

Modellsimulering av effekten av lus tester tålegrensen for luseindusert dødelighet

Vi må ty til modellsimulering fordi vi ikke har data for antall utvandrende smolt fra de norske lakselvene. Det lar seg derfor ikke gjøre å sjekke om antall smolt i en kohort svinger i takt med innsiget av laks fra samme kohort. Det eneste stedet med brukbare data om dette er forsøkselva Imsa. Der var denne sammenhengen svak i perioden 1976-1993¹. Vi kan dessuten sammenligne svigningene i modellpredikert dødelighet forårsaket av lus med årsklassestyrken til samme smoltkohort. Det viser seg at sammenhengen også her er svært dårlig².

Videre kan vi sammenligne svigningene i tilbakevandringen av 1-sjøvinterlaks fra en kohort med tilbakevandringen av 2-sjøvinterlaks året etterpå. Hvis det er dødelighet under smoltutvandringen som er bestandsregulerende, så er forventningen at en sterk årsklasse av smålaks etterfølges av en sterk årsklasse av 2-sjøvinterlaks. Korrelasjonen viser seg å være 0,09³. Tilbakevandring av 1SV forklarer altså mindre enn 0,1% av variasjonen i tilbakevandringen av 2SV.

Tilnærmingen til problemstillingen om lusas bestandsregulerende effekt presenteres her i form av en modell for laksens skjebne etter at den forlater elva og til den kommer tilbake til elva for å gyte. Regnemodellen produserer ulike scenarier for hva som skjer når vi regner inn ulike nivå av dødelighet forårsaket av lus, naturlig dødelighet og beskatning. Vi starter med å se på hva litteraturen sier om dødelighet i ulike faser av laksen liv i sjøvann.

Kunnskapsstatus om dødelighet i sjøfasen

En ICES⁴-rapport fra 2019 rapporterer kunnskapsstatus om laksens liv i sjøen, inkludert overlevelsen i ulike stadier⁵. Mye av innholdet dreier seg om et referat av en artikkel av Olmos et al fra 2019⁶. Denne artikkelen påviser en synkron utvikling for laksen i kontinental skala mellom Nord-Amerika og Sør-Europa. Utviklingen innafor hvert av disse områdene er enda mer synkron. Konklusjonen i ICES-rapporten er at observasjonene støtter hypotesen om at laksebestandenes tilbakegang er en respons på storskala endringer i havmiljøet drevet av bottom-up prosesser. Endringer i overflatetemperatur og primærproduksjonen trekkes fram som viktige forklaringer på tilbakegangen for laksen, til tross for at de forklarer bare henholdsvis 27 og 26% av variasjonen i endringene i de Nordamerikanske laksebestandene, og 21 og 14% av de Søreuropeiske bestandene.

¹ Nina Jonsson, Bror Jonsson and L. P. Hansen 1998. The relative role of density-dependent and density-independent survival in the life cycle of Atlantic salmon *Salmo salar*. *Journal of Animal Ecology* 67(5):751 – 762. https://www.researchgate.net/publication/227726002_The_relative_role_of_density-dependent_and_density-independent_survival_in_the_life_cycle_of_Atlantic_salmon_Salmo_salar

² <https://www.aquablogg.no/lakselus/hvorfor-tapte-po4-mot-staten/> og <https://www.aquablogg.no/lakselus/nina-lus-er-ikke-bestandsregulerende-for-villaksen/>

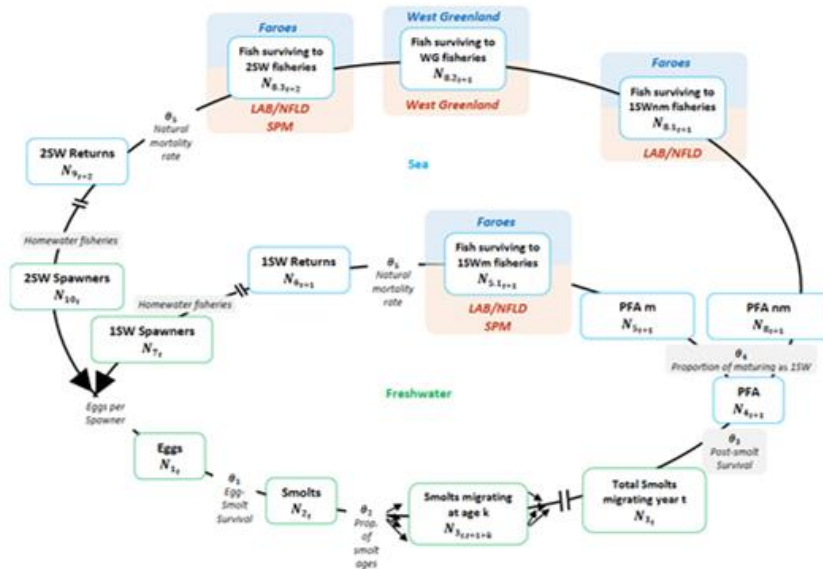
³ <https://www.aquablogg.no/lakselus/smoltutvandringen-er-ikke-en-kritisk-periode-som-avgjor-arssklassestyrken/>

⁴ ICES – det Internasjonale Havforskningsrådet, International Council for the Exploration of the Sea.

⁵ ICES 2020. NASCO Workshop for North Atlantic Salmon At-Sea Mortality (WKSalm, outputs from 2019 meeting). ICES Scientific Reports. 2: 69. 175 pp. <http://doi.org/10.17895/ices.pub.5979> https://nasco.int/wp-content/uploads/2020/08/ICES-wksalmon_2019.pdf

⁶ Olmos, M., Massiot-Granier, F., Prévost, E., Chaput, G., Bradbury, I. R., Nevoux, M., & Rivot, E. (2019). Evidence for spatial coherence in time trends of marine life history traits of Atlantic salmon in the North Atlantic. *Fish and Fisheries*, 20(2), 322-342. <https://doi.org/10.1111/faf.12345>

Olmos-artikkelen var en forløper for et ICES-seminar i Bergen som utvidet analysen til å omfatte også Nordøst-Atlanteren. ICES-oppsummeringen fra seminaret beskriver en livssyklusmodell⁷, som er vist nedenfor.



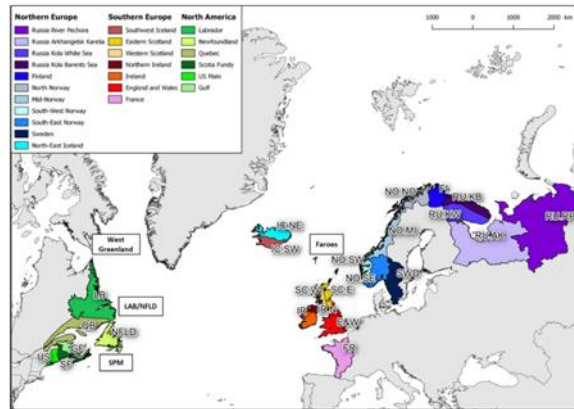
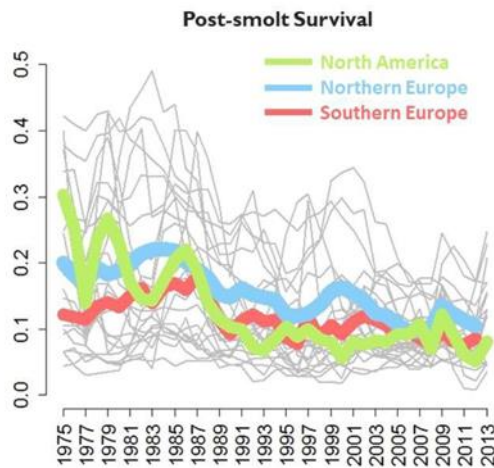
Modellen er grei nok, men oppsummeringen opplyser oss ikke om tallene den produserer, altså hvor stor dødeligheten er i de ulike fasene. Den forklarer heller ikke hvilke faser i syklusen som fikk større dødelighet da laksebestandene kollapset på slutten av 1980-tallet, og hvorfor.

En canadisk artikkel fra 2020⁸ prøvde å modellere overlevelsen det første og andre året i sjøen, og konkluderte med at modellen leverte en rimelig god reproduksjon av observasjoner av overlevelsen til 1SV i smålaksdominerte bestander, men at 2SV ikke lot seg modellere verken i smålaks- eller mellomlaksbestander. Dette bekrefter at overlevelsen i den første fasen i sjøen ikke regulerer totaloverlevelsen til en laksebestand med høyt innslag av 2SV og eldre laks. Derfor reguleres heller ikke årsklassestyrken av overlevelsen i den første sjøfasen. I Norge er det nasjonalt gjennomsnittlige lakseinnsiget fordelt omtrent 50/50 på 1SV og 2SV og eldre (MSW- multi seawinter salmon).

Problemet med Olmos-artikkelen, ICES-rapporten og den canadiske artikkelen er at ingen av dem oppgir konkrete data. Kvantitative opplysninger refereres bare med figurer som for så vidt beskriver utviklingen klart og tydelig, men målestokken gjør visuell avlesning av data umulig. De framgår heller ikke av tabeller. Regnestykkene er angitt med formler, men ikke fylt inn med konkrete tall. Figurene nedenfor er kopiert fra ICES-rapporten (som i sin tur muligens er kopiert fra Olmos, som i sin tur osv...), og viser utviklingen i overlevelse for de kontinentale gruppene med tykke fargestrek, mens de 24 bestandsgruppene ICES opererer med er vist med tynne gråtonestrek. Bestandsgruppene er vist i kartet i høyre panel.

⁷ Rivot, E., Olmos, M., Chaput, G., Prevost, E. 2019. Hierarchical life cycle model for Atlantic salmon stock assessment at the North Atlantic basin scale. ICES WGNAS Working Paper 2019/26, 26 March – 5 April 2019, Bergen, Norway. 83 pp. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1905/1905.00676.pdf>

⁸ Pardo, S. A., & Hutchings, J. A. (2020). Estimating marine survival of Atlantic salmon using an inverse matrix approach. *PLoS one*, 15(5), e0232407. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232407> <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7236976/>



Venstre panel viser at den bratte nedgangen i smoltoverlevelsen på slutten av 1980-tallet var mest utpreget for kontinentalgruppene i Nord-Amerika og Sør-Europa, mens kontinentalgruppe Nord-Europa slapp litt billigere unna. Det er nå konsensus om at den samtidige kollapsen i alle deler av laksen utbredelsesområde skyldes et økologisk regimeskifte i havet, og har lite eller ingenting med lakselus å gjøre. En mer oppdatert illustrasjon kopiert fra ICES-WGNAS sin siste rapport⁹ illustrerer den synkrone kollapsen enda tydeligere (nedenfor).

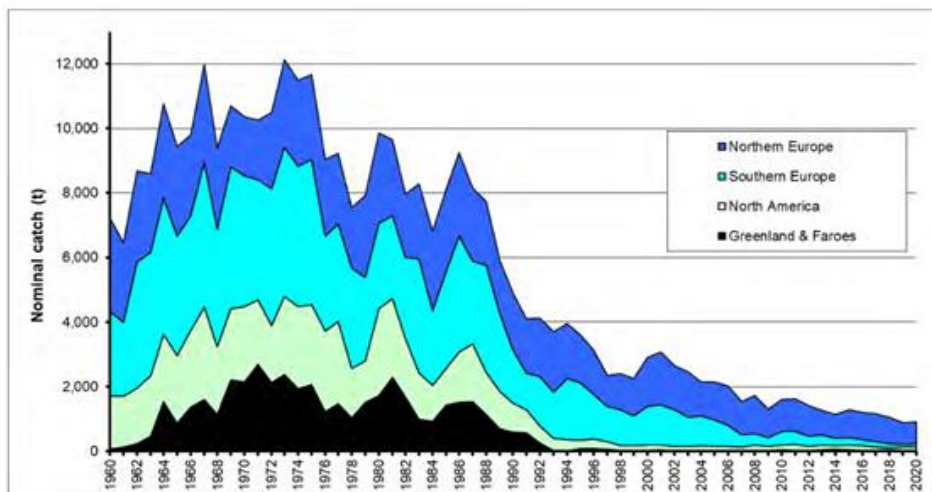


Figure 2.1.1.1. (a) Total reported nominal catches of salmon (tonnes round fresh weight) in four North Atlantic regions, 1960–2020.

Review-artikkel med konkrete tall

En review-artikkel med NINA-forsker Eva Thorstad som førsteforfatter¹⁰ beskriver at naturlig dødelighet varierte fra 19 til 71% i fjordfasen i henhold til ulike undersøkelser. Dødeligheten var for en stor del er forårsaket av predasjon. Før fjord-dødeligheten har vi en dødelighet på 5-64% i estuariet (elvemunningsområdet). Mediandødeligheten er angitt til 6% pr km i estuariet og 1,4% pr

⁹ Julien April, Hlynur Bardarson, Ida Ahlbeck-Bergendahl, Geir H. Bolstad, Cindy Breau, et al. ICES.2021. Working Group on North Atlantic Salmon (WGNAS). 3 (29), 417 p., 2021, ICES Scientific Reports, https://hal.inrae.fr/hal-03228611/file/wgnas_2021.pdf (se s.61)

¹⁰ E. B. Thorstad, F. Whoriskey, I. Uglem, A. Moore, A. H. Rikardsen and B. Finstad 2012. A critical life stage of the Atlantic salmon *Salmo salar*: behaviour and survival during the smolt and initial post-smolt migration. Journal of Fish Biology (2012) 81, 500 – 542. <https://www.cefas.co.uk/publications/salmon/Smolt-manuscript.pdf>

km i fjordfasen. Variasjonen rundt medianverdien på 6%/km er 0,6-36% i estuariene, og 0,3-3% rundt medianen på 1,4 i fjordene. Artikkelen beskriver en studie fra Romsdalsfjorden ledet av førsteforfatteren selv, der dødeligheten var 37% på de første 2 km (estuariet), og deretter 50% på de neste 35 km. Kombinerer vi dette, blir dødeligheten totalt 68% fra elva og ut til kysten. Vi skal nedenfor bruke dette tallet som grunnscenariet for dødelighet fra elv til kyst.

I Nordfjord har smolt fra Strynseelva og Eidselva (Hornindalsvassdraget) blitt studert ved hjelp av akustisk merking i flere år etter 2018. En studie med data fra 2019 viste en overlevelse på 24% til de ytre fjordområdene for smolt fra Stryn og 20% for smolt fra Eidselva¹¹. Dødeligheten var altså noe større enn i Thorstad-studien. Effekten av merkedødelighet er ukjent i alle studier. Det er påvist store variasjoner mellom år og mellom elver og fjordsystemer.

Hva betyr egentlig 30% luseindusert dødelighet?

Review-artikkelen beskriver dødelighetstallene referert ovenfor som naturlig dødelighet. Valget av terminologi presiserer ikke om dette inkluderer eller ekskluderer luseindusert dødelighet. Eventuelle påslag av antatt dødelige mengder av lus i fjordfasen vil neppe resultere i dødelighet i løpet av den korte tiden det tar før smolten har passert de ytterste lyttebøyene. Luseindusert dødelighet vil derfor ikke bli registrert i denne typen undersøkelser. Vi må konkludere med at en eventuell luseindusert dødelighet under utvandringen må komme som et tillegg etter at smolten har forlatt kysten, og følgelig beregnes som en andel av gjenværende smolt som har overlevd predasjon og andre dødelige påvirkninger på strekningen elv-kyst. Luseindusert dødelighet kan derfor betegnes som en ekstradødelighet som rammer i den tidlige havbeitefasen.

En modellpredikert lusedødelighet på 30% eller mer kan nødvendigvis ikke bety at dette er en additiv dødelighet som skal plusses på den naturlige dødeligheten. Da blir det ingen fisk igjen av en kohort som først utsettes for 70% dødelighet fra elv til kyst, og deretter 30% i den tidlige havfasen. Laksen er jo faktisk ikke utryddet. Vi må tenke oss at modellmakerne i HI og andre steder mener at det er 30% av laksen som når ut til kysten som blir drept av lus.

Fordelen med Excel-modeller er at de er enkle og at hvem som helst kan bruke dem

En enkel Excel-modell kan simulere effekten av ulike dødelighetsscenarier. Dette gjør det mulig å vurdere realismen i påstandene om bestandsregulerende effekt av luseindusert dødelighet. Modellen må være så enkel at alle kan bruke den til å etterprøve regnestykkene. Vi starter med å definere fasene i laksens beitevandring i havet. Det som foregår i elva av predasjon og andre tap som smolten utsettes for på sin ferd til elveutløpet er ikke en del av modellen.

1. Dødelighet fra elv til kyst. Omfatter dødelighet i estuariet og i fjorden.
2. Dødelighet som følge av luseinfestasjon, som kan antas å være størst i de første ukene etter at laksen forlater kysten.
3. Dødelighet under havbeitet, som omfatter hele perioden fra smolten forlater kysten og eventuell luseindusert dødelighet er avsluttet, til den kommer tilbake igjen til kysten. ICES har utviklet metodikk for å beregne såkalt Pre Fishery Abundance, som vil si antall laks som befinner seg i havet pr 1.januar, fordelt på laks som blir gytemoden samme år og kommer på innsig mot kysten som ensjøvinterlaks (1SV), og laks som ikke blir gytemoden dette året (flersjøvinterlaks eller Multi SeaWinter, MSW). For enkelthets skyld ser vi bort fra 3SV, 4SV og flergangsgytere, og regner all laks som ikke blir gytemoden etter en sjøvinter som 2SV.

¹¹ Aksel Nes Fiske: Fjord migration and survival of wild and hatchery-reared Atlantic salmon and wild brown trout post-smolts. NMBU Master's Thesis 2020. <https://static02.nmbu.no/mina/studier/moppgaver/2020-Fiske.pdf>

ICES-modellen beregner ikke dødeligheten i fasen fra laksen forlater elva og fram til midtvinters første året i sjøen, som vil si de første 6-8 månedene. Fra 1.januar beregnes dødeligheten fram til gytelaksen når kysten som en konstant månedlig andel på 3%. Den samme prosenten brukes for MSW. Dødeligheten er altså antatt å ikke være størrelses- eller livsfaseavhengig. I vår forenklete modell kan vi variere denne prosentsatsen, slik at vi kan se på effekten av varierende månedlig dødelighet under havbeitet.

4. Dødelighet som følge av laksefiskerier, samt naturlig dødelighet i denne perioden.

Modellen beregner hvor stor beskatning som tåles for at bestanden skal opprettholdes på samme nivå som tidligere. Nok gytelaks må være igjen etter at fisket er avsluttet. Vi kan kalle dette likevektsnivået eller balansenivået, som tilsvarer gytebestandsmålet. De forenklete forutsetningene her er at fordelingen av gytelaksen er 50/50 på hunner og hanner, at hunnlaksen veier 3,5kg i gjennomsnitt, at hunnene legger 1450 egg pr kg kroppsvekt, og at overlevelsen fra egg til smolt er 0,01%. I litteraturen angis 0,02% som en standard, som her vurderes som for høyt. Resultatene som produseres av modellen vil vise hvorfor.

Grunnscenario med 10.000 smolt ut av elva

Vi tenker oss en slags norsk standardelv, der 10.000 smolt forlater elva. Standardelva er altså større enn de fleste norske elvene. 3200 vil fremdeles være i live etter å ha passert strekningen elv-kyst, når vi setter inn 68% dødelighet (jfr forsøket i Romsdalsfjorden). Hvis det er 30% av disse 3200 som deretter lider en luseindusert død, blir det ytterligere frafall på 960 individer i løpet av de neste ukene, slik at det blir igjen 2240 ved starten på den egentlige havbeiteperioden. Vi regner videre med 3% månedlig dødelighet under hele havbeiteperioden på 12 måneder for 1SV-laksen, og samme prosent for 2SV-laksen i 24 måneder. Videre regner vi med at 40% av laksen som når fram til havet starter på et livsløp som 1SV, og 60% på et livsløp som 2SV. I grunnscenariet vil denne fordelingen føre til om lag like mange 1SV og 2SV på innsig fra samme smoltkohort, som er fordelingen vi faktisk observerer i laksefangstene på nasjonal basis. 40/60-fordelingen er valgt nettopp for å gi den observerte fordelingen.

Resultatet blir da at de 2240 postsmoltene som starter på havbeitingen (30% ekstra lusedødelighet) blir til 1269 voksen laks på gyteinnsig mot kysten, som blir til 396 laks i gytebestanden etter høsting av 69% av innsiget (875 laks), som blir til 936.000 lagte egg, som blir til 10.000 smolt. Dette betyr at selv med en luseindusert ekstradødelighet på 30% blir det et høstbart overskudd på 69%.

Leddene i modellberegningen er som følger:

1. Antall smolt som starter på havbeitet = $10.000 \times (100\% - 68\%) \times (100\% - 30\%) = 2440$
2. Antall voksen laks på innsig mot kysten = $2440 \times 60\% \times (1 - 0,03)^{24} + 2440 \times 40\% \times (1 - 0,03)^{12} = 1269$

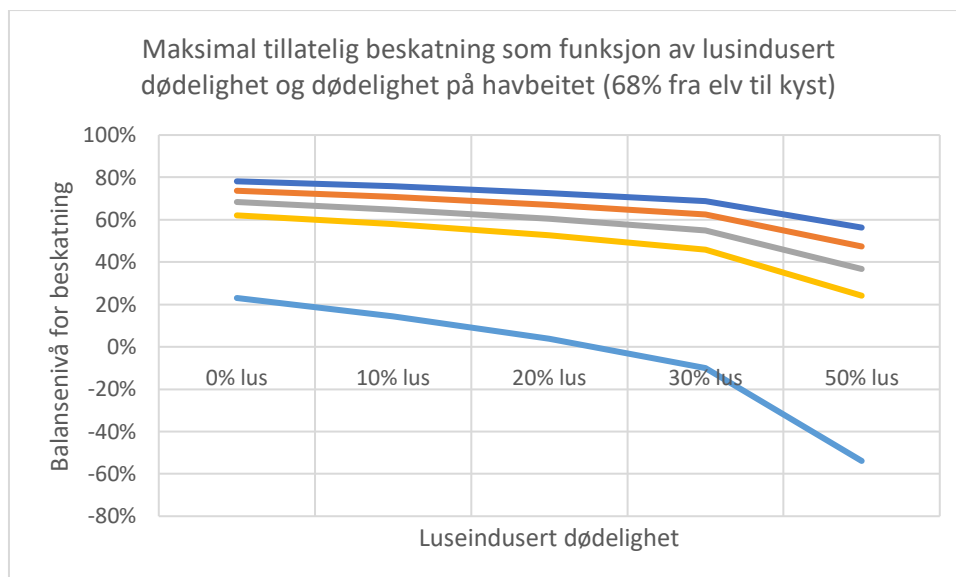
I Excel ser formelen ovenfor slik ut: $=P24*OPPHØYD.I(0,97;24)*0,6+P24*OPPHØYD.I(0,97;12)*0,4$, der P24 i dette tilfellet er 2440. Tallet 0,97 tilsvarer 3% månedlig dødelighet, og kan varieres slik at 4% blir 0,96 osv.

3. Antall gytelaks = $1269 \times (100\% - 69\%) = 393$ (avrundingsfeil: med desimaler i alle ledd blir tallet 396)
4. Antall smolt produsert = $396 \times 50\% \times 3,5 \times 1450 \times 0,01 = 10.049$

Modellen beregner tallet 69% i ligning 3, som betyr at når 69% av innsiget på 1269 laks blir høstet eller dør av andre grunner, så produserer de gjenværende 396 gytelaksene likevel nok smolt (mer

enn 10.000) til at bestanden opprettholdes på samme nivå. Balansepunktet for en bestand som produserer 10.000 smolt er altså 396 gytelaks, når overlevelsen er 1% fra egg til smolt. Med 2% egg-smolt-overlevelse vill det greid seg med 198 gytelaks, noe som virker kontraintuitivt.

Diagrammet nedenfor viser resultatet av en modellkjøring der forutsetningen er at 68% av smolten dør fra elva og ut til kysten. Kurvene viser hvor stor beskatningen kan være for at bestanden skal opprettholde balansen, når månedlig dødelighet og luseindusert dødelighet varieres. Fra øverst til nederst viser kurvene 3% månedlig dødelighet, og videre 4%, 5%, 6% og 10%. Ekstradødeligheten skapt av lus er delt inn i kategoriene 0, 10%, 20%, 30% og 50%. Den øverste kurven, som gjelder 3% månedlig dødelighet, viser at 56% av innsiget kan beskattes selv ved 50% lusedødelighet. Ved 10% ekstradødelighet forårsaket av lus kan beskatningen være 76%.



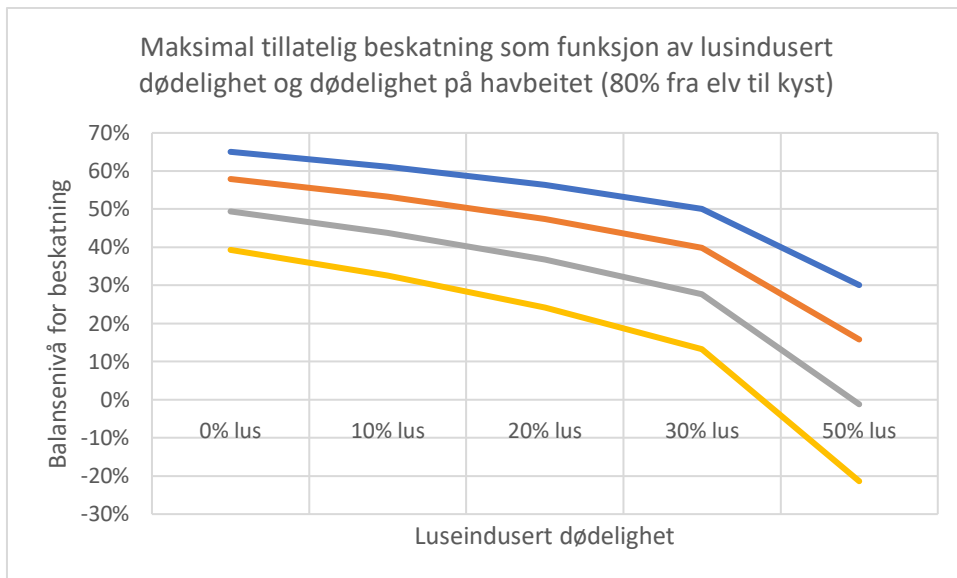
3% månedlig dødelighet under havbeitet er som nevnt ICES-standarden i PFA-beregningene. Hvis vi dobler dette til 6% og kombinerer med 30% ekstra lusedødelighet, blir resultatet et høstbart overskudd på 46%. Med 10% månedlig dødelighet må det 20% ekstra lusedødelighet til for å ta bort det høstbare overskuddet (kurven krysser 0-linjen).

Effekter av varierende forutsetninger

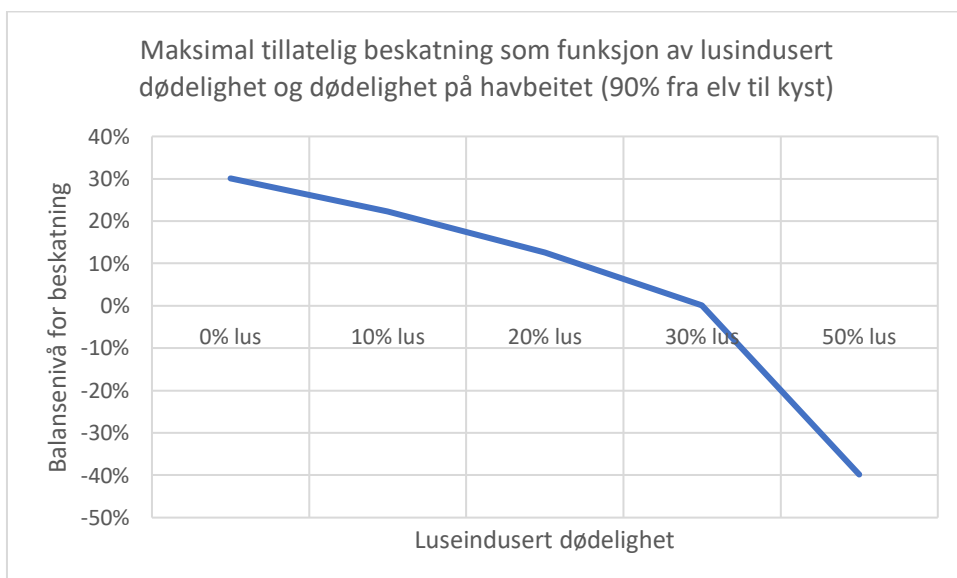
De tre variablene som kan varieres i modellen er

1. Dødeligheten underveis fra elv til kyst.
2. Dødeligheten fra starten på havbeitet til gytelaksen ankommer kysten.
3. Ekstradødelighet skapt av lus.

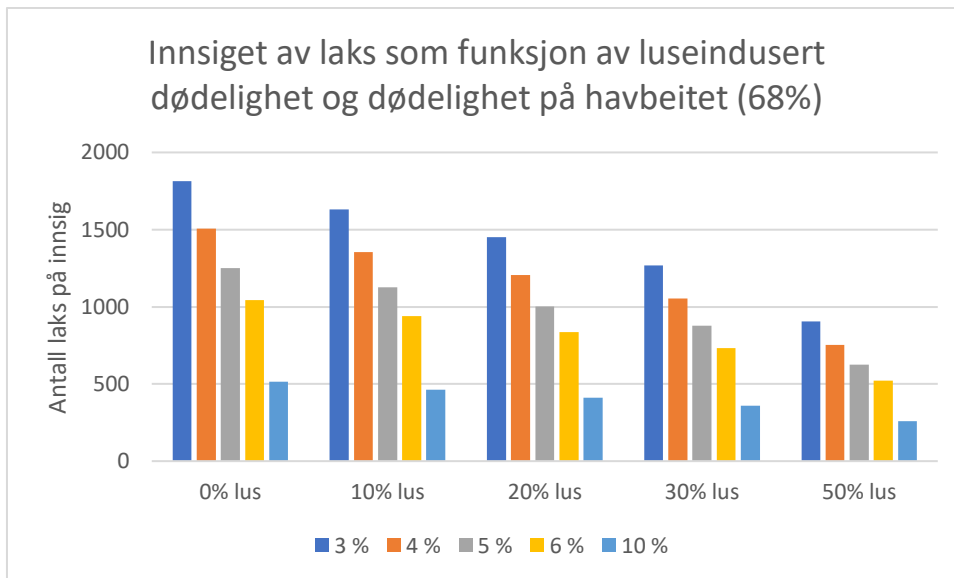
Diagrammene nedenfor viser resultatene av å variere månedlig dødelighet og luseindusert ekstradødelighet. Hvis vi legger inn 80% dødelighet fra elv til kyst i stedet for 68%, og kombinerer dette med 30% lusedødelighet og 6% månedlig dødelighet, blir resultatet at det høstbare overskuddet blir 13%. I dette scenariet vil 10% månedlig dødelighet alltid gi negativ bestandsutvikling. Kurven er derfor ikke vist.



Diagrammet nedenfor viser effekten av å legge inn 90% naturlig dødelighet fra elv til kyst. Da er det bare 3% månedlig dødelighet under havbeitet som gir et høstbart overskudd inntil lusedødeligheten blir 30%, da kurven krysser 0.



Modellen kan også brukes til å beregne innsiget av laks (kyst-PFA), som en funksjon av månedlig dødelighet og lusedusert ekstrasdødelighet (vist nedenfor for scenariet med 68% naturlig dødelighet fra elv til kyst). Ved 0 lusedødelighet blir innsiget 1812 laks, som synker til 1631 ved 10% ekstrasdødelighet, og videre til 1450 ved 20%, 1269 ved 30% og 906 ved 50%.



Innsiget reduseres pro rata med ekstradødeligheten i henhold til modellen. Dette er imidlertid en kunstig, modellskapt effekt, som ikke må tolkes som at dette også skjer i virkeligheten. Årsaken til pro-rata-fenomenet er at modellen forutsetter at alt annet er likt når én variabel varieres i gangen, hvilket svært sjeldent forekommer i virkeligheten. Mangelen på korrelasjon mellom antall 1SV og 2SV fra samme smoltkohort innebærer at 10% ekstra dødelighet i fjordfasen ikke setter seg igjennom som 10% færre voksenlaks på innsig. Dette er egentlig et komplisert tema som krever en egen bloggartikkel, som kommer snart på en PC nær deg.

Modellen produserer simuleringer som illustrerer at en laksebestand oppviser stor motstandskraft mot svært stor dødelighet i sjøfasen. Resultatene kan umiddelbart virke usannsynlige, så kontrollspørsmålet blir følgende:

Hvorfor flommer ikke fjordene og elvene over av laks?

Resultatene av modellkjøringene kan tolkes på flere måter, f.eks. disse to:

1. Det spiller ingen rolle for bestandsutviklingen om smolten utsettes for ekstremt høy ekstradødelighet forårsaket av lus.
2. Dødelighetsestimatene som legges til grunn i de ulike fasene av oppholdet i sjøvann er ute av kurs, og gjengse teorier om laksens livssyklus trenger oppdatering.

Alarmklokkene bør kime fordi modellkjøringene resulterer i anslag for innsiget som varierer grovt sett fra 5-15% overlevelse før beskatning i hav-, kyst-, fjord- og elvefiskerier. Dette er langt høyere enn tallene som er referert i ICES sine WGNAS-rapporter¹², som er illustrert lenger oppe. Mest sannsynlig er feilen at dødeligheten i havbeitefasen er underestimert.

Ideen om smoltutvandringen som en kritisk periode bør dessuten settes under lupen. Per capita og i antall forsvinner det mest laks i fjordfasen fra elv til kyst, men det er likevel mulig at havfasen er viktigere med tanke på bestandsregulering. Forskjellen i *andel* laks som overlever i fasen elv-kyst og i fasen hav-kyst er mindre enn umiddelbart forventet. Andelen som forsvinner fra elv til kyst er i størrelsesorden 70-80%, mens andelen som forsvinner deretter og fram til gytelaksen har kommet

¹²Julien April, Hlynur Bardarson, Ida Ahlbeck-Bergendahl, Geir H. Bolstad, Cindy Breau, et al. ICES.2021. Working Group on North Atlantic Salmon (WGNAS). 3 (29), 417 p., 2021, ICES Scientific Reports, 10.17895/ices.pub.7923. https://hal.inrae.fr/hal-03228611/file/wgnas_2021.pdf

tilbake til kysten er 20% ved en månedlig dødelighet på 3% og 53% ved 6% (0 ekstra lusedødelighet). Ved 6% månedlig dødelighet og 20% ekstra lusedødelighet er de tilsvarende prosentene 35 og 63. Ved 10% månedlig dødelighet er prosentene 77 ved 0 lusedødelighet og 84 ved 30% lusedødelighet. Ting tyder på at dødeligheten i havet er kraftig undervurdert i ICES sin standardmodell med 3% månedlig dødelighet.

Havbeitet er mest sannsynlig den kritiske fasen som regulerer bestandsutviklingen

Spørsmålet er altså om det er variasjoner i dødelighet fra elva og ut til kysten, eventuelt i ukene umiddelbart etterpå, eller om det er dødelighet i havet og inn igjen til kysten som er viktigst for bestandsreguleringen. Mangelen på korrelasjon mellom fangst av 1SV og 2SV året etterpå kan tyde på at variasjonen som oppstår i havet er viktigst. Som beskrevet, er korrelasjonen mellom fangst av tosjøvinterlaks og ensjøvinterlaks 0,09¹³. Denne observasjonen støttes av den canadiske modellartikkelen referert lenger oppe¹⁴.

Null-korrelasjonen kan ikke tolkes på annen måte enn at overlevelsen til laks fra samme smoltkohort ikke bestemmes av dødeligheten i den første sjøfasen. Hvis den gjorde det, ville en sterk 1SV-gruppe måtte etterfølges av en sterk 2SV-gruppe. Men et svakt innsig av 1SV kan etterfølges av et godt innsig av 2SV, og omvendt. 1SV og 2SV av samme smoltkohort utsettes for påvirkninger i sjøfasen med ulikt resultat, og dette fører til at 1SV og 2SV kan gi fullstendig ulike bidrag til årsklassestyrken.

En bloggartikkel fra 2019 refererte amerikanske studier som påviste at predasjon tok 60-70% av voksen chinook-laks¹⁵. En annen amerikansk studie påviste at predasjon på stor chinook-laks økte fra 5 til 31,5 millioner laks (6.100 tonn til 15.200 tonn) i perioden 1975-2015, mens fiskefangsten sank fra 16.400 tonn til 9.600 tonn i samme periode. Det var økende bestander av sel og spekkhoggere i Stillehavet som stod for storparten av predasjonen¹⁶. Norske studier av atlantisk vinterstøing har påvist predasjon varierende fra 10 til 90%¹⁷.

Hvis predasjon i havet ligger på dette nivået, må standardtallet for månedlig dødelighet oppjusteres kraftig. Diagrammet nedenfor illustrerer overlevelsen under havbeitet etter at dødelighet fra elv til kyst og ekstra lusedødelighet er unnagiort, som funksjon av prosent månedlig dødelighet. Ved 3% overlever ca 70% av 1SV-laksen, og tett oppunder 50% av 2SV-laksen. Ved 10% overlever henholdsvis 28% og 8%. Kanskje det siste er nærmere sannheten. Diagrammet under illustrerer effekten av varierende dødelighet fra 3 til 10%/mnd.

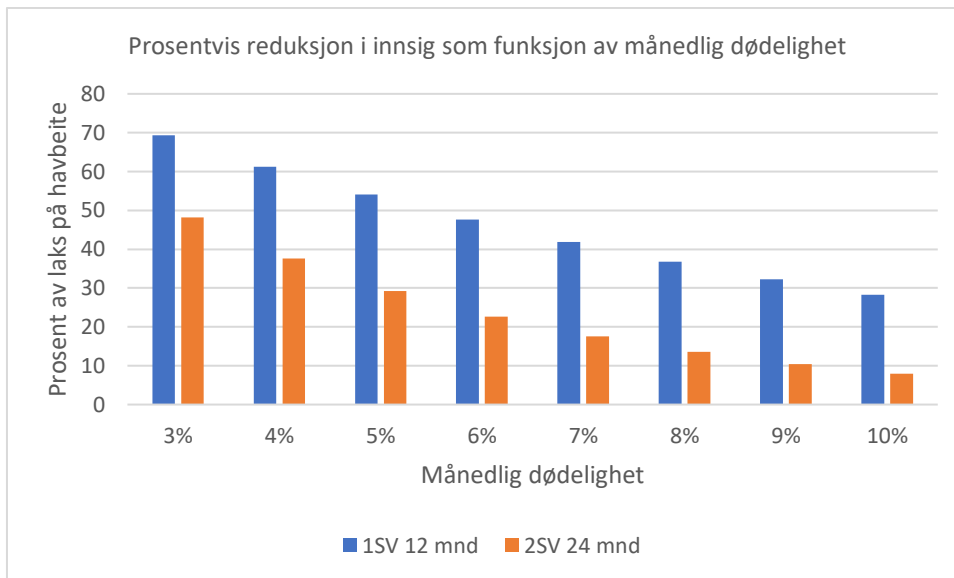
¹³ <https://www.aquablogg.no/lakselus/smoltutvandringen-er-ikke-en-kritisk-periode-som-avgjor-arssklassestyrken/>

¹⁴ Pardo, S. A., & Hutchings, J. A. (2020). Estimating marine survival of Atlantic salmon using an inverse matrix approach. *PLoS one*, 15(5), e0232407. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232407>
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7236976/>

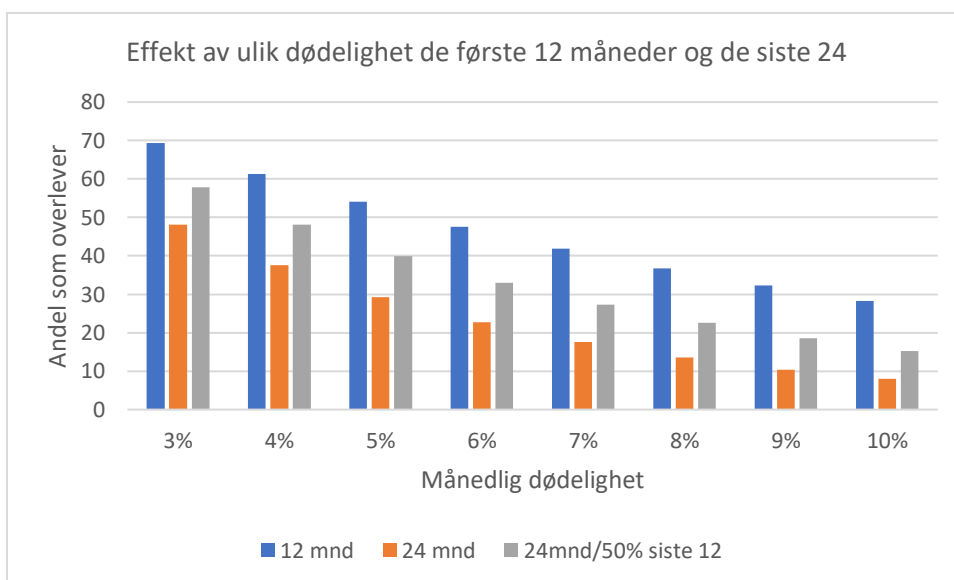
¹⁵ <https://www.aquablogg.no/lakselus/predasjon-pa-stor-laks-i-havet-kan-vaere-populasjonsregulerende/>

¹⁶ Chasco, B.E., Kaplan, I.C., Thomas, A.C. et al. Competing tradeoffs between increasing marine mammal predation and fisheries harvest of Chinook salmon. *Sci Rep* 7, 15439 (2017). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14984-8> <https://www.nature.com/articles/s41598-017-14984-8>

¹⁷ <https://www.aquablogg.no/lakselus/ut-mot-havet-for-villaksforskningen/>



Illustrasjonen viser at det oppstår en skjevhet i andel 1SV i forhold til andel 2SV, som ikke er korrekt målt opp mot fasiten som er faktiske observasjoner av fordelingen i fangst og gytebestand. Hvis månedlig dødelighet i sjøen må jekkes opp på nivåer fra 6-10%, er det fordelingen mellom laks som har livsløp med tidlig kontra sen gytmodning som må justeres. Antakelig ender vi da opp med en kombinasjon av f.eks. 70% med kurs mot en 2SV-livshistorie pr 1.januar etter 6-8 måneder i havet, og en noe lavere dødelighet de siste 12 månedene sammenlignet med de 12 første. Vi går ikke i dybden på dette her, i en allerede alt for lang bloggartikkel, men diagrammet nedenfor illustrerer at dødeligheten det andre året i sjøen må manipuleres for å resultere i tilnærmet lik fordeling på 1SV og 2SV. De grå søylene i diagrammet er basert på å sette dødeligheten for 2SV de siste 12 månedene til 50% av de første 12 månedene.



Hvor blir det av all villaksen?

Hvis ikke tapet av voksenlaks i havet skyldes predasjon, bør vi undersøke om laksen beskattes i havet eller i kyst-/fjordsonen i et omfang som er ukjent, men betydelig. En bloggartikkel fra mars i år refererer en artikkel som hevder at den eneste mulige forklaringen på at laksebestandene ikke har bygget seg opp igjen etter kollapsen, må være at det foregår et stortilt ulovlig, urapportert og

uregulert laksefiske i havet¹⁸. Fritidsfiske etter laks i fjordene er lovlig, men urapportert og uregulert. Respondentene i en nylig publisert undersøkelse av fritidsfisket i Norge¹⁹ oppga at de fisket etter laks i elv fra 0,3 til 3 fiskedager pr år, mens de fisket i saltvann fra 12 til 17 dager. Mellom 5 og 15% av sjøfiskerne oppga at de fisket etter laks, og 19-34% fisket etter sjøaure. Laks og sjøaure var rimelig høyt oppe på listene over hovedart i sjøen, særlig i Midt-Norge, men tross alt langt bak torsk, sei og makrell. Rapporten oppgir ikke fangst pr fisker fordelt på art, men det er ikke urimelig å tenke seg at urapportert fangst av både laks og sjøaure kan være betydelig. En rekke tidligere undersøkelser av fangsten av laks og sjøaure har konkludert med massiv underrapportering, spesielt i sjøfisket²⁰.

Ifølge VRL er gjennomsnittlig beskatning av norsk laks 43%. Hvis det i tillegg foregår et urapportert sjøfiske på la oss si halvparten av dette, blir beskatningen omkring 60-65%. Når vi da går tilbake til grunns scenariet, finner vi at et slikt beskatningsnivå går i balanse så vidt det er med 30% ekstra lusedødelighet og 4% månedlig dødelighet på havbeitet.

Konklusjon

1. Bestandsutviklingen til villaks er relativt lite sensitiv for ekstra luseindusert dødelighet, selv ved simulering av svært høye ekstradødeligheter. Dette innebærer at lus ikke kan være en viktig bestandsregulerende faktor.
2. Per capita dødeligheten er størst i den første fasen av sjøoppholdet, men *andelen* som overlever de første par-tre månedene er ikke nødvendigvis mye større enn andelen som deretter overlever de neste 10-22 månedene fram til voksenlaksen blir gytemoden.
3. 0-korrelasjon mellom 1SV og 2SV viser at årsklassestyrken til en smoltkohort ikke avgjøres av dødeligheten til 1SV under smoltutvandringen. Overlevelsen til 2SV og innsiget av 2SV kan være avgjørende for enkelte årsklasser.

Kontrollregning av forskningens resultater er en undervurdert øvelse. I dette tilfellet viser det seg at tilsynelatende skremmende påstander om svært høye nivå av antatt luseindusert dødelighet har liten til moderat effekt på villaksens bestandsutvikling.

¹⁸ <https://www.aquablogg.no/villaks/hvor-ble-det-av-all-villaksen/>

¹⁹ Selvaag, S., Aas, Ø., Borch, T., Kleiven, A. R. & Stensland, S. 2021. Fritidsfiskevaner i saltvann blant bosatte i Norge. En oversikt over fiskeatferd, motiver og holdninger til fangstreguleringer. NINA Rapport 1857. Norsk institutt for naturforskning. <https://brage.nina.no/nina-xmloi/bitstream/handle/11250/2679961/ninarapport1857.pdf?sequence=6&isAllowed=y>

²⁰ <https://www.aquablogg.no/villaks/overfiske-er-hovedarsak-til-bestandsnedgangen-for-vill-laksefisk/>