkning på enkeltlaks og sjøørret er grundig undersøkt i flere laboratorie- og feltstudier. Sjøørret kan være mer utsatt for lus enn atlantisk laks. Laboratorie- og feltstudier har vist at lakselus kan indusere problemer med fiskens saltbalanse, fysiologiske stressresponser, anemi, redusert fôring og vekst, økt mottakelighet for sekundære mikrobielle infeksjoner, redusert sykdomsresistens og økt dødelighet hos enkeltfisk. Dødeligheten starter hos den mest alvorlig infesterte fisken innen 10-20 dager etter eksponering for luselarver, når lusene har utviklet seg til preadulte og voksne stadier. **Figur 21.28** viser de ulike stadiene til lakselusa. Legg merke til at det er 2 frittlevende stadier der lusa spres over store avstander med havstrømmene.

### Boks 21.2. Lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*)

Lakselus er en utvendig parasitt på laksefisk (laks, regnbueørret, sjøørret og sjørøye) i sjøen og forekommer naturlig på villfisk i Nord-Atlanterhavet og Nord-Stillehavet. Lakselus lever fritt i sjøen og har åtte livsstadier. De første livsstadiene består av naupliuslarver og ett kopepodittstadium. Kopepoditten fester seg på laksefisken og utvikler seg til fastsittende chalimuslarver, som deretter utvikler seg til bevegelige halv voksne og voksne lus. Lusa spiser av fiskens skinn og blod, har effekter på fiskens helse og velferd og i siste instans kan den forårsake dødelighet hos laksefisken. Studier har vist at mer enn 0.1 lus per gram fiskevekt kan initiere negative fysiologiske konsekvenser for fisken. En voksen hunnlus kan bli opptil 18 mm og opptil 29 mm med fullt utviklede eggstrenger (over 400 egg pr. eggstreng) mens en voksen hannlus sjelden blir mer enn 7 mm. Lusa formerer seg hele året, men utviklingen av lakselus går hurtigere ved økende temperaturer. Lusa spres vha. strømningsbildet i sjøen og kan spres mange ti-talls kilometer i vannsøylen før den finner en vert. Økningen av lus i det marine miljøet har sammenheng med økende oppdrettsaktivitet. Tiltak mot lus i oppdrettsanlegg består av forebygging, kontroll og reduksjon.

**Figur 21.28.** Livssyklus hos lakselus (*L. salmonis*): To frittlevende chalimuslarver og ett kopepodittstadium, to fastsittende chalimusstadier, to preadulte mobile hann- og hunnstadier og ett voksent mobilt hann- og hunnstadie.



Lakselus har historisk sett vært observert i lave tall på vill laksefisk, og det er da rapportert få negative effekter på verten. Siden slutten av 1980-tallet, parallelt med utvidelsen av fiskeoppdrett, har det imidlertid vært flere rapporter om markerte luseutbrudd på vill laksefisk i Norge, Canada, Chile, Irland og Skottland.

Den økte vertstettheten i områder med lakseoppdrett fremmer overføring og vekst av lakselusbestandene. I kystnære områder med intensivt oppdrett av atlantisk laks er det langt flere oppdrettslaks enn villaks, og undersøkelser bekrefter at produksjonen av lakselus først og fremst kommer fra oppdrettslaks og ikke fra villfisk. Lakselus på villfisk i oppdrettsintensive områder har lus som har utviklet resistens mot de kjemikalier som benyttes i oppdrettsanlegg.

Det er gjennomført store eksperimentelle populasjonsstudier på luseindusert dødelighet hos atlantisk laks. En har sammenlignet fisk som er medikamentelt beskyttet mot lakselus med grupper av ubeskyttet fisk. Medikamentet er et lusemiddel som har lang virkningstid og som er gitt i fôret. Hensikten er å kvantifisere effekten av lakselus ved å slippe ut parallelle grupper av smolt behandlet med antiparasittiske medikamenter og ikke-behandlede kontrollgrupper, gjenfange de returnerende voksne laksene og registrere forskjeller i overlevelse mellom gruppene. Høyere overlevelse i sjø av beskyttet laksesmolt er funnet i disse studiene, men ikke på alle lokaliteter eller hvert år.

Postsmolt av atlantisk laks vandrer gjennom oppdrettsintensive områder nær kysten på vei til oppvekstområdene i havet. Resultatene fra studier av atlantisk laks bør betraktes som minimumsestimater for dødeligheten vi ser hos sjørørret. Sjørørreten oppholder seg normalt i lengre perioder (uker, måneder eller noen ganger til og med et år eller mer) i nære kystområder. Hvis disse kystområdene er preget av høye lusenivåer, vil sjørørret sannsynligvis bli mer negativt påvirket av lakselus enn atlantisk laks (**figur 21.29**). Det er derfor nødvendig med et helhetlig syn på miljøinteraksjonene mellom akvakultur og ville arter som er avhengige av de samme habitatene.



**Figur 21.29.** Sjørørret med alle lusestadiene – chalimuslarver, preadulte og adulte lus.

#### *Tiltak i oppdrettsanlegg mot lakselus*

Tiltak mot lakselus i oppdrettsanlegg består av forebygging, kontroll, og reduksjon (avlusning ved hjelp av medikamentelle og ikke-medikamentelle metoder). Flere av disse prosessene er publisert i «Tiltaksveileder – kontroll med lakselus og skottelus» der oppdatert utgave finnes på lusedata.no og vil delvis gjenkjennes videre i dette avsnittet (**boks 21.3**).

### **Boks 21.3. Forebygging, kontroll og reduksjon i lakselusbehandling.**

#### **1 Forebygging**

- 1A - Avl
- 1B - Fôr
- 1C - Mekaniske hinder
- 1D - Dyp drift.
- 1E - Semi-lukkede flytende anlegg
- 1F - Lukkede anlegg

#### **2 Kontroll**

- 2A - Rensefisk
- 2B - Bruk av laser

#### **3 Reduksjon (avlusing)**

- 3A – Termiske metoder
- 3B – Mekaniske metoder
- 3C - Ferskvann
- 3D - Medikamentell
- 3E - Kombinasjon

**1 Forebygging:** Begrepet forebygging innbefatter tiltak for å gjøre fisken mer robust mot lakselus, blant annet avl og ulike typer fôr som kan bidra til å styrke immunforsvaret og/eller slimlaget.

**1A - Avl:** Avlsselskapene kan tilby øyerogn etter foreldre som er genomisk selektert for økt motstandskraft mot lus. Seleksjonen ved målrettet avlsarbeid innebærer at motstandskraften mot lus øker for hver generasjon. Avl må per i dag sees på som ett av flere tiltak i en helhetlig bekjempelsesstrategi mot lus.

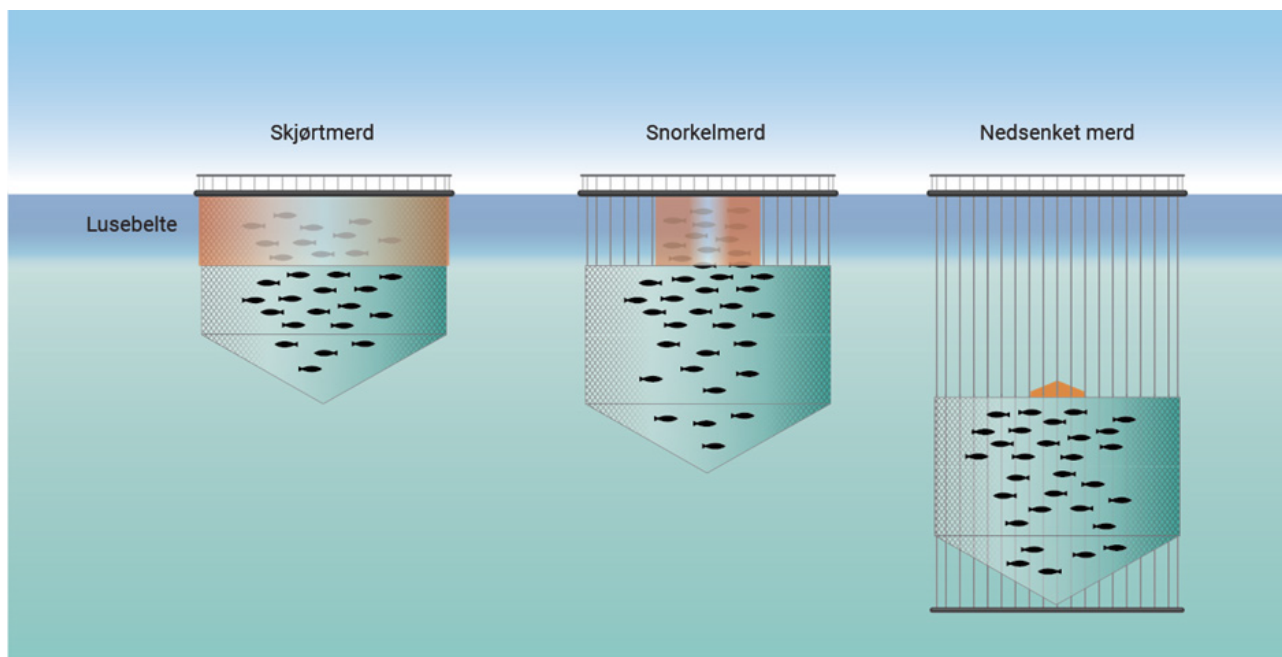
**1B – Fôr:** Fôr kan bidra positivt ved å styrke fiskens egne forsvarssystemer som immunforsvaret/slimlaget, eller tilføre fisken substanser gjennom fôret som virker frastøtende (repellerende) på parasitten. Det finnes flere kommersielle produkter tilgjengelig i dag. De funksjonelle fôrene inneholder ikke tilsetninger med kjent negativ effekt for mattrygghet eller det omkringliggende miljøet. Funksjonelle fôr anbefales fra fôrselskapene brukt i perioder når det søkes ekstra beskyttelse av fisken, og bør brukes i kombinasjon med andre forebyggende tiltak.

**1C - Mekaniske hinder:** Muligheten for kontakt mellom lakselusa og fisken reduseres ved hjelp av mekaniske hinder (skjørt), oppdrettsteknologier som senkede merder (dyp drift) og lukkede anlegg. I lukkede anlegg (flytende eller landbaserte) kan tilførsel av sjøvann filtreres for å fjerne luselarvene, eller sjøvannet hentes fra store dyp for å redusere muligheten for lusepåslag.

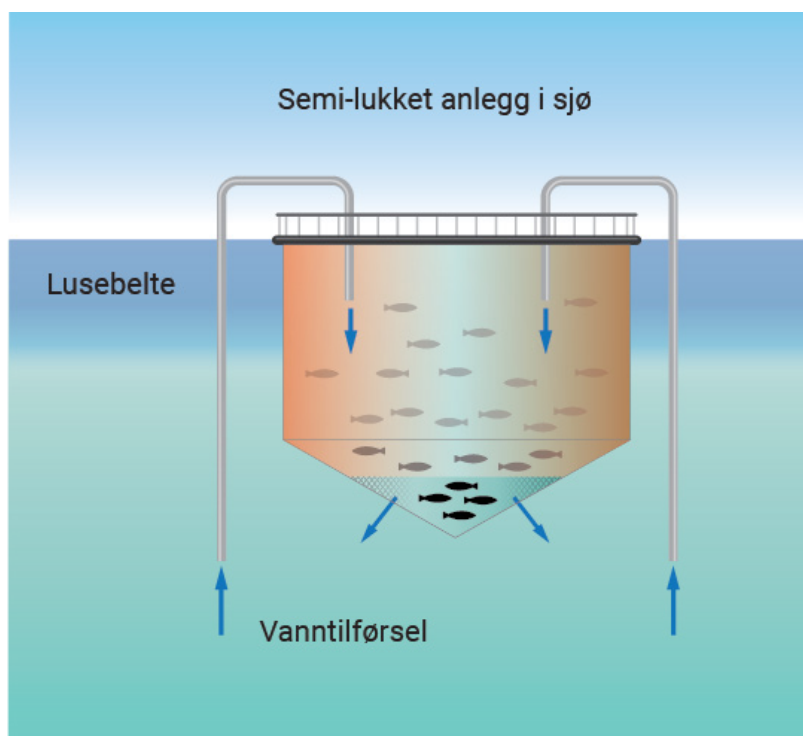
Bruk av varianter av skjørt (av duk/presenning eller av fast materiale som metall) som mekaniske hinder for å hindre påslag av lakselus på laksefisk har vært i bruk i noen år (**figur 21.30**). Lusa holder seg naturlig hovedsakelig i de øvre vannmassene. Med det upresise begrepet «lusebeltet» mener en gjerne de øverste ca. 10-15 meterne i vannsøylen som har høyest tetthet av lus i ulike utviklingsstadier. Luseskjørt kan ha en effekt i perioder med høyt smittepress. Dette tiltaket har også vist seg å fungere godt sammen med rensefisk, men skjørt bruk kan gi et strømningsbilde med lavere vannutskifting i oppdrettsmerden. Skjørtbruk er lokalitetsavhengig, og effektiviteten er avhengig av lokale strømforhold. Det er viktig å registrere miljøparametere som oksygen og temperatur ved bruk av dette tiltaket. Lav oksygenmetning som følge av redusert vannutskifting kan føre til tap av tilvekst og redusert fiskehelse og fiskevelferd. Semi-lukkede anlegg med gjennomstrømmingsteknologi tilhører teknologier som hindrer påslag av lakselus. Enkelte produsenter tilbyr her teknologier hvor vann fra dyp under lusebeltet pumpes eller strømsettes opp i merden.

**1D – Dyp drift:** Andre metoder er bruk av teknologien dyp drift. Prinsippet er å holde laksen i åpne merder på dyp under lusebeltet. Merdene er nedsenket og har not som tak, i tillegg til den mer konvensjonelle bruk av not som sidevegg/bunn. Laks er fysostom – dvs. at den må opp til en overflate for å fylle svømmeblæra med luft gjennom munnen, gjerne daglig. Derfor er det i denne type merder etablert en luftkuppel som laksen kan svømme opp i og fylle svømmeblæra ved behov. Merden kan senkes og posisjoneres under lusebeltet, gjerne til 30-40 meter og her kan laksen holdes hele vekstperioden fra utsett til slakting uten at den må tas opp gjennom lusebeltet til overflaten. Ved dyp drift teknologien distribueres fôret til laksen fra det lyssatte området under kuppelen og slik finner laksen veien til fôret og kuppelen (**figur 21.30**).

**1E - Semi-lukkede flytende anlegg:** Dette er også et tiltak for å hindre lusepåslag på laksen. Her blir vanntilførselen hentet fra havdyp under lusebeltet med inntak av ufiltrert vann fra 25 meters dybde eller dypere og dette gir relativt god beskyttelse mot påslag av luselarver (ufiltrert vann gir en noe høyere risiko for å få skottelus sammenliknet med lakselus). Alle semi-lukkede merder må dokumentere et overtrykk av vann i merden for å hindre uønsket inntak av vann fra lusebeltet (**figur 21.31**).



Figur 21.30. Illustrasjon av skjørtmerd, snorkelmerd og nedsenket merd med luftkuppel (dyp drift).



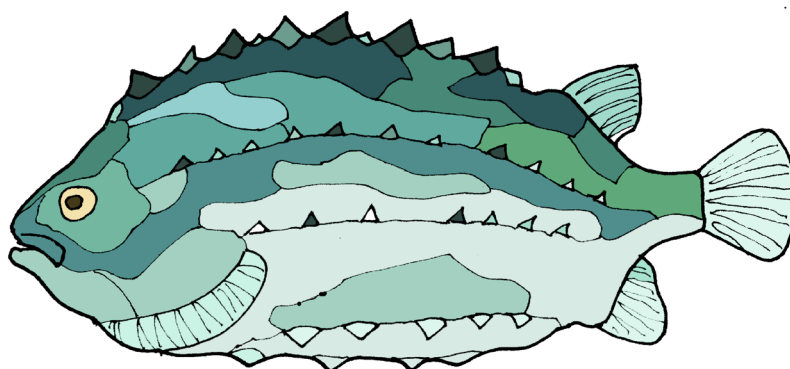
Figur 21.31. Illustrasjon av semi-lukket merd. Duk/presenning erstatter nett. Vann pumpes opp under lusebeltet og gir overtrykk i merden som reduserer muligheten for at lusearver kommer inn fra lusebeltet.

**1F - Lukkede anlegg:** Dette innbefatter anlegg som Neptun (figur 21.26), egget (ovum) (figur 21.27) og FishGlobe og gir også mulighet for at inntaksvannet kan hentes fra dypet og i noen tilfeller blir vannet også her filtrert slik at lakseluslarver/egg ikke bli med vannet inn. Studier viser moderat til lav dødelighet i ulike typer av lukkede merder sammenlignet med åpne merder. I lukkede landbaserte anlegg kan en på samme måte filtrere inntaket av sjøvann for å hindre påslag av lus og kontrollere miljøbetingelser. Her er det i bruk ulike teknologier (RAS, gjennomstrømming mv. – se kapittel 21.4.2). Bruken av lukkede systemer for produksjon av stor (slaktemoden) fisk både på land og flytende i sjø trenger videre forskning for å kunne ivareta fiskens behov for god fiskevelferd og helse, men gir bedre muligheter for å kontrollere miljøet.

**2 Kontroll:** Dette begrepet innbefatter tiltak der en uten å håndtere fisken og uten medikamenter søker å fjerne lus på fisken mens den svømmer naturlig i merden.

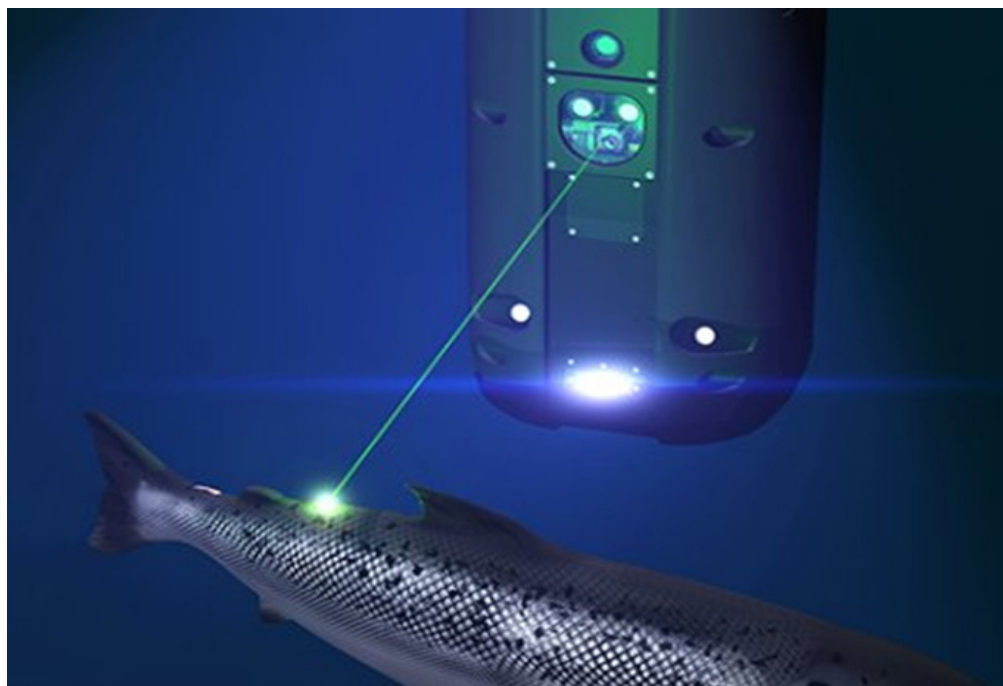
**2A – Rensefisk:** Rensefisk (**figur 21.32**) har vært og er delvis fortsatt et viktig tiltak for å kontrollere lakselus i havbruk. Mange oppdrettere har de senere år redusert bruken av rensefisk i laksemerdene fordi det er betydelige fiskevelferds-utfordringer ved fangst, oppdrett, håndtering og hold av rensefisk.

**Figur 21.32.** Rognkjeks.



**2B - Bruk av laser:** Under optisk avlusing «skytes» lusa automatisk med laserpulser og dør (**figur 21.33**). Denne metoden består i at en målrettet laser kontinuerlig fjerner lusa fra fisken. Metoden involverer ikke bruk av medikamenter eller kjemikalier og den krever ingen håndtering av laksen. Laseren jobber 24 timer i døgnet, gjennom hele året, og kan skyte flere pulser i sekundet. Hver gang laseren skyter en lus, tar noden et bilde av laksen før og etter pulsen slik at vi vet med sikkerhet at lusa blir truffet. Brukererfaringer tyder på at laser bør kombineres med andre metoder for å ha god nok effekt, spesielt når det er høyt smittepress.

**Figur 21.33.** Laserbehandling av laks for å fjerne lakselus.

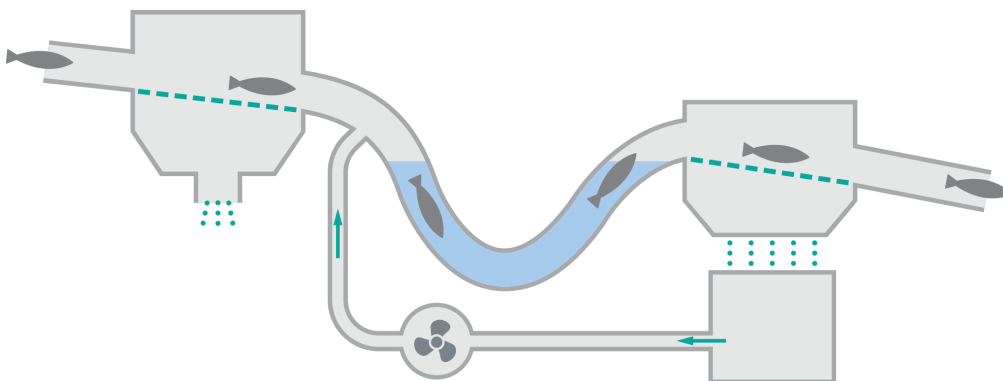


**3 Reduksjon (avlusing):** Avlusing ved hjelp av medikamentelle og ikke-medikamentelle metoder er siste steg i rekken av tiltak. Som en fellesbetegnelse benyttes begrepet reduserende tiltak og innebærer at fisken oftest også må håndteres (løftes ut av merden). Disse prosessene beskrives fortløpende i dette avsnittet.

Behandling for å fjerne lusa fra fisken er tradisjonelt blitt kalt «avlusing». Lus kan være til stede i merden i ulike stadier av sin livssyklus som fastsittende stadier (kopepoditter), bevegelige stadier (preadulte og adulte) og egg. De enkelte avlusningsmetodene kan virke godt på bestemte stadier og mindre godt på andre. Strategisk sett har man ofte fokus på å unngå at voksne hunnlus får anledning til å få fram klekkemodne egg og spre disse. Det er ikke tilstrekkelig å «svimeslå» den voksne lusa om den bare slipper fisken og lever videre. Metodene må sikre at voksne lus dør/oppsamles og egg inaktiveres.

Med medikamentell avlusing benyttes ulike kjemiske substanser som angriper lusa. Lusa får i seg substansen enten ved å suge blod/kroppsvæske fra fisk som har spist medikamentet (medisinert fôr) eller at substansen trenger inn gjennom lusas overflate direkte fra vannet (badebehandling). Ved ikke-medikamentell avlusing blir lusa utsatt for ugunstige forhold med mekanisk påvirkning (børsting, trykkendringer, spyling), høyere temperatur enn normalt eller ugunstige osmotiske forhold/salinitet. Behandling med laser på voksen lus er også en ikke-medikamentell metode, men en mer kontinuerlig metode for fjerning av lus som strategisk sett har flere prinsipielle likheter med bruk av rensefisk, og disse er derfor behandlet tidligere i dette kapitlet.

**3A – Termiske metoder:** Termisk avlusing - Optilice og Thermolicer - er konsepter hvor laksefisk avluses ved bruk av oppvarmet sjøvann eller ferskvann. Fisken i merden trenges og suges/pumpes til avlusingsenheten som er plassert på en flåte eller om bord på en båt. Før avlusingsenheten er det en vannavskiller som fisken går over i før den havner i vann med høyere temperatur (28-34) °C, også kalt varmebadet. I Thermolicer er varmebadet utformet som et rør med vannlås (figur 21.34), og i Optilice er det et behandlingskar der 2 skovler forskyver fisken gjennom badet. Begge metodene skal sikre at all fisk får lik oppholdstid og temperatur. Etter behandling går fisken over en vannavskiller og videre gjennom rør/renne til mottaksmerden. Det er fiskevelferdsmessige utfordringer ved å trenge fisk og pumpe den opp på en plattform/båt/flåte, skille av vannet på rist og så å føre den over i vann som har en høyere temperatur enn laksefiskens komforttemperatur. Det er risiko for å skade fiskens slimlag og hud i denne prosessen. Det kan gi mulighet for at sykdomsframkallende mikroorganismer får lettere inngang for å angripe fisken – som for eks. ved utvikling av vintersår. De termiske metodene har effekt i hovedsak på bevegelige lus, og i liten grad på de fastsittende stadiene. Studier viser at det er temperaturdifferensen mellom merden og varmebadet som er viktigst for effekten på lusa.



**Figur 21.34.** Thermolicer. Varmebadet er formet som et rør med vannlås.

**3B – Mekaniske metoder:** Det er i hovedsak 2 prinsipper for mekanisk avlusing av laksefisk, og disse danner grunnlaget for flere kommersielle metoder. Fisken trenges her i merden og suges/pumpes til avlusingsenheten som er plassert på et fartøy. Hver linje består av et gjennomgående rør hvor fisken og vann pumpes/suges gjennom, og underveis passeres to avlusingsenheter. I avlusingsenhetene skapes det vekselvis over- eller undertrykk, slik at det oppstår turbulens som gjør at lusa mister taket. I enden av røret er det en vannavskiller som fisken går over, før den føres til mottakermerden.

Med SkaMik pumpes fisken ombord på et fartøy og sjøvannet avsiles før fisken går gjennom et spylekammer. Deretter føres fisken gjennom et børstekammer med roterende børster før den returnerer til merd. Med FLS-avlusersystemet benyttes trykkspyling/injektorer i sjøvann. Det er et lukket system som bruker injektorpumper, og fisken blir pumpet gjennom et avlusingsssystem med to lavtrykksavlusere før fisken avsiles og føres tilbake til

merd. Også Hydrolicer bruker en lignende metode. Her pumpes fisken gjennom et rør og i Hydrolicer transporteres fisken med halefinnen først og avlusningen foregår ved at fisken spyles med en vannstråle som gir variable trykkforhold (turbulens) slik at lusa slipper.

**3C - Ferskvann:** Ferskvannsbehandling av lus på laksefisk utføres som regel i brønnbåter. Her utnytter man lusas intoleranse overfor ferskvann og fisken holdes vanligvis 4-8 timer i ferskvann under denne behandlingen. Behandlingen virker best på fastsittende stadier, mens preadulte og adulte lus (bevegelige stadier) ser ut til å ha høyere toleranse her. Behandlingen gir fisken et osmotisk stress siden den må endre sin osmo- og ioneregulering under denne prosessen. Gjentakende ferskvannsbehandlinger kan øke faren for utvikling av resistens hos lusa og Mattilsynet tilråder at metoden ikke benyttes mer enn 2 ganger per år. Det regnes som uforsvarlig å benytte ferskvannsbehandling på etterfølgende generasjoner av lakselus, behandlinger med ferskvann mot AGD (amøbegjellesyke) og lus samlet sett pga. faren for resistensutvikling.

**3D - Medikamentell:** Bruk av legemidler til avlusning må utføres i samsvar med etablerte planer og risikovurderinger. Legemidler mot lakselus kan enten gis gjennom fôret (medisinert fôr) eller brukes oppløst i vannet som en badebehandling. Doseringen skal være i henhold til preparatomtalen gitt av Legemiddelverket og foreskrives av veterinær/fiskehelsebiolog med reseptrett. Beregning av biomasse (ved medisineret fôr) eller behandlingsvolum (ved badebehandling) er ofte beheftet med noe usikkerhet. Ved bruk av medisineret fôr må en sikre at alle fiskene får i seg fôret, dvs. medisineret fôr kan kun benyttes på fiskegrupper som har en jevn og akseptabel appetitt. Ved bruk av bademidler i brønnbåter kreves det at fiskegruppen får en hviletid etter at noten er linet opp eller fisken er overført til brønnbåten. Fisken må få en tilsvarende hviletid også etter behandling, før noten slippes eller før fisken losses fra brønnbåt, for å unngå at fisken går ned mot bunnen av merden.

Laksen som matfisk har en definert tilbakeholdelsestid (tid fra avsluttet behandling med et medikament til den kan slaktes og spises). Dette er angitt av legemiddelmyndighetene for det enkelte preparat. Om tilbakeholdelsestid er oppgitt til 500 døgngader (snittemperatur per døgn \* antall døgn) betyr det ved 10 grader i vannet at det er 50 dager fram til fisken kan slaktes.

Medisinert fôr som behandling mot lakselus gis til laksen i form av pellets av samme størrelse og smak som ordinære fôrpellets. Medisinert fôr kan inneholde alternative virkestoff: Det aktive stoffet Emamektinbenzoat (Slice Vet ®) påvirker muskler i lusas svelgregion. De aktive stoffene Diflubenzuron (Releeze vet ®) og Teflubenzuron (Ektobann Vet ®) er kitinsyntesehemmere som påvirker lusas skallutvikling. Adulte lus (kjønnsmodne) skifter ikke skall og de to kitinsyntesehemmerne virker ikke på kjønnsmodne stadier av lakselus. Ved forekomst av kjønnsmodne stadier av lakselus skal ikke disse to preparatene benyttes som eneste behandling.

Til badebehandling vil valg av legemidler avhenge av hvilken type lus, hvilke utviklingsstadier av lus og hvilken mengde lus fiskegruppen har. Fisken må ha en god helse og risikovurdering må være foretatt i forkant av denne behandlingen. Badebehandlingen foregår enten ved hjelp av presenning rundt merden som skaper et definert volum, eller ved at fisken pumpes fra merden til en brønnbåt der en har god kontroll på vannparameterne. Ved badebehandling kan en benytte et sedasjonsmiddel (beroligende effekt) i vannet for å gi mindre stress for fisken under behandlingen.

Badepreparatet Azametifos (Salmosan ®) virker på lusas nervesystem. Stoffet dreper de bevegelige stadiene (preadulte og adulte), men har ikke effekt på de fastsittende stadiene. Badepreparatet Deltametrin (Alpha max ®) virker på lusas nervesystem, men har ikke effekt på de fastsittende stadiene. Hydrogenperoksid (Nemona ® og Paramove®) benyttes til de bevegelige (preadulte og adulte) stadier av lakselus, og kan benyttes når behandling med andre lakselusmidler ikke er hensiktsmessig. Hydrogenperoksid-behandling er ikke dødelig for all lus. Ved forsøk er det vist at fjernet lus som overlever i prinsippet kan reinfisere fisk, så lus må samles opp. Badepreparatet Ectosan ®Vet (neonikotinoidet Imidakloprid) brukes i brønnbåt for 60 minutters oppholdstid og har effekt på de bevegelige stadiene. Alt behandlingsvann og renevann må gjennomgå en validert renseprosess før utslipp, dvs. brukes sammen med CleanTreat systemet som fjerner toksiske stoffer fra vannet før utslipp fra brønnbåten.

Det er sterk oppmerksomhet rundt resistensutvikling for alle medikamenter til bruk mot lakselus enten de administreres gjennom fôret eller gjennom badebehandling. Gjennom historien har en sett at resistens som bygger seg opp i lakselusstammene langs kysten kan utgjøre en stor utfordring for å få til en vellykket bekjempingsstrategi og en overvåker derfor resistensutviklingen kontinuerlig.

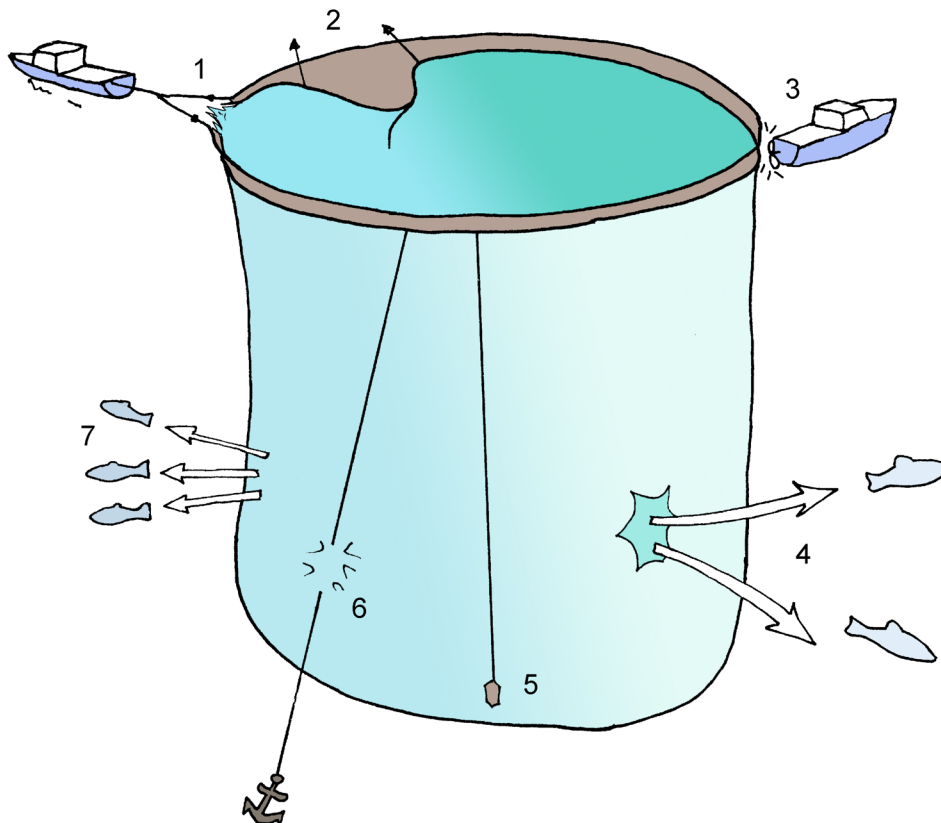
Holdetiden i behandlingsvannet (badebehandling) vil ved en bestemt konsentrasjon, variere med temperatur i vannet. Ved sjøtemperatur på 10 grader varierer de anbefalte holdetider (tiden som fisken eksponeres for legemidlet) angitt for de ulike legemidlene typisk fra 40 minutter til 1 time, men her må angivelsene i preparatomtalen (pakningsvedlegget) følges nøye. Til badebehandling med ferskvann vil holdetiden være flere timer. Her benyttes ofte brønnbåt der fisken pumpes inn og eksponeres for ferskvann i brønnen. Det er også en metode å tilføre store mengder ferskvann til en merd som er omsluttet av presenning, da ferskvannet er lettere enn sjøvann og legger seg på toppen av vannsøylen i merden, og gir dermed en lav salinitet i vannvolumet der fisken skal avluses. Ferskvann kan også legges som et lokk på vannet inni en snorkel/tubemerd.

**3E - Kombinasjon:** Ferskvann kombineres også med mekanisk eller termisk avlusning. Det er utvikling der en kombinerer flere prinsipper i kampen mot lakselusa. Utstyrsleverandører har til bruk på brønnbåter utviklet metoder og designet utstyr som i samme operasjon kan kombinere både mekanisk behandling, termisk behandling og bruk av medikamenter eller ferskvann for badebehandling.

### 21.5.2 Rømt oppdrettslaks

Som vist i **figur 21.35** er det mange faktorer som kan medføre rømminger av oppdrettslaks fra åpne merder langs norskekysten. Dette er forhold som riving ved sleping, propell i not, menneskelig svikt ved sorteringer, slitasje fra lodd, anleggshavari ved dårlig vær, påkjørsel av båt, maskebrudd og smoltlekkasjer.

I de siste årene er det gjennomført betydelige tiltak i næringen som har redusert andelen laks som rømmer. Økningen i produksjonen av oppdrettslaks medfører imidlertid at antallet laks som rømmer fortsatt er høyt i enkelte år, selv om andel av laksen som rømmer



**Figur 21.35.** Skisse over faktorer som kan forårsake brudd i oppdrettsmerder og forårsake rømminger av oppdrettsfisk. 1. Riving ved sleping; 2. Menneskelig svikt – drift - sortering notskifting osv.; 3. Propell i not; 4. Maskebrudd; 5. Menneskelig svikt – drift – lining, slakting, fiskeuttak; 6. Anleggshavari – vær, påkjørsel; 7. Smoltlekkasjer.



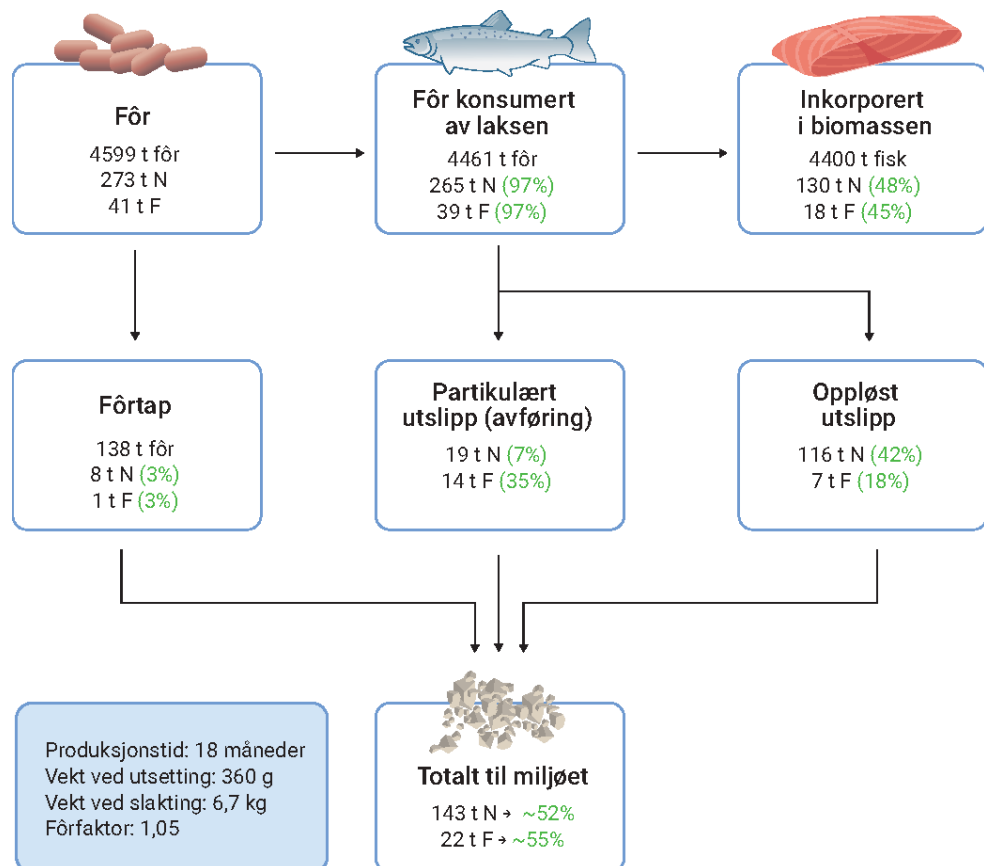
om høsten har vært synkende de ti siste årene. Ifølge Vitenskapelig råd for lakseforvaltning defineres innkryssing av rømt oppdrettslaks i villfiskbestand på følgende måte: Lavt innslag - rømt oppdrettslaks er estimert til under 4 %; moderat innslag - innslag av rømt oppdrettslaks er estimert til mellom 4 % og 10 % og høyt innslag - innslag av rømt oppdrettslaks er estimert til over 10 %. Genetiske undersøkelser viser at det har skjedd en innblanding av oppdrettslaks i minst 150 norske laksebestander som kan føre til endringer i alder og størrelse ved kjønnsmodning samt redusere overlevelsen hos ungfisk i elv og er en trussel mot den genetiske integriteten hos lokale laksestammer.

Tiltak for å hindre dette er strengere krav til merder og fortøyninger og strengere kontroll og oppfølging av forskriftens bestemmelser, med blant annet teknisk inspeksjon av anleggene utført av uavhengige aktører. Økt bruk av steril laks, tettere oppfølging av tekniske krav til anlegg, og utvikling av lukkede anlegg er eksempler på forebyggende tiltak mot rømming og genetisk påvirkning på villaks.

### 21.5.3 Utslipp av løste næringsalter

Ifølge Hls "Risikorapport norsk fiskeoppdrett 2022" er utslipp i kystområdene av løste næringsstoffer fra husholdninger (kloakk), industri, jordbruk og akvakultur, men også som langtransporterte tilførsler med kyststrømmen. Langs kystlinjen fra Agder til Finnmark er akvakultur den største kilden til utslipp av løste næringsalter. Næringsaltene er hovedsakelig løst nitrogen og fosfor fra fordøyelsen (figur 21.36). Konsekvensene av dette utslippet er økt planteplanktonproduksjon, økt mengde dyreplankton og økt mengde nedfall til havbunnen. Dette har konsekvenser for oksygenkonsentrasjoner i bunnvann, dyresamfunn i sedimentene og makroalgensamfunn i fjæresonen. Disse effektene er mer fremtredende i fjord- og beskyttede lokaliteter og for eksempel i Nordsjøen/Østersjøen langs kystsonene. Ellers blir dette fort fortynnet i mer åpent hav.

**Figur 21.36.** Beregnet utslipp av nitrogen og fosfor gjennom en produksjonssyklus hos atlantisk laks.



Norske kystvannsområder er i hovedsak nitrogenbegrenset, det vil si at i sommerhalvåret er det lite nitrogen i vannet. Norsk produksjon av laks og regnbueørret var om lag 1 486 000 tonn i 2020 og i 1 647 000 tonn 2021. Ifølge Havforskningsinstituttets risikovurdering vil disse utslippene gi et estimerte årlige utslipp på 60 146 tonn løst nitrogen og 7988

tonn løst fosfor i perioden 2020-2021. Til sammenligning slippes det årlig ut om lag 48 000 tonn nitrogen og 2600 tonn fosfor til vann fra jordbruk, avløp og landbasert industri. Ifølge Hls risikovurdering for 2022 vurderes risikoen for regionale miljøeffekter som følge av økt næringssalttilførsel fra fiskeoppdrett som lav i de 13 produksjonsområdene (PO) langs kysten vår (kapittel 21.6). For en videre beskrivelse av andre miljøeffekter av fiskeoppdrett henvises det til Havforskningsinstituttets risikorapporter og risikovurdering norsk fiskeoppdrett som er en omfattende og god gjennomgang av disse effektene på det marine miljøet.

## 21.6 VEIEN VIDERE – FORVALTNING I OPPDRETT - TRAFIKKLYSSYSTEMET

Det økte fokuset på effekter av lakselus på vill laksefisk har ført til at norske myndigheter over tid har redusert de tillatte gjennomsnittsnivåene av lakselus på laks i oppdrettsanlegg. I dag er den tillatte terskelen 0,5 voksne hunn lus per laks i et oppdrettsanlegg. Dette er i prinsippet likt dagens reguleringssystemer i andre lakseproduserende land, men med ulike tillatte terskelnivåer. Før laksesmolten utvandrer om våren, senkes dessuten terskelnivået til 0,2 voksne hunn lus per laks for å redusere angrep av lus på villfisk.

I tillegg oppdretterne pålagt å koordinere brakklegging av lokaliteter i definerte geografiske områder der det samtidig er etablert et formalisert helsesamarbeid for alle oppdretterne i området (deler av et fylke eller et naturlig område på tvers av fylkesgrensene). Det vil si at oppdrettsproduksjonen i en region følger et synkronisert "all-in/all-out" produksjonsregime. I produksjonsområdeforskriften fra 2017 er kysten delt inn i 13 produksjonsområder (POer), hvor bærekraftsindikatorer skal bestemme hvor stor produksjon man skal tillate i oppdrettsanlegg (**figur 21.37**). Avgrensingen av POene er basert på at det skal være minst mulig spredning av lakselus mellom områdene. Stortingsmelding 16 (2014-2015) legger til grunn at status innen hvert PO i første omgang skal være basert på effekt av lakselus på vill laksefisk, som den eneste indikatoren. Det vil si dødelighet (som en konsekvens av smitte fra oppdrettsanlegg) på utvandrende postsmolt av villaks.

Parametere som benyttes innenfor denne vurderingen er sammensatt av ulike undersøkelser foretatt av ledende forskningsinstitusjoner i Norge. I denne vurderingen er det benyttet data fra det nasjonale overvåkingsprogrammet for lakselus (NALO), der det er innhentet data fra lakseluspåslaget på vill sjørret fanget i ruser og i garn og fra postsmolt av laks fanget ved hjelp av trål langs norskekysten. Det er videre innhentet data fra laksesmolt satt ut i bur i ulike fjordsystemer for å registrere lusepåslaget på denne fisken. Havforskningsinstituttet, SINTEF og Veterinærinstituttet lager deretter modeller av smittepress av lus i våre fjordsystemer basert på de ukentlige tellingene av luseproduksjon i oppdrettsanleggene fra nord til sør. Deretter modelleres det lakselusindusert dødelighet på vill utvandrende postsmolt av atlantisk laks fra de ulike vassdragene langs norskekysten - såkalte virtuelle smoltmodeller. Dette datagrunnlaget legges inn for å vurdere lakselusindusert dødelighet i de 13 produksjonsområdene langs norskekysten.

Innenfor hvert produksjonsområde (PO) vil en annethvert år gjøre en vurdering av miljøpåvirkningen fra fiskeoppdrett, og dermed avgjøre om produksjonsvolumet av oppdrettsfisk bør endres (økes, uendres, reduseres). Flere miljøindikatorer kan etter hvert bli inkludert i evalueringen, men foreløpig er det kun indikatoren «effekter av lakselus på villfisk» som er funnet å være tilstrekkelig studert til å kunne brukes som bærekraftindikator. Innenfor forvaltningssystemet som omtales som «trafikklyssystemet», foreslås tre ulike konsekvenskategorier: Grønn hvis 0–10 % av ville laksefisk dør som følge av lakselus, gul hvis 10–30 % av bestanden dør som følge av lakselus, og rød hvis >30 % av bestanden dør som følge av lakselus.

**Figur 21.37.** Oppbygging av «trafikklyssystemet» (Karlsen et al. 2016).

## Kunnskapsstatus som grunnlag for kapasitetsjustering innen produksjonsområder basert på lakselus som indikator

Redaktører: Ø. Karlsen, B. Finstad, O. Ugedal og T. Svåsand



Hvis trafikklyset kommer ut som grønt innenfor en gitt sone, kan produksjonsvolumet økes (6%), hvis gult kan produksjonen opprettholdes på dagens volum, mens rødt vil pålegge oppdretterne å redusere biomasse (6%) innenfor sonen. Disse grenseverdiene er basert på vitenskapelige råd gitt i fagfellevurderte artikler og nasjonale rapporter, feltundersøkelser og strømmodeller satt sammen av en ekspertgruppe for trafikklyssystemet. Rådene gis videre til en styringsgruppe og endelig fargesetting utføres av Nærings- og fiskeridepartementet (NFD).

Styringsgruppens oppsummering og vurdering av lakselus på ville laksefisk i produksjonsområdene i 2023 har videre lagt inn et forslag rundt lusepåvirkning på sjørøret som en videre indikator i trafikklyssystemet. Dette vil være et svært viktig bidrag til dette systemet og hvordan forvaltningen av de 13 produksjonsområdene langs norskekysten skal reguleres fremover.

## 21.7 LITTERATUR

### 21.7.1. Anbefalt litteratur benyttet i kapittel 21

- Anon 2022. Vitenskapelig råd for lakseforvaltning 2022. Klassifisering av tilstanden til sjøørret i 1279 vassdrag. Temarapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr 9, 170 s. ISBN: 978-82-93038-34-4
- Anon 2023. Vitenskapelig råd for lakseforvaltning 2023. Status for norske laksebestander i 2023. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr 18, 124 s. ISBN: 978-82-93038-38-2
- Anon 2023. Vitenskapelig råd for lakseforvaltning 2023. Trusselvurdering for sjøørret. Temarapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr 12, 37 s. ISBN: 978-82-93038-39-9
- Benchmark Genetics (2022) Klekkerihåndbok for atlantisk laks – fra rogn til startfôring. <https://www.bmkgenetics.com/no/bibliotek/#TechnicalDocumentation>
- Björnsson B, Litvak M, Trippel EA and Suquet M. 2010. The Codfishes (Family: Gadidae). In: Finfish Aquaculture Diversification (Le François NR, Jobling M, Carter C and Blier PU eds). CAB International 2010, 290-322. ISBN:978-1-84593-494-1
- Børretsen Fjørtoft H, Besnier F, Stene A, Nilsen F, Bjørn PA, Tveten, A-K, Finstad B, Aspehaug V and Glover KA. 2017. The Phe362 Tyr mutation conveying resistance to organophosphates occurs in high frequencies in salmon lice collected from wild salmon and trout. *Sci Rep* 7:14258. doi:10.1038/s41598-017-14681-6
- FAO Fisheries & Aquaculture – Species Fact Sheets – <https://www.fao.org/fishery/en/factsheets>
- Finstad B, Sandvik AD, Ugedal O, Vollset KW, Karlsen Ø, Davidsen JG, Sægrov H and Lennox RJ. 2021. Development of a risk assessment for sea trout in coastal areas exploited for aquaculture. *Aquacult Environ Interact* 13, 133. doi.org/10.3354/aei00391
- Grefsrud ES, Bjørn PA, Grøsvik BE, Kupka Hansen P, Husa V, Karlsen Ø, Kvamme BO, Samuelsen O, Sandlund N, Solberg MF og Stien LH. (red) 2022. Risikovurdering norsk fiskeoppdrett – kunnskapsstatus. Rapport fra havforskningen 2022-13. ISSN:1893-4536, 407 s.
- Grefsrud ES, Karlsen Ø, Kvamme BO, Glover K, Husa V, Kupka Hansen P, Grøsvik BE, Samuelsen O, Sandlund N, Stien LH og Svåsand T. (red) 2021. Risikorapport norsk fiskeoppdrett – kunnskapsstatus. Rapport fra havforskningen 2021-7. ISSN:1893-4536, 281 s.
- Grefsrud ES, Karlsen Ø, Kvamme BO, Glover K, Husa V, Kupka Hansen P, Grøsvik BE, Samuelsen O, Sandlund N, Stien LH og Svåsand T. (red) 2021. Risikovurdering norsk fiskeoppdrett – risikovurdering. Rapport fra havforskningen 2021-8. ISSN:1893-4536, 198 s.
- Grefsrud ES, Andersen LB, Bjørn PA, Grøsvik BE, Kupka Hansen P, Husa V, Karlsen Ø, Kvamme BO, Samuelsen O, Sandlund N, Solberg MF og Stien LH. 2022. Risikorapport norsk fiskeoppdrett-risikovurdering. Rapport fra havforskningen 2022-12. ISSN:1893-4536, 235 s.
- Imsland AK. 2010. The Flatfishes (Family: Pleuronectiformes). In: Finfish Aquaculture Diversification (Le François NR, Jobling M, Carter C and Blier PU. eds). CAB Internat 2010, 450-496. ISBN:978-1-84593-494-1
- Jobling M, Arnesen AM, Benfey T, Carter C, Hardy R, LeFrançois NL, O'Keefe R, Koskela J and Lamarre SG. 2010. The salmonids (Family: Salmonidae). In: Finfish Aquaculture Diversification (Le François NR, Jobling M, Carter C and Blier PU. eds). CAB Internat 2010, 234-289. ISBN:978-1-84593-494-1

- Lusesdata.no – Tiltaksveileder – kontroll med lakselus og skottelus – Trondheim 21.01.20.
- Nevoux M, Finstad B, Davidsen JG, Finlay R, Josset Q, Poole R, Höjesjö J, Aarestrup K, Persson L, Tolvanen O and Jonsson B. 2019. Environmental influences of life history strategies in partial anadromous brown trout (*Salmo trutta*, Salmonidae). *Fish Fisheries* 20, 1051. doi.org/10.1111/faf.12396
- Noble C, Nilsson J, Stien LH, Iversen MH, Kolarevic J og Gismervik K. 2018. Velferdsindikatorer for oppdrettslaks: Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd. 312 s. ISBN 978-82-8296-531-6
- Musialak LA, Finstad B, Bråthen KE and Kjørsvik E. 2024. Embryonic development and sensitive stages of Atlantic salmon (*Salmo salar*) eggs. *Aquaculture* 579 (2024) 740281. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740281>
- Osmundsen TC, Amundsen VS, Alexander KA, Asche F, Bailey J, Finstad B, Schei Olsen M, Hernández K and Salgado H. 2020. The operationalisation of sustainability: Sustainable aquaculture production as defined by certification schemes. *Global Env Change* (2020) 10202560. doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.102025
- Rikardsen AH, Righton D, Strøm J, Thorstad EB, Gargan P, Sheehan T, Økland F, Chittenden, CM, Hedger, RD, Næsje, TF, Renkawitz M, Sturlaugsson J, Caballero P, Baktoft H, Davidsen JG, Halttunen E, Wright, S, Finstad B and Aarestrup K. 2021. Redefining the oceanic distribution of Atlantic salmon. *Sci Rep* 11, 12266. doi.org/10.1038/s41598-021-91137-y
- Stefansson SO, Holm JC, Taranger GL. 2016. Oppdrett av laks og aure i Norge. Håvarðsson B og Berge Ål (red). Institutt for biologi, Universitetet i Bergen.
- Sommerset I, Walde CS, Bang Jensen B, Wiik-Nielsen J, Bornø G, Oliveira VHS, Haukaas A og Brun E. 2021. Fiskehelse rapporten 2021, Veterinærinstituttets rapportserie nr. 2a/2022, utgitt av Veterinærinstituttet 2022. ISSN nr 1893-1480 (elektronisk utgave).
- Sommerset I, Wiik-Nielsen J, Oliveira VHS, Moldal T, Bornø G, Haukaas A. & Brun E. 2022. Fiskehelse rapporten 2022, Veterinærinstituttets rapportserie nr. 5a/2023, utgitt av Veterinærinstituttet 2023. ISSN nr 1893-1480 (elektronisk utgave).
- Thorstad EB, Whoriskey F, Uglem I, Moore A, Rikardsen AH and Finstad B. 2012. A critical life stage of the Atlantic salmon *Salmo salar*: behavior and survival during the smolt and initial post-smolt migration. *J Fish Biol* 81, 500. doi.org/10.1111/j.1095-8649.2012.03370.x
- Thorstad EB, Whoriskey F, Rikardsen AH and Aarestrup K. 2011. Aquatic nomads: The life and migrations of the Atlantic salmon (Chapter 1). In: *Atlantic Salmon Ecology* (Aas Ø, Einum S, Klemetsen A, Skurdal J. eds). Wiley-Blackwell, Oxford, UK, pp. 1-32. ISBN: 9 78-1-405 - 1 9769-4
- Thorstad EB, Todd CD, Bjørn PA, Gargan PG, Vollset KW, Halttunen E, Kålås S, Uglem I, Berg M og Finstad B. 2014. Effekter av lakselus på sjøørret – en litteraturoppsummering. NINA Rapport 1071: 1-144. ISBN: 978-82-426-2689-9
- Thorstad EB and Finstad, B. 2018. Impacts of salmon lice emanating from salmon farms on wild Atlantic salmon and sea trout. NINA Report 1449: 1-22. ISBN: 978-82-426-3180-0
- Vollset KW, Dohoo I, Karlsen Ø, Halttunen E, Kvamme BO, Finstad B, Wennevik V, Diserud OH, Bateman A, Friedland KD, Mahlum S, Jørgensen C, Qviller L, Krkošek M, Åtland Å and Barlaup BT. 2018. Food for thought: Disentangling the role of sea lice on the marine survival of Atlantic salmon. *ICES J Mar Sci* 75, 50. doi:10.1093/icesjms/fsx104
- Vollset KW, Nilsen F, Ellingsen I, Finstad B, Karlsen Ø, Myksvoll M, Stige LC, Sægvog H, Ugedal O, Qviller L og Dalvin S. 2021. Vurdering av lakselusindusert villfiskdødelighet per produksjonsområde i 2021. Rapport fra ekspertgruppe for vurdering av lusepåvirkning, 109 s. ISBN: 978-82-93932-00-0

### 21.7.2. Referanse til figurer og tabeller

Anon 2023. Vitenskapelig råd for lakseforvaltning 2023. Status for norske laksebestander i 2023. Rapport fra Vitenskapelig råd for lakseforvaltning nr 18, 124 s. ISBN: 978-82-93038-38-2

Anon. 2020. Tiltaksveileder kontroll med lakselus og skottelus - Dokumentet er en veileder for fiskehelsepersonell som er engasjert i kontroll med lakselus i havbruk. Veilederen erstatter tidligere terapiveiledere utgitt i 2000, 2010 og 2012. <https://lusedata.no/wp-content/uploads/2022/03/2120.01.20-Tiltaksveileder-Lakselus-og-skottelus.pdf>

Dodson JJ, Aubin-Horth N, Thériault V and Páez DJ. 2013. The evolutionary ecology of alternative migratory tactics in salmonid fishes. Biol Rev 88, 602. [doi.org/ 10.1111/brv.12019](https://doi.org/10.1111/brv.12019)

FAO. 2022. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. Rome, FAO. [doi.org/10.4060/cc0461en](https://doi.org/10.4060/cc0461en), ISBN 978-92-5-136364-5

Karlsen Ø, Finstad B, Ugedal O og Svåsand T. 2016. Kunnskapsstatus som grunnlag for kapasitetsjustering innen produksjonsområder basert på lakselus som indikator. Rapport fra Havforskningen Nr.14-2016 (ISSN 1893-4536 online), 137 sider.

Statens legemiddelverk. Preparatomtaler fra for hver av de nevnte legemidler publisert via [www.legemiddelsok.no](http://www.legemiddelsok.no)

## ILLUSTRASJONER OG FIGURER.

Følgende har bidratt med figurer eller bilder til kapittel 21. Bidragsyterne beholder sine eventuelle copyrighrettigheter uten forkortelse.

Bengt Finstad: 21.1, 21.3, 21.5, 21.14, 21.18, 21.29

Bengt Finstad og Kari Sivertsen: 21.6

Harald Kryvi: 21.2, 21.8, 21.32, 21.35

Vitenskapelig råd for lakseforvaltning: 21.4

Svein Tore Nilsen: 21.7

FAO: 21.9, 21.11, 21.12, 21.17 (retegnet av Knut Gangåssæter-Doghouse)

Per J. Røttereng-retegnert av Knut Gangåssæter-Doghouse: 21.13

Norges sjømatråd: 21.10 (retegnet av Knut Gangåssæter-Doghouse)

Ragnar Tveterås-retegnert av Knut Gangåssæter-Doghouse: 21.15

Per J. Røttereng: 21.16, 21.20, 21.21

ScaleAQ: 21.19, 21.22

Mowi: 21.23

SalMar: 21.24, 21.25

Norconsult/Aquafarm Equipment: 21.26

Hauge Aqua AS: 21.27

Norsk institutt for naturforskning: 21.28

Oddvar Dahl, Nofima-retegnert av Knut Gangåssæter-Doghouse: 21.30, 21.31

Stingray: 21.33

Steinsvik Thermolicer-retegnert av Knut Gangåssæter-Doghouse: 21.34

Gunnvør á Norði et al, <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1236294>-retegnert av Knut Gangåssæter-Doghouse: 21.36

Karlsen et al. 2016: 21.37

