



**RUOKAVIRASTO**  
Livsmedelsverket • Finnish Food Authority



**SWEDISH  
VETERINARY  
AGENCY**

# Raportti Tornionjoen lohien terveystutkimuksista 2020 -2024



## Yhteenveto

Lohien terveystutkimukset alkoivat vuonna 2014 Tornionjoella, kun havaittiin runsaasti kuolemaisillaan olevia tai oireilevia, kuten ihoverestystä omaavia, lohia. Tästä lähtien Ruotsin eläinlääkintävirasto (SVA) ja Ruokavirasto (RV) ovat tehneet yhteistyötä Tornionjoen lohien terveyden seurannassa. Tässä raportoimme Tornionjoen lohikantojen terveystutkimuksista vuosina 2020–2024 tarkastelemalla pyydettyjen lohien yleistä terveydentilaa, mukaan lukien fysiologiset, morfometriset ja patologiset tutkimukset, taudinaiheuttajien esiintymisen seuranta sekä erityisesti vatsanalueen punoituksen ja ihon verestyksen syiden tutkimukset, jotka vuodesta 2019 lähtien on tunnettu nimellä Red Skin Disease (RSD) Vuosien 2020 - 2014 aikana tutkittiin 473 lohta yleisotannassa, jossa arvioitiin kalojen yleinen terveydentila fyysisten, verinäytteiden ja kudosparametrien perusteella. Lisäksi 36 lohta tutkittiin kohdennetusti sairausoireiden vuoksi.

Tutkimuksen painopisteitä olivat RSD:n mahdollisten syiden selvittäminen, taudinaiheuttajien tunnistaminen sekä muiden lohiterveyden seurannan kannalta hyödyllisten parametrien kerääminen. Tornionjoen lohien yleiskunto oli hyvä. Lähes puolella yleisotannassa tutkituista lohista havaittiin vaurioita, pääasiassa mekaanisia vammoja/arpeutumista ja ihon verestystä. Muutamissa tapauksissa ihoverenvuodon voitiin varmuudella todeta johtuvan muusta kuin pyynnistä. Kun tarkasteltiin vain oireellisia lohia, yleisimmät löydökset olivat vesihome ja ihoverenvuodot. Patogeenisia bakteeri- tai virusinfektioita ei havaittu, lukuun ottamatta yhtä lohta, josta löydettiin piscine orthoreovirus (PRV). Tähän virukseen liittyvää sydän- ja luustolihastulehdusta (HSMI) ei kuitenkaan havaittu, mikä viittaa lohien olleen viruksen oireeton kantaja. RSD:n taustalla saattaa olla kirjolohella red mark -oireyhtymää aiheuttava *Midichloria*-tyyppistä organismeja muistuttava solunsisäinen organismi, mutta kyseisen organismin rooli on kuitenkin epäselvä sen viljelyn ja tunnistamisen ollessa vaikeaa. *Saprolegnia parasitica*, vesihometta aiheuttava patogeeninen oomykeetti, esiintyi Tornionjoen lohissa ja tulokset viittaavat siihen, että se on erityisen ongelmallinen syksyisin ja saattaa vaikuttaa lohien selviytymiseen kutuun saakka. PRV:n ja mahdollisten MLO-tyyppisten organismien seuranta ja vesihomeen syiden selvitystä suositellaan edelleen jatkettavaksi Tornionjoen lohien terveyden seurannassa.

Ei kuolemaan johtavia terveystekijöitä (morfometriset mittaukset, näkyvät vauriot, veriarvot sekä verisolujen koostumus ja morfologia) arvioitiin. Verensokeria ja laktaattia tutkittiin erityisesti, koska niiden arvot poikkesivat viitearvoista. Suurin osa vaihtelusta tulkittiin kuitenkin johtuvan pyynnin ja voimakkaan rasituksen aiheuttamasta stressistä sairauden sijaan. Yksikään parametri ei itsessään riittänyt terveyden arviointiin. Sen sijaan lohien terveyttä tulisi seurata kiinteän muuttujapaneelin avulla. Tämä paneeli sisältää morfometriset mittaukset, visuaalisen terveydentilan arvioinnin ja pisteytyksen, veriarvot ja verisolujen morfologian. Lisäksi näytteitä taudinaiheuttajien eristämiseksi ja histopatologiaa varten tulisi aina ottaa oireellisista lohista, sekä tarvittaessa myös oireettomista yksilöistä. Myös veden lämpötilan ja virtaaman (joessa), koskien läheisyyden ym. kirjaaminen ovat tärkeitä huomioitavia tietoja veriarvojen tulkinnassa.

Ruokaviraston raportti

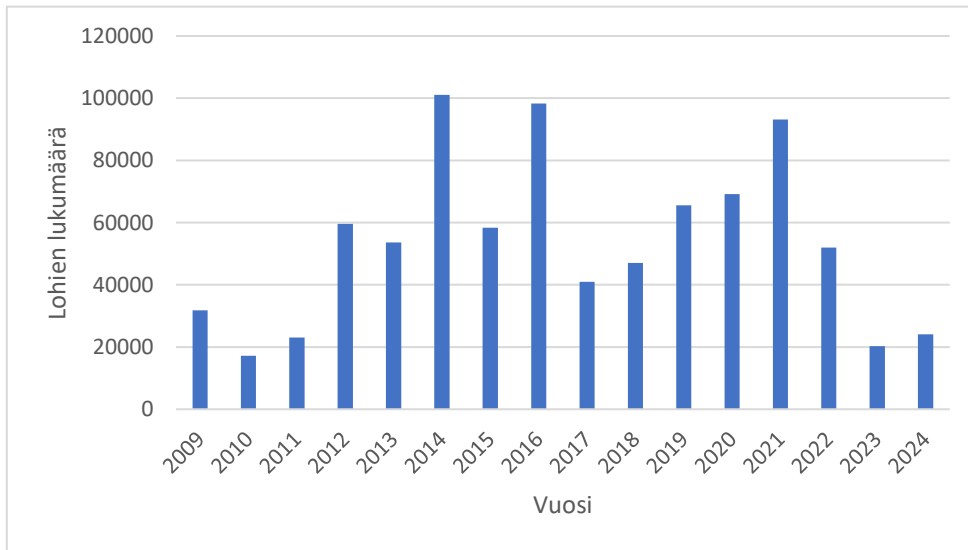
Päiväys:	8.12.2025
Asianumero:	6778/05.08/2025
	Ruokavirasto
Linja, osasto ja/tai yksikkö:	Eläinterveystutkimuksen yksikkö
Hyväksyjä:	Rahoittajat: Lapin Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (ELY-keskus) & Ruotsin meri- ja vesivarainhallintovirasto (Swedish Agency for Marine and Water Management; SwAM)
Laatija/laatijat:	Charlotte Axén (Swedish Veterinary Agency), David Persson (Swedish Veterinary Agency), Marjukka Rask (Ruokavirasto), Tiina Korkea-aho (Ruokavirasto), Riikka Holopainen (Ruokavirasto)
Lisätietoja:	Etusivun kuva: jokiveneitä Lappealla, Tornionjoki. <i>Kuvaaja:</i> Marjukka Rask. Suomennoksessa käytetty soveltuvin osin Microsoft 365 Copilot tekoälypalvelua.

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>Yhteenveto</b> .....	<b>1</b>
<b>Tausta</b> .....	<b>4</b>
Aineisto ja menetelmät .....	6
Näytteenottoaikat .....	6
Näytteet .....	6
Laboratorioanalyysit .....	8
Tutkimukset terveyden ja mitattujen muuttujien välisistä yhteyksistä .....	10
Tilastollinen analyysi .....	10
Tulokset.....	10
Näytteenotot, joissa aineistona sekä terveitä että oireellisia lohia .....	10
Oireellisten lohien näytteenotto .....	15
Laboratoriotutkimukset .....	17
Mitattujen muuttujien yhteys terveydentilaan .....	25
Pohdinta .....	30
Johtopäätökset.....	36
Lähteet .....	38
Liite 1 – Terveysindeksien pisteytys (HEALTH1, HEALTH2) .....	41

## Tausta

Tornionjoki muodostaa rajan Suomen ja Ruotsin välillä, ja se on suurin joki Itämeren alueella, jossa Atlantinlohi (*Salmo salar*) ja muut lohikalat voivat lisääntyä luonnollisesti. Joen tuotantokapasiteetin on arvioitu olevan 1 318 000 lohien ja meritaimenen smolttia (HELCOM, 2011). Vuonna 2012 kutumaan palaavien lohien määrä alkoi kasvaa ja saavutti huippunsa, noin 100 000 yksilöä, vuosina 2014 ja 2016 (**Kuva 1**). Tämän jälkeen palaajien määrä on vaihdellut 40 000–95 000 yksilön välillä vuosittain, kunnes vuosina 2023 ja 2024 tapahtui äkillinen romahdus, jolloin määrät olivat poikkeuksellisen alhaiset verrattuna edeltäviin 11 vuoteen (**Kuva 1**).



**Kuva 1.** Tornionjokeen palaavien lohien määrä vuosina 2009–2024, laskettuna kaikuluotaimella Kattilankoskella (Luonnonvarakeskus. Kalahavainnot: [kalahavainnot.luke.fi/fi/seurannat/tornionjoen-nousulohiseuranta/](http://kalahavainnot.luke.fi/fi/seurannat/tornionjoen-nousulohiseuranta/)).

Huoli lisääntyneestä määrästä sairaita ja kuolleita vaelluslohia heräsi jo kesä–heinäkuussa 2014. Lohista raportoitiin löytyneen ihon verestystä, haavoja ja vesihometta. Ongelma uusiutui seuraavana vuonna, ja vuonna 2016 Ruotsin eläinlääkintävirasto (SVA) ja Ruokavirasto (RV) saivat rahoitusta asian tutkimiseksi. Sen jälkeen olemme tehneet yhteistyötä lohien, ja jossain määrin myös meritaimenten terveydentilan tarkkailemiseksi Tornionjoessa. Vuonna 2016 suoritettiin näytteenottoja tilanteen selvittämiseksi, tavoitteena patologian ja mahdollisten infektioetekijöiden tunnistaminen (Axén & Koski 2017). Useita lohien terveyteen vaikuttavia tekijöitä havaittiin. Sairaissa lohissa kuvailtiin vatsanalueen ihoverestystä, UDN:n kaltaisia vaurioita, mekaanisia vammoja ja tuntemattomasta syystä syntyneitä haavoja. Toissijaista *Saprolegnia parasitica* -oomykeettiä, muiden oomykeettien tai sienten aiheuttamaa vesihomeinfektioita havaittiin myös, kyseisen komplikaation ollessa usein kuolinsyy. Muutamissa haavoittuneissa lohissa havaittiin eri bakteereja, mutta yhteistä taudinaiheuttajaa verestykselle tai haavoille ei voitu osoittaa. Lohista, joilla oli ihon punoitusta ja verestystä, lähetettiin muutamia näytteitä sekvensointiin, jossa havaittiin lyhyitä sekvenssejä herpesviruksista, iridoviruksista ja totiviruksista (Axén & Koski 2017; SVA, 2017). Samankaltaisia vaurioita on raportoitu viljellyillä lohikaloilla, esimerkiksi kirjolohella esiintyvän red mark -syndrooman (RMS) yhteydessä. RMS ei yleensä aiheuta korkeaa kuolleisuutta, mutta sen aiheuttamat ihovauriot sen sijaan altistavat kirjolohia opportunistisille infektioille, kuten bakteereille ja vesihomeille. Midichloria-kaltainen organismi (MLO) on tunnistettu mahdolliseksi RMS:n aiheuttajaksi (Metselaar ym., 2020). Vuonna 2018 tutkittiin eri fysiologisten parametrien yhteyttä lohien verenvuoto-oireyhtymään (SVA, GU & SLU, 2019). Useat fysiologiset poikkeamat yhdistyivät sairauteen (SVA, GU & SLU, 2019; Weichert ym., 2021), mutta mitään erityistä taudille "ajavaa tekijää" ei voitu tunnistaa. Tiamiinin puutosta, joka liittyy lohienpoikasten M74-oireyhtymään ja aikuisten lohien terveydentilaan kutuaikana

(Vuorinen ym. 2021), ei voitu osoittaa. Vuonna 2019 Oslossa pidetyssä kansainvälisessä työpajassa lohien vatsanalueen punoituksen ja ihon verenvuoto-oireyhtymälle annettiin nimi red skin disease (RSD). Lisätutkimuksia tarvittiin syy-yhteyksien selvittämiseksi, ja terveydentilan seuranta on jatkettu lisätietojen keräämiseksi ja asianmukaisen seurantajärjestelmän kehittämiseksi.

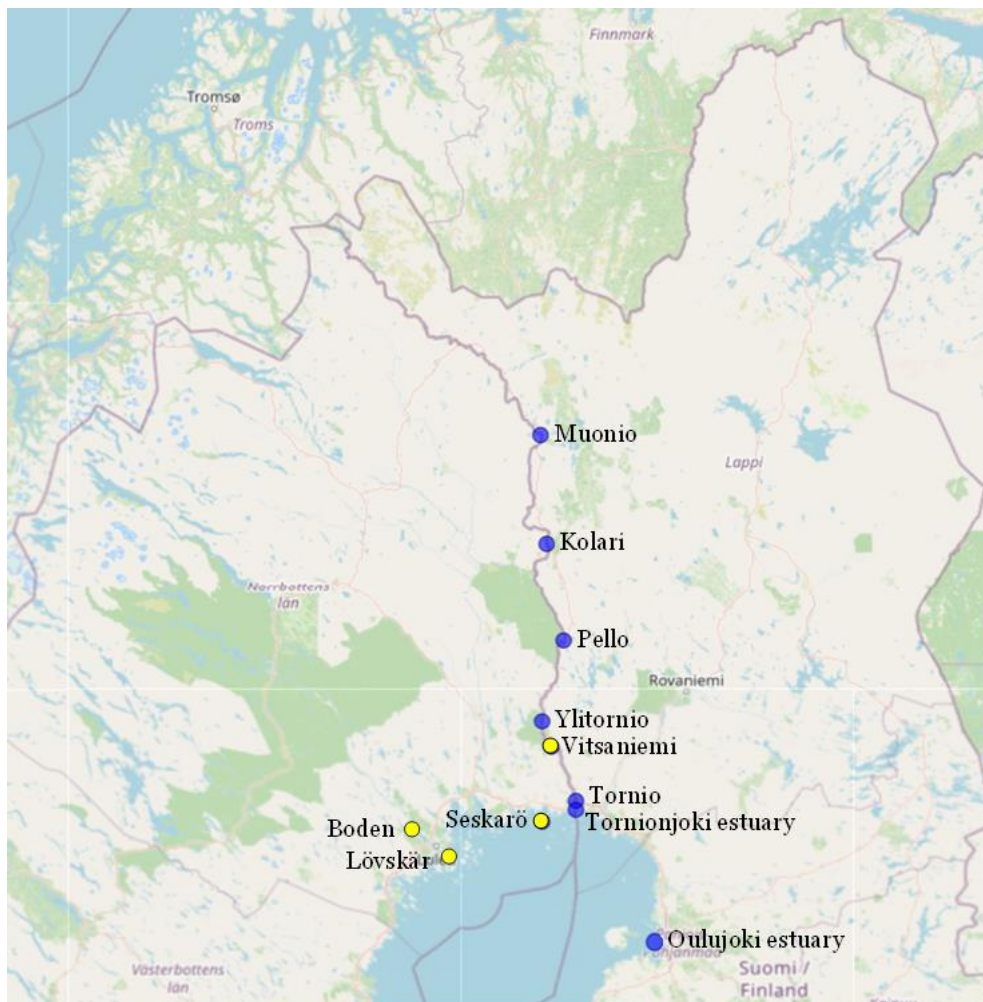
Vuodesta 2020 lähtien SVA ja RV ovat vuosittain seuranneet Tornionjoen lohien terveydentilaa. Seurantaan kuuluu 1) pyydettyjen lohien yleisen terveydentilan arviointi, mukaan lukien morfometriset tiedot, nekropsia, veri- ja muut parametrit; 2) mahdollisten esiintyvien taudinaiheuttajien tarkkailu; 3) erityisesti RSD:n syiden tutkiminen.

Lisäksi Ruotsissa ja Suomessa on raportointisivusto, jossa yleisö voi ilmoittaa sairaista tai kuolleista kaloista. Kaikkien kalalajien havainnot voidaan raportoida, mutta sivusto perustettiin alun perin vuonna 2016 lohien sairaustilanteen takia. Sivusto on tärkeä keino seurata Itämeren lohikannan terveyttä. Kuvien tai lyhyiden videoiden lisääminen havainnoista on vapaaehtoista mutta suositeltavaa, sillä ne auttavat tilanteen totuudenmukaisessa tulkinnassa. Yhteystietojen lisääminen on myös vapaaehtoista mutta hyödyllistä, sillä se mahdollistaa ilmoittajan tavoittamisen ja tältä lisätietojen saamisen tarvittaessa. Lisäksi yhteystietojen antaminen helpottaa palauteviestien lähettämistä havainnoista ilmoittajan sitä toivoessa. Sivusto on käytettävissä osoitteessa: <https://rapporterafisk.sva.se>, ja näkyy myös suomen kielellä suomalaisesta IP-osoitteesta käytettäessä kesäkuusta 2025 lähtien.

## Aineisto ja menetelmät

### Näytteenottoapaikat

Lohinäytteitä kerättiin eri aikoina ja eri paikoissa Ruotsin sekä Suomen puolella jokea. Näytteenottoapaikat on merkitty **kuva 2**. Näytteenotot toteutettiin joko yleisinä otantoina populaation terveydentilan arvioimiseksi tai kohdennetusti näytteiden saamiseksi lohista, joilla sairauden oireita.



**Kuva 2:** Vuosien 2020–2024 näytteenottoapaikat. Suomenpuoleiset näytteenottoapaikat on merkitty sinisin pistein; Ruotsinpuoleiset keltaisin.

### Näytteet

#### *Ruotsi*

SVA suoritti yleisiä näytteenottoja paikallisten kalastajien avustuksella, ja vuonna 2021 myös Vattenfall Vattenkraft AB:n avulla. Tavoitteena oli ottaa joka vuosi näytteet 20 lohista Tornionjoen yläjuoksulta ja 20 lohista läheltä joen laskualuetta (saaristosta). Vuonna 2021 otettiin lisäksi vertailunäytteitä Luulanjoki (Luleälven) -joesta, jossa lohikannan elvyttäminen tapahtuu istutusten kautta. Vuonna 2020 näytteenotto tehtiin kahteen kertaan – kerran kutuvaelluksen alkuvaiheessa (kesäkuun puolivälissä) ja uudelleen neljä viikkoa myöhemmin. Yläjuoksun näytteenotto toteutettiin Risuddenissa/Vitsaniemessä, ja laskualueen näytteenotto Seskarössä. Luulanjoen laskualueen näytteenotto toteutettiin Lövskärissä ja yläjuoksun näytteenotto Bodenin vesivoimalaitoksella. Joessa lohettä pyydystettiin verkolla (Vitsaniemi) tai kutulaitoksen kalahissillä (Boden), ja saaristossa käytettiin joko ponttoonirysä (Seskarö) tai yhdistelmärysiä (Lövskär). Vuosina 2020–2022 tavoitteena oli pitää lohettä elossa pyynnistä näytteenottoon asti, mutta teknisten haasteiden vuoksi tämä menetelmä jouduttiin hylkäämään vuonna 2023 laskualueen

näytteenottojen osalta. Vitsaniemessä lohien pitäminen hengissä näytteenottoon saakka onnistui helpommin.

Lohet lopetettiin päähän kohdistetulla tainnutusiskulla ja sitä seuranneella verenlaskulla. Verenlasku suoritettiin vetämällä heparinisoituun ruiskuun ja neulaan 10–20 ml verta joko sydäimestä tai kaudaalilaskimosta, ja tarvittaessa yksi tai kaksi kiduskaarta leikattiin verenvuodon tehostamiseksi. Tämän jälkeen suoritettiin nekropsia; kalat valokuvattiin ja ulkoiset ja sisäiset poikkeamat sekä suoliston loismäärät (*Eubothrium* sp.) kirjattiin ylös. Ulkoiset poikkeamat pisteytettiin seuraavasti:

UDN-tyyppinen (muu kuin mekaaninen ihonekroosi päässä): 1) vähäinen, 2) merkittävä–laaja  
Ihon puntoitus ja verestys: 1) punoitus, 2) akuutti verestys (mahdollisesti mekaaninen), 3) subakuutti verestys, 4) krooninen/paraneva verestävä leesio

Mekaaniset vauriot kehossa: 1) pyynnistä johtuva suomuvaurio, 2) akuutit hiertymät, 3) akuutti vaurio, 4) subakuutti vaurio, 5) paraneva vaurio, 6) arpikudos

Ei-mekaaniset vauriot kehossa: 1) pinnalliset eroosiot, 2) suomuvauriot (muut kuin pyynnistä johtuvat), 3) akuutit haavat, 4) subakuutit haavat, 5) krooniset haavat, 6) loiset

Evävauriot: 1) punoitus, 2) akuutti mekaaninen vaurio, 3) krooninen mekaaninen vaurio, 4) evämätä, 5) parantunut vaurio

Sieni-infektio: 1) alkuvaihe/minimaalinen, 2) merkittävä/laaja

Ruumiinsisäisille poikkeamille ei tehty erillistä pisteytystä, mutta ne kuvattiin tarkasti nekropsia pöytäkirjaan.

Loismäärän (*Eubothrium* sp.) arvioinnissa käytettiin asteikkoa 0) ei loisia, 1) vähäinen, 2) merkittävä, 3) laaja, 4) massiivinen.

Biologisista parametreista kirjattiin sukupuoli, pituus, paino, maksan paino, sukuelinten paino sekä ruoansulatuskanavan paino. Kuntoindeksi (CF) laskettiin Fultonin kaavan mukaan:  $CF = (\text{somaattinen paino } g \times 100) / (\text{pituus cm})^3$ . Maksan somaattinen indeksi (LSI), sukuelinten somaattinen indeksi (GSI) ja ruoansulatuskanavan somaattinen indeksi (GISI) laskettiin kaavalla:  $(\text{indeksielimen paino } g) / (\text{somaattinen paino } g \times 100)$ .

Kaikista lohista kerättiin seuraavat näytteet: Veri laboratoriotutkimuksia varten (hematologiset ja metaboliset parametrit sekä tiamiinitilanne) sekä verisivelynäyte puna- ja valkosolujen sytologista tutkimusta varten. Maksan, munuaisten, pernan ja sydämen näytteet histopatologiaa varten fiksoitiin 10 % formaldehydissä. Vuonna 2021 myös näyte umpilisäkkeistä fiksoitiin histopatologista loistilanteen kontrollia varten

Vuosina 2021–2022 pienet palat munuaista, sydäntä ja pernaa yhdistettiin kymmenen lohien erissä Eagle's minimal essential -kasvualustaan (EMEM, LGC) lisättyinä 10 % FBS:llä (fetal bovine serum), 1 % penisilliini-streptomysiiniä (PS) ja 1 % L-glutamiinia virusisolaatiota varten.

Oireisista lohista tehtiin kohdennettuja otantoja: UDN-tyyppisten muutosten tai muiden ihovaurioiden ollessa kyseessä ihonäytteet säilöttiin formaldehydiin. Lisäksi viidestä lohesta otettiin sydämen ja keskimunuaisten näytteet RNAlateriin (Qiagen) SAV-analyysiä varten. Vuosina 2021–2024 lohista, joilla oli verestystä vatsapuolen iholla säilöttiin RNAlateriin MLO-analyysiä varten, ja vuonna 2022 kyseisiltä yksilöiltä otettiin myös selkäpuolen tervettä ihoa vertailuaineistoksi.

Epäiltäessä bakteeri-infektiota otettiin viljelynäytteitä vaurioituneista elimistä (esim. iho, perna) ja yleisen infektion epäilyssä myös munuaisesta. Vesihomeen (oomykeetit/sienet) yhteydessä otettiin ihonäytteitä viljelyä varten.

### Suomi

Vuonna 2020 RV toteutti näytteenoton Luonnonvarakeskus Luken siitoslohien ja meritaimenten pyynnin yhteydessä 11.–16.6. Tornionjoen laskualueella paikallisten kalastajien avustuksella sekä rysäpyydyksin, ja 26.–27.6. Ylitorniolla paikallisten kalastajien verkkokalastuksen yhteydessä. Näistä otannoista kirjattiin kaikkien lohien näkyvä terveydentila, ja Tornionjoen laskualueella pyydettyistä lohista myös sukupuoli, paino ja pituus. Luke toimitti Tornionjoen laskualueella rysäpyynnissä pyydettyjen terveiden lohien morfometriset tiedot, kun taas RV keräsi tiedot pääasiassa oireisista lohista. Kohdennettu näytteenotto tehtiin sairaista

lohista. Pernasta, munuaisista ja sydäimestä otetut näytteet siirrettiin virusisolaatiota varten minimal essential -kasvualustalle (MEM, Biowest), jonka koostumukseen kuului 10 % FBS (fetal bovine serum), 2 % PS (penisilliini-streptomysiini), 1 % L-glutamiini ja 1 % NEAA (non-essential amino acids), ja/tai RNAlateriin virologisia tai bakteriologisia PCR-analyyssejä varten. Bakteriologisia näytteitä otettiin munuaisesta, pernasta ja sydäimestä. Lohista joilla oli vesihometta otettiin näytteet munasienten/sienien eristystä varten, ja lohista joilla oli ihovaurioita otettiin bakteeriviljelynäytteitä. Lisäksi 28 lohien verinäytteet kerättiin tiimiinin määritystä varten.

Näiden näytteenottojen lisäksi RV suoritti vuosina 2020–2024 näytteenottoja myös oireisista lohista, joilla todettiin verestystä tai muita leesioita. Tutkimukseen sisällytettiin myös kaksi lohta, joissa vaurioita ei lähemmässä tarkastelussa havaittu. Näytteitä kerättiin Tornionjoen pääuomasta ja Muonionjoelta, Perämeren rannikolta Tornionjoen laskualueelta sekä Oulunjoesta tai sen laskualueelta (**Kuva 2**). Tähän kohdennettuun näytteenottoon pyydettiin yleisöltä apua vuosina 2020, 2021 ja 2024. Löytäessään sairaita lohia tai taimenia rannikon läheisyydestä ja saadessaan pyydettyä nämä verkoin tai käsin, kalat toimitettiin RV:lle tautitutkimuksia varten. Vuosina 2022 ja 2023 oireiset lohet kerättiin rysäpyynnistä ja viehekalastajilta. Näinä kahtena vuotena näytteenotot toteutettiin yhteistyössä hankkeen kanssa (Härkönen ym. 2024), jota osa rahoitti kalastuslupatutkimusrahasto (ELY-keskus Lappi). Oireisille lohille suoritettu näytteenotto vastasi RV:n Tornionjoen laskualueella ja Ylitorniossa suoritettuja näytteenottoja. Useimmilta oireisilta lohilta arvioitiin suoliston loismäärä, ja lisäksi näytteet ihosta, maksasta sekä muista mahdollisesti vaurioituneista sisäelimestä säilöttiin formaldehydiin histopatologista tutkimusta varten.

## Laboratorioanalyysit

### Veri

#### Yleiset veriparametrit (Ruotsi)

Muutama veripisara käytettiin hematokriitin (Htc) (HAEMATOKRIT 200, Andreas Hettich GmbH & Co. KG, Tuttlingen, Saksa), hemoglobiinipitoisuuden (Hb) (HemoCue® Hb 201+ System, HemoCue AB, Ängelholm, Ruotsi), glukoosipitoisuuden (HemoCue® Glucose 201 RT Analyzer, HemoCue AB, Ängelholm, Ruotsi) sekä laktaattipitoisuuden määrittämiseen (Lactate Scout™ Vet, EKF Diagnostics GmbH, Barleben, Saksa) muutaman minuutin sisään näytteenotosta.

#### Tiamiinianalyysi

1 ml kokoverinäyte otettiin tiamiinipitoisuuden määrittystä varten ja pakastettiin välittömästi kuivajälle Eppendorf-putkessa (SVA) tai seerumiputkessa (RV). Kokotiamiini, vapaa tiamiini, tiamiinimonofosfaatti (TMP) ja tiamiinipyrofosfaatti (TPP) analysoitiin RV:n toimesta Kosken ym. (1999) menetelmän mukaisesti.

#### Veri tutkimuskäyttöön (SVA)

Loput verinäytteet sentrifugointiin (5 000 × g, 3 min) erotettiin plasma ja verisoluerät. Plasma pakastettiin välittömästi kuivalle jälle ja säilytettiin –80 °C:ssa tulevia tutkimuksia varten. Plasmaa ei analysoitu tässä vaiheessa, mutta se säilytettiin varastona myöhempää käyttöä varten. Vuonna 2020 erotellut erytrosyytit pakastettiin myös kuivalle jälle jatkoanalyysia varten.

#### Taudinaiheuttajien havaitseminen

Virusisolaatio soluviljelmässä tehdään rutiininomaisesti EU:n delegoidun asetuksen (EU) 2020/689 sekä vertailulaboratorion (EURL) virusperäisen verenvuotoseptikemian eli VHS-taudin (hemorrhagic septicemia virus, VHSV) ja tarttuvan vertamuodostavan kudoksen kuoliotaudin eli IHN-taudin (infectious hematopoietic necrosis virus, IHNV) diagnostiikkaohjeiston mukaisesti niin SVA:ssa kuin RV:ssa. Tämän menetelmän avulla on mahdollista tunnistaa monia muita virustauteja VHS- ja IHN-tautien lisäksi, kuten tarttuva haimakuoliotauti (infectious pancreatic necrosis virus, IPN) ja epitsoottinen vertamuodostavan kudoksen kuoliotauti (epizootic hematopoietic necrosis virus, EHNV). Lyhyesti sanottuna näytteet siirretään kahteen solulinjaan (Bluegill fry, BF-2, sekä Fathead minnow, FHM, tai BF-2 ja Epitheloma Papulosum

Cyprini, EPC). Näytteitä viljellään 15 °C:ssa viikon ajan, minkä jälkeen ne siirretään tuoreisiin soluihin vielä viikoksi. Soluja tarkkaillaan kolmen–neljän päivän välein sytopaattisen vaikutuksen (CPE) varalta, eli virusperäisen solukuoleman esiintymisen varalta. Mikäli CPE havaitaan, virustyyppi määritetään ensin entsyymivälitteisen immunosorbenttimäärityksen (ELISA) avulla ja varmistetaan kvantitatiivisella polymeraasiketjureaktiolla (qPCR) tai käänteiskopioijaentsyymiä hyödyntävällä RT-qPCR:llä. Monet virukset genotyyppitetään lisäksi sekvensoimalla.

Niiden virusten kohdalla, joita on vaikea tai mahdotonta viljellä soluviljelmässä, analyysit suoritettiin eri lailla. Tarttuva lohen anemia-tauti eli ISA-tauti (infectious salmon anemia virus, ISAV) määritettiin RT-qPCR-menetelmän avulla vertailulaboratorion (EURL) diagnostiikkaohjeiston mukaisesti SVA:ssa (ruotsalaiset näytteet), RV:ssa (osa suomalaisista näytteistä) tai Tanskan teknillisen yliopiston vesistöosastossa (DTU Aqua; osa suomalaisista näytteistä). Lohikalojen alfaviruksen (salmonid alphavirus, SAV) seulonta suoritettiin RT-qPCR:llä SVA:ssa ja RV:ssa Hodneland ym. mukaisesti (2006). Lohen kiduspoxviruksen (SGPV, salmonid gill pox virus) tutkimus suoritettiin qPCR:llä ja kalamyokardiittiviruksen (piscine myocarditis virus, PMCV) RT-qPCR:llä DTU Aqua:ssa. Kalan orthoreovirus (piscine orthoreovirus (PRV-1 ja PRV-3) seulonta tehtiin RT-qPCR:llä DTU Aqua:ssa vuosina 2020–2021, ja vuosina 2022 ja 2023 RV:ssa seulottiin RT-qPCR:llä PRV-1, PRV-2 ja PRV-3 (Zhao ym. 2021).

Bakteeriviljelyt tehtiin SVA:ssa hevosveri-TYES-agar-maljoille (tryptone yeast extract salts) joita inkuboitiin 20 °C:ssa jopa viisi päivää. RV:ssa näytteitä viljeltiin jopa seitsemän päivää lammassuolagarilla, Shotts-Waltman-agarilla (inkubointi 20 °C) sekä TYES-agarilla (inkubointi 15 °C). Mikäli viljelyssä kasvoi sekakasvua, siirrettiin sekundääriviljelyyn vain primäärimaljalta merkitykselliseksi tunnistetut pesäkkeet. Puhtaista primääri- tai sekundääriviljelyistä bakteerilaji määritettiin biokemiallisin menetelmin ja/tai MALDI-TOF-massaspektrometrialla. Bakteeriperäisen munuaissairauden (BKD) analyysi tehtiin munuaissäilykkeistä viljelyllä selektiivisellä munuaissairaus-agarilla (SKDM) 16,5 °C:ssa kuuden viikon ajan tai PCR-menetelmän avulla (RV). DTU Aqua tutki osan RV:n BKD-näytteistä qPCR:n avulla. *Piscirickettsia salmonis*, eli lohikalojen rickettsia-septikemian (SRS) aiheuttajan analyysi tehtiin PCR:llä DTU Aqua:ssa. Midichloria-kaltaisen organismin (MLO) analyysi tehtiin qPCR:llä DTU Aqua:ssa.

Selvät tai mahdolliset vesihometapaukset (oomykeetti-/sieni-infektiot) viljeltiin SVA:ssa peptoni-glukoosi (PG-1) agarilla ja RV:ssa Sabouraud-agarilla 15 °C:ssa 7–14 päivän ajan. Vuosina 2020–2022 RV tunnisti sekvensoinnin avulla (Engblom ym. 2023) kahdesta lohesta viljellyn rihmaston lajitasolle. Vuonna 2023 sieni-/oomykeettilajimääritys tehtiin qPCR:n, PCR:n ja ITS-geenialueen sekvensoinnin avulla (Härkönen ym. 2024). Ruotsissa käytettiin in-house qPCR-menetelmää ITS-alueelle *Saprolegnia*-suvun, *S. parasitican* tai *S. diclina*-lajien tunnistamiseen, mikäli *Saprolegnia*-tyyppistä rihmastoa kasvoi agarille.

Osa todetuista suolistoloisista tunnistettiin RV:ssa ITS-sekvensoinnin avulla. Loisen DNA eristettiin Qiagenin Mini Kit:in avulla ja ITS1-5.8S-ITS2-alueen sekvenssi monistettiin käyttäen PCR-menetelmää (Zhu ym. 1998). Saatu sekvenssi vertailtiin GenBank-tietokantaan BLAST-työkalun avulla ([Nucleotide BLAST: Search nucleotide databases using a nucleotide query](#)).

### Histologia ja sytologia

Fiksaation jälkeen kudokappaleet leikattiin ohuiksi siivuiksi ja asetettiin kasetteihin valua, leikkausta ja värjäystä varten. Sydän pyrittiin mahdollisuuksien mukaan leikkaamaan keskitasosta kärjestä tyveen, jotta molemmat kammiot, läpät, etinen ja bulbus arteriosus voitiin arvioida. SVA:ssa ihokudoksille tehtiin kalkinpoisto ennen valua suomujen (vartalo) ja alla olevan ruston/luun (kuono) vuoksi. Kudokset valettiin parafiiniin, leikattiin, kiinnitettiin objektilaseihin ja värjättiin hematoksyliini-eosiinilla histopatologian laboratoriomme vakiomenetelmien mukaisesti. Leikkeitä tarkasteltiin 40–1000x suurennuksella. Verisivelyt fiksoitiin metanolissa ja värjättiin Giemsa- tai Diff-quick -menetelmällä, minkä jälkeen niitä tarkasteltiin 400–1000x suurennuksella.

Tutkimukset terveyden ja mitattujen muuttujien välisistä yhteyksistä

Terveysindeksi (HEALTH1) luotiin ulkoisten näkyvien vaurioiden perusteella lohissa, jotka oli otettu yleisnäytteenotoissa SVA:n toimesta. Lohia arvioitiin asteikolla:

1: terve

2: lievästi heikentynyt terveys

3: kohtalaisesti heikentynyt terveys ilman sekundaarisen sieni/oomykeetti-infektion merkkejä

4: kohtalaisesti tai vakavasti heikentynyt terveys varhaisella sieni/oomykeetti-infektioilla

5: laaja sieni/oomykeetti-infektio, vakava/kuolemaan johtava sairaus

Luokkien määrän vähentämiseksi ja sen selvittämiseksi, oliko eroa lohien välillä, joilla oli mekaanisia vammoja tai muita vaurioita (verestystä, muita haavoja, vakavia vesihomeinfektioita), luotiin myös HEALTH2-indeksi, jossa lohet arvioitiin seuraavasti:

1: terve

2: mekaaniset vauriot

3: sairaus

Lohet, jolla oli vain akuutteja mekaanisia vaurioita tai punoitusta/akuuttia verestystä, luokiteltiin terveeksi sekä HEALTH1- että HEALTH2-indekseissä, koska vaurioiden ei epäilty vaikuttaneen terveyteen (vielä). Näitä kahta muuttujaa käytettiin arvioimaan näkyvän terveyden/sairauden ja tutkittujen muuttujien välistä yhteyttä. HEALTH2-indeksissä numeroa 2 (mekaaniset vauriot) käytettiin myös lievien vesihomeinfektioiden kohdalla, koska niiden ei katsottu toistaiseksi aiheuttaneen suurempia ongelmia kuin mekaaninen vaurio itsessään.

Tilastollinen analyysi

Aineisto siirrettiin Stata 15 -ohjelmistoon (StataCorp, Texas) tai IPM SPSS Statistics -ohjelmistoon tilastollisia laskelmia varten sekä GraphPad-ohjelmistoon aineiston jakautumisen visualisointia varten. Vertailuun käytettiin pääasiassa Wilcoxonin järjestyssummatestiä, koska se soveltuu sekä normaalisti että ei-normaalisti jakautuneeseen populaatiodataan.

Perusteellisempaa analyysiä varten tehtiin yksinkertaisia/yksimuuttujaisia regressioanalyyskejä ja monimuuttujaisia regressioanalyyskejä. Ennen monimuuttujaregressiota jokainen potentiaalinen muuttuja tutkittiin yksimuuttujaisen regressioanalyysin avulla. Muuttujan sisällyttämiseksi monimuuttuja-analyysiin vaadittiin tilastollinen merkitsevyys  $p < 0,2$ . Sisällytettyjen muuttujien välisiä vuorovaikutuksia tutkittiin. Mallin jälkeinen analyysi sisälsi muuttujien varianssien arviointia, todennäköisyysosamäärätestejä, informaatiokriteerejä jne.

## Tulokset

Kaikki lohikalat, jotka pyydettiin Tornionjoesta tai Perämerestä lähellä Tornionjoen tai Oulujoen suistoa tai Oulujoen varrella, olivat lohia, lukuun ottamatta yhtä meritaimenta, joka saatiin Oulujoen suistoalueelta. SVA:n ja Ruokaviraston näytteenotoissa Tornionjoen suistossa ja Ylitorniossa saatiin vuonna 2020 yhteensä 473 lohta, joiden lisäksi 35 lohta sekä yksi meritaimen pyydettiin kohdennetussa näytteenotossa (RV). Sieninäyte kerättiin lisäksi yhdestä kuolleesta meritaimenesta, joka pyydettiin sattumalta SVA:n näytteenoton yhteydessä Seskarössä vuonna 2023. Kyseisestä meritaimenesta ei kuitenkaan kirjattu morfometrisiä tietoja yms.

Näytteenotot, joissa aineistona sekä terveitä että oireellisia lohia

Näytteenotoissa, joissa arvioitiin sekä terveitä että sairaita lohia (SVA:n näytteenotot, RV:n näytteenotot Tornionjoen suistoalueella ja Ylitorniossa vuonna 2020), näytteenottoajankohdat, sijainti, pyyntimenetelmä, lohien määrä ja yhteenveto morfometrisistä tiedoista on esitetty taulukossa 1. Kaiken kaikkiaan tutkittiin 473 lohta, joista 252 SVA:n ja 221 RV:n toimesta. Ylitornion näytteistä puuttuu pituus ja kuntoindeksi, kuten paino muilta paitsi kolmelta lohelta. Naaraat olivat enemmistönä kaikissa näytteenotoissa, lukuun ottamatta SVA:n heinäkuun 2020 näytteenottoa. Tämän näytteenoton lohet olivat myös tilastollisesti merkitsevästi pienempiä kuin kaikissa muissa SVA:n näytteenotoissa ( $p < 0,001$ ), ja vuoden 2024 näytteenoton lohet olivat merkittävästi pienempiä kuin vuosina 2022 ja 2023 pyydytetyt lohet

( $p < 0,05$ ). Kesäkuun 2021 ja 2022 näytteenottojen lohilla oli alhaisempi kuntoindeksi verrattuna muihin näytteenottoihin ( $p = 0,051 - p < 0,001$ ), ja lihavin lohi pyydettiin vuonna 2023 ( $p < 0,05 - p < 0,001$  verrattuna kaikkiin muihin näytteenottoihin). Kaksi SVA:n pyytämää naarasta (yksi vuonna 2020 ja toinen vuonna 2023) ja yksi RV:n pyytämä koiras (vuonna 2020) olivat jo kuteneita lohia.

**Taulukko 1.** Tiedot näytteenotoista vuosina 2020–2024, joissa on arvioitu sekä terveitä että oireilevia lohia, sisältäen yhteenvedon morfometrisistä tiedoista.

Näytteenotto	SVA/RV	Sijainti	Pyydysmenetelmä	N	Sukupuoli (uros/naaras)	Pituus, cm mediaani (vaihteluväli)	Paino, kg mediaani (vaihteluväli)	Kuntoindeksi mediaani (vaihteluväli)
2020 Kesäkuu	SVA	Seskarö	PU	19				
2020 Kesäkuu	SVA	Vitsaniemi	Ajoverkko	9	13/15	88 (73-120)	7.56 (2.74-23.16)	1.09 (0.65-1.34)
2020 Kesäkuu	RV	Ylitornio	Ajoverkko	47	14/32 <sup>2</sup>	NA	14.9 (12.20-15.30) <sup>3</sup>	NA
2020 Kesäkuu-Heinäkuu	RV	Tornionjoen suisto	Rysä	174	78/96	83 (55-113)	5.95 (1.70-16.70)	1.01 (0.73-1.24)
2020 Heinäkuu	SVA	Seskarö	PU	20				
					35/5	62 (48-123)	2.61 (1.10-17.92)	1.04 (0.89-1.42)
2020 Heinäkuu	SVA	Vitsaniemi	Ajoverkko	20				
2021 Kesäkuu	SVA	Seskarö	PU	20				
2021 Kesäkuu	SVA	Vitsaniemi	Ajoverkko	20	9/31	92 (71-122)	6.84 (2.80-19.11)	0.98 (0.79-1.36)
2021 Heinäkuu <sup>1</sup>	SVA	Lövsjär	yhdistelmä rysä	20				
					10/30	93 (73-107)	8.41 (4.05-13.45)	1.02 (0.87-1.31)
2021 Heinäkuu <sup>1</sup>	SVA	Boden	kalahissi	20				
2022 Kesäkuu	SVA	Seskarö	PU	20				
					11/29	93 (74-117)	8.03 (3.70-16.96)	0.94 (0.72-1.16)
2022 Kesäkuu	SVA	Vitsaniemi	Ajoverkko	20				
2023 Kesäkuu	SVA	Seskarö	PU	11				
2023 Kesäkuu	SVA	Vitsaniemi	Ajoverkko	20	10/21	99 (70-117)	10.10 (4.06-20.60)	1.13 (0.69-1.50)
2024 Kesäkuu	SVA	Seskarö	PU	13	2/31	86 (68-116)	6.94 (3.40-18.16)	1.07 (0.93-1.17)
2024 Kesäkuu	SVA	Vitsaniemi	Ajoverkko	20				
<b>Yhteensä</b>				<b>473</b>	<b>182/290<sup>2</sup></b>	<b>87 (48-123)<sup>4</sup></b>	<b>6.70 (1.10-23.16)<sup>5</sup></b>	<b>1.03 (0.65-1.50)<sup>4</sup></b>

N = lohien lukumäärä; NA = ei sovellettavissa; PU = Nostoansa; <sup>1</sup> Luleälven-joki; <sup>2</sup> yhden lohien sukupuolta ei ole merkitty; <sup>3</sup> kolmen lohien paino on merkitty; <sup>4</sup> aineisto 429 lohesta; <sup>5</sup> aineisto 426 lohesta

### Ulkoiset vauriot

Aineisto yleisten näytteenottojen yhteydessä havaituista ulkoisista vaurioista on koottu **taulukkoon 2**. Taulukossa on punoituksen ja verenvuodon kohtaan sisällytetty akuutit vauriot, koska ei ole varmuutta johtuivatko ne pyynnistä vai olivatko ne RSD:n varhaisia oireita. Mekaanisten haavojen osalta taulukosta on jätetty pois haavat, jotka voivat olla pyynnin aiheuttamia. Evien vauriot sisällytettiin mekaanisiin vaurioihin, sillä (mahdollista) bakteeriperäistä evämätää havaittiin harvoin. Arvet sisällytettiin haavatilastoihin, niin mekaanisten kuin muiden haavojen osalta. "Muihin haavoihin" sisältyy ei-mekaaniset vauriot, UDN-kaltaiset leesiot sekä mahdollisen punaperäoireyhtymän (RVS/*Anisakis simplex* -infektio peräaukon alueella).

**Taulukko 2.** Vuosien 2020–2024 näytteenotoissa havaitut ulkoiset vauriot. Näytteenotoissa arvioitiin sekä terveitä että oireilevia lohia. Jokainen lohi "Yhteensä N (%) vaurioita" -sarakeessa voi esiintyä yhdessä tai useammassa muussa sarakeessa.

Näytteenotto	SVA/ RV	Sijainti	N	Yhteensä N (%), vaurioita	Ihoverest ys <sup>1</sup> N (%)	Mekaaninen vaurio <sup>2</sup> N (%)	Muut vauriot <sup>3</sup> N (%)	Vesihome N (%)
2020 Kesäkuu	SVA	Seskarö	19	10 (53)	2 (10)	8 (42)	1 (5)	1 (5)
2020 Kesäkuu	SVA	Vitsaniemi	9	4 (44)	2 (22)	2 (22)	1 (11)	1 (5)
2020 Kesäkuu	RV	Ylitornio	47	17 (36)	6 (13)	9 (19)	7 (15)	0
2020 Kesäkuu- Heinäkuu	RV	Tornionjoen suisto	174	56 (32)	39 (22)	38 (22)	8 (5)	3 (2)
2020 Heinäkuu	SVA	Seskarö	20	9 (45)	2 (10)	7 (35)	3 (15)	0
2020 Heinäkuu	SVA	Vitsaniemi	20	3 (15)	0	3 (15)	0	0
2021 Kesäkuu	SVA	Seskarö	20	9 (45)	3 (15)	7 (35)	0	2 (10)
2021 Kesäkuu	SVA	Vitsaniemi	20	8 (40)	5 (25)	5 (25)	0	2 (10)
2021 Heinäkuu <sup>4</sup>	SVA	Lövskär	20	11 (55)	6 (30)	7 (35)	2 (10)	0
2021 Heinäkuu <sup>4</sup>	SVA	Boden	20	10 (50)	7 (35)	2 (10)	2 (10)	0
2022 Kesäkuu	SVA	Seskarö	20	5 (25)	1 (5)	4 (20)	0	0
2022 Kesäkuu	SVA	Vitsaniemi	20	12 (60)	9 (45)	6 (30)	0	1 (5)
2023 Kesäkuu	SVA	Seskarö	11	2 (18)	1 (9)	0	1 (9)	0
2023 Kesäkuu	SVA	Vitsaniemi	20	14 (70)	11 (55)	6 (30)	2 (10)	2 (10)
2024 Kesäkuu	SVA	Seskarö	13	11 (85)	11 (85)	7 (54)	3 (23)	0
2024 Kesäkuu	SVA	Vitsaniemi	20	11 (55)	7 (35)	5 (25)	3 (15)	0
<b>Yhteensä</b>			<b>473</b>	<b>194 (41)</b>	<b>112 (24)</b>	<b>116 (25)</b>	<b>33 (7)</b>	<b>10 (2)</b>

<sup>1</sup> Sisältää eryteeman (ihon punoitus) ja akuutin verestyksen, jotka voivat olla pyynnin aiheuttamia; <sup>2</sup> Sisältää arpia ja evien eryteeman/vauriot, mutta ei pyynnin aiheuttamiksi katsottuja vaurioita; <sup>3</sup> Sisältää UDN-tyyppisen nekroosin, RVS:n ja arpia; <sup>4</sup> Luleälven-joki

Ihoverestys ja mekaaniset vauriot olivat yleisimmät löydökset **taulukossa 2.** esitetyissä näytteissä. SVA:n kirjaamasta 67 punoitus- ja verestystapauksesta vain seitsemän oli subakuutteja (esim. **kuvassa 3E**), eli useamman päivän vanhoja eikä näin ollen voineet olla pyynnin aiheuttamia. RV:n ottamista näytteistä ei ole saatavilla tietoa verestyksen vaiheesta (akuutti/subakuutti/krooninen). SVA:n 69 tutkimasta lohesta, joilla oli mekaanisia vammoja, 15 kappaleella oli vain arpia (**kuva 3A**) ja 17 kappaleella lähes parantuneita haavoja (**kuva 3B**), kun taas RV:n jokisuun näytteistä vain yhdellä lohella todettiin arpia. Hylkeiden todettiin aiheuttaneen monet mekaanisista haavoista, mutta joukossa oli myös koukkukalastuksesta johtuvia vaurioita (**kuva 3C**). RV totesi lisäksi pantamaisia vaurioita, joiden todettiin aiheutuneen verkoista pään ympärillä 11 lohessa jokisuulla ja kahdessa lohessa Ylitorniosta. Näistä kahdeksan vauriota oli vanhoja ja viisi tuoreita. SVA rekisteröi vuonna 2021 kaksi vanhaa pantamaista vauriota, yhden Seskaröstä ja yhden Lövskäristä.



**Kuva 3.** A) Parantuneet puremajäljet. B) Lähes parantunut puremavaurio, jossa peräaukko on repeytynyt ja jossa suolen limakalvossa on tapahtunut reaktiivista liikakasvua paranemisen aikana. C) Krooninen tulehdus kourusta paenneessa kalassa, jossa siima oli kiertynyt vatsaevän ympärille. D) Carlin-merkki upotettuna selkähikseen. E) Subakuutti ihoverestys (RSD) naaraspuolisessa kuteneessa lohessa. F) Vanha, tuntemattomasta alkuperästä (mahdollisesti nahkiaisesta) johtuva vaurio, jossa varhainen *Saprolegnia*-infektio (ruskea värimuutos) G) Syvä UDN-tyyppinen nekroosi ja *Saprolegnia*-infektio meritaimenen päässä.

Kaksi SVA:n vuonna 2020 tutkima lohta oli merkitty Carlin-merkeillä. Toisella oli vain syviä arpia jäljellä, mutta toisella merkki oli yhä paikoillaan, upotettuna selkähikseen (**kuva 3D**). Merkki oli peräisin suomen puolelta tehdystä istutuksesta, ja lohi oli Tornionjoesta peräisin. Todennäköisesti myös toinen lohi oli samaa alkuperää, Ruotsin lopetettua Carlin-merkkien käytön noin kymmenen vuotta sitten. UDN-kaltaisia vaurioita/ihonekroosia pään alueella todettiin kolmessa lohessa – kahdessa Seskarön näytteistä vuodelta 2020 sekä yhdessä Bodenin näytteistä vuodelta 2021, ja näiden lisäksi yhdessä meritaimenessa, joka pyydettiin vahingossa Seskarössä vuonna 2023 (**kuva 3G**). Mahdollinen "red vent" -

oireyhtymä (*Anisakis simplex* -infektio peräaukon alueella) todettiin seitsemässä lohessa (SVA). Muut todetut vauriot olivat tuntematonta alkuperää.

Kaksi naaraspuolista kutenutta lohta kärsi ihoverestyksestä ja varhaisista *Saprolegnia*-infektioista, kun taas kuteneessa koiras lohessa ei havaittu vaurioita.

SVA:n (N=9) ja RV:n (N=3) vesihomevaurioiksi todetut tapaukset olivat erittäin lieviä (**kuva 3F**), yhtä meritaimenta lukuun ottamatta, jota SVA ei sisällyttänyt yleiseen näytteenottoon mutta josta otettiin näyte oomykeettien viljelyä varten (**kuva 3G**).

HEALTH-luokitus kirjattiin 251:stä 252:sta SVA:n näytteenottamasta lohesta. Yhdestä lohesta vuodelta 2024 puuttui valokuvadokumentaatio, joten sen terveydentilaa ei voitu vahvistaa, vaikka lokikirjaan oli kirjattu vain akuutti vatsanpuoleinen verestys. Yhtäkään lohta ei luokiteltu luokkaan HEALTH1 5 eli vakava/kuolettava sairaus, jossa esiintyy laajamittaista saprolegnioosia. Sukupuolijakauma HEALTH-luokissa oli seuraava:

HEALTH1 Luokitus	N	Koiraat (% kaikista uroksista)	Naaraat (% kaikista naaraista)
1	166	51 (57.3)	115 (71.0)
2	62	31 (34.8)	31(19.1)
3	14	6 (6.7)	8 (4.9)
4	9	1 (1.1)	8 (4.9)
5	0	0	0
HEALTH2 Luokitus			
1	166	51 (57.3)	115 (71.0)
2	46	19 (21.3)	27 (16.7)
3	39	19 (21.3)	20 (12.3)
Yhteensä	251	35.7 (kaikista 252 lohesta)	64.3 (kaikista 252 lohesta)

Suurempi osuus naaraslohistä (115/162, 71 %) arvioitiin terveiksi (HEALTH1/2-piste 1) verrattuna koiraisiin (51/89, 57,3 %). HEALTH1-pisteitä 2–4 ja HEALTH2-pisteitä 2–3 koskien vain HEALTH1-pisteessä 4 naarailta oli koiraita suurempi osuus.

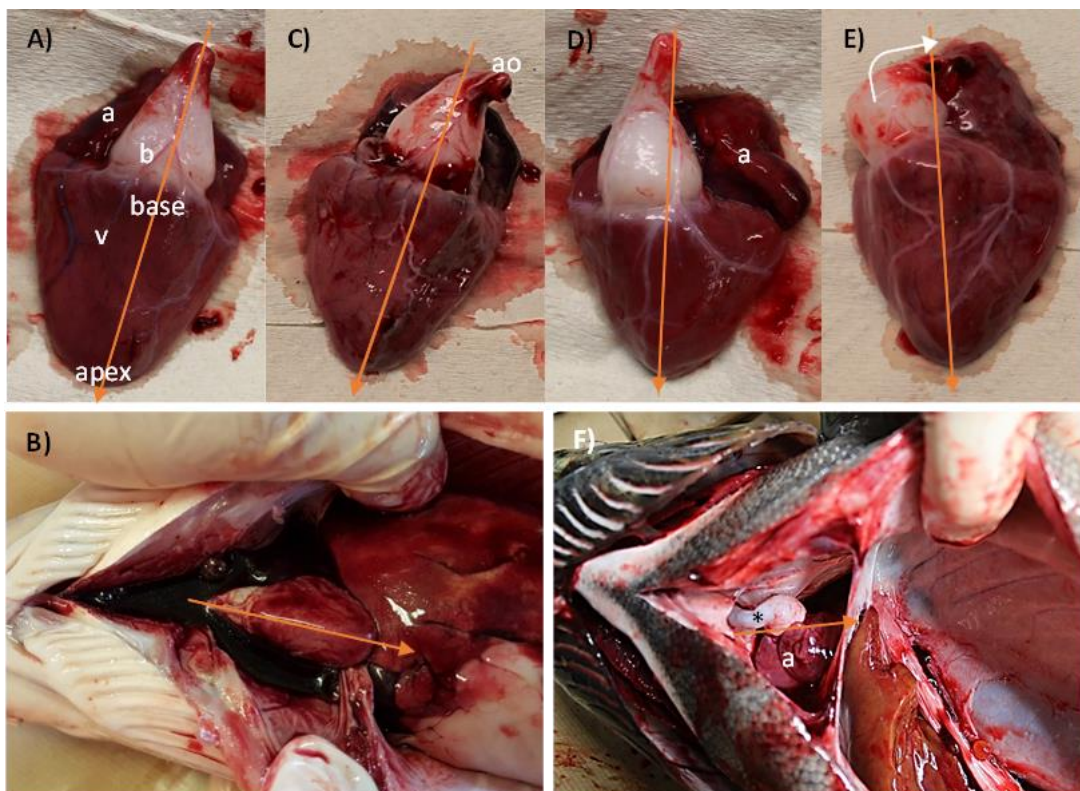
#### Sisäiset vauriot

Yleisin havainto vatsaontelossa oli loiset. Suoliston umpilisäkkeiden alueella havaittiin kaikissa lohissa heisimatoja (*Eubothrium* sp.), määrät vaihtelivat muutamasta madosta runsaisiin määriin. Kahden lohen maksasta löytyi *Anisakis*-sukuun kuuluvia matoja, todennäköisesti *Contracaecum osculatum*-lajia (hylkeen loinen). Todennäköisesti toukkien aiheuttamia kystat (joskin toukkia ei nähty), havaittiin neljässä pernassa ja yhdessä suolistossa.

Rasvakudoksen tai vatsakalvon melanisaatiota havaittiin 11 lohessa. Tämä viittaa immuunireaktioon, joka liittyy yleensä loisiin tai virustartuntoihin kuten tarttuvaan haimakuoliotautiin tai haimatautiin. Sisäisiä verenvuotoja havaittiin neljän lohen maksassa ja yhden lohen munasarjassa. Munasarjan vaurio johtuu todennäköisesti kiinnittövaiheen aikana tulleesta vauriosta. Kymmenellä lohella pernat olivat suurentuneet ja viidellä lohella erittäin hauraat.

Kuteneilla naarailta ei ollut rasvavarastoja vatsaontelossa, mikä viittaa niiden olleen riutuneita. Kuteneiden koiraiden rasvavarastoista ei ole tietoa, mutta niiden voidaan olettaa puuttuvan tai olevan hyvin vähäisiä. Luleälven-joen lohista 9/40 yksilöllä oli epämuodostuma sydämessä bulbus arteriosuksen siirtymän muodossa, mikä johti sydämen poikkeavaan asentoon sydänontelossa (**Kuva 4**). Seurantanäytteenotossa

lokakuussa toista projektia varten löydettiin kuusi lohista, joilla oli sama epämuodostuma. Useimmat lohista arvioitiin olevan kahden meritalven ikäisiä, ja eväleikkeet lähetettiin Ruotsin maatalousyliopistoon DNA-analyysiin sukulaisuuden määrittämiseksi. Yksikään lohista ei ollut sisarus.



**Kuva 4.** Sydänten epämuodostumat Luleälven-joen lohilla vuonna 2021. Keltaiset nuolet osoittavat sydämen luonnollisen pitkittäisakselin tyvestä kärkeen. Kaikki näkymät ovat vatsapuolelta. **A) & B)** Normaali sydän, jossa kammio (v), bulbus arteriosus (b) ja eteinen (a) ovat suorassa linjassa. **C)** Lievä epämuodostuma, normaalilla akselilla mutta bulbus arteriosuksen ja aortan (ao) välinen siirtymä on taipunut. **D)** Bulbus arteriosuksen oikeanpuoleinen dislokaatio sydämen tyvessä ja lievästi taipunut aortan siirtymä, paljastaen lievästi vasemmanpuoleisesti dislokoituneen eteisen **E)** Bulbus arteriosuksen oikeanpuoleinen dislokaatio ja voimakkaasti taipunut aortan siirtymä (valkoinen nuoli), paljastaen lievästi vasemmanpuoleisesti dislokoituneen eteisen **F)** Sydämen kiertynyt asento sydänontelossa, paljastaen taipuneen aortan (\*) ja eteisen (a), jolloin sydämen kärki on siirtynyt dorsaaliseksi.

#### Oireellisten lohien näytteenotto

Yhteensä 35 lohista ja 1 meritalven, joilla oli näkyviä vaurioita, otettiin näytteiksi RV:n toimesta (**taulukko 3**) oireellisten ja terveiden kalojen näytteenoton lisäksi. Vuosina 2020 ja 2021 suurin osa oireellisista lohista saatiin yleisöltä myöhään syksyllä, kun taas vuosina 2022 ja 2023 oireellisia lohia kerättiin rysäpyydyksin ja viehekalastamalla kesä-elokuussa. Oireellisten lohien kuntokerroin oli merkittävästi matalampi vuosina 2020 ja 2021 verrattuna vuosien 2022 ja 2023 kuntokertoimiin ( $p < 0,05$ ). Myös sukupuolijakaumassa havaittiin eroja: vuosina 2020–2021 tutkittiin enemmän naaraita, kun taas vuonna 2022 tutkittiin enemmän koiraita.

**Taulukko 3.** RV:n oireellisten lohien kohdennettu näytteenotto vuosina 2020–2024

Näytteenotto	Sijainti	Pyydystysmenetelmä	N	Sukupuoli (uros/naaras)	Pituus, cm mediaani (vaihteluväli)	Paino, kg mediaani (vaihteluväli)	Kuntoindeksi mediaani (vaihteluväli)
2020 July, October, November	Tornio, River Oulujoki Estuary	Verkko	8	1/6 <sup>1</sup>	90 (11 – 110)	6 (1.7-10.6) <sup>3</sup>	0.79 (0.65 – 0.86) <sup>3</sup>
2021 June, October, November	Torne River and River Oulujoki estuaries, Tornio, Kolari, Pello	NA	12 <sup>2</sup>	3/9	92 (54-110)	6.8 (1.5-14.0)	0.80 (0.66-1.11)
2022 June, August	Torne River estuary, Tornio, Kolari, Pello	Rysä tai viehekalastus	8	6/2	111,5 (86-117)	14 (6.7 – 16.5)	1.01 (0.89-1.26)
2023 June- August	Torne River estuary, Pello, Kolari, Muonio	Rysä tai viehekalastus	7	3/4	91 (82-103)	7.14 (5.08-14.7)	1.03 (0.83-1.23)
2024 August	Pello	NA	1	1/0	93	NA	NA
<b>Yhteensä</b>			<b>36</b>	<b>14/21</b>	<b>92 (11-117)</b>	<b>6.97 (1.5-16.5)</b>	<b>0.91 (0.65-1.26)</b>

N=Lohien lukumäärä; NA=Ei käytettävissä; <sup>1</sup> sukupuolta ei voitu määrittää yhdelle smoltti-lohelle; <sup>2</sup> sisältää yhden meritaimenen; <sup>3</sup> painoa ja kuntoindeksiä (CF) ei voitu määrittää yhdelle smoltti-lohelle

Lähes kaikista oireellisista kaloista kirjattiin vaurioita (**taulukko 4**). Yleisimmät vauriot olivat ihoverenvuodot ja/tai vesihome. Verestystä havaittiin vatsaosan ihossa ja/tai evien tyvissä. Haavoja kirjattiin vain kolmesta ja mekaanisia vammoja vain kahdesta oireellisesta lohesta. Mekaaniset vauriot olivat todennäköisesti hylkeiden aiheuttamia. Muut vauriot olivat yleensä nekroottisia vaurioita ihossa tai evissä. Yhdellä lohella oli pantamaisia vaurioita ihossa suomujen irtoamisen vuoksi, mikä todennäköisesti oli verkkopyynnistä aiheutunut vaurio.

Vesihometta havaittiin 21 oireellisessa kalassa vuosina 2020, 2021 ja 2023 (**taulukko 4**). Vuonna 2020 yhdellä heinäkuussa pyydetyllä ja tutkitulla smoltilla oli vesihometta kiduksissa ja loka- ja marraskuussa tutkituilla lohilla oli voimakkaat infektiot ihossa ja evissä. Vuonna 2021 kesäkuussa tutkituilla lohilla oli lieviä vesihomevaurioita, kun taas marraskuussa tutkituilla lohilla ja yhdellä meritaimenella oli vakavia infektiota. Kesä–elokuussa 2023 tutkituilla lohilla oli lieviä vesihomevaurioita.

Oireellisista kaloista 24 tutkittiin suoliston heisimatojen varalta, ja 19:ssä (79 %) havaittiin heisimatoja (*Eubothrium sp.*) suoliston umpilisäkkeissä. Loismäärä arvioitiin useimmiten korkeaksi tai erittäin korkeaksi. Yhdessä Oulujoesta pyydetyn lohien maksassa todettiin askaridimato, joka vahvistettiin *Contracaecum osculatum* -lajiksi.

**Taulukko 4.** RV:n vuosina 2020–2024 tutkimissa oireilevissa lohissa ja meritaimenissa havaitut vauriot. Jokainen lohi sarakkeessa ”Yhteensä N (%) vaurioita” voi esiintyä yhdessä tai useammassa seuraavista sarakkeista.

Näytteenotto	Sijainnit	N	Yhteensä N (%) yksilöä, joilla vaurioita	Ihoverestys <sup>1</sup> N (%)	Mekaaninen vaurio <sup>2</sup> N (%)	Muut vauriot <sup>3</sup> N (%)	Vesihome (%)
2020 Heinäkuu, Lokakuu, Marraskuu	Oulujoen suisto, Tornio	8	8 (100)	3 (37,5)	1 (12.5)	1 (12.5)	8 (100)
2021 Kesäkuu, Lokakuu, Marraskuu	Tornionjoen ja Oulujoen suistot, Tornio, Kolari, Pello	12 <sup>4</sup>	12 (100)	6 (50)	0	2 (16.7)	9 (75)
2022 Kesäkuu, Elokuu	Tornionjoen suisto, Tornio, Kolari, Pello	8	7 (88)	7 (88)	1 (12.5)	0	0
2023 Kesäkuu- Elokuu	Tornionjoen suisto, Pello, Kolari, Muonio	7	6 (85.7)	2 (28.6)	0	1 (14.3)	4 (57.1)
2024 Elokuu	Pello	1	1	1	0	0	0
<b>Yhteensä</b>		<b>36</b>	<b>34 (94)</b>	<b>19 (53)</b>	<b>2 (6)</b>	<b>4 (11)</b>	<b>21 (58)</b>

<sup>1</sup> Sisältää eryteeman (ihon punoitus) ja akuutin verestystyksen, jotka voivat olla pyynnin aiheuttamia; <sup>2</sup> Sisältää arpia sekä evien eryteeman/vauriot, mutta ei pyynnin aiheuttamiksi katsottuja vammoja, <sup>3</sup> Sisältää UDN-tyyppisen nekroosin, punaperäoireyhtymän (RVS) ja arpia; <sup>4</sup> Sisältää yhden meritaimenen

## Laboratoriotutkimukset

### Virologia

IHNV-, IPNV-, VHSV-, SAV-, ISAV- ja PMCV-virustutkimusten tulokset olivat kaikki negatiivisia. PRV-virusta tutkittiin 25 lohesta (**taulukko 5**). Näistä yksi lohi, joka oli pyydetty Perämereltä lähellä Tornionjoen suistoa vuonna 2023, oli PRV-positiivinen.

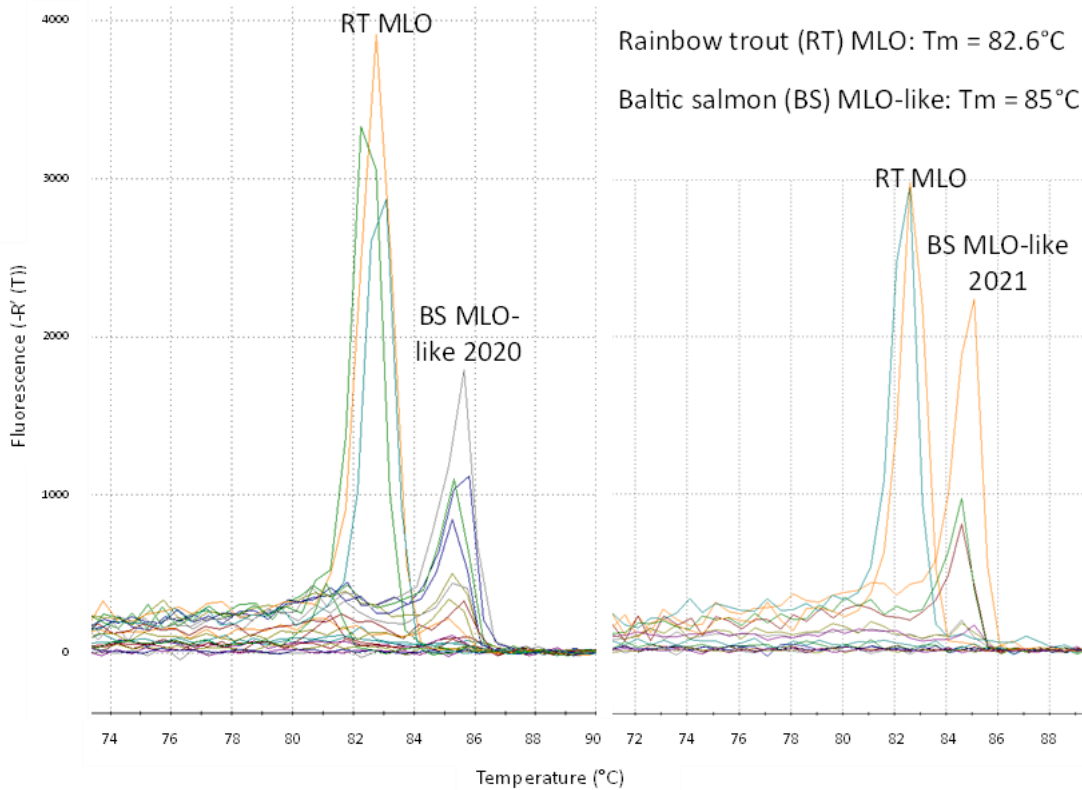
### Bakteriologia

Bakteeriviljely tehtiin 37 lohesta, ja spesifistä bakteerikasvua havaittiin vain seitsemässä lohessa: kolmessa Tornionjoesta pyydetyssä lohessa ja neljässä Oulunjoesta tai Perämereltä pyydetyssä vertailulohessa. Kaikilla seitsemällä lohella todettiin *Iodobacter limnosediminis* -infektio.

24 lohta ja yksi meritaimen tutkittiin BKD-taudin varalta. Kaikki tulokset olivat negatiivisia.

56 lohta tutkittiin *Midichloria*-kaltaisten organismien (MLO) varalta qPCR-menetelmällä. Kaikki näytteet olivat negatiivisia MLO:n suhteen, mutta 24 näytteessä havaittiin epäspesifiä DNA:n monistumista. DTU Aqua -laitoksen jatkotutkimuksissa havaittiin, että monistusprosessin ns. sulamiskäyrät huipentuivat samassa lämpötilassa, mutta eri kohdassa kuin MLO:n sulamiskäyrä (**Kuva 5**). Tämä viittaa siihen, että näytteissä oli keskenään samanlaista DNA:ta, mutta erilaista kuin MLO-näytteissä. qPCR- ja

sulamiskäyrätulokset yhdessä viittaavat siihen, että näytteissä esiintyy organismi, joka saattaa olla sukua MLO:lle. Tässä raportissa viitataan siihen jatkossa nimellä MLO-kaltainen organismi.



**Kuva 5.** MLO-positiivisten näytteiden (RT MLO) ja tämän tutkimuksen näytteiden (BS MLO-like 2020 ja BS MLO-like 2021) sulamiskäyrät. MLO:n DNA:n sulamislämpötila on 82,6 °C, kun taas MLO:n kaltaisen organismin DNA:n sulamislämpötila on 85 °C. RT = kirjolohi; BS = Itämeren lohi; Tm = sulamislämpötila.

### Vesihome

Kuudesta SVA:n näytteenotossa epäilystä tai lievästä vesihometapauksesta viisi tutkittiin tarkemmin. Lisäksi otettiin näyte Seskarössä vuonna 2023 pyydetystä meritaimenesta, jolla oli laaja ihonekroosi ja vesihomeinfektio. Vuonna 2021 tehtiin vain qPCR-tutkimus *Saprolegnia* sp. -suvun osalta (N=3), eikä infektiota havaittu. Vuosina 2022 ja 2023 tehtiin viljely ja sen jälkeen qPCR, jolloin tunnistettiin yksi tapaus *S. diclina* (2022), kaksi *S. parasitica* tapausta (2023, mukaan lukien meritaimen) ja yksi tapaus määrittämätöntä *Saprolegnia* sp. -lajia. RV:n näytteenotossa 21 oireellisesta vesihome-infektiosta kärsivästä lohesta (**taulukko 4**) tutkittiin seitsemän (**taulukko 5**). Vuonna 2020 kahdesta lohesta eristetty vesihome määritettiin *Saprolegnia parasitica*-lajiksi (Engblom ym. 2023). Vuonna 2023 neljä tutkittua vesihome-eristystä todettiin negatiivisiksi *S. parasitica* -lajin suhteen qPCR:llä, ja ne määritettiin ITS-sekvenssianalyysillä sukutasolla olevan *Didymella* sp., *Mucor* sp., *Pithomyces* sp. ja *Cladosporium* sp. (Härkönen ym. 2024).

**Taulukko 5.** Näytteiden lukumäärä ja laboratoriotutkimusten tulokset patogeeniä havaitsemiseksi vuosina 2020–2024. Tulokset esitetään muodossa: positiivisten määrä / näytteiden kokonaismäärä.

Vuosi	Näytteenottaja	Oireelliset lohet (N)/yhteensä	Virologia						Bakteriologia				Vesihome <sup>4</sup>	
			Viljely <sup>1</sup>	SAV	ISAV	PRV	SGPV	PMCV	Viljely	BKD	MLO-tyyppinen organismi <sup>2</sup>	SRS		
2020	SVA	26 / 68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2020	RV Y	8 / 62	0/20	0/20	0/3	-	0/3	-	0/6	-	1/3	-	-	-
2020	RV E	19 / 47	0/6	0/6	0/3	-	0/3	-	0/6	-	2/3	-	-	-
2020	RV T	8/8	0/4	0/4	0/3	0/3	0/2	0/3	3/8	0/2	4/6	0/3	2/2	-
2021	SVA To	26 / 40	0/4	0/5	-	-	-	-	-	-	2/6	-	0/3	-
2021	SVA L	31 / 40	0/4	-	-	-	-	-	-	-	5/7	-	-	-
2021	RV T	12/12 <sup>3</sup>	0/12	0/12	0/12	0/11	-	-	4/8	0/11	3/11	-	-	-
2022	SVA	17 / 40	0/4	-	-	-	-	-	0/1	-	0/11	-	-	1/1
2022	RV T	7/8	0/5	0/5	0/2	0/5	-	-	0/1	0/5	0/8	-	-	-
2023	SVA	16 / 31	-	-	-	-	-	-	-	-	7/7	-	-	3/3
2023	RV T	6/7	0/5	0/5	0/5	1/5	-	-	0/6	0/6	0/4	-	-	0/4
2024	SVA	22 / 33	-	-	-	-	-	-	-	-	?/7 - RP	-	-	-
2024	RV T	1/1	0/1	0/1	0/1	0/1	-	-	0/1	0/1	-	-	-	0/1
<b>Yhteensä</b>		<b>182</b>	<b>0/65</b>	<b>0/58</b>	<b>0/29</b>	<b>1/25</b>	<b>0/8</b>	<b>0/3</b>	<b>7/37</b>	<b>0/25</b>	<b>24/56</b>	<b>0/3</b>		<b>6/14</b>

Y = Näytteenotto Ylitorniossa; E = Näytteenotto jokisuistossa; T = Kohdennettu näytteenotto; To = Tornionjoki; L = Luleälven-joki; RP = Tulokset kesken; <sup>1</sup> IHNV, IPNV, VHSV, EHNV; <sup>2</sup> MLO-tyyppinen mikro-organismi, tunnistettu PCR-menetelmällä, joka kohdistettu MLO:n havaitsemiseen; <sup>3</sup> Sisältää neljä lohta ja yhden meritaimenen Oulujoen suistosta ja joen yläjuoksulta; <sup>4</sup> Analysoitu viljelymenetelmällä, qPCR:llä ja/tai sekvensoinnilla.

## Verianalyysi

Hemoglobiinin (Hb), hematokriitin (Htc), glukoosin, laktaatin ja tiamiinin tulosten yhteenveto on esitetty **taulukossa 6**. Hemoglobiini ja hematokriitti analysoitiin kaikkina vuosina, glukoosi vuosina 2020–2021 ja 2023–2024, laktaatti vuosina 2020 ja 2024, ja tiamiini kaikkina vuosina.

**Taulukko 6.** Yhteenveto lohien verianalyysien tuloksista Tornionjoessa ja Luleälven-joessa vuosina 2020–2024.

Näytteenotto	SVA/RV	N	Hemoglobiini (g/l), mediaani (min, max)	Htc (%) mediaani (min, max)	Glukoosi (mmol/l) mediaani (min, max)	Laktaatti (mmol/l) mediaani (min, max)
2020 Kesäkuu	SVA	28	126 (81, 158)	53 (37, 62)	3.7 (0.6, 10.0) <sup>1</sup>	14.8 (10.6, 18.9)
2020 Heinäkuu	SVA	40	120 (52, 159)	50 (36, 66)	4.4 (0.4, 9.8)	14.3 (1.5, 19.4)
2021 Tornionjoki	SVA	40	113 (64, 143)	51.5 (28, 62)	3.2 (1.1, 7.4)	-
2021 Luleälven	SVA	40	113 (84, 125) <sup>2</sup>	48.0 (38, 71)	6.0 (2.7, 12.9)	-
2022	SVA	40	131 (80, 162)	53.5 (41, 66)	-	-
2023	SVA	31	120 (89, 147)	49 (40, 65)	3.7 (0.9, 6.8)	-
2024	SVA	33	109 (64, 149)	55 (41, 87)	2.0 (0.6, 7.2)	12.8 (6.3, 18.1)

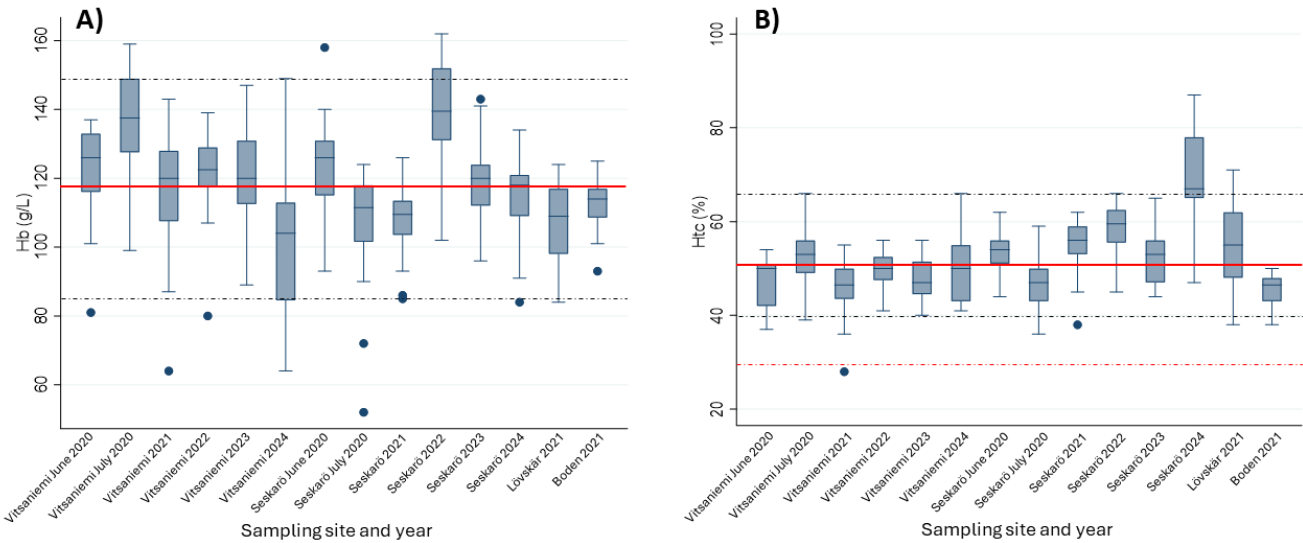
  

Näytteenotto	SVA/RV	N	Ttot nmol/g mediaani (min, max)	TPP nmol/g mediaani (min, max)	TMP nmol/g mediaani (min, max)	Tfree nmol/g mediaani (min, max)
2020 June	SVA	24	0.90 (0.57, 1.60)	0.68 (0.43, 1.04)	0.16 (0.09, 0.38)	0.07 (0.03, 0.18)
2020 June-July	RV <sup>3</sup>	28	0.73 (0.52, 1.43)	0.37 (0.28, 0.62)	0.31 (0.17, 0.58)	0.08 (0.04, 0.28)
2020 July	SVA	39	0.80 (0.45, 1.11)	0.61 (0.32, 0.85)	0.14 (0.08, 0.24)	0.06 (0.03, 0.12)
2021 Torne	SVA	40	1.03 (0.26, 1.53)	0.76 (0.22, 1.15)	0.18 (0.04, 0.63)	0.07 (0, 0.12)
2021 Lule	SVA	30	0.96 (0.32, 1.62)	0.61 (0.27, 1.05)	0.19 (0.05, 0.40)	0.10 (0, 0.29)
2022	SVA	40	1.06 (0.51, 1.51)	0.75 (0.39, 1.07)	0.20 (0.08, 0.38)	0.07 (0.03, 0.15)
2023	SVA	31	1.12 (0.63, 1.54)	0.81 (0.49, 1.09)	0.19 (0.10, 0.28)	0.10 (0.04, 0.19)
2024	SVA	33	0.96 (0.65, 1.38)	0.71 (0.50, 1.08)	0.18 (0.11, 0.29)	0.08 (0.05, 0.20)

<sup>1</sup> Arvot 27 lohesta; <sup>2</sup> Arvot 37 lohesta; <sup>3</sup> Näytteet sekä Tornionjoen suistosta (N=13) että Ylitorniosta (N=15) Hb = hemoglobiini; Htc = hematokriitti; Ttot = kokonaistiiamiini; TPP = tiamiinipyrofosfaatti; TMP = tiamiinimonofosfaatti; Tfree = vapaa tiamiini

Sekä hemoglobiini- että hematokriittiarvoissa havaittiin vuosittaista vaihtelua. Hemoglobiini saatiin mitattua 248/252 SVA:n tutkimasta lohesta. Arvot vaihtelivat välillä 52–162 g/L, kokonaismediaaniarvon ollessa 118 g/L (**taulukko 6, Kuva 6A**). Tämä vastaa aiemmin julkaistuja arvoja lohelle (noin 60–160 g/L 8 °C veden lämpötilassa, Porter ym., 2022), mutta on huomattavasti matalampi kuin toisessa julkaisussa esitetty vaihteluväli aikuisille lohille (95 % populaatiosta: 408–687 g/L, Rozas-Serri ym., 2022). Hematokriitti saatiin mitattua kaikista SVA:n tutkimista lohista. Arvot vaihtelivat välillä 28–87 %, mediaaniarvon ollessa 51 % (**Kuva 6B**). Tämä vaihteluväli on laajempi kuin mitä on julkaistu aikuisille kasvatetuille lohille, ja meidän mediaani on lähellä tai yli raportoitujen rajojen: (40–60 % (Currie ym., 2022); noin 22–38 % (Porter ym. 2022); 29–53 % (Rozas-Serri ym. 2022); 44–49 % (Sandnes ym. 1988)). Hemoglobiinille ei ole julkaistu raja-arvoja anemian määrittämiseksi kaloilla. Hematokriitin osalta Currie ym. (2022) toteaa, että eläinlääkärit käyttävät 25 % anemian rajana lohelle, mutta kliinisissä anemiatapauksissa Skotlannissa hematokriittiarvot vaihtelivat 25–35 %. Koska sairauden oireet voivat liittyä

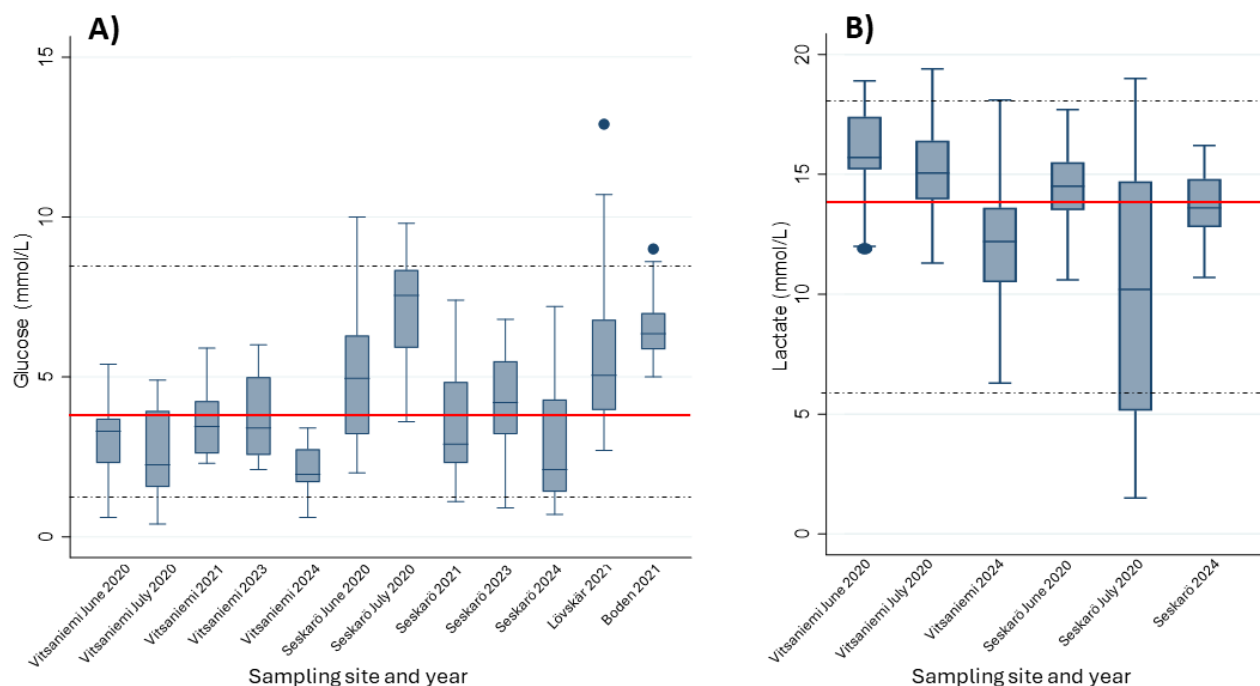
myös muihin tekijöihin näissä tapauksissa, kuten infektioiden, käytämme 30 % rajana. Yksi vuonna 2021 Vitsaniemessä pyydetty lohi luokiteltiin anemiseksi hematokriittiarvon ollessa 28 % (**Kuva 6B**). Vakavan anemian rajaksi on asetettu hematokriitti  $\leq 10\%$  (Nimetön, 2016).



**Kuva 6.** Keskiarvot ja vaihteluvälit muuttujille: **A)** Hemoglobiini (Hb) grammoina litrassa (g/l) ja **B)** Hematokriitti (Htc) prosentteina verisolujen tilavuudesta kaikilla kaloilla. Punaiset yhtenäiset viivat osoittavat mediaaniarvon, mustat katkoviivat kuvaavat arvojen vaihteluväliä, joka kattaa 95 % tutkituista yksilöistä. Punainen katkoviiva kuvassa **B)** osoittaa anemian raja-arvon. Huom: Y-akseli ei ala nollassa, vaan noin kohdasta 50 g/l (Hb) ja 18 % (Htc). Sampling site and year = Näytteenotto paikka ja vuosi.

Glukoosipitoisuus analysoitiin yhteensä 211 lohesta. Arvot vaihtelivat välillä 0,4–12,9 mmol/l (**taulukko 6**), mikä on huomattavasti laajempi vaihteluväli kuin julkaistu viitearvoalue 95 %:lle aikuisista lohista (4,0–7,3 mmol/l, Rozas-Serri ym., 2022). Kokonaismediaaniarvo oli 3,8 mmol/l (**Kuva 7A**), eli hieman alle normaalialueen alarajan. Jotta huomioitaisiin fyysisen rasituksen ja stressin aiheuttamat glukoosiarvojen nousut, sen että mittalaitetta ei oltu kehitetty tai kalibroitu kalaverta varten sekä sen, että julkaistut viitearvot kattavat 95 % eikä 100 % populaatiosta, asetettiin terveiden lohien normaalialueeksi 2–10 mmol/l tässä aineistossa. Tämä raja määritettiin koko Ruotsin aineistolle vuosilta 2020–2022 (mukaan lukien myös joet Vindelälven, Klarälven ja Ätran, tietoja ei vielä julkaistu). Tornionjoen ja Luleälvenin aineistossa kolme lohta Lövsjäristä, Luleälvenistä ylittivät 10 mmol/l rajan, kun taas 22 lohta Vitsaniemistä ja 9 lohta Seskaröstä alittivat 2 mmol/l rajan. Glukoosiarvot erosivat merkittävästi Seskarön ja Vitsaniemen välillä (Wilcoxonin järjestyslukutesti: mediaani 4,5, vaihteluväli 0,7–10 mmol/l, N=82 vs. mediaani 3,0, vaihteluväli 0,4–6 mmol/l, N=89;  $p < 0,001$ ). Glukoosipitoisuus oli korkeampi Luleälvenissä (Lövsjär: mediaani 5,05, vaihteluväli 2,7–12,9 mmol/l, N=20; Boden: mediaani 6,35, vaihteluväli 5–9 mmol/l, N=20) verrattuna Vitsaniemeen ( $p < 0,001$  molemmissa) ja Seskaröön (Lövsjär ei merkitsevä, Boden  $p < 0,001$ ). Lisäksi uroksilla oli yleisesti korkeammat glukoosiarvot naaraisiin verrattuna (urokset: mediaani 4,5, vaihteluväli 0,4–12,9 mmol/l, N=79; naaraat: mediaani 3,5, vaihteluväli 0,6–10,7 mmol/l, N=132;  $p < 0,05$ , Wilcoxonin järjestyslukutesti). Tämä ero oli vielä selvempi Tornionjoen lohissa yksistään (urokset: mediaani 4,2, vaihteluväli 0,4–9,8 mmol/l, N=69; naaraat: mediaani 3,1, vaihteluväli 0,6–10 mmol/l, N=102;  $p < 0,001$ , Wilcoxonin järjestyslukutesti). Laktaattipitoisuus määritettiin onnistuneesti 101 lohesta Tornionjoella vuosina 2020 ja 2024. Laktaattiarvot vaihtelivat välillä 1,5–19,4 mmol/l kokonaismediaanin ollessa 13,9 mmol/l (**taulukko 6, Kuva 7B**). Tämä vaihteluväli on huomattavasti laajempi kuin julkaistu viitearvoalue 95 %:lle aikuisista lohista (2,0–5,7 mmol/l, Rozas-Serri ym., 2022). Jotta huomioitaisiin fyysisen rasituksen ja stressin vaikutus laktaattiarvoihin, sen että mittalaitetta ei oltu kehitetty tai kalibroitu kalaverta varten sekä sen, että julkaistut viitearvot kattavat 95 % eikä 100 % populaatiosta, asetettiin normaalialueen ylärajaksi 10 mmol/l terveiden ja stressaamattomien lohien osalta tässä aineistossa. Lohien, joiden laktaattiarvo ylitti

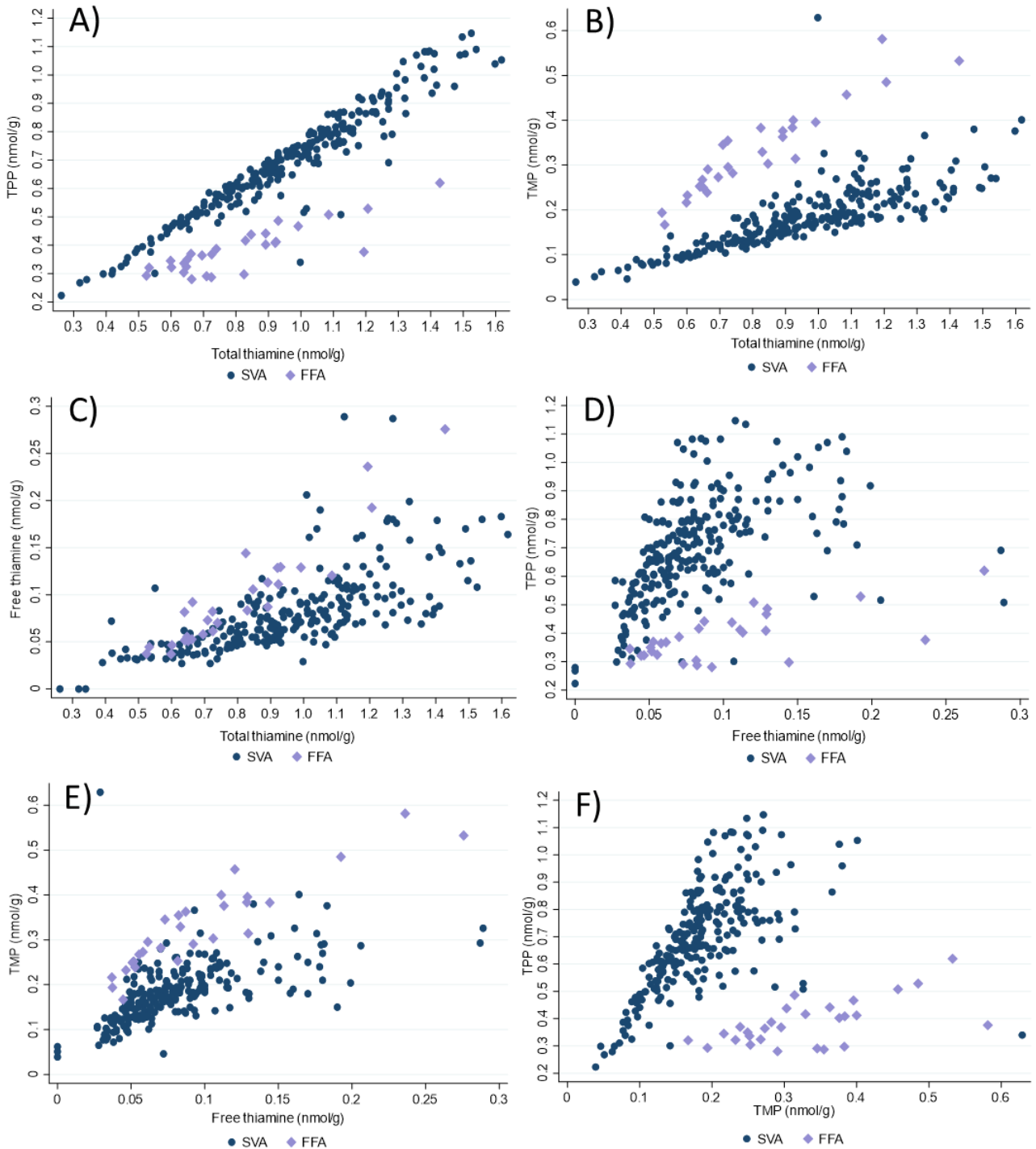
10 mmol/l, katsottiin kärsivän laktaattiasidoosista liikunnan tai stressin seurauksena, vaikka veren pH:ta ei voitu mitata. Tämä raja määritettiin koko Ruotsin aineistolle vuosilta 2020–2022 (mukaan lukien myös joet Vindelälven, Klarälven ja Ätran, tietoja ei vielä julkaistu). Seskarön (mediaani 13,8 mmol/l) ja Vitsaniemen (mediaani 14,2 mmol/l) välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja laktaattiarvoissa (Wilcoxonin järjestyslukutesti), mutta heinäkuussa 2020 Seskarössä havaittiin huomattavaa hajontaa arvoissa verrattuna muihin näytteenottoihin (**Kuva 7B**). Myöskään sukupuolten välillä ei havaittu merkittäviä eroja (urokset: mediaani 14,6, vaihteluväli 1,5–19,4 mmol/l, N=50; naaraat: mediaani 13,5, vaihteluväli 2–18,9 mmol/l, N=51;  $p>0,05$ , Wilcoxonin järjestyslukutesti).



**Kuva 7. A)** Verensokerin (Glucose) (mmol/L) ja **B)** veren laktaatti (mmol/L) pitoisuudet esitettynä pyyntipaikan ja vuoden mukaan. Punaiset yhtenäiset viivat kuvaavat mediaania ja mustat katkoviivat arvojen vaihteluväliä, joka kattaa 95 % tutkitusta populaatiosta. Sampling site and year = Näytteenotto paikka ja vuosi.

Tiamiinipitoisuuksia analysoitiin yhteensä 237 SVA:n näytteestä ja 28 RV:n näytteestä (**taulukko 6**). Arvot vaihtelivat seuraavasti: 0,26–1,62 nmol/g (Ttot), 0,22–1,15 nmol/g (TPP), 0,04–0,63 nmol/g (TMP) ja 0–0,29 nmol/g (Tvapaa). Näytteenottokohtaiset mediaani- ja vaihteluväliarvot löytyvät **taulukosta 6**.

Kun tarkastellaan yhteenvetoarvoja ja verrataan vuoden 2020 tietoja (**taulukko 6**), tiamiinimuotojen mediaani ja vaihteluväli vaikuttavat eroavan SVA:n ja RV:n näytteiden välillä, vaikka kokonaistiamiinin määrät ovat samankaltaisia. Tämän testaamiseksi yhdistettiin SVA:n kesä- ja heinäkuun 2020 tiamiininäytteet yhdeksi ryhmäksi ja suoritettiin Wilcoxonin järjestyslukutesti. Kokonaistiamiinin (Ttot) osalta ei havaittu merkittävää eroa, mutta vapaan tiamiinin (Tvapaa) ja TMP:n pitoisuudet olivat merkittävästi matalampia SVA:n näytteissä ( $p<0,05$  ja  $p<0,001$ ), ja TPP:n pitoisuus oli merkittävästi korkeampi SVA:n näytteissä ( $p<0,001$ ). Kun SVA:n ja RV:n arvot esitettiin yhdessä, eroavuudet TPP-, TMP- ja Tfree-arvoissa olivat selvästi havaittavissa (**Kuva 8A–F**). Näistä kuvista käy myös ilmi, että eri tiamiinimuotojen välillä on vahva korrelaatio, erityisesti TPP:n ja kokonaistiamiinin välillä (**Kuva 8A**).



**Kuva 8.** Kokonaistiamiinin (Total thiamine) ja tiamiinien eri muotojen vertailu lohien verinäytteissä (N=256). **A)** TPP vs. kokonaistiamiini, **B)** TMP vs. kokonaistiamiini, **C)** vapaa tiamiini vs. kokonaistiamiini, **D)** TPP vs. vapaa tiamiini (Free thiamine), **E)** TMP vs. vapaa tiamiini ja **F)** TPP vs. TMP. Eriväriset pisteet kuvastavat eri näytteenottajia (SVA ja FFA = RV).

Kahdella noin vuoden ajan nälkää nähneellä jo kuteneella naaraalla hemoglobiiniarvot (122 ja 113 g/L) ja verensokeriarvot (5,4 ja 5,1 nmol/L) olivat normaalit. Hematokriitti oli hieman matala (42 ja 48 %), ja

tiamiiniarvot olivat toisella mediaanitasolla tai sen alarajoilla (Ttot 0,94 nmol/L, TPP 0,7 nmol/L, TMP 0,16 nmol/L, Tfree 0,08 nmol/L), mutta toisella korkeammalla tasolla (Ttot 1,54 nmol/L, TPP 1,09 nmol/L, TMP 0,27 nmol/L, Tfree 0,18 nmol/L). Veren laktaattipitoisuus vuonna 2020 pyydetyllä naaraalla oli 15 mmol/L

### Histologia ja sytologia

SVA:n näytteenotoissa sisäelimiä kerättiin kaikista 252 lohesta, mutta joistakin yksilöistä jäi vahingossa yksi tai kaksi elintä keräämättä. Näin ollen maksa, sydän ja munuaiset analysoitiin 251 lohesta. Verisivelyt tehtiin kaikista lohista, mutta kaksi näytettä olivat niin paksuja ja voimakkaasti värjäytyneitä, ettei niitä voitu tulkita. Perna kerättiin järjestelmällisesti vuosina 2021, 2022 ja 2024 (yhteensä 147/153 näinä vuosina tutkitusta lohesta), sekä yhdestä lohesta vuonna 2023, jolla oli loiskysta pernassa. Umpilisäkkeitä kerättiin kaikista 80 lohesta vuonna 2021. Vaurioitunutta ihoa kerättiin yhteensä 36 lohesta (7 vuonna 2020, 16 vuonna 2021, 8 vuonna 2022 ja 5 vuonna 2024). Lisäksi kolmelta naaraslohelta otettiin näytteet munasarjoissa olleista vaurioalueista.

Maksan vakuolisaatiota (rasvavakuolit/glykoproteiinivarastovakuolit) oli 232 lohessa, eli 19 lohessa (mukaan lukien talvikkonaaraat) ei ollut merkkejä ravintoaineiden kertymisestä maksaan. Lievästä kohtalaiseen vakuolisaatioon oli yleisin löydös (N=167), ja voimakasta vakuolisaatiota havaittiin 13 lohessa. Kuudessa maksassa todettiin rasvarappeuma, ja 56 maksassa oli merkkejä alkavasta rasvarappeumasta tai epätasaisesta vakuolisaatiosta. Pigmenttikertymiä (viite immuunivasteesta) ilman näkyvää tulehdusta havaittiin 14 maksassa vuonna 2021 ja kolmessa maksassa vuonna 2023. Tulehdusta havaittiin 107 maksassa, yleensä paikallisena. Näistä 145 maksassa havaittiin voimakasta loisiin liittyvää granulomatoottista tulehdusta, ja lisäksi 21 maksassa oli suhteellisen voimakasta tulehdusta. Näistä neljässä oli granuloomia ilman selkeää loista, yhdessä oli voimakas paikallinen tulehdus ja siihen liittyvää maksasolujen kuoliota, ja yhdessä sappitiehyt oli tulehtunut. Muutoin tulehdukset esiintyivät pääasiassa perivaskulaarisesti (verisuonten ympärillä). Niiden 14 maksan lisäksi, joissa havaittiin granulomatoottista tulehdusta, neljässä maksassa havaittiin loisia joko lievällä tulehdusvasteella tai ilman tulehdusvastetta. Tulehdusvastetta havaittiin 17 (6,8 %) munuaisessa. Näistä seitsemässä munuaisessa havaittiin lievää tai kohtalaista paikallista tulehdusta. Granuloomia (yksi tai useampi, yhdessä lohessa sisälsi loisen) havaittiin viidessä lohessa. Paksuuntuneita glomeruluskapseleita (osa nefronia/virtsan suodatusyksikköä) havaittiin neljässä lohessa. Yhdessä lohessa tubulusten (osa nefronia/virtsan suodatusyksikköä) rappeuma ja siihen liittyvä tulehdus kattoi noin neljänneksen tutkitusta kudoksesta, mutta glomerulukset olivat edelleen ehjiä eikä nefronin uudistumisesta ollut vaurion seurauksena merkkejä. Lisäksi havaittiin joitakin satunnaisia rappeumamuutoksia, kuten laajentuneita glomeruluskapseleita ja/tai turvonneita tai kutistuneita glomeruluksia.

Sydänten osalta tavoitteena oli tutkia eteinen, kammio ja bulbus arteriosus (**kuva 4**). Monissa lohissa kuitenkin joko eteinen, bulbus tai molemmat puuttuivat lopullisesta elinleikkeestä. Kammio oli aina arvioitavissa. Vaurioita havaittiin 92 (37 %) sydämessä. 73 sydämessä havaittiin tulehdussolukertymiä, yleisimmin sydänlihaksessa (myokardiitti, N=56). Kertymiä havaittiin myös sydämen uloimmassa/epiteelikerroksessa (epikardiitti, N=19). Useimmissa lohissa havaittiin vain yksittäisiä pieniä tulehduspesäkkeitä, mutta joissakin oli monipesäkkeinen tai laajemmalle levinnyt tulehdus. Yhdessä sydämessä, jossa oli monipesäkkeinen (granulomatoottinen) myokardiitti, havaittiin sukkulamatoja vaurioalueella. Lisäksi endokardiittia (sydänlappien tulehdusta) havaittiin yhdessä lohessa. Sidekudosta/arpeutumista havaittiin monissa sydämissä, mikä viittaa aiempiin myokardiittijaksoihin. Kahdessa talvikkonaaraassa havaittiin lievää/kohtalaista sydänlihaksen rappeumaa. Luleälvenin joen lohella, jolla oli siirtynyt bulbus arteriosus, ei havaittu selkeitä sydänlihaksen vaurioita.

Pernavauriot olivat harvinaisia. Hemosideroosia (hemosideriinin/raudan kertymistä punasolujen hajoamisen seurauksena) havaittiin 35 lohessa. Tulehdusta havaittiin viidessä lohessa, joista kahdella oli granuloomia, yhdellä akuutti tulehdus, yhdellä tromboflebiitti (verisuonen tulehdus ja veritulpan

muodostuminen) ja yhdessä perivaskuliitti. Yhdestä pernasta leikattiin tyhjäksi osoittautunut kysta, joten sen syntyyn johtanutta syytä ei voitu määrittää.

Vuoden 2021 suolistonäytteissä esiintyi vakavuudeltaan vaihtelevaa, loistartunnoille yleistä tulehdusreaktiota limakalvon epiteeliä tukevassa ja loisten kanssa suoraan kosketuksissa olevassa sidekudoskerroksessa lamina propriassa, jossa havaittiin lievistä voimakkaaseen eosinofiilisten valkosolujen infiltraatiota.

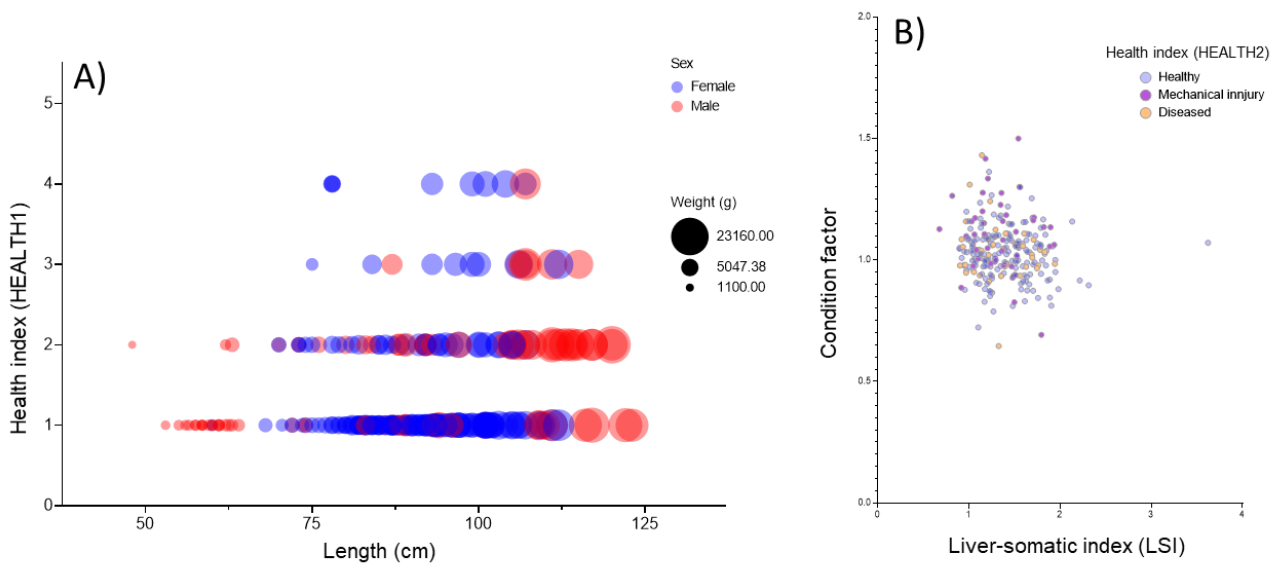
Ihonäytteitä kerättiin 24 lohesta, joilla oli ihoverestystä. Näistä neljällä oli RVS, kahdella melanisaatiota vatsanseinämän ihon dermaaliossa kerroksessa, kolmella mahdollinen UDN-tartunta, kahdella paranevia vatsanseinämän läpäisseitä vammoja ja yhdellä mahdollisesti nahkiaisen aiheuttama vanha haava. Näissä ihonäytteissä havaittiin epidermiksen nekroosia ja hilseilyä sekä verestystä suomutaskujen ympärillä. Alla olevan lihaskudoksen rappeutumukset olivat yleisiä. Vaurioiden vakavuus vaihteli akuuteista (ilman tulehdusreaktiota) vakaviin tulehduksiin dermiksen ja/tai hypodermiksen tai rappeutuvan lihaksen alueella (subakuutista krooniseen). Joissakin näytteissä havaittiin fibroblastien aktiivisuutta dermiksessä. Epidermiksessä havaittiin sekä pinnallista (ulompi kerros) että syvempää nekroosia. Lihasturvotusta, lihasrappeumaa tai nekroosia havaittiin 12 lohessa. Epiteelin eroosio, hypodermiksen tulehdus ja lihasrappeuma/-nekroosi vastaavat RMS-taudille kuvattuja muutoksia (Metselaar ym., 2020). Joitakin RMS:n kriteerejä, kuten akantoosia (epiteelin reaktiivinen paksuuntuminen) ei kuitenkaan havaittu. Seitsemän lohota tutkittiin MLO:n varalta ja näistä kolmessa havaittiin MLO-tyyppinen mikro-organismi. Näiden kolmen lohosen vauriot olivat subakuutteja, kun taas neljän MLO-negatiivisen lohosen vauriot olivat puolestaan akuutteja

Kaikilla neljällä RVS-lohella havaittiin voimakas tulehdusreaktio dermiksessä ja/tai hypodermiksessä. Kolmella näistä tulehdus saatiin vahvistettua sukkulamatojen aiheuttamaksi. Kahdessa lohessa, joilla oli melanisaatiota vatsan dermiskerroksessa, havaittiin loisten jäänteitä melanisaation yhteydessä. Yhdellä kolmesta lohesta, joilla oli UDN-tyyppistä nekroosia päässä, havaittiin varhaiseen UDN-tartuntaan viittaavaa pyknoosia ja varhaista rakkulamudostusta epidermiksen syvässä kerroksessa. Kahdella muulla lohella oli pinnallista epidermiksen nekroosia, viitaten muuhun kuin UDN-tartuntaan. Kahdella lohella, joilla oli paranevia vatsanseinämän läpäisseitä vammoja, oli suolta kasvanut vatsanseinämään kiinni tulehdusreaktion ja arpeutumisen seurauksena. Vanhassa haavassa oli kroonista tulehdusta ihon dermiskerroksessa ja lievää valkosolujen infiltraatiota hypodermiksen rasvakudoksessa. Verisivelyiden sytologia tehtiin valkosolujen (leukosyytit) ja punasolujen (erytrosyytit) populaatioiden koostumuksen arvioimiseksi. Leukosyyttien osalta havaittiin vuosittaista vaihtelua sekä näytteenottoaikojen sisällä että niiden välillä. Neutrofiilien, monosyyttien, lymfosyyttien ja neutrofiili/lymfosyyttisuhteen prosenttiosuuksien vertailu muihin veriparametreihin tai terveydentilaindeksihin ei antanut merkittäviä trendejä. Erytrosyyttien osalta keskityttiin arvioimaan epä kypsien punasolujen (erytroblastien ja proerytrosyyttien) likimääräistä osuutta. Proerytrosyyttejä (1–10 %) havaittiin 41 sivelynäytteessä. Yhdessä sivelynäytteessä havaittiin yksittäinen erytroblasti. RV keräsi iho- ja maksanäytteitä histologista tutkimusta varten 17 oireilevasta lohesta vuosina 2021–2024. Erilaisia mutta suurimmilta osin lieviä vaurioita havaittiin. Joillakin lohilla havaittiin vesihometta ja epidermiksen hilseilyä. Muutamilla lohilla esiintyi vakavampia vaurioita ihossa ja sen alla olevassa lihaskudoksessa. Vakavat vauriot liittyivät yleensä vesihometartuntaan. RMS:lle tyypillisiä histologisia ihovaurioita ei havaittu RV:n analysoimissa ihonäytteissä. Useimmissa RV:n analysoimissa maksanäytteissä vakuolisaatio oli lievää tai kohtalaista.

#### Mitattujen muuttujien yhteys terveydentilaan

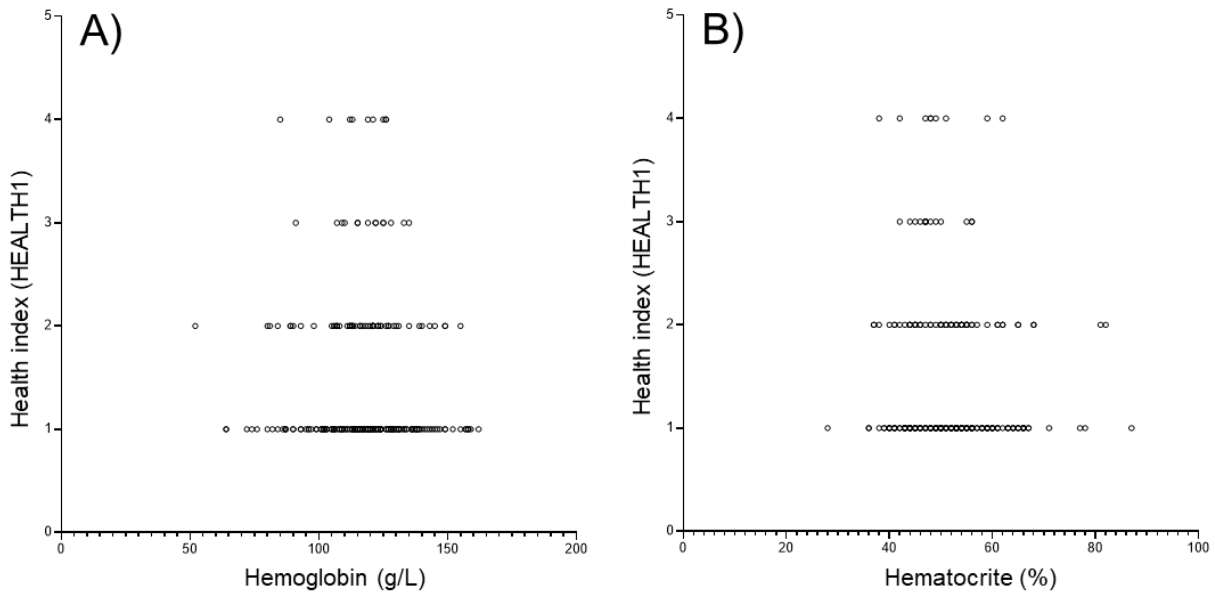
SVA:n vuosina 2020–2024 keräämä aineisto analysoitiin kokonaisuudessaan piirtämällä terveyst indeksi eri parametrien suhteen. HEALTH1-indeksi analysoitiin ensin pituuden, painon ja sukupuolen muuttujana (**Kuva 9A**). Suurin osa tutkituista lohista (189 lohota eli 89,6 % Tornionjoen 211 lohesta, tai 228 lohota eli 90,8

% Luleälvenin loheta mukaan laskettuna) oli hyväkuntoisia terveysindeksillä 1–2. Yhdelläkään lohella ei ollut terveysindeksiä 5 (vakava vesihomeinfektio). Suurimmat ja pienimmät lohet (pituuden ja painon mukaan) olivat uroksia, mutta lohien terveyden ja sukupuolen tai koon välillä ei ollut selkeää yhteyttä. Mahdollisten kuntoerojen havaitsemiseksi sairaita luokiteltujen ja terveiden tai mekaanisia vammoja omaavien lohien välillä tarkasteltiin kuntoindeksiä ja maksaindeksiä HEALTH2:n suhteen (**Kuva 9B**). Koska terveen lohet (vaaleansiniset), sairaat lohet (oranssit) ja mekaanisesti vaurioituneet lohet (violetit) sijoittuvat samaan alueeseen kuvaajassa, sairauden ei havaittu vaikuttavan selvästi lohien kuntoon otoksessa.



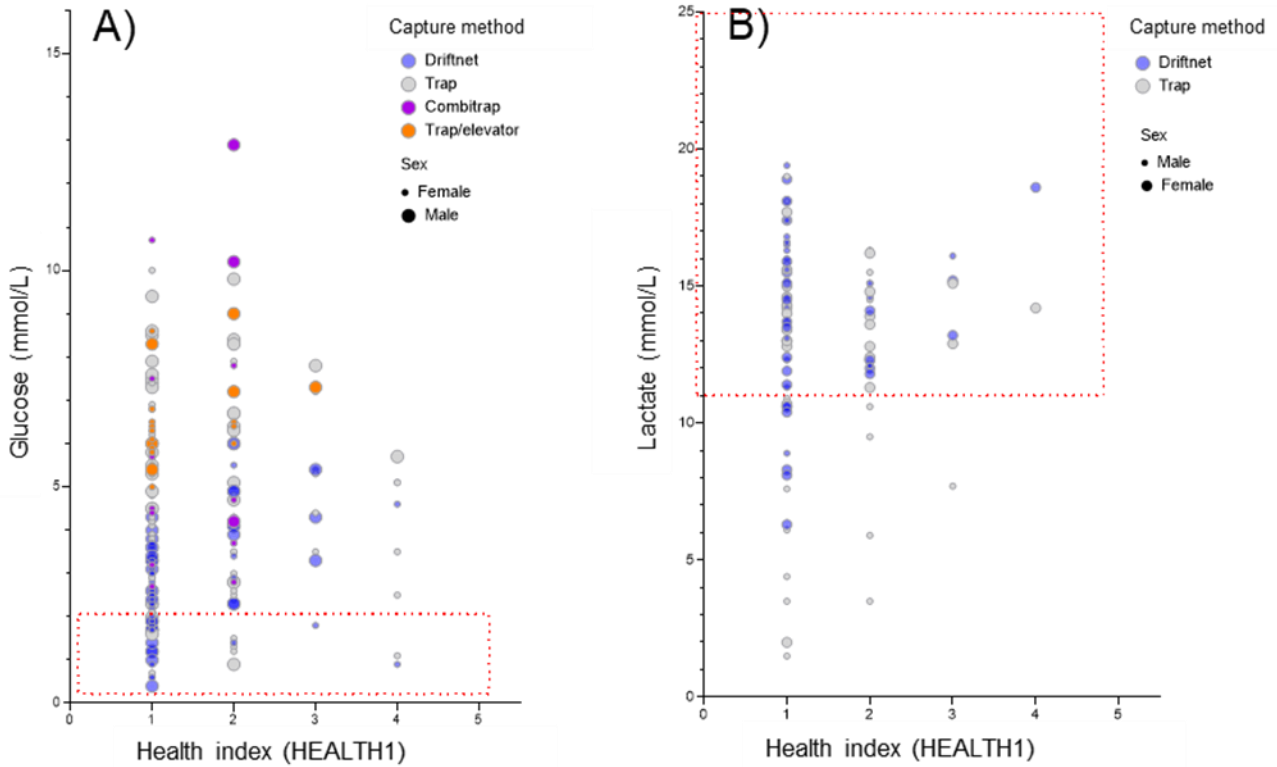
**Kuva 9. A)** Monimuuttuja-analyysi HEALTH1-terveysindeksin arvojen suhteesta pituuteen (Length), painoon (Weight) ja sukupuoleen (Sex). **B)** Monimuuttuja-analyysi kuntoindeksin ja maksaindeksin suhteesta HEALTH2-terveysindeksin arvoihin. Female = naaras, Male = koiras, Healthy = terve, Mechanical injury = mekaaninen vaurio, Diseased = oireellinen.

Kun hemoglobiini- ja hematokriittitasot asetettiin suhteessa HEALTH1:een, ei havaittu erityisiä korrelaatioita (**Kuva 10 A & B**), ja sekä korkeimmat että matalimmat (aneemiset) Htc-arvot löytyivät näennäisesti terveistä lohista.



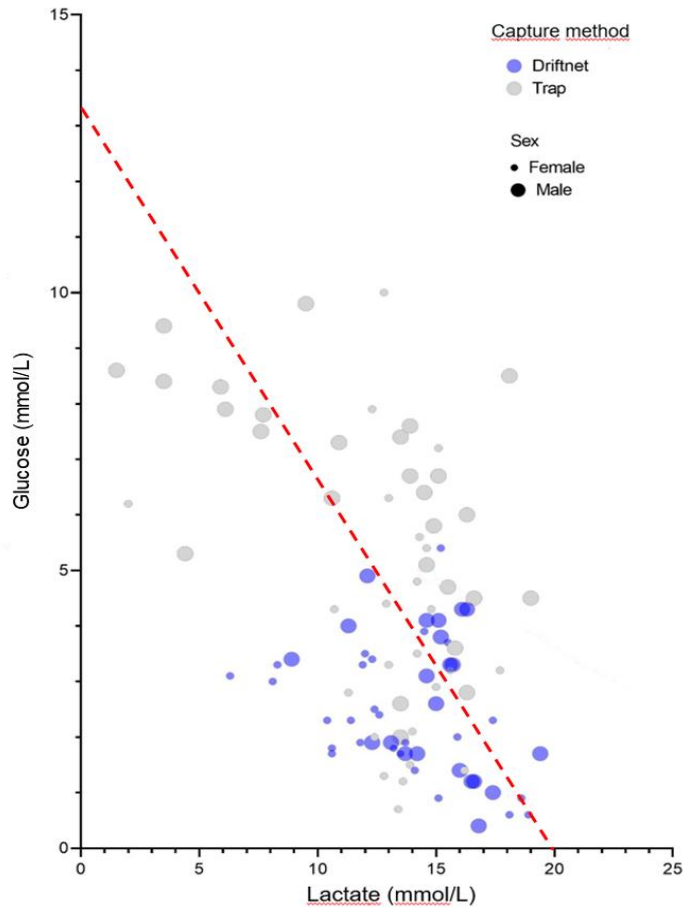
**Kuva 10.** HEALTH1 suhteessa **A)** hemoglobiinipitoisuuteen (g/l) ja **B)** hematokriittiin (%).

Hemoglobiinin ja hematokriitin tavoin ei löytynyt erityistä korrelaatiota HEALTH1-luokkien ja verensokeri- tai laktaattitasojen välillä, kun tiedot asetettiin graafeihin. Korkeimmat glukoositasot ja matalimmat laktaattitasot havaittiin terveissä tai lievästi oireilevissa lohissa (HEALTH1-luokat 1 ja 2). Kuten laboratoriotuloksissa todettiin, glukoosi- ja laktaattitasot erosivat merkittävästi Seskarössä ja Vitsaniemessä pyydetyjen lohien välillä, ja glukoosiarvot erosivat urosten ja naaraiden välillä. Mahdollisten pyydystystavan, sukupuolen tai terveydentilan vaikutusten erottamiseksi glukoosi- ja laktaattitasoihin tehtiin monimuuttujagrafiikka Tornionjoen aineistosta. **Kuva 11A** havainnollistaa glukoositasojen eroa ajoverkolla pyydetyjen ja loukkuun jääneiden lohien välillä. Laktaattitasot näyttävät korreloivan päinvastaisesti (**Kuva 11B**), vaikka Wilcoxonin järjestyslukutestin mukaan ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Sukupuoliero glukoosissa saattaa olla havaittavissa HEALTH1-luokissa 3 ja 4 **Kuvassa 11A**. Lisäksi glukoosi näyttää vähenevän terveysindeksin kasvaessa, ja laktaatti näyttäisi lisääntyvän terveysindeksin kasvaessa.



**Kuva 11.** Monimuuttuja-analyysi **A)** glukoosi- ja **B)** laktaattitasoista suhteessa HEALTH1-terveysindeksiin, näytteenottomenetelmään (ympyrän väri) ja sukupuoleen (ympyrän koko). Huomaa, että sukupuolta (Sex) kuvaavan ympyrän koko on vaihdettu **A)** ja **B)** Kuvien välillä. Punaiset katkoviivalla rajatut alueet osoittavat hypoglykemiaa (alhaisia glukoositasoja) ja kohonneita laktaattitasoja kyseisissä kuvissa. Driftnet = verkko; Trap = rysä; Female = naaras; Male = koiras.

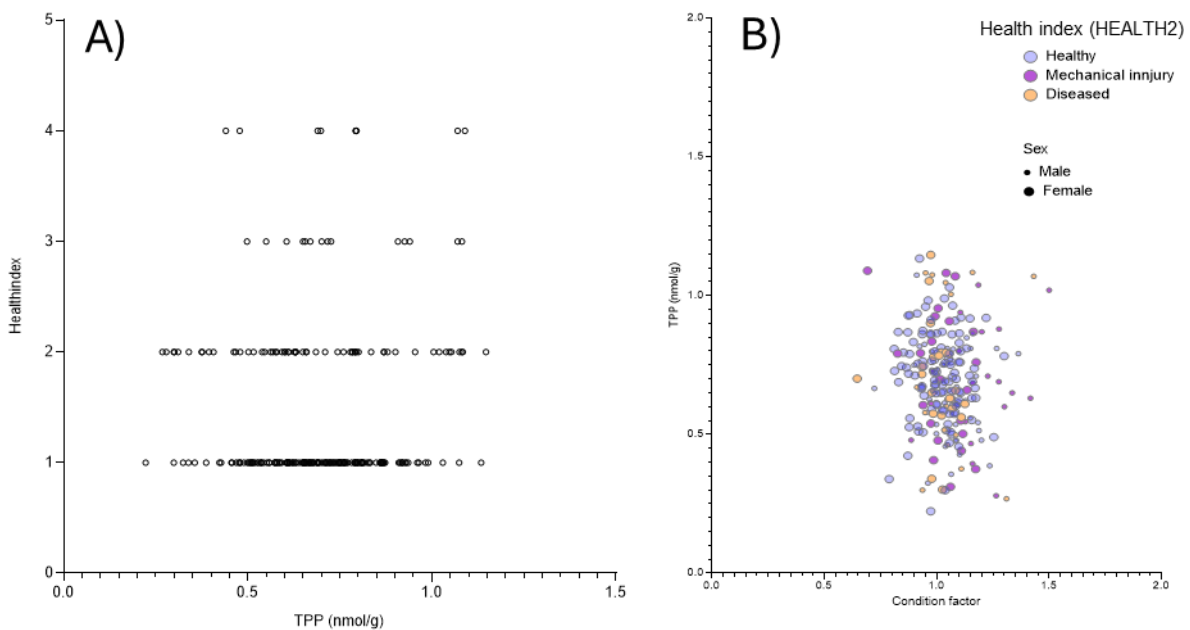
Verengluukoosin ja verilaktaatin tulokset suhteessa näytteenottomenetelmään osoittivat käänteisen yhteyden muuttujien välillä, eli silloin kun glukoositaso on korkea, laktaattitaso on matala ja päinvastoin. Tämä voidaan pitää normaalina, sillä laktaattia muodostuu, kun glukoosia metaboloidaan anaerobisesti. Glukoosi- ja laktaattiarvot asetettiin siksi vastakkain (**Kuva 12**) yhteyden vahvistamiseksi. Tilastollisesti yksinkertainen (yksimuuttujainen) regressioanalyysi laktaatin ja glukoosin välillä osoitti merkittävän negatiivisen yhteyden ( $N = 100$  näytettä,  $p < 0.001$ , 99 vapausastetta,  $R^2 = 0.16$ ), ja sen mukaan laktaatin kasvaessa yhdellä yksiköllä (1 mmol/l), glukoosi vähenee 0.67 mmol/l.



**Kuva 12.** Glukoosi- ja laktaattitasojen välinen yhteys Tornionjoen lohissa (N=100). Näytteenottomenetelmä (Capture method) on merkitty harmaalla/sinisellä värillä (Drifnet = verkko; Trap = rysä) ja sukupuoli (Sex) pisteen koolla (Female = naaras; Male = koiras). Katkoviiva kuvaa yksimuuttujaista regressiotulosta, jonka mukaan laktaatin kasvaessa yhdellä yksiköllä (1 mmol/l), glukoosi vähenee 0.67 mmol/l.

Useilla yksilöillä havaittiin glukoosiarvoja (>7 mmol/l), vaikka heidän laktaattiarvonsa olivat samanaikaisesti koholla (>12 mmol/l) (**Kuva 12**), ja malli selitti vain noin 16 % aineiston vaihtelusta ( $R^2$ ), mikä viittaa siihen, että myös muut tekijät vaikuttavat laktaattiarvoihin. Tämän vuoksi suoritettiin monimuuttujainen lineaarinen regressiomallinnus, aluksi testaamalla muuttujia yksimuuttujaisilla regressiomalleilla yhteyden varmistamiseksi. Jälkiarvioinnissa havaittiin, että laktaattiarvojen vaihtelu oli epätasaista (heteroskedastista) eri glukoosiarvoilla, ja lineaarisen regressiomallin pätevyyden edellytyksenä on tasainen vaihtelu (homoskedastisuus). Ongelman ratkaisemiseksi muuttujaa voitiin muuntaa. Muuntaminen neliöarvoiksi (laktaatti  $\times$  laktaatti) poisti heteroskedastisuuden. Mallinnus tehtiin siten muuttujalla "Lactate2". Yksimuuttujaisessa regressiossa tarkasteltiin myös muuttujia "vuosi", "paikka" (näytteenottomenetelmä), "kuntoindeksi", "HEALTH1", "HEALTH2", "hematokriitti", "Hb" ja neljä tiamiinivitamiinia, jotta voitiin arvioida, sisällytetäänkö ne monimuuttujaiseen malliin. Sisällyttämiskriteerinä käytettiin merkitsevyytensä  $p < 0.2$ . HEALTH1-muuttujassa kategoriat 3 ja 4 yhdistettiin analyysia varten. Vain muuttujat "glukoosi", "Hb", "hematokriitti" ja "vuosi" olivat riittävän merkitseviä jatkomallinnukseen. "Hematokriitti" ei ollut merkitsevä yhdessä "glukoosin" ja "Hb:n" kanssa, joten se jätettiin pois. Kun malliin lisättiin "vuosi", laktaattiarvojen vaihtelusta voitiin selittää noin 36,5 %. Kuitenkin "vuosi" aiheutti jälleen epätasaista vaihtelua. Testattiin myös muita laktaatin muunnoksia

(neliöjuuri, luonnollinen logaritmi (ln), kymmenkantainen logaritmi (log10) ja laktaatti<sup>3</sup>). Vain "Lactate3" oli muunnettu muuttuja, jolla oli tasainen vaihtelu eri glukoosiarvoilla, ja malli, joka sisälsi muuttujat "glukoosi", "Hb" ja "vuosi", voitiin tuottaa rikkomatta homoskedastisuuden ehtoa. "Hb" oli positiivisesti yhteydessä laktaattiin (korkeammat Hb-arvot liittyivät korkeampiin laktaattiarvoihin) ja "vuosi" oli negatiivisesti yhteydessä laktaattiin (vuonna 2024 laktaattiarvot olivat matalampia). Muuttujien välillä ei havaittu merkittäviä interaktioita. Tämä malli selitti 34,9 % vaihtelusta ja oli erittäin merkitsevä ( $p < 0.001$ , 100 näytettä ja 99 vapausastetta). Näin ollen laktaattiarvojen vaihtelua voitiin selittää paremmin kuin pelkästään vertaamalla laktaattiarvoja glukoosiin. Mallin jäännöstermit olivat kuitenkin epätasaisesti jakautuneet, mikä viittaa siihen, että mallissa oli edelleen ongelmia. Mallin lisäsovittamisyrityksiä ei tehty. Tiimiinutilanteen osalta ei havaittu näkyvää yhteyttä yleisen terveydentilan tai terveydentilaindeksin ja TPP-tason välillä (**Kuva 13A**), eikä TPP-tasoissa ollut eroa riippuen kuntoindeksistä tai siitä, esiintyikö mekaanisia vammoja tai muita vaurioita (sairauksia) (**Kuva 13B**).



**Kuva 13. A)** HEALTH1-muuttujan ja veren TPP-tason välinen yhteys sekä **B)** kuntoindeksin (Condition factor) ja veren TPP-tason, HEALTH2-muuttujan (Healthy = terve; Mechanical injury = mekaaninen vaurio; Diseased= oireellinen/sairas) ja sukupuolen (Male=koiras; Female=naaras) välinen yhteys.

## Pohdinta

Olemme keränneet viiden peräkkäisen vuoden ajan (2020–2024) aineistoa Tornionjokeen palaavien lohien terveydentilan kartoittamiseksi. Yleisen näytteenoton, jossa lohia otetaan riippumatta näkyvistä vaurioista, ja kohdennetun näytteenoton, jossa vaurioituneet lohet tunnustetaan, yhdistelmä mahdollistaa kattavamman kokonaiskuvan Tornionjoen lohien terveydestä kuin kumpikaan menetelmä yksinään. Lisäksi havaintopaikka toimii täydentävänä lähteenä, joka mahdollistaa sekä kohdennetun näytteenoton että paremman käsityksen sairastuneiden lohien vuosittaisesta kokonaismäärästä. Havaintopaikan käyttö tautitilanteen tulkintaan edellyttää kuitenkin asianmukaista raportointia, eli että ihmiset tuntevat havaintopaikan ja ovat halukkaita sekä kykeneviä raportoimaan.

Vaurioita havaittiin lähes puolessa yleisestä näytteenotosta saaduista lohista sekä luonnollisesti oireilevissa yksilöissä. Yleisessä näytteenotossa yleisimmät vauriot olivat ihon verenvuodot ja mekaaniset vauriot, mikä vastaa aiempia Tornionjoen lohista tehtyjä havaintoja (Axén & Koski 2017; SVA, GU & SLU, 2019). Kohdennetussa näytteenotossa yleisimmät vauriot olivat verenvuodot ja vesihome, kun taas mekaanisia vammoja esiintyi harvoin.

Ihon verestystä esiintyy useissa tarttuvissa taudeissa, mutta mitään yksittäistä taudinaiheuttajaa ei tunnistettu, lukuun ottamatta yhtä naaraslohta, jolla oli RSD ja joka todettiin positiiviseksi kalojen ortoreoviruksen (PRV) osalta. PRV kuvattiin ensimmäisen kerran vuonna 2010 viljellyillä lohilla, joilla esiintyi sydän- ja luustolihashastulehdusta (HSMI) (Palacios ym. 2010). Sen jälkeen PRV on tunnistettu sekä luonnonvaraisilla että viljellyillä lohikaloilla eri puolilla maailmaa (Sørensen ym. 2020). Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan havaittu HSMI:n oireita. PRV eristetäänkin usein oireettomista lohikaloista, sekä viljellyistä että luonnonvaraisista (Wessel ym., 2015; Sørensen ym. 2020). PRV-infektio voi kuitenkin kehittyä HSMI:ksi sopivissa olosuhteissa, ja sen esiintymistä sekä mahdollisia vaikutuksia luonnonvaraisiin Itämeren lohiin tulisi seurata jatkuvasti. Onneksi tässä tutkimuksessa ei havaittu vakavia virus- tai bakteeritautiepidemioita Tornionjoen lohilla, sillä useat taudinaiheuttajat voitiin sulkea pois negatiivisten analyysitulosten perusteella (**Taulukko 5**). Virusanalyysiä ei tehty systemaattisesti yleisessä näytteenotossa, koska kaudella 2016 – jolloin näytteenotto aloitettiin – ei ollut viitteitä virusten esiintymisestä, ja kaikki luonnonvaraiset emolohet sekä meritaimennaarat istutustiloilla tutkitaan vuosittain. Tähän mennessä IPN-virus on tunnistettu vain kahdessa yksilössä 25 510:stä vuosina 2007–2024. Virologiset näytteenotot vuosina 2021 ja 2022 tehtiin siksi, että Ahvenanmaalla oli IHN-epidemia viljellyillä kirjolohilla, mikä tarkoitti, että lohet olisivat voineet kulkea saastuneen alueen läpi. Kyseistä virusta ei kuitenkaan havaittu tämän tutkimuksen lohissa, eikä sitä ole löydetty myöskään emolohinaarasnäytteistä epidemian jälkeen.

Red skin disease (RSD) -tauti muistuttaa ulkonäöltään kirjolohen Red Mark -syndroomaa (RMS), mutta vaurioiden sijainti eroaa toisistaan (vatsa vs. kylkiviivan alue). RMS:ään on yhdistetty rickettsia-tyyppinen bakteeri nimeltä *Midichloria*-tyyppinen organismi (MLO) (Metselaar ym. 2020). Tässä tutkimuksessa otettiin järjestelmällisesti ihonäytteitä lohista, joilla oli vatsan alueen verestystä/RSD, ja analysoitiin näytteet MLO:n esiintymisen varalta. MLO:ta ei havaittu, mutta useissa näytteissä tapahtui epäspesifiä amplifikaatiota, mikä viittaa muun geneettisen materiaalin läsnäoloon, ja sulamiskäyrät osoittivat, että näytteissä oli jokin spesifinen DNA-sekvenssi. On siis mahdollista, että RSD-lohissa esiintyy MLO:ta muistuttava organismi. On kuitenkin epäselvää, aiheuttaako tämä organismi verestystä. Rickettsiat ja rickettsia-tyyppiset organismit ovat vaikeita viljellä, minkä vuoksi elävien organismien eristäminen on erittäin haastavaa. Tämä vaikeuttaa taudinaiheuttajan osoittamista, sillä infektio potentiaalinen kokeellinen todentaminen on hankalaa, ja elävien organismien puuttuminen vaikeuttaa myös koko genomien kartoittamista asianmukaista tunnistamista varten. Kochin postulaattien täyttäminen infektio taudin osalta on siten vaikeaa. Tarvitaan lisää tutkimusta, jotta voidaan paremmin ymmärtää tämän "MLO-tyyppisen organismin" roolia luonnonvaraisten lohien terveydessä. Molekyylogeneettisen analyysin lisäksi tutkittiin ihoverestysalueiden vaurioita myös histologisesti. Osa näytteistä osoitti samankaltaisuuksia RMS:n kanssa, mutta mikään näyte ei täyttänyt kaikkia histologisia kriteerejä, mikä tukee käsitystä siitä, ettei RMS/MLO ole taudin aiheuttaja, mutta vahvistaa mahdollisuutta, että "MLO-tyyppinen organismi" saattaa olla läsnä.

Bakteeri *Iodobacter limnosediminis* eristettiin useista lohista, erityisesti niistä, joilla esiintyi saprolegnioosia. *I. limnosediminis*-bakteeria pidetään suhteellisen apatogeenisenä kaloille, mutta se voi aiheuttaa ihovaurioita taimenilla (Korkea-aho ym. 2021), ja se on yleisesti eristetty lohikaloista, joilla on saprolegnioosi (Korkea-aho ym. 2021; Carbajal-González ym. 2011). Bakteerin mahdollinen rooli saprolegnioosin yhteisinfektiossa on kuitenkin edelleen tuntematon.

Vesihomeen osalta Tornionjoella on viime vuosina havaittu voimakkaasti infektoituneita lohia (Axén & Koski 2017, Härkönen ym. 2024). Vesihome vaikuttaa yleensä yksilöihin, joilla on ihovaurioita, jotka ovat stressaantuneita tai joiden immuunijärjestelmä on heikentynyt (van den Berg ym. 2013). Voimakas infektio

johtaa veden kertymiseen kudoksiin ja hemolyysin ja osmoottisen epätasapainon seurauksena kuolemaan. Saprolegnioosin kokonaisvaikutus lohikantoihin ei ole vielä hyvin tunnettu, sillä vaikka kutuun selviäisi vähemmän lohia, jälkeläisten kokonaismäärä ei välttämättä vähene (johtuen vähäisemmästä kilpailusta kuoriutuneiden poikasten välillä). Tässä tutkimuksessa saatiin tarkempaa tietoa vesihomeiden lajistosta ja niiden esiintymismalleista Tornionjoen lohikaloilla. *Saprolegnia parasitica* -lajia pidetään vesihomeista patogeenisimpänä lajina, ja se aiheuttaa suurta kuolleisuutta sekä viljelyillä että luonnonvaraisilla lohikaloilla (van den Berg ym. 2013). Kesä-heinäkuussa pyydyillä lohilla havaittiin vain harvoin vesihomeinfektion merkkejä, ja ne olivat lieviä ja paikallisia, lukuun ottamatta yhtä meritaimenta, jolla oli laajoja UDN-tyyppisiä vaurioita. Näistä vaurioista tunnistettiin *S. parasitica*, *S. diclina*, tunnistamattomia *Saprolegnia*-lajeja sekä joitakin vesistöympäristössä esiintyviä sieniä, joiden ei tiedetä olevan haitallisia lohille. Sen sijaan kaikki myöhään syksyllä pyydyt lohiet olivat yleensä voimakkaasti infektoituneita vesihomeella, joka tunnistettiin *S. parasitica* -lajiksi. Näiden tulosten perusteella voidaan päätellä, että *S. parasitica* esiintyy Tornionjoen lohikannoissa ja aiheuttaa voimakkaita infektoita erityisesti syksyllä. Tällöin lohi on alttiimpi taudeille kutuun liittyvien fysiologisten prosessien vuoksi, sillä sen aineenvaihdunnalliset resurssit kohdistuvat jälkeläisiin ja immuunijärjestelmä heikkenee. Koska kohdennetussa näytteenotossa mekaanisia vaurioita havaittiin vain 6 %:lla lohista, mutta vesihometta 58 %:lla samasta ryhmästä, tämä viittaa siihen, että mekaaniset vauriot eivät välttämättä ole merkittävä riskitekijä vesihomeinfektioille verrattuna esimerkiksi stressiin tai ihon verestukseen – toisin kuin esimerkiksi vaelluksen ja kutuun liittyvä stressi. Vesihomeen esiintyvyydessä oireilevilla lohilla oli myös vuosittaisia eroja. *Saprolegnia* esiintyi useimmissa oireilevissa lohissa vuosina 2020 ja 2021, mikä saattaa liittyä suurempaan palaavien lohien määrään (suurempi infektiopaine) verrattuna kolmeen seuraavaan vuoteen. Todennäköisin selitys on kuitenkin se, että vain vuosina 2020 ja 2021 lohia saatiin näytteeksi myöhään syksyllä, jolloin vesihomeinfektiot ovat yleisimpiä.

Suurin osa Tornionjoen lohista oli infektoitunut heisimadolla *Eubothrium* sp. *Eubothrium* sp. esiintyy yleisesti Itämeren lohilla, mikä johtuu pelagisten kalojen syönnistä – nämä toimivat loisen väli-isäntinä. Lohikaloissa, jotka ovat loisen lopullisia isäntiä, heisimato löytyy suolistosta, jossa se imee ravintoa suolen sisällöstä. Voimakkaat infektiot voivat aiheuttaa ravintoaineiden puutetta, mutta tässä tutkimuksessa ei havaittu selvää yhteyttä loismäärän ja kuntoindeksin välillä. Heisimadoilla on koukut, joilla ne kiinnittyvät suolen limakalvoon. Histopatologisissa tutkimuksissa havaittiin, että tämä aiheuttaa paikallisen immuunireaktion, joskus voimakkaan. Heisimadon lisäksi yksittäisiä sukkulamadon toukkia, jotka tunnistettiin lajiksi *Contracecum osculatum*, löydettiin muutamista maksoista. Tämän sukkulamadon lopullinen isäntä on hylje, ja sitä esiintyy yleisesti Itämeren turskien maksoissa, joissa infektiot voivat olla voimakkaita (>100 matoa). Eräässä tutkimuksessa *C. osculatum* havaittiin 46 %:ssa tutkituista Itämeren lohista, mutta aina pieninä määrinä (1–4 matoa), ja immuunireaktiot tuhosivat loiset (Setyawan ym., 2019). On kuitenkin syytä korostaa, että *C. osculatum* voi aiheuttaa sairauksia ihmisille (allergisia reaktioita tai kipua, kun elävät loiset yrittävät tunkeutua mahalaukun seinämään), jos raakaa kalaa syödään (EFSA, 2011). Sen sijaan lohet, joilla on suolistossa aikuisia heisimatoja, ovat turvallisia syödä, koska madot ovat jo lopullisessa isännässään. Jos heisimatoja kuitenkin löytyy vatsaontelosta (ilman että suoli on vaurioitunut kalan avaamisen yhteydessä), lihaksista tai kystinä suolessa tai muissa sisäelimissä, on syytä olla varovainen, sillä kyseessä ovat toukat väli-isännässä. Eryistä varovaisuutta tulee noudattaa, jos heisimatoja löytyy lihaskudoksesta, sillä ne voivat olla ihmisen heisimato *Dibothriocephalus latus*. Zoonoosien leviämisen estämiseksi kaikki kala, joka aiotaan syödä raakana tai marinoituna, tulee pakastaa vähintään 48 tunniksi ennen valmistusta, jotta mahdolliset loistoukat tuhoutuvat.

Tämän raportin tutkimusten aikana yleisen näytteenoton tavoitteena on ollut tunnistaa, mikäli mahdollista, sopivia muuttujia lohien terveydentilan seuraamiseksi ilman, että kalaa tarvitsee tappaa. Tämän saavuttamiseksi on näytteenotettava suuri määrä yksilöitä, jotta voidaan muodostaa vertailupohja kaikille mitattaville parametreille. Vertailupohjaan käytettävien yksilöiden tulisi mieluiten olla täysin terveitä, mutta se ei ole mahdollista, sillä kaikki luonnonvaraiset lohet altistuvat jossain määrin immunologisille haasteille, kuten loisille. On epätodennäköistä, että vain yksi tai kaksi yksittäistä muuttujaa riittäisivät

terveydentilan arviointiin, mutta tarkastelemalla useita muuttujia samanaikaisesti mahdollisuus tulkita terveydentilaa kasvaa merkittävästi. Tämän vuoksi olemme arvioineet joukkoa eri muuttujia, jotka voidaan kerätä ilman kalan tappamista, mukaan lukien ulkoisesti havaittavat vauriot (näkyvä terveydentila). Yleisesti ottaen lohet olivat hyväkuntoisia ja niiden katsottiin olevan terveitä, vaikka mekaanisia vaurioita ja ihon verestystä havaittiin usein. Ihoverestykset olivat usein kuitenkin akuutteja, mikä viittaa siihen, että ne saattoivat johtua käsittelystä pyynnin yhteydessä. Suurten näytteenottojen toteuttamiseksi ei ole mahdollista käyttää vapakalastusta, joten tämä tekijä tulee ottaa tutkimuksissa huomioon tulevaisuudessakin ja tärkeää on kirjata, onko verestys akuutti, subakuutti vai krooninen tätä vertailua varten muiden muuttujien kanssa. Lisäksi monet havaitut mekaaniset vauriot olivat arpia tai parantuvia vaurioita, joista osa oli selvästi läpäisseet tai repineet vatsan seinämää, jolloin sisäelimet olivat altistuneet ympäristölle. Tämä osoittaa, että lohilla on erinomainen kyky parantua, mikäli niiden ravitsemustila ja immuunijärjestelmä ovat kunnossa.

Näkyvien vaurioiden pisteyttäminen terveysindeksillä eri tavoin sen mukaan, miltä lohi vaikutti, tai niiden jakaminen mekaanisiin ja ei-mekaanisiin vaurioihin oli tapa luokitella vaurioita helpompaa arviointia ja vertailua varten muiden kerättyjen muuttujien kanssa. Vaikka terveysindeksien ja mitattujen muuttujien välillä ei havaittu selkeitä yhteyksiä, menetelmä on silti hyvä tapa arvioida kalan tämänhetkistä terveydentilaa visuaalisesti. On kuitenkin muistettava, että kalat, joilla on HEALTH1-indeksin arvo 1 tai 2 (eli näkyvästi terveitä tai lievästi vaurioituneita), saattavat olla taudin alkuvaiheessa, jolloin joidenkin muuttujien vaikutus voi jäädä piiloon, vaikka ne olisivat jo koholla tai alentuneita. Vielä tärkeämpää on, että koska suurin osa kaloista kuului näihin kahteen luokkaan, HEALTH1-arvojen 3 ja erityisesti 4 arviointipisteitä kertyi vain vähän, eikä arvoa 5 havaittu lainkaan, mikä vaikeuttaa johtopäätösten tekemistä muuttujien yhteydestä edenneeseen sairauteen. Jatkuva eri muuttujien vertailu keskenään voi tuottaa näyttöä siitä, että jotkin muuttujat korreloivat vahvasti sairauden kanssa, ja lisäaineiston saamiseksi on tärkeää voida mitata näitä muuttujia myös kohdennetussa näytteenotossa oireellisista kaloista, joissa todennäköisesti esiintyy edenneitä taudin vaiheita.

Kaksi jo kutenutta naaraslohta, jotka silmämääräisesti arvioitiin huonokuntoisiksi (heikko yleiskunto, varhainen saprolegnioosi), todettiin kuihtuneiksi sisäelinten rasvavarastojen puuttumisen perusteella, yhdistettynä histologisiin löydöksiin ravintoaineiden puutteesta maksassa ja sydänlihaksen rappeutumisen merkeistä. Jälkimmäinen johtuu siitä, että elimistö alkaa käyttää lihasproteiineja aineenvaihduntaan, kun rasva- ja glukoosivarastot ovat ehtyneet. Silti veriarvot olivat suhteellisen normaalit. Kuihtuminen kudun jälkeisessä vaiheessa on normaalia, ja tila palautuu normaaliksi, kun kala alkaa jälleen syödä. Näiden yksilöiden kohtalo, mikäli niitä ei olisi pyydetty, jää kuitenkin epäselväksi, sillä molemmilla oli varhaisen saprolegnioosin merkkejä.

Veriarvojen arviointi on haastavaa, ensinnäkin siksi, että Ruotsin markkinoilla saatavilla olevia mittalaitteita Hb:n, glukoosin ja laktaatin mittaamiseen ei ole kehitetty kalaverta varten. Tämän vuoksi käyttämillemme laitteille ei ole määriteltyjä normaaleja "kalakohtaisia viitearvoja", ja eri laitteiden välillä esiintyy aina vaihtelua. Lisäksi saatavilla olevat viitearvot on määritetty viljellyille kaloille, joiden biologia poikkeaa hieman luonnonvaraisista yksilöistä (ne on jalostettu kasvamaan nopeasti), niitä ruokitaan runsaasti (eivät ole katabolisessa tilassa kuten kutuvaellukselta palaavat lohet), ne eivät ole aktiivisessa liikuntavaiheessa (toisin kuin esimerkiksi lohet, jotka on pyydetty heti noustuaan Vuentokosken pitkätkosket), ja ne saattavat kokea vähemmän stressiä pyynnin aikana (vain pyydystetään haavilla altaasta). Näistä syistä, ja huomioiden näytteenoton aiheuttama stressi sekä mittausvirheet, normaalien Hb-, glukoosi- ja laktaattiarvojen vaihteluväliä sallittiin hieman laajemmaksi kuin julkaistuissa arvoissa. Rozas-Serri ym. (2022) -julkaisussa esitetyt Hb-viitearvot ovat huomattavasti korkeampia kuin eläimille ja ihmisille normaalisti käytetyt viitearvot (esimerkiksi ihmisten naisilla normaaliarvo on 117–153 g/l ([Karolinska Universitetssjukhuset](#))). Kaikki mediaani-Hb-arvot (pre-smoltti, smoltti, post-smoltti ja aikuiset Atlantin ja hopealohi) Rozas-Serri ym. (2022) -tutkimuksessa ovat erittäin korkeita (384–641 g/l), mikä viittaa mittausvirheeseen tai virheelliseen yksikkömuunnokseen. On mahdollista, että arvot on ilmoitettu yksikössä g/dl (eli 38,4–64,1

g/l), mikä asettaisi ne meidän vaihteluvälimme alapäähän. Hematokriitti arvioidaan visuaalisesti asteikon avulla sen jälkeen, kun näytteet on sentrifugoitu erityisissä hematokriittimikroputkissa, joten sille ei ole olemassa laitepohjaista viitearvoa. Mittausvirheitä voi luonnollisesti esiintyä, ja kuten muidenkin veriarvojen kohdalla, sallittiin jonkin verran joustoa erityisesti hematokriitin stressiperäisen kohoamisen huomioimiseksi. Verilevyjen osalta levyn paksuus ja värjäyksen voimakkuus vaikuttavat luettavuuteen. Hyperglykemia eli korkea verensokeri voi johtua äskettäisestä ravinnon saannista (erityisesti diabeettisilla yksilöillä), stressistä tai kroonisesta sairaudesta (kohonnut aineenvaihdunta). Hypoglykemia eli matala verensokeri voi ilmetä paaston tai voimakkaan fyysisen rasituksen yhteydessä. Tässä tutkimuksessa kolmella lohella todettiin hyperglykemia ja 31 lohella hypoglykemia. Kaikki paitsi kaksi (joilla oli hypoglykemia) olivat ulkoisesti hyväkuntoisia (HEALTH1-arvo 1 tai 2), joten arvot johtunevat stressistä tai voimakkaasta rasituksesta. Laktaattipitoisuus veressä on matala aerobisen aineenvaihdunnan aikana, mutta nousee anaerobisessa aineenvaihdunnassa, koska glukoosin hajotuksen lopputuote anaerobisesti on laktaatti. Normaalisti elimistö poistaa laktaatin, mutta jos laktaatin tuotanto ylittää poistokyvyn, syntyy laktaattiasidoosi. Laktaattiasidoosi on yleinen esimerkiksi septisen sokin (vakava infektio) yhteydessä tai muissa tilanteissa, joissa kudosten veren (hapen) saanti heikkenee (Agedal ym., 2023), jolloin anaerobinen aineenvaihdunta käynnistyy eikä laktaatin poistuminen onnistu. Laktaattiasidoosi voi johtua myös tiamiinin puutteesta, koska tiamiini on välttämätön aerobiselle aineenvaihdunnalle (Agedal ym., 2023). Ihmisillä laktaattiasidoosin katsotaan alkavan, kun laktaattipitoisuus ylittää 4 mmol/l ([Acute Lactic Acidosis: Overview, Treatment Overview, Prehospital Care](#)), ja pitoisuudet yli 8 mmol/l on yhdistetty merkittävästi heikompaan selviytymiseen kriittisesti sairailta potilailla (Bernhard ym., 2020). Näin ollen laktaattiasidoosi ihmisillä sijoittuu Atlantin lohelle määritellyn normaalivälin (2,0–5,7 mmol/l) sisälle (Rozas-Serri ym., 2022). Tämä voi tarkoittaa joko sitä, että lohilla on korkeampi laktaatin sietokyky kuin ihmisillä, tai että näytteenotto aiheuttaa aina laktaattipitoisuuden nousua – tai molempia. Joka tapauksessa 86 % tässä tutkimuksessa mitatuista laktaattiarvoista ylitti laktaattiasidoosin raja-arvon 10 mmol/l. Lohilla suurin osa lihasmassasta toimii anaerobisesti, ja vain pieni osa kylkiviivan varrella toimii aerobisesti. Aerobiset lihakset toimivat suurimman osan ajasta, esimerkiksi hitaassa ja hallitussa uinnissa, mutta kun tarvitaan nopea voimantuotto, valkoinen lihas aktivoituu. Siksi koskien voittamiseen tarvitaan anaerobista aineenvaihduntaa. Anaerobinen aineenvaihdunta aktivoituu myös taistelussa kalastajaa vastaan (tässä tapauksessa pyrittäessä pakoon verkoista tai kun pyydykset tyhjennetään), ja hapenpuute verkoissa tai ilmassa pyydyksen tyhjennyksen jälkeen nostaa laktaattipitoisuutta. Koska ajoverkot ovat vedessä noin 30 minuuttia, taistelu voi pitkittyä ja aika verkkoon joutumisesta kuolemaan vaikuttaa todennäköisesti laktaattiarvoihin. Näin ollen glukoosin/laktaatin ja pyyntipaikan/pyyntimenetelmän välinen yhteys vaikuttaa merkitykselliseltä. Lisäksi eri näytteenottopaikoilla voi olla eroja "normaalissa" rasiustasossa, sillä Vitsaniemessä näytteenotto tapahtuu heti sen jälkeen, kun lohi on selvittänyt Vuentokosken kosket. Näytteenottovuosi oli tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä laktaattipitoisuuteen, mikä saattaa tuntua oudolta. Todennäköisesti "vuosi" toimii sijaismuuttujana jollekin toiselle, mittaamattomalle tekijälle, kuten veden virtaukselle (vastus uinnissa) tai veden lämpötilalle, jotka molemmat vaikuttavat aineenvaihduntaan. Lisäksi laktaattiarvot Seskarössä vaihtelivat paljon heinäkuun 2020 näytteenotossa verrattuna muihin, mikä vaikeuttaa yhteyksien arviointia. Yhteys Hb:n nousuun laktaatin noustessa voi johtua hemokonsentraatiosta rasituksen seurauksena. Tämä voi johtua nestehukasta tai punasolujen mobilisaatiosta varastoista (perna, munuainen). Yhtään yhteyttä tiamiiniviamiineihin ei havaittu, joten tiamiinin puutteen ei oleteta olevan mukana tässä mitatussa laktaattiasidoosissa, vaan arvot olivat pääasiassa koholla voimakkaan rasituksen ja stressin vuoksi. Vaikka lohet saattavat poistaa laktaattia tehokkaammin kuin ihmiset (mikä ei ole varmaa), ei tiedetä, olisivatko mitatut arvot yhteensopivia selviytymisen kanssa, jos näytteenotto olisi tehty elävistä ja vapautettavista kaloista. Laktaattiarvojen mittaaminen pyynnin jälkeen verkoilla pyydytyistä lohista ja selviytymisen seuranta esimerkiksi merkitsemällä olisi tarpeen, jotta voitaisiin arvioida elävänä näytteenoton ja vapauttamisen onnistumismahdollisuuksia. Myös laktaattiarvojen mittaaminen vapakalastuksella pyydytyistä lohista olisi mielenkiintoista vertailun kannalta, koska vapautuskalastus on yleinen lohenkalastusmuoto. Leukosyytit, erityisesti neutrofiilit, rekrytoituvat verenkiertoon stressin aikana, mutta myös tulehduksen yhteydessä, joka voi johtua mekaanisista vammoista tai sairauksista. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin vain leukosyyttien kokonaiskoostumusta, ei niiden suhdetta punasoluihin, eikä

trombosyyttifraktioita otettu huomioon. Tämä tehtiin, koska ensisijainen kiinnostuksen kohde oli eri leukosyyttien välinen suhde stressin ja sairauden vaiheen ja tyyppin indikaattorina. Emme löytäneet merkittäviä yhteyksiä eri leukosyyttifraktioiden ja sairauden välillä, mikä saattaa viitata siihen, ettei yhdelläkään lohella ollut vakavaa tai pitkälle edennyttä sairaustilaa. Muutamia lohia oli kyllä sairastunut saprolegnioosiin, mutta infektion varhaisessa vaiheessa. Saprolegnioosin myöhäisessä vaiheessa veren parametrit muuttuvat sekä tulehduksen että veren laimenemisen seurauksena (Weichert ym., 2021). Punasoluja arvioitiin muodonmuutosten ja epäkypsiä punasolujen määrän perusteella. Myöhäisvaiheen epäkypsiä punasoluja esiintyy normaalisti jonkin verran veressä, mutta suuria määriä varhaisempia epäkypsiä soluja ja jopa blasteja (kantasoluja) viittaa lisääntyneeseen erytropoieesiin (punasolujen tuotantoon). Tämä voi johtua vakavasta verenmenetyksestä (vammoista tai sairauksista, jotka hajottavat punasoluja) tai hormonaalisesta epätasapainosta. Vuonna 2018 havaittiin lisääntyneitä erytropoieesia tuntemattomasta syystä, jonka uskottiin liittyvän kohonneisiin kilpirauhashormonitasoihin (SVA, GU & SLU, 2019). Vuosina 2020–2024 ei havaittu merkkejä lisääntyneestä erytropoieesista, mikä viittaa siihen, että vuoden 2018 häiriön aiheuttaja ei ole enää läsnä. Kaiken kaikkiaan eri veren parametrien seuranta – sekä kemialliset että solukoostumukseen ja morfologiaan liittyvät – on hyödyllistä terveydentilan tulkinnassa, huomioiden että myös muut tekijät, kuten pyyntimenetelmä ja viimeaikainen rasitus, voivat vaikuttaa mittauksiksi.

Verestä mitattiin tiamiinia, koska tiamiinin puute lohessa voi johtaa vakaviin sairauksiin ja kuolemaan, erityisesti silloin kun naaras ei siirrä tiamiinia tai siirtää sitä vain vähän jälkeläisilleen (Vuorinen ym. 2021; Koski ym., 2001). Luonnossa tiamiinia (eli B1-vitamiinia) tuottavat pääasiassa kasviplanktonit, ja se rikastuu ylöspäin ravintoketjussa. Tiamiini ei varastoidu elimistöön tehokkaasti, joten sitä on saatava jatkuvasti ravinnon kautta. Tämä tarkoittaa, että paaston aikana, kuten kutuvaelluksella, tiamiinipitoisuudet laskevat vähitellen. Tiamiinia esiintyy luonnossa neljässä eri muodossa eli vitamerina: Tfree, TMP, TPP ja tiamiinitrifosfaatti (TTP). Lohessa esiintyy Tfree, TMP ja TPP, ja nämä kolme muodostavat yhdessä kokonais-tiamiinipitoisuuden (Ttot) veressä, maksassa jne. Vapaa tiamiini (Tfree) imeytyy suolistosta ja fosforyloituu TMP:ksi ja TPP:ksi. TPP on yleisin vitameri ja biologisesti aktiivinen muoto, joka toimii esimerkiksi koentsyyminä sitruunahappokierrossa (osa glukoosiaineenvaihduntaa). Veressä noin 90 % tiamiinista sijaitsee punasoluissa. Lohilla ei ole olemassa varsinaisia viitearvoja veren tiamiinipitoisuuksille, joten on vaikea määrittää, mikä pitoisuus olisi puutostila.

Mielenkiintoista kyllä, kokonais-tiamiinipitoisuus (Ttot) oli samankaltainen sekä SVA:n että RV:n näytteissä, mutta vitamerifraktioissa oli merkittäviä eroja. Tälle erolle ei ole löydetty selkeää selitystä. Kaikki tiamiinimääritykset tehtiin samassa laboratoriossa, joten virheen ei pitäisi olla peräisin analyysivaiheesta. Mahdollisesti näytteenotossa ja säilytyksessä oli eroja. Esimerkiksi RV käytti seerumiputkia, kun taas SVA käytti lisäaineettomia putkia, joissa veri sai hyytyä luonnollisesti. Mutta miksi TMP lisääntyisi ja TPP vähenisi seerumiputkien käytön seurauksena, ei voida selittää. Olisi loogisempaa olettaa, että erilainen käsittely vaikuttaisi kokonais-tiamiinipitoisuuteen. Tiamiinin sanotaan olevan epävaka, ja näytteet tulisi ottaa heti kuoleman jälkeen. Vuonna 2020, kun SVA yritti pitää kaikki lohet hengissä näytteenottoon asti juuri tiamiinimääritystä varten, kaikki lohet kuolivat kuljetuksen aikana rannalle kovassa säässä (stressin vuoksi). Viimeinen 20 lohesta oli ollut kuolleena 9–10 tuntia ennen kuin näytteenotto voitiin suorittaa. Tiamiinipitoisuudet asetettiin sen vuoksi lohikohtaisesti kuvaajaan, jotta nähtäisiin mahdolliset kuolemanjälkeiset vaikutukset, mutta aikaan liittyvää laskevaa trendiä ei havaittu. Näin ollen veren tiamiinipitoisuudet vaikuttavat olevan melko stabiileja, ainakin jos verta ei oteta ja jätetä ruiskuun ennen pakastamista.

Histopatologiset analyysit eivät lopulta paljastaneet vakavia sairauksia. Kuitenkin se, että joillakin lohilla ei ollut lainkaan ravintovarastoja maksassa, on hieman huolestuttavaa – erityisesti siksi, että niillä olisi ollut edessään pitkä paastojakso, ellei niitä olisi pyydystetty. Toisaalta useissa maksoissa havaittiin ylimääräisiä ravintovarastoja, ja ne luokiteltiin rasvamuuutosten alkuvaiheeseen tai kehittyneeseen rasvadegeneraatioon. Rasvamaksa on yleinen löydös turskilla, ja ne näyttävät selviävän siitä hyvin. Ei

kuitenkaan ole selvää, päteekö sama lohiin vai vaurioituuko niiden maksa. Sydänlihastulehduksen ja arpikudoksen yleinen esiintyminen viittaa jatkuvaan altistumiseen ärsykkeille tai taudinaiheuttajille, mutta myös hyvään kykyyn parantaa vaurioita. Joidenkin Luleälven-joen lohien sydämen poikkeava anatomia muistuttaa jossain määrin Fallotin tetralogiaa, ihmisen synnynnäistä sydänvikaa, jossa yksi neljästä viasta on aortan siirtyminen oikealle, kuten näillä lohilla. Koska lohella on kaksilokeroinen sydän (yksi eteinen ja yksi kammio) eikä nelilokeroinen kuten ihmisellä (kaksi eteistä ja kaksi kammiota), toinen vika – reikä oikean ja vasemman kammion välillä – ei voi esiintyä. Kolmas vika, keuhkovalveläpän ahtauma (läpän paksuuntuminen ja kaventuminen oikeasta kammiosta keuhkovaltimeen), ei myöskään ole suoraan sovellettavissa, koska kaloilla on kidukset eikä keuhkoja, ja ainoa kammiosta lähtevä valtimo on aortta (joka ihmisellä lähtee vasemmasta kammiosta). Aortta toimii kuitenkin osittain keuhkovaltimon tavoin, sillä siitä lähtevät verisuonet vievät verta kiduksiin, ja aorttaläppien ahtaumaa olisi voinut odottaa. Läppäahtaumaa ei kuitenkaan havaittu, eikä myöskään neljättä Fallotin tetralogian vikaa, eli oikean kammion paksuuntumista. Tämä viimeinen vika syntyy toissijaisesti, kun sydän joutuu tekemään enemmän työtä muiden vikojen vuoksi toimittaakseen happea elimistöön. Luleälven-joen lohissa ei mikroskooppisesti havaittu merkkejä sydämen vajaatoiminnasta tai vaurioista, jotka johtuivat aortan siirtymisestä. Poikkeaman syy on tuntematon. Jos kyseessä on perinnöllinen epämuodostuma, sen täytyy olla kehittynyt useita sukupolvia aiemmin, koska sisaruksia ei havaittu. Todennäköisempää on, että jokin häiriö, kuten lämpötilapiikki mädin inkuboinnin aikana, on vaikuttanut – sillä tämä voi johtaa elinten liian nopeaan kehitykseen, mikä puolestaan voi aiheuttaa esimerkiksi sydänvikoja (Brijs ym., 2020).

Tulosten perusteella, kuten edellä on käsitelty, ehdotamme yleistä näytteenottosuunnitelmaa lohien terveydentilan seurantaan, joka sisältää:

#### Kaikilta lohilta

- 1) Morfometriset parametrit (pituus, paino, sukupuoli)
- 2) Visuaalinen arviointi, mukaan lukien valokuvat myöhempää pisteytystä varten ehdotetun HEALTH1-indeksin mukaisesti
- 3) Verinäytteet hemoglobiiniin (Hb), hematokriitin, glukoosin, laktaatin, tiamiinivitamereiden sekä verisolujen koostumuksen ja morfologian mittaamiseksi

Lohilta, joilla on vaurioita (vaurion luonteen mukaan) tai valinnaisesti oireettomilta lohilta

- 4) Näytteet virologisiin, bakteriologisiin ja mykologisiin tutkimuksiin (viljely ja/tai PCR)
- 5) Näytteet histologisiin tutkimuksiin – ihoalueilta, joissa on ei-mekaanisia vaurioita, sisäelimistä, joissa on vaurioita, tai rutiininomaisesti maksasta, sydäimestä ja munuaisista

Lisäksi: Veden lämpötilan, virtaaman (joessa), koskien läheisyyden jne. kirjaaminen voi olla hyödyllistä veren kemiallisten arvojen tulkinnassa.

## Johtopäätökset

Tuloksemme osoittavat, ettei Tornionjoen lohissa ole havaittu vakavia virus- tai bakteeriperäisiä tautiepidemioita. Yleisin infektio oli vesihome, erityisesti syksyn näytteenotoissa, ja tarvitaan lisätutkimuksia selvittämään eri oomykeetti- ja sienilajien mahdollisia vaikutuksia lohien terveyteen, lisääntymismenestykseen ja selviytymiseen. Lohilla, joilla esiintyi punaisen ihon tautia, havaittiin DNA:ta, joka saattaa kuulua eliöön, joka muistuttaa Midichloria-tyyppistä organismia, joka aiheuttaa vastaavaa tautia kirjolohilla. Tämä havainto edellyttää jatkotutkimuksia.

Riippumatta siitä, tehdäänkö yleisiä vai kohdennettuja näytteenottoja, olisi hyödyllistä käyttää yhtenäistä protokollaa lohien terveydentilan arviointiin sekä yhtenäistä näytepaneelia, jotta tulosten tulkinta ja vertailu olisi mahdollista. Valokuvia, joita voidaan käyttää terveydentilan pisteytykseen, morfometrisiä

muuttujia ja veren parametreja tulee kerätä jatkuvasti, jotta viitekirjasto kasvaa ja näytteitä voidaan vertailla koko vaellusesongin ajalta sekä eri vuosien välillä. Veren kemiallisten arvojen tulkinnessa on oltava varovainen, erityisesti glukoosin ja laktaatin osalta, sillä pyyntimenetelmä, stressi, veden lämpötila jne. voivat vaikuttaa tuloksiin. Tiimiinipitoisuuksia tulee myös seurata jatkuvasti, sillä M74-oireyhtymän kehityssuuntauksia voidaan havaita jo ennen kutua, ja ne voivat ennakoida lisääntymismenestystä. Nämä tiedot voidaan kerätä ilman lohien tappamista, mutta verinäytteenotto vaatii joko manuaalista tai anestesiolla tehtävää immobilisointia, mikä aiheuttaa lohelle stressiä. Tämä stressi tulee vielä pyynnin aiheuttaman stressin lisäksi, ja koska tässä tutkimuksessa laktaattitasot olivat korkeita, näytteenoton jälkeistä vapauttamista ei voida suositella. Siksi eutanasia on paras vaihtoehto näytteenottoa varten. Tämä mahdollistaa myös histopatologisten ja taudinaiheuttajien tutkimusnäytteiden keräämisen, jotka voivat toimia varhaisina varoitusmerkkeinä siitä, että populaatioon on tullut jokin uusi tekijä, joka saattaa muodostua ongelmaksi.

#### Kiitokset

Perttu Koskea kiitetään erinomaisesta mentoroinnista, ja tämän raportin aineiston tuottamisesta vuoden 2020 tutkimuksillaan RV:ssa. Luonnonvarakeskus (Luke) sekä Riina Huusko, Oona Herzog, Eliisa Rantanen ja Laura Härkönen saavat kiitokset arvokkaiden näytteiden ja terveitä lohia koskevien tietojen toimittamisesta ja tutkimusyhteistyöstä.

SVA haluaa kiittää Medströmin perhettä Seskarössä sekä Mansikan perhettä ja Seppo Lauria Vitsaniemessä. Ilman apuanne näiden vuosien aikana näytteenotto olisi ollut huomattavasti vaikeampaa. Lisäksi kiitokset Vattenfallin/Hedenin istutustilalle ja kalastaja Johnny Stålmille, jotka avustivat Luleälven-joen näytteenotoissa vuonna 2021.

RV haluaa kiittää erityisesti kalastaja Eino Martinia, joka on auttanut saamaan lukuisia lohinäytteitä. RV kiittää myös kalastuskilpailujen järjestäjiä ja osallistujia, Lappeen Lohen henkilökuntaa sekä Juha Pieskää yhteistyöstä, ja kaikkia kalastajia, joilta saatiin lohinäytteitä. Lisäksi kiitokset kuuluvat RV:n kesähenkilökunnalle ja Hanna Kinnulalle, jotka ovat olleet mukana näytteenotoissa.

#### Rahoitus

Nämä tutkimukset rahoitettiin tutkimusrahostosta, joka perustuu rajajokikalastuslupien tuottoihin. Rahastoa hallinnoivat Lapin ELY-keskus ja Ruotsin meri- ja vesiviranomainen. Vuonna 2020 Ruotsin Norrbottenin lääninhallitus rahoitti osan ruotsalaisista näytteenotoista.

## Lähteet

- Agedal, K.J., Steidl, K.E., Burgess J.L. 2023. An Overview of Type B Lactic Acidosis Due to Thiamine (B1) Deficiency. *Journal of Pediatric Pharmacology and Therapeutics* 28(5): 397-408. doi: [10.5863/1551-6776-28.5.397](https://doi.org/10.5863/1551-6776-28.5.397)
- Anonymous. 2016. Orthomyxoviridae. In: Fenner's Veterinary Virology, 5th ed. MacLachlan, N.J., Dubovi, E.J. (Eds). 389-410. Academic Press, Elsevier Inc. ISBN 978-0-12-800946-8. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-800946-8.00021-0>
- Axén & Koski 2017. Salmon deaths in Torne River 2014 - 2016. Report to the Swedish Agency for Marine and Water Management and the Centre for Economic Development, Transport and the Environment, Lapland. [https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/elaimet/elainten-terveys-ja-elaintaudit/elaintaudit/kalat-ja-ravut/lohikuolemat\\_tornionjoella\\_2014-2016.pdf](https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/elaimet/elainten-terveys-ja-elaintaudit/elaintaudit/kalat-ja-ravut/lohikuolemat_tornionjoella_2014-2016.pdf)
- Bernhard, M., Döll, S., Kramer, A. Weidhase, L., Hartwig, T., Petros, S., Gries, A. 2020. Elevated admission lactate levels in the emergency department are associated with increased 30-day mortality in non-trauma critically ill patients. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine* 28: 82 <https://doi.org/10.1186/s13049-020-00777-y>
- Brijs, J., Hjelmstedt, P., Berg, C., Johansen, I. B., Sundh, H., Roques, J. A., Ekström, A., Sandblom, E., Sundell, K., Olsson, C., Gräns, A. 2020. Prevalence and severity of cardiac abnormalities and arteriosclerosis in farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 526: 735417. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735417>
- Carbajal-González, M. T., Fregeneda-Grandes, J. M., Suárez-Ramos, S., Rodríguez Cadenas, F., Aller-Gancedo, J. M. 2011. Bacterial skin flora variation and in vitro inhibitory activity against *Saprolegnia parasitica* in brown and rainbow trout. *Diseases of Aquatic organisms* 96(2): 125–135. <https://doi.org/10.3354/dao02391>
- Currie, A.R., Cockerill, D., Diez-Padriza, M., Haining, H., Henriquez, F.L., Quinn, B. 2022. Anemia in salmon aquaculture: Scotland as a case study. *Aquaculture* 546: 737313. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737313>
- EFSA Panel on Biological Hazards (BIOHAZ). 2011. Scientific Opinion on assessment of epidemiological data in relation to the health risks resulting from the presence of parasites in wild caught fish from fishing grounds in the Baltic Sea. *EFSA Journal* 9(7): 2320. doi:[10.2903/j.efsa.2011.2320](https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2320).
- Engblom, C., Landor, L., Sjöqvist, C., Korkea-Aho, T., Viljamaa-Dirks S., Paulin, L., Wiklund, T. 2023. Identification and genetic characterization of *Saprolegnia parasitica*, isolated from farmed and wild fish in Finland. *Journal of Fish Diseases* 46(8): 849-860. doi: 10.1111/jfd.13795. PMID: 37222173.
- HELCOM. 2011. Salmon and Sea Trout Populations and Rivers in Sweden – HELCOM assessment of salmon (*Salmo salar*) and sea trout (*Salmo trutta*) populations and habitats in rivers flowing to the Baltic Sea. Baltic Sea Environment Proceedings No. 126B. <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/08/BSEP126B-SE.pdf>
- Hodneland, K., Endresen, C. 2006. Sensitive and specific detection of Salmonid alphavirus using real-time PCR (TaqMan®). *Journal of Virological Methods* 131(2): 184-192. <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2005.08.012>
- Härkönen, L. S., Iso-Touru, T., Kinnula, H., Rask, M., Korkea-aho, T. 2024. Monitoring in northern Baltic rivers and salmon: Applicability of eDNA methods to detect *Saprolegnia parasitica* in river environments.

Natural Resources and Bioeconomy studies 72/2024. Natural Resources Institute Finland 36 p. [ISBN: 978-952-380-954-3](#) (online)

- Korkea-aho, T. L., Viljamaa-Dirks, S., Heinikainen, S., Kuronen, H., & Tirola, M. 2021. Genetic diversity and phenotypic characterization of *Iodobacter limnosediminis* associated with skin lesions in freshwater fish. *Journal of Fish Diseases* 44: 1711–1724. <https://doi.org/10.1111/jfd.13490>
- Koski, P., Pakarinen, M., Nakari, T., Soivio, A. & Hartikainen, K. 1999. Treatment with thiamine hydrochloride and astaxanthine for the prevention of yolk-sac mortality in Baltic salmon fry (M74 syndrome). *Diseases of Aquatic Organisms* 37: 209-220 <https://doi.org/10.3354/dao037209>
- Koski, P., Soivio, A., Hartikainen, K., Hirvi, T., Myllyla, T. 2001. M74 syndrome and thiamine in salmon broodfish and offspring. *Boreal Environment Research* 6(2): 79-92. <https://www.borenv.net/BER/archive/pdfs/ber6/ber6-079s.pdf>
- Metselaar, M., Thompson, K. D., Paley, R., Green, D. M., Verner-Jeffreys, D., Feist, S., & Adams, A. 2020. Investigating the involvement of a Midichloria-like organism (MLO) in red mark syndrome in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* 528: 735485. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735485>
- Palacios, G., Lovoll, M., Tengs, T., Hornig, M., Hutchison, S., Hui, J., Kongtorp, R.T., Savji, N., Bussetti, A.V., Solovyov, A., Kristoffersen, A.B., Celone, C., Street, C., Trifonov, V., Hirschberg, D.L., Rabadan, R., Egholm, M., Rimstad, E., Lipkin, W.I. 2010. Heart and skeletal muscle inflammation of farmed salmon is associated with infection with a novel reovirus. *PLoS One* 5(7): e11487. doi: [10.1371/journal.pone.0011487](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011487)
- Porter, E.S., Clow, K.A., Sandrelli, R.M., Gamperl, A.K. 2022. Acute and chronic cold exposure differentially affect cardiac control, but not cardiorespiratory function, in resting Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Current Research in Physiology* 5: 158-170. <https://doi.org/10.1016/j.crphys.2022.03.002>
- Rozas-Serri, M., Correa, R., Walker-Vergara, R., Coñuecar, D., Barrientos, S., Leiva, C., Ildefonso, R., Senn, C., Peña, A. 2022. Reference Intervals for Blood Biomarkers in Farmed Atlantic Salmon, Coho Salmon and Rainbow Trout in Chile: Promoting a Preventive Approach in Aquamedicine. *Biology* 11: 1066. doi: [10.3390/biology11071066](https://doi.org/10.3390/biology11071066)
- SVA. 2017. Sjuklighet och dödlighet i svenska laxälvar under 2014–2016. (Disease and mortality in Swedish salmon rivers 2014-2016). In Swedish. Report to The Swedish Agency for Marine and Water Management. [Sjuklighet och dödlighet i svenska laxälvar under 2014-2016](#)
- SVA, GU & SLU. 2019. Fortsatta undersökningar av laxsjuklighet under 2018. (Continued investigations into salmon disease during 2018). In Swedish. Report to The Swedish Agency for Marine and Water Management. [fortsatta-undersokningar-av-laxsjuklighet-under-2018.pdf](#)
- Setyawan, A.C., Zuo, S., Kania, P.W., Buchmann, K. 2019. Endoparasitic helminths in Baltic salmon *Salmo salar*: ecological implications. *Diseases of Aquatic Organisms* 135(3): 193-199. doi: [10.3354/dao03391](https://doi.org/10.3354/dao03391)
- Sørensen, J., Vendramin, N., Priess, C., Kannimuthu, D., Henriksen, N.H., Moesgaard Iburg, T., Olesen, N.J., Cuenca, A. 2020. Emergence and Spread of *Piscine orthoreovirus* Genotype 3. *Pathogens* 9(10): 823. doi: [10.3390/pathogens9100823](https://doi.org/10.3390/pathogens9100823)
- van den Berg, A. H., McLaggan, D., Diéguez-Uribeondo, J., van West, P. 2013. The impact of the water molds *Saprolegnia diclina* and *Saprolegnia parasitica* on natural ecosystems and the aquaculture industry. *Fungal Biology Reviews* 27: 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2013.05.001>

- Vuorinen, P.J., Rokka, M., Nikonen, S., Juntunen, E.-P., Ritvanen, T., Heinimaa, P., Keinänen, M. 2021. Model for estimating thiamine deficiency-related mortality of Atlantic salmon (*Salmo salar*) offspring and variation in the Baltic salmon M74 syndrome. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology* 54: 97–131. <https://doi.org/10.1080/10236244.2021.1941942>
- Wessel, Ø., Olsen, C.M., Rimstad, E., Dahle, M.K. 2015. Piscine orthoreovirus (PRV) replicates in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) erythrocytes ex vivo. *Veterinary Research* 46: 26. <https://doi.org/10.1186/s13567-015-0154-7>
- Weichert, F.G., Axén, C., Förlin, L., Inostroza, P.A, Kammann, U., Welling, A., Sturve, J., Asker, N. 2021. A multi-biomarker study on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) affected by the emerging Red Skin Disease in the Baltic Sea. *Journal of Fish Diseases* 44(4): 429-440. doi: [10.1111/jfd.13288](https://doi.org/10.1111/jfd.13288)
- Zhao, J., Vendramin, N., Cuenca, A., Polinski, M., Hawley, L.M., Garver, K.A. 2021. Pan-Piscine Orthoreovirus (PRV) Detection Using Reverse Transcription Quantitative PCR. *Pathogens* 10(12): 1548. doi: <https://doi.org/10.3390/pathogens10121548>
- Zhu, X., Gasser, R.B., Podolska, M., Chilton, N.B. 1998. Characterisation of anisakid nematodes with zoonotic potential by nuclear ribosomal DNA sequences. *International Journal for Parasitology* 28: 1911-1921. [https://doi.org/10.1016/S0020-7519\(98\)00150-7](https://doi.org/10.1016/S0020-7519(98)00150-7)

## Liite 1 – Terveysindeksien pisteytys (HEALTH1, HEALTH2)

Terveysindeksien pisteytykset:

HEALTH1: 1) terve, 2) lievästi heikentynyt terveydentila, 3) kohtalaisesti heikentynyt terveydentila ilman merkkejä sekundaarisesta sieni-/oomykeetti-infektiosta, 4) kohtalaisesti tai vakavasti heikentynyt terveydentila varhaisella sieni-/oomykeetti-infektiolla, 5) laaja sieni-/oomykeetti-infektio, eli vakava/kuolemaan johtava sairaus

HEALTH2: 1) terve, 2) mekaaniset vauriot, 3) sairaus



**Ei näkyviä vaurioita (paitsi toisinaan pyynnin aiheuttama suomujen irtoaminen), mukaan lukien täysin parantuneet vauriot**

HEALTH1-pisteytys: 1

HEALTH2-pisteytys: 1



**Akuutit tai subakuutit, pienet tai keskikokoiset vauriot**

HEALTH1-pisteytys: 2

HEALTH2-pisteytys: 2, jos mekaaninen

HEALTH2-pisteytys: 3, jos ei mekaaninen



**Laajemmat vauriot, subakuutteja tai kroonisia, ei merkkejä vesihomeesta**

HEALTH1-pisteytys: 3

HEALTH2-pisteytys: 2, jos mekaaninen

HEALTH2-pisteytys: 3, jos ei mekaaninen



**Kohtalaisesti tai vakavasti vaurioitunut kala, merkkejä lievästä/varhaisesta sieni- tai oomykeetti-infektiosta**

HEALTH1-pisteytys: 4

HEALTH2-pisteytys: 2, jos mekaaninen vaurio on ensisijainen syy

HEALTH2-pisteytys 3, jos vaurio ei ole mekaanisesti aiheutunut



**Laaja sieni/oomykeetti-infektio – vakava tai kuolemaan johtava sairaus**

HEALTH1-pisteytys: 5

HEALTH2-pisteytys: 3