



**TURUN
YLIOPISTO**

Matemaattis-luonnontieteellinen
tiedekunta

**Saaristomerelle laskevien virtavesien taimenkantojen
(*Salmo trutta*) muutokset ja purojen luonnontilaennus-
teen soveltuvuus taimenpurojen tunnistamiseen**

Janne Tolonen

Turun yliopisto
Biologian laitos
Ekologia

Pro gradu -tutkielma
Laajuus: 40 op

Ohjaajat:
Veijo Jormalainen
Sami Merilaita
Ari Huusko

9.5.2022
Turku

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

Pro gradu -tutkielma

Pääaine: Ekologia

Tekijä: Janne Tolonen

Otsikko: Saaristomerelle laskevien virtavesien taimenkantojen (*Salmo trutta*) muutokset ja purojen luonnontilaennusteen soveltuvuus taimenpurojen tunnistamiseen

Ohjaajat: Veijo Jormalainen, Sami Merilaita ja Ari Huusko

Sivumäärä: 52 sivua

Päivämäärä: 9.5.2022

Virtavesielinympäristöjen tila on maailmanlaajuisesti heikentynyt ihmisen aiheuttamien ympäristömuutosten seurauksena, ja virtavesissä lisääntyvät lohikalakannat (*Salmonidae*) ovat monin paikoin uhanalaistuneet. Tieto Saaristomeren virtavesien taimenkantojen tilasta on ollut pitkään puutteellista, ja taimenkantojen tilan seuranta on ollut hyvin hajanaista. 2000-luvulla toteutettujen virtavesien sähkökoekalastusten ja geneettisten selvitysten myötä tieto taimenen esiintymisestä ja taimenkantojen tilasta on kuitenkin parantanut ja uusia taimenkantoja on tunnistettu. Taimenkantojen kehityksestä ja taimenen esiintymisestä ei kuitenkaan ole julkaistu kokonaisvaltaista tietoa, ja ehkä osittain tästä syystä taimenen suojelutoimet, kuten elinympäristöjen suojelu ja kunnostus ovat olleet suhteellisen vähäisiä lajin arvostuksesta huolimatta. Tutkielmassani vertailen sähkökoekalastustuloksien avulla Saaristomeren virtavesien taimenkantojen tilan kehitystä 1990-luvulta tähän päivään. Tutkimusaineistona käytin koekalastusrekisteriin tallennettuja tietoja ja virtavesistä raportoituja sähkökoekalastustietoja. Lisäksi testasin paikkatietopohjaisen purohabitaatin luonnontilaennusteen soveltuvuutta taimenpurojen tunnistamiseen ja taimenen poikastiheyksien ennustamiseen. Taimenkantojen tila Saaristomereen laskevissa virtavesissä on selvästi heikentynyt. Taimen on viimeisen kolmen vuosikymmenen aikana kadonnut kokonaan useasta purosta ja vuosien 2000–2021 koekalastuksissa havaitut taimenen poikastiheydet ovat merkitsevästi pienempiä kuin 1990-luvun koekalastuksissa. Useiden alueen taimenkantojen tila on nykyisin hyvin heikko, ja taimen on vaarassa hävitä useista vesistöistä. Paikkatietopohjainen purohabitaatin luonnontilaennuste ei toiminut luotettavasti taimenen elinympäristöjen tunnistamisessa tai poikastiheyksien ennustajana. Taimenen esiintymisfrekvenssi ja taimentiheydet eivät olleet korkeampia luonnontilaennusteen luonnontilaisemmissa puroissa. Tämä saattaa olla seurausta luonnontilaennusteen soveltumattomuudesta savimaiden puroille. Tuloksia voidaan hyödyntää Saaristomeren virtavesien taimenkantojen hoidon suunnittelussa ja toteutuksessa.

Avainsanat: taimen, meritaimen, virtavedet, virtavesiekosysteemi, virtavesiekologia, purot, Saaristomeri

Master's thesis

Subject: Ecology

Author: Janne Tolonen

Title: Brown trout (*Salmo trutta*) in the Archipelago Sea rivers and GIS-based predictive model for stream habitat naturalness as an identifier of trout streams

Supervisors: Veijo Jormalainen, Sami Merilaita and Ari Huusko

Number of pages: 52 pages

Date: 9.5.2022

Stream ecosystems are globally threatened due to human induced environmental changes. Populations of Salmonids such as the brown trout (*Salmo trutta*) have dramatically weakened or become extinct in many areas. Climate change is one of the biggest challenges for biodiversity conservation. There is some evidence suggesting that climate change has already affected species occurrence in Europe. Because salmonid species require cold and oxygen rich water, they are especially vulnerable to climate change. There is a lack of knowledge about distribution and abundance of brown trout in the rivers of the Archipelago Sea area in South-West Finland. Only few surveys in some rivers have been conducted in the last couple of decades. However, studies over the past decades have provided important information on ecology of salmonids. More up-to-date knowledge about the current status of local brown trout populations is needed to conserve and remediate endangered trout populations. There is also a need to identify streams suitable for trout in order to target conservation measures and establish new viable populations. In this study, I surveyed the distribution of brown trout and their stock in the last three decades in the rivers and streams flowing into Archipelago Sea and tested whether a GIS-based predictive model for stream habitat naturalness could predict trout distribution and abundance and could hence be used as a tool to detect suitable habitats for managing and conserving trout populations. I found strong evidence that brown trout populations have weakened, and some local populations have gone extinct during the last few decades. Very low average fry densities in the years 2000–2021 suggest that the last remaining trout populations may be disappearing in some streams in near future. Trout occurrence frequency and trout densities were not higher in habitats that had higher index of naturalness. Thus, the predictive model was unable to predict trout occurrence and does not work well for identification of suitable trout streams.

Key words: brown trout, sea trout, rivers, streams, brook, stream ecosystem, Archipelago Sea

Sisällys

1 Johdanto.....	5
1.1 Tutkimuslaji taimen (<i>Salmo trutta</i>)	7
1.1.1 Taimenkantojen tila Suomessa	9
1.2 Tutkimuksen tavoitteet	12
2 Aineisto ja menetelmät.....	13
2.1 Tutkimusalue	13
2.2 Koekalastusaineisto.....	17
2.3 Paikkatietopohjainen purojen luonnontilaisuusennuste ja muut paikkatietoaineistot	20
2.3 Tilastolliset menetelmät.....	21
2.3.1 Taimenkannoissa tapahtunut muutos	21
2.3.2 Purohabitaatin luonnontilaennuste taimenpurojen tunnistamisessa.....	22
2.4 Aineistojen ja tulosten visualisointi	22
3 Tulokset.....	23
3.1 Taimenkannoissa tapahtuneet muutokset	23
3.1.1 Taimenkantojen nykytila	26
3.2 Paikkatietopohjainen purojen luonnontilaennuste ja taimenen esiintyminen	28
4 Tulosten tarkastelu	30
4.1 Taimenkannoissa tapahtunut muutos ja taimenen esiintyminen	30
4.2 Purojen luonnontilaennuste taimenelle soveltuvien purojen tunnistamisessa.....	36
4.3. Johtopäätökset.....	40
Kiitos.....	42
Lähteet.....	43

1 Johdanto

Virtavesien ekosysteemit ovat monimuotoisia ja dynaamisia. Ne ovat vahvasti kytkeytyneitä lähiympäristöönsä ja erityisesti valuma-alueeseensa eli alueeseen, josta uomat saavat vetensä (Allan & Castillo 2007). Valuma-alueen maa- ja kallioperä, maaston korkeusolosuhteet ja valuma-alueen koko yhdessä ilmaston kanssa luovat virtavesiekosysteemille sen ominaispiirteet ja erilaiset elinympäristöt ja vaikuttavat vedenlaatuun ja virtaamaan. Virtavesiekologian ehkä tunnetuin fraasi, Hynesin (1975) esittämä kuvaus virtavesistä, kuvaa hienosti virtavesien kytkeytymistä lähiympäristöönsä:

” In every respect, the valley rules the stream”.

Valuma-aluekytkeytyneisyyden lisäksi virtavesiekosysteemi on erikokoisten uomien muodostama hierarkkinen uomien verkosto (Allan & Castillo 2007). Vannote ym. (1980) esittämä jokijatkumohypoteesi kuvaa virtavesisysteemin energian siirtymistä ravintoverkossa; uomahierarkian pienemmät, kapeat uomat eli latva- ja sivupurot ovat pääosin toisenvaraisia systeemejä, jotka saavat energiansa pääosin terrestrisestä ekosysteemistä eli virtavettä ympäröivästä kasvillisuudesta ja valunnan mukana uomaan päätyvistä ravinteista. Näiden pienien uomien tuotantoa rajoittaa uomien pieni koko, usein pohjan karkearakeinen maalaji ja rantapuuston ja kasvillisuuden varjostus, joka vähentää valoenergian määrää. Uomahierarkian suuremmissa uomissa uomien leveyden kasvaessa valon määrä ja uoman oma perustuotanto lisääntyy. Myös ylävirrasta alavirtaan kulkeutuvan hienojakoisen orgaanisen aineen määrä uomassa kasvaa pienemmistä suurempiin uomiin siirryttäessä.

Edellä kuvattu virtavesiekosysteemin hierarkkinen rakenne ja kytkeytyneisyys luovat virtavesiekosysteemiin erilaisia habitaatteja ja vaikuttavat eliöyhteisön rakenteeseen. Myös virtavesisysteemin erityispiirre, uomaverkoston kytkeytyneisyys ylävirrasta alavirtaan itsessään vaikuttaa eliöyhteisön rakenteeseen, sillä lajeja levittäytyy virtaavan veden mukana eri puolelle uomaverkostoa, vaikka alueet eivät olisi lajille niiden optimielinympäristöä (Brown & Swan 2010).

Virtavedet ovat olleet ihmiskunnan historiassa tärkeitä ihmiselle monelle tapaa. Virtavesiä on hyödynnetty ja hyödynnetään edelleenkin esimerkiksi liikkumiseen, ravinnon hankintaan, voimantuotantoon, talousvedeksi ja monenlaiseen virkistyskäyttöön (Allan

& Castillo 2007). Myös edellä mainittu virtavesien kytkeytyneisyys valuma-alueen ominaispiirteisiin on taustalla siihen, että lähes kaikki ihmisen harjoittama maankäyttöä muuttanut toiminta on vaikuttanut voimakkaasti myös virtavesien tilaan. Muutosten seurauksena virtavesiekosysteemit ovat maailmanlaajuisesti heikossa tilassa ja luonnon-tilaisia virtavesiä on jäljellä hyvin vähän (Dudgeon ym. 2006; Allan & Castillo 2007; Reid ym. 2019). Virtavesiekosysteemien maailmanlaajuinen tilan heikentyminen jatkuu edelleen. WWF:n (2020) mukaan makeiden vesien luonnon monimuotoisuus heikentyy jopa nopeammin kuin metsien ja merien.

Suomen luontotyyppien uhanalaisuusarvioinnin mukaan kaikki Suomen arvioidut virtavesiluontotyyppit tunturialueen virtavesiä lukuun ottamatta ovat uhanalaisia (Kontula & Raunio 2018). Kaikkein uhanalaisimpia ovat suuret joet ja savimaiden joet sekä savimaiden latvapurot, jotka luokiteltiin äärimmäisen uhanalaisiksi. Suomessa virtavesien tilaa ovat heikentäneet erityisesti valuma-alueiden maankäyttö, hydrologisten olosuhteiden muuttuminen, piste- ja ravinnekuormitus sekä vesistöjen perkaaminen, patoaminen ja säännöstely.

Maailmanlaajuinen hallitusten välinen luontopaneeli julkaisi vuonna 2019 kattavan raportin maailman luonnontilasta (IPBES 2019). Raportin mukaan luonnon monimuotoisuuden köyhtyminen ja luonnon tuottamien ekosysteemipalveluiden häviäminen on ennalta näkemättömän nopeaa. Raportin arvion mukaan noin miljoona eliölajia on häviämässä, useat jopa lähivuosikymmeninä, ellei biodiversiteettikatoa tulla vähentämään. Ihmisen aiheuttamat muutokset ekosysteemeissä tulevat hävittämään endeemisiä lajeja ja muuttamaan eliöyhteisöjä yksipuolisemmaksi. Luonnon monimuotoisuuden radikaali heikentyminen uhkaa luonnon ekosysteemipalveluita ja myös globaalia talousjärjestelmää (Dasgubta 2021).

Muuttuva lämpenevä ilmasto lisää riskejä lajien menestymiselle muuttaen ympäristöolosuhteita ja lajien elinympäristöjä kiihtyvällä tahdilla. Ilmaston lämpenemisen myötä monet lajit tulevat kohtaamaan uusia haasteita ja lajien levinneisyysrajat tulevat muuttamaan. Viileisiin ja happipitoisiin vesiin sopeutuneet lajit kuten lohikalat kohtaavat yhä enemmän haasteita alkuperäisillä esiintymisalueillaan. Maailmanlaajuinen luontokato ja virtavesiekosysteemien pitkään heikentynyt tila lisää tarvetta muuttaa käytäntöjä ja lisätä elinympäristöjen ja lajien suojelutoimia. Lajien suojelun edistämiseksi ja

elinympäristöjen kunnostamiseksi tarvitaan alueellista tietoa lajien esiintymisestä sekä populaatioiden ja elinympäristöjen tilasta.

Virtavesien heikentyneen tilan myötä myös virtavesilajisto on uhanalaistunut. Lohikalojen heimo (*Salmonidae*) on laajalle levinnyt ja sisältää ehkä tunnetuimpia ja ikonisimpia virtavesilajeja. Ihmisen aiheuttamien ympäristömuutosten ja liikakalastuksen seurauksena lohikalakannat ovat monin paikon heikentyneet tai hävinneet kokonaan (Jonsson & Jonsson 2011). Lohikalat ovat olleet ja ovat edelleen ihmisille merkittävä proteiininlähde ja nykyisin yhä enemmän myös tärkeä laji erityisesti virkistyskalastukselle ja matkailuille (Butler ym. 2009; Blicharska & Rönnbäck 2018; Pokki ym. 2018). Euroopassa kotoperäisiä ja laajimmalle levinneitä lohikaloja ovat Atlantin lohi (*Salmo salar*) ja taimen (*Salmo trutta*) (Aas ym 2011; Jonsson & Jonsson 2011). Sekä lohi että taimen ovat virtavesikutuisia kalalajeja, joiden elinkiertoon kuuluu vaelluksia lisääntymisalueiden ja kasvualueiden välillä. Molemmat lajit ovat monimuotoisia ja sopeutuneet elämään erilaisissa virtavesielinympäristöissä, vaikkakin niiden elinympäristövaatimukset ovat myös suhteellisen vaativia.

1.1 Tutkimuslaji taimen (*Salmo trutta*)

Taimen (*Salmo trutta*) on lohikalojen heimoon (*Salmonidae*) kuuluva kalalaji (kuva 1). Taimenen luontainen levinneisyysalue on laaja ja kattaa lähes koko Euraasian ja osan Afrikasta (Jonsson & Jonsson 2011). Nykyisin taimenta esiintyy eripuolilla maailmaa istutusten seurauksena ja taimen on yksi laajimmalle levinneistä kalalajeista. Alkuperäisellä esiintymisalueellaan taimenkannat ovat kuitenkin monin paikoin heikentyneet (Klemetsen ym. 2003).

Taimenen tärkeimpiä elinympäristövaatimuksia on happirikas, viileä vesi ja lisääntymisalueiksi soveltuvat puhtaat sorapohjat (Elliot 1994; Elliot & Elliot 2010; Louhi & Mäki-Petäys 2003). Taimenen poikaset ja mäti ovat herkempiä korkeammille lämpötiloille kuin vanhemmat kalat. 25 asteen lämpötilaa pidetään taimenelle letaalina, mutta mädin kehitykselle jo yli 14 asteen ja ruskuaispussipoikasille yli 22 asteen lämpötila ovat sietokyvyn rajoilla (Jonsson & Jonsson 2011). Optimikasvulämpötila on noin 13–17 astetta

(Jonsson & Jonsson 2009). Myös veden happamuus (pH) voi olla taimenen menestymistä rajoittava tekijä.



Kuva 1. Taimen on monimuotoinen sopeutuvainen laji sekä käyttäytymiseltään, että fenotyypiltään. Ylärivillä sähkökoekalastuksella pyydystettyjä Varsinais-Suomen eri purojen 0+ vuotiaita taimenen poikasia ja alemmissa kuvissa vanhempia taimenen ikäluokkia. (Kuvat: Janne Tolonen).

Taimenen lisääntymien tapahtuu syksyisin koski- ja virtapaikkojen sorapohjaisilla alueille. Lisääntymisalueinaan taimen suosii pienempiä virtavesiä kuin esimerkiksi lohi (Armstrong ym. 2003). Taimennaaras kaivaa sorapohjaan kutupesän, jonka sisällä mätä kehittyy talven aikana. Poikaset kuoriutuvat keväällä ja viettävät ensimmäisen kesänsä kuoriutumipaikan lähistöllä. Taimenen lisääntymiselle soveltuva sorapohja on raekooltaan 5–128 mm (Jonsson & Jonsson 2011). Suomalaisissa tutkimuksissa kutupaikkojen soran raekooksi on arvioitu 16–64 mm (Huusko ym. 2003; Louhi & Mäki-Petäys 2003; Louhi ym. 2008; Tammela 2009; Kivinen 2016). Soran raekoko ja kutupaikan virtausnopeus ovat oleellisia lohikalojen kudun onnistumiselle, jotta mätimunat saavat riittävästi happea eivätkä haudaudu esimerkiksi hiekkaan tai muuhun kiintoaineeseen. Veden kiintoainepitoisuuden ja kutupesään kertyvän kiintoaineen on havaittu aiheuttavan merkittävää mätimunien ja poikasten kuolleisuutta lohikaloilla (Julien & Bergeron 2006; Louhi ym. 2011). Kuoriutumisen jälkeen poikasilla on oltava riittävästi suojaa ja ravintoa (Jonsson & Jonsson 2011).

Taimenesta on perinteisesti eroteltu kaksi tai kolme eri muotoa vaelluskäyttäytymisen perusteella: meritaimen – vaeltaa merestä makeaan veteen lisääntymään (*engl. anadromous*), järvitaimen – vaeltaa järviolueilta virtavesiin lisääntymään (*engl. adfluvial*) ja paikallinen, koko ikänsä virtavedessä viettävä vaeltamaton muoto (*engl. resident*). Taimenen elinkierto on kuuluu keskimäärin 1–4(5) vuotinen poikasvaihe virtavedessä, jonka jälkeen vaelluspoikaset (*engl. smolt*) lähtevät vaellukselle järveen (järvitaimen) tai merelle (meritaimen). Keskimäärin 1–3-vuotisen vaellusvaiheen jälkeen taimenet palaavat kotijokeensa tai -puroon lisääntymään. Vaeltamattomat taimenet voivat elää koko elinkiertonsa synnyinpurossa tai joessa, tai tehdä paikallisia vaelluksia purossa tai laajemmin saman vesistön sisällä, esimerkiksi purosta jokeen. Taimenella on havaittu myös metapopulaatorakennetta ja kykyä kolonisoida alueita, joista on tapahtunut alueellista ja hetkellistä lajin häviämistä, mikäli virtavesijatkumo on avoinna kalojen vaellukselle (Østergaard ym. 2003).

Tiukasta jaosta eri muotoihin on osittain luovuttu tutkimusten osoittaessa, että vaelluskäyttäytyminen voi olla hyvin monimuotoista ja joustavaa populaatioiden välillä, mutta myös populaation sisällä. Saman vesistön populaatioon voi myös kuulua sekä paikallisia että vaeltavia yksilöitä (Klemetsen ym. 2003; Huusko ym. 2017). Vaelluskäyttäytymisen on havaittu olevan osittain perinnöllistä, mutta ympäristötekijöillä ja populaatiodynamiikalla on myös havaittu vaikutusta elinkiertoon ja vaelluskäyttäytymiseen (Ferguson ym. 2019). Taimenen vaelluskäyttäytymisessä on paljon vaihtelua erityisesti vesistöjen välillä (Jonsson & Jonsson 2017). Vesistön ympäristötekijöillä, erityisesti virtaamalla on vaikutusta vaellusten ajankohtaan (Jonsson & Jonsson 2002). Esimerkiksi Ruotsin Gotlannissa pienistä puroista taimenet voivat lähteä puroista merelle jo ensimmäisen kesän aikana (Landegren 2001). Tenojoen vesistössä merivaelteisella taimenella on taas havaittu telemetriatutkimuksissa kaksi vuotta kestävä kutsuvaellusta (Orell ym. 2018).

1.1.1 Taimenkantojen tila Suomessa

Lohikalojen elinympäristövaatimusten ja monivaiheisen vaelluksia sisältävän elinkierron seurauksena alkuperäiset lohikalakannat ovat monin paikoin heikentyneet tai kokonaan hävinneet ihmistoiminnan aiheuttamien ympäristömuutosten myötä. Suomessa taimenkantojen tila on voimakkaasti heikentynyt 1900-luvun aikana erityisesti virtavesien

patoamisen ja perkausten, vedenlaadun heikentymisen ja kalastuksen seurauksena (Hurme 1962;1967; Westman 1974; Syrjänen ym. 2017). Lisäksi suuri osa Suomen virtavesien koskista on muokattu erityisesti tukinuiton, vesivoiman hyödyntämisen ja maa- ja metsätalouden tarpeisiin ja taimenelle tärkeitä lisääntymisalueita eli virtavesien koskipinta-alaa on kokonaan hävinnyt tai ne ovat muuttuneet radikaalisti (Eloranta 2010; Kontula & Raunio 2018).

Globaalin IUCN punaisen listan mukaan taimen on elinvoimainen laji (Freyhof 2011), mutta alkuperäisellä esiintymisalueella monet populaatiot ovat heikentyneet tai hävinneet (Klemetsen ym. 2003) ja taimen on monin paikoin luokiteltu uhanalaiseksi. Vuonna 2019 julkaistussa Suomen lajien uhanalaisuusarvioinnissa merivaeltainen taimen ja taimenen sisävesikannat napapiirin eteläpuolella luokiteltiin erittäin uhanalaiseksi (Urho ym. 2019). Uhanalaisuusluokitus lieveni edellisestä vuoden 2010 arvioinnista, jolloin luokitus oli äärimmäisen uhanalainen. Osassa rannikkojokia ja puroja taimenkantojen tila on kohentunut taimenen elinympäristökunnostusten ja vedenlaadun parantumisen seurauksena, erityisesti Suomenlahden alueella (Koivurinta ym. 2019; Saura 2021). Suomen lajien ja luontotyyppien uhanalaisuusarviointien mukaan taimenta ja sen elinympäristöjä uhkaa erityisesti vesirakentaminen, kalastus, ojitukset ja turpeenotto, metsien uudistamis- ja hoitotoimet, kemialliset haittavaikutukset, satunnaistekijät ja suuret kannanvaihtelut. Suomessa on arvioitu olleen ainakin noin 100 Itämereen laskevaa meritaimenjokea, joista enää 12:ssa on alkuperäiseksi luokiteltu kanta (Saura 2021).

Taimenen joustavuus sopeutua erilaisiin ympäristöihin ja monimuotoiset elinkierron piirteet ovat mahdollistaneet taimenen selviytymisen myös voimakkaasti ihmisen muuttamissa vesistöissä. Esimerkiksi monien vesistöjen latvavesillä, puroissa ja pienemmissä sivujoissa, on säilynyt taimenkantoja, vaikka elinympäristöt olisivat vaellusesteiden kuten patojen seurauksena eristäytyneenä (esim. Koljonen ym. 2013; Jutila ym. 2015). Istutusten ja elinympäristökunnostusten myötä jopa hyvin urbaaneihin kaupunkipuroihin on saatu muodostumaan elinvoimaisia taimenkantoja, esimerkiksi Helsingin Longinojaan (Saura 2021; Huusko ym. 2021). Paikalliseksi taimeneksi jääminen voi joissain populaatioissa olla myös paras elinkiertostrategia, sillä merivaelluksen aikainen kuolleisuus, muun muassa kalastuksen aiheuttamana, on Itämeren alueella suurta (Kallio-Nyberg ym. 2015; Whitlock ym. 2017; Kallio-Nyberg ym. 2018).

Koko Itämeren alueella HELCOM:in arvion mukaan taimen on luokiteltu vaarantuneeksi (Helcom 2011). ICES:in (2021) arvion mukaan luonnonvaraisia meritaimenpopulaatioita koko Itämeren alueella on nykyisin 590. Taimenen kotiutuminen alkuperäisen esiintymisalueen ulkopuolelle Pohjois-Amerikkaan, Etelä-Amerikkaan ja Australiaan on onnistunut hyvin ja näillä alueilla taimen on myös haitallinen vieraslaji (Klemetsen 2003; Lobon-Cervia 2017).

Heikentyneiden taimenkantojen tilaa on jo pitkään yritetty elvyttää elinympäristöjen kunnostuksilla (Eloranta 2010; Huusko ym. 2021). Ensimmäisiä laajempia virtavesien kunnostuksia aloitettiin Suomessa 1970-luvulla, jolloin aloitettiin vanhojen tukinuitto-
väylien kunnostukset. Elorannan (2010) mukaan 2000-luvulle tultaessa suurin osa Suomen suurimpien jokien koskista oli jo kertaalleen kunnostettu. Kunnostustoiminta on jatkunut 2000- ja 2010-luvulla ja kunnostuksia on toteutettu myös pienemmissä virtavesissä (Ahola & Havumäki 2008; Hämäläinen 2015; Huusko ym. 2021). Virtavesien kunnostuksissa on keskitytty virtavesien koski- ja virtapaikkojen kunnostuksiin, ja tavoitteena on ollut erityisesti lohikalojen, usein taimenen, elinympäristöjen parantaminen.

Suomen virtavesistä tehtyjen tutkimusten mukaan virtavesikunnostusten tulokset ovat olleet hyvin vaihtelevia ja keskimäärin kunnostuksilla on ollut vain vähäinen positiivinen vaikutus taimenen poikastiheyksiin (Muotka & Syrjänen 2007; Marttila ym. 2019,). Kivisen (2016) mukaan Keski-Suomen virtavesissä kunnostuksilla luodut kutusoraikot sijaitsivat usein liian hitaissa virrannopeuksissa, ja soran raekoko oli tasakokoisempaa verrattuna luonnon sorapohjiin.

Taimenta on istutettu ja istutetaan edelleenkin runsaasti sekä jokiin että merialueelle. Istutuksia toteutetaan muun muassa vesitalous- ja ympäristölupapäätöksissä määrättyjen kalatalousvelvoitteiden seurauksena (Maa- ja metsätalousministeriö 2015). Velvoitteiden tarkoituksena on kompensoida hankkeiden, esimerkiksi vesivoimalaitostoiminnan, aiheuttamia haittoja kalakannoille ja kalastukselle. Esimerkiksi Saaristomerelle meritaimenistutukset on aloitettu jo vuonna 1968 ja vuosien 1973–1990 välillä istutettiin 1,9 miljoonaa meritaimenen vaelluspoikasta (Mäntynen & Saura 2002). Luonnonvaraisen taimenkantojen palauttaminen jokiin istutuksilla on onnistunut vaihtelevasti. Toisin paikoin, esimerkiksi Vantaanjoessa, istutuksilla, vaellusesteiden poistolla ja elinympäristökunnostuksilla on saatu palautettua vesistöön luonnonvaraisesti lisääntyvä

taimenkanta (Saura 2021). Monin paikoin taimenkannat ovat kuitenkin osittain tai jopa täysin edelleen istutusten varassa ja luonnonvarainen lisääntyminen on heikkoa.

1.2 Tutkimukseni tavoitteet

Saaristomereen laskevien jokien taimenkannoista on ollut pitkään puutteellista tietoa ja edelleenkin tieto on vähäistä (Kallio-Nyberg ym. 2001; Helcom 2011; Saura 2021; Helcom 2022). Tieto taimenen esiintymisestä on ollut hajanaista ja tunnettujen taimenkantojen tilaa ei ole seurattu järjestelmällisesti. 2000-luvun aikana taimenen esiintymistä on kuitenkin selvitetty sähkökoekalastuksilla eri hankkeiden ja selvitysten toimesta. Osassa taimenpuroissa on tehty myös taimenen elinympäristökunnostuksia tavoitteena lisätä taimenen poikastuotantoa ja siten elvyttää alueen uhanalaisia taimenkantoja (Aaltonen & Tolonen 2019a; 2019b; Aaltonen & Tolonen 2019; Tolonen & Aaltonen 2021). Lounais-Suomen jokien taimenkantojen esiintymisestä ja taimenkantojen tilasta ei ole julkaistu kuin muutamia harvoja tutkimuksia. Saaristomeren jokien taimenkantojen geneettistä rakennetta on selvitetty Suomenlahden meritaimentutkimusten yhteydessä (Koljonen ym. 2013; Koljonen ym. 2014).

Taimenen monimuotoisen ja joustavan elinkiertostrategian vuoksi on tärkeää tunnistaa taimenkantojen elinympäristöjen laatu ja ominaisuudet, muun muassa tärkeät potentiaaliset lisääntymisalueet, jotta suojelutoimia kuten elinympäristökunnostuksia osattaisiin kohdentaa tärkeimmille alueille. Taimen on viileän veden kalalaji ja elinympäristövaatimuksiltaan suhteellisen vaativa, joten ilmaston lämpeneminen ja sen seurauksena tapahtuvat muutokset taimenen elinympäristöissä saattavat entisestään korostaa tietynlaisten elinympäristöjen suojelun ja kunnostusten tarvetta.

Erilaisia paikkatietomenetelmiä voidaan hyödyntää lajien ja elinympäristöjen suojelussa, muun muassa tunnistamalla arvokkaimpia elinympäristöjä (esim. Mikkonen ym. 2018). Suomen ympäristökeskus on kehittänyt paikkatietopohjaisen pienten virtavesien luonnontilaennustemallin (Häkkilä ym. 2015; Aroviita ym. 2021), jolla voidaan tunnistaa purojen muuttuneisuutta ja toisaalta kaikkein luonnontilaisempia puroja. Tarkoitukseni on tutkimusaineistollani arvioida, voisiko avoimena aineistona saatavilla olevaa luonnontilaennustetta hyödyntää taimenelle soveltuvien elinympäristöjen

tunnistamisessa ja siten taimenen suojelutyössä ja taimenkantojen hoidossa. Hypoteesinani on, että taimen menestyy paremmin luonnontilaisimmissa puroissa, joissa muun muassa valuma-alueen maankäyttö on maltillisempaa kuin voimakkaasti muutetuissa vesistöissä.

Tutkimukseni tavoitteena on selvittää 1) Saaristomereen laskevien virtavesien taimenkantojen nykytila ja kannoissa tapahtuneet muutokset viime vuosikymmenten aikana, ja 2) voidaanko paikkatietomenetelmin laadittua purohabitaatin luonnontilaennustetta hyödyntää taimenpurojen tai taimenelle hyvin soveltuvien elinympäristöjen tunnistamisessa.

2 Aineisto ja menetelmät

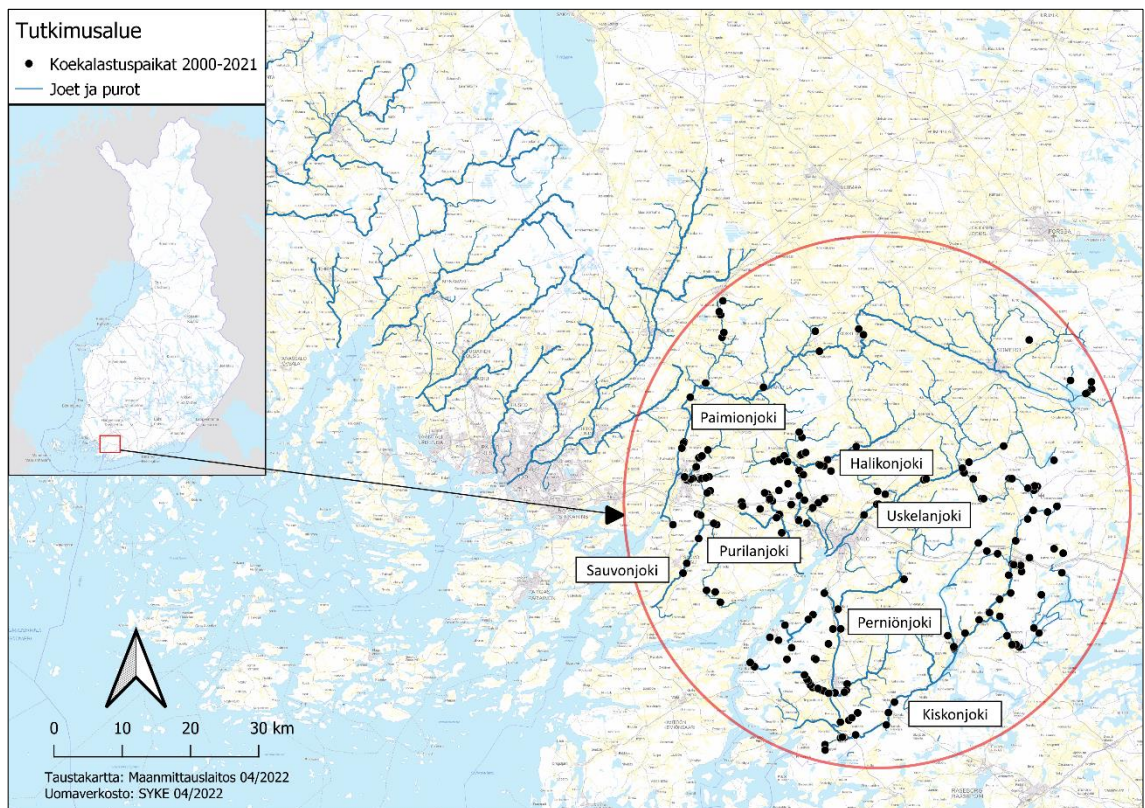
2.1 Tutkimusalue

Tutkielmani on osa pidempiaikaista 2010-luvulla alkanutta Saaristomereen laskevien jokien taimenkantojen tilan seuranta- ja taimenen elinympäristökunnostushankkeiden jatkumoa, jota on toteutettu erityisesti Valonian (www.valonia.fi) ja aiemmin myös kalatalousalueiden työnä. Vuosina 2020–2022 työtä on jatkettu Euroopan meri- ja kalatalousrahaston rahoittamassa Kalatalouden ympäristöohjelma-hankkeessa. Tutkimusalue ja tutkimusajanjakso valikoituvat osin tätä taustaa vasten.

Tutkimusalueeksi rajattiin Saaristomeren valuma-alueen itäiset jokivesistöt Paimionjoen vesistön ja Kiskonjoen-Perniönjoen väliseltä rannikkoalueelta (kuva 2). Kirjallisuuden ja aiempien kalastoselvitysten ja tutkimusten mukaan kyseinen alue on taimenen luontaista esiintymisaluetta. Virtavesien koekalastusten mukaan taimenen esiintyminen Saaristomeren alueella keskittyy Salon seudulle Paimionjoen, Purilanjoen, Halikonjoen, Uskelanjoen, Kiskonjoen-Perniönjoen ja Sahajärven vesistöihin (Aaltonen & Tolonen 2019a; Koljonen ym. 2013). Myös Varsinais-Suomen purotaimenselvityksessä vuosina 1991–1992 tehdyissä koekalastuksissa Saaristomereen laskevista joista taimenta tavattiin ainoastaan Salon seudulta (Nuotio & Koskiniemi 1995). Todennäköisesti Turun seudun virtavesistä taimenen luonnonvaraiset alkuperäiset kannat ovat hävinneet jo vuosikymmeniä sitten (Laaksonlaita & Huhta 2012). On myös osittain epäselvää, kuinka

laajasti taimen on alueella alun perin esiintynyt. Koekalastustulosten ja kirjallisuuden perusteella oletin, että tutkimusalue kattaa kaikki nykyiset Saaristomereen laskevat taimenjoet, lukuun ottamatta istutusperäisiä tai istutuksilla tuettavia taimenkantoja.

Tutkimusalueeseen valitsin mukaan myös tunnettujen taimenjokien läheisyydessä sijaitsevia rannikkoalueen pieniä virtavesiä, puroja, jotka laskevat vetensä suoraan Saaristomereen. Saaristomeren rannikkoalue kuuluu hemiboreaaliseen kasvillisuusvyöhykkeeseen ja ilmastoluokkaan (Ilmatieteenlaitos 2022). Alueella on runsaammin sekametsää ja lehtipuita kuin Suomen muilla alueilla.



Kuva 2. Tutkimusalueen sijainti, suurimmat joet ja koekalastuspaikat vuosina 2000–2021.

Varhaisempia tutkimuksia lohikalojen esiintymisestä Saaristomereen laskevissa virtavesissä on Hurmeen (1962) laaja haastattelututkimus, jossa lohikalavesistöiksi on mainittu Kiskonjoki, Uskelanjoki, Halikonjoki, Paimionjoki ja Aurajoki. Ensimmäisiä alueen virtavesissä tehtyjä sähkökoekalastustutkimuksia olivat Kännön (1971) ja Arohongan (1973) tutkimukset. Kännön (1971) vuosina 1966–1968 tekemissä tutkimuksissa Saaristomeren Paimionjoesta, Aurajoesta, Raisionjoesta, Maskunjoesta, Hirvijoesta, Mynäjoesta ja Laajoesta ei tavattu taimenta. Näissä vesistöissä taimen ei ole laajoista 1990- ja 2000-

luvuilla toteutetuista kotiutusistutuksista huolimatta muodostanut luonnonvaraisesti lisääntyviä kantoja muutamaa puroa lukuun ottamatta (Laaksonlaita & Huhta 2012; Hakala 2014). Varsinais-Suomen alueella taimenta esiintyy Saaristomeren valuma-alueen ulkopuolella Kokemäenjoen vesistössä ja Karjaanjoen vesistössä (Koekalastusrekisteri).

Tutkimusalueen joista kaikki Kiskonjokea lukuun ottamatta ovat savimaan jokia (Kipinä-Salokannel & Mäkinen 2021). Erityisesti jokien sivujokien- ja purojen valuma-alueilla sijaitsee kuitenkin myös turve- ja kangasmaita. Alueen jokivesistöjä leimaa kuitenkin maatalousalueiden vaikutus. Koko Varsinais-Suomen ja Satakunnan vesienhoitoalueella 90 % jokivesistöistä on arvioitu olevan maatalouden kuormituksen heikentämiä (Kipinä-Salokannel & Mäkinen 2021). Tutkimusalueen virtavesistä ainoastaan Kiskonjoen-Perniönjoen vesistön latvajoki Varesjoki on luokiteltu hyvään ekologiseen tilaluokkaan ja kaikki muut joet luokkiin, tyydyttävä tai välttävä. Paimionjoen alaosa on luokiteltu voimakkaasti muokatuksi vesimuodostumaksi, koska joessa on kolme toiminnassa olevaa vesivoimalaitosta, joiden padot ja virtaaman säännöstely ovat muuttaneet joen tilaa.

Taulukko 1. Tutkimusalueiden päävesistöalueiden tietoja (Kipinä-Salokannel & Mäkinen 2021).

Päävesistöalue	Valuma-alueen-pinta-ala (km ²)	Järvisyys %	Keskivirtaama (m ³ /s)
Kiskonjoki-Perniönjoki	1047	5,67	5,6
Uskelanjoki	566	0,6	5,18
Halikonjoki	307	0,05	.
Paimionjoki	1088	1,58	6,82

Savimaiden ja maatalousalueiden lisäksi Varsinais-Suomen virtavesien erityispiirre on vesistöalueiden vähäjärvisyys. Järvisyysprosentti tutkimusalueen jokivesistöissä on vain 0–2 prosenttia, Kiskonjoen-Perniönjoen vesistöä lukuun ottamatta, jonka järvisyys on lähes 6 % (taulukko 1). Vähäjärvisyyden ja vesistöalueiden pienen pinta-alan seurauksena jokien virtaamavaihtelut ovat myös voimakkaita ja alivirtaamat ovat hyvin pieniä (taulukko 1). Esimerkiksi sekä valuma-alueeltaan että keskivirtaamaltaan alueen suurimman joen, Paimionjoen keskialivirtaama on alle 1 m³/s. Alueen virtavesille on tyypillistä savisameus (kuva 3 ja 4), mutta jokien sivu- ja latvapuroja on myös metsävaltaisimmilla alueilla, joissa purot ovat kirkasvetisimpiä tai humuksen värjäämiä (kuva 5).



Kuva 3. Kuvapari tutkimusalueen jokien pääuomien koskialueilta. Vasemmalla Kiskonjoen Latokartanonkoski ja oikealla maatalousmaisemassa virtaava Halikonjoen Häntälänkoski.



Kuva 4. Alueen purolle on tyypillistä savisameus ja maatalousalueiden vaikutus. Maatalousalueilla puurojen rannoilla on kuitenkin monin paikoin pienialaisia rantametsiä ja puustoa, erityisesti alueilla, joilla maanpinnan muodot ovat estäneet peltoviljelyn uomien rantavyöhykkeellä. Vasemmalla Uskelanjoen vesistön Kesälämpuro ja oikealla Paimionjoen vesistön Karhunoja.



Kuva 5. Erityisesti vesistöjen latvavesillä esiintyy myös kirkasvetisempiä, selvästi luonnontilaisempia puroja. Purilanjoen latvapuro Sydänojasta (vas.) ja Kiskonjoen-Perniönjoen sivupuro Juottimenojasta (oik.) löytyy alueelle harvinaisen edustavia ja rakenteeltaan luonnontilaisia purojaksoja. Alueen puroille on tyypillistä, että luonnontilaisen kaltaiset purojaksot ovat lyhyitä ja kokonaan luonnontilaisia puroja ei ole lainkaan.

2.2 Koekalastusaineisto

Koekalastusaineiston kokosin Suomen ympäristökeskuksen ja Luonnonvarakeskuksen ylläpitämän koekalastusrekisterin aineistosta ja Varsinais-Suomen virtavesien kalastoselvityksistä ja tutkimuksista. Koekalastusrekisteriin on tallennettu vuodesta 2007 lähtien Luonnonvarakeskuksen kalataloudellisten velvoitetarkkailujen, vesipuitedirektiivin perusseurantojen sekä yliopistojen tutkimushankkeiden standardimenetelmillä tuottamia tietoja (<https://ckan.ymparisto.fi/dataset/koekalastusrekisteri-nordic-verkot-coastal-verkot-sahkokoekalastus>).

Tulostin koekalastusrekisteristä helmikuussa 2022 tutkimusalueelta kaikki virtavesien sähkökoekalastusten tulokset ja taimenen esiintymisen koekalastuksissa. Koekalastusrekisteriin tallentamattomat, erityisesti vanhemmat 1990–2010 tulokset, kokosin alueen virtavesistä tehtyjen kalastoselvitysten julkaistuista raporteista ja julkaisemattomista aineistoista, jotka sain Varsinais-Suomen ELY-keskuksen kalatalousviranomaiselta. Paimionjoen vesistön yläosien sähkökoekalastukset vuosilta 2016 ja 2017 jätin tutkimukseni ulkopuolelle, koska alueelle on istutettu taimenia vuosien 2015–2017 aikana ja tutkimukseni tarkoituksena oli selvittää luonnonvaraisten taimenkantojen esiintymistä (Ranta ym. 2016; Ojala 2017). Tutkimuksessani käyttämäni aineistot on esitetty taulukossa 2. Kokosin koekalastusrekisterin ja raporttien sähkökoekalastustiedot yhteen taulukkoon tilastollisia tarkasteluja varten. Yhteensä koekalastusaineistoon sain koottua 481 koekalastusta.

Koekalastusrekisterin ja koekalastusraporttien tuloksista keräsin tiedot taimenen esiintymisestä, taimenyksilöiden määrän, koealan pituuden ja leveyden, koealan pinta-alan, koekalastushetkellä mitatun veden lämpötilan ja sijaintiedon ETRS-TM35FIN koordinaatistossa. Jos koekalastusrekisterin tai raporttien tiedossa oli ilmoitettu erikseen taimenen 0+-vuotiaiden poikasten määrä, niin kirjasin ne myös erikseen. Koska osassa 1990-luvun koekalastusraporteissa koekalastussaaliin taimentiheydet oli ilmoitettu kokonaistiheyksinä, niin vertailun mahdollistamiseksi laskin myös kaikille koekalastuksille taimenen kokonaistiheyden ($N/100 \text{ m}^2$).

Rekisteriin tallentamattomista koekalastuksista sijaintitietona käytin raporteissa mainittuja sijainteja. Osassa koekalastusraportteja ei mainittu koealojen sijaintitietoa

koordinaattien tarkkuudella vaan sijainti oli ilmaistu merkintänä maastokartoilla. Tällöin sijaintitieto digitoitiin kartalle QGIS-paikkatieto-ohjelmistolla ETRS-TM35FIN koordinaatistoon.

Taulukko 2. Tutkimuksen aineistona käytetyt kalastus selvitykset ja tutkimukset.

Koekalastusraportit
Aaltonen, J. 2008. Paimion Vähäjoen ja Karhunojan kalastus selvitys. Lounais-Suomen kalastusalue. 17 s. + liite.
Aaltonen, J. 2009. Uskelanjoen vesistön sähkökoekalastukset vuonna 2006 ja taimenkannan (<i>Salmo trutta</i> L.) DNA-tutkimus. Opinnäytetyö, kala- ja ympäristötalouden koulutusohjelma. Turun ammattikorkeakoulu. 46 s.
Aaltonen, J. 2011. Kiskonjoen-Perniönjoen vesistön sähkökoekalastukset vuosina 2007 ja 2009 sekä taimenkannan DNA-analyysi. Salon seudun kalastusalue. 68 s. + liite.
Jantunen, Hyytiä & Rannikko P. 2007. Satakoskenojan & Huhdinojan sähkökoekalastus 2007. Varsinais-Suomen kala-vesienhoito Oy. 3 s + liite.
Järvinen A. 1996. Salonjoen koekalastukset 1996. Salon kaupungin ympäristönsuojelutoimisto. 4 s. + liitteet.
Kääriä R. & Kääriä J. 1989. Salonjoen (Uskelanjoen) koekalastukset vuonna 1989. Turun kaupungin ympäristönsuojelutoimisto. 8 s.
Laine M. 1998. Salon seudun sähkökoekalastukset 1998. Salon seudun kalastusalue.
Rannikko P. 1990. Hitolanjoen purotaimen ja rapukanta. Turun kalastuspiiri.
Saura A. 2004. Kiskonjoen Latokartanonkosken koekalastuspöytäkirja. Varsinais-Suomen ELY-keskus.
Toivonen O. & Söderman K. 2003. Habitaatin rakenteen vaikutus taimentiheyksiin ja rapukartoitus Salon seudun virtavesissä. Turun ammattikorkeakoulu.
Tolonen J. 2011. Halikonjoen vesistön sähkökoekalastukset 2008. Salon seudun kalastusalue. 43 s.
Tolonen, J. 2013. Sauvonjoen ja Ruonanjoen vesistöjen koekalastukset. Paimionselän kalastusalue. 36 s.
Tolonen, J. 2013. Salon seudun sähkökoekalastuksia (2011). Salon seudun kalastusalue. 41 s.
Tolonen, J. 2013. Halikonjoen vesistön sähkökoekalastukset (2008) ja taimenkannan DNA-analyysi. Salon seudun kalastusalue. 55 s.
Tolonen, J. 2013. Purilanjoen vesistön sähkökoekalastukset (2011) ja taimenkannan DNA-analyysi. Salon seudun kalastusalue. 35 s.
Turun ammattikorkeakoulu 2005. Halikonjoen Häntälänkosken ja Purhamäenkosken sähkökoekalastusten koekalastuspöytäkirjat. Varsinais-Suomen ELY-keskus.
Vallin M. 2010. Puronierjän (<i>Salvelinus fontinalis</i>) elinympäristön valinta sekä vaikutukset purotaimenkantoihin (<i>Salmo trutta m. fario</i>) eräissä eteläisen Suomen virtavesissä. Turun ammattikorkeakoulu.
Varsinais-Suomen virtavesien kalaston inventointi ja kehittäminen 1997. Lounais-Suomen kalastusalue. 30 s.
Wideskog M. 1988. Förekommst och undvikande av interspecifik konkurrens mellan bottenlevande fiskar i Kisko vattnetdrag-
Ylönen O. 2016. Paimionjoen alaosan sähkökoekalastukset ja nousukalat. Lounais-Suomen kalastusalue. 9s.

Koekalan koon ja taimenen yksilömäärien perusteella laskin koekalastusrekisteriin tallentamattomille koekalastuksille taimenen kokonaistiheysarvion (kaikki ikäluokat) ($N / 100 \text{ m}^2$) Seber & Le Cren (1967) kahden poistopyynnin kaavalla, joka perustuu kalojen pyydystettävyyteen (pyydystettävyyden $p = A \cdot B / A$, jossa $A=1$. poistopyynnin saalis ja $B = 2$. poistopyynnin saalis). Pyydystettävyyden kertoo, kuinka suuri osa kaloista saadaan saaliiksi

yhdellä poistopyynnillä. Tiheysarvion laskennassa käytin koekalastusrekisterin käyttämää lajikohtaista pyydystettävyyssarvoa, joka on taimenen 0+ vuotiailla poikasille 0,4 ja vanhemmille kaloille 0,6. Koska koekalastusaineistoissa suurimmassa osassa tuloksia oli ainoastaan 0+ ikäisiä taimenia ja hyvin vähän vanhempia > 0+ taimenia niin laskin kokonaistiheydet pyydystettävyyssarvolla 0,4.

Koekalastusrekisteriin tallennetuista tiedoista käytin rekisterin laskemia poikastiheysarvioita. Koekalastusrekisterin poikastiheydet on laskettu koekalastuksen poistopyyntien määrästä riippuen joko Seber Lecren (1967) kahden poistopyynnin menetelmän kaavalla tai Junge & Libosvaskyn (1965) kolmen poistopyynnin menetelmän kaavoilla. Jos koekalastus on toteutettu yhden poistopyynnin menetelmällä tai muut lähtöoletukset esimerkiksi saatujen kalamäärien suhteen eivät täyty, koekalastusrekisteri hyödyntää aikaisempia samalla vesimuodostumalla tehtyjä kahden tai kolmen poistokalastuksen pyyntejä ja käyttää näiden perusteella arvioitua pyydystettävyyssarvoa poikastiheyden laskentaan. Jos tietoja pyydystettävyydestä ei ole käytettävissä, rekisteri käyttää laskennassa lajikohtaisia pyydystettävyyssarvoja.

Osallistuin koekalastusaineiston keräämiseen vuosina 2011–2021. Tutkimustani ja myös mahdollista aineiston jatkokäyttöä varten tallensin kaikki koekalastukset, joihin itse olin osallistunut koekalastusrekisteriin. Koekalastusten päätavoitteena on ollut taimenen esiintymisen selvittäminen ja toisaalta tunnettujen taimenkantojen seuranta. Koekalastustietoa on kerätty erityisesti sovellettavaksi taimenen elinympäristöjen kunnostusten kohdentamiseen ja suunnitteluun.

Vuosina 2020–2021 koekalastusaineistoa täydennettiin Luonnonvarakeskuksen koordinoiman Euroopan meri- ja kalatalousrahaston Kalatalouden ympäristöohjelman rahoituksella. Varsinais-Suomen osahanketta on koordinoanut Varsinais-Suomen kestävä kehityksen asiantuntijaorganisaatio Valonia. Sähkökoekalastus on luvanvarainen tutkimusmenetelmä, joten lupa koekalastusten toteuttamiseen haettiin ja saatiin Varsinais-Suomen ELY-keskuksen kalatalousviranomaiselta. Lupa oikeuttaa kalastamaan rauhoitettuja kalalajeja niiden rauhoitusaikana. Koekalastukset on toteutettu Luonnonvarakeskuksen ohjeistuksella (Olin ym. 2014).

2.3 Paikkatietopohjainen purojen luonnontilaisuusennuste ja muut paikkatietoaineistot

Purojen luonnontilaisuutta kuvaavana aineistona käytin Suomen ympäristökeskuksen PienvesiGIS-hankkeessa (Häkkilä ym. 2015) ja Purohelmi-hankkeessa (Aroviita ym. 2021) kehitettyä purohabitaattien paikkatietopohjaista luonnontilaennustetta. Purojen ja purojen valuma-alueiden ominaisuuksia kuvaavista paikkatietoaineistoista on kehitetty malli, joka ennustaa purojakson luonnontilaisuutta asteikoilla 1–5. Arvo 1 kuvaa kokonaan muuttunutta puroa ja 5 luonnontilaista puroa. Mallin tuottamat arviot purojen luonnontilan muuttuneisuudesta ovat tarkasteltavissa SYKE:n (2021) julkaisemassa selaimessa toimivassa ArcGIS-web-kartassa (<https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=837702248ed343498cd4ace9988a8f72&extent=15.9073,60.787,43.4411,67.3714>), ja mallin tarkka kuvaus on esitetty Purohelmi-hankkeen raportissa (Aroviita ym. 2021). Tutkimustani varten sain aineiston Suomen ympäristökeskukselta myös taulukkomuodossa.

Mallin kehitystyössä on käytetty lijoen vesistöalueella maastossa kerättyä puroinventointiaineistoa 436 purosta ja 4156 purojaksolta (Aroviita ym. 2021). Maastossa puroinventointimenetelmässä kirjataan havaintoja puron ominaisuuksista ja erityisesti luonnontilan muuttuneisuudesta, jota arvioidaan asteikoilla 1–5 (Hyvönen ym. 2005).

Puron luonnontilaa ennustavaan malliin on valikoitunut monimuuttujaregressiomallin ja erotteluanalyysimallin avulla ojitettujen turvemaiden osuus valuma-alueen turvemaisista, puron mutkaisuusindeksi (Häkkilä ym. 2015) ja luonnon monimuotoisuudelle tärkeät metsäalueet (Mikkonen ym. 2018). Mutkaisuusindeksi on paikkatietomenetelmien luotu muuttuja, joka kuvaa puron mutkittelevuutta. Menetelmässä on laskettu mutkaisuudelle arvo, joka on laskettu puron geometriatiedon perusteella puron pituus verrattuna suoristetun viivan pituuteen. Mitä lähempänä mutkaisuusindeksi on lukua yksi, sitä suurempi puro on. Luonnon monimuotoisuudelle tärkeät metsäalueet on Zonation-analyysillä tuotettu metsien suojeluarvoja kuvaava aineisto (Mikkonen ym. 2018).

2.3 Tilastolliset menetelmät

Tutkimuksessani tavoitteena oli selvittää taimenen esiintymisessä ja taimentiheyksissä tapahtunutta muutosta vuosien 1990–2021 aikana ja paikkatietopohjaisen purohabitaatin luonnontilaennusteen soveltuvuutta taimenpurojen tunnistamiseen. Kaikki tilastanalyysit tein SAS 9.4. ohjelmistolla käyttäen SAS Enterprise Guide 8.3. käyttöliittymää. Yleistetyt lineaariset sekamallit (engl. *Generalized linear mixed models*) tein SAS:in GLIMMIX-proseduurilla.

2.3.1 Taimenkannoissa tapahtunut muutos

Analysoin taimenen esiintymisessä tapahtunutta ajallista muutosta ja taimentiheyksien muutosta yleistetyllä lineaarisella sekamallilla. Vastemuuttujana mallissa oli taimenen esiintyminen binomiaalisena muuttujana (esiintyy/ei esiinny) ja toisessa mallissa taimentiheys, ja selittävänä muuttujana vuosikymmenet 1990-, 2000- ja 2010-luku. Vuosikymmeneen 2010-luku sisältyivät myös vuoden 2021 koekalastukset. Sekä taimenen esiintymis- että taimentiheyden analyyseissä malliin sisällytettiin satunnaistekijöinä yksittäinen uoma (puro tai joki) ja valuma-alue. Valuma-alue satunnaistekijänä oli päävesistöalueet (Paimionjoki, Halikonjoki, Uskelanjoki ja Kiskonjoki-Perniönjoki) ja pienten mereen laskevien purojen valuma-alueet.

Taimenen esiintymisessä tapahtunut ajallinen muutos -mallissa virhevaihtelun jakaumatyyppinä oli binomijauma. Tilastomallin sopivuus aineistoon hyväksyttiin, kun mallin khiin neliön ja vapausasteiden (DF) osamäärä oli lähellä yhtä. Taimentiheyksien muutoksen mallissa virhevaihtelun jakaumana oli normaalijakauma, jonka saavuttamiseksi taimentiheyksistä käytettiin logaritmimuunnettuja arvoja. Normaalisuus todennettiin visuaalisesti residuaalien jakaumatarkastelulla. Tiheyksissä tapahtunutta muutosta analysoidessa jätin aineistosta pois kunnostettujen koealojen koekalastukset, etteivät kunnostusten mahdolliset vaikutukset vääristäisi tuloksia. Analyysien tuloksille tein logaritmimuunnoksen, jotta sain palautettua tulokset alkuperäiselle asteikolle.

Taimentiheyksissä tapahtunutta muutosta tarkastelin koko sähkökoekalastusaineistolle ja samalla mallilla erikseen myös vesistö- ja purokohtaisesti, koska näin voitiin analysoida mahdollisia vesistökohtaisia eroja taimenkantojen ajallisissa muutoksissa.

2.3.2 Purohabitaatin luonnontilaennuste taimenpurojen tunnistamisessa

Ympäristön vaikutusta taimenen esiintymiseen mallinnettiin yleistetyllä lineaarisella sekamallilla, jossa selitettävä muuttuja oli 1) taimenen esiintymisfrekvenssi ja 2) taimentiheys ja selittävänä epäjatkovana muuttajana molemmissa tapauksissa purohabitaatin luonnontilaennusteluokka (1–5). Taimentiheys mallissa tiheysarvoille tehtiin logaritmi-muunnos aineiston jakauman normaalisuuden parantamiseksi. Koska koko aineistossa luokan 5 saaneita purojaksoja oli vain kaksi, yhdistin luokat 4 ja 5. Päävesistöalueet (Paimionjoki, Halikonjoki, Uskelanjoki ja Kiskonjoki-Perniönjoki) ja pienten mereen laskevien purojen valuma-alueet olivat malleissa mukana satunnaistekijänä.

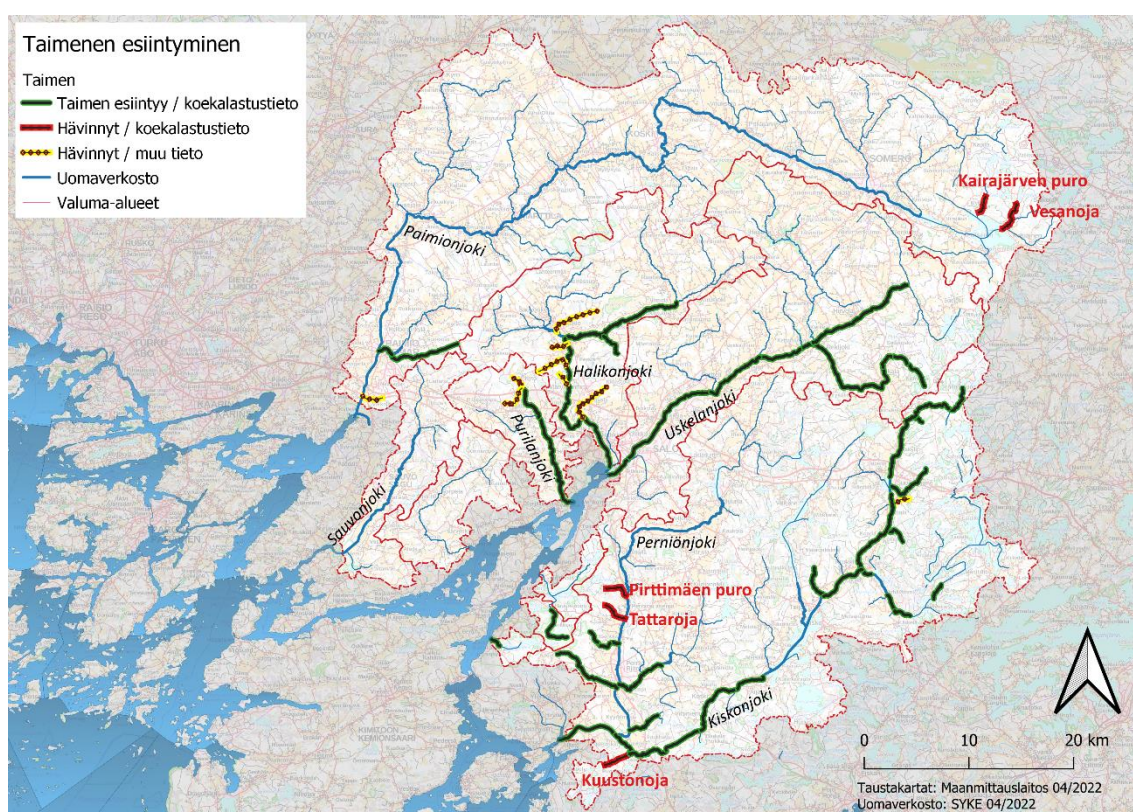
2.4 Aineistojen ja tulosten visualisointi

Koekalastusten tulokset, taimenen esiintyminen ja purot, joista taimen oli hävinnyt koekalastusten tai muiden koekalastusraportteihin kirjattujen tietojen mukaan, visualisoin kartalle QGIS-paikkatieto-ohjelmalla (QGIS Desktop 3.24.0). Taimenen esiintymisestä laadin lämpökartan (*engl. heatmap*) painottaen koekalastuksissa havaittuja taimenen kokonaistiheyksiä. Uomaverkosto ja valuma-alueet paikkatietoaineistoina käytin Suomen ympäristökeskuksen avointa dataa (https://www.syke.fi/fi-FI/Avoin_tieto/Paikka-tietoaineistot) ja taustakarttoina Maanmittauslaitoksen karttoja.

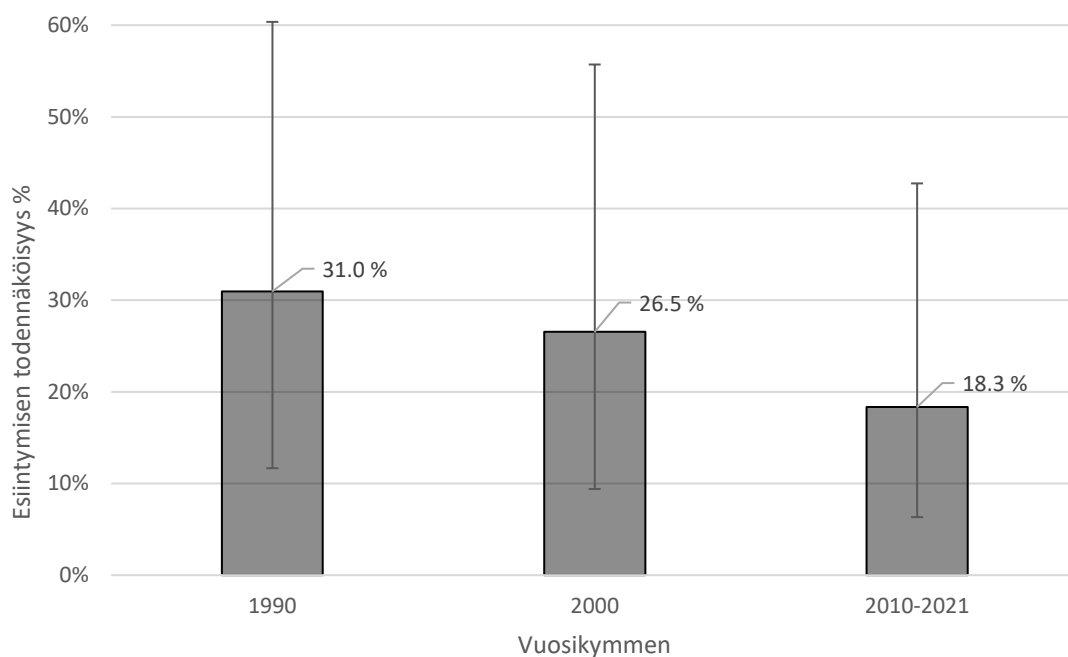
3 Tulokset

3.1 Taimenkannoissa tapahtuneet muutokset

Tutkimukseni mukaan taimenkantojen tila oli heikentynyt verrattuna 1990-luvun tietoihin. Sähkökoekalastusten mukaan taimen oli hävinnyt viidestä purosta (kuva 6) ja esiintyvyystodennäköisyydessä oli laskeva trendi (kuva 7), joka oli tilastollisesti lähes merkitsevää (taulukko 3). Taimenen esiintymistodennäköisyys oli mallin mukaan laskenut 31 prosentista 18 prosenttiin tutkimusalueen koekalastuksissa. Lisäksi useasta purosta on raportoitu taimenen katoaminen, mutta tiedot eivät perustu sähkökoekalastuksiin vaan haastattelutietoihin, joita on raportoitu koekalastusraporteissa ja alueen virtavesistä tehdyissä selvityksissä (Nuotio & Koskiniemi 1995; Aaltonen 2011b; Tolonen 2016; Tolonen 2017; Tolonen & Ylönen 2017).



Kuva 6. Taimenen esiintyminen 1990–2021 koekalastusten mukaan. Karttaan on nimetty tutkimusalueen jokien pääuomat. Purot, joista taimen on hävinnyt koekalastustulosten perusteella vuoden 1990 jälkeen on nimetty karttaan lihavoidulla punaisella fontilla.

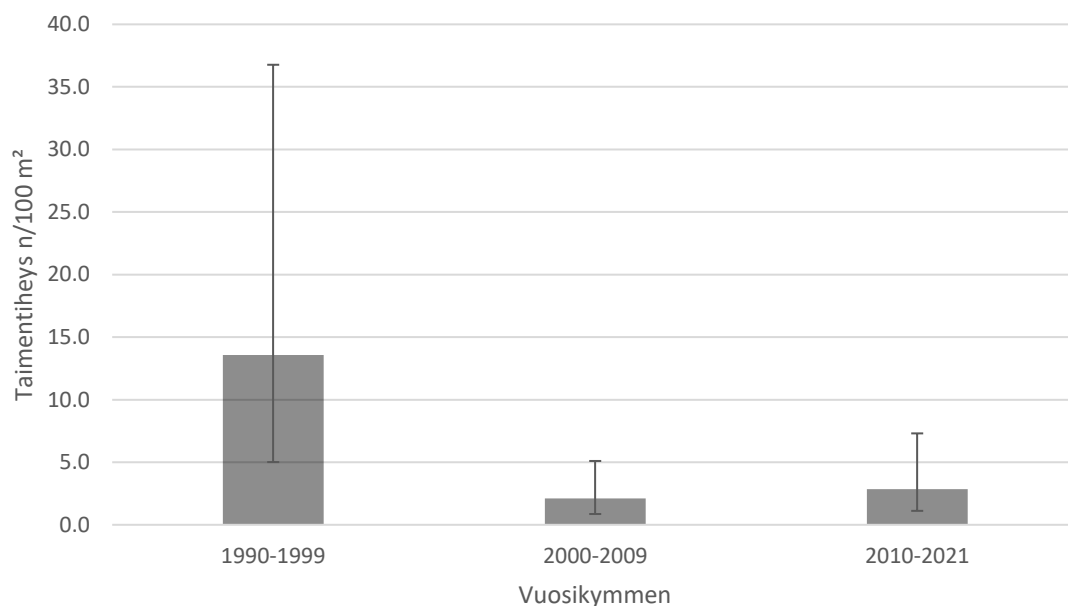


Kuva 7. Yleistetty lineaarinen sekamalli taimenen esiintymisen todennäköisyydelle ja 95 % luottamusvälit vuosikymmenittäin vuosien 1990–2021koekalastuksissa (n=468).

Taulukko 3. Yleistetty lineaarinen sekamalli taimenen esiintymistodennäköisyyden muutokselle ajassa.

selittävä tekijä	DF ₁	DF ₂	F	p
Vuosikymmen	2	465	2,54	0,080

Taimentiheydet laskivat tilastollisesti merkitsevästi 1990-luvulta 2000-luvulle (kuva 8; taulukko 4). Taimentiheydet 1990-luvulla erosivat sekä 2000-luvun ($DF=58,09$, $t=3,85$, $p=0,003$) että 2010-luvun ($DF=67,31$, $t=2,86$, $p=0,0056$) arvoista. Ero 2000- ja 2010-lukujen välillä ei ollut merkitsevä ($DF=59,10$, $t=-0,66$, $p=0,51$).



Kuva 8. Taimentiheyksien keskiarvot eri vuosikymmeninä ja keskiarvojen 95 % luottamusvälit (n=88). Kuvan tiheysarvot perustuvat logaritmimuunnoksesta takaisinmuutettuihin arvoihin.

Taulukko 4 Yleistetty lineaarinen sekamalli taimentiheyksissä tapahtuneille muutoksille.

selittävä tekijä	DF ₁	DF ₂	F	p
Vuosikymmen	2	60,44	7,63	0,0011
Vuosikymmen*valuma- alue	12	54,15	1,09	0,3832

Hyvin useissa 2000-luvulla toteutetuissa koekalastuksissa taimenen poikastiheydet ovat olleet hyvin matalia ja vesistökohtaiset taimentiheyksien keskiarvot ovat matalia (taulukko 5). Vesistökohtaisesti tarkasteltuna taimentiheydet olivat laskeneet Kiskonjoen Perniönjoen vesistössä ($F_{2,29.07}=6,72$ $p=0,0040$) ja Paimionjoen vesistössä ($F_{2, 9.475}=5,92$, $p=0,025$). Uskelanjoen ja Halikonjoen vesistöissä tiheyksien muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($F_{2, 22.06}=0,12$, $p=0,89$, $F_{2, 1.55}=0,24$, $p=0,81$).

Taulukko 5. Koekalastuksissa havaitut taimentiheyksien keskiarvot vesistöittäin eri vuosikymmeninä. Tuloksista on poistettu koekalastukset, joissa taimenia ei saatu saaliiksi.

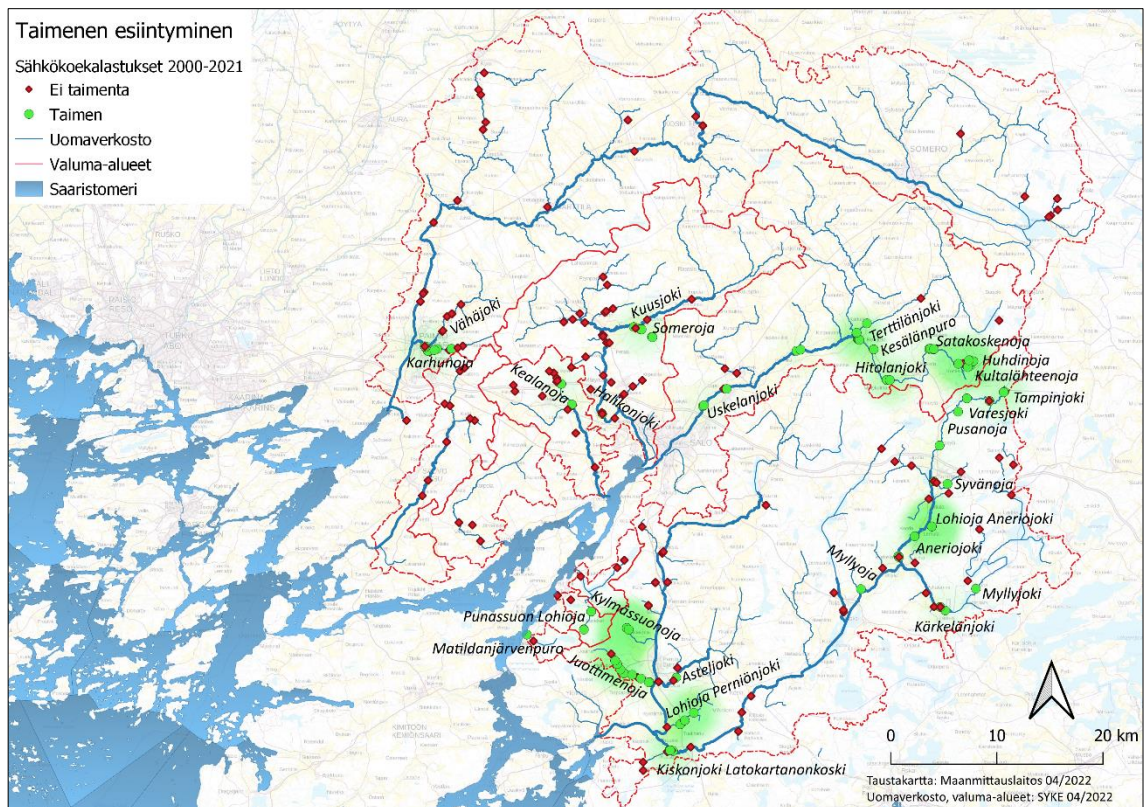
Vesistö	vuosikymmen	N	Tiheyden keskiarvo N100/m ²	Keski-hajonta	Min.	Maks.	Mediaani
Halikonjoki	1990	1	4,0	.	4,0	4,0	4,0
	2000	3	7,3	11,7	0,2	20,8	0,8
	2010–2021	6	15,3	15,6	1,7	35,7	9,0
Kiskonjoki-Perniön-joki	1990	7	72,2	83,3	4,4	241,0	40,8
	2000	16	13,1	16,5	0,4	57,1	6,3
	2010–2021	33	9,1	12,5	0,5	52,4	2,8
Matildanjarvi	2000	1	2,3	.	2,3	2,3	2,3
Paimionjoki	1990	7	32,9	42,1	2,1	116,7	17,9
	2000	3	3,8	3,8	0,4	7,8	3,1
	2010–2021	3	1,0	0,5	0,4	1,4	1,2
Purilanjoki	2010	5	12,3	7,4	1,7	22,5	12,5
Sahajarvi	1990	1	44,6	.	44,6	44,6	44,6
	2000	1	2,5	.	2,5	2,5	2,5
	2010–2021	2	25,2	19,9	11,1	39,3	25,2
Uskelanjoki	1990	8	9,7	6,5	0,8	20,4	8,3
	2000	12	4,4	3,9	0,2	13,8	4,3
	2010–2021	24	16,9	20,7	0,5	91,7	11,3

3.1.1 Taimenkantojen nykytila

Vuosien 2000–2021 aikana toteutettujen koekalastusten mukaan tutkimusalueen virtavesissä on nykyisin seitsemällä vesistöalueella 29 uomaa, joissa on havaittu taimenen lisääntymistä (kuva 9). Ainoastaan Kiskonjoen-Perniönjoen ja Uskelanjoen vesistöissä taimenpuroja on useita samalla vesistöalueella. Taimentiheyksien keskiarvot ovat keskimäärin hyvin matalia, lukuun ottamatta Uskelanjoen latvapuroja ja Kiskonjoen-Perniönjoen muutamia puroja (taulukko 6).

Koekalastusten mukaan taimenen esiintyminen painottuu selvästi vesistöjen tietyille alueille ja erityisesti jokien latva- ja sivupuroihin (kuva 9). Tärkeimpiä taimenen esiintymis- ja lisääntymisalueita olivat Perniönjoen sivupurot Juottimenoja ja Kylmässuonoja ja Someron ja Salon Hyppärän harjualueelta alkunsa saavat Varesjoki, ja Hitolanjoki latvapuroineen sekä Aneriojoen Lohioja. Nämä alueet erottuvat taimentiheyksien lämpökartassa (kuva 9). Vastaavasti selvästi heikentyneet taimenkantoja ovat Paimionjoen vesistön Karhunoja, Perniönjoen sivupuro Lohioja, Halikonjoen vesistö ja Purilanjoen vesistö, jotka erottuvat kartalla hyvin haaleana.

Vuosien 2000–2021 koekalastuksissa taimenen esiintyminen on ollut vähäistä jokien pääuomissa ja sivujoissa. Jokialueilla on kuitenkin harvakseltaan tavattu taimenia, mutta havaitut taimentiheydet ovat olleet matalia (taulukko 6). Halikonjoella viime vuosina taimenta on tavattu ainoastaan latvajoessa Kuusjoessa ja sen sivupurossa Somerojassa, kun 1990-luvulla taimenta tavattiin myös joen pääuoman koskissa ja latvajoessa Vaski-onjoessa.



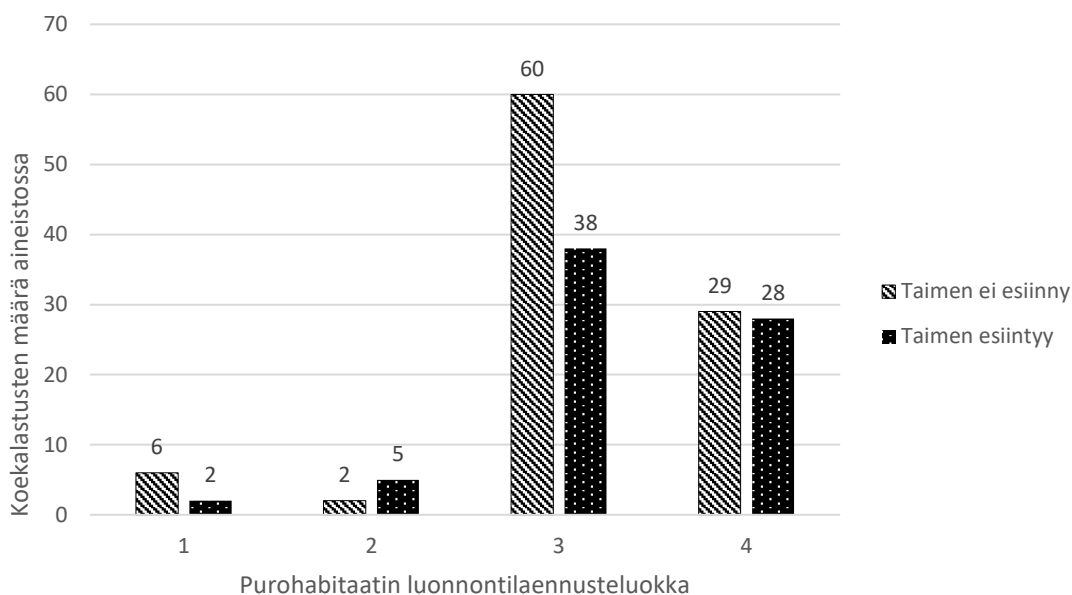
Kuva 9. Taimenen esiintyminen vuosien 2000–2021 koekalastuksissa. Uomat, joista taimenta on saatu saaliiksi ovat nimetty karttaan. Korkeimmat taimenen poikastiheydet erottuvat lämpökartassa vihreänä.

Taulukko 6. Uomakohtaiset koekalastuksissa havaitut taimentiheyksien keskiarvot vuosien 2000–2021 koekalastuksissa. Tuloksista on poistettu koekalastukset, joissa taimenia ei saatu saaliiksi.

Vesistö	uoma	N	Tiheyden keskiarvo N100/m ²	Keski-hajonta	Min.	Maks.	Medi-aani
Paimionjoki	Karhunoja	5	2,8	3,0	0,4	7,8	1,4
	Vähäjoki	1	0,4	.	0,4	0,4	0,4
Purilanjoki	Kealanoja	5	12,3	7,4	1,7	22,5	12,5
Halikonjoki	Halikonjoki	1	0,2	.	0,2	0,2	0,2
	Kuusjoki	1	0,8	.	0,8	0,8	0,8
	Someroja	7	16,1	14,4	1,7	35,7	13,9
Uskelanjoki	Hitolanjoki	7	7,0	4,0	0,9	13,8	6,3
	Huhdinoja	14	15,1	15,8	1,0	46,4	10,5
	Kesalanpuro	3	12,5	7,2	4,2	16,7	16,7
	Kultalahteenoja	2	23,6	2,0	22,2	25,0	23,6
	Satakoskenoja	3	34,7	49,3	5,0	91,7	7,5
	Terttilanjoki	1	0,5	.	0,5	0,5	0,5
	Uskelanjoki	6	1,5	1,1	0,2	3,5	1,2
Kiskonjoki-Perniön-joki	Aneriojoki	4	2,1	2,7	0,6	6,1	0,8
	Asteljoki	1	0,4	.	0,4	0,4	0,4
	Juottimenoja	10	13,0	16,8	1,3	52,4	7,3
	Karkelanjoki	3	3,4	2,9	0,7	6,4	3,0
	Kiskonjoki	7	6,5	10,9	0,5	31,0	2,8
	Kylmässuonoja	3	27,1	10,3	20,0	38,9	22,5
	Lohioja Aneriojoki	3	32,6	23,6	10,0	57,1	30,6
	Lohioja Perniön-joki	6	12,5	12,9	1,5	32,1	6,6
	Myllyjoki	1	6,7	.	6,7	6,7	6,7
	Myllyoja Kurkela	1	0,8	.	0,8	0,8	0,8
	Pusanoja	1	6,3	.	6,3	6,3	6,3
	Syvänoja	2	5,6	4,7	2,2	8,9	5,6
	Tampinjoki	4	8,7	9,7	1,3	21,9	5,8
	Varesjoki	3	1,3	0,5	0,9	1,9	1,2
Matildanjärvi	Matildanjarven-puro	1	2,3	.	2,3	2,3	2,3
Sahajärvi	Punassuon Lohioja	3	17,6	19,2	2,5	39,3	11,1

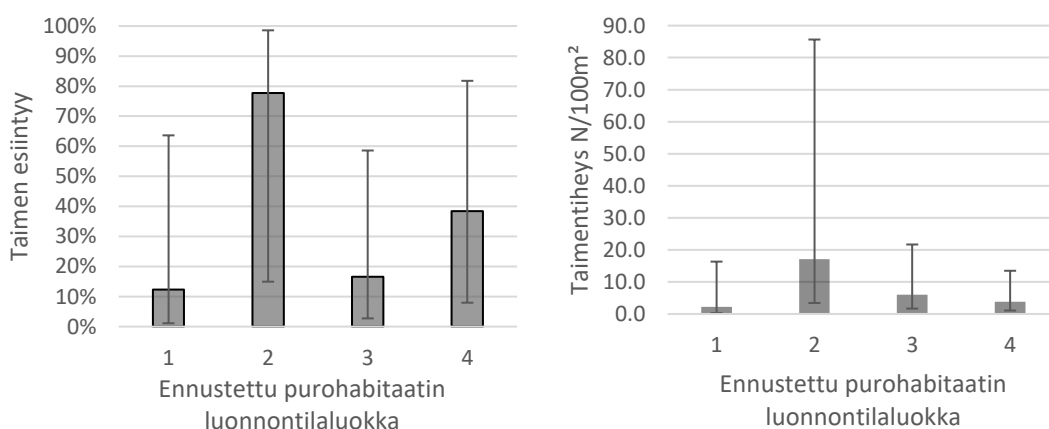
3.2 Paikkatietopohjainen purojen luonnontilaennuste ja taimenen esiintyminen

Koekalastuksen kohteina olleet uomat jakautuivat hyvin epätasaisesti eri luonnontila-luokkiin (kuva 10). Luokissa kolme ja neljä koekalastuksia oli huomattavasti enemmän kuin alhaisen luonnontilaisuuden luokissa yksi ja kaksi.



Kuva 10. Taimenen esiintyminen ennustetuissa purohabitaatin luonnontilaisuusluokissa.

Taimenen esiintymisfrekvenssi ja taimentiheydet eivät olleet korkeampia luonnontilaennusteen korkeammissa luokissa (kuva 11). Taimenen esiintyminen oli runsainta luokassa kaksi. Taimenen esiintyminen erosi uomien luonnontilaisuusluokkien välillä tilastollisesti lähes merkitsevästi ($F=2,62$, $DF_1=3$, $DF_2=125,5$, $p=0,0538$), mutta analyysi ei tue hypoteesia, jonka mukaan taimen suosisi luonnontilaisempia puroja. Taimentiheydet eivät eronneet purohabitaatin luonnontilaisuusluokkien välillä ($F=1,74$, $DF_1=3$, $DF_2=12,01$, $p=0,2112$).



Kuva 11. Taimenen (a) esiintyminen ja (b) taimentiheyden ($N/100\text{ m}^2$) keskiarvo ja 95 % luottamusvälit puroissa luonnontilaisuusennusteen mukaan luokiteltuina. Y-akselien arvot perustuvat logaritimuunnoksista takaisinmuutettuihin arvoihin.

4 Tulosten tarkastelu

4.1 Taimenkannoissa tapahtunut muutos ja taimenen esiintyminen

Tutkimukseni tulosten mukaan Saaristomereen laskevien jokien taimenkannat ovat heikentyneet 2000-luvulla 1990-luvun tilanteeseen verrattuna. Havaitut taimenen poikastihydet ovat pääsääntöisesti hyvin heikkoja useissa 2000-luvulla tehdyissä koekalastuksissa. Taimen on myös kokonaan hävinnyt kolmesta Kiskonjoen-Perniönjoen vesistön purosta ja kahdesta Paimionjoen vesistön Painiojärveen laskevasta purosta, joissa taimenta on vielä 1990-luvun tulosten mukaan esiintynyt. Purot, joista taimen on hävinnyt 1990–2021 välisenä aikana, ovat pieniä, ja taimenelle soveltuvien lisääntymisalueiden määrä on hyvin rajallinen, mikä on voinut vaikuttaa taimenen häviämiseen. Lisäksi vuosien 2000–2021 koekalastuksissa taimenen lisääntyminen on ollut epäsäännöllistä ja havaitut poikastihydet heikkoja Paimionjoen Karhunojassa, Purilanjoen Kealanojassa, Punassuon Lohiojassa ja Perniönjoen Lohiojassa. Lisäksi Matildanjärven purosta ja Kiskonjoen-Perniönjoen vesistön Asteljoesta ja Kurkelanjoen Myllyojasta on saatu saaliiksi vain yksi taimen. Usea alueen taimenkanta on vaarassa hävitä, mikäli poikastuotannossa ei tapahdu muutosta parempaan lähivuosiin.

Vain muutamassa Kiskonjoen-Perniönjoen vesistön ja Uskelanjoen vesistön puroissa on havaittu korkeita ($N/100\text{ m}^2 > 20$) tiheyksiä 2000-luvun koekalastuksissa, mutta keskimäärin havaitut poikastihydet ovat hyvin matalia. Sauran (2021) mukaan useissa muisakin Suomen Itämereen laskevissa joissa taimenen poikastuotanto on jokien poikastuotantopotentiaalin nähden matala. Myös Itämeren suojelukomission (HELCOM 2022) Itämeren meritaimenkantojen seurantaraportin mukaan Itämeren jokien taimentiheydet ovat keskimäärin selvästi korkeampia kuin Saaristomereen laskevien jokien havaitut tiheydet. Muutamissa Suomen rannikkojoissa poikastihydet ovat kuitenkin huomattavasti korkeampia, esimerkiksi Suomenlahteen laskevassa Ingarskilanjoessa (Koivurinta ym. 2019).

Tulosten perusteella on syytä epäillä, että taimen kärsii alueella sukupuuttovelkaa: elinympäristöt ovat olleen pitkään pirstoutuneita, taimentiheydet ovat laskeneet ja monesta purosta taimen on jo kokonaan hävinnyt. Todennäköisesti virtavesien tilan heikentymisen seurauksena taimenkannat ovat heikentyneet viiveellä ympäristön tilan

muuttumisesta jo useiden vuosikymmenten, ellei jo vuosisatojen ajan. Muun muassa savimaan jokien rehevöityminen ja suuret kiintoainepitoisuudet ovat voineet vaikuttaa taimenkantojen heikentymiseen, heikentämällä taimenen mädin kehitystä, kuoriutumista ja poikasten selviytymistä (Amstrong ym. 2003; Louhi ym. 2011). Alueen jokivesistöt ovat Kiskonjokea lukuun ottamatta hyvin vähäjärvisiä savimaanjokia, joissa virtamavaihtelut ovat erityisen voimakkaita ja ravinnekuormitus on suurta (Kipinä-Salokannel & Mäkinen 2021). Virtaamavaihtelut voivat muun muassa heikentää sorapohjien toimivuutta kutualueina, muuttamalla kutualueiden virtauksia epäsuotuisaksi tai huuhtoa lisääntymiselle soveltuvia sorapohjia pois koskialueilta (Junker ym. 2015).

Saaristomeren virtavesien taimenkantojen haavoittavuutta lisää, että Kiskonjoen-Perniönjoen ja Uskelanjoen vesistöjä lukuun ottamatta taimenen lisääntyminen keskittyy nykyisin ainoastaan vesistön yhteen puroon. Ruotsissa tehdyn tutkimuksen mukaan taimenen esiintymisen todennäköisyys ja taimentiheydet olivat korkeampia vesistöissä, joissa taimenen elinympäristöt olivat kytkeytyneitä toisiinsa ja elinympäristölaikut olivat suurempia (Tamario ym. 2021). Usean Saaristomeren joen taimenkannan tulevaisuus on siis yhden puron poikastuotannon varassa ja hyvin alttiina satunnaisille äärimmäisille lyhytaikaisille olosuhteille, kuten korkeille lämpötiloille tai kuivuudelle. Jopa yksittäiset vedenlaatua heikentävät päästöt, kuten maa- ja metsätaloustoimien maanmuokkauksesta aiheutuva kiintoaine- ravinnekuormitus tai muutoin taimenen elinympäristöjä merkittävästi muuttavat toimet kuten rantametsienhakkuut, voivat olla hyvin kohtalokkaita näille pienille ja eristäytyneille populaatioille.

Mahdollisesti myös viime vuosikymmenien aikana jo muuttunut ilmasto ja sen myötä muuttuneet virtavesien olosuhteet ovat voineet vaikuttaa taimenkantojen heikentymiseen. Ilmaston lämpenemisen on ennustettu aiheuttavan haasteita taimenen menestymiselle ja levinneisyysrajan siirtymistä pohjoisemmaksi (Jonsson & Jonsson 2009; Clews ym. 2010; Almodóvar ym 2011; Filipe ym. 2013). Myös Suomessa, esimerkiksi Eurajoessa, on jo havaittu taimenelle epäsuotuisia lämpötiloja ja havaittu kesäisin kalakuolemia (Porkka 2022). Tulevaisuudessa Saaristomereen laskevien virtavesien olosuhteet voivat entisestään muuttua taimenelle epäsuotuisammaksi, sillä ilmastomuutosennusteiden mukaan lämpötila ja sademäärät tulevat kasvamaan sekä talviaikaiset vesisateet ja kuivat ajanjaksot voivat lisääntyä (Jylhä ym. 2004, 2009; Ruosteenoja ym. 2016;

Gregow ym. 2021). Muutokset aiheuttavat muun muassa vesistöjen ravinnekuormituksen kasvamista ja haasteita erityisesti maatalousalueiden vesistöille (Forsius ym. 2013).

Myös taimenkantojen istutushistorialla voi olla vaikutusta taimenkantojen nykytilaan ja kannoissa tapahtuneisiin muutoksiin, sillä kaikkia, erityisesti vanhempia, mahdollisia virtavesiin toteutettuja istutuksia ei hyvin todennäköisesti tunneta. Esimerkiksi Uskelanjoen vesistön taimenkannan alkuperästä on viitteitä istutusperäisyydestä (Aaltonen 2012; Koljonen ym. 2013). Matildanjärven puron taimenkanta on myös saattanut olla istutusperäinen sillä Varsinais-Suomen ELY-keskuksen istutusrekisteritietojen mukaan Matildanjärveen on istutettu taimenia 1990-luvun alussa. Myös Painiojärveen laskevien purojen, Vesanojan ja Kairajärven, taimenkantojen on epäilty olleen istutusperäisiä (Aaltonen & Penttilä 2016). Sekä merialueelle että jokiin tehdyt istutukset ovat todennäköisesti viivästäneet taimenkantojen heikentymistä, ja toisaalta ovat voineet luoda virheelistä vaikutelmaa taimenkantojen paremmasta tilasta. Saaristomereen ja Saaristomeren jokiin on istutettu taimenia merkittäviä määriä 1960–1999 aikana (Mäntynen & Saura 2002). Varsinais-Suomen ELY-keskuksen istutusrekisterin mukaan myös osaan tutkimusalueen joista on istutettu taimenia vielä 1990-luvulla ja 2000-luvun alussa, esimerkiksi Kiskonjoen Latokartanonkoskeen ja Paimionjokeen (Varsinais-Suomen ELY-keskus 2022).

Mereen tai jokialueille istutettujen taimenten nousu puroihin lisääntymään on voinut olla oleellinen lisä pieniksi ajautuneiden populaatioiden emokalastoon. Tällaisia jokia ja koekalastuksilla todennettuja taimenen lisääntymisalueita ovat erityisesti Paimionjoen vesistön alaosassa sijaitseva Paimion Vähäjoen alue, Kiskonjoen-Perniönjoen vesistön Kiskonjoen alaosa ja Perniönjoen alaosa sivupuroineen. Näille alueille merivaelteisilla taimenilla on olemassa vaellusyhteys ja merialueella istutetut kalat ovat voineet nousta virtavesien koski- ja virtapaikkoihin lisääntymään. Kyseisissä vesistöissä on tapahtunut myös selvää taimenkantojen heikentymistä, verrattuna 1990-luvun tilanteeseen. Taimenen istutukset merialueelle ovat vähentyneet 2000-luvulla ja istutukset tutkimusalueen jokiin on lopetettu, mikä voi myös heijastua jokien ja purojen heikentyneenä poikastuontona ja taimenkantojen häviämisenä. Tiedossa ei kuitenkaan ole, että alueen puroihin olisi istutettu taimenia vaan taimenia on istutettu jokien pääuomiin.

Todennäköisesti Saaristomeren jokien taimenkantojen heikentymiseen ja häviämiseen on vaikuttanut pitkän ajan kuluessa myös taimenkantojen eristäytyminen, ja sen myötä heikentynyt geneettinen monimuotoisuus. Alueen virtavesissä on lukuisia kalojen vaelluksen estäviä patoja ja muita rakenteita (Aaltonen 2009;2011; Kipinä-Salokannel & Mäkinen 2021). Virtavesien vaellusesteillä voi olla hyvin merkittävä vaikutus taimenkantojen kehitykseen, vaikka taimen voikin sopeutua elämään myös eristäytyneenä pirstoutuneissa elinympäristöissä (Gosset ym. 2006; Heggenes & Roed 2006). Taimenkantojen lisääntymismenestyksessä on luontaisesti suurta vaihtelua, ja eristäytyneissä pienissä populaatioissa geneettiset pullonkaulatilanteet voivat muodostua toistuviksi aiheuttaen etenkin pidemmän ajan kuluessa haasteita populaatioiden elinvoimaisuudelle. Vaellusesteet estävät taimenkannan metapopulaatorakenteen toimivuuden ja luontaisen vaelluskäyttäytymisen, millä voi olla hyvin merkittäviä vaikutuksia taimenkantojen elinvoimaisuuteen (Gosset ym. 2006). Eristäytyneet pienet populaatiot ovat hyvin alttiita sattumanvaraisille tapahtumille, kuten äärimmäisille ilmasto-olosuhteille. Esimerkiksi äärimmäiset kuivuusjaksot, tulvat ja epäsuotuisat talviolosuhteet voivat olla kohtalokkaita ja tuhota jopa koko populaation tai pienentää populaatiokokoa merkittävästi (Elliott 1994). Padoilla on virtavesiekosysteemeissä myös muita haitallisia vaikutuksia, jotka ovat voineet heikentää taimenkantoja. Padot voivat aiheuttaa esimerkiksi merkittävää veden lämpenemistä pienissä virtavesissä (Zaidel ym. 2021).

Vaellusesteet ovat voineet karsia taimenkantojen mahdollisia perinnöllisiä vaellusominaisuuksia, kun vaellukselle lähteneet taimenet eivät ole päässeet palamaan kotipuuroonsa lisääntymään. Virtavesien vaellusesteet ja vaelluksen aikaisen korkean kuolleisuuden aiheuttama evolutiivinen valintapaine on mahdollisesti suosinut paikalliseksi jääviä taimenia jo hyvin pitkän aikaa. Lisäksi merivaelluksen aikainen kalastuskuolleisuus on merkittävä taimenen kuolleisuuden aiheuttaja Itämeren alueella (Kallio-Nyber ym. 2015; Kallio-Nyberg ym. 2018). Vielä 1990-luvulla ja 2000-luvun alussa Varsinais-Suomen alueen taimenkannat arvioitiin vaeltamattomiksi paikallisiksi taimeniksi (Kallio-Nyberg ym. 2001). Merivaelluksen tehneitä taimenia on kuitenkin 2000-luvulla tavattu Uuskelanjoesta, Kiskonjoesta ja Paimionjoen Karhunojasta, mutta havainnot ovat harvinaisia (Aaltonen 2009; Aaltonen & Penttilä 2014; Tolonen 2017). Saaristomeren taimenkantojen vaelluskäyttäytymistä ei tunneta, lukuun ottamatta Koljosen ym. (2013)

Suomenlahden taimenten geneettistä tutkimusta, jonka mukaan alueen taimenkannat ovat toisistaan geneettisesti poikkeavia ja Kiskonjoen-Perniönjoen vesistössä saman vesistön sisällä esiintyy eristyneitä osapopulaatioita.

Virtavesien vaellusesteet, mahdollinen merivaellusominaisuuden karsiutuminen ja virtavesien elinympäristöolosuhteiden heikentyminen yhdessä ovat voineet vaikuttaa Saaristomerен jokien taimenkantojen taantumiseen. Esimerkiksi Rothlan ym. (2017) mukaan kolmen tutkimusalueen itäpuoleisen joen taimenista 80 % oli merivaelteisten emojen jälkeläisiä ja Viron rannikkojokien taimenista vielä suurempi osa. Merivaelluksen tehneiden suurikokoisten emojen vähentyminen on voinut heikentää poikastuotantoa, sillä suurten emokalojen jälkeläistuotto on suurempaa kuin pienten vaeltamattomien emojen (Jonsson & Jonsson 1999). Mahdollisesti Saaristomerен laskevien virtavesien vedenlaatu voi myös aiheuttaa enemmän haasteita pienikokoisten emojen mätimien kehittymiselle, esimerkiksi jokien runsaan kiintoainekuormituksen seurauksena. Myös Keski-Suomen koskien heikkoon poikastuotantoon on epäilty syyksi suurikokoisten emokalojen vähyyttä (Ruokonen ym. 2005). Paikallisten virtavesien elinympäristöjen tilan ja ilmasto-olosuhteiden vaikutuksesta taimenkantoihin tarvittaisiin lisää tutkimustietoa.

Tiheyden ja esiintymisen muutosta arvioitaessa tulee huomioida, että taimenkantojen tilaa ei ole säännöllisesti seurattu vaan käytetty aineisto on kerätty hajanaisista eri vuosina tehdyistä koekalastuksista. Sähkökoekalastusaineistoa on 1990-luvulta ja 2010-luvulta vähemmän kuin vuosilta 2010–2021. Vuosien 2010–2021 sähkökoekalastusten runsas määrä lisää taimenkantojen nykytilan arvion luotettavuutta. Koekalastusten vähäisempi määrä 1990-luvulta taas heikentää kannoissa tapahtuneiden muutosten arviointia. Taimenen häviäminen alueen virtavesistä on voinut ollut tuloksiani voimakkaampaa, sillä alueen koekalastusten yhteydessä kerättyjen haastattelutietojen mukaan taimenta on esiintynyt useissa puroista, joita ei ole 1990-luvulla koekalastettu. Tiedot tukevat hypoteesia taimenkantojen heikentymisestä ja taimenen häviämisestä useilta alueilta (mm. Aaltonen 2009; Tolonen 2017). Tietojen mukaan muun muassa Halikonjoen vesistössä on ollut vielä 1990-luvun alussa useita taimenpuroja, joissa ei enää 2000-luvun koekalastuksissa taimenta ole tavattu.

Useimmissa puroissa koekalastusotantana on vain yksi tai muutama koeala, joten puroissa, joista taimenta ei ole tavattu taimen voi kuitenkin edelleen elää harvalukuisena. Useat 2000-luvulla tehdyt purojen koekalastukset on kuitenkin kohdennettu potentiaaliin taimenen elinympäristöihin, kuten purojen suurimmille koski- ja virtapaikoille, joissa on ollut edellytyksiä taimenen lisääntymiselle. Tämä lisää tutkimukseni luotettavuutta taimenen esiintymiseen suhteen.

Eri vuosikymmenien taimentiheyksiä vertaillen on hyvä huomioda, että 1990-luvun koekalastusten menetelmät ovat olleet hieman poikkeavia nykyiseen koekalastusstandardiin verrattuna. Esimerkiksi Nuotio & Koskiniemen (1995) koekalastuksissa on käytetty sulkuverkkoja, joiden käyttö on saattanut vaikuttaa kalojen pyydystettävyyteen ja siten tiheysarvioihin, ja käytetyt koekalastuslaitteet ovat olleet erilaisia. Osa vanhemmista koekalastuksista on myös toteutettu kahden tai kolmen poistopyynnin menetelmällä, kun taas uudemmat koekalastukset on pääsääntöisesti toteutettu nykyisen sähkökoekalastusstandardin ja mukaisesti yhden poistopyynnin menetelmällä (Olin ym. 2014). Osassa 1990-luvun koekalastuksissa taimentiheydet oli ilmoitettu kokonaistiheyksinä, joten laskin myös 2000-luvun koekalastustulokset kokonaistiheydeksi vertailua varten. Vanhempien kuin 0+-ikäisten taimenten määrä koekalastuksissa on kuitenkin ollut hyvin vähäinen ja useissa koekalastuksissa vanhempia taimenia ei ole saatu lainkaan, joten tämä ei muuttanut tuloksia merkittävästi. Yhdistetyille taimentiheyksille käytettyä tiheysestimaatin pyydystettävyyssarvo 0,4 voi kuitenkin aiheuttaa vertailuissa jonkin verran epäluotettavuutta. Toisaalta ero 1990-luvun ja 2000-lukujen taimentiheyksissä oli hyvin selvä. Kaikissa vanhemmissa koekalastustuloksissa ei myöskään ole ilmoitettu tiheysarvioita tai koealojen kokoja, joten poikastiheyksien vertailua uudempiin tuloksiin ei ollut mahdollista tehdä. Tämä vähensi tiheyksien vertailuun käytettävissä olevan koekalastusaineiston määrää.

Tulosten arvioinnissa tulee myös huomioda, että vaikka sähkökoekalastus soveltuukin erityisesti pienten virtavesien ja lohikalojen poikasten pyydystämiseen, niin menetelmänä se on valikoiva (Olin ym. 2014). Muun muassa kalojen koko ja koealan ominaisuudet vaikuttavat kalojen pyydystettävyyteen. Vuosien välinen luontainen vaihtelu lohikalojen poikastuotannossa on suurta ja pienten uhanalaisten populaatioiden tutkimuksessa riski esiintymisen havaitsematta jäämiseen voi olla merkittävä, erityisesti jos

purokohtaisena otantana on vain yksi tai muutama koeala. Koekalastusaineistossa on myös katvealueita, muun muassa rannikolta suoraan mereen laskevia pieniä virtavesiä on koekalastettu hyvin vähän. Esimerkiksi tutkimusalueeni ulkopuolelta Saaristomereen laskevasta purosta Kemiönsaaren Sunnanåsta löytyi syksyllä 2021 taimenen poikasia (Aaltonen & Tolonen 2021).

4.2 Purojen luonnontilaennuste taimenelle soveltuvien purojen tunnistamisessa

Purojen ja purojen valuma-alueiden ominaisuuksista paikkatietomenetelmillä laadittu purohabitaatin luonnontilaisuusarvio (Aroviita ym. 2021) ei analyysini mukaan toiminut hyvin taimenelle soveltuvien elinympäristöjen tunnistamisessa. Korkein taimenen esiintymisen todennäköisyys oli suhteellisen alhaisen luonnontilaennusteen luokassa 2 ja luonnontilaennuste ei selittänyt tiheyden vaihtelua. Tulokset eivät tukeneet hypoteesia, jonka mukaan taimenen esiintymisfrekvenssi tai taimentiheys olisi korkeampi purohabitaateissa, joiden luonnontilaennuste on korkea. Yksi todennäköinen syy tähän on luonnontilaennusteen toimimattomuus Lounais-Suomen savimailla ja maatalousympäristöissä. Tutkimusalueen purojen runsas maatalousalueiden määrä hyvin todennäköisesti vaikutti tuloksiin, sillä purojen luonnontilaennuste on kehitetty erityisesti metsäpuroille, ja mallia on kehitetty metsätalousvaltaisen lijoen vesistöalueen puroinventointitiedoilla (Hyvänen ym. 2005; Aroviita ym. 2021). Luonnontilaennustemallin muuttujista valuma-alueen turvemaiden prosenttiosuus ja rantametsien monimuotoisuus, kuvaavat erityisesti metsäalueiden muuttuneisuutta.

Tutkimusalueellani taimenta esiintyi kaikissa luonnontilaennusteluokissa (1–5). Tekeväni tilastomallin mukaan todennäköisyys taimenen esiintymiselle oli suurimmillaan luokan 2 puroissa. Luonnontilaisemmissa, luokkien 3 ja 4 puroissa, oli runsaasti koekalastuksia, joissa taimenta ei ollut tavattu. Tilastomallin ennuste taimenen esiintymiselle oli huonompi 3–4-luokan puroille kuin luokan 2 puroille, joissa oli suhteessa enemmän koekalastuksia, joissa taimen esiintyy kuin koekalastuksia, joissa taimen ei esiintynyt. Taimenen esiintyminen luonnontilaennusteen luokkien yksi ja kaksi purohabitaateissa voivat selittyä esimerkiksi alueiden kytkeytyvyydellä luonnontilaisempiin purojaksoihin.

Paikkatietomuuttujiin perustuvan luonnontilaennusteen muuttujina on sekä purouoman tilaa että valuma-alueen muuttuneisuutta kuvaavia muuttujia, turvamaiden ojitusten määrä, rantametsien monimuotoisuus ja purouoman mutkaisuus (Aroviita ym. 2021). Taimen on elinympäristöltään melko vaativa, joten valuma-alueen maankäytön ja purouoman muuttuneisuuden olisi voinut olettaa selittävän taimenen esiintymisfrekvenssiä tai taimentiheyksiä. Esimerkiksi Sutelan ym. (2021) mukaan turvamaiden ojitukset vähensivät taimenen esiintymistodennäköisyyttä. Ojitusten aiheuttama kiintoainekuormitus voi muuttaa koko eliöyhteisöä merkittävästi ja vaikuttaa siten muun muassa taimenen ravinnon määrään tai heikentää taimenen lisääntymismenestystä vaikuttamalla sorapohjien tilaan (Turunen ym. 2019; Vuori & Joensuu 1996).

Purojen luonnontilaennustemallissa on muuttujana myös rantametsien monimuotoisuutta kuvaava Zonation aineisto (Mikkonen ym. 2018; Aroviita ym. 2021). Rantametsien määrällä ja laadulla on merkittävä vaikutus, erityisesti pienten virtavesien ekologiseen tilaan (Tolkkinen ym. 2020; Tolkkinen ym. 2021). Esimerkiksi Turunen ym. (2019) tutkivat rantapuuston vaikutusta maatalousalueiden jokien pohjaeläimistöön ja havaitsivat, että rantametsillä oli selvä positiivinen vaikutus pohjaeläimistön lajikoostumukseen ja myös kalalajiston runsauteen. Österling & Högberg (2014) havaitsivat, että rantametsien avohakkuut korreloivat negatiivisesti taimentiheyksien kanssa ja, että lehtimetsien osuudella oli positiivinen vaikutus taimentiheyksiin. Myös maatalousalueilla rantapuuston vähäisyys vaikuttaa virtavesiekosysteemiin, mutta myös maatalouden hajakuormitus heikentää vedenlaatua ja vaikuttaa siten eliöyhteisön rakenteeseen (Turunen ym. 2016). Rantametsät ovat tärkeitä myös veden viileänä pysymiselle (Turunen ym. 2021), mikä on tärkeää viileän veden kalalajille taimenelle.

Maatalousalueiden virtavesille on tyypillistä, että viljelysalueiden ja virtavesien väliin jää hyvin kapea puustoinen ja pensaikkoinen kasvillisuusvyöhyke (kuva 12). Tällaisten kapeidenkin puustoisten rantametsien on kuitenkin todettu lisäävän virtavesien lajidiversiteettiä (Turunen ym. 2019), joten ne saattavat luoda myös taimenelle hyvin soveltuvia elinympäristöjä ja siten vaikuttaa taimenen esiintymiseen ja taimentiheyksiin maatalousalueiden virtavesissä. Myös Tolkkisen ym. (2021) mukaan rantametsillä oli suurin yksittäinen positiivinen vaikutus pienten ja keskisuurien virtavesien ekologiseen tilaan maatalousalueilla. Purohabitaatin luonnontilaennustemallissa tällaiset kapeat

rantapuustot jäävät huomiotta tai saavat matalan arvon, sillä niiden arvo on matala Zonation-analyysillä tuotetussa metsien monimuotoisuusaineistossa, jonka rasteriaineiston pikselikoko on 96x96 metriä (Mikkonen ym. 2018). Todennäköisesti maatalousalueen uomien paikkatietopohjaisessa luonnontila-arviossa tulisi huomioida kapeiden rantametsien ja pensaikkojen vaikutus.



Kuva 4. Paimionjoen vesistön Karhunoja on valuma-alueeltaan maatalousvaltainen, mutta puron rannalla on paikoin kapeita lehtipuuvaltaisia metsiä.

Mahdollisesti tutkimusalueen virtavesissä taimenen esiintymistä selittää virtavesien ominaisuuksia ja tekijöitä, joita ei ollut mukana luonnontilaennusteessa. Tällaisia voivat olla esimerkiksi virtavesiin purkautuvan pohjaveden määrä ja valuma-alueen maaperä. Esimerkiksi Romakkaniemi ym. (2020) havaitsivat, että pohjavedenpurkautumisalueet olivat taimenen poikasten suosiossa, mutta syitä pohjaveden suosimiseen ei tunneta riittävästi. Lounais-Suomen savimaan jokien virtavesissä pohjavesivaikutteisten purojen merkitys taimenen lisääntymisalueina voi korostua, sillä olosuhteet niissä voivat olla taimenelle paremmin soveltuvia kuin savimaiden joissa. Lisääntymiseen soveltuvien sora-pohjien esiintyminen ja sorapohjien määrän on todettu olevan oleellinen taimenen poikastuotantoa rajoittava tekijä (Amstrong ym 2003.; Kondolf ym. 1993; Pulg ym. 2019), joten myös maaperän laatu ja erityisesti soraesiintymät, saattaisivat selittää taimenen esiintymistä paremmin kuin purohabitaatin luonnontilaisuus. Myös

tutkimusaineistostani laatimani taimenen esiintymiskartta viittaa, että taimenen lisääntymisalueet sijaitsevat erityisesti puroissa ja erityisesti puro-osuuksilla, jotka saavat alkunsa maa- ja kallioperän soraesiintymien kuten harjumuodostelmien alueelta tai virtaavat tällaisten alueiden läpi. Tällaisilla alueilla on hyvin todennäköisesti runsaammin taimenen lisääntymiseen soveltuvia sorapohjia ja toisaalta pohjavettä purkautuu virtavesiin todennäköisimmin tällaisilta maaperältään karkearakeisilta alueilta.

Toisaalta useissa tutkimuksissa valuma-alueen maankäytöllä ei ole havaittu selvää vaikutusta kalayhteisöjen monimuotoisuuteen. Esimerkiksi Vehasen ym. (2020) mukaan alueelliset tekijät kuten kasvillisuus- ja ilmastovyöhyke ennustivat kalayhteisön rakennetta paremmin kuin paikalliset muuttujat kuten jokien koko tai maaperä. Myös voimakkaasti ihmisen muuttamassa ympäristössä Tonavajoen urbaaneilla-alueilla ja maatalousalueilla, maankäyttö ei selittänyt kalayhteisöjen rakennetta (Tóth ym. 2019). Sutela & Vehanen (2010) havaitsivat kuitenkin valuma-alueen maatalousalueiden määrän vaikuttavan negatiivisesti virtavesien taimentiheyksiin. Valuma-alueen maankäytöllä saattaa siis olla enemmänkin vaikutusta paikallisiin ympäristöolosuhteisiin ja elinympäristöjen laatuun ja siten mieluummin kalatiheyksiin kuin lajidiversiteettiin tai esimerkiksi taimenen esiintymiseen.

Useissa tutkimuksissa taimenen on todettu olevan sopeutuvainen laji ja se voi menestyä myös ihmistoiminnan muuttamissa vesistöissä (Jonsson & Jonsson 2011). Sopeutuvaisena lajina taimen voi kestää tiettyyn pisteeseen asti valuma-alueen muuttuneisuutta ja siitä aiheutuvia epäedullisia elinympäristömuutoksia. Suomessakin esimerkiksi Itämeren rannikkoalueen virtavesissä taimenta esiintyy myös useissa urbaaneissa ja maatalousvaltaisissa virtavesissä, vaikkakin taimenkannat ovat monin paikoin heikentyneet (Saura ym. 2021). Taimen on menestynyt myös kokonaan rakentamalla luodussa uomassa, Imatran kaupunkipurossa (Koski 2021).

Myös pelkästään alueen taimenkantojen uhanalaisuus, matalat taimentiheydet ja purojen voimakkaasti heikentynyt tila voivat olla syynä luonnontila ennusteen toimimattomuuteen taimenen poikastiheyksien tai taimenen esiintymisen selittäjinä. Uhanalaiset ja heikentyneet taimenkannat eivät välttämättä soveltuneet hyvin luonnontilaennusteen testaamiseen, koska tilastollinen testaus jää heikoksi taimenpurojen vähäisen määrän takia ja koska luonnontilaisia puroja ei käytännössä ole jäljellä lainkaan.

Luonnontilaennusteen soveltuvuutta taimenelle soveltuvien purojen tunnistamiseen heikentää myös se, aineistoissa ei ole mukana kaikkein pienimpiä virtavesiuomia, vaan ennusteen laskennassa on käytetty Suomen ympäristökeskuksen laatimaa Ranta10-uomaverkostoa, jossa on mukana valuma-alueeltaan yli 10 km² kokoiset virtavesiuomat (SYKE 2022).

Huonokuntoisia purojaksoja eli luonnontilaennusteen 1 ja 2 saaneita purojaksoja on koekalastettu hyvin vähän. Suurin osa koekalastusaineistosta on kerätty selvitysten yhteydessä, joiden tavoitteena on ollut selvittää taimenen esiintymistä tai tunnettujen taimenpurojen poikastiheyksiä. Koekalastuspaikoiksi on siten valikoitunut erityisesti virtavesien ominaisuuksien perusteella arvioituja taimenen lisääntymiseen soveltuvia koskia ja virtapaikkoja, joten koekalastusaineisto ei edustana satunnaisotantaa alueen puroista vaan koekalastuksia on kohdennettu erityisesti paikkoihin, jotka on arvioitu potentiaalisiksi taimenen esiintymisalueiksi. Tulosten arvioinnissa tulee huomioida, että esimerkiksi kaikkein muokatuimmat, muun muassa kokonaan maatalousalueilla virtaavat olettavasti huonokuntoiset ja taimenen lisääntymiseen huonosti soveltuvaksi arvioidut purot ovat koekalastusaineistossa aliedustettuina.

4.3. Johtopäätökset

Tutkimukseni tulosten mukaan taimenkannat Saaristomereen laskevissa joissa ovat heikentyneet viime vuosikymmenien aikana ja useat alueen taimenkannat ovat vaarassa hävitä lähitulevaisuudessa, ellei poikastuotannossa tapahdu muutosta parempaan. Taimenkantojen uhanalaistumiseen vaikuttanee alueen virtavesien monin tavoin heikentynyt tila, mutta nämä muutokset eivät olleet tutkimukseni aiheina ja tarvitsevat jatkotutkimuksia. Myös jokiin tehtyjen istutusten loppumisella viime vuosituhanen vaihteessa on saattanut olla vaikutusta taimenkantojen nykytilaan.

Työssäni testasin myös paikkatietopohjaisen purohabitaatin luonnontilaennusteen soveltuvuutta taimenen esiintymistodennäköisyyden ja taimentiheyksien ennustajana. Tutkimusaineistollani luonnontilaennuste ei toiminut tähän tarkoitukseen. Syynä on mahdollisesti luonnontilaluokituksen heikko sopivuus maatalousympäristöjen virtavesille. Toisaalta todistetusti taimen kykenee sopeutumaan ja elämään myös

ihmistoiminnan muuttamissa virtavesissä, joten purojen luonnontilaisuutta ei yksistään voida pitää kriteerinä taimenen menestymiselle.

Tämän työn sisältöä voidaan hyödyntää Saaristomeren taimenkantojen hoidon ja suojelun suunnittelussa, elinympäristökunnostusten kohdentamisessa ja taimenkantojen seurannassa. Kuten ICES (2021) on suositellut niin taimenkantojen tilan seuranta tulisi parantaa seuraamalla poikastiheyksiä ja perustamalla vakioituja seurantakoealoja ja uomia. Virtavesien paikallisia olosuhteita kuten lämpötiloja ja vedenlaatua olisi myös syytä tutkia, jotta vesistöjen ominaispiirteitä voitaisiin paremmin hyödyntää taimenen elinympäristökunnostusten kohdentamisessa.

Keräämäni ja kokoamani tutkimusaineisto mahdollistaa myös jatkotutkimusaiheiden suunnittelun. Jatkossa mielenkiintoinen tutkimuksen kohde olisi esimerkiksi elinympäristökunnostusten mahdolliset vaikutukset uhanalaisten taimenkantojen kehitykseen. Viime vuosina toteutetut vaellusesteiden poistot, kalatiet ja lisääntymisalueiden kunnostukset voivat olla tärkeitä taimenkantojen elpymiselle ja tulokset voivat näkyä viiveellä kunnostusten toteutuksesta. Elpyvästä poikastuotannosta on jo varovaisia viitteitä osassa kunnostetuissa kohteissa (Tolonen & Aaltonen, julkaisematon). Myös taimenen käyttäytymistutkimukset, esimerkiksi telemetriatutkimuksilla tai PIT-merkeillä (*engl. Passive Integrated Transponder*) taimenpuroissa olisivat mielenkiintoisia ja toisivat arvokasta tietoa taimenen käyttäytymisestä sovellettavaksi taimenen suojeluun ja elinympäristökunnostusten toteuttamiseen. Vaellusesteiden poistamisen myötä taimenkantojen genetiikkatutkimuksilla saataisiin tietoa mahdollisista muutoksista taimenkantojen rakenteessa. Myös ilmastonmuutoksen mahdolliset vaikutukset taimenen elinympäristöihin ja taimenkantojen tilaan ovat mielenkiintoinen tutkimusaihe.

Suomen virtavesien kalayhteisöjen rakennetta ja taimenta käsittelevä tutkimus on keskittynyt boreaalisen havumetsävyöhykkeen virtavesiin. Jatkossa myös eteläisimmän Suomen hemiboreaalisen alueen virtavesien taimenkannat ja kalayhteisöt olisi hyvä huomioida virtavesien kalayhteisöjä ja lohikaloja käsittelevässä tutkimuksessa, sillä olosuhteet ovat hyvin poikkeavat verrattuna esimerkiksi Keski-Suomen tai Pohjois-Suomen virtavesiin.

Kiitos

Kiitos Turun yliopiston ekologian ja evoluutiobiologian professorille Veijo Jormalaiselle ja ekologian ja evoluutiobiologian yliopistonlehtori Sami Merilaidalle sekä Luonnonvarakeskuksen erikoistutkija Ari Huuskolle, asiantuntevasta ohjauksesta ja kärsivällisyydestä. Erityinen kiitos myös kaikille kanssani vuosien varrella koekalastuksiin osallistuneille ja työyhteisölleni, joka on mahdollistanut työskentelyn itselleni rakkaan aiheen, virtavesien, parissa jo useita vuosia.

Varsinais-Suomen virtavesien koekalastuksia, taimenen elinympäristökunnostuksia on toteutettu vuosien varrella erityisesti Varsinais-Suomen ELY-keskuksen myöntämällä valtion kalatalouden ja vesienhoidon rahoituksella. Kiitos ELY-keskuksen kalastusbiologi Leena Rannikolle yhteistyöstä ja aineistoista. Vuosien 2020–2022 aikana työskentelyä, koekalastusaineiston keräämistä ja aineiston käsittelyä on toteutettu Luonnonvarakeskuksen koordinoiman Euroopan meri- ja kalatalousrahaston Kalatalouden ympäristöohjelman rahoituksella.

Lähteet

- Aaltonen, J. 2009. Uskelanjoen vesistön sähkökoekalastukset vuonna 2006 ja taimenkannan (*Salmo trutta* L.) DNA-tutkimus. Opinnäytetyö, kala- ja ympäristötalouden koulutusohjelma. Turun ammattikorkeakoulu. 46 s.
- Aaltonen, J. 2011a. Kiskonjoen-Perniönjoen vesistön sähkökoekalastukset vuosina 2007 ja 2009 sekä taimenkannan DNA-analyysi. Salon seudun kalastusalue. 68 s.
- Aaltonen J. 2011b. Kiskonjoen-Perniönjoen vesistön virtavesien kalataloudellinen kunnostustarveselvitys. Salon seudun kalastusalue. 63 s.
- Aaltonen J. & Penttilä T. 2016. Paimionjoen vesistön virtavesien kunnostustarveselvitys. Iktys Oy. 174 s.
- Aaltonen, J. & Tolonen, J. 2019a. Saaristomeren luonnonvaraiset taimenkannat. Suomen Kalastuslehti 3: 18–19. Kalatalouden keskusliitto.
- Aaltonen, J. & Tolonen, J. 2019b. Tierumpujen vaellusesteet auki. Suomen Kalastuslehti 8: 16–17. Kalatalouden keskusliitto.
- Aaltonen, J. & Tolonen J. 2019 c. Virtavesikunnostukset 2018 – vuosiraportti. Valonia/Varsinais-Suomen liitto. 49 s.
- Aaltonen J. & Tolonen J. 2021. Kemiönsaaren virtavesien kartoitukset. Saaristomeren rannikon pienvedet hankkeen raportti. Valonia/Varsinais-Suomen liitto. 56 s.
- Aas Ø., Einum S., Klemetsen A. & Skurdal J. 2010. Atlantic Salmon Ecology. Blackwell Publishing Ltd. 496 s.
- Ahola, M. & Havumäki, M. (toim.). 2008. Purokunnostusopas – Käsikirja metsäpurojen kunnostajille. Ympäristöopas 2008. Kainuun ympäristökeskus, Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus. 89 s.
- Almodóvar A., Nicola G., Ayllón D. & Elvira B. 2011. Global warming threatens the persistence of Mediterranean brown trout. *Global Change Biology* 19:1549-1560. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02608.x>
- Armstrong J.D., Kemp P.S., Kennedy G.J.A., Ladle M. & Milner N.J. 2003. Habitat requirements of Atlantic salmon and brown trout in rivers and streams. *Fisheries research* 62:143-170. [https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(02\)00160-1](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(02)00160-1)
- Allan J. & Castillo M. 2007. Stream ecology. Structure and function of running waters. Springer, Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5583-6>
- Arohonka J. 1973. Tutkimuksia Ruskonjoen ja sen sivupurojen kalapopulaatioista. C1-tutkielma. Turun yliopiston Eläintieteen Laitos Os 1.

- Aroviita J., Ilmonen J., Rajakallio M., Sutela T., Mykrä H., Martinmäki-Aulaskari K., Karttunen K., Kuoppala M., Leinonen A., Jyväsjärvi J., Ulvi T., Vehanen T. & Virtanen R. 2021. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 25/2021. Suomen ympäristökeskus, vesikeskus.
- Blicharska M. & Rönnbäck P. 2018. Recreational fishing for sea trout—Resource for whom and to what value? *Fisheries Research* 204: 380–389. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2018.03.004>
- Butler, J. R., Radford, A., Riddington, G., and Laughton, R. 2009. Evaluating an ecosystem service provided by Atlantic salmon, sea trout and other fish species in the River Spey, Scotland: the economic impact of recreational rod fisheries. *Fisheries Research* 96: 259–266. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2008.12.006>
- Brown B.L. & Swan C.M. 2010. Dendritic network structure constrains metacommunity properties in riverine ecosystems. *Journal of Animal Ecology* 79: 571–580. doi: 10.1111/j.1365-2656.2010.01668.x
- Clews E., Durance I., Vaughan I., & Ormerod S. 2010. Juvenile salmonid populations in a temperate river system track synoptic trends in climate. *Global Change Biology*, 16: 3271–3283. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02211.x>
- Dasgupta, P. 2021. The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review. London HM Treasury.
- Dudgeon D., Arthington A. H., Gessner M. O., Kawabata Z.-I., Knowler D. J., Lévêque C., Naiman R. J., Prieur-Richard A.-H., Soto D., Stiassny M. L. J. & Sullivan C. A. 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews* 81:163–182. <https://doi.org/10.1017/S1464793105006950>.
- Elliott J.M. 1994. Quantitative ecology and the brown trout. Oxford University Press, Oxford.
- Elliott J.M. & Elliott J.A. 2010. Temperature requirements of Atlantic salmon *Salmo salar*, brown trout *Salmo trutta* and Arctic charr *Salvelinus alpinus*: predicting the effects of climate change. *Journal of Fish Biology* 77: 1793–1817. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02762.x>
- Eloranta A. 2010. Virtavesien kunnostus. Julkaisu nro 165. Kalatalouden keskusliitto. 278 s.
- Ferguson, A., Reed, T., Cross, T.F., McGinnity P., & Prodöhl P. 2019. Anadromy, potamodromy and residency in brown trout *Salmo trutta*: the role of genes and the environment. *Journal of Fish Biology* 95: 692–718. <https://doi.org/10.1111/jfb.14005>
- Filipe A.F., Markovic D., Pletterbauer F., Tisseuil C., Wever A.D., Schmutx S., Bonada N. & Freyhof J. 2013. Forecasting fish distribution along stream networks: brown trout (*Salmo trutta*) in Europe. *Biodiversity Research* 10:1059–1071. <https://doi.org/10.1111/ddi.12086>
- Forsius, M., Anttila, S., Arvola, L., Bergström, I., Hakola, H., Heikkinen, H. I., Helenius, J., Hyvärinen, M., Jylhä, K., Karjalainen, J., Keskinen, T., Laine, K., Nikinmaa, E., Peltonen-Sainio, P., Rankinen, K., Reinikainen, M. J., Setälä, H. M., & Vuorenmaa, J. 2013. Impacts and adaptation options of climate change on

ecosystem services in Finland: a model based study. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5: 26-40. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.01.001>

Freyhof, J. 2011. *Salmo trutta*. The IUCN Red List of Threatened Species 2011: e.T19861A9050312. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T19861A9050312.en> (Luettu 2.5.2022).

Gosset C., Rives J. & Labonne J. 2006 Effect of habitat fragmentation on spawning migration of brown trout (*Salmo trutta* L.). *Ecology of Freshwater Fish* 15:3, 247–254. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2006.00144.x>

Gregow, H., Mäkelä, A., Tuomenvirta, H., Juhola, S., Käyhkö, J., Perrels, A., Kuntsi-Reunanen, E., Mettiäinen, I., Näkkäläjärvi, K., Sorvali, J., Lehtonen, H., Hildén, M., Veijalainen, N., Kuosa, H., Sihvonen, M., Johansson, M., Leijala, U., Ahonen, S., Haapala, J., Korhonen, H., Ollikainen, M., Lilja, S., Ruuhela, R., Särkkä, J. & Siiriä, S.-M., 2021. Ilmastomuutokseen sopeutumisen ohjauskeinot, kustannukset ja alueelliset ulottuvuudet. Suomen ilmastopaneelin raportti 2/2021. 134 s.

Hakala M. 2014. Vastakuoriutuneiden taimenten (*Salmo trutta*) istutukset Turun seudun virtavesissä. Opinnäytetyö, Kala – ja ympäristötalous. Turun ammattikorkeakoulu. 42 s.

Heggenes J. & K.H. Røed. 2006. Do dams increase genetic diversity in brown trout (*Salmo trutta*)? Micro-geographic differentiation in a fragmented river. *Ecology of freshwater fish* 15:366-375. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2006.00146.x>

Hynes, H.B.N. (1975) *The Stream and its Valley*. Internationale Vereinigung Für Theoretische Und Angewandte Limnologie. Verhandlungen, 19, 1–15.

HELCOM 2011. *Salmon and Sea Trout Populations and Rivers in the Baltic Sea – HELCOM assessment of salmon (*Salmo salar*) and sea trout (*Salmo trutta*) populations and habitats in rivers flowing to the Baltic Sea*.

HELCOM 2013. *HELCOM Red List of Baltic Sea species in danger of becoming extinct*. Baltic Sea Environment Proceedings 140. Helsinki Commission. 106 s.

HELCOM 2022. *Sea trout populations and rivers in the Baltic Sea*. Baltic Marine Environment Protection Commission – Helsinki Commission.

Hurme, S. 1962. Suomen Itämeren puoleiset vaelluskalajoet. Maataloushallituksen kalataloudellinen tutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja N:o 24, 187 s.

Hurme, S. 1967. Lounais-Suomen lohi- ja meritaimenjoet. Maataloushallitus, Kalataloudellinen tutkimustoimisto. Suomen kalatalous - Finlands fiskerier 29. 17 s.

Huusko A., Kreivi P., Mäki-Petäys A., Nykänen M. & Vehanen T. 2003. Virtavesikalojen elinympäristövaatimukset. Perustietoa elinympäristömallisovelluksiin. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Paltamo. 39 s.

- Huusko, A, Louhi P, Marttila M., Korhonen P. & van der Meer O. 2021. 40 vuotta koskikunnostuksia Suomessa: Yhteenvedo seurantalutkimuksista. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 52/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 56 s.
- Huusko A., Vainikka A., Syrjänen J., Orell P., Louhi P & Vehanen T. 2017. Life-history of the adfluvial brown trout (*Salmo trutta* L.) in Eastern Fennoscandia. Teoksessa Lobón-Cervía J. & Sanz N. (toim.), Brown Trout: Biology Ecology and Management (s. 267–295). John Wiley & Sons Ltd.
- Hyvönen, S., Suanto, M., Luhta P-L, Yrjänä, T. & Moilanen E. 2005. Puroinventoinnit lijoen valuma-alueella vuosina 1998–2003. Alueelliset ympäristöjulkaisut 403.
- Häkkilä, K., Kuoppala, M., Heino, J., Ulvi, T. & Hämäläinen, L. 2015. Paikkatietopohjaisen purojen tilan arviointimenetelmän kehittäminen. Menetelmän tarve, perusteet ja käyttömahdollisuudet. PienvesiGIS-hanke, raportti. Suomen ympäristökeskus. 19 s.
- Hämäläinen L. (toim.) 2015. Pienvesien suojele- ja kunnostusstrategia. Ympäristöministeriön raportteja 27/2015. Ympäristöministeriö, Helsinki. 43 s.
- Ilmatieteenlaitos 2022. Suomen ilmastovyöhykkeet. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/suomen-ilmastovyohykkeet> (Luettu 2.5.2022).
- IPBES 2019. Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (editors). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1148 s.
- ICES. 2021. Baltic Salmon and Trout Assessment Working Group (WGBAST). ICES Scientific Reports. 3:26.
- Junker, J., Heiman F.U.M., Hauer C., Turowski J.M., Rickenmann D., Zappa M. & Peter A. 2015. Assessing the impact of climate change on brown trout (*Salmo trutta fario*) recruitment. *Hydrobiologia* 751: 1-21. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-2073-4>
- Jylhä, K., Tuomenvirta H., Ruosteenoja K. 2004. Climate change projections for Finland during the 21st century. *Boreal environment research* 9: 127–152.
- Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokolainen, L., Saku, S. & Seitola, T. 2009. Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten. ACCLIM-hankkeen raportti 2009. 78 s.
- Jonsson N. & Jonsson B. 1999. Trade-off between egg mass and egg number in brown trout. *Journal of Fish Biology* 55: 767-783. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1999.tb00716.x>
- Jonsson J., & Jonsson B. 2002. Migration of anadromous brown trout *Salmo trutta* in a Norwegian river. *Freshwater Biology* 47: 1391-1401. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2002.00873.x>

- Jonsson, B. & Jonsson, N. 2009. A review of the likely effects of climate change on anadromous Atlantic salmon *Salmo salar* and brown trout *Salmo trutta*, with particular reference to water temperature and flow. *Journal Of Fish Biology* vol 75: 2381-2447. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2009.02380.x>
- Jonsson, B. & Jonsson N. 2011. Ecology of Atlantic Salmon and Brown Trout Habitat as a Template for Life Histories. Springer, Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-1189-1>
- Jonsson B. & Jonsson N. 2017. Template for Life-Histories. Teoksessa Lobon-Cervia, J & Sunz, N. (edit). Brown trout: Biology, Ecology and management. Wiley.
- Julien H.P. & Bergeron N.E. 2006. Effect of Fine Sediment Infiltration During the Incubation Period on Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Embryo Survival. *Hydrobiologia* 563:61–71. <https://doi.org/10.1007/s10750-005-1035-2>.
- Junge, C. O. & J. Libosvsky, 1965. Effects of size selectivity on population estimates based on successive removals with electrical fishing gear. *Zool. Listy* 14:171–178.
- Jutila E., Koljonen M., & Koskiniemi J. 2015. Taimenen perinnöllinen erilaistuminen ja hoidon järjestäminen Isojoen vesistöissä. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 52/2015. 24 s.
- Kallio-Nyberg I., Koljonen M. & Jutila E. 2001. Taimenatlas. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Helsinki, 2001. Oy Edita ab.
- Kallio-Nyberg I., Saloniemi I., & Jutila E. 2015. Growth of hatchery-reared sea trout (*Salmo trutta trutta*) on the Finnish coast of the Baltic Sea. *Boreal Environment Research* 20: 19–34.
- Kallio-Nyberg I., Veneranta L., Saloniemi I. & Salminen M. 2018. Anadromous trout threatened by white-fish gill-net fisheries in the northern Baltic Sea. *Journal of Applied Ichthyology* 34:6. DOI:10.1111/jai.13771.
- Kipinä-Salokannel S. & Mäkinen M. (toim). 2021. Varsinais-Suomen ja Satakunnan vesienhoidon toimenpideohjelma vuosille 2022–2027. Raportteja 44/2021. Varsinais-Suomen ELY-keskus. 152 s.
- Kivinen J. 2016. Taimenen (*Salmo trutta*) kutusoraikot Keski-Suomen kunnostetuissa metsäjoissa. Pro Gradu tutkielma, Bio- ja ympäristötieteiden laitos, Akvaattiset tieteet, Jyväskylän yliopisto. 46 s.
- Klemetsen, A., Amundsen, P.A., Dempson, J. B., Jonsson, B., Jonsson, N., O’Connell, M. F., & Mortensen, E. 2003. Atlantic salmon *Salmo salar* L., brown trout *Salmo trutta* L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.): A review of aspects of their life histories. *Ecology of Freshwater Fish*, 12:1–59. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0633.2003.00010.x>
- Koivurinta M., Romakkaniemi, A., Saura A., Huhmarniemi A., Orell P., Jutila E. & Veneranta L. (toim.) 2019. Itämeren meritaimenen vesistökohtaiset elvytys- ja hoitosuunnitelmat - alkuperäiset meritaimenkannat Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2019:27. Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki. 85 s.

- Koljonen M.-L., Janatuinen A., Saura A. & Koskiniemi J. 2013. Koljonen et al. 2013. Genetic structure of Finnish and Russian sea trout populations in the Gulf of Finland. Working papers of the Finnish Game and Fisheries Institute 25/2013 Finnish Game and Fisheries Research Institute, Helsinki.
- Koljonen, M.-L., Gross, R. and Koskiniemi, J. 2014 . Wild Estonian and Russian sea trout (*Salmo trutta*) in Finnish coastal sea trout catches: results of genetic mixed-stock analysis. *Hereditas* 151: 177 – 195.
<https://doi.org/10.1111/hrd2.00070>
- Kontula T. & Raunio A. (toim.). 2018. Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppienpunainen kirja – Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus ja ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 5/2018. 388 s.
- Kondolf, G.M. & Wolman, M.G., 1993. The sizes of salmonid spawning gravels. *Wat. Resour. Res.* 29, 2275–2285. <https://doi.org/10.1029/93WR00402>
- Koski A. 2021. Keinotekoinen uoma taimenen (*Salmo trutta* L.) elinympäristönä verrattuna luonnon-uomiin. Pro gradu -tutkielma, Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos, Akvaattiset tieteet. 46 s.
- Kännö S. 1971. Piirteitä kalojen ja ympyräsuisten esiintymisestä erityyppisissä lounaissuomalaisissa joissa. *Turun ylioppilas* 15:65–107.
- Laaksonlaita J. & Huhta E. (toim.) 2013. Taimen Turun seudun virtavesissä – kalataloudellinen kunnostus-
tarvekartoitus. Turun ammattikorkeakoulun raportteja 165. Turun ammattikorkeakoulu, Turku. 104 s.
- Landergren, P. 2001. Sea trout *Salmo trutta* L. in small streams on Gotland; the coastal zone as a growth habitat for parr. PhD Thesis. Stockholm, Sweden. Stockholm University.
- Lobon-Cervia, J & Sunz, N. (edit). Brown trout: Biology, Ecology and management. Wiley. 808 s.
- Louhi, P & Mäki-Petäys A 2003. Elämää soraikon ulkopuolella ja sisällä – lohen ja taimenen kutupaikan valinta sekä mädin elinympäristövaatimukset. *Kalatutkimuksia* 191. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Edita Prima Oy, Helsinki. 23 s.
- Louhi, P., Mäki-Petäys A. & Erkinaro J. 2008. Spawning habitat of Atlantic salmon and brown trout: general criteria and intragravel factors. *River Research and Applications*, 24:330-339.
<https://doi.org/10.1002/rra.1072>
- Louhi, P., Ovaska, M., Mäki-Petäys, A., Erkinaro, J., & Muotka, T. 2011. Does fine sediment constrain salmonid alevin development and survival? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 68, 1819–1826.
<https://doi.org/10.1139/f2011-106>
- Maa- ja metsätalousministeriö 2015. Kansallinen lohi- ja meritaimenstrategia 2020 Itämeren alueelle. Valtioneuvoston periaatepäätös 16.10.2014.

- Marttila, M., Louhi, P., Huusko, A., Vehanen, T., Mäki-Petäys, A., Erkinaro, J., Syrjänen, J.T. & Muotka, T. 2019. Synthesis of in-stream restoration impacts on young-of-the-year (YOY) salmonids in boreal rivers. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 29: 513–527. <https://doi.org/10.1007/s11160-019-09557-z>.
- Mikkonen N., Leikola N., Lahtinen A., Lehtomäki J. & Halme P. 2018. Monimuotoisuudelle tärkeät metsä-alueet Suomessa - Puustoisten elinympäristöjen monimuotoisuusarvojen Zonation-analyysien loppuraportti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 9/2018.
- Muotka, T. & Syrjänen, J. 2007. Changes in habitat structure, benthic invertebrate density, trout populations and ecosystem processes in restored forest streams: a boreal perspective. *Freshwater Biology* 52: 724–737. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2007.01727.x>.
- Nuotio, E. & Koskiniemi, J. 1995. Varsinais-Suomen purotaimenselvitys. Helsinki. Turun maaseutuelinkeinopiiri. Kala- ja riistahallinnon julkaisuja nro. 16.
- Mikkonen, N., Leikola, N., Lahtinen, A., Lehtomäki, J. & Halme, P. 2018. Monimuotoisuudelle tärkeät metsäalueet Suomessa. Puustoisten elinympäristöjen monimuotoisuusarvojen Zonation-analyysin loppuraportti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 9. <http://hdl.handle.net/10138/234359>
- Mäntynen J. & Saura A. 2002. Saaristomeren meritaimenen kalastus 1990-luvulla Carlin-merkintöjen perusteella. Kala- ja riistaraportteja 258. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. 36 s.
- Ojala V. 2017. Taimenistutukset ja istutuspaikkojen sähkökoekalastukset Paimionjoella 2017. Paimionjokiyhdistys. 20 s.
- Olin, M., Lappalainen, A.; Sutela, T., Vehanen, T., Ruuhijärvi, J., Saura, A. & Sairanen, S. Ohjeet standardin mukaisiin koekalastuksiin. RKT:n työraportteja 21/2014. 22 s.
- Orell P., Erkinaro J., Kannianen T. & Kuusela J. 2018. Migration behaviour of sea trout (*Salmo trutta*, L.) in a large sub-arctic river system: evidence of a two-year spawning migration. Teoksessa Harris G. 2018. Sea Trout: Science & Management: Proceedings of the 2nd International Sea Trout Symposium. Matador. s. 396–409.
- Pokki H. Artella J., Mikkola J., Orell P. & Ovaskainen V. 2018. Valuing recreational salmon fishing at a remote site in Finland: A travel cost analysis. *Fisheries Research*. 208:145–156. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2018.07.013>
- Porkka J. 2022. Kauttuankosken virtausolosuhteiden ja fluviaaligeomorfologian vaikutukset taimenen elinolosuhteisiin. Maantieteen pro gradu -tutkielma. Turun yliopisto. 89 s.
- Pulg U., Vollset K. & Lennox R. 2019. Linking habitat to density-dependent population regulation: How spawning gravel availability affects abundance of juvenile salmonids (*Salmo trutta* and *Salmo salar*) in small streams. *Hydrobiologia* 841:13–29. <https://doi.org/10.1007/s10750-019-03997-1>

- Ranta T., Mäkinen P. & Puranen M. 2016. Paimionjok-hankkeen sähkökoekalastukset v. 2016. Hämeen kalatalouskeskuksen raportteja nro 12/2016. 16 s.
- Reid, A. J., Carlson, A. K., Creed, I. F., Eliason, E. J., Gell, P. A., Johnson, P. T. J., Kidd K.A., MacCormack T.J., Olden J.D., Ormerod S.J., Smol J.P., Taylor W.W., Tockner K., Vermaire J.C., Dudgeon D. & Cooke, S. J. 2019. Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity. *Biological Reviews* 94:849–873. <https://doi.org/10.1111/brv.12480>.
- Rohtla M., Matetski L., Svirgsden R., Kesler M., Taal I., Saura A., Vaittinen M. & Vetemaa M. 2017. Do sea trout *Salmo trutta* parr surveys monitor the densities of anadromous or resident maternal origin parr, or both? *Fish Management and Ecology* 24: 156–162. <https://doi.org/10.1111/fme.12214>
- Romakkaniemi, A., Jounela, P. & Olli van der Meer. 2020. The impact of groundwater upwelling on the Tornionjoki trout: Project report. Natural resources and bioeconomy studies 70/2020. Natural Resources Institute Finland. Helsinki. 29 s.
- Ruosteenoja K., Jylhä K. & Kämäräinen M. 2016. Climate Projections for Finland Under the RCP Forcing Scenario. *Geophysica* 51:17–50.
- Saura, A. 2021. Julkaisussa: Raitaniemi, J. & Sairanen, S. (toim.). Kalakantojen tila vuonna 2020 sekä ennuste vuosille 2021 ja 2022: Silakka, kilohaili, turska, lohi, meritaimen, siika, kuha, ahven ja hauki. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 61/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 9–23.
- Seber G.A.F. & Le Cren E.D. 1967 Estimating population parameters from catches large relative to the population. *Journal of Animal Ecology* 36: 631-643.
- Sutela T. & Vehanen T. 2010. Responses of fluvial fish assemblages to agriculture within the boreal zone. *Fisheries Management and Ecology* 17: 141-145. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2009.00711.x>
- Sutela, T., Vehanen, T., Jounela, P., Aroviita, J. 2021. Species-environment relationships of fish and map-based variables in small boreal streams: Linkages with climate change and bioassessment. *Ecology and Evolution* 11:10457–10467. <https://doi.org/10.1002/ece3.7848>
- Syrjänen J., Vainikka A., Louhi P., Huusko A., Orell P. & Vehanen T. 2017. History, Conservation and Management of Adfluvial Brown Trout Stocks in Finland. Teoksessa Lobon-Cervia, J & Sunz, N. (edit).2017. Brown trout: Biology, Ecology and management. Wiley. s. 697–733.
- SYKE 2022. Resurssityypit, Paikkatiedot ja kaukokartoitus, Ranta10 - rantaviiva 1:10 000. ><https://ckan.ymparisto.fi/dataset/ranta10-rantaviiva-1-10-000>< (Luettu 2.5.2022).
- Østergaard S., Hansen M.M., Loeschcke V. & Nielsen E.E. 2003. Long-term temporal changes of genetic composition in brown trout (*Salmo trutta* L.) populations inhabiting an unstable environment. *Molecular Ecology* 12: 3123–3135. <https://doi.org/10.1046/j.1365-294x.2003.01976.x>.

- Tamario C, Degerman E, Polic D, Tibblin P, Forsman A. 2021 Size, connectivity and edge effects of stream habitats explain spatio-temporal variation in brown trout (*Salmo trutta*) density. *Proceedings of the Royal society B*. 288: 20211255. <https://doi.org/10.1098/rspb.2021.1255>
- Tammela I. 2009. Taimenen (*Salmo trutta*) kutupaikkavalinta Keski-Suomen koskissa. Pro Gradu. Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta, Bio- ja ympäristötieteiden laitos, Kalabiologia ja kalatalous Jyväskylän yliopisto. 47 s.
- Tolkkinen, M. J., Heino, J., Ahonen, S. H. K., Lehosmaa, K. & Mykrä, H. 2020. Streams and riparian forests depend on each other: A review with a special focus on microbes. *Forest Ecology and Management* 462: 117962. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.117962>
- Tolkkinen M., Vaarala S. & Aroviita J. 2021. The Importance of Riparian Forest Cover to the Ecological Status of Agricultural Streams in a Nationwide Assessment. *Water resources Management* 35: 4009–4020. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02923-2>
- Tolonen J. 2016. Purilanjoen vesistön kalataloudellinen kunnostustarveselvitys. Valonia – Varsinais-Suomen kestävän kehityksen ja energia-asoiden palvelukeskus. 61 s.
- Tolonen J. 2017. Halikonjoen vesistön kalataloudellinen kunnostustarveselvitys. Halikonjoen vesistö vaeluskalojen elinympäristönä. Valonia / Varsinais-Suomen liitto. 63 s.
- Tolonen J. & Ylönen 2017. Kiskonjoen-Perniönjoen vesistön sähkökoekalastukset 2016. Salon seudun kalastusalue. 29 s.
- Tolonen J. & Aaltonen J. 2021. Virtavesien kunnostushanke 2019–2020, Loppuraportti. Valonia / Varsinais-Suomen liitto. 29 s + liitteet.
- Tóth R. Czeglédib I., Kern B. & Erős T. 2018. Land use effects in riverscapes: Diversity and environmental drivers of stream fish communities in protected, agricultural and urban landscapes. *Ecological Indicators* 101:742–748. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.063>
- Turunen, J., Marttila, H., Kämäri, M., Saari, M., Heikkinen, K., Postila, H. & Koljonen S. 2019. Kiintoaineen eroosio ja sedimentaatio virtavesissä: luonnollisesta prosessista virtavesien ongelmaksi. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 46/2019.
- Turunen J., Markkula J., Rajakallio M. & Aroviita J. 2019. Riparian forests mitigate harmful ecological effects of agricultural diffuse pollution in medium-sized streams. *Science of the Total Environment* 649: 495–503. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.427>
- Turunen J., Elbrecht V., Steinke D. & Aroviita J. 2021. Riparian forests can mitigate warming and ecological degradation of agricultural headwater streams. *Freshwater Biology* 66: 785–798. <https://doi.org/10.1111/fwb.13678>

Urho L., Koljonen M., Saura A., Savikko A. Veneranta A. & Janatuinen A. 2019. Kalat. Julkaisussa: Hyvärinen, E., Juslén, A., Kemppainen, E., Uddström, A. & Liukko, U.-M. (toim.) 2019. Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2019. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus. Helsinki. S. 263–312.

Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R. & Cushing, C.E. 1980. The River Continuum Concept. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 37:130–137.

Varsinais-Suomen ELY-keskus 2022. Kalatalous. Kalaistutusrekisteri.

Vehanen T., Sutela T. & Harjunpää A. 2020. The effects of ecoregions and local environmental characteristics on spatial patterns in boreal riverine fish assemblages. Ecology of Freshwater Fish 29:739-751. <https://doi.org/10.1111/eff.12550>

Vuori K-M. & Joensuu I. 1996. Impact of forest drainage on the macroinvertebrates of a small boreal headwater stream: Do buffer zones protect lotic biodiversity? Biological Conservation 77:87–95. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(95\)00123-9](https://doi.org/10.1016/0006-3207(95)00123-9)

Westman, K. 1974 Uhanalaiset kalalajimme ja kalakantamme, sekä niiden suojelu ja säilyttäminen. (Threatened fish species and fish stocks in Finland and their protection and conservation). Tiedonantoja No 3. Riista – ja kalatalouden tutkimuslaitos kalantutkimusosasto.

Whitlock R.E., Kopra J., Pakarinen T., Jutila E., Leach A.W., Levontin P., Kuikka S. & Romakkaniemi A. 2017. Mark-recapture estimation of mortality and migration rates for sea trout (*Salmo trutta*) in the northern Baltic sea. ICES Journal of Marine Science, 74:286–300, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsw152>.

WWF 2020. Living Planet Report 2020 -Bending the curve of biodiversity loss. Almond, R.E.A., Grooten M. and Petersen, T. (Eds). WWF, Gland Switzerland.

Zaidel P. A., A. H. Roy, K. M. Houle, B. Lambert, B. H. Letcher, K. H. Nislow & C. Smith (2021). Impacts of small dams on stream temperature. Ecological Indicators 120: 106878. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106878>

Österling M. & Högberg J. 2014. The impact of land use on the mussel *Margaritifera margaritifera* and its host fish *Salmo trutta*. Hydrobiologia 735: 213-220. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1501-1>