Kirjolohen selkärankavauriot

Essi Lindroth

Suomen Kalankasvattajaliitto ry
Finlands Fiskodlarförbund rf

Euroopan unionin osarahoittama

Luke
NATURAL RESOURCES INSTITUTE FINLAND

Hanke

- **Suomen Kalankasvattajaliitto ry** käynnisti yhteistyössä **Luonnonvarakeskuksen** kanssa vuodenvaihteessa 2025 hankkeen
- Tavoitteena selvittää kasvatetun kirjolohen selkärankavikojen yleisyyttä, taustalla olevia syitä ja mahdollisia keinoja ehkäistä ongelmia jatkossa.
- Hanke on osa Vesiviljelyn kehittämisohjelmaa ja EMKVR-rahoitettu.

Tausta

- Alan yrittäjiltä tulleen tiedon mukaan kirjolohilla on esiintynyt selkärankavikoja perkuukaudella 2024 – 2025.
- Havaitut selkäranganpoikkeavuudet ovat ilmenneet pääosin kalojen lyhentyneenä ulkomuotona, joka vaikeuttaa kalan käyttöä elintarvikkeeksi. **- Samaa tavattu jo aiemmin muualla maailmalla**.
- Selkärankavikaiset kalat lisäävät prosessikalan osuutta perkuussa → Taloudellisia tappioita
- Selkärankavialliset kalat ovat ongelmallisia eläinten hyvinvoinnin näkökulmasta.

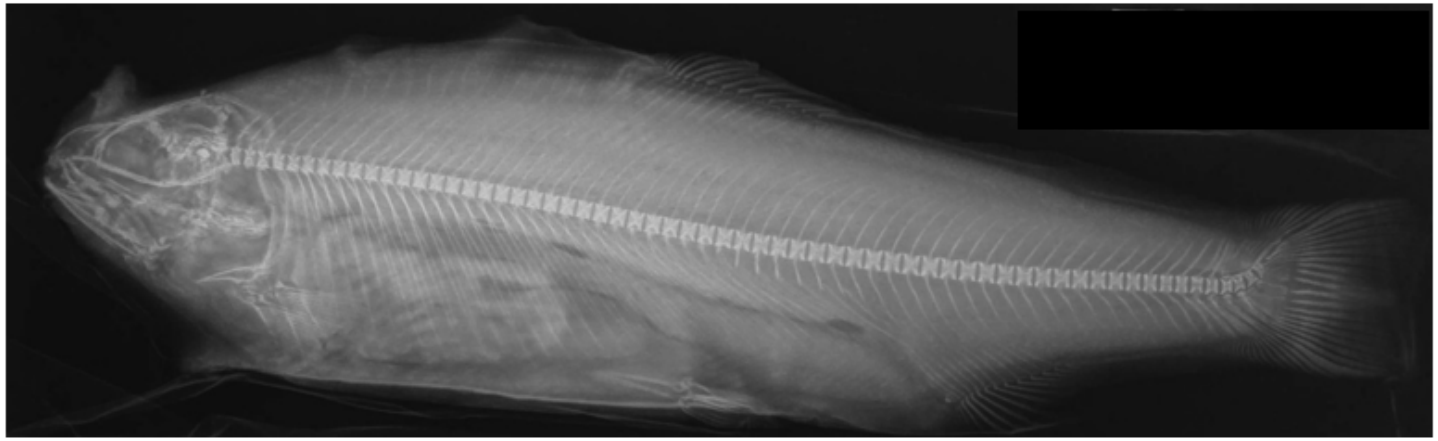
Tausta

- Selkärankavikoja on tavattu kasvatetuilla kirjolohilla maailmalla ja aiheesta on tehty tutkimuksia → **yksiselitteistä ratkaisua tai syytä ongelmaan ei kuitenkaan ole löytynyt.**
- Selkärankavikojen yleisyyttä tai syitä ei ole selvitetty suomalaisessa kalankasvatuksessa.
- Kalaterveydellisten haasteiden ratkaiseminen hyödyttää koko kalankasvatuksen arvoketjua

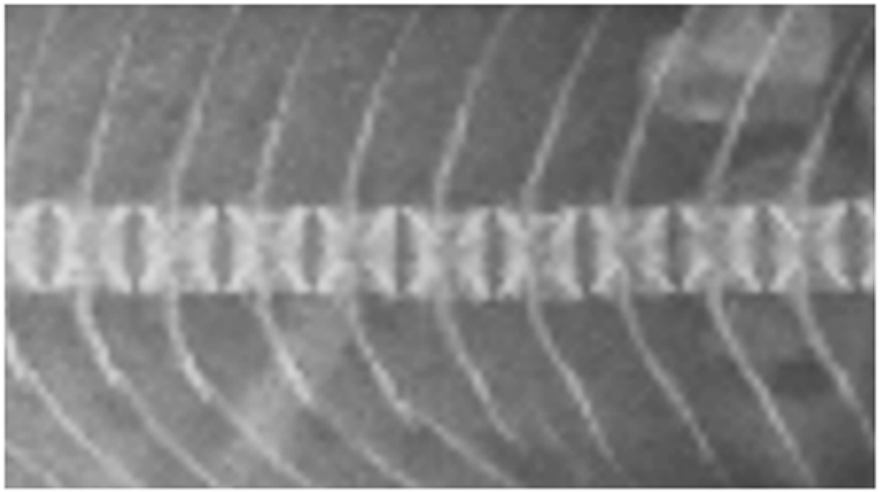
Toteutus

- **Webropol**-kysely kalankasvattajille → kartoitettiin viljelijöiden havaintoja selkärankavikojen yleisyydestä ja tyypeistä perkuukaudella **2024 – 2025** sekä muista poikkeavista haasteista edellisellä kasvatuskaudella
- Kyselyyn vastanneille yrityksille lähettiin **tarkentava Excel-pohjainen kysely,** jolla pyrittiin selvittämään taustaolosuhteita kalojen elämänkaaren eri vaiheista
- Ruokavirastoon lähetettiin selkärankavikaisia kaloja tarkempiin tutkimuksiin
- Luke keräsi omilta kaloilta talteen rankoja mineraalianalyyseihin.

Normaali kirjolohen luusto



Normaalissa kirjolohenrangassa nikamat x-mallisia ja väliaineen erottamia. Nikamia 59 – 63 kpl.

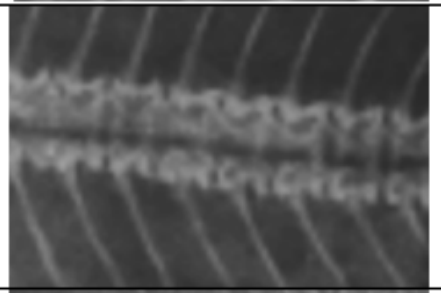
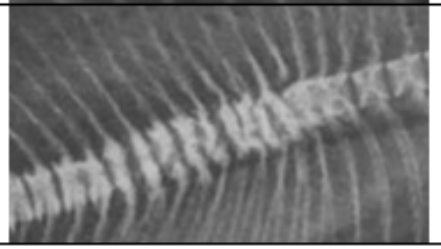


Selkärankamuutosten tyyppejä

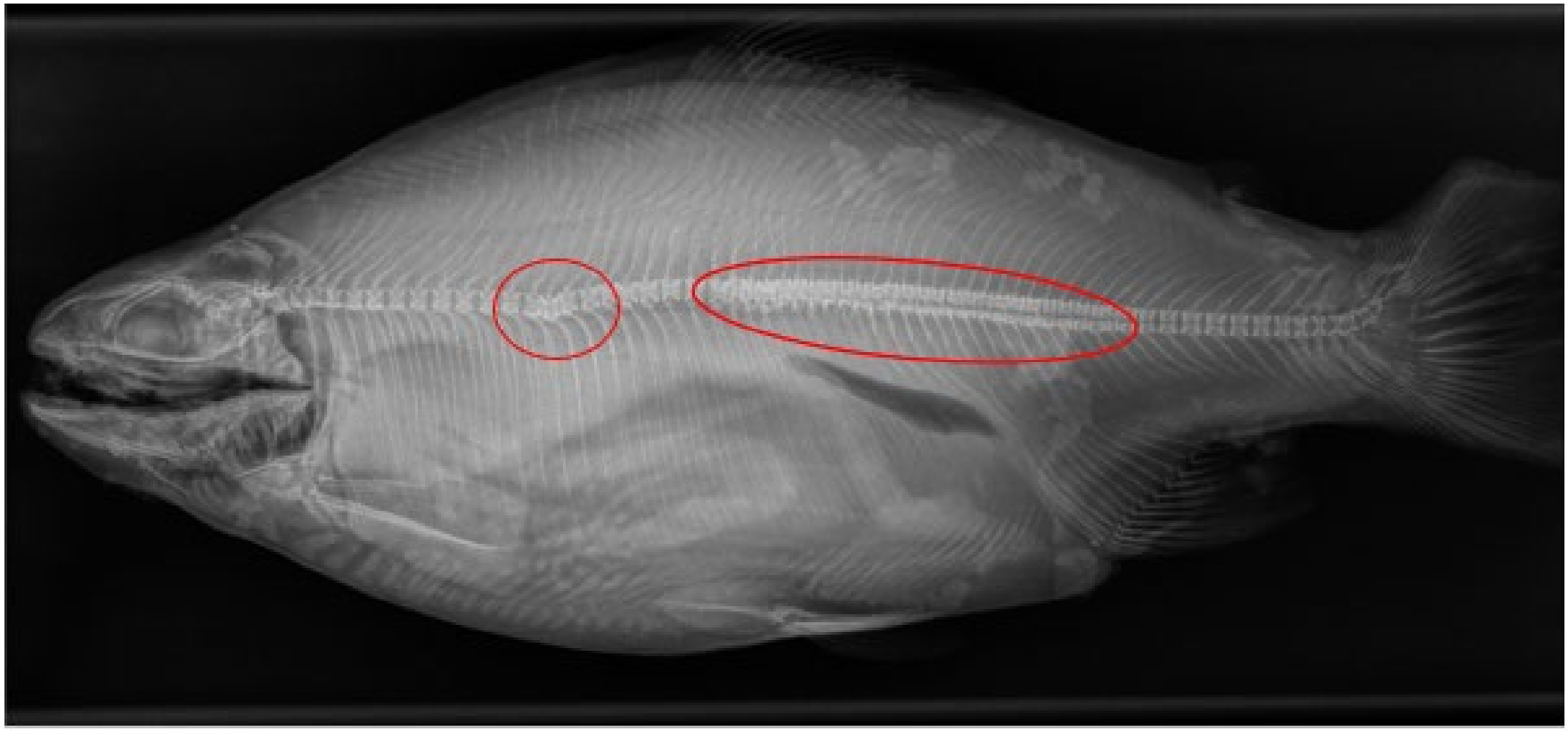
Selkärangan muutosten tyyppejä kirjolohella	
Skolioosi	Rangan sivuttaissuuntainen kiertyminen, kalan mutkainen ulkomuoto
Lordoosi	Yleensä pyrstöalueen nikamien alaspäin kaareutuminen ns. notkolle
Kyfoosi	Selkäkyttyrä, rangan pystysuuntainen ulospäin kaartuminen
Lyhentynyt ranka	Tyypillisin selkärankamuutos kasvatetuilla kirjolohilla. Ranka on lyhentynyt nikamien tiivistymisen seurauksena. Nikamia on kuitenkin normaali määrä, mutta ne ovat muodoltaan kaventuneita ja fuusioituneet jopa kiinni toisiinsa.

(Kvellestad ym. 2000, Fjelldal ym. 2009, Fjelldal ym. 2025).

Nikamamuutosten tyyppejä

Nikamamuutosten tyyppejä kirjolohella		
Dislokaatio	Nikaman viallinen sijoittuminen muihin nikamiin nähden, voi johtua esimerkiksi traumasta.	
Tiivistyminen	Nikamat ovat muodoltaan leveyttään korkeampia ja väliaine nikamien välillä on kaventunut, tyypillinen x-muoto on häviämässä.	
Fuusioituminen	Nikamien erillistä x-rakennetta vaikea havaita röntgenkuvissa, nikamat eivät jousta ja ovat kasvaneet yhteen, väliaine hävinnyt nikamien välistä.	

(Kuvat, ruokaviraston tutkimukset, Lähteet: Kvellestad ym. 2000, Fjelldal ym. 2009, Fjelldal ym. 2025).



Kuva: Ruokavirasto. Nähtävillä yhden nikaman dislokaatio ja jäljempänä tiivistymä/fuusioitumiskeskus. Lihasruodoissa epätasaisuutta.

Kirjallisuudessa esitettyjä taustatekijöitä

Lois- ja bakteeri-infektiot	*Myxobolus cerebralis*-loinen, flavobakteeri-infektiot, kroonistunut yleistulehdus, sairastettu IHN-virus. Suomessa IHN-tapaukset johtavat saneeraukseen.
Ravitsemuk-selliset tekijät	C-vitamiinin, kalsiumin, fosforin, magnesiumin ja sinkin puutos kehitysvaiheissa, A-vitamiinin yliannostus. Yleiset linjat rehukehityksessä voivat vaikuttaa taustalla.
Epäsuotuisat haudontaolosu hteet	Liian matala, tai korkea haudontalämpötila joissain tutkimuksissa aiheuttanut enemmän kehityshäiriöitä.
Rokotukset	Lohella tavattu rokotuksiin liittyviä haittoja, joita voi seurata epäonnistuneista rokotuskäytännöistä tai rokoteaineen aiheuttamista yleisreaktioista.
Lääkintä	Flavobakteeritartuntojen hoitoon tarkoitetun oksitetrasykliinin käytöllä on havaittu tutkimuksissa yhteys kalojen selkärangan tiivistymiin.
Geneettiset syyt	Geneettisen vaihtelun vähäisyys, sisäsiittoisuus. Liiallinen nopeakasvuisuuden suosiminen valintajalostuksessa. Emokalojen stressistä ja terveydentilasta johtuva sukutuotteiden heikkolaatuisuus.
Kasvatus-olosuhteet	Korkeita kalatiheyksiä käyttävillä laitoksilla on havaittu esiintyvän enemmän selkärangan kehityshäiriöitä ja muita epämuodostumia. Suomessa käytännössä matalat kalatiheydet.

(Eissa ym. 2021, Fjelldal ym. 2025, Lall 2002, Madsen ja Dalsgaard 1999, Vågsholm & Djupvik 1998).

Selkärangan tiivistyminen ja kalan lyhentynyt ulkomuoto

- Yleisimpiä kasvatettujen kalojen selkärangan kehityshäiriöitäselkärangan tiivistymät ja nikamien fuusioitumat → Kalan muoto lyhentynyt ja kuntokerroin korkea
- Fuusioituminen on tiivistymän ääri-ilmentymä. Lohella fuusioitumista on havaittu kun 15 % nikamista on epämuodostunut (Brimsholm 2023).

Tiivistymät

- Ei usein havaita kalan ollessa vielä pieni → tekee syy-yhteyden ja ongelman havaitsemisen vaikeaksi.
- Tarkka ajankohta vaurioiden kehittymiselle ei toistaiseksi ole tiedossa.
- Fjelldal ym. 2025 mukaan selkärangan kehityshäiriöitä voi kehittyä missä kasvatuksen vaiheessa tahansa ja tyypillisesti havaittavissa olevat muutokset lisääntyvät ja pahenevan kalan kasvaessa suuremmaksi.
- Poirier Stewart ym. 2014 mukaan varhaisella röntgendiagnostiikalla on mahdollista havaita jo kehittymässä olevia tiivistymiä ja mineralisaation häiriöitä poikasvaiheen kirjolohilla.

Tiivistymien kanssa yhtäaikaiset tavatut poikkeamat

- Pienillä selkärankavikaisilla kaloilla eväkulumia enemmän ja usein merkkejä yleistulehduksesta sisäelimissä.
- Enemmän muita pintavaurioita, etenkin pienemmät kalat.
- Kylkiluiden kehityshäiriöitä: Epätavallisen lyhentyneet kylkiluut, ihon läpi työntyvät kylkiluut, pieni kaloilla kylkiluiden kihartumista
- Iihasruotojen epämuodostumia ja epätyypillistä sijoittumista (Ruokavirasto).
- Heikompi kasvu, infektioherkkyys

Hankkeen aineisto

- Aloituskyselyn vastaukset (21 yritystä)
- Tarkentavien kyselyiden vastaukset (35 kalaerää)
- **-Luken samaa poikaserää olevat koeparvet, joissa toisessa 64% selkärankavikaa ja toisessa 27 %.**
- Haastattelut ja yrittäjien omat selvitykset
- Ruokaviraston analyysit (tulossa)
- Luonnonvarakeskuksen mineraalianalyysit (tulossa)

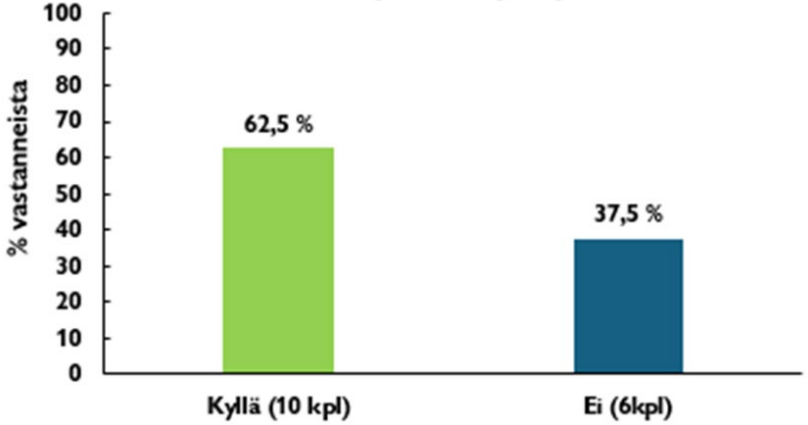
Webropol-aloituskysely

- Kaikkiin kysymyksiin ei saatu jokaiselta vastaajalta vastauksia. Vastausaktiivisuus todennäköisesti suurempi niillä, joilla haasteita on havaittu.
- 47,4 % (9/19) vastasi selkärangan kehityshäiriöitä esiintyneen aikaisempia vuosia enemmän
- 62,5 % (10/16) vastasi selkärankavikaisten kalojen määrän lisänneen prosessikalan määrää tuotannossa. S
- 57,9 % (10/18) vastasi kaloilla esiintyneen myös muita aikaisemmista vuosista poikkeavia haasteita.

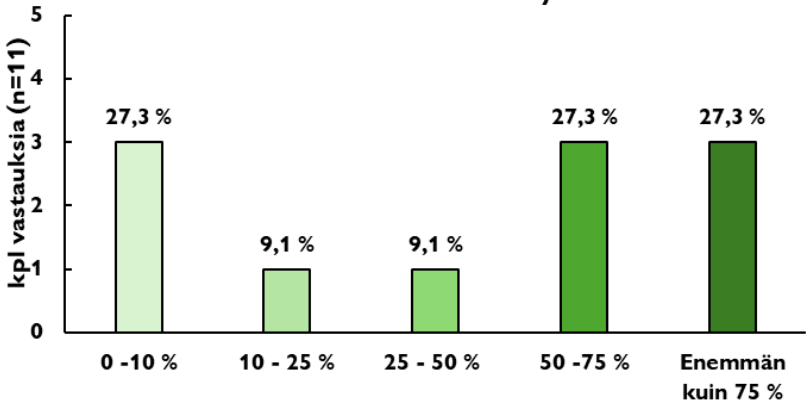
Webropol-Kyselyn vastaukset

KYSYMYS 1. Onko kaloissa ollut viimeisen kasvatuskauden aikana havaittavissa aikaisemmasta poikkeava määrä selkärankavikaisia yksilöitä?

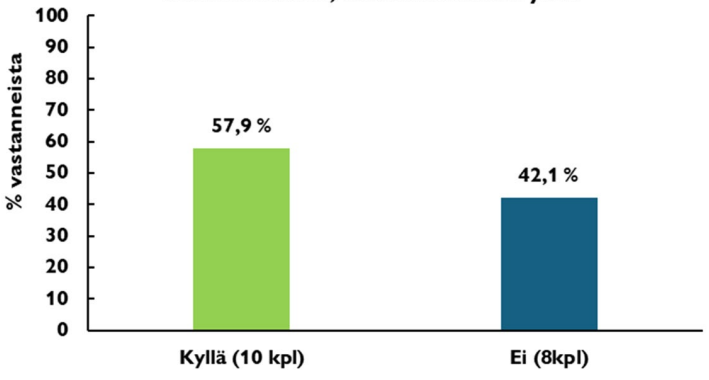
KYSYMYS 2. Onko selkärankavikaisten kalojen esiintyminen johtanut suurempaan prosessikalan määrään perkuun yhteydessä?



KYSYMYS 3. Edelliseen kysymykseen KYLLÄ vastanneet, kuinka suuri osa prosessikalasta on arviolta ollut selkärankavikaisia yksilöitä ?



KYSYMYS 4. Onko kalojen terveydessä ollut havaittavissa muita aikaisemmista vuosista poikkeavia haasteita (Kasvuhäiriöt, kuolleisuutta, sairastavuutta, heikkoa kasvua ym.?

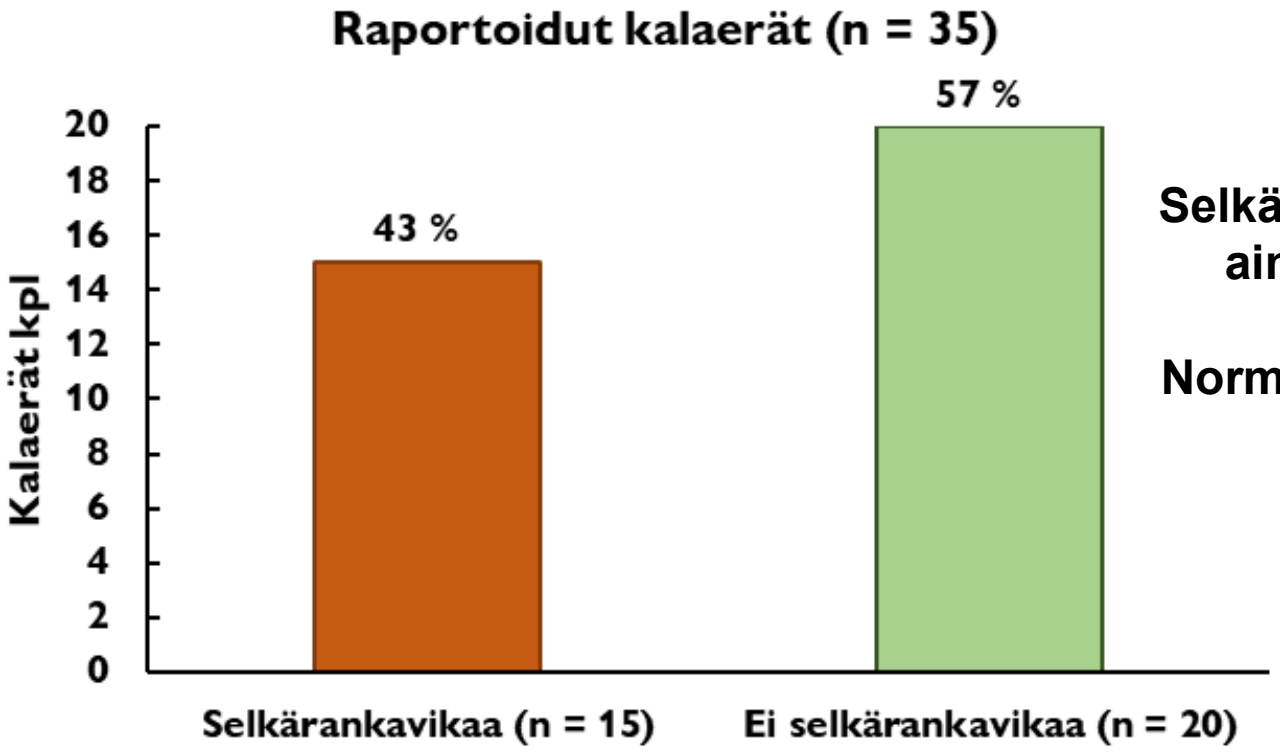


Avoimet vastaukset muista ilmenneistä haasteista

- Normaalia sitkeämpää flavoa havaittu (2 kpl)
- Flavoa enemmän pikkupoikasilla (1kpl)
- Yersinioosia havaittu enemmän (2 kpl)
- Kasvussa jääty, rehukertoimet heikompia (5 kpl)
- Kehityshäiriöitä enemmän (3 kpl)

Tarkentava Excel-kysely

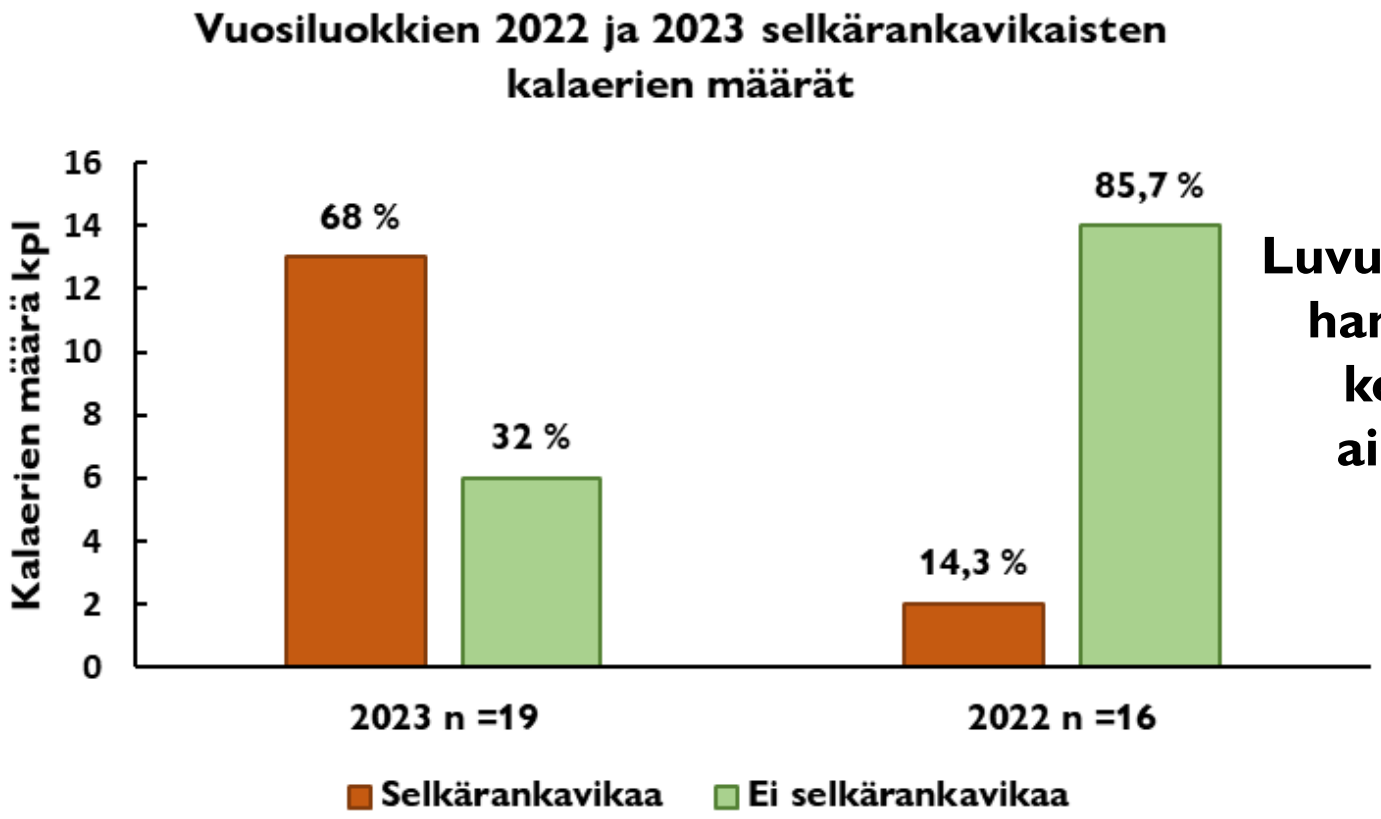
- Tarkentaviin kysymyksiin saatiin vastauksia **7 eri yritykseltä** yhteensä **35 kalaerästä**.



Selkärankavikaisia eriä 43 % aineiston eristä, 15 kpl

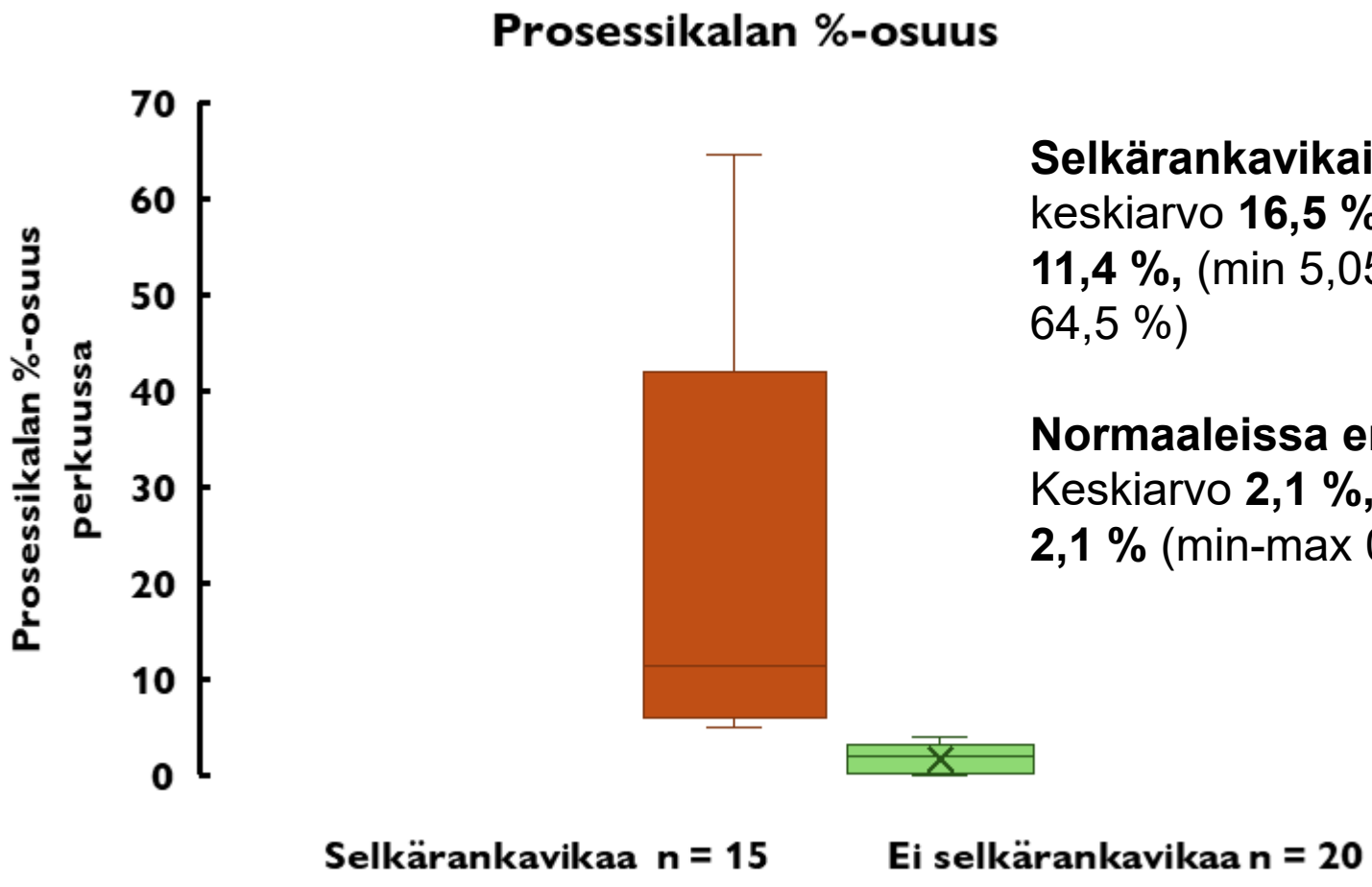
Normaaleja eriä 57 %, 20 kpl

Vuoden -22 ja -23 kalaerien selkärankavika-%



Luvut koskevat hankkeessa kerättyä aineistoa

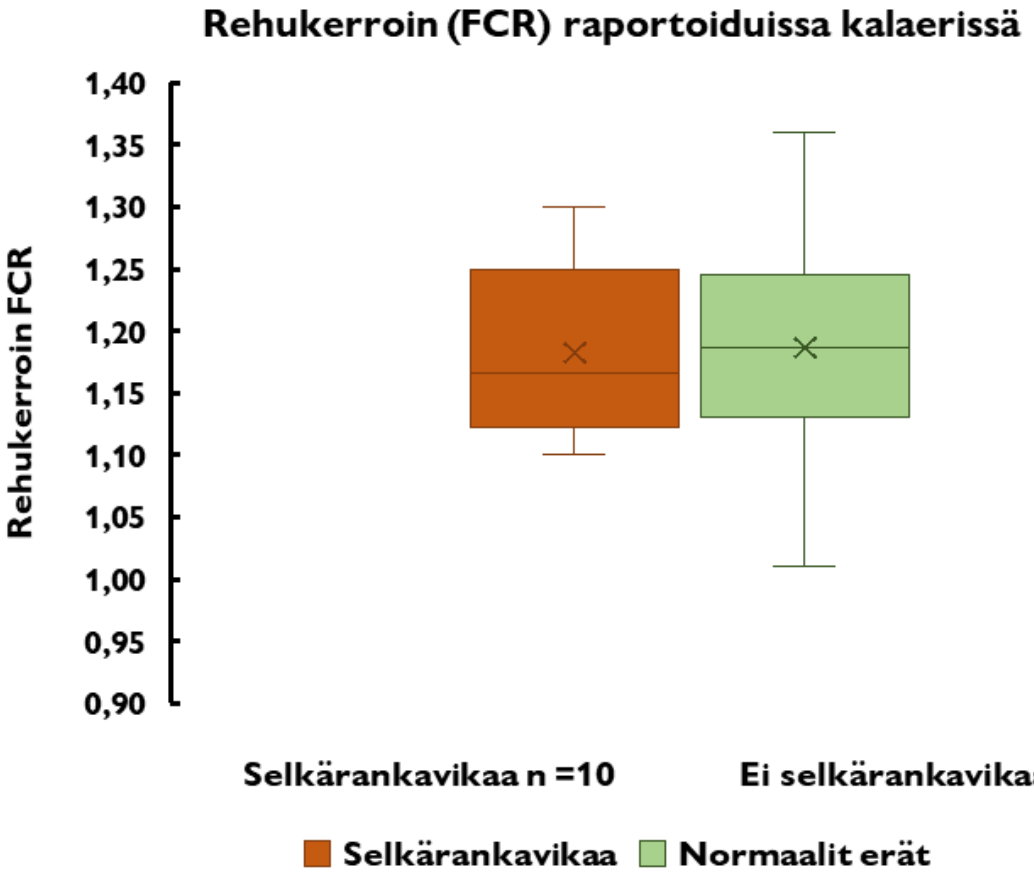
Prosessikalan määrä



Selkärankavikaisissa erissä keskiarvo **16,5 %,** mediaani **11,4 %,** (min 5,05 % – max 64,5 %)

Normaaleissa erissä Keskiarvo **2,1 %,** mediaani **2,1 %** (min-max 0 – 4,0%)

Kalojen kasvu



Selkärankavikaisissa erissä
keskiarvo **1,18,** mediaani **1,16,** (min-max 1,1 – 1,3)

Normaaleissa erissä
Keskiarvo **1,19,** mediaani **1,19** (min-max 1,01 – 1,36%)

- **Perkuupainon vertailuun liian vähän tietoa, mutta Luken sisämaan testikaloissa selkärankavikaisten paino perkuussa oli 117g pienempi kuin normaalien kalojen.**

Kalojen alkuperä ja jatkokasvatus

- Aineiston kaloja oli 7 eri poikaslaitokselta – **Selkärankavikojen esiintyminen ei ollut riippuvaista kalojen alkuperästä**
- Jatkokasvatusta 7 eri laitoksella, joista osa sisämaassa ja eripuolilla rannikkoa **– Selkärankavikojen esiintyminen ei riippuvaista jatkokasvatuspaikasta.**
- **Kalan jalostuslinjoilla (Mäti, marto, tripla) ei merkitystä selkärankavikojen esiintymisessä**
- **Oksitetrasykliinillä lääkityissä erissä ei aineistossa esiintynyt selkärankavikoja.**
- Ei löydettävissä selitystä myöskään lämpötiloista, rehunkäytöstä tai muista kasvatusympäristön muuttujista

Ruokaviraston ja Luken tulokset

- **Histologiat**
- **Mineraalianalyysit**
- Aikaisemmissa Ruokaviraston tutkimuksissa havaittu kaloissa merkkejä yleistulehduksesta, jonka syytä ei ole pystytty selvittämään
- Kirjallisuudessa kuvattu kroonistunut flavo vaikeasti diagnosoitavaksi teuraskokoisista kaloista.

Luken JALO-kalat

- Aineistossa tiedot samasta poikaserästä eri osoitteisiin menneistä parvista, joissa molemmissa korkea selkärankavika-%.
- Sekaparvi
- Poikasten alkukasvatus luonnonlämmössä
- **Poikaskasvatuksessa ei käytetty lääkkeitä, mutta ollut flavobakterioosiin viittaavia oireita.**
- Alkukasvatuksen kuolleisuus n. 15 %.
- Toinen parvi mereen ja toinen sisämaahan
- Merialueelle mennyt parvi rokotettiin, muttei lääkitty
- Sisämaahan jäänyttä ei rokotettu, mutta sai lääkityksen puhjenneeseen flavoon (florfenicol) siirron jälkeen.
- Söivät eri rehuja jatkokasvatuksessa
- Lämpötilat eivät aiheuttaneet poikkeustilanteita kummallakaan
- **Merellä kasvaneella parvella korkea kuolleisuus (66%) ja eloonjääneistä kaloista 64% selkärankavikaisia, sisämaassa kasvaneella 27 % selkärankavikaa, kuolleisuus vähäisempi, mutta korkea (37%).**

Aineiston pohjalta epätodennäköisesti vaikuttavat tekijät

Vaikuttava tekijä	Arvio vaiku-tuksesta	Perustelu
Mädin alkuperämaa	**x**	Myös muualla maailmassa havaittu ilmiö. Esiintyi aineistossa sekä ulkomaisilla, että kotimaisilla linjoilla
Haudonta ja startti-lämpötilat	**x**	. Aineiston Luken parvet olivat tuotettu luonnon lämmöissä, eivät ”lämpöpoikasia”
Rokotteet	**x**	Ongelmia sekä rokotetuilla että rokottamattomilla.
Rehut ja puutokset	**x**	Eroja eri rehuja syöneiden kalojen välillä ei ollut.
Kasvatus-tiheydet	**x**	Suomessa kasvatustiheydet eivät ole korkeita vrt. muu maailma
Veden virtausnopeus	**x**	Selkärangan kehityshäiriötä on tavattu eri jatkokasvatuspaikoilla, joiden olosuhteet eroavat virtausten ja muiden ympäristötekijöiden osalta toisistaan.
Lääkeaineet	**x**	Eniten selkärankavikoja esiintyi kokonaan lääkitsemättömällä Luken merellä kasvaneella testiparvella.

Mahdolliset taustalla vaikuttavat tekijät

Vaikuttava tekijä	Arvio vaiku-tuksesta	Perustelu
Starttirehu	**0**	Starttirehujen laadulla on suuri merkitys kalojen kehityksen kannalta, johon voi kuitenkin vaikuttaa rehuteollisuuden globaalit trendit raaka-aineissa
Nopeakasvuisuuden suosinta jalostuksessa	**0**	Nopeakasvuisuuden suosinta on yhteinen nimittäjä niin ulkomaisessa kuin kotimaisessakin kirjolohen jalostuksessa
Kasvatuksen lämpötilat	**0**	Vuosien väliset erot lämpötiloissa eivät vaikuta selittävän vuosien välistä vaihtelua selkärankavikojen esiintyvyydessä

- Globaaleja suuntauksia kalankasvatuksessa, joihin kasvattajilla rajalliset vaikutusmahdollisuudet

Todennäköisimmät vaikuttavat tekijät selkärangan kehityshäiriöihin		
Vaikuttava tekijä	**Arvio vaiku-tuksesta**	**Perustelu**
Flavobakteerit (Myös muut patogeenit mahdollisesti?)	✓	Kirjallisuudesta löytyy laajasti viitteitä, että kroonistunut flavobakterioosi aiheuttaa kaloille selkärangan kehityshäiriöitä. Luken testikalaparvet eivät kuitenkaan saaneet poikasaikana yhtään kuuria

- Luken testiparvien todennäköisesti isoin ero muihin aineiston kalaeriin oli, ettei niitä lääkitty poikaskasvatuksen aikana.
- Luken kaloilla suurimmat % selkärankavioissa.
- Flavobakteeri on yleisin poikaslaitoksilla tappioita aiheuttava taudinaiheuttaja ja vaikea torjuttava, jonka vuoksi lääkitys on usein tarpeen.

Milloin ongelmat alkavat kehittymään?

- Todennäköisesti jo melko aikaisin, joko ennen mereen siirtoa ja ensimmäisen merikesän aikana.
- Kirjallisuus tukee näkemystä varhaisesta kehittymisestä.
- Kesän vanhoissa ”töpöhännissä” aktiivisen tulehduksen merkkejä enemmän kuin perkuukokoisissa, joilla useimmilla arpi/sidekudosta ja vauriot ”vanhoja ja parantuneita”

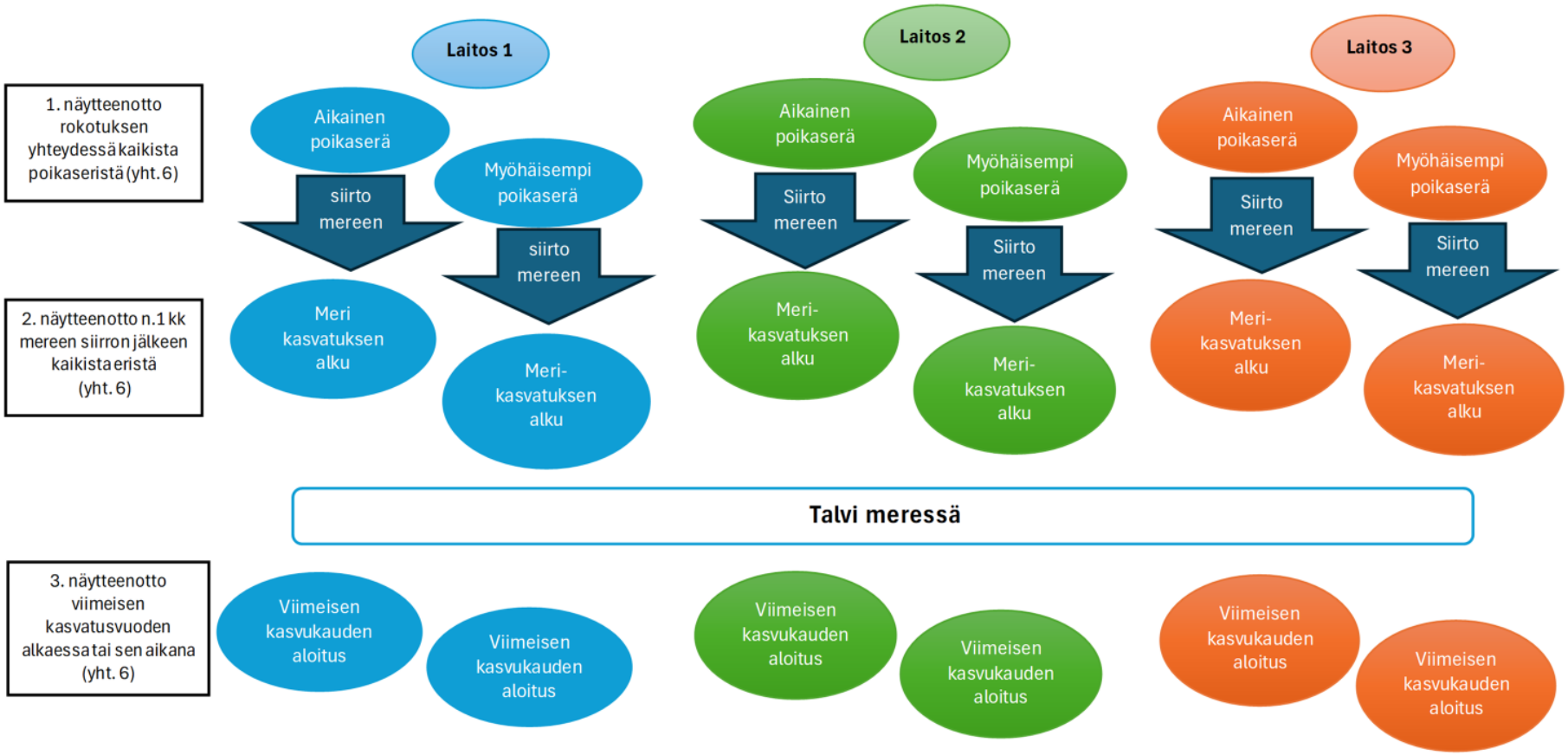
Suositukset

- Kalojen stressin välttäminen – altistaa kalat taudinaiheuttajille ja muille terveyshaasteille
- Lääkintään liittyvät huomiot:
  - Parempia lääkerehuja markkinoille?
  - Mahdollisen resistenssin selvittäminen?
  - Havaintoja tehottomista kuureista haastatteluissa.
- Tarkka laitoskirjanpito todetuista taudinaiheuttajista, annetuista lääkekuureista ja käytetyistä rehuvalmisteista
- Kalojen siirtojen yhteydessä toimitetut terveystodistukset auttavat jatkokasvattamoita toimimaan ennaltaehkäisevästi taudinpurkauksien sattuessa
- Kalojen säännöllinen tarkkailu ja toimitus tutkimuksiin tarvittaessa.

Jatkohanke: HYVÄEVÄ - Eväkulumat ja selkärankaviat

- Hankkeelle saatu kaksivuotinen rahoitus
- Tutkimuksessa mukana Ruokavirasto, Turun yliopisto, Luke ja alan yrityksiä
- Hankkeessa selvitetään eväkulumien, selkärankavaurioiden ja mahdollisesti muiden poikkeamien esiintymistä kasvatuskauden aikana ja niiden yhteyttä kalan mikrobiomiin (patogeenit erityisesti).
- Mikrobiomianalyyseillä saadaan täysin uutta tietoa

Koeasetelma



KALANVILJELY

Erityiskiitos hankkeessa mukana olleille yrityksille!

Kiitos!

Euroopan unionin osarahoittama

Lähteet

- Barnes M. 2011. A Review of Flavobacterium Psychrophilum Biology, Clinical Signs, and Bacterial Cold Water Disease Prevention and Treat, The Open Fish Science Journal, Vol. 4, Issue 1, s.40-48
- Berg, A., Rødseth, O.M., Tangerås, A. & Hansen, T. 2006. Time of vaccination influences development of adhesions, growth and spinal deformities in Atlantic salmon Salmo salar. Dis. Aquat. Org. Vol. 69, s. 239–248.
- Boglione C., Pulcini D., Scardi M., Palamara E. & Russo T. 2014. Skeletal Anomaly Monitoring in Rainbow Trout (Oncorhynchus mykiss, Walbaum 1792) Reared under Different Conditions. PLOS ONE, Vol. 9, issue 10, https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111294
- https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/ahe.12900
- Cain K. & Polinski M. 2014. Infectious diseases of coldwater fish in fresh water. teoksessa Diseases and disorders of finfish in cage culture. S. 60–113. UK: CABI.
- Chong R. 2022. Flavobacteriosis, s. 367-377
- Davison W. 1997. The Effects of Exercise Training on Teleost Fish, a Review of Recent Literature, Comparative Biochemistry and Physiology Part A, Physiology, Vol. 117, Issue. 1, s. 67-75, ISSN 0300-9629, https://doi.org/10.1016/S0300-9629(96)00284-8.
- Eissa A., Abu-Seida A., Ismail M., Abu-Elala N. & Abdelsalam M. 2021. A comprehensive overview of the most common skeletal deformities in fish., Aquaculture Research, Vol. 52, Is. 6):2391–2402, https://doi.org/10.1111/are.15125
- Fjelldal P. Madaro A., Murugesan S., Bui S., Vågseth T., Kryvi H., Pedersen A., Stien L. & Nilsson J. 2025. Vertebral deformities in cultured big size Rainbow Trout: Radiological analysis from juvenile to harvest size. Aquaculture, Vol 596. doi: 10.1016/j.aquaculture.2024.741729.
- Fontagné S., Silva N., Bazin D., Ramos A., Aguirre P., Surget A., Abrantes A., Kaushik S. & Power D. 2009. Effects of dietary phosphorus and calcium level on growth and skeletal development in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) fry. Aquaculture, Vol. 297, Issues 1–4, s. 141–50. doi:10.1016/j.aquaculture.2009.09.022.
- Hernandez L. & Hardy R.. 2020. Vitamin A functions and requirements in fish, Aquaculture research, https://doi.org/10.1111/are.14667
- Jiang X., Dong S., Liu R., Huang M., Dong K., Ge J., Gao Q. & Zhou Y. 2021. Effects of temperature, dissolved oxygen, and their interaction on the growth performance and condition of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss), Journal of Thermal Biology, Vol. 98, ISSN 0306-4565, https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.102928.
- Kause A., Ritola O., Paananen T., Wahlroos H. & Mäntysaari E. 2005. Genetic trends in growth, sexual maturity and skeletal deformations, and rate of inbreeding in a breeding program for rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). Aquaculture, Vol. 247, s. 177–187, https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.02.023
- Kent M., Yasutake W. & Hols R. 1989. Spiral swimming behavior due to cranial and vertebral lesions associated with Cytophaga psychrophila infections in salmonid fishes, Diseases of aquatic organisms, s. 11-16
- Kvellestad A, Høie S, Thorud K, Tørud B & Lyngøy A. 2000. Platyspondyly and shortness of vertebral column in farmed Atlantic salmon Salmo salar in Norway — description and interpretation of pathologic changes. Dis Aquat Org, Vol. 39, s. 97–108
- Lyall, Brianne A., Witten P., Carter C., Perrott M., Symonds J., Walker S., Waddington Z., & Amoroso G. 2024. The problems with pin bones: Intermuscular bone development and function in salmonids and their implications for aquaculture. Reviews in Aquaculture
- Madsen L. & Dalsgaard I. 1999. Vertebral column deformities in farmed rainbow Oncorhynchus mykiss. Aquaculture, Vol. 171, Issues 1–2, s. 41-48. https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00427-X
- Madsen L. Arnbjerg J. & Dalsgaard I. 2001. Radiological examination of the spinal column in farmed rainbow trout Oncorhynchus mykiss (Walbaum): experiments with Flavobacterium psychrophilum and oxytetracycline. Aquac Res, Vol 32, s. 235–241
- Owen M., Eynon B., Woodgate S., Davies S. & Fox S. 2012. Increased water current induces micro-architectural changes to the vertebral bone of juvenile rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). Aquaculture, Vol. 344–349, S. 141-146, https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.03.001
- Pavlin K., Papić B., Zdovc I., Knific T., Gruntar I., Sitar R., Vengušt D., Seničar M., Ocepek M. & Švara T. 2025. Phenotypic and Genotypic Antimicrobial Resistance Profiles of Flavobacterium psychrophilum and Flavobacterium branchiophilum Isolated From Rainbow Trout (Oncorhynchus mykiss) in Slovenia. Journal of Fish Diseases, https://doi.org/10.1111/jfd.14119
- Poirier Stewart N., Deschamps M., Witten P., Le Luyer J., Proulx E., Huysseune A., Bureau D. & Vandenberg G. 2014. X-ray-based morphometrics: an approach to diagnose vertebral abnormalities in under-mineralized vertebrae of juvenile triploid all-female rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) fed with a phosphorus deficient diet. Journal of Applied Ichthyology, vol. 30, issue. 4, s. 796–803. doi:10.1111/jai.12520
- Smith-Vaniz W., Kaufman L. & Glowacki J. 1995.Species-specific patterns of hyperostosis in marine teleost fishes. Marine Biology, vol. 121, s.573–580. https://doi.org/10.1007/BF00349291
- Toften H. & Jobling M. 1996. Development of spinal deformities in Atlantic salmon and Arctic charr fed diets supplemented with oxytetracycline. J Fish Biol, Vol. 49, s. 668–677
- Waśkiewicz A. & Irzykowska L. 2014. Flavobacterium spp. - Characteristics, Occurrence, and Toxicity, Teoksessa Encyclopedia of Food Microbiology: Second Edition, Elsevier Inc. s. 938–42
- Witten P., Gil-Martens L., Hall B., Huysseune A. & Obach A. 2005. Compressed vertebrae in Atlantic salmon Salmo salar: evidence for metaplastic chondrogenesis as a skeletogenic response late in ontogeny. Dis. Aquat. Org. Vol. 64, s. 237–246
- Witten P., Gil-Martens L., Huysseune, A. Takle, H. & Hjelde K. 2009. Towards a classification and an understanding of developmental relationships of vertebral body malformations in Atlantic salmon (Salmo salar L.). Aquaculture, Vol. 295, Issues 1-2, s. 6–14. doi:10.1016/j.aquaculture.2009
- Ytteborg E., Baeverfjord G., Torgersen J., Hjelde K., & Takle H. 2010. Molecular pathology of vertebral deformities in hyperthermic Atlantic salmon (Salmo salar). BMC Physiology, Vol. 10, issue 12.