



**TURUN  
YLIOPISTO**

# **Silakan mädin kuolleisuus ja huuhtoutuminen pohjoisella Airistolla**

Ekologian ja evoluutiobiologian  
pro gradu -tutkielma

Laatija:  
Saara Miinala

17.12.2025  
Turku

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu  
Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Pro gradu -tutkielma

**Tutkinto-ohjelma, oppiaine:** Filosofian maisteri, Ekologia ja evoluutiobiologia

**Tekijä:** Saara Miinala

**Otsikko:** Silakan mädin kuolleisuus ja huuhtoutuminen pohjoisella Airistolla

**Ohjaaja:** FT, Dos. Katja Mäkinen

**Sivumäärä:** 37 sivua, liitteet 2 sivua + English abstract

**Päivämäärä:** 17.12.2025

---

Ekologisesti ja kalataloudellisesti merkittävän silakan (*Clupea harengus membras*) mätimunien kehitystä ja selviytymistä on seurattu pohjoisella Airistolla vuodesta 1989 lähtien osana Turun sataman kalatalousvaikutusten velvoitetarkkailua. Tässä tutkielmassa yhdistin saatavilla olevien velvoiteseurantaraporttien Järvistensaaren kutupaikalta kerätyt aineistot yhtenäiseksi aineistoksi ja tarkastelin miten kutuajankohta, veden lämpötila, vuoden päivä (day-of-year; DOY), näkösyvyys ja kutuaaltojen päällekkäisyys vaikuttivat silakan mädin selviytymiseen sekä miten mädin kuolleisuusprosentit ovat muuttuneet seurantajakson aikana. Toteutin myös läpivirtausakvaarioräkeillä pilottikokeen, jossa tutkin miten veden virtaus, kutualusta ja vedenlaatu vaikuttavat silakan mätimunien selviytymiseen. Velvoiteseurantaraporttien ilmoittamissa kuolleisuusprosentteissa oli suurta vaihtelua vuosien välillä. Spearman-korrelaatioanalyysien tulosten mukaan lämpötilalla oli tilastollisesti merkitsevä positiivinen yhteys kuolleisuuteen. Beta-regressio- ja GAM-analyysien tulokset viittasivat siihen, että lämpötila ja vuoden päivä olivat yhteydessä kuolleisuusprosenttien vaihteluun seurantajakson aikana. Lisäksi havaitsin tilastollisesti merkitsevän yhteyden näkösyvyyden ja kuolleisuuden välillä. Pilottikokeessa en havainnut tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä, lukuun ottamatta lasilevyillä havaittua korkeaa kuolleisuutta. Lisätutkimusta tarvitaan siitä, mitkä tekijät aiheuttavat silakan mätimunien irtautumisen kutualustalta ja kuinka laaja ongelma on todellisuudessa. Lisäksi kutualustalle muodostuvan biofilmin vaikutusta munien huuhtoutumiseen tulisi tutkia. Mätimunien huuhtoutumisen huomiointi pitkäaikaisseurannoissa on oleellista, jotta seurantaraportit edustavat todellista kuolleisuuksien muutosta.

**Avainsanat:** silakka, *Clupea harengus membras*, mäti, kuolleisuus, Saaristomeri, lisääntyminen

# Sisällysluettelo

<b>1</b>	<b>Johdanto</b>	<b>1</b>
1.1	Munien irtoamiseen ja kuolemiseen mahdollisesti vaikuttavat tekijät kaloilla	1
1.2	Silakan lisääntyminen Saaristomerellä	4
1.3	Tutkielman tavoitteet	7
<b>2</b>	<b>Menetelmät</b>	<b>8</b>
2.1	Velvoiteseurantaraporttien aineisto	8
2.2	Haudontakoe	9
2.3	Tilastoanalyysit	14
<b>3</b>	<b>Tulokset</b>	<b>16</b>
3.1	Velvoiteseurantaraportit	16
3.2	Haudontakoe	20
<b>4</b>	<b>Tulosten tarkastelu</b>	<b>24</b>
4.1	Velvoiteseurantaraportit	24
4.2	Pilottikoe	26
4.3	Yhteenveto	27
	<b>Kiitokset</b>	<b>29</b>
	<b>Kirjallisuus</b>	<b>30</b>
	<b>Liitteet</b>	

# 1 Johdanto

## 1.1 Munien irtoamiseen ja kuolemiseen mahdollisesti vaikuttavat tekijät kaloilla

Kalojen lisääntyminen on monivaiheinen prosessi, jossa erityisesti munavaihe muodostaa kriittisen ja herkän pullonkaulan populaation uusiutumiseksi ja vaikuttaa siten voimakkaasti vuosiluokan vahvuuteen (Gafny ym. 1992). Kalakantojen tilan arvioinnin ja seuraamisen kannalta on oleellista kerätä tietoa bioottisten tekijöiden, kuten lajien välisten vuorovaikutusten ja ravinnon saatavuuden, sekä abioottisten tekijöiden, kuten lämpötilan ja veden fysikaalis-kemiallisten ominaisuuksien vaikutuksesta munien selviytymiseen. Kalojen munien kuolemiseen ja kiinnittymisalustalta irtoamiseen voivat vaikuttaa useat eri ympäristötekijät. Esimerkiksi voimakas aallokko, virtaukset ja vedenkorkeuden vaihtelut voivat irrottaa mätimunua alustastaan (Stoll ym. 2010; Keeling ym. 2016; Lehtonen & Veneranta 2024). Vähähappiset olosuhteet voivat myös aiheuttaa ongelmia kalan alkionkehityksessä. Esimerkiksi seeprakaloilla (*Danio rerio*) tehdyssä kokeellisessa tutkimuksessa huomattiin vähähappisten olosuhteiden aiheuttavan 77,4 % nousun alkiokehityksen aikaisissa kehityshäiriöissä (Shang & Wu 2004).

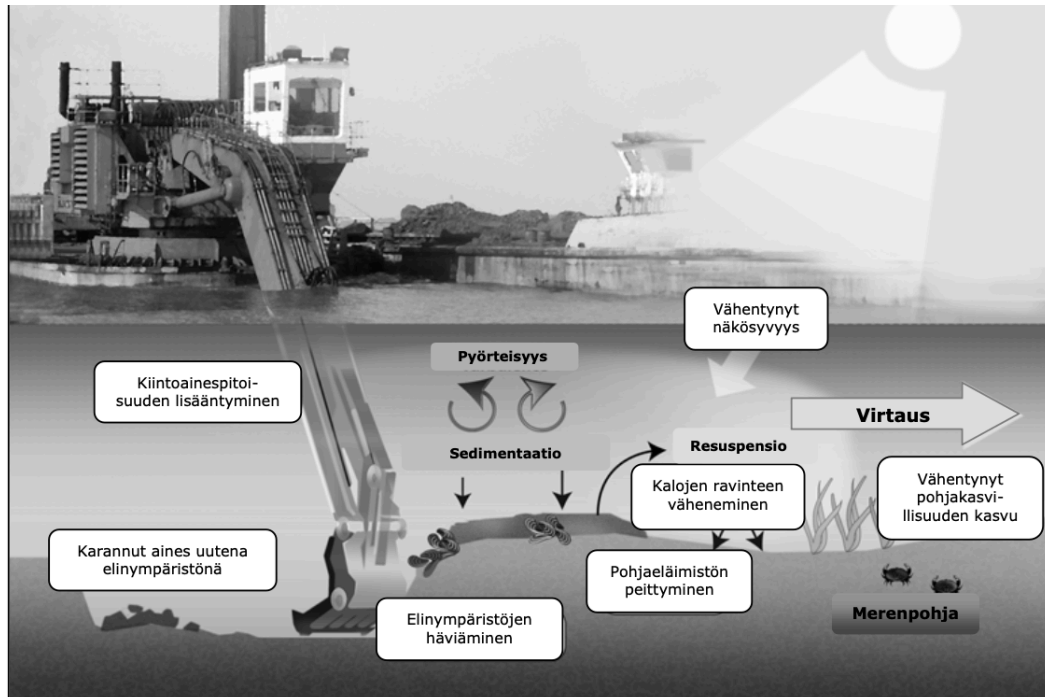
Ilmastonmuutoksen myötä myös vesistöt lämpenevät. Saaristomerellä pintavedessä on havaittu 1,5 C° keskimääräinen nousu vuosien 1967–2013 välillä (Mäkinen ym. 2017). Lämpötilan nousun on havaittu kiihdyttävän kalojen alkionkehitystä ja se saattaa samalla lisätä myös ennenaikaista kuoriutumista ja epämuodostumien todennäköisyyttä (Hasan ym. 2023). Pepin (1991) tutkimuksen tulokset osoittivat myös päiväkohtaisen kehityksen ja kuolleisuuden kiihtyvän ja lisääntyvän nousevan lämpötilan myötä. Ihmistoiminnasta aiheutuva ravinnekuormitus ja rantarakentaminen muuttavat myös kutualueiden rakennetta ja vedenlaatua merkittävästi. Ruoppaustoimien seurauksena sedimentin kertyminen ja merenpohjan liettyminen voivat häiritä mätimunien hapensaantia ja kehitystä sekä mätimunat voivat peittyä sedimentin alle (Kjelland ym. 2015; Chojnacki ym. 2023). Griffin ym. (2008) tutkimuksessa huomattiin, että Tyynenmeren sillin (*Clupea pallasii*) munien altistuminen sedimenttipitoiselle vedelle ensimmäisen kahden tunnin aikana veden kanssa kosketuksiin joutumisesta johti sedimentin pysyvään kiinnittymiseen munan pinnalle ja lisäsi epämuodostuneiden poikasten osuutta.

Maailmanlaajuisesti sisävesistöjen ja rannikkovesien ekosysteemien suurimmaksi uhaksi tunnistettu rehevöityminen on myös Lounais-Suomessa sijaitsevalla Saaristomerellä merkittävin ympäristöuhka (Helminen 2025). Rehevöitymisellä tarkoitetaan levä- ja

kasvibiomassan suhteetonta lisääntymistä johtuen ympäristöön päätyvästä ylenpalttisesta ravinnekuormasta (Ruola 2020). Saaristomeren valuma-alueella on runsaasti maanviljelyä, jonka käyttämät lisäravinteet ja tuotantoeläinten jätteet huuhtoutuvat sadevesien ja jokien mukana Saaristomerelle. Erityisen suuri ongelma muodostuu sisäsaaristoon, jossa saaria on tiheässä, eikä valumavesien mukana tuleva ravinnekuorma pääse levittäytymään suurelle alueelle ja ravinnepitoisuudet nousevat korkeiksi (HELCOM 2018).

Kutualustoille muodostuva biofilmi on mahdollisesti yksi munien irtoamista lisäävä tekijä (Stoll ym. 2010). Biofilmi on ohut mikrobien, levien ja muiden pieneliöiden muodostama kerros, joka luonnollisesti muodostuu vedenalaisille pinnoille ajan myötä. Biofilmin muodostumisen alkuvaiheessa ensimmäisenä kolonisoivat mikrobit vaikuttavat siihen, minkälainen mikrobikoostumus biofilmiin muodostuu (Angoshtari ym. 2023). Rehevöityminen lisää biofilmin biomassaa ja kasvunopeutta (Valentine & Mariotti 2020). Stoll ym. (2010) testasivat mesokosmoskokeessa, miten säyneen (*Leuciscus idus*) mätimunat kiinnittyivät kutualustoihin, jolla oli biofilmi. Tutkimuksen tulokset osoittivat, että mätimunien kiinnittyminen biofilmillisille alustoille oli jopa 73 prosenttia vähäisempää kuin puhtaille pinnoille kiinnittyminen. Keinotekoiseen aallokkoon yhdistettynä biofilmillisille alustoille kiinnittyneistä kokeen munista ei yksikään selvinnyt kuoriutumiseen asti. Koska rehevöityminen on Saaristomerellä erittäin merkittävä ympäristöongelma, on myös normaalitilasta poikkeavan biofilmin muodostuminen hyvin todennäköistä kalojen kutupaikoilla.

Veden kiintoainespitoisuus on toinen mahdollinen tekijä, joka vaikuttaa kalojen mätimunien kuolleisuuteen, alkiokehityksen edistymiseen ja/tai ennenaikaiseen irtoamiseen. Kiintoaines lisääntyy vedessä erityisesti merenpohjan ruoppauksen ja meriläjitysten yhteydessä (Räisänen 2010). Ruoppauksella tarkoitetaan merenpohjan kaivamista syvemmäksi esimerkiksi vilkkailla laivareiteillä tai satama-alueella. Meriläjityksellä tarkoitetaan pohjasta kaivettujen maamassojen sijoittamista uuteen paikkaan merenpohjalla. Turun sataman ruoppaus- ja läjitystyöt lisäävät veden kiintoainespitoisuutta ja sekoittavat merenpohjaa (Kuva 1).



Kuva 1. Havainnekuva kuokkakauharuoppauksen aiheuttamista laajoista vaikutuksista vesiympäristössä (PIANC 2009, Turun satamaliikelaitos 2011).

Läjitysainesten mukana on kulkeutunut Pohjois-Airistolle huomattavia määriä ympäristölle haitallisia aineita, kuten ylimääräisiä ravinteita ja raskasmetalleja (Räisänen, 2018). Rajakaran läjitysalue on ollut käytössä 1998–2019 ja alueelle läjitettiin pääosin Turun sataman ruoppauksen massoja yhteensä noin 1 852 500 irto-m<sup>3</sup>, tosin vuosina 2009–2010 ja 2015–2017 sekä 2019 Turun sataman massoja ei läjitetty mereen (Räisänen 2010, 2018). Vuonna 2009 alueelle läjitettiin Merenkululaitoksen laivaväylän Utö–Naantali syventämistöissä ruopattuja massoja, mutta niiden määrästä ei ole tarkkaa tietoa. Räisänen (2010, 2018) mukaan Rajakaria ennen läjitettiin Kuuvaan, jossa läjitysalueen käyttö päättyi vuonna 1999, mutta vuosina 1989–1999 sinne läjitettiin yhteensä 2 361 676 irto-m<sup>3</sup>.

Rajakarin meriläjitysalue on täyttänyt Ympäristöministeriön ”Sedimenttien ruoppaus- ja läjitysohjeen” kriteerit hyvälle läjitysalueelle (Ympäristöministeriö, 2015; Turun kaupunki 2018). Läjitysalue sijaitsee sisäsaaristossa, monien kalalajien kuten silakan kutupaikkojen läheisyydessä. Turun kaupunki on luopunut meriläjityksistä vuonna 2019, mutta ruoppaukselle on edelleen tarvetta. Ruoppaukset sekä rehevöityminen aiheuttavat veden samentumista ja näin siirtävät vesikasvillisuuden kasvuvyöhykkeitä matalampiin rantavesiin, jossa ne saavat riittävästi valoa yhteyttämiseen (Rinne ym. 2011). Tämä on siirtänyt myös silakan kutuvyöhykkeet

lähemmäs pintaa ja rantoja. Kudun esiintymissyvyys on muuttunut seurantajaksolla, aiemmin syvyys oli 0–8 metriä, nykyään vain 0–3 metriä (Vahteri & Savoila 2018). Moll ym. (2017) tutkimuksessa tutkittiin myrskyolosuhteiden vaikutusta Atlantin sillin (*Clupea harengus*) munien kuolleisuuteen Itämerellä. Tutkimuksessa huomattiin yhden kutukauden sisällä tapahtuneen myrskyn aikana kutupaikalta irtautuneen 29 % mätimunista. Aktiivinen laivaliikenne sekä lähemmäs rantaa siirtyneet kutuvyöhykkeet voivat siten mahdollisesti myös vaikuttaa lisääntyneeseen mädin irtautumiseen.

Länsi-Suomen vesioikeus myönsi Turun kaupungille luvan läjittää ruopattuja massoja Ruissalon edustalle velvoittaen Turun sataman tarkkailemaan ruoppausmassojen läjityksestä aiheutuvia vesistövaikutuksia ja kalataloudellisia vaikutuksia (Wright ym. 1995). Kalastus- ja vesiviranomaisten hyväksymän tarkkailuohjelman mukaisesti tutkimukset aloitettiin Turun yliopiston Saaristomeren tutkimuslaitoksella 1989. Tämä kunnossapitoruoppauksia koskeva lupa oli voimassa vuoteen 2009 asti (Turun satamaliikelaitos 2011). Vuonna 2009 Länsi-Suomen ympäristölupavirasto antoi päätöksen nro 99/2009/22, joka edellytti ruoppaus- ja läjitystöiden vaikutusten tarkkailua merialueeseen ja kalastoon, ja näiden tarkkailuiden perusteella tehtyjen raporttien toimittamista Varsinais-Suomen ELY-keskukselle (Turun satamaliikelaitos 2011). Vuonna 2018 Varsinais-Suomen ELY-keskus antoi päätöksen uudesta Turun edustan merialueen kalataloudellisten tarkkailuohjelmien hyväksymisestä (ELY-keskus 2018). Tarkkailuohjelmien hyväksyntää oli hakenut Turun seudun puhdistamo tarkkailuosapuolien puolesta. Tarkkailuohjelmien tavoitteena on ollut selvittää jätevesikuormituksen vaikutuksia Turun edustan kalastoon vuosina 2018–2025. Nämä 1989–2023 kerätyt velvoiteseurantaraportit toimivat tutkielmani aineistona.

## **1.2 Silakan lisääntyminen Saaristomerellä**

Silakka, sillin alalaji, on yksi Itämeren avainlajeista ja sillä on hyvin keskeinen rooli ravintoverkoissa ja kalataloudessa. Silakka kutee lukuisilla alueilla läpi Itämeren ja geneettiset tutkimukset viittaavat siihen, että Itämerellä on useita paikallisiin olosuhteisiin sopeutuneita silakan osapopulaatioita (Han ym. 2020). Kutualueet sijaitsevat paikoitellen lähellä ihmisasutusta ja altistuminen ihmisen toiminnasta seuraaville häiriölle on väistämätöntä. Turun edustalla sijaitsee hyvin tunnettuja keskeisiä silakoiden kutupaikkoja, joiden uskotaan olevan tärkeitä sekä Saaristomeren että Selkämeren silakkakantojen uusiutumisen puolesta (Parmanne, 1990; Rajasilta ym. 1993). Silakka on

kutupaikkauskollinen ja monet kutupaikat, kuten Saaristomeren sisäsaaristossa sijaitseva Järvistensaari, ovat olleet käytössä vuosikymmeniä (Rajasilta ym. 1993). Tätä kutsutaan kirjallisuudessa homing-ilmiöksi (Corten, 2002; Moll ym. 2025). Ilmiön syytä ei tunneta kunnolla, eikä tiedetä palaako yksittäinen silakka samalle kutupaikalle vuodesta toiseen (Kääriä ym. 2001). Silakka ei kuitenkaan lisääny kaikilla lisääntymiseen soveliailla rannoilla (Wright ym. 1993).

Pääosa silakoista on nykyään kevätkutuisia ja kutu ajoittuu pohjoisella Airistolla huhtikesäkuuhun (Rajasilta ym. 1993). Saaristomerellä silakan lisääntymien ei tapahdu synkronoiduissa kohorteissa, vaan on erillisistä kutuparvista koostuva jatkumo ja samalla kutupaikalla on havaittavissa osittain päällekkäisiä kutuaaltoja (Rajasilta ym. 1993; Laine & Rajasilta 1998). Kutupopulaatio muodostuu sekaparvista, joissa ei ole havaittavissa jaksottumista yksilöiden koon tai iän mukaan. Keski-ikä Itämerellä kutevassa populaatiossa on kolmesta kuuteen vuotta, mutta koko itähaitari on 1–30 vuotta (Rajasilta ym. 1993; Peltonen ym. 2002). Kutukypsiä silakat ovat kahden-kolmen vuoden iässä (Arula ym. 2019).

Silakat kutevat Itämeressä matalissa rantavesissä, jossa mätimunat lasketaan tyypillisesti vesikasvillisuuden pinnalle (Rajasilta & Aneer 2006). Saaristomerellä kutualustoina toimivat pääasiassa viherahdinparta (*Cladophora glomerata*), ahvenvita (*Potamogeton perfoliatus*), punaleviin kuuluvat haarukkalevä (*Furcellaria lumbricalis*) ja liuskapunalevä (*Phyllophora truncate*) sekä hapsivita (*Potamogeton pectinatus*) (Wright ym. 1993, 1995). Silakan mätimunat ovat 1,0–1,4 mm halkaisijaltaan ja ne tarrautuvat voimakkaasti kiinni kutualustaan ja toisiinsa (Napier 1993). Suosituilla kutupaikoilla mätimunia saattaa olla jopa kerroksittain, jolloin alimpien mätimunien kehitys hidastuu ja osa niistä kuolee (Parmanne & Sjöblom 1986). Hapettomuudella ei olla kuitenkaan havaittu olevan suuremmin vaikutusta kuolleisuuteen (Aneer 1987). Kehitysnopeus on lämpötilariippuvaista ja kestää 7–10 vuorokautta hedelmöityksen jälkeen 12–14 Celsius-asteessa (Klinkhardt 1996).

Silakan mätimunien kuolleisuutta on tutkittu Itämerellä jonkin verran. Rajasilta ym. (1989) vertailivat silakan mätimunien kuolleisuutta eri kutualustoilla. Punaleviin kiinnittyneillä mätimunilla kuolleisuus oli huomattavasti korkeampaa kuin muilla alustoilla. Artikkelissa kerrotaan *Furcellaria*-suvun levien sisältävän kemiallisia

yhdisteitä, jotka voivat tietyssä levän lahoamisvaiheessa olla tappavia silakan alkioille. Silakan mädin kuolleisuuden on huomattu olevan merkittävästi suurempaa rihmamaisilla ruskolevillä (*Pilayella littoralis*, *Ectocarpus siliculosus*) kuin karkearakenteisilla levillä (Aneer 1985, 1987). Rehevöitymisen myötä rihmamaisten levien osuus merenpohjalla kasvaa ja silakoiden kutualustojen laatu heikentyy. Kutualustan lisäksi lämpötilalla on merkittävä rooli silakan varhaisiin kehitysvaiheisiin (Peck ym. 2012). Mäkinen ym. (2023) kokeellisessa tutkimuksessa tutkittiin muun muassa lämpötilan vaikutusta alkionkehitykseen. Kokeen tulokset viittasivat siihen, että korkeammassa lämpötilassa kehittyneet alkiot kehittyvät nopeammin ja kuoriutuvat pienempinä. Tulokset antoivat myös alustavia viitteitä siitä, että lämpötilan nousu saattaa lisätä fyysisten kehityshäiriöiden todennäköisyyttä.

Myös lisääntyvien silakkayksilöiden tutkiminen on oleellinen osa populaatioiden seurantaa. Naaraiden ja koiraiden ominaisuuksien, kuten kunnan, tiedetään olevan yhteydessä silakan lisääntymismenestykseen ja jälkeläisten ominaisuuksiin (Laine & Rajasilta 1999; Mäkinen ym. 2023). Turun edustan merialueella kutevaa silakkapopulaatiota on seurattu 1980-luvun alusta lähtien Turun yliopiston silakkaprojektin toimesta. Projektin seurantajakson aikana lisääntyvien kalojen ominaisuuksissa on havaittu useita muutoksia. Esimerkiksi paino, pituus, lihas- ja ovariorasvapitoisuus ovat alentuneet ja fekunditeetti, eli jälkeläistuotto, joka indikoi tuotettujen mätimunien määrää on laskenut (Rajasilta ym. 2018, 2021). Heikentyneeseen lisääntymismenestykseen viittaa osittain myös se, että pohjoisella Airistolla silakan ammattimainen rysäkalastus päättyi vuonna 2018 kannattamattomana (Valjus 2020).

Kutupaikkojen tilaa sekä mädin ja poikasten määrää on seurattu Airistolla vuodesta 1981 lähtien (Rajasilta & Ranta-aho, 1982). Kääriä ym. (1988) artikkelissaan kertoo rehevöitymisen ja sedimentoitumisen rajoittavan sopivien kutupaikkojen saatavuutta, joka taas todennäköisesti on osaltaan syynä rysäkalastuksen laskuun. Turun yliopiston silakkaprojektin tekemät tutkimukset Turun edustalla sekä Turun sataman ruoppausmassaläjitysten vaikutuksia vesistö- ja kalatalouteen seuraavat velvoiteseurantaraportit viittaavat siihen, että Airiston alueen silakoiden poikastuotanto on voimakkaasti heikentynyt viimeisen 30 vuoden aikana. Velvoiteseurantaraporteissa mainitaan ensimmäisen kerran vuoden 1998 seurantajakson raportissa huomattavasti voimistuneesta mätimunien huuhtoutumisesta Pohjois-Airiston kutupaikoilla viimeisen

kolmen vuoden aikana (Kohonen ym. 1999). Huuhtoutumisella tarkoitetaan mätimunien irtoamista kutualustasta, joka johtaa kehittyvän alkion kuolemaan. Raportissa huuhtoutumisen osatekijöiksi epäillään rehevöitymistä sekä veden suurta kiintoainespitoisuutta. Huuhtoutumisilmiöön vaikuttavia tekijöitä ja sen laajuutta ei kuitenkaan ole juuri tutkittu.

### 1.3 Tutkielman tavoitteet

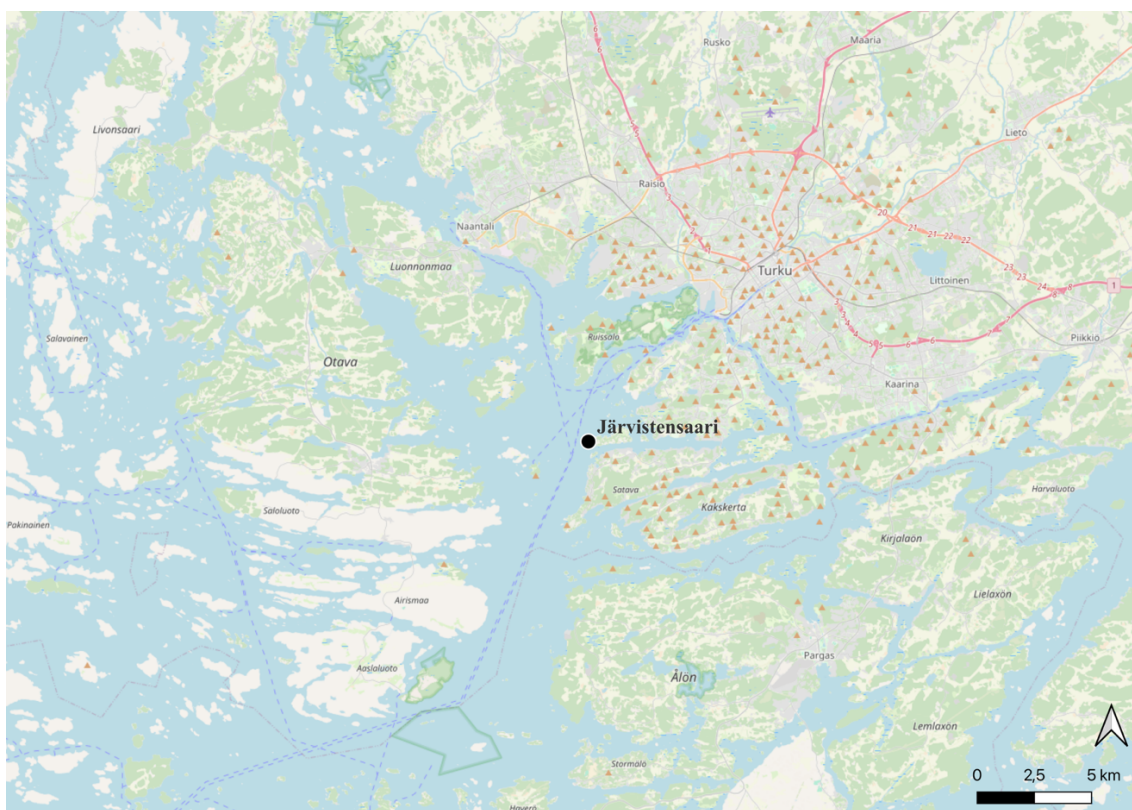
Tutkielmani pohjautuu pohjoiselta Airistolta kerättyyn velvoiteseuranta-aineistoon silakan mädin kuolleisuudesta ja kehityksestä. Vaikka mädin kehityksestä ja kuolleisuudesta on saatavilla seurantatietoa, kattavaa yhteenvetoa raporteista ei ole tehty eikä mädin huuhtoutumisen syitä ole tutkittu tarkemmin. Tutkielmani yleiskysymyksenä on, mitkä tekijät vaikuttavat silakan mädin selviämiseen pohjoisella Airistolla. Velvoiteseurantaraportteihin pohjautuvat tutkimuskysymykset ovat: miten silakan mädin kuolleisuus on muuttunut Järvistensaaren kutupaikalla vuosien 1989 ja 2023 välillä sekä millainen yhteys näkösyvyydellä, lämpötilalla, syvyydellä ja kudun ajankohdalla (Day-of-year; DOY) on kuolleisuuteen. Päädyin näihin muuttujiin, koska näkösyvyys on yhteydessä rehevöitymiseen ja veden kiintoainespitoisuuteen, lämpötilalla tiedetään olevan yhteys kehitykseen ja kuolleisuuteen, kudun ajankohta on yhteydessä lämpötilaan ja kiintoainespitoisuus on erityisesti meriläjäytysalueen lähellä kiinnostava, mahdollisesti kuolleisuutta lisäävä tekijä. Hypoteesini on, että kuolleisuus lisääntyy DOY:n ja lämpötilan noustessa, mutta vähenee näkösyvyyden kasvaessa. Pilottikokeena toteutetussa haudontakokeessa tutkimuskysymyksinä ovat, vaikuttaako kiintoainespitoisuus mätimunien kuolleisuuteen erilaisilla kutualustoilla sekä onko tutkimusasetelma ylipäätään toimiva tämänkaltaiseen tutkimukseen.

Mädin kuolleisuutta ja huuhtoutumista on oleellista tutkia silakan merkittävän taloudellisen ja ekologisen roolin takia. Lisääntyminen on tärkein perusta lajin selviämislle ja kannan uusiutumislle alueellaan. Tiedon kerryttämislle kuolleisuuteen vaikuttavista tekijöistä ja kuolleisuuden muutoksista voidaan jatkossa suunnitella toimia tilanteen parantamiseen. Kutualueiden tilaan ja silakkakannan uusiutumiskykyyn liittyvien tietojen parantaminen hyödyttää osaltaan myös EU:n biodiversiteettistrategian toimeenpanoa Suomessa. Lisääntymistä koskevaa yksityiskohtaista tutkimustietoa tarvitaan erityisesti Saaristomeren kaltaisilla kutu- ja poikastuotantoalueilla, joiden tiedetään kärsivän useista eri ympäristöongelmista samanaikaisesti.

## 2 Menetelmät

### 2.1 Velvoiteseurantaraporttien aineisto

Osana tutkielmaani kokosin Turun sataman velvoiteseurantaraporttien aineiston yhteneväksi digitaaliseksi dataksi vuosien 1989–2023 väliltä. Raportteja oli noin joka toiselta vuodelta, yhteensä 17 vuodelta. Aineisto on kerätty Järvistensaaren kutupaikalta (ETRS-TM35FIN: N:6704213,77, E:231075,448), joka sijaitsee sisäsaaristossa, pohjoisella Airistolla (Kuva 2). Seurantapaikkoja on raporteissa useampia, mutta valitsin Järvistensaaren seurantapaikan, koska sieltä aineistoja oli yhtenäisemmin koko seurantajaksolta ja se on yksi tutkituimmista kutupaikoista Pohjois-Airistolla. Järvistensaaren kutupaikka on myös ollut vuosikymmeniä silakoiden käytössä. Kutupaikan pohja muodostuu vesirajassa kalliosta ja kauemmas siirryttäessä sen laatu vaihtelee kivikon, kallion ja hiekan välillä (Itkonen ym. 1998). Työmäärän vuoksi aineisto koostuu ainoastaan yhden kutupaikan havainnoista. Aineistoa on kerätty kevään ensimmäisistä mätihavainnoista lähtien huhti-/toukokuusta kesäkuun loppupuolelle asti.



Kuva 2. Kartta, joka osoittaa Järvistensaaren kutupaikan pohjoisella Airistolla (ETRS-TM35FIN: N:6704213,779, E:231075,448). (OpenStreetMap contributors (ODbL); QGIS 3.40.11)

Raporteissa mädin esiintyminen todettiin paineilmalaittein sukeltamalla. Sukeltaja arvioi mädin esiintymisalueen laajuuden ja syvyyden ja teki havaintoja kiinnittymisalustasta. Mätinäytteet otettiin koko syvyysvyöhykkeeltä, jolla mätiä esiintyi. Näytteet säilöttiin 2 % formaldehydiliuokseen, johon oli lisätty etikkahappoa mätimunien läpikuultavuuden säilyttämiseksi. Laboratoriossa mädin kehitysaste ja kuolleisuus määritettiin kustakin näytteestä 3x100 satunnaisotoksesta (Itkonen, 1998; Niinimäki, 2003).

Osana tutkielmaani keräsin Excel-taulukkoon jokaisen raportoidun vuoden aineistosta päivämäärätiedon, syvyyden (m), näkösyvyyden (m), lämpötilan (°C), kuolleiden munien osuuden (%), kuolleisuuden keskihajonnan ja mätimunien kehitysasteen 1–17 (Klinkhard 1994). Tein aineistoon uuden sarakkeen kuvaamaan päällekkäisiä kutuaaltoja. Päällekkäisyyttä kuvasin joko 0, eli ei päällekkäisyyttä tai 1, päällekkäisyyttä. Päällekkäisyyttä oli havaittavissa, jos aineistossa oli samana havaintopäivänä sekä varhaisen että myöhäisen kehitysasteen munia.

Vuoden 2000 lämpötilatiedot puuttuivat raporttiaineistosta. Hain nämä Suomen ympäristökeskuksen Hertta 5.7 -tietojärjestelmästä (Suomen ympäristökeskus 2025). Palvelusta löytyi vain 8.5.2000 ja 17.6.2000 lämpötilatiedot, jotka lisäsin aineistoon. Aineisto kerättiin Turm 210 Kuvannokan manuaaliselta näytteenottoasemalta (ETRS-TM35FIN: N=6706584, E=231541). Mittauksesta vastaava näytteenottolaitos on Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus oy. Näytteenottoasema sijaitsee Järvistensaaren kutupaikan lähellä, joten lämpötiedot edustavat kutupaikan lämpötiloja todenmukaisesti.

## **2.2 Haudontakoe**

Tein vuonna 2024 Saaristomeren tutkimuslaitoksen laboratoriotiloissa pilottikokeen, jonka tarkoituksena oli kokeilla uutta koeasetelmaa, jolla kokeellisesti testata kuinka veden laatu, virtaus ja kiinnittymisalusta vaikuttavat silakan mätimunien kehitykseen ja kuolleisuuteen. Pilottikoe perustui osin Laine & Rajasilta (1999) ja Mäkinen ym. (2023) artikkeleissa mainittuihin menetelmiin, mutta kokeessa käytin ensi kertaa läpivirtausakvaarioita haudontakokeen toteuttamiseen. Koe oli osa tutkielmaani, mutta työ määrän vuoksi koe toteutettiin koko tutkimusryhmän voimin. Koeasetelma muodostui kolmesta läpivirtaus-akvaarioräkidestä, joissa kussakin oli 12 kappaletta 24 litran akvaariota. Kokeessa käytettiin vain yhdeksää akvaariota räkkiä kohden, yhteensä

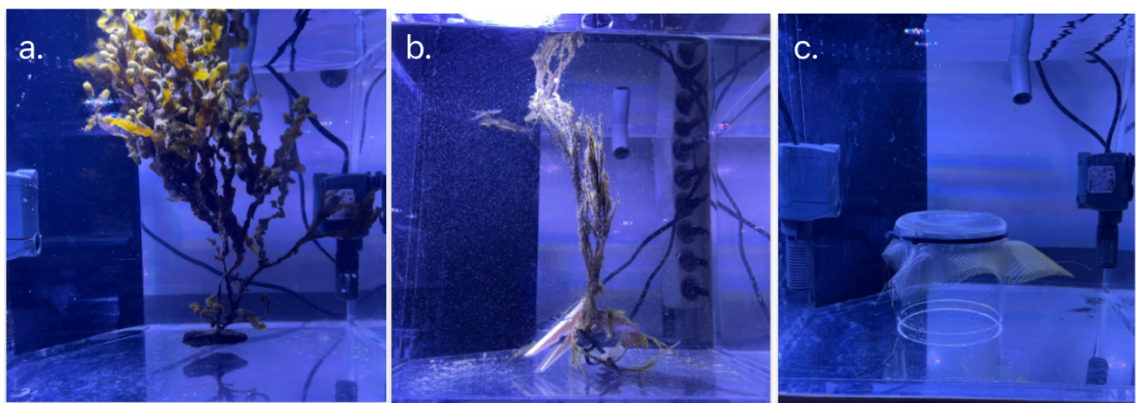
akvaarioita oli kokeessa 27 (Kuva 3). Kahdessa näistä räkeistä akvaariot olivat täytetty sisäsaariston kiintoainespitoisella vedellä, joka haettiin Viittakarilta 7.5.2024 ja 9.5.2024. Kolmannessa akvaarioräkissä akvaariot täytettiin välisaariston vedellä, jossa kiintoainespitoisuus on matalampi. Välisaariston vesi haettiin Päiväluodolta 6.5.2024. Määritimme vesien kiintoainespitoisuudet Millipore-suodatuslaitteiston ja analyysivaa'an (Mettler Toledo AT250) avulla. Jotta sisäsaariston vedessä säilyisi korkea kiintoainespitoisuus, poistimme näiden akvaarioräkkien suodatusyksiköstä irtoainesta keräävät suodatinsukat. Akvaarioiden valaistus toimi ajoitetulla dynaamisella EcoTech Radion-älyvalaistuksella, joka alkoi aamutunteina himmeänä, kirkastui päiväksi ja himmeni jälleen iltaa kohden sammuen yöksi. Valaistuksen tavoitteena oli realistisesti simuloida vuodenaikaan sopivaa vuorokausirytmää.



Kuva 3. Läpivirtaus-akvaarioräkki. Kokeessa räkettä oli kolme, joista kaikissa oli yhdeksän akvaariota käytössä. Kuva: Katja Mäkinen.

Jokaisessa akvaarioräkissä oli kolme eri alustaa mädille; rakkohauru (*Fucus vesiculosus*) (Kuva 4a.), hapsivita (Kuva 4b.) ja lasilevy (Kuva 4c.). Valitsimme hapsividan kutualustaksi, koska se on Järvistensaaren kutupaikalla merkittävin kutualusta silakalle ja rakkohaurun, koska se on tärkeä osa Saaristomeren rannikoiden lajistoa ja vasta rehevöitymisen myötä vähentynyt huomattavasti. Rakkohauru on tärkeä kutualusta myös Suomenlahdella (Syväranta 2021). Hapsivita ja rakkohauru kerättiin myös pohjoiselta Airistolta. Niistä poistettiin kaikki paljain silmin erotettavat eläimet, jotta välttyttäisiin niiden aiheuttamalta lisävaikutukselta. Lasilevy asetettiin muovisen sylinterin päälle

pingotetun verkon päälle vaakatasoon. Hapsivita ja rakkohauru pyrittiin saamaan mahdollisimman luonnolliseen asentoon akvaariossa, jotta ne pääsisivät liikkumaan virtauksen mukana. Tämä toteutettiin kiinnittämällä paino niiden tyvelle, jolloin ne pysyivät pystyssä akvaariossa. Jokaista kutualustaa kohden oli kolme eri virtausasetusta, joka toteutettiin Eheim CompactOn 300-akvaariopumpuilla; ei pumppua (”ei virtausta”), yksi pumppu (”vähäinen virtaus”; virtausteho 300 L/h) tai kaksi pumppua (”voimakas virtaus”; virtausteho 600 L/h). Voimakkaan virtauksen tarkoituksena oli simuloida myrskyolosuhteiden tai laivaliikenteen aiheuttamaa voimakasta veden liikettä, jolla on mahdollisesti osansa mätimunien ennenaikaiseen huuhtoutumiseen kutualustalta. Järvistensaassa mitattujen virtausnopeuksien maksimiarvot ovat 40–50 cm/s (Rytkönen ym. 2001). Kutualustojen ja eri tehoisten virtausten sijainnit räkeissä valittiin satunnaisesti. Akvaarioiden lämpötiloja ja suolapitoisuutta seurattiin päivittäin tekemällä mittaus sattumanvaraisesti kolmesta akvaariosta räkkiä kohden YSI pro 30-mittalaitteella. Suolapitoisuutta oli oleellista seurata veden haihtumisen vuoksi. Lämpötilaa seurattiin, koska se vaikuttaa poikasten kehitysnopeuteen. Seuraamisella pyrimme välttämään sitä, että akvaarioiden välille tulisi merkitseviä eroja lämpötilassa. Tasaista suolapitoisuutta ylläpidettiin lisäämällä ionivaihdettua makeaa vettä akvaarioräkkien suodatinyksikköihin, jonka kautta vesi sekoittui kaikkiin räkin akvaarioihin. Lämpötilaa ylläpidettiin ilmalämpöpumpulla ja akvaarioräkin lämmönsäätimellä lämpötilavaihtelun minimoimiseksi.



Kuva 4. Pilottikokeessa käytetyt kutualustat; rakkohauru (a.), hapsivita (b.) ja lasilevy (c.). Kuva: Saara Miinala.

Pilottikoetta varten saimme 20.5.2024 Viittakarín saaren edustalle asetetusta tutkimusrystästä kutukypsiä silakoita. Samalla Viittakarista tuotiin vettä, jotta mätimunien hedelmöitys tapahtuisi samanlaatuisessa vedessä kuin mädin kasvatukseen. Välisaariston

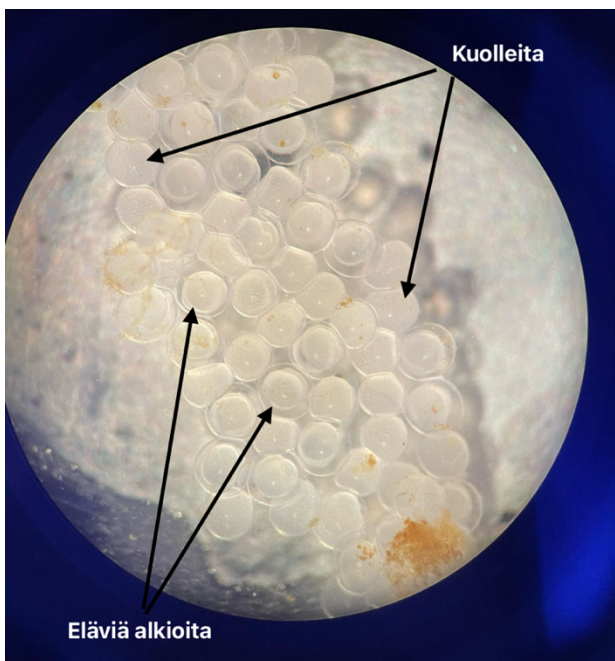
vedenlaatua edustavassa akvaarioräkissä mädin hedelmöitys tehtiin akvaarioissa käytetyssä vedessä. Kahteen räkkiin valittiin 15 kutukypsää naarasta ja yhteen räkkiin 14 naarasta. Hedelmöityksissä käytettiin 10 koirasta/räkki. Yhteensä kokeessa oli siis mukana 44 naarasta ja 30 koirasta. Hedelmöitys tapahtui lypsämällä maitia koiraista vesiastian. Tämän jälkeen erilliseen astiaan lisättiin vettä ja kutualusta (hapsivita/rakkohauru/lasilevy), jonka pinnalle lypsettiin mätiä ja annosteltiin maitia, ja alustaa liikuteltiin kevyesti hedelmöityksen varmistamiseksi. Hedelmöityksen jälkeen alustat siirrettiin akvaarioihin. Otimme kaikki naaras- ja koirassilakat talteen ja myöhemmin mittasimme näiden pituudet (mm), painot (g) ja sukurauhasten eli gonadien painot (g) vakiintuneiden menetelmien mukaisesti. Lisäksi otimme kalojen kuuloluut eli otoliitit talteen iänmäärittystä varten, joka tehtiin jälkikäteen muun tutkimusryhmän toimesta Peltonen ym. (2002) artikkelissa kuvatulla menetelmällä. Laskin kaloille painoon ja pituuteen perustuvan Fultonin kuntokertoimen kaavalla  $100 \times \text{paino (g)} / \text{pituus (cm)}^3$ . Noin kaksi tuntia hedelmöitysprosessin jälkeen kaikki akvaariot kuvattiin tulevaisuuden vertailua varten.

Haudontakokeen jatkuttua noin vuorokauden tarkistettiin ensi kerran munien kuolleisuus ja kehitysvaihe. Tarkistusta varten kutualusta nostettiin matalaan vesiastiaan ja siirrettiin Zeiss 305 – stereomikroskoopille tarkastelua varten (Kuva 5). Valonlähteenä käytettiin erillistä kylmävaloa mikroskoopin oman valon sijaan, jotta vältettäisiin näytteen ylimääräinen lämpeneminen. Koska alustoilta ei ollut mahdollista laskea kaikkia muna, laskettiin jokaisesta alustasta sata munaa ja näistä sadasta kuolleiden munien määrä. Kuolleet/hedelmöitymättömät munat erottuivat tasaisen värisinä epäsäännöllisen muotoisista elävistä alkioista, joiden ympärillä erotti kirkkaan alueen (Kuva 6). Rajoitimme laskettavien munien määrän sataan työmäärän rajaamiseksi, sekä näin saatiin

yhtenäinen otos kaikista akvaarioista. Lisäksi aineistonani käytetyissä velvoiteseurantaraporteissa mätimunien otokset laboratorionkokeissa olivat sata munaa.



Kuva 5. Mätimunia tarkasteltiin stereomikroskoopin läpi käyttäen valonlähteenä erillistä kylmävaloa. Mätimunia laskettiin kahden käsilaskurin avuin. Kuva: Laura Lammi.



Kuva 6. Hedelmöitettyjä mätimunia lasilevyllä Zeiss 305-stereomikroskoopin läpi. Elävät alkiot erottuvat kuolleista epäsäännöllisellä muodollaan ja alkiota ympäröivällä kirkkaalla alueella. Kuva: Saara Miinala.

Laskennassa hyödynsimme kahta käsilaskuria, joista toiseen laskettiin kaikki sata munaa ja toiseen kuolleet munat. Kahden käsilaskurin samanaikainen käyttö antoi

mahdollisimman luotettavan laskutuloksen. Kehitysvaiheen määritimme asteikolla 1–17 (Klinkhardt 1984). Toinen kuolleisuuden ja kehitysasteiden määrittäminen tehtiin 23.5. ja viimeinen 28.5. jolloin osa poikasista oli alkanut kuoriutua, tosin akvaariossa olevat poikaset olivat kuolleita. Viimeinen silmämääräinen tarkastelu akvaarioille tehtiin 30.5., jossa havaittiin valtaosan munista kuolleen.

### 2.3 Tilastanalyysit

Tein velvoitetarkkailuraporttien aineiston yleistä tarkastelua Excelissä laskemalla luokkamuuttujille, eli syvyysvyöhykkeille, päällekkäisyydelle ja kuukausille kullekin keskiarvot kuolleiden mätimunien osuudesta. Tarkemmat tilastolliset testit tein RStudiolla (Posit team 2025, R 4.4.1). Koska normaalisuustarkastelun perusteella aineisto ei ollut jakautunut normaalisti ja siinä oli heteroskedastisuutta käytin ei-parametrisiä testejä. Tein ei-parametriset Mann-Whitneyn U-testit testatakseni, onko kuolleisuusprosentilla tilastollisesti merkitsevää eroa päällekkäisyyksien ja syvyysvyöhykkeiden vaihdellessa. Aineiston laadun takia päädyin käyttämään beta-regressio-analyysia (R-paketti *betareg* (Cribari-Neto 2010), funktio *betareg()* (Kosmidis & Zeileis 2025), joka sopii myös kuolleisuusprosenttiaineistolle, joka muodostui arvoista nollan ja yhden välillä. En huomioinut 5.5.2012 ja 10.5.2023 kerättyjä tietoja analyysissä, koska näinä päivinä aineistoon oli kirjattu poikkeuksellisen korkea näkösyvyys ja ne tekivät muun aineiston tarkastelusta vaikeaa. Beta-regressio-analyysin tulosten perusteella päädyin vielä tekemään yleistetyn additiivisen sekamallin, eli GAM-mallin aineistolle. Mallin rakentamiseen käytin *mgcv* (Wood 2011) ja *nlme* (Pinheiro ym. 2025) R-paketteja. Malli sopi aineistolle, koska aineisto oli epälineaarinen ja halusin tarkastella joustavasti eri ympäristömuuttujien vaikutuksia vastemuuttujaan, eli kuolleisuuteen. GAM-malli sopii hyvin käyräviivaisten yhteyksien ja yhdysvaikutusten tutkimiseen (Tanskanen 2010), jotka kumpikin kuvaavat aineistoani. Sovitin mallin REML-menetelmällä. Mallin selittävänä muuttujana oli suhteellinen kuolleisuus (0–1), jota varten käytin mallissa beta-regressiota logit-linkillä. Tämä sopi muuttujalle, koska se oli jatkuva ja rajoittunut nollan ja yhden välille. Aineistossa oli autokorrelaatiota, joten kokeilin useaa eri asetusta mallille, jotta se kuvaisi mahdollisimman hyvin ympäristömuuttujien ja kuolleisuuden välistä suhdetta ja autokorrelaatio olisi mahdollisimman pientä. Järjestin aineiston aikajärjestykseen vuosittain ja laskin kuhunkin havaintoon yhden aikayksikön viiveen kuolleisuusmuuttujasta. Tällä sain aikaan autokorrelaatiota huomioivan lag-muuttujan. Sisällytin muuttujan malliin, jotta

mallissa huomioitaisiin suoraan aikasarjan autokorrelaatio. Tarkastelin autokorrelaatiota autokorrelaatiofunktion (ACF) avulla. Lag-muuttuja vähensi autokorrelaatiota huomattavasti, mutta vei merkitsevyyttä pois vuoden päivältä (DOY), joten sen vaikutus on esitetty ilman muuttujaa.

Pilottikoeaineistolle tein yleisen tilastollisen tarkastelun Excelissä ja tarkemman tilastollisen testauksen sekä kuvaajien piirtämisen RStudio-ohjelmalla (Posit team 2025, R 4.4.1). Poistin aineistosta 28.5.2024 datan, koska silloin lasialustat olivat ainoita alustoja, joilta mätimunien laskeminen onnistui erittäin runsaana kasvavien rihmalevien takia ja aineisto olisi ollut vääristynyt. Testasin Kruskal-Wallis-testillä, onko akvaarioräkeissä käytettyjen kalojen ominaisuuksissa merkitseviä eroja räkkien välillä. Aineistoa tarkastellessani käytin boxplot-kuvaajia ryhmien välisen vaihtelun tarkasteluun kutualustan, virtauksen ja vedenlaadun suhteen. Tein Kruskal-Wallis-testin myös selvittääkseni, onko kutualustalla, virtausasetuksella tai vedenlaadulla tilastollisesti merkitsevää vaikutusta kuolleisuusprosenttiin. Kruskal-Wallis-testin tuloksille tein vielä Dunnin testin tarkentaakseni lopullisia tuloksia. Lopuksi tein vielä alustakohtaisen Kruskal-Wallis-testin nähdäkseni tarkemmin, onko virtausteholla vaikutusta kuolleisuuteen.

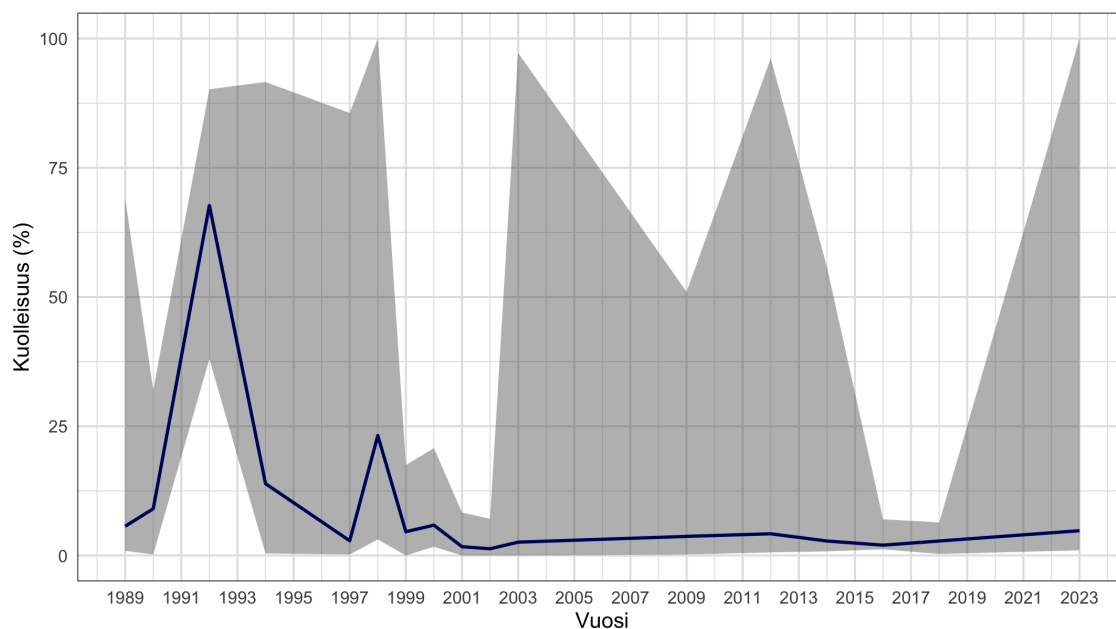
Tilastollisten analyysien koodin rakentamisessa ja tarkistamisessa hyödynsin tekoälyavusteista työkalua (OpenAI ChatGPT, versio GPT-5). Kaikki analyysit kuitenkin suoritin, tarkistin ja tulkitsin itsenäisesti.

### 3 Tulokset

#### 3.1 Velvoiteseurantaraportit

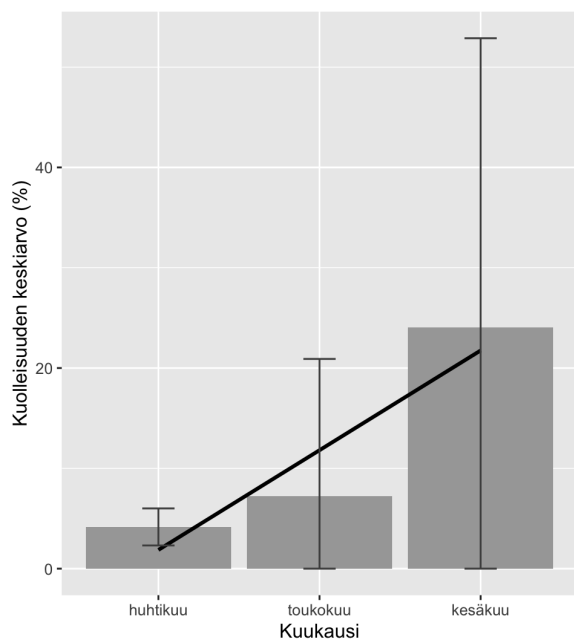
Velvoiteseurantaraporttien aineiston tarkastelu osoitti, että kuolleisuus vaihteli huomattavasti eri vuosien välillä. Tulokset viittasivat siihen, että ympäristömuuttujista erityisesti veden lämpötilalla, näkösyvyydellä ja vuoden päivällä (DOY) oli vaikutusta kuolleisuusprosentin muutokseen ( $p = 0,05$ ). Sen sijaan kutsusyvyydellä ja kutuaaltojen päällekkäisyydellä ei havaittu merkitsevää vaikutusta kuolleisuuteen ( $p > 0,05$ ).

Vuosina 1992 ja 1998 kuolleisuusprosenttien mediaanit ja vaihteluvälit osoittivat poikkeuksellisen korkeita arvoja (Kuva 7). Vuosituhannen vaihteen jälkeen kuolleisuusprosentit olivat pääosin matalampia. Kuitenkin myös vuosina, jolloin mediaanit olivat alhaisia, havaittiin yksittäisiä korkeita kuolleisuusarvoja, mikä ilmeni huomattavana vuosikohtaisena vaihteluna.



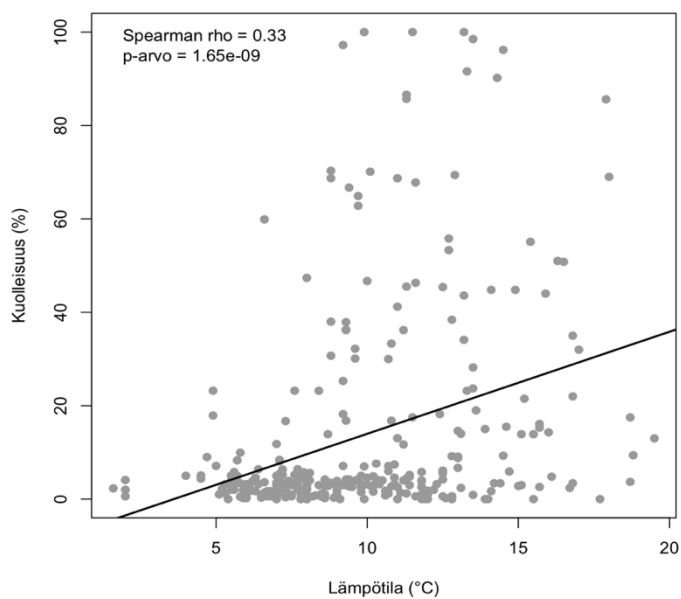
Kuva 7. Viivadiagrammi mätimunien kuolleisuusprosentista seurantavälillä 1989–2023 Järvistensaaren kutualueella. Viiva näyttää trendin kuolleisuuden mediaanin mukaan ja varjo näyttää vuosikohtaisen vaihteluvälin kuolleisuusprosentissa.

Aineiston yleinen tarkastelu viittasi siihen, että mätimunien kuolleisuus lisääntyy kevään edetessä, erityisesti huhti-kesäkuun aikana (Kuva 8).



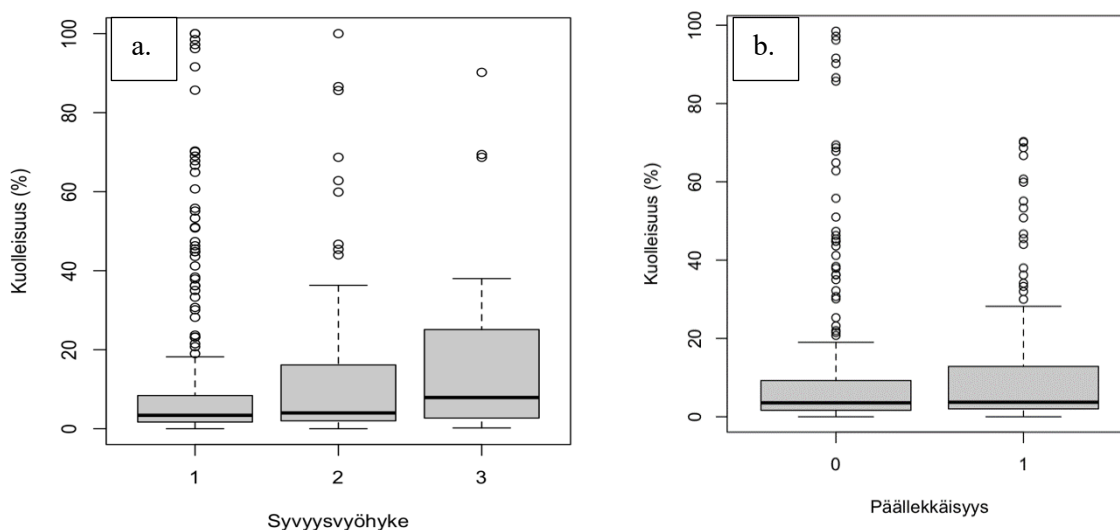
Kuva 8. Pylväsdigrammi kuukausien (huhti-, touko- ja kesäkuu) kuolleisuusprosenttien keskiarvoista seurantajaksolla 1989–2023.

Spearmanin korrelaatiotestin tulosten perusteella lämpötilan ja kuolleisuusprosentin välillä oli tilastollisesti merkitsevä ( $p < 0,05$ ) positiivinen korrelaatio (Kuva 9). Korrelaation selityskerroin oli kuitenkin matala (0,33).



Kuva 9 Lämpötilan ja mätimunien kuolleisuusprosentin välinen Spearmanin korrelaatio.

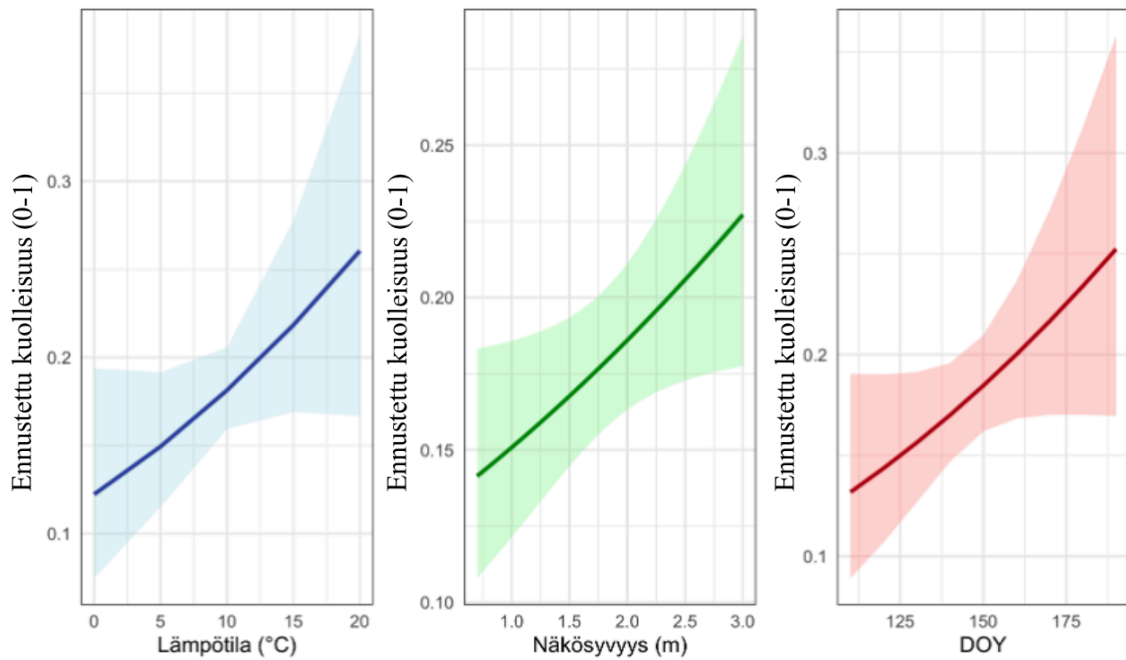
Aineiston visuaalinen tarkastelu viittasi siihen, että kuolleisuus on korkeampaa syvemmillä syvyysvyöhykkeillä (kuva 10a). Mann-Whitneyn U-testin tulosten mukaan syvyysluokkien 1 ja 2 sekä 2 ja 3 välillä ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ( $p > 0,05$ ). Vyöhykkeiden 1 ja 3 välillä oli lähes tilastollisesti merkitsevä ero ( $p = 0,06$ ). Syvyysvyöhykkeiden vaikutuksesta kuolleisuuteen ei siten voida tehdä johtopäätöksiä tämän aineiston perusteella. Kutuaaltojen päällekkäisyyksillä ei ollut myöskään tilastollisesti merkitsevää vaikutusta kuolleisuusprosentteihin ( $p > 0,05$ ) (Kuva 10b).



Kuva 10. Kuolleisuusprosentin (%) jakautuminen eri syvyysvyöhykkeiden (1–3) välillä (a.) ja kuolleisuusprosenttien jakautuminen päällekkäisten ja ei päällekkäisten kutuaaltojen kohdalla (b.).

Spearmanin korrelaatiotestin tulosten perusteella DOY:n ja kuolleisuusprosentin välillä oli tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio ( $\rho = 0,31$ ;  $p < 0,05$ ). Kuolleisuus nousi DOY:n noustessa, mutta selitysaste oli matala.

Beta-regressioanalyysin tulosten viittasivat siihen, että lämpötilalla, näkösyvyydellä ja vuoden päivällä (DOY) oli yhteys kuolleisuuteen. Näkösyvyuden ja kuolleisuuden yhteys oli tilastollisesti merkitsevä ( $\beta = 0.252$ ,  $p = 0.034$ ), lämpötila ( $\beta = 0.046$ ,  $p = 0.088$ ) ja DOY ( $\beta = 0.010$ ,  $p = 0.078$ ) viittasivat positiiviseen yhteyteen, mutta eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Ennustekäyrät olivat kaikissa muuttujissa nousevia ja epävarmuus kasvoi muuttujien ääripäissä (Kuva 12).

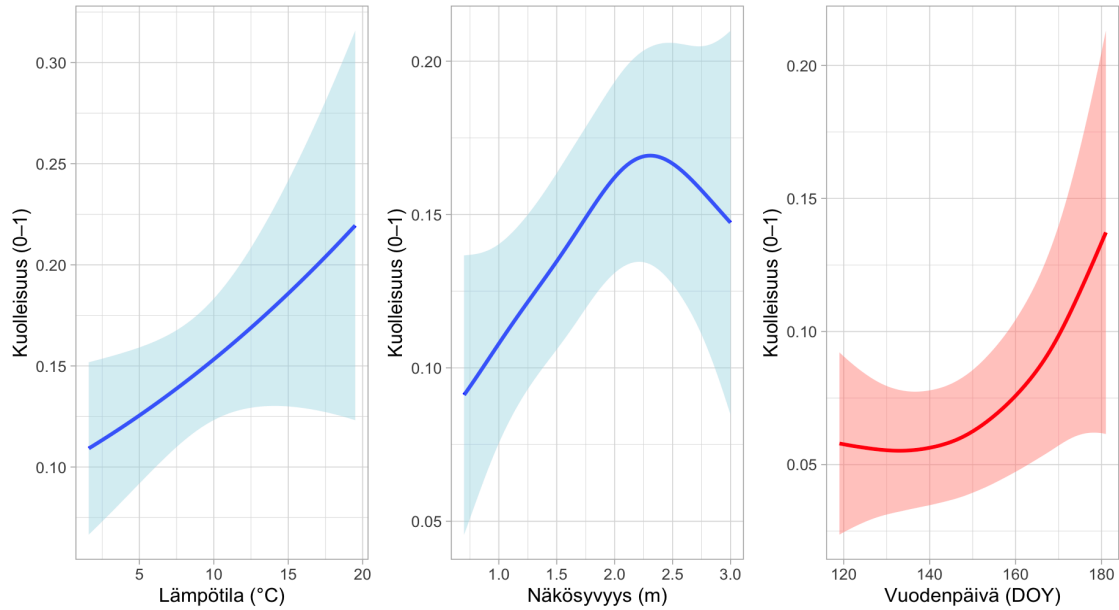


Kuva 12 Beta-regressioanalyysin avulla estimoitu ympäristötekijöiden (lämpötila, näkösyvyys ja DOY) vaikutus mädin kuolleisuusprosenttiin. Viiva kuvaa mallin ennustetta ja varjostus 95 % luottamusväliä.

Beta-regressioanalyysin tavoin GAM-mallin tulokset osoittivat myös tilastollisesti merkitsevän yhteyden näkösyvyyden ja kuolleisuuden välillä ( $p < 0,05$ ). Mallin tulokset myös viittasivat lämpötilan ja kuolleisuuden väliseen yhteyteen, mutta tulos ei ollut tilastollisesti merkitsevä ( $p = 0,06$ ) (Taulukko 1, Kuva 13). Autokorrelaatiota huomioivan lag-muuttujan kanssa DOY:n tilastollinen merkitsevyys ei näkynyt mallissa ( $p > 0,05$ ), mutta ilman muuttujaa DOY:n ja kuolleisuuden välillä oli merkitsevä yhteys ( $p < 0,05$ ). Mallin selitysaste oli lag muuttujan kanssa 39 % ja ilman muuttujaa 26 %.

Taulukko 1. GAM-mallin tulostaulukko. edf = arvioidut vapausasteet (estimated degrees of freedom), Ref.df = mallin sisäinen vertailuarvo testisuureeseen (reference degrees of freedom), F = khiin neliötesti.

	Lag mukana				Lag pois			
	Estimate	SE	z	p	Estimate	SE	z	p
<b>Vakiotermi (Intercept)</b>	-1,85	0,07	-	<0,001	-1,58	0,06	-	<0,001
			25,1				26,5	
	edf	Ref.df	F	p	edf	Ref.df	F	p
<b>DOY</b>	0,71	8	1,4	0,14	1,6	8	8,2	<b>0,004</b>
Lämpötila	1	1	3,5	0,06	1	1	2,4	0,12
<b>Näkösyvyys</b>	2,2	2,7	8,9	<b>0,02</b>	2,8	6,6	7,3	0,07



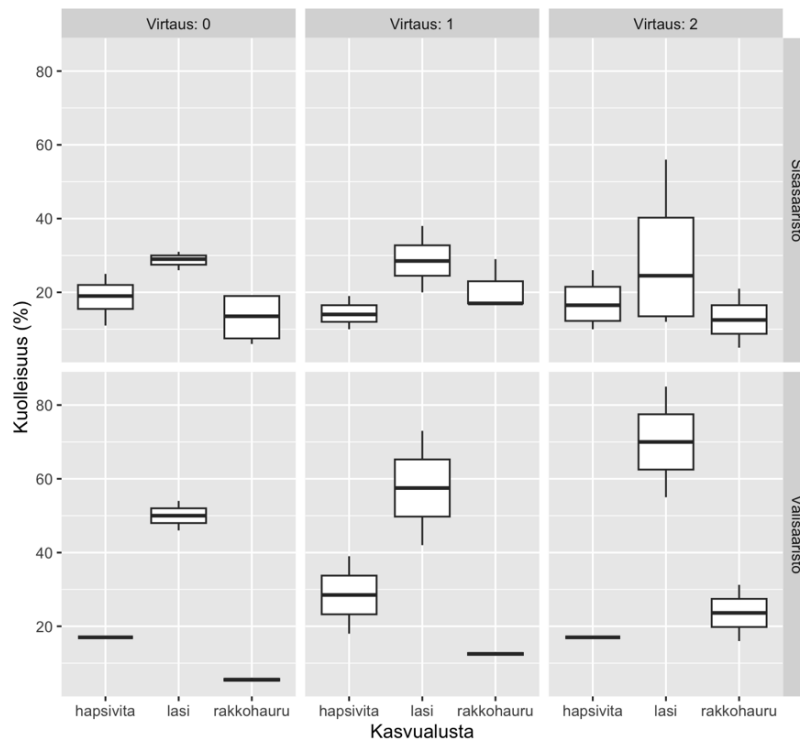
Kuva 13 GAM-analyysi lämpötilan (C°), näkösyvyyden (m) ja vuodenpäivän (DOY) yhteydestä mätimunien kuolleisuuteen koko seurantajaksolla 1989–2023. Lämpötilan ja näkösyvyyden kohdalla aineiston autokorrelaatio on huomioitu lag-muuttujalla ja DOY on mallinnettu ilman autokorrelaation huomiointia.

### 3.2 Haudontakoe

Pilottikokeena suoritettujen haudontakokeiden Kruskal-Wallis-testin tulokset viittasivat siihen, että kuolleisuus oli merkittävästi kutualustoista lasilevyillä ( $p < 0,05$ ). Virtaustehoilla ja vedenlaadulla ei kuitenkaan ollut havaittavissa merkitseviä vaikutuksia kuolleisuuteen ( $p > 0,05$ ).

Kuolleisuusprosentit vaikuttivat olevan korkeimpia lasilevyille kiinnittyneillä mätimunilla kaikissa virtausvaihtoehdoissa ja vedenlaaduissa (Kuva 14). Koko aineistossa kuolleisuusprosentti vaihteli 5–85 % välillä. Hajonta oli suurinta sisäsaariston veden voimakkaan virtauksen lasilevyjen kuolleisuusprosentteissa. Pienimmät hajonnat

olivat välisaariston veden nollavirtaustehon hapsividalla ja rakkohaurulla sekä matalan virtauksen rakkohaurulla ja voimakkaan virtauksen hapsividalla.



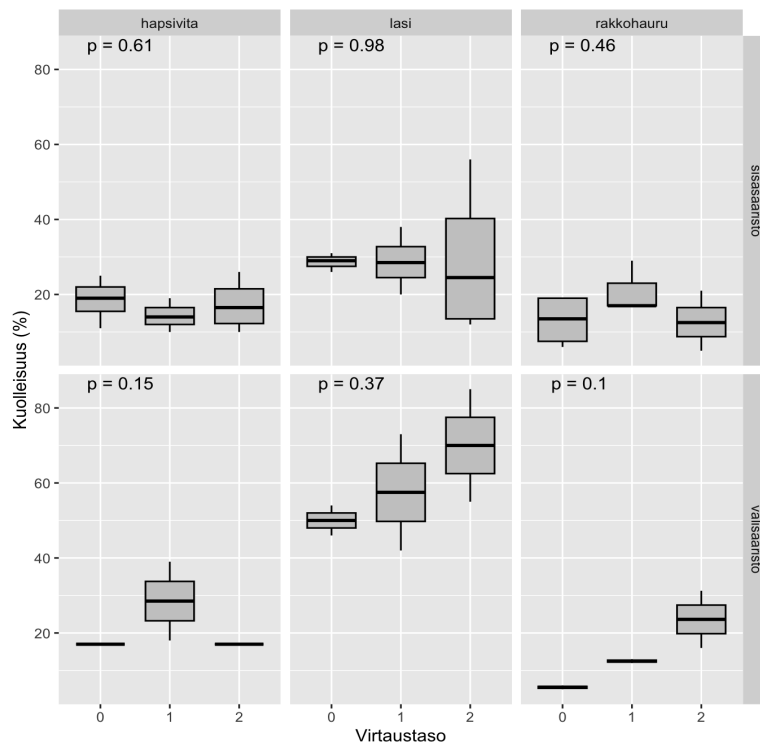
Kuva 14 Kuolleisuusprosentti pilottikokeen mätimunista eri kutualustoilla, virtausasetuksilla ja vedenlaaduilla.

Kruskal-Wallis ja Dunnin testit akvaariokokeen alustoista, vedenlaaduista ja virtauksista osoittivat, että alustoista hapsividan ja lasilevyn välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero ( $p < 0,05$ ) kuolleisuusprosenttien välillä (Taulukko 3). Lisäksi ero lasilevyn ja rakkohaurun välillä oli merkitsevä ero ( $p < 0,05$ ).

Taulukko 3 Kruskal–Wallis ja Dunnin testit akvaariokokeen alustoista, vedenlaaduista ja virtauksista.

	Vertailu 1	Vertailu 2	p-arvo (Bonferroni- korjauksella)	Kruskal-Wallis p
Virtaus	0	1	1,0	0,64
Virtaus	0	2	1,0	0,64
Virtaus	1	2	1,0	0,64
<b>Alusta</b>	<b>hapsivita</b>	<b>lasi</b>	<b>0,0042</b>	<b>&lt; 0,001</b>
Alusta	hapsivita	rakkohauru	0,83	< 0,001
<b>Alusta</b>	<b>lasi</b>	<b>rakkohauru</b>	<b>&lt; 0,001</b>	<b>&lt; 0,001</b>
Vedenlaatu	sisäsaaristo	välisaaristo	0,21	0,21

Alustakohtainen Kruskal-Wallis-testi ei osoittanut tilastollisesti merkitsevää eroa kuolleisuuksissa eri virtaustehoilla ( $p > 0,05$  kaikilla alustoilla) (Kuva 15). Vaikka välisaariston lasilevyille ja rakkohaurulle kiinnittyneiden munien kuolleisuusprosentit viittaavat nousevaan kuolleisuusprosenttiin virtauksen voimistuessa, oli vaihtelu suurta.



Kuva 15 Kruskal-Wallis-testi alustakohtaisesta vertailusta virtauksen vaikutuksesta kuolleisuusprosenttiin.

Kokeessa käytettyjen kalojen pituudet, painot ja iät vastasivat toisiaan (Taulukko 2). Kruskal-Wallis-testi ei osoittanut tilastollisesti merkitseviä eroja kalojen ominaisuuksissa akvaarioräkkien välillä ( $p > 0,05$ ).

Taulukko 2, Kokeessa käytettyjen kalojen ominaisuudet keskiarvoina keskihajontojen kanssa akvaarioräkkiä kohden.

	Räkki 1	Räkki 2	Räkki 3
Pituus (cm)	17,1 ± 0,99	16,9 ± 0,98	17,4 ± 2,49
Paino (g)	30,6 ± 7,24	30,8 ± 6,03	32,8 ± 14,01
Ikä (vuotta)	5,4 ± 1,36	5,2 ± 0,75	5,0 ± 1,17
Kuntokerroin	0,6 ± 0,04	0,63 ± 0,04	0,63 ± 0,11

## 4 Tulosten tarkastelu

### 4.1 Velvoiteseurantaraportit

Velvoiteseurantaraportit olivat pitkästä seurantajaksoista huolimatta sisällöltään yhtenäisiä ja kuvasivat hyvin seurannassa käytetyt menetelmät ja näytteenottoaikan laadun. Lisäksi ne osoittavat kuolleisuusprosenttien laskeneen Järvistensaaren kutupaikalla seurantajakson aikana. Raporteissa esitetään useita mahdollisia syitä lisääntyneeseen huuhtoutumiseen. Niitä ovat esimerkiksi levistä erittyvät myrkkypitoiset aineet ja ruoppausmassojen läjityksessä vapautuvat raskasmetallit (Valjus 2018; Itkonen 1998). Ensimmäisen kerran mätimunien huuhtoutumisesta mainittiin vuoden 1998 velvoiteseurantaraportissa (Kohonen ym. 1999). Raporteissa oli lisäksi esitelty silakan lisääntymisen taustaa, jota tosin esitettiin eri vuosien raporteissa osin samalla tekstillä. Uusissakin raporteissa johdanto silakan lisääntymismenestykseen perustui 1960–1980-lukujen kirjallisuuteen, eikä vuoden 2000 jälkeisiin tutkimuksiin juurikaan viitattu.

Kirjallisuuteen ja aiempaan tietoon perustuvat hypoteesini velvoiteseurantaraporttien aineistosta olivat, että kuolleisuus nousee lämpötilan ja DOY:n noustessa, mutta pienenee näkösyvyyden kasvaessa. Velvoiteseurantaraporteista kootun aineiston tilastollisen analyysin tulokset vastasivat suurilta osin näitä hypoteeseja, mutta osa tuloksista viittasi lähes päinvastaiseen. Aineiston kuolleisuusprosentteissa oli suurta vuosienvälistä vaihtelua ja vaikka mediaaneja tarkastellessa kuolleisuus näyttää laskeneen vuosituhannen vaihteen paikkeilla, on koko seurantajakson ajan havaittavissa myös hyvin korkeita kuolleisuuksia.

Kuolleisuusprosentin ja lämpötilan välisen positiivisen korrelaation selityskerroin on matala (0,33), jonka perusteella yhteys löytyy, mutta vaihtelua selittää myös todennäköisesti joku tai jotkut muut tekijät. Korrelaatiotestin lisäksi myös betaregressioanalyysi ja GAM-malli viittasivat lämpötilan ja kuolleisuuden väliseen yhteyteen. Lämpötila-aineisto voi olla resoluutioltaan liian heikko havainnoimaan todellista lämpötilanvaihtelua. Vastaavia tuloksia on saatu muissa tutkimuksissa, esimerkiksi Rajasilta ym. (1993) havaitsivat positiivisen korrelaation silakan mätimunien kuolleisuuden ja lämpötilan välillä. Artikkelissa kuitenkin todettiin lämpötilan tuskin itsessään olevan haitaksi, kunhan lämpötilat pysyvät alle 20 Celsius-asteessa. Myös

Atlantin sillillä (*Clupea harengus*) on havaittu lämpötilan vaikuttavan kuolleisuuteen varhaisissa kehitystasteissa (Boyce ym. 2021). Oulasvirta ym. (1985) tutkimuksen tulosten mukaan epämuodostuneiden alkioiden määrä lisääntyy lämpötilan noustessa. Liian kylmä lämpötila (3 °C) aiheuttaa kuitenkin häiriöitä varhaisissa kehitysvaiheissa (Ojaveer 1981). Kuolleisuuden lisääntyminen DOY:n edetessä vastasi hypoteesiani, mutta muutos on kuitenkin todennäköisesti ennemmin linkitettävissä lämpötilan nousuun ja sen mukana runsaampana esiintyvään kasvi- ja leväbiomassaan. Rajasilta ym. (1993) tutkimuksen tulokset viittasivat samanlaiseen tulokseen; mätimunien kuolleisuus oli korkeampaa myöhemmin kesällä kudetuissa munissa kuin varhain toukokuussa kudetuissa.

Tulosteni perusteella kutuaaltojen päällekkäisyydellä ei ole merkitsevää vaikutusta kuolleisuusprosenttiin. Aneer (1987) tutkimuksen mukaan mätimunat sietävät kohtuullisen hyvin hapettomuutta, joten on uskottavaa, ettei kutuaaltojen päällekkäisyys vaikuttaisi kriittisesti mätimunien kuolleisuuteen. Toisaalta Finke ym. 2022 tutkimuksen mukaan silakan mätimunien selviytyminen on runsainta, kun munia on vain yhdessä kerroksessa. Kutupaikkojen laadun heikkenemisen ja soveliaan levä- ja kasvipeitteen vähenemisen myötä mätimunia joudutaan munimaan moneen kerrokseen, jolloin myös kuolleisuus lisääntyy (Finke ym. 2022). Tässä aineistossa ei ole huomioitu, onko päällekkäisten kutuaaltojen munia monessa kerroksessa, vaan ainoastaan selkeästi eri kehitysvaiheissa olevien mätimunien yhtäaikainen läsnäolo.

Näkösyvyys mitattiin valkoisella Secchi-levyllä, tai esimerkiksi vuonna 1987 Ruttner-vedennoutimen valkoista kantta hyödyntäen (Itkonen ym. 1998). Näkösyvyys määritettiin sen mukaan, kuinka syvälle upotettuna valkoinen levy oli näkyvissä. Pienet arvot kuvaavat sameaa vettä, joka on tyypillistä muun muassa kasviplanktonin ollessa runsasta tai kovan merenkäynnin jälkeen. Suuret arvot taas osoittavat veden olevan kirkasta ja vedessä olevan sedimentin ja kasviplanktonin määrän olevan vähäistä. Kuolleisuuden lisääntyminen näkösyvyyden kasvaessa on hypoteesini vastainen tulos. Veden kiintoainespitoisuutta ja rehevöitymistä pidetään yleisesti todennäköisimpinä syinä mädin kuolleisuudelle ja huuhtoutumiselle. Nämä molemmat tekijät samentavat vettä ja pienentävät näkösyvyyttä, joten kuolleisuuden voisi olettaa lisääntyvän näkösyvyyden pienentyessä. On myös mahdollista, että näkösyvyyden ollessa pieni veden kiintoainespitoisuus tai muut tekijät ovat aiheuttaneet mätimunien huuhtoutumista pois kutualustalta, jolloin jäljelle on jäänyt pääosin eläviä munia ja tulokset ovat siten

vääristyneet osoittamaan sameassa vedessä kuolleisuuden olevan pienempää kuin kirkkaammissa olosuhteissa. Sameutta on voinut aiheuttaa myös kova merenkäynti, joka on samalla huuhtonut munia alustalta. Todennäköistä on, että kuolleisuutta selittää todellisuudessa jokin muu tekijä kuin näkösyvyys, vaikka analyysi viittaakin merkitsevään yhteyteen näkösyvyyden ja kasvavan kuolleisuuden välillä.

Syvyysvyöhykkeellä ei vaikuttanut olevan tilastollisesti merkitsevää vaikutusta kuolleisuuteen, mutta hajonta oli suurempaa syvemmissä kutuvyöhykkeissä. Tyynenmeren sillillä on havaittu korkeampaa kuolleisuutta mätimunilla, jotka ovat kehittyneet syvemmillä (Taylor 1971). Oulasvirta ym. (1985) artikkelissa syyksi ehdotetaan, että syvemmillä kasvillisuutta on vähemmän ja munat on laskettu sorapohjalle tai sinisimpukoiden pinnalle. Munien joutuessa sorakivien tai simpukoiden väliin, voi veden vaihtuvuus olla heikompaa kuin matalalla vesikasvillisuuden pinnalle lasketulla mädillä (Oulasvirta ym. 1985).

Silakan kutua ja mädin kehitystä on seurattu jonkin verran muuallakin Suomen rannikolla ja ongelmia mätimunien selviytymisessä on havaittu myös Saaristomeren ulkopuolella. Useat seurannat ja kartoitukset ovat liittyneet merituulivoimaloiden perustamiseen kuuluvaan YVA- selvitykseen. Porin edustan selvityksessä mätiiä havaittiin 5,4 metrin ja 11,6 metrin välillä, joka on selkeästi syvemältä kuin Järvistensaaren kutupaikalta (n. 0,5–3 m). Porin edustalla tehdyssä selvityksessä havaittiin myös mädin määrän vähenevän merkittävästi havaintokertojen välillä (Leinikki 2020), mikä voi viitata Saaristomerelläkin havaittuun mätimunien huuhtoutumiseen. Työmäärän vuoksi jouduin rajaamaan seurantajakson aineistojen yhteenvedon ainoastaan Järvistensaaren kutupaikan aineistoon. Vertailemalla saamiani tuloksia lähialueen muiden kutupaikkojen aineistoihin voidaan saada lisää arvokasta tietoa silakan mädin kuolleisuuksien muutoksesta Airistolla.

## 4.2 Pilottikoe

Toteutin osana tutkielmaani pilottikokeen, jonka tarkoituksena oli testata uudenlaista koeasetelmaa silakan mätimunien kehityksen ja kuolleisuuden seuraamiseen erilaisilla kutualustoilla, virtaustehoilla ja vedenlaaduilla läpivirtausakvaarioräkeissä. Pilottikoe ei sellaisenaan tarjonnut erityisen merkittäviä tuloksia silakan alkionkehitykseen

vaikuttavista tekijöistä, mutta se oli muutoin onnistunut kokeilu uudelta koeasetelmasta. Melko pian kokeen aloittamisesta akvaarioissa alkoi runsas rihmamaisten levien kasvu ja erityisesti rakkohaurulle ja hapsividalle kiinnittyneet munat jäivät suurilta osin rihmamaisten levien peittoon. Kokeen loppupuolella munat alkoivat myös homehtumaan, joka lisäsi munien kuolemista. Sienikasvusto ei ole ainoastaan ongelma akvaariokokeissa; Rajasilta ym. (1993) kertovat artikkelissaan löytäneensä kesäkuun aikana kerätyistä kuolleista mätimunista sienikasvustoa. Tunnetuimmat sieninfektiot ovat Saprolegnian ja muiden vesihomeiden aiheuttamia ja ne voivat haitata kalojen lisääntymistä esimerkiksi infektoimalla hedelmöittyneitä mätimunia (Yaong 2003). Vesien lämpeneminen ilmastonmuutoksen myötä lisää bakteeri- ja sieninfektioiden määrää ja voi osaltaan myös aiheuttaa lisääntyntä mätimunien kuolleisuutta (Rajasilta ym. 1993).

Pilottikokeen tuloksia luotettavimmat tulokset saisi, jos kokeen pääsisi toteuttamaan todellisella kutupaikalla, jolloin kiintoainespitoisuus ja aallokko olisi todenmukainen. Toom (1958) toteutti haudontakokeen silakoilla Itämerellä, jossa mäti oli asetettu tiheästä verkosta tehtyihin laatikoihin luonnollisilla lisääntymisalueilla ja lisäksi alueilla, jossa silakka ei lisääntynyt. Kokeen aikana luonnollisilla lisääntymisalueilla hometta ei ilmennyt mätimunissa, mutta muilla alueilla hometta ilmeni jo matalissa lämpötiloissa aiheuttaen pidemmälle kehittyneiden alkioiden kuoleman. Kaatrasalo ym. (2003) taas toteuttivat kokeen, jossa silakan mätimunien kehittymistä seurattiin Järvistensaaren kutupaikan läheisyydessä keinotekoisilla kutualustoilla, mutta alustalta irronneita mätimunia ei onnistuttu saamaan talteen niiden nopean hajoamisen takia. Saman tutkimuksen laboriokokeessa alkioita kasvatettiin lasilevyillä astioissa, joissa vettä oli vain 3 dl, mutta vesi vaihdettiin kerran viikossa. Pilottikokeessa oli jatkuvasti sama vesi, joka toisaalta kiersi akvaarioräkin läpi, mutta saman veden filteröimätön kierrättäminen mahdollisesti lisäsi rihmamaisten levien ja homekasvuston kasvua.

### 4.3 Yhteenveto

Tämän aineiston perusteella en voi varmuudella sanoa, mitkä tekijät aiheuttavat mätimunien irtoamista pohjoisella Airistolla. Tutkimukseni tulosten sekä kirjallisuuden perusteella pidän todennäköisimpänä rehevöitymisen myötä muodostuvan biofilmin vaikutusta mätimunien heikkoon kiinnittymiseen. Stoll ym. (2010) mesokosmoskokeen

tulokset, joissa aallokkoon yhdistetty biofilmi aiheutti kaikkien munien irtoamisen ja/tai kuoleman, tukevat tämän selityksen todennäköisyyttä. Myös toteuttamassani pilottikokeessa runsas rihmamaisten levien lisääntyminen ja kutualustojen limoittuminen oli ilmeinen ongelma. Kokeen loppupuolella mätimunat irtosivat hyvin helposti alustasta. Jatkotutkimuksen puolesta olisi siten hyödyllistä tutkia biofilmin muodostumista Saaristomerellä ja erityisesti tunnetuilla silakan kutupaikoilla.

Velvoiteseurantaraportit tarjoavat tärkeää seurantatietoa silakan kutupaikkojen tilan kehityksestä sekä yleisesti silakan lisääntymisen ajoittumisesta. Pitkäaikainen samojen lisääntymispaikkojen seuranta ja raportointi on keskeinen ja arvokas tietovaranto suojelutoimien suunnittelussa ja ihmistoiminnan vaikutusten seurannassa. Siksi seurantaa kannattaa tehdä tavalla, joka antaa todenmukaista ja yhtenäistä informaatiota lisääntymismenestyksestä. Vuonna 1999 tehdyistä tutkimuksista kertovassa velvoiteseurantaraportissa esitetään, että huuhtoutuminen saattaa aiheuttaa mädin kuoleman, minkä seurauksena mädin havaitut kuolleisuusprosentit eivät kasva huolimatta poikastuotannon merkittävästä vähenemisestä (Vahteri 2000). Tämä herättää kysymyksen siitä, onko velvoiteseurantaraporttien nykyinen kuolleisuudenseurannan toimintatapa kustannustehokkain ja menetelmällisesti todenmukaisin ja kuvaako raporttien kuolleisuusaineisto ylipäätään todellista kuolleisuusprosenttien kehitystä seurantajaksolla. Tämän vuoksi munien irtautuminen olisi oleellista huomioida mädin kuolleisuuksien raportoinnissa, sillä muutoin aineisto vääristyy eikä edusta todellista tilannetta. Resurssien kannalta tarkoituksenmukaisempaa olisi esimerkiksi suunnata tutkimusta sen selvittämiseen, kuinka merkittävä huuhtoutumisongelma todellisuudessa on ja mitkä tekijät ovat ilmiön taustalla. Syytä tutkimukseen on, sillä viime vuosien aikana silakkakantojen heikentynyt tila on herättänyt paljon huolta niin alan ammattilaisten kuin päättäjien keskuudessa. Vuonna 2024 Suomen aluevesillä vahvistettiin ensimmäistä kertaa kalastuksen kuturauhoitus, jolla kiellettiin kutuaikana troolikalastus Selkämerellä (Maa- ja metsätalousministeriö 2024). Kalastuskieltojen rinnalle tulisi kehittää myös lisääntymisbiologisiin prosesseihin kohdistuvia keinoja silakkakantojen tilan vahvistamiseksi. Silakan kaltaisten matalan trofiatason kalalajien väheneminen voi vaikuttaa laaja-alaisesti koko meriekosysteemiin sekä aiheuttaa taloudellisia vaikutuksia myös ihmisille (Keeling ym. 2016).

## **Kiitokset**

Kiitän Suomen luonnonsuojelun säätiötä, joka on tukenut tätä opinnäytetyötä apurahalla. Kiitos myös Nauvon Rotaryklubille heidän myöntämästään stipendistä opinnäytetyölleni. Suuri kiitos Katja Mäkiselle työni ohjaamisesta. Kiitos Marjut Rajasillalle työni alkuvaiheessa ohjauksesta ja työn ideoinnista. Tutkielmaani kuulunut pilottikoe suoritettiin Turun yliopiston Saaristomeren tutkimuslaitoksen tiloissa. Tutkimuksessa hyödynnettiin FINMARI-infrastruktuuria.

## Kirjallisuus

- Aneer, G., 1985, *Some speculations about the Baltic herring (Clupea harengus membras) in connection with the eutrophication of the Baltic Sea.*, Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences (Suppl. 1): 83–90
- Aneer, G., 1987, *High natural mortality of Baltic herring (Clupea harengus) eggs caused by algal exudates?*, Marine Biology, 94, 163–169.
- Angoshtari, R., Scribner, K. & Marsh, T., 2023, *The impact of primary colonizers on the community composition of river biofilm*, PLoS One, Volume 18, Issue 11, DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0288040>
- Arula, T., Shpilev, H., Raid, T. & Sepp, E., 2019, *Thermal conditions and age structure determine the spawning regularities and condition of Baltic herring (Clupea harengus membras) in the NE of the Baltic Sea*, PeerJ. 2019 Jul 22;7: e7345. DOI: [10.7717/peerj.7345](https://doi.org/10.7717/peerj.7345)
- Boyce, D. G., Petrie, B., & Frank, K. T., 2021. *Fishing, predation, and temperature drive herring decline in a large marine ecosystem*. Ecology and Evolution, 11(24), 18136-18150
- Chojnacki, K., George, A. & DeLonay, A., 2023, *The effects of substrate and sediment burial on survival of developing pallid sturgeon (Scaphirhynchus albus) and shovelnose sturgeon (S. platyrhynchus) embryos*, Environmental Biology of Fishes, Volume 106, 527-539, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10641-023-01387-0>
- Corten, A., 2002, *The role of `conservatism' in herring migrations*. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 11(4), 339–361
- Cribari-Neto F., Zeileis A., 2010. “Beta Regression in R.” *Journal of Statistical Software*, 34(2), 1–24. doi:10.18637/jss.v034.i02
- Finke, A., Nordheim, L., Kotterba, P. & Polte, P., 2022, *Impact of spawn concentrations on Atlantic herring (Clupea harengus) egg survival in Baltic Sea inshore spawning areas*, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol. 275, 107961, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2022.107961>
- Gafny S., Gasith A., Goren M., 1992, *Effect of water level fluctuation on shore spawning of Mirogrex terrasanctae (Steinitz), (Cyprinidae) in Lake Kinneret, Israel*. Journal of Fish Biology 41:863–871

- Griffin, F., Smith, E., Vines, C. & Cherr, G., 2008, *Impacts of Suspended Sediments on Fertilization, Embryonic Development, and Early Larval Life Stages of the Pacific Herring, Clupea pallasii*, The University of Chicago Press Journals, Vol. 216, Num. 2
- Han, F., Jamsandekar, M., Pettersson, M., Su, L., Fuentes-Pardo, A., Davis, B., Bekkevold, D., Berg, F., Casini, M., Dahle, G., Farrel, E., Folkvord, A. & Andersson, L., 2020, *Ecological adaptation in Atlantic Herring is associated with large shifts in allele frequencies at hundreds of loci.*, eLife 9:e61076, DOI: <https://doi.org/10.7554/eLife.61076>
- Hasan, M., Mely, S., Faruk, a. & Hossain, M., 2023, *Climate Change Effect on Hatching Success, Embryonic Development and Larvae Survival of Freshwater Fish: A Critical Review*, International Journal of Ecotoxicology and Ecobiology, 8(4): 49-53, DOI: 10.11648/j.ijee.20230804.11
- HELCOM, 2018, *Eutrophication in the Baltic Sea*, Baltic Marine Environment Protection Commission, Baltic Sea Environment Proceedings nro. 115B, 148 s.
- Helminen, H., 2025, *Phosphorous Pools Associated with Fish in the Archipelago Sea*, Fishes 2025, 10(7), 328, DOI: <https://doi.org/10.3390/fishes10070328>
- Itkonen, A., Vahteri, P., Vuorinen, I. & Wright, J., 1998, *Ruoppausmassojen läjittämisen kalastovaikutukset Pohjois-Airistolla vuonna 1997*, s. 1–2
- Keeling, B., Hessing-Lewis, M., Housty, C., Okamoto, D., Gregr, E. & Salomon, A., 2016, *Factors driving spatial variation in egg survival of an ecologically and culturally important forage fish*, Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 27:814–827, DOI: 10.1002/aqc.2757
- Kjelland, M., Woodley, C., Swannack, T. & Smith, D., 2015, *A review of the potential effects of suspended sediment on fishes: potential dredging-related physiological, behavioral, and transgenerational implications*, Environment Systems and Decisions, Volume 35, 334-350
- Klinkhard, M. & Biester, E., 1984, *A simple method for estimating the age of herring eggs*. ICES C. M. 1984/J:35
- Klinkhardt, M., 1996, *Der Hering: Clupea harengus*, Spektrum Akademischer Verlag
- Kohonen, T., Vahteri, P., Suominen, T., Helminen, U. & Vuorinen, I., 1999, *Ruoppausmassojen läjittämisen vaikutukset vesistöön ja kalatalouteen Pohjois-Airistolla*, Raportti vuonna 1998 tehdyistä tutkimuksista, s. 103

- Kohonen, T., Vahteri, P., Virtasalo, J., Vuorinen, I. & Helminen, U., 2001, *Kalojen kutu- ja poikastuotantoalueiden suojelu- ja kunnostustutkimus Turun saaristossa*. Turun yliopiston Saaristomeren tutkimuslaitos, 82 s + liitteet
- Kosmidis I., Zeileis A., 2025, *Extended-Support Beta Regression for [0, 1] Responses*, Journal of the Royal Statistical Society C, [doi:10.1093/jrsssc/qlaf039](https://doi.org/10.1093/jrsssc/qlaf039)
- Kääriä, J., Eklund, J., Hallikainen, S., Kääriä, R., Rajasilta, M., Ranta-aho, K. & Soikkeli, M., 1988, *Effects of coastal eutrophication on the spawning grounds of the Baltic herring in the SW Archipelago of Finland*, Kieler Meeresforschungen – Sonderheft, 6. pp. 348–356
- Kääriä, J., Aneer, G., Eklund, J., Jönsson, N., Naarminen, M. & Rajasilta, M., 2001, *A tagging experiment on spring-spawning Baltic herring (*Clupea harengus membras*) in southwestern Finland in 1990–1998*, Herring: Expectations for a new millenium, s. 599–609
- Laine, P. & Rajasilta, M., 1998, *Changes in the reproductive properties of Baltic herring females during the spawning season*, Fisheries Research, Vol. 36, Issue 1. 67–73, DOI: [https://doi-org.ezproxy.utu.fi:2443/10.1016/S0165-7836\(98\)00087-3](https://doi-org.ezproxy.utu.fi:2443/10.1016/S0165-7836(98)00087-3)
- Laine, P. & Rajasilta, M., 1999, *The hatching success of Baltic herring eggs and its relation to female condition*, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 237, Issue 1, 61–73, DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(98\)00213-5](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(98)00213-5)
- Lehtonen, T. & Veneranta, L., 2024, *Gone with the flow: Whitefish egg drift in relation to substrate coarseness under a range of flow velocities*, Journal of Fish Biology, Volume 105, 1747-1754, DOI: [10.1111/jfb.15923](https://doi.org/10.1111/jfb.15923)
- Leinikki, J., 2020, *Silakan kutualueiden kartoitus ja seuranta Tahkoluodon merituulipuiston laajennushankkeen alueella Porissa 2020*, Alleco Oy raportti n:o 14/2020
- Maa- ja metsätalousministeriö, 2024, *Silakankalastukseen asetettiin ensimmäistä kertaa kuturauhoitus – tavoitteena suurten vuosiluokkien syntyminen*, Tiedote, julkaistu Valtioneuvosto.fi, saatavilla: <https://valtioneuvosto.fi/-/1410837/silakankalastukseen-asetettiin-ensimmaista-kertaa-kuturauhoitus-tavoitteena-suurten-vuosiluokkien-syntyminen> [26.5.2025]
- Moll, D., Kotterba, P., von Nordheim, L. & Polte, P., 2017, *Storm-Induced Atlantic Herring (*Clupea Harengus*) Egg Mortality in Baltic Sea Inshore Spawning Areas*, Estuaries and Coasts, Volume 41, 1-12

- Moll, D., Polte, P., Jochum, K. P., Gröhsler, T., Bekkevold, D., McQuinn, I. & Kotterba, P., 2025, *Direct evidence of natal homing in an Atlantic herring metapopulation*. Science Advances, 11(44)
- Mäkinen, A., & Friman, H., 1990, *Ruoppausmassojen läjittämisen vaikutukset vesistöön ja kalatalouteen pohjoisella Airistolla*, Raportti v. 1989 tehdyistä tutkimuksista, Turun yliopisto, Saaristomeren tutkimuslaitos, 83 s.
- Mäkinen, K., Vuorinen, I., & Hänninen, J., 2017, *Climate-induced hydrography change favours small-bodied zooplankton in a coastal ecosystem*, Hydrobiologia, Volume 792, 83–96, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-016-3046-6>
- Mäkinen, K., Rajasilta, M., Ruuskanen, S., Karpela, T., Lauerma, A. & Sahlsten, J., 2023, *Effects of incubation temperature and maternal phenotype on Baltic herring (Clupea harengus membras) eggs and larvae: an experimental study.*, Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 81(8): 1052–1065, DOI: <https://doi.org/10.1139/cjfas-2023-0032>
- Napier, I., 1993, *The organic carbon content of gravel bed herring spawning grounds and the impact of herring spawn deposition*, Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, Volume 73, Issue 4, November 1993, pp. 863 – 870, DOI: <https://doi.org/10.1017/S0025315400034779>
- Niinimäki, J., Perander, N. & Oulasvirta, P., 2002, *Turun sataman ruoppausmassojen läjityksen kalatalousvaikutusten tarkkailu vuonna 2002*, s.6
- Ojaveer, EA., 1981, *The effect of temperature and salinity on the embryonic-development of the baltic herring Clupea harengus membras L*, Biologiya Morya-Marine Biology, Issue 5, 39–48
- OpenStreetMap contributors, (ei päivämäärää), *OpenStreetMap*, OpenStreetMap Foundation. Saatavilla: <https://www.openstreetmap.org> [27.10.2025]
- Oulasvirta P., Rissanen J. & Parmanne R. 1985. *Spawning of Baltic herring (Clupea harengus L.) on the western part of Gulf of Finland*, Finnish Fisheries Research, Volume 5, 41-54
- Parmanne, R. & Sjöblom, V., 1986, *Recaptures of Baltic herring tagged off the coast of Finland in 1982–85*, International council for the exploration of the sea, C.M. 1986 / J:28, Baltic Fish Committee
- Peltonen, H., Raitaniemi, J., Parmanne, R., Eklund, J., Nyberg, K., & Halling, F., 2002, *Age determination of Baltic herring from whole otoliths and from neutral red stained otolith cross sections*. ICES Journal of Marine Science, 59(2), 323–332.

- Pepin, P., 1991, *Effect of temperature and size on development, mortality, and survival rates of the pelagic early life history stages of marine fish*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 48(3), 503–518.
- PIANC, 2009. *Dredging Management Practices for the Environment. A Structured Selection Approach*, Report nr. 100.
- Pinheiro J, Bates D, R Core Team, 2025, *nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*. doi: [10.32614/CRAN.package.nlme](https://doi.org/10.32614/CRAN.package.nlme), R package version 3.1-168
- QGIS.org, 2025, QGIS Geographic Information System, QGIS Association, DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6139224>
- Rinne, H., Salovius-Lauren, S. & Mattila, J., 2011, *The occurrence and depth penetration of macroalgae along environmental gradients in the northern Baltic Sea*, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Volume 94, Issue 2, 182–191, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.06.010>
- Peck, M. A., Kanstinger, P., Holste, L., & Martin, M., 2012, *Thermal windows supporting survival of the earliest life stages of Baltic herring (Clupea harengus)*. ICES Journal of Marine Science, 69(4), 529–536
- Posit team, 2025, *RStudio: Integrated Development for R*, Posit Software, PBC, Boston, MA. URL <http://www.posit.co/>.
- Rajasilta, M. & Ranta-aho, K., 1982, *Alustavia tuloksia silakan mätitiheydestä, mädin esiintymissyvyydestä ja kehityksestä pohjoisella Airistolla*, Suomen kalastuslehti 8: 232-234
- Rajasilta, M., Eklund, J., Kääriä, J. & Ranta-Aho, K., 1989, *The deposition and mortality of the eggs of the Baltic herring Clupea harengus membras L., on different substrates in the south-west archipelago of Finland*, Journal of Fish Biology, Vol. 34, Issue 3, 417-427, DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1989.tb03324.x>
- Rajasilta, M., Eklund, J., Hänninen, J., Kurkilahti, M., Kääriä, J., Rannikko, P. & Soikkeli, M., 1993, *Spawning of herring (Clupea harengus membras L.) in the Archipelago Sea*, ICES Journal of Marine Science 50, 233–246.
- Rajasilta, M. & Aneer, G., 2006, *Herring spawning grounds in the northern Baltic Sea: present knowledge and recommendations for regular monitoring*, Study report to the Nordic Council of Ministers
- Rajasilta, M., Hänninen, J., Laaksonen, L., Laine, P., Suomela, J. P., Vuorinen, I. & Mäkinen, K., 2018, *Influence of environmental conditions, population density, and prey type on*

- the lipid content in Baltic herring (Clupea harengus membras) from the northern Baltic Sea*, Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, Volume 999, 1-10
- Rajasilta, M., Mäkinen, K., Ruuskanen, S., Hänninen, J. & Laine, P., 2021, *Long-term data reveal associations of the egg quality with abiotic factors and female traits in the Baltic herring under variable environmental conditions*, Frontiers in Marine Science; Marine Fisheries, Aquaculture and Living Resources, DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.698480>.
- Ruola, J. 2020 *Saaristomeren sininen kirja*, Operaatio Ainutlaatuinen Saaristomeren, Veijonen consulting. 225 s.
- Rytkönen, J., Kohonen, T. & Virtasalo, J., 2001, *Laivaliikenteen aiheuttama eroosio Pohjois-Airistolla*, Vesitalous, 42(3), 30-36 DOI: <https://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2010/04/3-2001.pdf>
- Räisänen, R., 2011, *Turun ympäristön merialueen velvoitetarkkailututkimus*, Vuosiraportti 2010, Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy, Nro. 153–11–2482
- Räisänen, R., 2018, *Turun ympäristön merialueen velvoitetarkkailututkimus*, Vuosiraportti 2018, Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy, Nro. 153–19–2879
- Shang, E. & Wu, R., 2004, *Aquatic Hypoxia Is a Teratogen and Affects Fish Embryonic Development*, Environmental Science & Technology, Volume 38, Issue 18, 4763–4767, DOI: <https://doi-org.ezproxy.utu.fi:2443/10.1021/es0496423>
- Stoll, S., Probst, W., Eckmann, R. & Fischer, P., 2010, *A mesocosm experiment investigating the effects of substratum quality and wave exposure on the survival of fish eggs*, Aquatic Sciences, 72:509–517, DOI 10.1007/s00027-010-0152-9
- Suomen ympäristökeskus. (n.d.). Hertta 5.7 -tietojärjestelmä. SYKE. <https://www.syke.fi/hertta> [5.3.2025]
- Syväranta, J., 2021, *Silakan kutualueiden kartoitus Korsnäsin merituulipuiston ja merikaapelireittien hankealueella 2021*, Alleco raportti n:o 19/2021
- Tanskanen, J., 2010, *Kaikki ei ole suoraviivaista: yleistetyin additiivisen mallin (GAM) käyttö ja edut työn piirteiden käyräviivaisten työhyvinvaikutuksien tutkimisessa*, Maisterintutkielma, Jyväskylän yliopisto, Yhteiskuntatieteiden ja filosofian laitos, saatavilla: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:jyu-201009202643>
- Taylor, F., 1971, *Variation in hatching success in Pacific herring (Clupea pallasii) eggs with water depth, temperature, salinity and egg mass thickness*, Rapp. P. -v. Reun. Cons. int. Explor. Mer 160: 34–41

- Toom, M. M., 1958, *Experiments in the incubation of Baltic herring eggs*. Saatavilla: <https://oaktrust.library.tamu.edu/server/api/core/bitstreams/1c2b15e8-11ca-450d-9db3-5cc0ccd094c5/content>
- Turun kaupunki, 2018, *Turun Satama Oy:n esitys meriläjityksestä luopumisesta*. Turun kaupunginhallituksen konsernijaoston kokouspöytäkirja 24.9.2018, § 68. Saatavilla: <https://ah.turku.fi/kh/2018/1002021x/3778934.htm> [31.3.2025]
- Turun satamaliikelaitos, 2011, *Kunnossapitoruoppauksen ja meriläjityksen vesistö- ja kalatalousvaikutusten tarkkailu 2011–2018*, Tarkkailuohjelma 110378-P13544P001
- Vahteri, P. 2000. *Ruoppausmassojen läjittämisen vaikutukset silakan kutuun ja haitta-aineiden kertymiseen silakan mätiin*. Saaristomeren tutkimuslaitos, raportti 11 sivua.
- Vahteri, P., Kohonen, T. & Helminen, U. 2001. *Turun sataman kalatalousvaikutusten tarkkailututkimukset vuonna 2000*, s. 11
- Vahteri, P. & Savoila, M., 2018, *Turun Sataman vesistö- ja kalatalousvaikutusten tarkkailututkimukset 2017*. Varsinais-Suomen vesistösaneeraus Oy, raportti 11 sivua + liitteet.
- Valentine, K. & Mariotti, G., 2020, *Does eutrophication affect the ability of biofilms to stabilize muddy sediments?* Estuarine, Coastal and Shelf Science Vol. 232, 5 January 2020, 106490, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106490>
- Valjus, J., *Turun edustan ammattikalastus 2019*, Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry, Turun edustan merialueen kalataloudellinen yhteistarkkailu, Raportti 40/2020
- Varsinais-Suomen Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2018, Kuulutus, VARELY/2056/5723/2017
- Wood SN, 2011, *Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models*, Journal of the Royal Statistical Society (B), 73(1), 3–36. [doi:10.1111/j.1467-9868.2010.00749.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-9868.2010.00749.x)
- Wright, J., Mäkinen, A. & Friman, H. 1993. *Ruoppausmassojen läjittämisen vaikutukset vesistöön ja kalatalouteen Pohjois-Airistolla*. Raportti v. 1992 tehdyistä tutkimuksista. Turun yliopisto, Saaristomeren tutkimuslaitos. 60 s.
- Wright, J., Mäkinen, A. & Erkkola, P. 1995. *Ruoppausmassojen läjittämisen vaikutukset vesistöön ja kalatalouteen Pohjois-Airistolla*. Raportti v. 1994 tehdyistä tutkimuksista. Tutkimusraportti, Saaristomeren tutkimuslaitos. 61 s
- Yanong, R. P., 2003. *Fungal diseases of fish*. Veterinary Clinics: Exotic Animal Practice, 6(2), 377–400

Ympäristöministeriö, 2015, *Sedimenttien ruoppaus- ja läjitysohje, Valtioneuvoston  
Julkaisuarkisto, Ympäristöhallinnon ohjeita 2015:1*, Saatavilla:  
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4449-3>

## Liitteet

### Liite 1: Velvoiteurantaraportit

- Kohonen, T., Vahteri, P., Suominen, T., Helminen, U. & Vuorinen, I., 1999, *Ruoppausmassojen läjittämisen vaikutukset vesistöön ja kalatalouteen Pohois-Airistolla*, Raportti vuonna 1998 tehdyistä tutkimuksista, s. 103
- Niinimäki, J., Perander, N. & Oulasvirta, P., 2002, *Turun sataman ruoppausmassojen läjityksen kalatalousvaikutusten tarkkailu vuonna 2002*, s.6
- Turun satamaliikelaitos, 2011, *Kunnossapitoruoppauksen ja meriläjityksen vesistö- ja kalatalousvaikutusten tarkkailu 2011–2018*, Tarkkailuohjelma 110378-P13544P001
- Vahteri, P. & Savoila, M., 2018, *Turun Sataman vesistö- ja kalatalousvaikutusten tarkkailututkimukset 2017*. Varsinais-Suomen vesistösaneeraus Oy, raportti 11 sivua + liitteet.
- Vahteri, P. 2000. *Ruoppausmassojen läjittämisen vaikutukset silakan kutuun ja haitta-aineiden kertymiseen silakan mätiin*. Saaristomeren tutkimuslaitos, raportti 11 sivua.
- Vahteri, P. & Oulasvirta, P. 2000. *Turun edustan merialueen silakan kutualueiden tarkkailu vuonna 1999*. Alleco ky. Raportti 10 s.
- Vahteri, P., Kohonen, T. & Helminen, U. 2001. *Turun sataman kalatalousvaikutusten tarkkailututkimukset vuonna 2000*, s. 11
- Vahteri, Petri, O'Brien, K., & Rannikko, P. 2005. *Turun edustan merialueen silakan kutualueen tarkkailu vuonna 2004*. Varsinais-Suomen Kalavesien Hoito Oy, raportti 13 sivua.
- Vahteri, P., O'Brien, K., & Rannikko, P. 2006. *Turun Sataman kalatalousvaikutusten tarkkailututkimukset vuonna 2005*. Varsinais-Suomen Kalavesien Hoito Oy, raportti 13 sivua.
- Vahteri, P., O'Brien, K., & Rannikko, P. 2007. *Turun Sataman kalatalousvaikutusten tarkkailututkimukset vuonna 2006*. Varsinais-Suomen Kalavesien Hoito Oy, raportti 22 sivua + liitteet.
- Vahteri, P., O'Brien, K., & Rannikko, P. 2008. *Turun Sataman kalatalousvaikutusten tarkkailututkimukset vuonna 2007*. Varsinais-Suomen Kalavesien Hoito Oy, raportti 22 sivua + liitteet.
- Vahteri, P., O'Brien, K., & Rannikko, P. 2009. *Turun Sataman kalatalousvaikutusten tarkkailututkimukset vuonna 2008*. Varsinais-Suomen Kalavesien Hoito Oy, raportti 22 sivua + liitteet.

- Vahteri, P. & Korpela, S. 2010. *Turun Sataman kalatalousvaikutusten tarkkailututkimukset vuonna 2009*. Varsinais-Suomen Kalavesien Hoito Oy, raportti 18 sivua + liitteet.
- Vahteri, P. & Savoila M. 2015. *Turun Sataman kalatalousvaikutusten tarkkailututkimukset vuonna 2014*. Varsinais-Suomen Vesistöseura Oy, raportti 31 sivua + liitteet.
- Vahteri, P., 2015, *Turun edustan merialueen kalataloudellinen tila 2015*. Varsinais-Suomen vesistöseura Oy, raportti 10 sivua.
- Vahteri, P. & Savoila M. 2017. *Turun Sataman kalatalousvaikutusten tarkkailututkimukset vuonna 2016*. Varsinais-Suomen Vesistöseura Oy, raportti 19 sivua + liitteet.
- Valjus, J., 2018, *Turun edustan merialueen kalataloudellinen yhteistarkkailu 2017–2018*. Länsi-Uudenmaan vesi- ja ympäristö ry, raportti 19 sivua + liitteet.
- Wright, J. & Mäkinen, A. 1994. *Ruoppausmassojen läjittämisen vaikutukset vesistöön ja kalatalouteen Pohjois-Airistolla*. Raportti V. 1993 tehdyistä tutkimuksista. Saaristomeren tutkimuslaitos, 79 s, liitt.
- Wright, J., Mäkinen, A. & Erkkola, P. 1995. *Ruoppausmassojen läjittämisen vaikutukset vesistöön ja kalatalouteen Pohjois-Airistolla*. Raportti v. 1994 tehdyistä tutkimuksista. Tutkimusraportti, Saaristomeren tutkimuslaitos. 61 s
- Wright, J., Mäkinen, A. & Friman, H. 1992. *Ruoppaus-massojen läjittämisen vaikutukset vesistöön ja kalatalouteen pohjoisella Airistolla*. Raportti v. 1991 tehdyistä tutkimuksista. Saaristomeren tutkimuslaitos. 59 S.
- Wright, J., Mäkinen, A. & Friman, H. 1993. *Ruoppausmassojen läjittämisen vaikutukset vesistöön ja kalatalouteen Pohjois-Airistolla*. Raportti v. 1992 tehdyistä tutkimuksista. Turun yliopisto, Saaristomeren tutkimuslaitos. 60 s.
- Wright, J., Vahteri, P. & Mäkinen, A. 1996. *Ruoppausmassojen läjittämisen vaikutukset vesistöön ja kalatalouteen Pohjois-Airistolla*. raportti v. 1995 tehdyistä tutkimuksista. Turun yliopisto, Saaristomeren tutkimuslaitos. 60 s.
- Wright, J., Mäkinen, A. & Friman, H., 1991, *Ruoppausmassojen läjittämisen vaikutukset vesistöön ja kalatalouteen Pohjoisella Airistolla*, Raportti v. 1990 tehdyistä tutkimuksista. Turun yliopisto, Saaristomeren tutkimuslaitos. 43 s.

## **Liite 2: English abstract**

The development and survival of ecologically and economically significant baltic herring (*Clupea harengus membras*) eggs have been monitored in the northern Airisto since 1989 as a part of Port of Turku's mandatory fisheries impact monitoring. In this thesis I combined the available monitoring data collected from a spawning site in Järvistensaari into a single dataset and examined how water temperature, day of year, Secchi-depth and the overlap of spawning waves affected herring egg survival and how the mortality percentages have changed during the monitoring period. I also conducted a pilot experiment using flow-through aquarium racks to study how water flow, spawning substrate and water quality affect the survival of herring eggs. The mortality percentages reported in the mandatory fisheries impact monitoring reports showed substantial variability between the years of monitoring. According to the results of Spearman correlation analysis temperature had a statistically significant correlation with mortality. The results of beta regression and GAM analyses suggested that temperature and day of year were associated with the variation of mortality percentages over the monitoring period. Additionally, I found statistically significant relationship between Secchi-depth and mortality percentages. The pilot experiment did not show any significant results apart from high mortality on glass plates. Further research is needed to identify the factors causing the detachment of developing eggs and to determine how widespread this problem is. In addition, the effect of biofilm on the spawning substrate should be researched further. Accounting for egg detachment in long term monitoring is essential to ensure that the reports reflect true changes in mortality rates.

**Keywords:** Baltic herring, *Clupea harengus membras*, spawn, mortality, Archipelago Sea, reproduction