



Luonnonvara- ja
biotalouden
tutkimus 6/2018

Päijänteiden ja sen latvavesien taimenkantojen geneettiset resurssit

Marja-Liisa Koljonen, Jukka Tapani Syrjänen, Jarmo Koskiniemi ja
Petri Heinimaa

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 6/2018

Päijänteiden ja sen latvavesien taimenkantojen geneettiset resurssit

Marja-Liisa Koljonen, Jukka Tapani Syrjänen, Jarmo Koskiniemi ja Petri Heinimaa

Luonnonvarakeskus, Helsinki 2018



Koljonen, M.-L., Syrjänen, J. T., Koskiniemi, J. ja Heinimaa, P. 2018. Päijänteen ja sen latvavesien taimenkantojen geneettiset resurssit. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 6/2018. Luonnonvarakeskus, Helsinki. 56 s.

ISBN 978-952-326-535-6 (Painettu)

ISBN 978-952-326-536-3 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-536-3>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Marja-Liisa Koljonen, Jukka Tapani Syrjänen, Jarmo Koskiniemi ja Petri Heinimaa

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2018

Julkaisuvuosi: 2018

Kannen kuva: Juuso Lievonon

Painopaikka ja julkaisumyynti: Juvenes Print, <http://luke.juvenesprint.fi>

Tiivistelmä

Marja-Liisa Koljonen¹, Jukka Tapani Syrjänen², Jarmo Koskiniemi³ ja Petri Heinimaa¹

¹ Luonnonvarakeskus

² Jyväskylän yliopisto

³ Helsingin yliopisto

Geneettisen monimuotoisuuden, eli diversiteetin, säilyttäminen edellyttää tietoa siitä, kuinka olemassa oleva geneettinen diversiteetti on jakautunut eri alueille, populaatioiden ja populaatioryhmien välille, sekä mikä on kunkin populaation sisäisen perinnöllisen diversiteetin määrä.

Tämän työn tavoitteena oli selvittää luontaisten taimenkantojen perinnöllinen rakenne ja eri taimenkantaryhmien alueellinen jakautuminen Päijänteen vesistön ja sen latvavesien alueella. Tämän geneettisen tiedon avulla on mahdollista tehostaa ja tarkentaa taimenkantojen hoitoa ja voidaan muodostaa taimenkantojen suojele- ja hoitoyksiköitä lajin hoitostrategiaa varten.

Tämä selvitys on loppuraportti useamman vuoden aikana kerätyistä Kymijoen vesistön taimennäytteistä. Näytteitä kerättiin erityisesti Suur-Päijänteen vesistön alueelta ja siihen laskevista reittivesistöistä eli Saarijärven, Viitasaaren ja Rautalammin reiteiltä, sekä lisäksi Äänekosken ja Jämsän reiteiltä. Reittivesistöt analysoitiin erikseen. Luonnosta kerättyjen näytteiden lisäksi käytettävissä oli viljelykantanäytteitä Rautalamminreitin, Luutajoen Kermankosken ja Ohtaojan taimenkannoista mahdollisen istutusvaikutuksen selvittämiseksi.

Koko aineisto tässä raportissa sisälsi yhteensä 114 Kymijoen vesistöstä eri alueelta tai eri aikana kerättyä taimenten populaationäytettä, yhteensä 1994 taimenesta. Näistä 5 populaationäytettä, eli 260 yksilöä, oli Luken Laukaan kalanviljelylaitokselta Rautalammin reitin järvitaimenen emokalaston viljelykalanäytteitä ja 109 useamman yksilön luonnonkalanäytteitä yhteensä 1734 kalasta. Näytteistä analysoitiin 16 DNA-mikrosatelliittigeenilokuksen muuntelu. Aineistosta laskettiin näytteiden sisältämät geneettisen diversiteetinmäärät, arvioitiin populaatioiden sisäinen sukulaisuuden aste, laskettiin geneettisesti teholliset koot ja populaatioiden perhemäärät. Edelleen laskettiin taimennäytteiden välinen sukulaisuus ja tehtiin geneettiseen etäisyyteen perustuvat sukupuuanalysit.

Saarijärven reitin taimenkantanäytteiden geneettinen rakenne kuvastaa varsin hyvin populaatioiden maantieteellisiä etäisyyksiä ja taimenten todellisia vaellusyhteyksimahdollisuuksia. Geneettisen diversiteetin määrä ei ollut alentunut kuin Moksijoen ja Karajoen alueilla. Eri alueiden taimenkantojen teholliset koot olivat kuitenkin varsin pieniä. Viitteitä istutusten geneettisistä vaikutuksista oli selvimminkin Saarijärven reitin pääuoman alaosassa.

Viitasaaren reitillä Kärnän reitin taimenet ryhmittivät keskenään samaan ryhmään ja samoin eteläisemmät Isojoen ja Jurvonjoen taimenet. Joilla saattaa olla myös yhteistä istutushistoriaa. Hilmonjoen taimenessa oli myös viitteitä Rautalamminreitin viljelykannan vaikutuksesta.

Rautalammin reitin taimen oli kolmen suuren reittivesistön homogeenisin geneettisesti ja luonnonvarainen taimen ja viljelty järvitaimen olivat hyvin samanlaisia. Muutama yksittäinen paikallinen taimen esiintyi latvavesillä. Suur-Päijänteen taimenet ryhmittivät useaan ryhmään, joiden geneettistä rakennetta erilainen istutustausta selitti.

Suur-Päijänteen vesistön ja sen latvavesien taimenpopulaatiot muodostavat geneettisesti varsin hajanaisen kokonaisuuden ja tyypillistä on rajallisilla alueilla elävät varsin pienet, pienten perhemäärien varassa elävät populaatiot, joiden geneettisen diversiteetin määrä oli jo paikoin alentunut. Perinnöllisen rakenteen perusteella vesistöalueille voitiin ehdottaa pienten samankaltaisten populaatioiden muodostamia hoitoyksiköitä geneettisen monimuotoisuuden säilymisen turvaamiseksi.

Asiasanat: Taimen, *Salmo trutta*, perinnöllinen monimuotoisuus, DNA-mikrosatelliitti, perinnöllinen rakenne, hoitoyksiköt

Sisällys

1. Johdanto	5
2. Aineisto ja menetelmät	6
2.1. Kymijoen vesistö vesistöreitteineen	6
2.2. Taimennäytteet.....	6
2.3. Geneettiset menetelmät.....	8
2.3.1. Laboratoriomenetelmät.....	8
2.3.2. Tilastolliset menetelmät.....	9
3. Vesistöreittikohtaiset tulokset ja tarkastelut	10
3.1. Saarijärven reitti 14.6.....	10
3.1.1. Kutualueet ja taimenkantojen tila.....	10
3.1.2. Taimennäytteet.....	12
3.1.3. Geneettisten analyysien tulokset.....	12
3.1.4. Tulosten tarkastelu ja hoitosuositukset	17
3.2. Viitasaaren reitti 14.4.....	18
3.2.1. Kutualueet ja taimenkantojen tila.....	18
3.2.2. Taimennäytteet.....	19
3.2.3. Geneettisten analyysien tulokset.....	21
3.2.4. Tulosten tarkastelu ja taimenkantojen hoitosuositus.....	25
3.3. Rautalammin reitti 14.7. ja Äänekosken reitti 14.3	26
3.3.1. Kutualueet ja taimenkantojen tila.....	26
3.3.2. Taimennäytteet.....	29
3.3.3. Geneettisten analyysien tulokset.....	29
3.3.4. Tulosten tarkastelu ja taimenkantojen hoitosuositus.....	34
3.4. Arvajan reitti 14.2.	34
3.4.1. Kutualueet ja taimenkantojen tila.....	34
3.4.2. Taimennäytteet.....	35
3.4.3. Geneettisten analyysien tulokset.....	36
3.5. Suur-Päijänne 14.2 ja Jämsän reitti 14.5.....	38
3.5.1. Kutualueet ja taimenkantojen tila.....	38
3.5.2. Taimennäytteet.....	39
3.5.3. Geneettisten analyysien tulokset.....	41
3.5.4. Tulosten tarkastelu ja taimenkantojen hoitosuositus.....	48
4. Pohdinta ja johtopäätökset.....	50
Viitteet	53
5. Liitteet	54

1. Johdanto

Geneettisen monimuotoisuuden, eli diversiteetin, säilyttäminen edellyttää tietoa siitä, kuinka olemassa oleva geneettinen diversiteetti on jakautunut eri alueille, populaatioiden ja populaatioryhmien välille, sekä mikä on kunkin populaation sisäisen perinnöllisen diversiteetin määrä. Populaatioiden perinnöllinen erilaistuminen luo diversiteettiä populaatioiden välille ja mahdollistaa niiden sopeutumisen omaan elinympäristöönsä. Toisaalta populaatioiden pilkkoutuminen liian pieniksi ja niiden pitkä eristynyt asema voi vähentää diversiteettiä liikaa, ja altistaa pienet populaatiot haitalliselle sukulaisuuden lisääntymiselle. Luonnossa pienikin yksilöiden siirtyminen populaatiosta toiseen ja sen aiheuttama geenivirta voi ylläpitää maantieteellisesti läheisten populaatioiden yhteisiä geenivaroja ja mahdollistaa silti myös osin paikallisen erilaistumisen. Perinnöllisen monimuotoisuuden maksimaalisessa suojelussa täytyy ottaa huomioon nämä molemmat kehityssuunnat, erilaistumisen lisääntyminen ja sukulaistumisen lisääntyminen, ja luoda tasapaino näiden välille ja tulevalle kehitykselle siten, että on mahdollista tehokkaasti turvata monimuotoisuuden säilyminen pitkällä aikavälillä.

Napapiirin eteläpuoleiset sisävesien taimenkannat on luokiteltu erittäin uhanalaiseksi (EN, endangered) vuoden 2010 valtakunnallisessa lajien uhanalaisuuden arvioinnissa (Urho ym. 2010). Taimenkannat ovat pienentyneet ja kadonneet vesistöjen patoamisen, virtavesien perkausten, paikoin vedenlaadun heikkenemisen sekä suuren kalastuskuolevuuden takia. Eri organisaatiot ovat lisäksi istuttaneet taimenta ainakin viimeisen sadan vuoden ajan eteläiseen Suomeen mätinä, ruskuaispusipoikasina, jokipoikasina, vaelluspoikasina, onkikokoisina ja jopa sukukypsinä suurikokoisina emokaloina. Istutuksia on tehty useimmiten suurvesistöjen omilla kannoilla, mutta osin myös päävesistöjen välillä.

Oletettavasti sellaiset jäljellä olevat luonnonvaraiset taimenkannat, joiden alueelle on istutettu vuosikymmenien ajan viljeltyjä yksilöitä, ovat todennäköisesti menettäneet osan alkuperäisestä perintöaineekseen ja saaneet tilalle perimää istutuskannasta. Sellaiset taimenkannat, joiden elinalueelle ei ole koskaan istutettu viljelytaimonia, saattavat nykyään olla jo vähemmistönä. Tällaisia kantoja löytyy todennäköisimmin puroista, joissa ei ole harjoitettu kalastus- tai kalanviljelytoimintaa. Purot on kuitenkin Etelä-Suomessa pääosin perattu metsien, soiden ja peltojen kuivattamiseksi ja niihin on rakennettu satoja tai tuhansia patoja sekä kymmeniä tuhansia tierumpuja (Eloranta ja Eloranta 2016). Tämän seurauksena purojen taimenkantojen elinalueet ovat heikentyneet ja niillä on erittäin paljon vaellusesteitä. Purojen jäljellä olevatkin taimenkannat ovat siksi nykyään pieniä ja osa niistä on jo selvästi häviämisuhanalaisia.

Koillismaan eteläpuolella sijaitsee neljä suurta päävesistöaluetta, joissa on myös suuria järviä. Nämä ovat Kokemäenjoen vesistö, Kymijoen vesistö, Vuoksen vesistö ja Oulujoen vesistö. Vähiten padottu suurvesistöalue näistä lienee Kymijoen vesistö. Voimakkaimmat luonnonvaraiset taimenkannat näistä neljästä suurvesistöstä elänevät nykyään siten Kymijoen vesistössä. Kymijoen vesistösäkin luonnonvaraiset kannat ovat kuitenkin pääosin pieniä, ja kutukanta koostuu reittikoskillakin pääosin paikallisista taimenista (Syrjänen ym. 2013, Syrjänen ym. 2014). Päijänteessä ja siihen laskevissa vesistöissä elää kuitenkin vielä joitakin vaeltavia yksilöitä (Syrjänen ym. 2014), jotka muodostavat viimeiset rippeet historiallisista vahvoista vaeltavista järvitaimenkannoista.

Tämän työn tavoitteena oli selvittää luontaisten taimenkantojen perinnöllinen rakenne ja eri taimenkantaryhmien alueellinen jakautuminen Päijänteen vesistön ja sen latvavesien alueella. Tämän geneettisen tiedon avulla on mahdollista tehostaa ja tarkentaa taimenkantojen hoitoa ja voidaan muodostaa taimenkantojen suojelu- ja hoitoyksiköitä lajin hoitostrategiaa varten.

2. Aineisto ja menetelmät

2.1. Kymijoen vesistö vesistöreitteen

Kymijoen päävesistöalue koostuu pääosin kahdesta suuresta osavesistöstä. Nämä ovat Suur-Päijänteen vesistö ja Mäntyharjun reitti. Suur-Päijänteen vesistön valuma-alue on alaltaan 26 459 km² ja käsittää Kymijoen päävesistöalueen valuma-alueesta 71 %, jos vesistön alaraja asetetaan Päijänteen luusuaan Kalkkistenkoskeen (Ekholm 1993). Tämä tutkimus kohdistuu Suur-Päijänteen vesistöön ja siihen laskeviin latvavesiin. Mäntyharjun reitin taimenkantoja on käsitelty aiemmassa raportissa (Piironen ym. 2016).

Suur-Päijänteen vesistön pohjoisosa käsittää pohjoisesta etelään laskevat kolme reittivesistöä eli Saarijärven, Viitasaaren ja Rautalammin reitit (Kuva 1, Kuva 2). Saarijärven ja Viitasaaren reitit yhtyvät Kuhnamo-järvessä muodostaen Äänekosken reitin (Leppäveden – Kynsiveden reitti), johon laskee alempana myös Rautalammin reitti. Äänekosken reitti laskee Vaajakosken kautta Päijänteeseen. Näiden lisäksi Päijänteeseen laskee suoraan kaksi muuta merkittävää reittiä, jotka ovat luoteesta Jämsän kohdalla järveen laskeva Jämsän reitti sekä idästä Sysmän kohdalla Majutveteen laskeva Sysmän reitti eli Tainionvirran reitti. Päijänteen luusuan pääuoma Kalkkistenkoskessa on vapaa ja säännöstelemätön, mutta sivu-uomassa on säännöstelypato. Vesistön suurimmat järvet ovat Päijänne, Viitasaaren reitillä Keitele, Rautalammin reitillä Konnevesi ja Sysmän reitillä Suontee.

2.2. Taimennäytteet

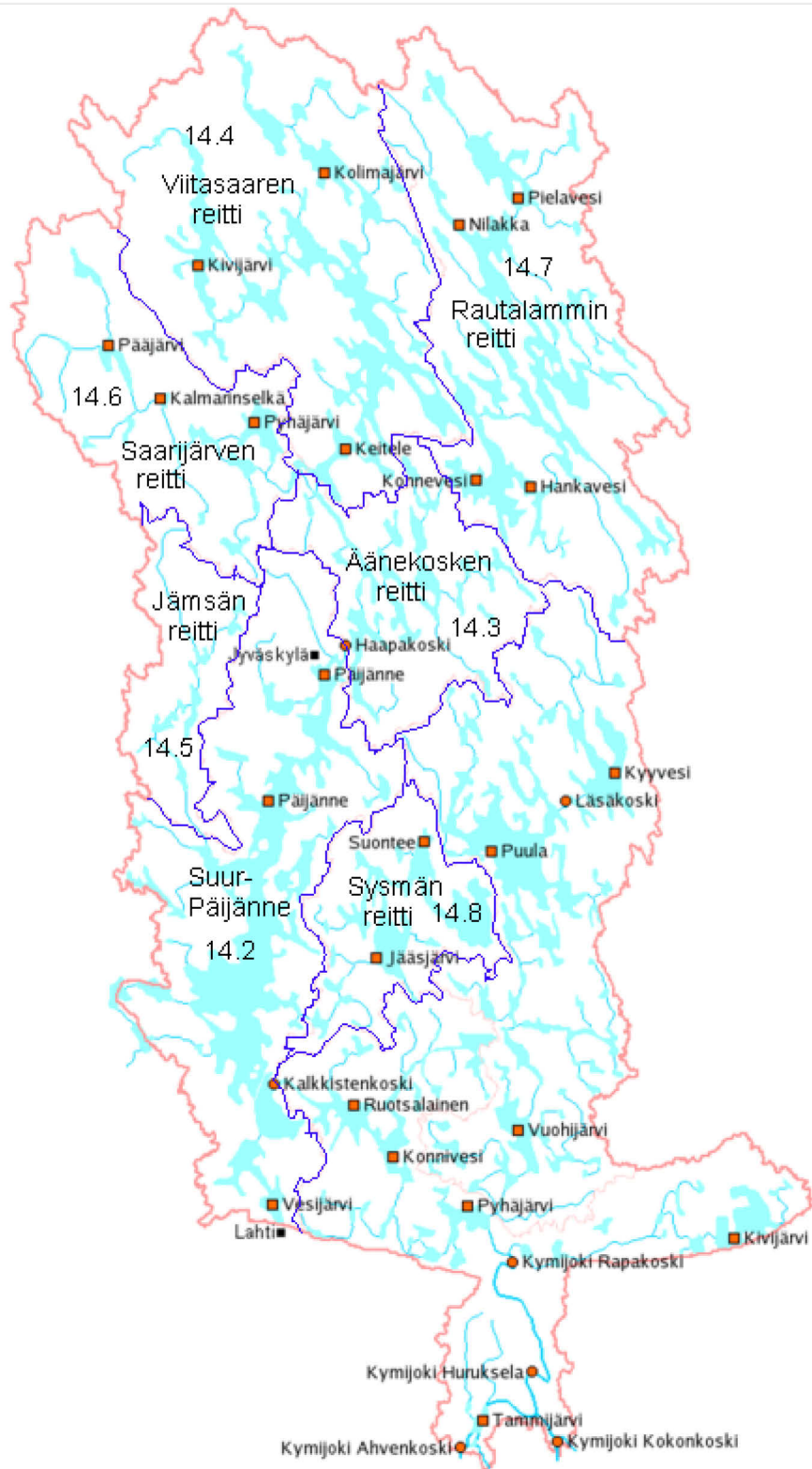
Suur-Päijänteen ja sen latvavesien taimennäytteitä on aiempina vuosina analysoitu yli tuhannesta yksilöstä eri toimijoiden toimeksiannosta, osin Keski-Suomen ELY:n rahoituksella. Tässä työssä täydennettiin aineistoa tarvittavilta osin. Syksyllä 2016 ja keväällä 2017 kerättiin näytteitä vielä puuttuvilta tärkeiltä taimenen lisääntymisalueilta, erityisesti mahdollisesti vaeltavista taimenkannoista, mutta myös runsaimmista jäljellä olevista paikallisista taimenkannoista. Tässä yhteydessä raportoidaan koko geneettinen aineisto Suur-Päijänteen ja sen latvavesien taimenista ja tämä hanke on saanut avustusta kalastonhoitomaksuvaroista Pohjois-Savon ELY-keskukselta vuosina 2016 ja 2017.

Taimenia pyydystettiin virtavesistä pääosin sähkökalastusmenetelmällä ja pienessä määrin vapaikalastusvälineillä. Näytteitä otettiin sellaisista kalayksilöistä, jotka vaikuttivat ulkonäkönsä perusteella luonnossa syntyneiltä. Näytekaloiksi hyväksyttiin siten sellaiset taimenet, joiden evät olivat ehjät ja suurikokoiset, eväruodot suorat ja ruumiinmuoto normaali. Näytetaimenia kerättiin eri osista virtavettä ja näytteitä otettiin mahdollisimman monesta vuosiluokasta. Varsinkin pienistä populaatioista saatiin saaliiksi kuitenkin usein vain yhtä tai kahta vuosiluokkaa. Näytteeksi leikattiin saksilla muutama neliömillimetrin pala vatsa- tai pyrstöevästä. Pala säilöttiin denaturoimattomaan etanoliin. Evänäytteet kerättiin pääosin 2010-luvulla. Työssä käytettiin myös taimenen suomunäytteitä, joita oli kerätty eri tarkoituksessa pääosin 1990-luvulla.

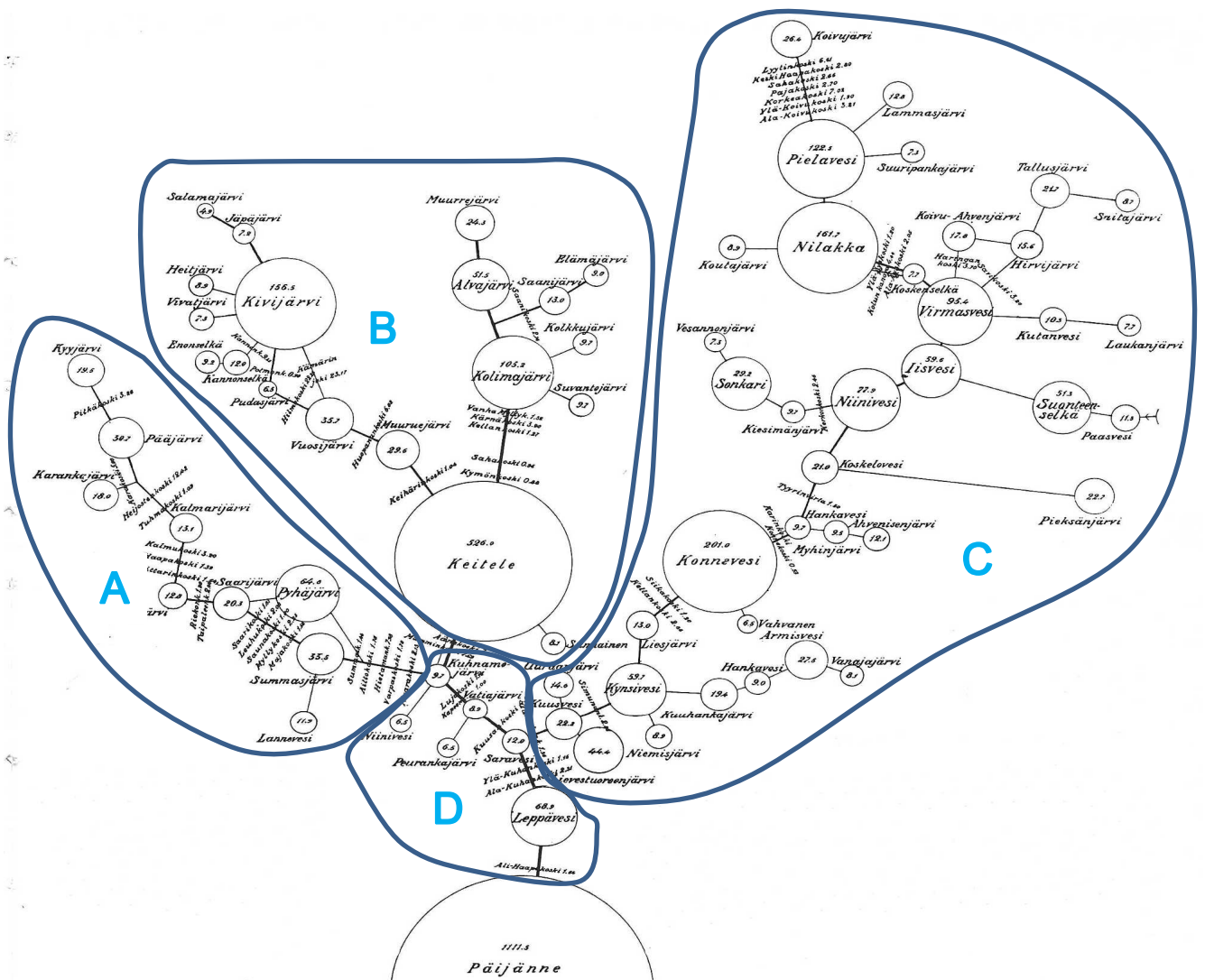
Aiemmat tulokset on raportoitu vuosittain, viimeksi vuonna 2015 yhdistettynä raporttina: Taimenkantojen geneettinen analyysi: Saarijärven Moksinjoki ja Kotajoki, Säkylän Pyhäjoki, muutama Päijänteeseen laskeva puro sekä Jyväskylän Keljonpuro ja Petäjaveden Könkköjoki ja Ohrajoki (Koskiniemi 14.12.2015), sekä vuonna 2016 Keski-Suomen taimenkantojen geneettinen kartoitus (Koljonen ja Koskiniemi 2016).

Koko aineisto tässä raportissa sisälsi yhteensä 114 Kymijoen vesistöstä eri alueelta tai eri aikana kerättyä taimenten populaationäytettä, yhteensä 1994 taimenesta. Näistä 5 populaationäytettä, eli 260 yksilöä, oli Luken Laukaan kalanviljelylaitokselta Rautalammin reitin järvitaimenen emokalaston viljelykalanäytteitä ja 109 useamman yksilön luonnonkalanäytteitä yhteensä 1 734 kalasta (Liite 1). Tähän yhdistelmä-raporttiin analysoitiin 318 aiempina vuosina kerättyä yksittäisen taimenen suomunäytettä ja 622 uutta vuosina 2016 ja 2017 kerättyä kudosnäytettä, eli yhteensä 940 uutta näytettä.

Vanhoista suomunäytteistä DNA-tulos saatiin 90 %:sta näytteitä ja uusista kudoksenäytteistä 96 %:sta tutkittuja näytteitä. Tulos tuli kaikkiaan yhteensä 900 uudesta näytteestä. Eri raportteihin kerättyjä näytteitä ei ole eritelty jatkossa. Näytekohtaiset tiedot on kuvattu kunkin analysoidun vesistöalueen yhteydessä tarkemmin.



Kuva 1. Kymijoen vesistö. Tutkimukseen sisältyvät valuma-alueet on merkitty valuma-alue numeroin ja nimin. (Lähde: taustakartta: Maanmittauslaitos, valuma-alue rajat: SYKE).



Kuva 2. Päijänteen latvavedet kaaviokuvana, jossa on esitetty Saarijärven reitti (A), Viitasaaren reitti (B), Rautalammin reitti (C) ja Äänekosken reitti (D) Ympyrässä olevat luvut kuvaavat järvien pinta-ala neliökilometreinä (Kaavion lähde: Paananen ja Pakkanen, 1992).

2.3. Geneettiset menetelmät

2.3.1. Laboratoriomenetelmät

Taimenten kudoksenäytteet säilöttiin etanoliin. DNA eristettiin Qiagen DNEasy Tissue-eristyskitillä. Uusista kerätyistä näytteistä analysoitiin samat 16 DNA-mikrosatelliittilokusta vertailukelpoisesti aiempien näytteiden kanssa. Käytetyt laboratorio-menetelmät olivat samat, joita on käytetty taimentutkimuksissa LUKE:n (aiemmin RKTL:n) ja Helsingin yliopiston maataloustieteen laitoksen genotyypitys-laboratorion töissä (Koljonen ym. 2014, Jutila ym. 2015, Koljonen ym. 2016, Piironen ym. 2016, ja Jutila ym. 2016). Määritetyt DNA-mikrosatelliittigeenilokukset olivat BS131, SSosl311, SSosl417, SSosl438, Str15INRA, Str60INRA, Strutta58, OneU9, SSa197, SSa407, SSa85, Str73INRA, Str85INRA, SSa289, SSsp1605 ja SSsp2201. PCR-reaktiot analysoitiin Abi-kapillaari-elektroforesilaitteella ja laitteistoon kuuluvalla GeneMapper-ohjelmistolla.

2.3.2. Tilastolliset menetelmät

DNA-aineistosta laskettiin näytteiden sisältämät geneettisen diversiteetin määrät, arvioitiin populaatioiden sisäinen sukulaisuuden aste, laskettiin geneettisesti teholliset koot ja populaatioiden perhemäärät. Edelleen laskettiin taimennäytteiden välinen sukulaisuus ja tehtiin sukupuuanalyysit.

Perinnöllisen muuntelun määrä kuvattiin keskimääräisenä diversiteettinä (heterotsygotian määränä), havaittuina geenimuoto- eli alleelimäärinä populaatiossa, ja pienimmän otoskoon mukaan otoskokostandardoituina alleelimäärinä, eli alleelirikkkautena. Populaatioiden yksilöiden välistä pariumin satunnaisuutta mitattiin Fis-indeksillä, joka antaa viitteitä populaatioiden sekoittumisesta tai pariumin yksilöiden sukulaisuuden lisääntymisestä.

Populaatioiden perinnöllistä laajuutta mitattiin tehollisella populaatiokoolla (N_e), tehollisen ja todellisen populaation näytekoon suhteella (N_e/N) ja näytteessä esiintyneiden perheiden määrällä.

Se missä määrin lasketut arviot kuvastavat populaation todellista tilannetta riippuu siitä, kuinka hyvin näytteet kattavat tutkittavat populaatiot. Jos populaation kaloista jäi huomattava osa otoksen ulkopuolelle, näyte kuvastaa heikommin populaation todellista tilaa. Otokset, joissa pääosa perheistä on saatu mukaan otokseen, ovat näin ollen arvioina lähempänä todellisuutta myös tehollisen koon (N_e) ja perhemäärien osalta. Tehollisen ja todellisen koon suhde (N_e/N) sen sijaan voi kuvata kokonaistilannetta populaatiossa, vaikka otos olisikin vain pienehkö osa alueen koko populaatiosta.

Suosituksen mukaan ylläpidettävän populaation tehollinen koko tulisi olla > 50 yksilöä ja samoin perhemäärän yli 50 perhettä, jotta perinnöllinen monimuotoisuus säilyisi. N_e/N vaihtelee välillä 0–2 ja sen on arvioitu sen olevan luonnonpopulaatiolla usein noin 0,5. Populaatioiden tai vuosiluokkien yhdistäminen voi nostaa sitä selvästi. Suunnitellulla parittamisella viljelyolosuhteissa N_e/N voi olla jopa 2. Arvot jotka ovat selvästi alle 0,5 voidaan katsoa kertovan pienestä populaatiosta aiheutuvaksi lisääntyneeksi sukulaisuudeksi.

Muuntelun mitat ja Fis-arvot ja niiden tilastollinen merkitsevyys laskettiin FSTAT-ohjelmalla (versio 2.9.3.2) (Goudet 1995, Goudet 2001) (<http://www2.unil.ch/popgen/softwares/fstat.htm>). Jos Fis-arvo on merkitsevästi positiivinen, on populaatiossa odotettua enemmän homotsygootteja yksilöitä, mikä viittaa sukulaisuuden lisääntymiseen, ja mikäli Fis on merkitsevästi negatiivinen se viittaa homotsygoottien alimäärään ja populaatioiden risteytymiseen tai alapopulaatorakenteeseen.

Populaatioiden teholliset koot (N_e) ja täyssisarperheiden määrä laskettiin COLONY-ohjelmalla (Wang 2004, Wang & Santure 2009) ja populaatioiden sisäiset keskimääräiset kaikkien yksilöiden väliset parittaiset sukulaisuudet COANCESTRY-ohjelmalla (Triodic Likelihood, Wang 2007). Luonnossa hyvänä sukulaisuuden asteena pidetään noin 3 % tai sen alle olevia arvoja. Suuremmat arvot viittaavat pieneen lisääntyvään populaatiokokoon ja lisääntyvien yksilöiden läheiseen sukulaisuuteen. Sisarusten sukulaisuus on 50 %, puolisisarten 25 % ja serkkujen 12,5 %.

Populaatioiden välisiä eroja mittaavat Fst-arvot laskettiin FSTAT-ohjelmalla. Samoin populaatioiden välisten erojen merkitsevyys alleelifrekvensseissä testattiin FSTAT-ohjelmalla, sillä se sisältää Bonferro-ni-korjauksen useille testeille.

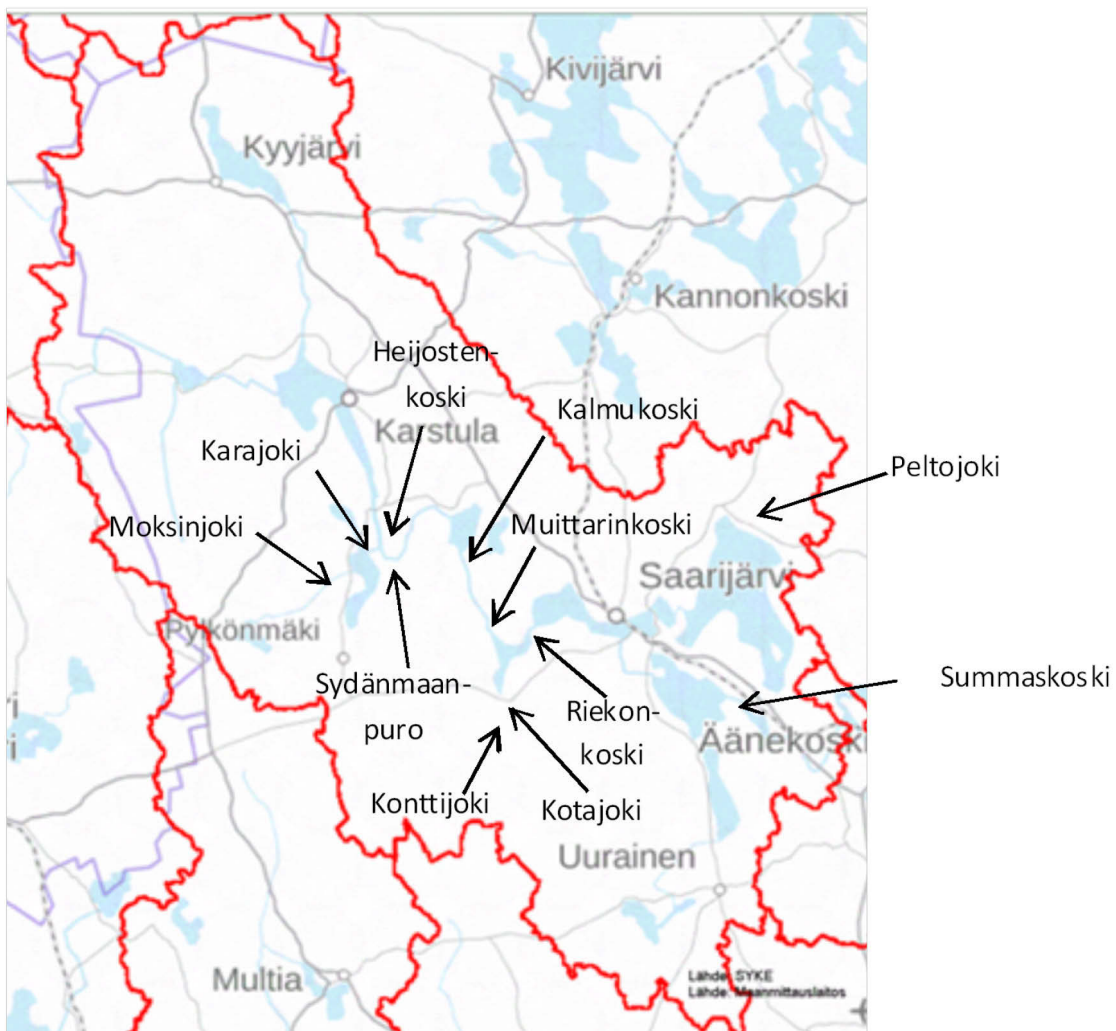
Populaatioiden väliset perinnölliset etäisyydet (Nein DA-etäisyys, Nei ym. 1983, Takezaki 1998) laskettiin Populations 1.2.32 -ohjelmalla (<http://www.bioinformatics.org/~tryphon/populations/>). Geneettisiä etäisyyksiä vastaava sukupuurakenne (NJ-tree, Saitou & Nei 1987) piirrettiin Treeview-ohjelmalla (<http://taxonomy.zoology.gla.ac.uk/rod/treeview.html>) (Page 2000).

3. Vesistöreittikohtaiset tulokset ja tarkastelut

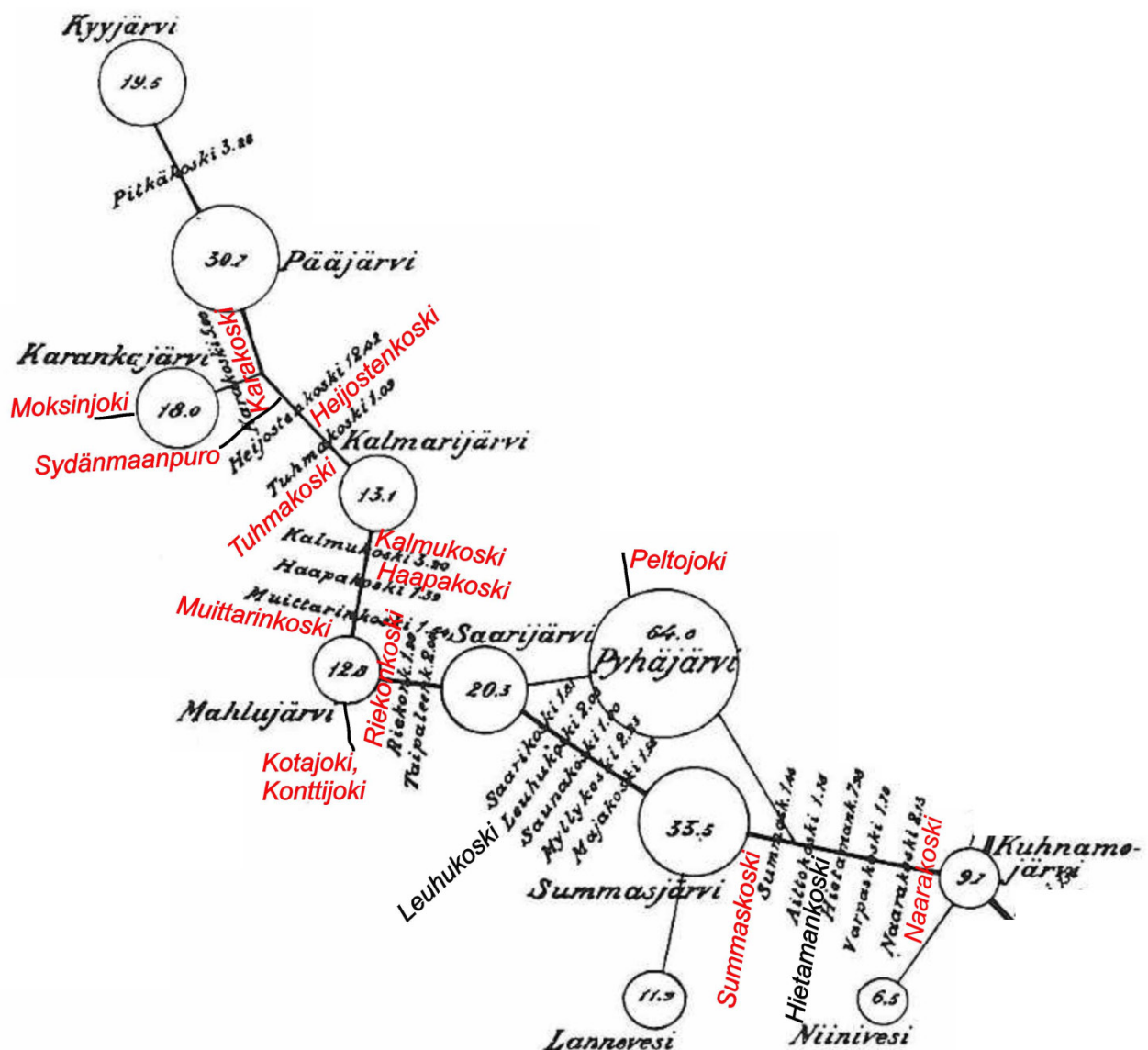
3.1. Saarijärven reitti 14.6

3.1.1. Kutualueet ja taimenkantojen tila

Saarijärven reitin (Kuva 3) suurin järvi on Pyhäjärvi, mutta pääreitti virtaa sen ohi (Kuva 4). Vedenlaatu reitillä lienee kehnoin Päijänteen vesistössä. Reitän valuma-alueella on tehty runsaasti metsä- ja suo-ojituksia, ja on myös paljon turvetuotantoa, minkä seurauksena pääreitän järvien ja koskien vedessä on paljon humusta. Reitän alaosan kaksi suurta koskialuetta, Leuhukoski ja Hietamankoski, ovat padottuina (Kuva 4). Molempiin rakennettiin vesivoimala ja koko uoman kattava pato ilman kalateitä 1960-luvulla. Leuhukoskessa sijaitsee tosin pienempi voimala jo vuodesta 1927 lähtien. Reitän pääuomastossa lienee vapaata koskialaa noin 20 hehtaaria ja sivujoissa ehkä 5–10 hehtaaria (Vesihallitus 1980).



Kuva 3. Saarijärven reitin eli vesistöalueen 14.6 näytevesistöt. (Lähde: taustakartta: Maanmittauslaitos, valuma-alue rajat: SYKE).



Kuva 4. Saarijärven reitin järvet ja kosket kaaviona (Lähde: Keiteleeltä lisvedelle, Paananen ja Pakkanen 1992). Ympyrässä olevat luvut kuvaavat järvien pinta-alaa neliökilometreinä. Koskien nimien perässä olevat luvut esittävät niiden putoukorketta metreinä. Taimennäytepaikat on merkitty punaisella. Reitillä alimpana on Kuhnajärvi.

Taimen kuitenkin lisääntyy luontaisesti jossain määrin pääreitien koskilla, kuten Heijosten-, Muittarin- ja Riekonkoskella (Heinimaa ym. 2016)(Kuva 4), sekä ainakin muutamilla sivureiteillä, -joilla ja -puroilla (Honkanen 2017).

Rautalammin reitin järvitaimenen viljelykantaa on istutettu pääreitille jo vuosikymmenten ajan todennäköisesti vuosittain, mutta ei välttämättä sivujoihin ja -puroihin. Karajoen, Konttijoan ja Kota-joen koskiin taimenia on istutettu huomattavasti harvemmin ja Moksinjokeen ei tietävästi koskaan (Mikko Leminen, kirjallinen tiedonanto). Myös Vuoksen vesistön taimenta on mahdollisesti istutettu Saarijärven reitin koskiin.

3.1.2. Taimennäytteet

Saarijärvenreitin alueelta saatiin analyysiin yhteensä 307 kappaletta taimenen kudus- tai suomunäytteitä (Taulukko 1., suomi = s). Tuhmakoskesta ja Naarakoskesta oli vain 1 kala, joten nämä näytteet jätettiin pois jatkossa, samoin Haapakosken 3 kalan näyte (Kuva 4). Eri vuosilta samoista paikoista otetut näytteet yhdistettiin otoskokojen suurentamiseksi.

Taulukko 1. Taimennäytteet Saarijärven reitiltä. Näytepaikka ja näytteenottovuosi, sekä valuma-alueen kolmannen jakotason numero ja paikan EUREF-FIN koordinaatit on ilmoitettu.

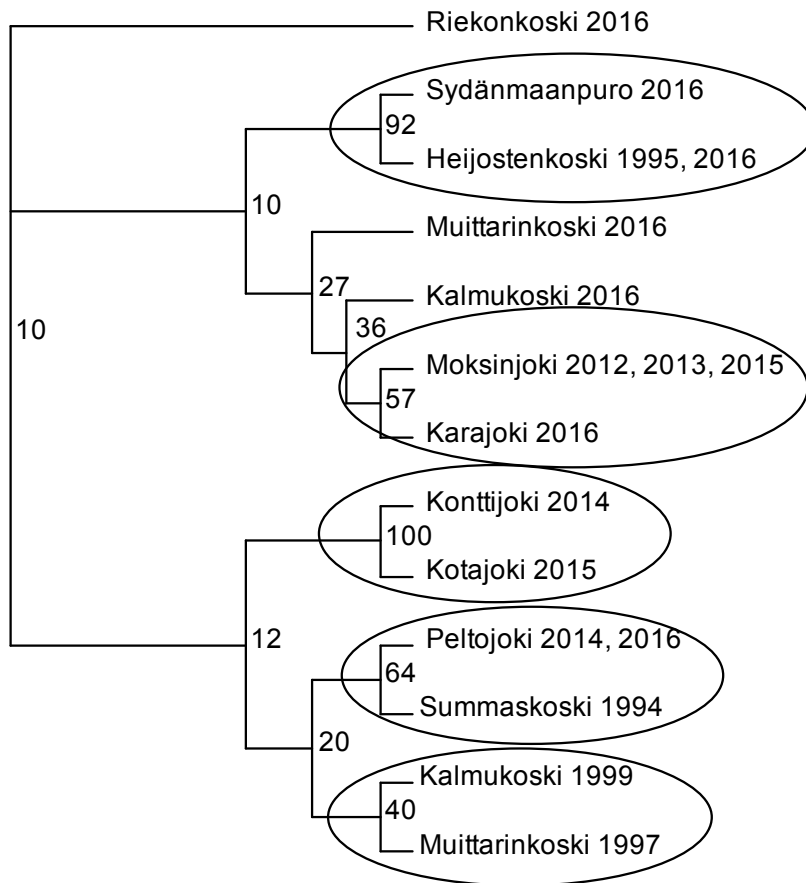
Joki/koski	N	Näytevuosi	Valuma-alue	Pohjoinen	Itä
Konttijoki	38	2014	14.625	6941701	398235
Kotajoki	34	2015	14.624	6941919	404527
Peltojoki	39	2014, 2016	14.687	6963348	422724
Sydänmaanpuro	7	2016	14.626	6956221	394273
Moksinjoki	17	2012, 2013, 2015	14.664	6954224	382227
Karajoki	13	2016	14.66	6959728	390416
Heijostenkoski, s	18	1995	14.623	6959238	392084
Heijostenkoski	36	2016	14.623	6959238	392084
Kalmukoski	5	2016	14.623	6963624	395716
Kalmukoski, s	10	1999	14.623	6958962	397316
(Haapakoski)	3	2016	14.622	6958140	398108
Muittarinkoski	27	2016	14.622	6952930	399966
(Muittarinkoski, s)	3	1997	14.622	6952930	399966
Riekonkoski	31	2016	14.62	6953120	403300
Summaskoski, s	24	1994	14.613	6947188	420298
Yhteensä	305				

3.1.3. Geneettisten analyysien tulokset

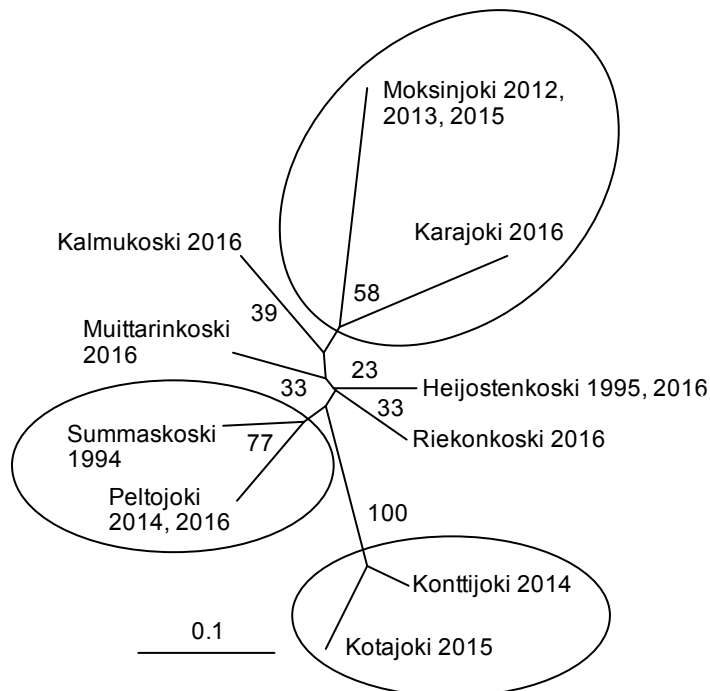
Alustavassa sukupuuanalyysissä Heijostenkosken näytteet vuosilta 1995 ja 2016 ryhmittivät yhteen ryhmään, joten ne yhdistettiin jatkossa. Sen sijaan Kalmukosken (1999) ja Muittarinkosken (1997) vanhat näytteet ryhmittivät omaksi ryhmäkseen erilleen uudemmista näytteistä, joten niitä ei yhdistetty uudempiin näytteisiin samoilta koskilta. Näissä tapauksissa on ehkä tapahtunut enemmän geneettisiä muutoksia vuosien varrella kuin Heijostenkosken taimenkannassa. Muittarinkosken vanha näyte sisälsi kuitenkin vain 3 kalaa ja Kalmujoen uusi näyte vain 5 kalaa (Taulukko 1).

Heijostenkosken näytteiden yhdistämisen jälkeen voitiin havaita 5 selvää geneettisesti samanaisten taimenkantojen paria (Kuva 5). Heijostenkoski ja Sydänmaanpuro muodostivat yhden parin, samoin Moksinjoki ja Karajoki (Karakoski, Kuva 5), Konttijoki ja Kotajoki, Peltojoki ja Summaskoski, sekä vanhat Kalmujoki ja Muittarinkoski.

Kun jätettiin pois vanhat näytteet ja pieni Sydänmaanpuronnäyte, jäljelle jäi juurettomaan sukupuuhun 4 ryhmää, Kotajoen–Konttijoien ryhmä, Peltojoen–Summaskosken ryhmä, Karajoen–Moksinjoen ryhmä sekä ryhmä muut (Kuva 6). Tässä puussa pääreitit kosket, Heijostenkoski, Kalmukoski, Muittarinkoski ja Riekonkoski muodostavat rungon ja siitä erottuvat hieman erilleen kolme muuta kantapariryhmää, joiden kannat muistuttavat enemmän toisiaan kuin muita kantoja. Vain näiden kolmen ryhmän sukupuunhaarojen luotettavuutta mittaavat bootstrap-arvot olivat totta yli 50 % todennäköisyydellä. Kotajoen ja Konttijoien ryhmän todennäköisyys oli jopa 100 %. Muiden sukupuunhaarojen sijainti oli epävarmempaa näytteiden samankaltaisuuden vuoksi.



Kuva 5. Saarijärven reitin taimennäytteiden geneettiset etäisyydet sukupuun avulla kuvattuna. Haapakosken näyte on jätetty pois.



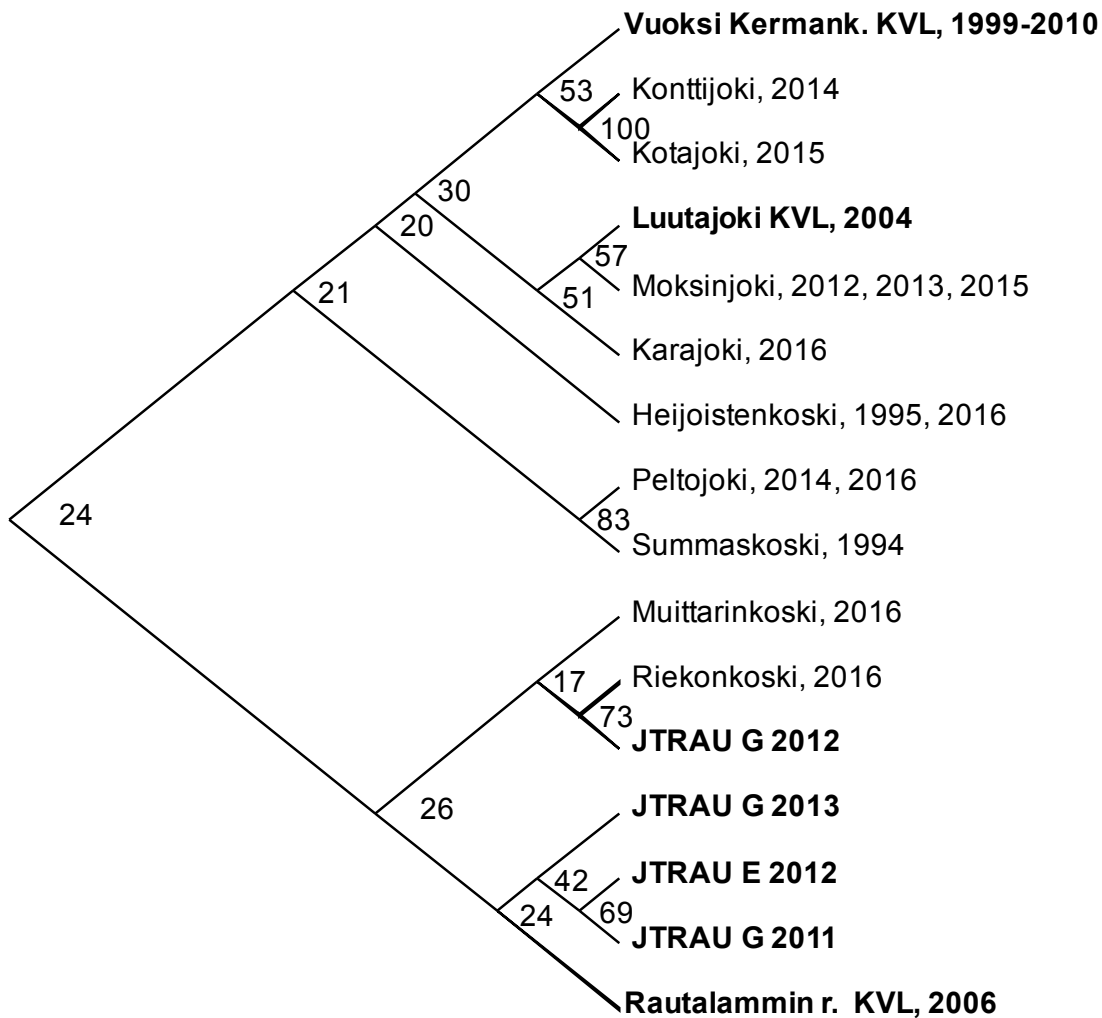
Kuva 6. Saarijärvenreitin taimennäytteiden juureton sukupuu.

Saarijärvenreitin taimenkantanäytteitä verrattiin myös mahdollisiin istutuskantoihin (Kuva 7). Vertailuun käytettiin tässä tutkimuksessa analysoidut Laukaan kalanviljelylaitoksen Rautalammin reitin järvitaimennäytteet ja lisäksi vanhempia käytössä olleita näytteitä: Laukaan kalanviljelylaitoksen Rautalammin reitin näyte vuodelta 2006, Kokemäenjoen vesistön Luutajoen purotaimenen viljelykannan näyte vuodelta 2004 ja vuosilta 1999 – 2010 Enonkosken kalanviljelylaitokselta koottu näyte Vuoksen vesistön Heinäveden reitin Kermankosken emokalanäytteistä. Viimeksi mainittu on analysoitu tarkemmin raportissa Piironen ym. 2016.

Rautalammin reitin näytteet ryhmittivät kaikki samaan pääryhmään ja tähän ryhmittivät myös Riekkonkosken ja Muittarinkosken taimennäytteet. Vuoksen vesistön näyte ryhmittyi Kotajoen ja Konttijoen taimenten kanssa samaan ryhmään ja Luutajoen näyte Moksintojen ja Karajoen taimennäytteiden kanssa samaan ryhmään.

Kaikki viljelynäytteet kuitenkin erosivat kaikista muista edelleen tilastollisesti merkitsevästi, joten aivan samanlaisia ne eivät kuitenkaan olleet. Selvimmin viljelytaimena muistutti Riekkonkosken taimennäyte (bootstrap-luku 73 %). Saarijärven pääreitit koskiin on Rautalammin reitin taimenta istutettu, joten tulos ei sikäli ole yllätys.

Viljelykantojen vaikutus ei vaikuta kuitenkaan kovin voimakkaalta muualla kuin pääreitit koskissa.



Kuva 7. Saarijärvenreitin taimennäytteiden sukupuu Rautalammin reitin, Kokemäenjoen vesistön Luutajoen ja Vuoksen vesistön Kermankosken viljelykantojen taimennäytteiden kanssa.

Kaikki muut 10 Saarijärven reitin taimenten populaationäytettä erosivat toisistaan erittäin merkitsevästi ($P < 0,001$), paitsi pieni 5 kalan näyte Kalmujoelta (Kalmukoski), joka ei eronnut lainkaan läheisen Muittarinkosken näytteestä, ja useasta muustakin näytteestä pienemmällä riskitasolla kuin $P < 0,001$. Tämä pieni Kalmujoen näyte jätettiin pois näytteiden sisäisen diversiteetin laskennasta.

Pienin perinnöllinen ero oli Kotajoen ja Konttijoen taimenpopulaation välillä ($F_{st} = 0,03$) (Taulukko 2). Pienten etäisyyksien ($F_{st} < 0,1$) ryhmän muodostivat myös Heijostenkosken, Kalmujoen (pieni näyte myös), Muittarinkosken, Riekkonkosken ja Summaskosken taimennäytteet. Keskimäärin eniten kaikista erosivat Moksintojen ja Karajoen näytteet.

Taulukko 2. Saarijärven reitin taimennäytteiden väliset perinnölliset erot F_{st} -estimaatilla mitattuna. Pienet etäisyydet on merkitty harmaalla taustavärillä.

Näytteiden välinen F_{st}	Konttijoki	Kotajoki	Peltojoki	Moksintojoki	Karajoki	Heijostenkoski	Kalmujoki	Muittarinkoski	Riekkonkoski	Summaskoski
Konttijoki	---	0,03	0,11	0,19	0,17	0,11	0,08	0,12	0,09	0,07
Kotajoki	0,03	---	0,14	0,22	0,22	0,16	0,12	0,17	0,13	0,10
Peltojoki	0,11	0,14	---	0,19	0,17	0,09	0,08	0,11	0,11	0,06
Moksintojoki	0,19	0,22	0,19	---	0,20	0,17	0,18	0,20	0,16	0,19
Karajoki	0,17	0,22	0,17	0,20	---	0,14	0,16	0,15	0,12	0,14
Heijostenkoski	0,11	0,16	0,09	0,17	0,14	---	0,07	0,07	0,06	0,05
Kalmujoki	0,08	0,12	0,08	0,18	0,16	0,07	---	0,07	0,07	0,06
Muittarinkoski	0,12	0,17	0,11	0,20	0,15	0,07	0,07	---	0,07	0,08
Riekkonkoski	0,09	0,13	0,11	0,16	0,12	0,06	0,07	0,07	---	0,06
Summaskoski	0,07	0,10	0,06	0,19	0,14	0,05	0,06	0,08	0,06	---

Saarijärven reitin taimennäytteiden sisäinen diversiteetti vaihteli varsin paljon (Taulukko 3). Korkeimmat arvot saatiin Konttijoen (0,68) ja Summaskosken näytteistä (0,69) ja alhaisimmat Moksintojen (0,41) ja Karajoen (0,48) näytteistä. Moksintojen ja Karajoen taimenista myös näytekoot olivat alle 20 yksilöä, mikä selittää varsin pienet havaittujen alleelien määrät. Kuitenkin myös otoskokokorjatut alleelirikkauden arvot olivat näissä näytteissä vain alle puolet korkeimmista arvoista. Moksintojen, Karajoen ja Muittarinkosken taimennäytteessä oli myös satunnaispariutumista mittaava Fis-pikkeama tilastollisesti merkitsevä siten, että Fis oli liian pieni satunnaispariutumiseen verrattuna. Tämä viittaa siihen, että näissä näytteissä oli yksilöitä useammasta populaatiosta, tai muuten epätaivainen sukulaistausta. Moksintojen näytteet olivat eri vuosilta (2012, 2013, 2015), mikä voi osittain selittää tuloksen. Karajoen näyte oli hyvin pieni ($N = 13$). Muittarinkosken näytteissä oli mahdollisesti kaloja eri populaatioista.

Kaikkiaan Saarijärven reitin taimenilta löytyi 181 erilaista geenimuotoa. Suurimmat alleelirikkaudet oli Konttijoen ja vuoden 1994 Summaskosken näytteessä, joissa oli myös korkein diversiteetti (Taulukko 3). Selvästi yli keskiarvon alleelirikkaus oli myös Riekkonkosken vuoden 2016 näytteessä, Heijostenkosken vuosien 1995 ja 2016 yhdistetyssä näytteessä ja Kotajoen vuoden 2015 taimennäytteessä. Näissä nykyisissä taimenpopulaatioissa on siis parhaiten säilynyt taimenen geneettistä monimuotoisuutta ja niiden olemassaolon turvaaminen on siten tärkeää. Riekkonkoskella istutukset ovat saattaneet nostaa alleelirikkautta.

Taulukko 3. Saarijärven reitin taimenpopulaationäytteiden otoskoko (N) sisäinen geneettinen diversiteetti (Div), havaittu alleelien määrä (N All), alleelirikkaus (All. Rikk.) ja geenilokuskohtainen alleelirikkaus (All. Rikk./L), satunnaispariutumista mittaava Fis ja sen poikkeaman tilastollinen merkitsevyys (P Fis). Alleelirikkauden laskenta on standardoitu pienimmälle otoskoolle, 13 yksilölle. Pienimmät diversiteettiarvot on merkitty harmaalla taustavärillä.

Taimennäyte	N	Div	N All	All. Rikk.	All. Rikk./L	Fis	P Fis
Konttijoki	38	0,68	119	92,4	5,8	0,025	ns
Kotajoki	34	0,62	87	76,1	4,8	0,018	ns
Peltojoki	39	0,62	88	73,5	4,6	0,051	ns
Moksinjoki	17	0,41	36	35,8	2,2	-0,179	P<0,01 pieni
Karajoki	13	0,48	41	41,0	2,6	-0,27	P<0,001 pieni
Heijostenkoski	54	0,58	103	78,8	4,9	-0,006	ns
Muittarinkoski	27	0,56	83	72,3	4,5	-0,094	P<0,01 pieni
Riekonkoski	31	0,60	106	84,2	5,3	-0,029	ns
Summaskoski	24	0,69	101	91,2	5,7	-0,044	ns
Yhteensä	277		181	101,5	6,3		
Keskiarvo	30,8	0,58	84,89	71,69	4,48		

Saarijärven reitin taimennäytteiden geneettisesti teholliset koot (N_e) ja perhemäärät laskettiin vain näytteille, jotka kuvastavat taimenkantojen nykytilaa, joten aiempien vuosien näytteet jätettiin pois tästä tarkastelusta. Populaationäytteet, joissa on yksilöitä useammalta kalanterivuodelta ja siten useammasta vuosiluokasta, edustavat tuloksissa myös useamman vuoden tilannetta. Vaikka näytteitä yhdisteltiin, jäivät Sydänmaanpuron ja Kalmujoen näytemäärät edelleen alle 10 kalaan, joten kaikkia tunnuslukuja ei niistä ollut mielekästä laskea.

Saarijärven reitin taimennäytteiden teholliset koot ja perhemäärät olivat tyypillisesti pieniä, kaikki alle 50, mutta myös näytemäärät olivat pieniä (Taulukko 4). N_e/N suhteet olivat alle 0,5 Kara-joen, Heijostenkosken ja Muittarinkosken näytteissä. Poikkeuksellisen suuret > 1 arvot olivat Riekonkosken ja Konttijoan taimennäytteissä.

Taulukko 4. Saarijärven reitin taimennäytteiden tehollinen koko (N_e), sen 95 %:n luottamusrajat, tehollisen koon ja populaationäytteen todellisen koon suhde (N_e/N), todennäköisin havaittujen perheiden määrä ja näytteen sukulaisuusaste.

Viitearvot		> 50	> 0,5	> 50	< 4 %
Näyte	N	N_e	N_e 95%	N_e/N	N Perhe Sukulaisuus %
1 Moksinjoki 2012, 2013, 2015	17	11	5-28	0,6	13 13,3
2 Karajoki 2013	13	4	2-15	0,3	4 11,9
3 Heijostenkoski 2016	36	16	9-34	0,4	20 8,0
4 Sydänmaanpuro 2016	7	-	-	-	6 -
5 Muittarinkoski 2016	27	12	6-30	0,4	18 8,0
6 Kalmukoski 2016	5	-	-	-	- -
	105	43			61
7 Riekonkoski 2016	31	33	20-56	1,2	28 4,7
8 Summaskoski 1994	24	(25)	14-47	0,9	(20) 5,4
9 Peltojoki 2014, 2016	39	22	13-41	0,6	28 6,8
	94	55			56
10 Konttijoki 2014	38	45	28-74	1,2	37 4,4
11 Kotajoki 2015	34	27	12-40	0,8	27 4,4
	72	72			64
Kaikki Yht.	271	170			181

Sukulaisuus oli selvästi kohonnut Moksinoen (13,3 %) ja Karajoen (11,9 %) näytteissä ja oli jo serkkutasoa (12,5 %), vaikka Moksinoen näytteessä oli yksilöitä eri vuosilta. Myös Muittarinkosken ja Heijostenkosken näytteiden sukulaisuus oli selvästi kohonnut, eikä muissakaan näytteissä saavutettu alle 4 % ihannetasoa. Kota- ja Konttinoen taimennäytteissä sukulaisuus oli alhaisin ja lähellä 4 % tavoitetasoa.

3.1.4. Tulosten tarkastelu ja hoitosuositukset

Karajoki ja Moksinojoki ovat geneettiseltä etäisyydeltään lähellä toisiaan ja muodostavat geneettisesti samantyyppisten populaatioiden tiiviin ryhmän (Kuvat 5, 6), mikä vastaa myös niiden maantieteellistä etäisyyttä, sillä ne sijaitsevat samalla ylimmällä sivureitillä (Kuva 3, 4). Sydänmaanpuro ja Heijostenkoski kuuluvat myös samaan ryhmään ja se myös vastaa niiden maantieteellistä sijaintia lähellä toisiaan, sillä Sydänmaanpuro laskee Heijostenkoskeen. Karajoen ryhmä ja Heijostenkosken ryhmä sijoittuvat myös varsin lähelle toisiaan sekä sukupuussa että maantieteellisesti. Taimenilla on esteetön kulku näiden alueiden välillä, sillä Karajoki laskee pääreittiin juuri Heijostenkosken niskan yläpuolelle (Kuva 4). Karajoen koskien alareunalta on matkaa Heijostenkosken niskalle vain noin 1,5 km.

Peltojoki ja Summaskoski ryhmittyvät yhteen sukupuussa. Ne sijaitsevat myös alueellisesti lähellä, sillä Peltojoki laskee Pyhäjärveen, joka taas laskee pääreittiin Summaskosken alapuolelle (Kuva 4), tosin nykyään Parantalan voimalan läpi. Summaskosken näyte oli vuodelta 1994, eikä sen kannan nykytilasta ole tarkkaa tietoa.

Konttinojoki ja Kotajoki muodostavat myös tiiviin samanlaisten populaatioiden ryhmän. Konttinojoki laskee Kotajokeen, joten taimenilla on mahdollista liikkua näiden jokien välillä ja kuljettaa geenejä populaatiosta toiseen. Kontti- ja Kotajoki ryhmittyvät hieman yllättävästi kuitenkin kauas Muittarinkoskesta ja Kalmukoskesta. Muittarinkoski ja Kalmukoski sijaitsevat Kotajoen jokisuusta vain 6 ja 12 km ylävirtaan (Kuva 4). Tämä viittaa siihen, että Kotajoen ja Konttinoen taimenet eivät ole olleet selvässä yhteydessä Muittarinkosken taimenten kanssa.

Kokonaisuutena Saarijärven reitin taimenkantanäytteiden geneettinen rakenne on varsin yhteensopiva maantieteellisten etäisyyksien ja taimenten todellisten vaellusmahdollisuuksien kanssa, mikä viittaa siihen, että alkuperäinen geneettinen rakenne on säilynyt ainakin osittain tutkituilla jokialueilla. Geneettisen diversiteetin määrä ei myöskään näytä alentuneen selvästi kuin Moksinoen ja Karajoen alueilla. Eri alueiden taimenkantojen teholliset koot olivat kuitenkin varsin pieniä.

Viitteitä istutusten geneettisistä vaikutuksista oli selvimmin Saarijärven reitin pääuoman alaosassa Riekkonkosken ja Muittarinkosken näytteissä, jotka ryhmittyivät samaan ryhmään Rautalammin reitin viljeltyjen taimenten kanssa. On mahdollista, että myös Kota- ja Konttinoella olisi Vuoksen vesistön taimenten vaikutusta ja Moksinoella ja Karajoella Luutajoen purotaimenen vaikutusta, mutta nämä samankaltaisuudet voivat olla myös sattumaa.

Mikäli Saarijärven reitin taimenkannoille halutaan muodostaa omat alueelliset hoitoyksiköt, on olemassa useita vaihtoehtoja (Kuva 8).

Moksinoen ja Karajoen taimenkannat eroavat jonkin verran, mutta sijaitsevat samalla reitillä ja ovat selvästi samanlaisempia keskenään kuin reitin muiden taimenkantojen kanssa. Niissä tehollinen koko ei myöskään todennäköisesti yksin riitä ylläpitämään kahta erillistä pientä populaatiota, eikä mahdollisesti edes yhdessä, niiden nykyisen heikon tilan aikana. Niitä voitaneen siis hoitaa yhtenä yksikkönä (Kuva 8, A). Karajoen ja Moksinoen kanssa seuraavaksi perinnöllisesti samankaltainen ja sekä maantieteellisesti että vaellusyhteyden perusteella läheisin olisi Heijostenkosken taimenpopulaatio, mikäli halutaan hoitaa vielä suurempaa yksikköä. Sydänmaanpuron populaatio kuuluu ilman muuta samaan ryhmään kuin Heijostenkosken taimen (Kuva 8, B).

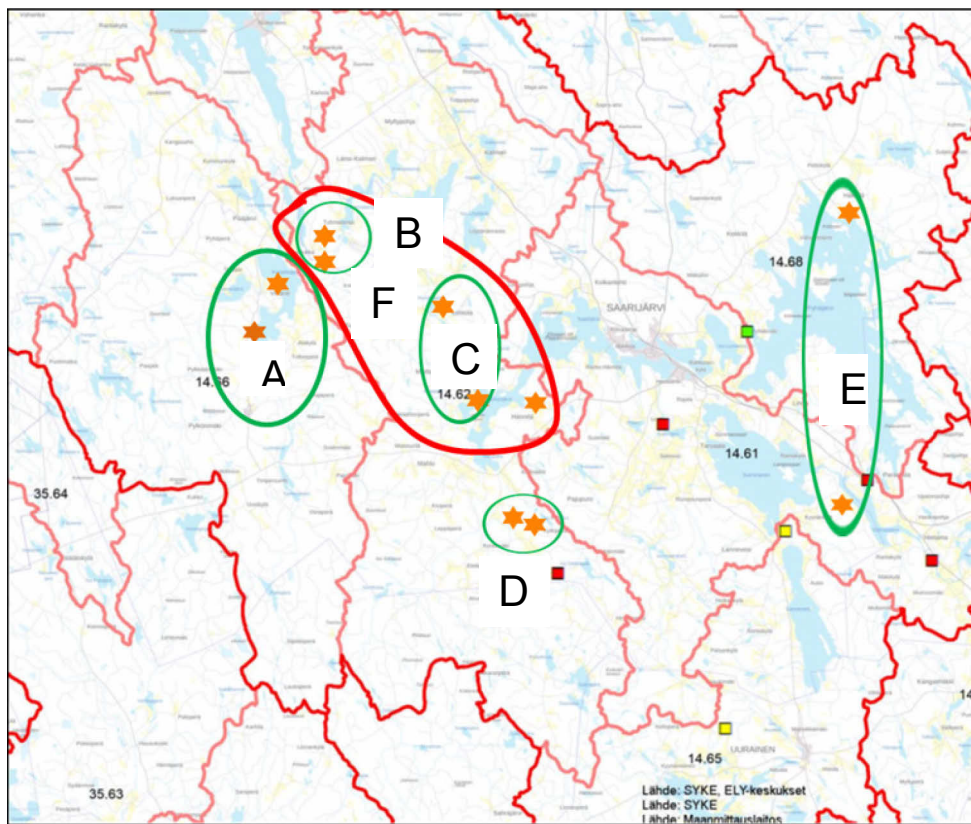
Saarijärven reitin pääreitit kosket muodostavat jatkumon ja aluetta voidaan hoitaa yhtenäisenä Heijostenkoskelta lähtien, Kalmukosken kautta ainakin Muittarinkoskelle saakka (Kuva 8, C) ja jopa

Riekonkoskelle saakka (Kuva 8, F). Peltojoki ja Summasjoki muodostavat mahdollisesti oman itäisen hoitoyksikkönsä (Kuva 8, E).

Kotajoen ja Konttijoen taimenet voidaan hoitaa samana yksikkönä (Kuva 8, D), jolla voidaan hoitaa ainakin näiden jokien taimenkantoja. Tehollinen koko tälle alueellekin vaikuttaa riittävältä tälle alueella.

Erityisesti suojeltavaa vaeltavaa taimenta esiintyi erityisesti pääreitin alaosassa, missä oli myös selvin istutusvaikutus.

Reitin kaikkia pieniä, luontaisia taimenen populaatiota tässä tutkimuksessa ei ollut mukana. Esimerkiksi pääreitin yläosalta, Kiminginjoelta, sekä alimmasta koskesta, Naarakoskesta, saattaisi olla mahdollista saada populaationäytteet. Reitin puroista voisi ehkä myös löytyä uusia paikallisia taimenpopulaatioita. Tutkimus kattoi kuitenkin varsin hyvin Saarijärven reitin taimenen tärkeimmät luonnonvaraisesti lisääntyvät populaatiot.



Kuva 8. Saarijärven reitin taimenkantojen mahdollisten hoitoyksiköiden sijoittuminen maantieteellisesti. (Lähde: taustakartta: Maanmittauslaitos, valuma-alue rajat: SYKE).

3.2. Viitasaaren reitti 14.4

3.2.1. Kutualueet ja taimenkantojen tila

Viitasaaren reitin keskusjärvi on Keitele, joka muodostuu kolmesta altaasta, Ylä-, Keski- ja Ala-Keiteleestä (Kuva 9, 10). Reitti jakautuu Keiteleeseen yläpuolella kahteen haaraan. Kivijärven reitti laskee lännestä Kivijärvestä Kämärin voimalakanavan ja Hilmonjoen sekä Huopanan- ja Keihärinkosken kautta Ylä-Keiteleeseen länsiosaan (Kuva 9, 10). Kivijärven toinen laskujoki, Kämärinjoki, on padottu, ja Hilmonjoen virtaamaa säännöstelee ylempänä Potmon pato, jotta vesi ohjautuisi Kämärin voimalaitokseen. Kärnän koskireitti taas laskee pohjoisesta Kolimasta Keski-Keiteleeseen itäosaan seitsemän kosken kautta. Kivijärven reitin pääuomastossa ei ole muita vaellusesteitä kuin Kämärin voimalapato. Kärnän

koskireitillä ei ole mitään vaellusesteitä. Sen sijaan Keiteleen luusua, Äänekoski, on ollut padottuna jo 1890-luvulta lähtien, joskin voimalapadossa on kalatie. Reitin pääuomastossa lienee vapaata koskialaa noin 13 hehtaaria ja sivujoissa ehkä 3–6 hehtaaria (Vesihallitus 1980).

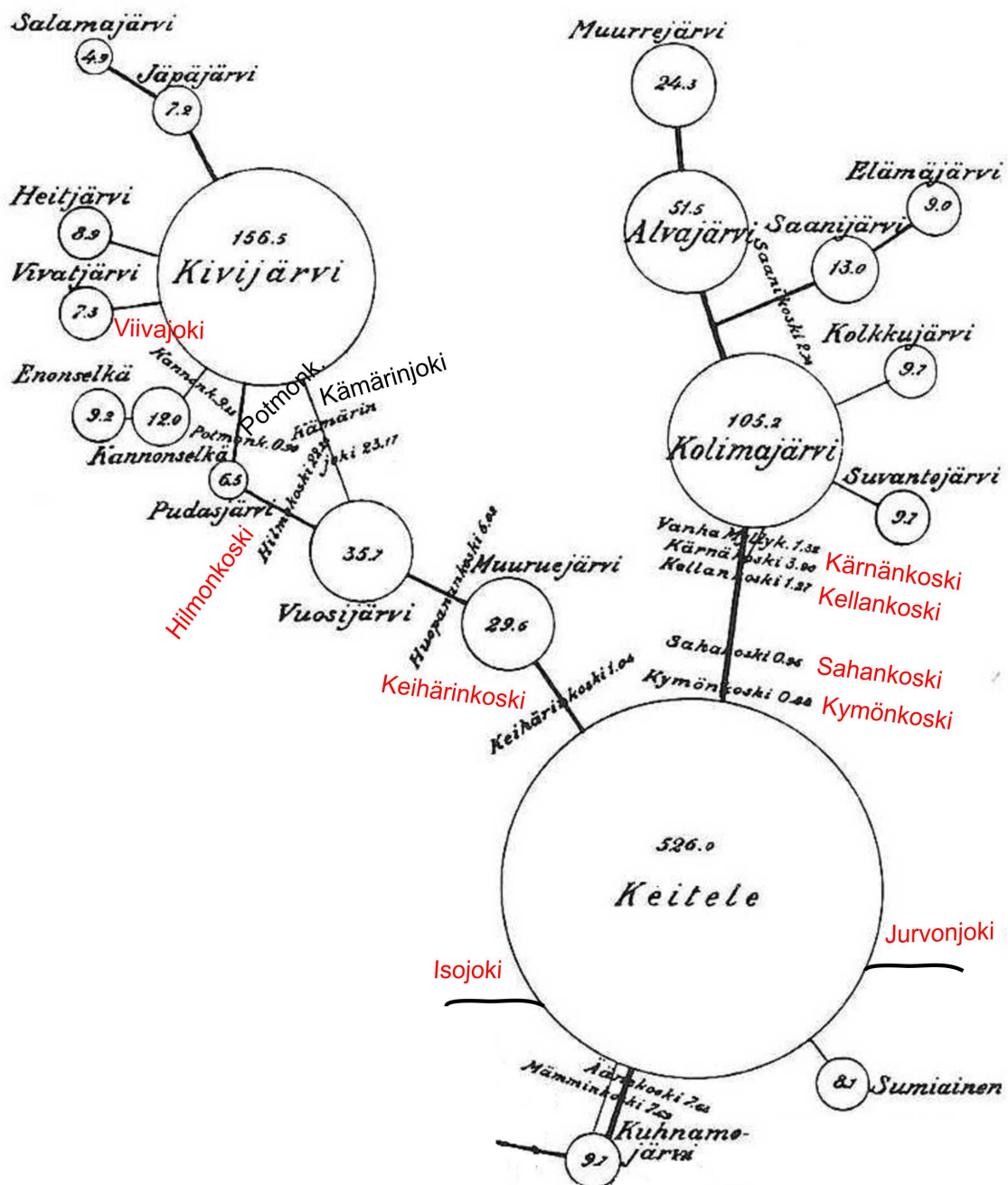
Taimen lisääntyy luontaisesti molempien haarojen pääreittien koskilla (Heinimaa ym. 2016), latvavesien joissakin pikkujoissa, sekä mahdollisesti joissakin Keiteleeseen laskevissa pikkujoissa (Matti Havumäki, julkaisematon). Rautalammin reitin järvitaimenen viljelykantaa on istutettu pääreitille jo vuosikymmenten ajan todennäköisesti vuosittain, mutta ei välttämättä sivujokiin ja -puroihin.

3.2.2. Taimennäytteet

Viitasaaren reitiltä saatiin geneettiseen analyysiin yhteensä 247 taimennäytettä. Aineisto sisälsi sekä vanhempia suomunäytteitä että uudempia kudoksenäytteitä (Taulukko 5). Näytemäärät populaationäytteissä vaihtelivat paljon ja näiden joukossa oli useita alle 10 kalan näytteitä. Läheisiltä alueilta ja eri vuosina pyydystettyjä pieniä populaationäytteitä yhdistettiin tämän vuoksi.



Kuva 9. Viitasaaren reitin eli vesistöalueen 14.4 näytevesistöt. (Lähde: taustakartta: Maanmittauslaitos, valuma-alue rajat: SYKE).



Kuva 10. Viitasaaren reitin järvet ja kosket kaaviona (Lähde: Keiteleeltä lisvedelle, Paananen ja Pakkanen 1992). Ympyrässä olevat luvut kuvaavat järvien pinta-alaa neliökilometreinä. Koskien nimien perässä olevat luvut esittävät niiden putouskorkeutta metreinä. Taimennäytepaikat on merkitty punaisella. Reitillä alimpana on Kuhnamejärvi.

Taulukko 5. Tutkitut Viitasaaren reitin taimennäytteet. Suomunäytteet on merkitty s-kirjaimella. Näytepaikka ja näytteenottovuosi, sekä valuma-alueen kolmannen jakotason numero ja paikan EUREF-FIN koordinaatit on ilmoitettu.

Joki/koski	N	Näytevuosi	Valuma-alue	Pohjoinen	Itä
1 (Leukunjoki, s, pois)	3	2007	14.448	7009216	398819
2 Viivajoki 1996, s	26	1996	14.445	6985436	407258
3 (Hilmonjoki, s)	9	1993	14.443	6986738	416488
4 Hilmonjoki	43	2016	14.443	6986738	416488
5 Keihärinkoski	12	2016	14.432	6998988	427406
6 Kolkunjoki	16	2015, 2016	14.475	7013020	448540
7 Kärnänkoski	54	2016	14.472	7004945	446272
8 Leppäsenkoski, s	3	2012	14.472	7000463	446898
9 Sahankoski	7	2012	14.472	7000168	447003
10 Kymönkoski	5	2007	14.47	6998490	447012
11 Liimattalan Isojoki	47	2014, 2016	14.414	6958546	437456
12 Jurvonjoki	23	2017	14.418	6944884	446226
Yhteensä	247				

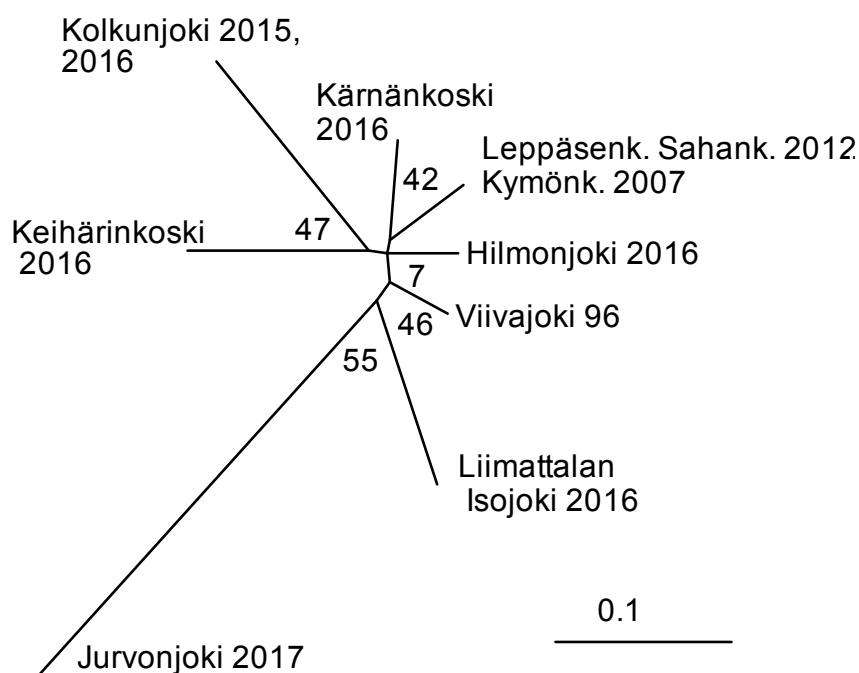
3.2.3. Geneettisten analyysien tulokset

Alustavassa etäisyysanalyysissä Kärnänkosken, Leppäsenkosken, Sahankosken ja Kymönkosken näytteet ryhmittyivät yhteen ryhmään. Toisessa vaiheessa näistä pienet Leppäsenkosken (N = 3), Sahankosken (N = 7) ja Kymönkosken (N = 5) näytteet yhdistettiin yhdeksi näytteeksi. Samoin Liimattalan Isojoen näytteet vuosilta 2014 ja 2016 ryhmittyivät yhteen ja yhdistettiin jatkossa. Hilmonjoen vanha (1993) ja uusi (2016) näyte olivat erilaisia, joten vanha 9 kalan näyte jätettiin pois seuraavasta vaiheesta. Yksittäinen Leukunjoen 3 kalan näyte jätettiin myös pois lopullisesta tuloksesta.

Geneettisten erojen tilastollisten testien perusteella suurin osa Kärnän reitin pienien näytteiden välisistä eroista ei ollut tilastollisesti merkitseviä. Liimattalan Isojoen eri vuosien näytteiden välillä ero oli myös pieni ($P < 0,05$). Näytteiden yhdistämisen jälkeen kaikki muut jäljelle jääneet 8 näytettä erosivat alleelifrekvensseiltään toisistaan tilastollisesti erittäin merkitsevästi ($P < 0,001$), paitsi yhdistetty Leppäsen-, Sahan-, ja Kymönkosken näyte, joka ei eronnut lainkaan Viivajoen näytteestä ja ero Keihärinkosken näytteeseen oli merkitsevä vain 5 %:n riskitasolla ($P < 0,05$).

Toisen vaiheen sukupuuanalyysissä muodostui kolme selvää populaatioryhmää 1) Kärnän reitin taimenet, 2) Keihärinkoski–Kolkunjoki, 3) Isojoki–Jurvonjoki. Vanha (1996) Viivajoen näyte ja uudempi (2016) Hilmonjoen näyte olivat samankaltaiset, mutta eivät kuuluneet selvästi mihinkään ryhmään. (Kuva 11).

Juurettomassa sukupuussa voidaan havaita, että erityisesti Jurvonjoki (N = 23) ja Kolkunjoki (N = 15) poikkeavat selvästi muista, mikä viittaa pieneen populaatioon, vähäiseen geenivirtaan ja mahdollisesti paikalliseen taimeneen. Keihärinkosken populaation haara oli varsin pitkä, ja siinäkin oli vain 12 kalan näyte. Sukupuun haarojen luotettavuutta mittaavat bootstrap-arvot olivat varsin alhaisia. Yli 50 oleva arvo saatiin vain Jurvonjoen ja Isojoen haaralle. Pienet bootstrap-arvot johtuvat todennäköisesti sekä näytteiden suuresta samankaltaisuudesta että pienistä otoskoista.



Kuva 11. Viitasaaren reitin taimennäytteiden sukulaisuus kuvattuna juurettoman sukupuun avulla.

Näytteiden välisiä perinnöllisiä etäisyyksiä kuvaavien Fst-arvojen perusteella hyvin samankaltaisen ryhmän näyttivät muodostavan vanha Viivajoen taimenen populaationäyte ja uudempi Hilmonjoen näyte ($F_{st} = 0,02$), sekä näiden kanssa samankaltainen oli myös yhdistetty Leppäsenkosken-Sahankosken-Kymönkosken- näyte (F_{st} vain 0,01)(Taulukko 6). Näistä hieman enemmän erosi Keihärinkosken ja Kärnänkosken näytteet ($F_{st} = 0,03$). Selvemmin erilaisia olivat Isojoen ja erityisesti Jurvonjoen taimenet (F_{st} 0,17 – 0,22). Alle 20 kalan näytteitä olivat edelleen pienten näytteiden yhdistämisen jälkeenkin Keihärinkosken ja Kolkunjoen näytteet ja yhdistetty Leppäsen- Sahan- ja Kymönkosken näyte ($N = 15$).

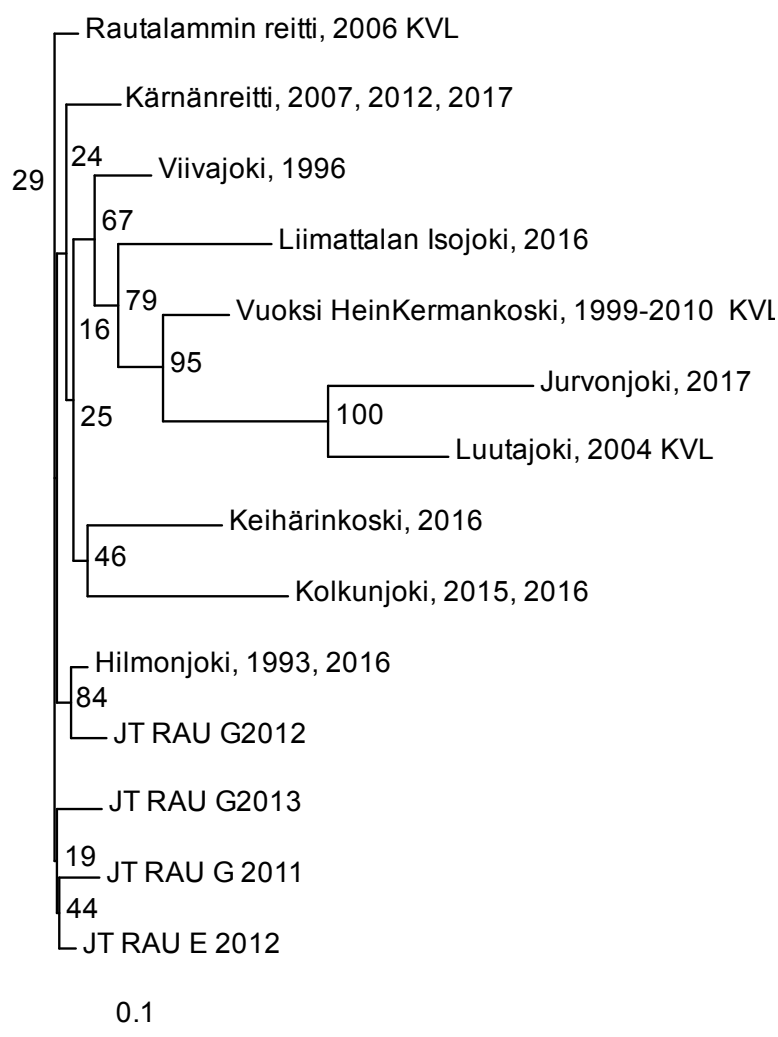
Taulukko 6. Viitasaaren reitin taimennäytteiden väliset geneettistä etäisyyttä mittaavat Fst-arvot.

Fst	Viivajoki	Hilmonjoki	Keihärinkoski	Kolkunjoki	Kärnänkoski	Leppä-Saha-Kymö	Liim_Isojoki	Jurvonjoki
Viivajoki	---	0,02	0,04	0,06	0,03	0,01	0,06	0,17
Hilmonjoki	0,02	---	0,04	0,07	0,03	0,01	0,08	0,19
Keihärinkoski	0,04	0,04	---	0,09	0,05	0,03	0,09	0,24
Kolkunjoki	0,06	0,07	0,09	---	0,10	0,05	0,12	0,20
Kärnänkoski	0,03	0,03	0,05	0,10	---	0,03	0,10	0,22
Leppäsenk.-Sahank-Kymönk.	0,01	0,01	0,03	0,05	0,03	---	0,07	0,17
Liim_Isojoki	0,06	0,08	0,09	0,12	0,10	0,07	---	0,20
Jurvonjoki	0,17	0,19	0,24	0,20	0,22	0,17	0,20	---

Viitasaarenreitin taimennäytteistä tehtiin sukupuu myös yhdessä viljelykantanäytteiden kanssa (Kuva 12). Hilmonjoen taimennäyte ryhmittyi yhteen Laukaan kalanviljelylaitoksen järvitaimenen (JT)

Rautalammin reitin (RAU) emoparven näytteen JTRAU E 2012 kanssa, mikä viittaa mahdolliseen istutusvaikutukseen Hilmonjoen taimenkannassa. Samoin Jurvonjoen taimennäyte ryhmittyi varsin lähelle sekä Luutajoen purotaimenen (bootstrap 100 %), että Vuoksen järvitaimenen (bootstrap 95 %) näytteiden kanssa, joten istutusvaikutusta voi myös siellä olla. Samankaltaisuus Isojoen kanssa voi johtua Jurvonjoen ja Isojoen samankaltaisesta istutushistoriasta, tai siitä, että jokien taimenet ovat muutoinkin samanlaisia. Kärnän reitille tiedetään istutetun Rautalammin reitin viljelykantaa, mutta tässä analyysissä sitä ei voitu selvästi havaita.

Kaikkien näytteiden välisessä tilastollisten erojen testissä kaikki muut näytteet erosivat toisistaan erittäin merkitsevästi, eli $P < 0,001$, paitsi Hilmonjoki, joka erosi Rautalammin reitin näytteistä JTRAU G2012 ja Rautalammin reitti 2006 vain merkitsevästi $P < 0,01$, eli jonkin verran suurempi samankaltaisuus Rautalammin reitin taimeniin voitiin havaita. Koska tilastollisesti merkitsevä ero alleelifrekvenssien välille syntyy varsin helposti, tukee alentunut merkitsevyytaso istutusvaikutusta, vaikka ero onkin edelleen merkitsevä.



Kuva 12. Viitasaaren reitin taimennäytteiden geneettisiä etäisyyksiä kuvaava sukupuu Rautalammin reitin, Kokemäenjoen vesistön Luutajoen ja Vuoksen vesistön Kermankosken viljeltyjen taimennäytteiden kanssa.

Taimennäytteiden sisäisen geneettisen diversiteetin vertaamista vaikeuttavat populaationäytteiden erilaiset koot. Keskimääräinen geneettinen diversiteetti vaihteli välillä 0,58–0,66 (Taulukko 7). Minimi oli Jurvonjoen näytteessä. Suurimmat arvot olivat Viivajoen vuoden 1996 näytteessä ja ehkä

hieman yllättäen Kärnän reitin pienten näytteiden yhdistelmänäytteessä. Havaittujen erilaisten geenimuotojen määrä oli suurin suurimmassa Hilmonjoen näytteessä (120 kpl).

Alleelirikkaus oli korkein Viivajoen näytteessä ja yhdistetyssä Kärnän reitin koskien näytteessä. Alhaisin diversiteetti molemmilla mittareilla oli Jurvonjoen taimennäytteessä. Pariutumisen satunnaisuutta mittaava Fis-arvo ei missään näytteessä poikennut satunnaispariutumisesta, joten kovin suurta populaatioiden sekoittumista tai jakaumista ei näillä alueilla ole.

Taulukko 7. Viitasaaren reitin taimennäytteiden geneettisen diversiteetin mittarit. Otokokorjatun alleelirikkauden laskenta on standardoitu 12 yksilölle.

Taimennäyte	N	Div.	N All.	All. Rikk	All. Rikk./L	Fis	P Fis
Viivajoki (1996)	26	0,66	115	92,0	5,75	-0,041	ns
Hilmonjoki	43	0,63	120	87,9	5,49	-0,011	ns
Keihärinkoski	12	0,60	87	87,0	5,44	-0,061	ns
Kolkunjoki	15	0,62	67	65,8	4,11	-0,043	ns
Kärnänreitti	54	0,60	87	72,1	4,51	-0,039	ns
Leppäs.-Sahank.-Kymönk.	15	0,67	99	92,6	5,79	0,022	ns
Liimattalan Isojoki	47	0,63	98	80,1	5,01	0,015	ns
Jurvonjoki	23	0,58	59	55,7	3,48	-0,039	ns
Yht.	235		169	100,4	6,27		
Keskiarvo		0,62	91,5	79,2	4,95		

Viitasaaren reitin taimennäytteiden teholliset koot ja perhemäärät laskettiin vain 2000-luvun näytteistä. Lisäksi kaikki Kärnän reitin taimenet käsiteltiin yhtenä populaationäytteenä. Kaikkien näytteiden teholliset koot olivat alle 50 yksilöä (Taulukko 8). Tehollisen koon puolesta Hilmonjoen taimenkanta vaikutti geneettisesti elinvoimaisimmalta, sen tehollinen koko oli 48 (31–75), Ne/N yli 1, ja perheidenkin määrä oli arviolta varsin suuri 39 kpl. Samoin Keihärinkosken taimennäyte kertoi elinvoimaisesta taimenkannasta, sen Ne/N oli peräti 1,6.

Kärnän reitillä sen sijaan näytteiden ja useiden vuosiluokkien yhdistämisestä huolimatta 69 kalan näytteen tehollinen koko oli vain 17 yksilöä. Ne/N olikin vain 0,2, mikä viittaa selvään lisääntyneeseen sukulaisuuteen tällä alueella. Kolkunjoen taimenen tilanne näytti hieman paremmalta. Eteläisempien jokien Isojoen ja Jurvonjoen teholliset koot olivat keskenään samaa luokkaa, noin 20, vaikka Isojoen näyte oli kaksi kertaa niin suuri (47 kpl) kuin Jurvonjoen (23 kpl) ja sen perhemäärä oli myös suurempi (32), kuin Jurvonjoella (21)(Taulukko 8).

Taulukko 8. Viitasaaren reitin taimennäytteiden tehollinen koko (Ne), sen 95 % luottamusrajat, tehollisen koon ja näytteen todellisen koon ja suhde (Ne/N), näytteessä havaittujen taimenperheiden määrä ja sukulaisuusaste.

Viitearvot	> 50			> 0,5	> 50	< 4 %
Taimennäyte	N	Ne	95 % Ne	Ne/N	N Perhe	Sukulaisuus %
1 Hilmonjoki 2016	43	48	31-75	1,1	39	3,98
2 Keihärinkoski 2016	12	19	31-75	1,6	9	5,22
Yht.		67			48	
3 Kolkunjoki 2015, 2016	16	20	10-45	1,3	14	5,56
4 Kärnänreitti 2007, 2012, 2016	69	17	9-34	0,2	37	6,17
Yht.		37			51	
5 Liimattalan Isojoki 2014, 2016	47	20	11-38	0,4	32	6,28
6 Jurvonjoki 2017	23	19	10-37	0,8	21	7,86
Yht.		39			53	
Kaikki yhteensä	210	143			152	

Yli 50 yksilön alueellisiin tehollisiin kokoihin ja perhemääriin päästäisiin esimerkiksi muodostamalla kolme hoitoaluetta näyteparien Hilmonjoki–Keihärinkoski, Kolkunjoki–Kärnän reitti ja Isojoki–Jurvonjoki perusteella. Vain Hilmonjoen populaationäytteessä sukulaisuusaste oli alle 4 %, kaikilla muilla se oli hieman kohonnut, vaikka useissa näytteissä oli yksilöitä eri vuosilta.

3.2.4. Tulosten tarkastelu ja taimenkantojen hoitosuositus

Kärnän reitin kosket sijaitsevat 9 kilometrin matkalla. Jos reitillä elää vielä järvivaeltavia yksilöitä, ne saattaisivat vaeltaa Kärnänkoskesta ylävirtaan Kolimalle ja toisaalta Leppäsen-, Sahan ja Kymönkoskesta alavirtaan Keiteleelle. Geneettisten erojen puuttuminen koskien väliltä ei kuitenkaan tue kantojen eriytymistä ainakaan enää nykyään.

Isojoen ja Jurvonjoen ryhmittyminen yhteen sukupuussa saa tukea jokien sijainnista, sillä molemmat laskevat Ala-Keiteleeseen, joskin eri puolille allasta. Isojoen ja Jurvonjoen välillä on myös tietävästi siirretty kalaa. Hilmonjoki ja Viivajoki sijaitsevat samalla osareitillä kuin Keihärinkoski, mutta Kolkunjoki eri osareitillä.

Kolkunjoen ja Keihärinkosken ryhmittyminen lähelle toisiaan geneettisen samankaltaisuuden perusteella on ainut epäloogisuus Viitasaaren reitin taimenkantojen analyysissä. Keihärinkosken näyte sisälsi kuitenkin vain 12 kalaa. Simunankosken kalanviljelylaitoksen vuoden 1964 toimintakertomuksen mukaan Kolkunjokeen on istutettu 800 kpl kesänvanhoja taimenen poikasia, joten myös tänne on Rautalammin reitin viljelykannan istukastaimenia tuotu (Mikko Leminen kirjallinen tiedonanto).

Viitasaaren reitin taimenten hoitoalueiksi voisi muodostaa joko 2 tai 3 ryhmää: eteläisempi Isojoen-Jurvonjoen alue (Kuva 13, C), ja pohjoisempaan, joko erikseen Kärnänreitti Kolkunjoen kanssa (Kuva 13, B) ja Keihärinkosken- Hilmonjoen- Viivajoen alue (Kuva 13, A), tai kaikki nämä pohjoisemmat yhdessä, elleivät yksilömäärät tai kutualueet riitä ylläpitämään näitä erillisinä (Kuva 13).



Kuva 13. Mahdolliset hoitoyksiköt Viitasaaren reitin taimenkantojen hoidolle.

3.3. Rautalammin reitti 14.7. ja Äänekosken reitti 14.3

3.3.1. Kutualueet ja taimenkantojen tila

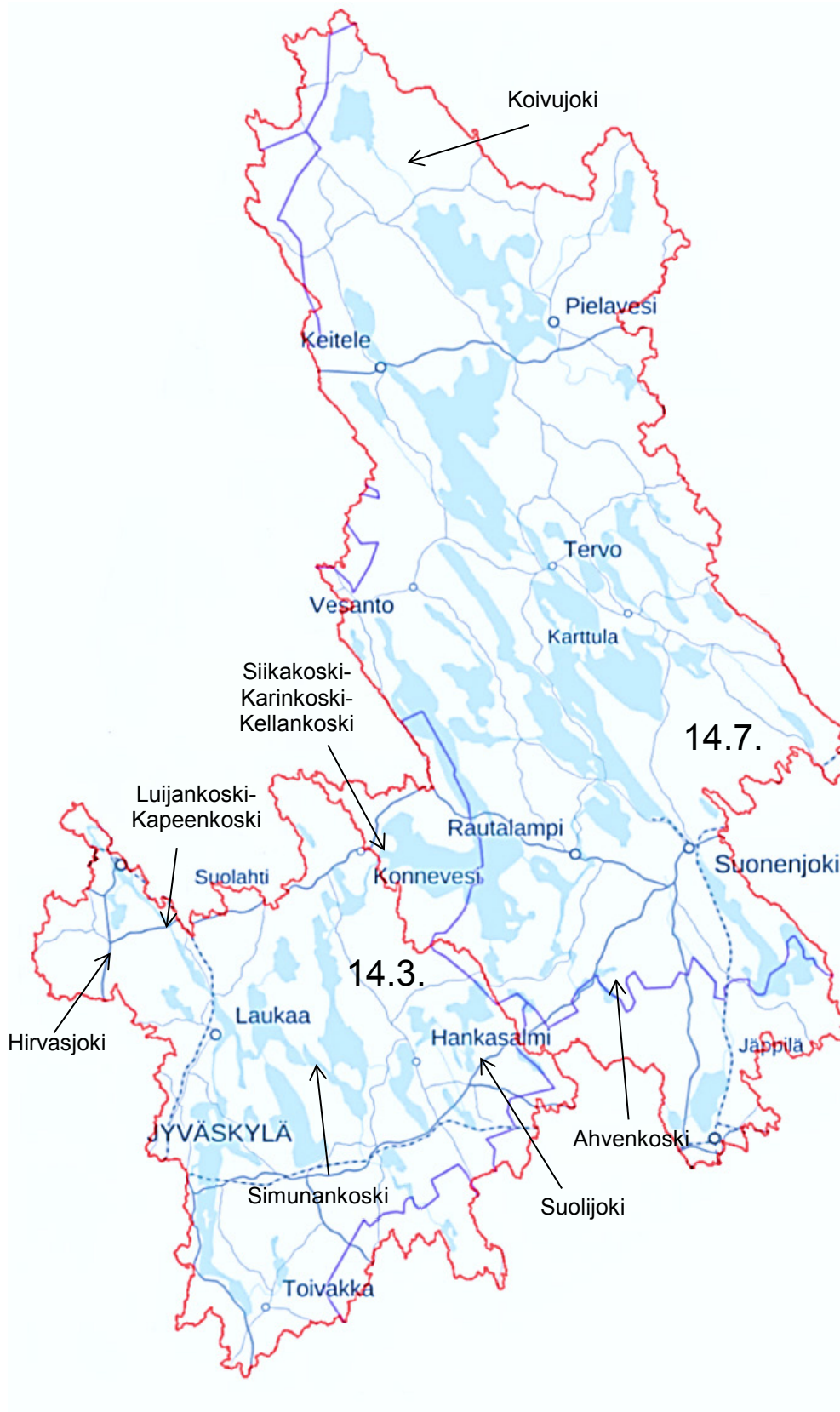
Rautalammin reitti lienee Järvi-Suomen laajin vapaa reittivesistö. Pääreitillä sijaitsee 14 koskea, joista 13 koskea ovat täysin vapaita. Ainoastaan Kellankosken sivu-uomassa on vesivoimalaitos. Pääuomastossa ei siten ole täydellisiä vaellusesteitä. Järvien vedenlaatu on hyvä ja 2000-luvulla järvien muikkukannat ovat olleet runsaat. Reitin suurimmat järvet ovat Iisvesi–Niinivesi ja Konnevesi, joka jakautuu Pohjois- ja Etelä-Konneveteen (Kuva 14, 15). Pääreitin kaikki kosket on kunnostettu ja kaikki järvet ovat säännöstelemättömiä. Reitin pääuomastossa on vapaata koskialaa noin 44 hehtaaria, joista taimenen jokipoikasten elinympäristöksi sopii 24 hehtaaria (Valkeajärvi ym. 1997). Sivujoissa ja -puroissa koskialaa on ehkä 5–10 hehtaaria (Vesihallitus 1980). Ympäristöhallinnon valuma-aluejaossa Rautalammin reitin alaosa Konnevesi-järvestä alavirtaan on sisällytetty Leppäveden–Kynsiveden valuma-alueeseen (Kuva 14, 15).

Taimen lisääntyy luontaisesti todennäköisesti kaikilla pääreittien koskilla ja Koivujoella (Heinimaa ym. 2016), sekä reitin joissakin pikkujoissa. Osa pääreitien koskien jokitaimenista lähtee syönnösvalukselle järville, mutta vaeltajien lukumäärä lienee nykyään pieni (Syrjänen ym. 2014b). Pääreitin järviin ja koskiin on istutettu Rautalammin reitin viljelykantaan runsaasti vuosikymmenten ajan.

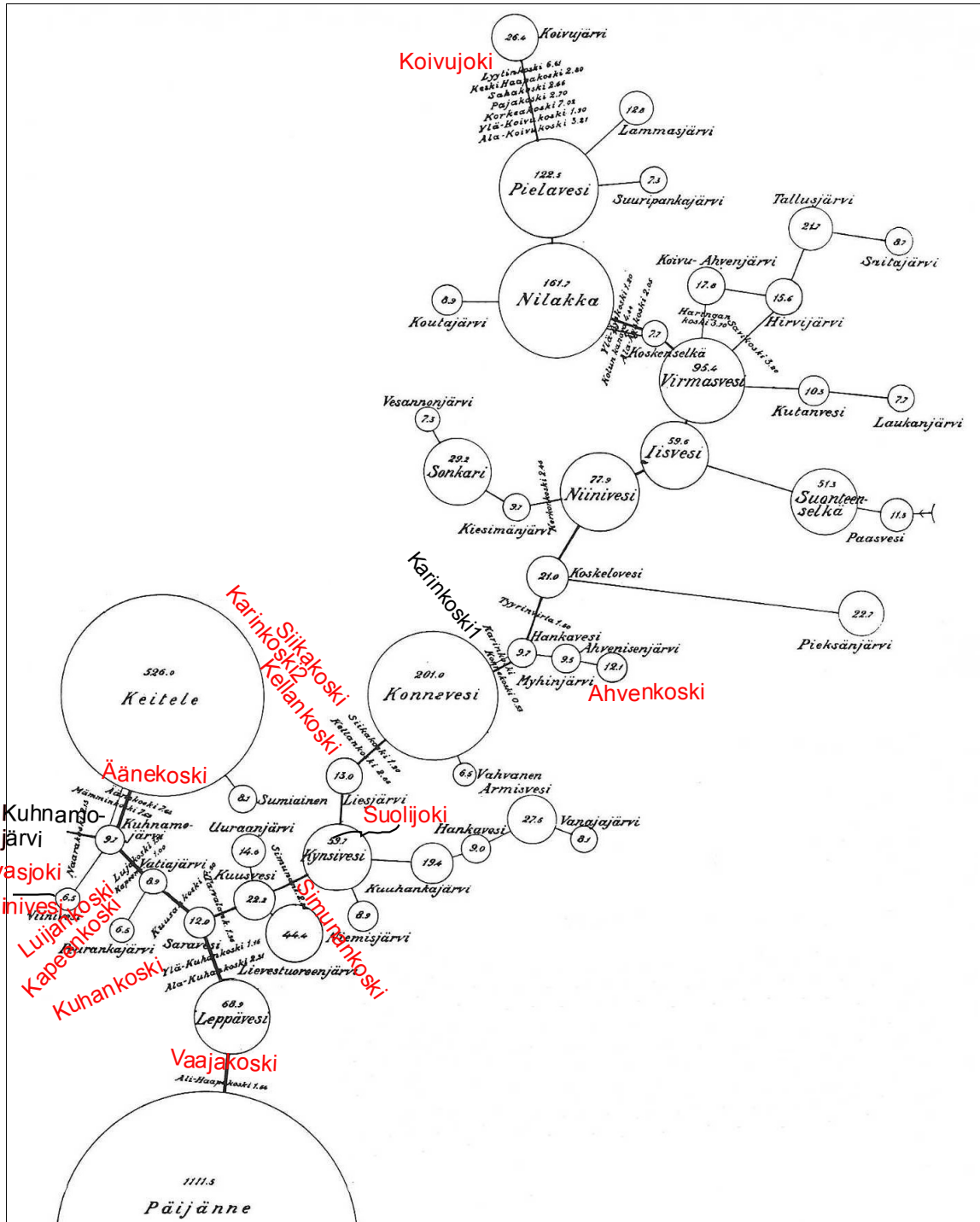
Äänekosken reitti alkaa Kuhnamo-järvestä, johon laskevat sekä Saarijärven reitti, että Viitasaaren reitti Keitelelen luusuan läpi (Kuva 14, 15). Keitelelen luusua, Äänekoski, on ollut padottuna jo 1890-luvulta lähtien, mutta padossa on kalatie. Alempana reitillä on kaksi suurta vapaata koskialuetta, Luijankoski–Kapeenkoski sekä Kuusaankoski, joissa on koskialaa noin 6 hehtaaria. Taimen lisääntyy näissä nykyään luontaisesti (Heinimaa ym. 2016; Syrjänen, julkaisematon). Kuusaankosken alapuoliseen Saraveteen laskee myös Rautalammin reitti yhtyen Äänekosken reittiin (Kuva 15).

Taimen palasi tälle vesireitille 1980-luvulla, kun Äänekosken sellutehdas tehosti jätevesiensä puhdistusta. Tätä ennen reitin yläosa oli vuosikymmenten ajan jätevesien pilaama. Alempana reitillä sijaitsevat padotut Kuhankoski ja Vaajakoski. Molemmissa voimalapadoissa on kalatiet.

Taimen lisääntyy luontaisesti vähäisessä määrin myös Vaajanvirrassa voimalan ylä- ja alakana-vassa (Kimmo Sivonen, Vesi-Visio, julkaisematon; Tero Matilainen, Koukku ja Paukku ry, suullinen tieto). Taimenkannoista reitille laskevissa pienissä joissa tai puroissa ei ole kirjattua tietoa.



Kuva 14. Rautalammin reitin (14.7) ja Äänekosken reitin (14.3) näytevesistöt. (Lähde: taustakartta: Maanmittauslaitos, valuma-alue rajat: SYKE).



Kuva 15. Rautalammin reitin ja Äänekosken reitin järvet ja kosket kaaviona (Lähde: Paananen ja Pakkanen 1992). Ympyrässä olevat luvut kuvaavat järvien pinta-alaa neliökilometreinä. Koskien nimien perässä olevat luvut esittävät niiden putoukorkeutta metreinä.

3.3.2. Taimennäytteet

Tutkituilta reiteiltä oli käytettävissä uudempia luonnosta kerättyjä näytteitä, vanhoja suomunäytteitä, sekä myös Luken Laukaan kalanviljelylaitoksen Rautalammin reitin viljelykantanäytteitä 5 kappaletta eri vuosilta, yhteensä 721 kalayksilönäytettä (Taulukko 9). Vanhat Kapeenkosken näytteet, vuosilta 2007 ja 1998, poikkesivat niin paljon uudemmasta näytteestä, että ne jätettiin pois. Myös Vaajakosken kahden kalan näyte ja Ahvenkosken 9 kalan populaationäyte olivat liian pieniä yksinään analysoitaviksi.

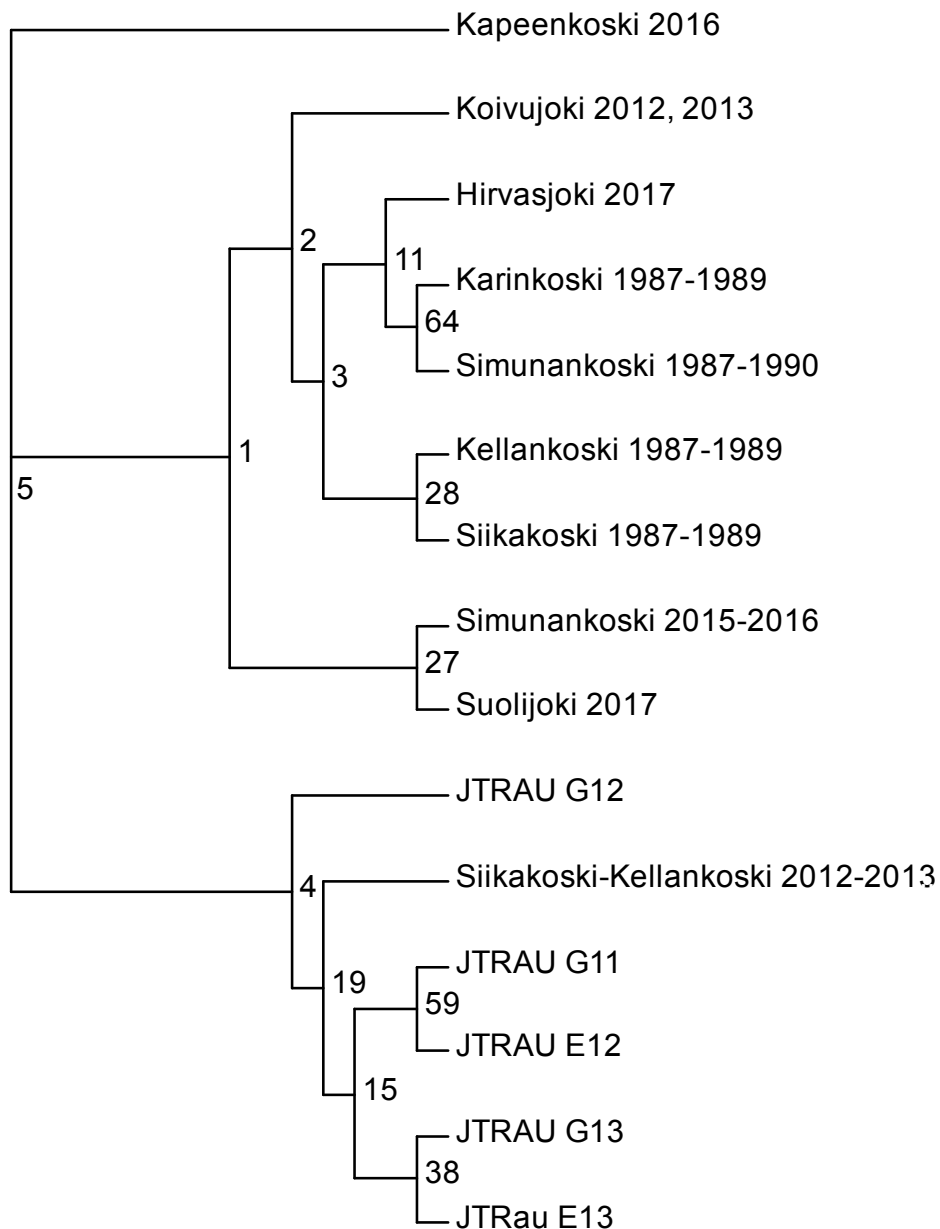
Taulukko 9. Rautalammin ja Äänekosken reittien taimennäytteet. Näytepaikka ja näytteenottovuosi, sekä valuma-alueen kolmannen jakotason numero ja paikan koordinaatit on ilmoitettu.

Joki/koski	N	Näytevuosi	Valuma-alue	EUREF-FIN	
				Pohjoinen	Itä
1 Koivujoki	104	2012, 2013	14.752	7029902	470022
2 Ahvenkoski	9	2017	14.718	6927521	493338
3 Siikakoski s	16	1987, 1988, 1991	14.711	6943167	465848
4 Siikakoski, Kellankoski	47	2012 (2014)	14.711	6943167	465848
5 Karinkoski s	13	1987, 1988, 1989	14.711	6941748	464970
6 Kellankoski s	48	1987, 1988, 1990	14.711	6939912	464565
7 Simunankoski	36	1987, 1989, 1990	14.352	6916808	457318
8 Simunankoski	67	2015, 2016	14.352	6916808	457318
9 Suolijoki	38	2017	14.373	6918511	476758
10 Hirvasjoki	50	2017	14.342	6931668	432838
11 Luijankoski-Kapeenkoski s	1	2007	14.332	6934143	440587
12 Luijankoski-Kapeenkoski s	2	1998	14.332	6934143	440587
13 Luijankoski-Kapeenkoski	28	2016	14.332	6934143	440587
14 Vaajakosken_Vaajanvirta	2	2016	14.3	6901824	442112
Yhteensä	461				
1 JT_RAU_G11	50	Rautalammin reitin			
2 JT_RAU_G12	60	Rautalammin reitin			
3 JT_RAU_G13	50	Rautalammin reitin			
4 JT_RAU_G12	50	Rautalammin reitin			
5 JT_RAU_G13	50	Rautalammin reitin			
Yhteensä	260				
Kaikki Yht.	721				

3.3.3. Geneettisten analyysien tulokset

Rautalammin ja Äänekosken reittien taimenista analysoitiin sukupuurakenne luonnonvaraisten kantojen ja viljelykantojen näytteet yhdessä. Luonnonvaraisten näytteiden joukossa oli lisäksi neljä näytettä, jotka oli kerätty 1980- ja 1990-luvulla. Sukupuun haarojen bootstrap-arvot olivat monen haaran kohdalla varsin alhaiset, mikä kertoo selvästi epävarmuudesta näiden populaatiohaarojen suhteen (Kuva 16).

Viljelykannat ryhmittivät kuitenkin kaikki samaan ryhmään ja ainoastaan uudemmat Simunankosken ja Siikakosken–Kellankosken näytteet ryhmittivät tähän samaan ryhmään. Vanhoista näytteistä Siikakosken ja Kellankosken näytteet ryhmittivät selvästi ja loogisesti lähelle toisiaan ja samaan ryhmään. Samoin vanhat näytteet Karinkoskelta (N = 13) ja Simunankoskelta (N = 36) ryhmittivät yhteen. Tähän vanhojen näytteiden ryhmään liittyi myös uusi Hirvasjoen näyte, vuodelta 2017, joskin selvästi pienemmällä bootstrap-arvolla. Varsin selkeä ryhmä oli myös uudempien näytteiden Simunankosken ja Suolijoen ryhmä. Koivujoki ja Kapeenkoski ryhmittivät muista selvästi erilleen.



Kuva 16. Rautalammin ja Äänekosken reittien taimennäytteiden geneettiset etäisyydet.

Taimennäytteiden väliset erot olivat kautta linjan pienet (Taulukko 10). Parittaisissa Fst-estimaateissa oli useita alle 0,01:n arvoja, muun muassa kaikki vanhojen suomunäytteiden väliset erot. Hyvin vähän oli arvoja yli 0,1. Nykyinen luonnonvarainen Siikakosken-Kellankosken näyte erosi myös varsin vähän vanhoista Karinkosken ja Kellankosken näytteistä. Nykyiset viljelykannat muistuttivat eniten nykyistä Siikakosken-Kellankosken näytettä. Nämä näytteet ovat ymmärrettävästi samankaltaisia myös siksi, että viljelykanta on uudistettu juuri näiltä alueilta luonnosta pyydystetyistä kaloista.

Viljelykannoista vanhin Rautalammin reitin järvitaimennäyte JT_RAU_G11 oli eniten samankaltainen JT_RAU_G13 ja JT_RAU_E12 JT_RAU_E13 näytteiden kanssa ja poikkesi hieman enemmän JT_RAU_G12 näytteestä. Hirvasjoen näyte poikkesi kaikista muista kertaluokkaa suuremmilla Fst-arvoilla (0,16 - 0,22).

Taulukko 10. Rautalammin ja Äänekosken reitin taimennäytteiden väliset parittaiset geneettiset etäisyydet Fst - arvoilla mitattuna.

	Karinkoski s	Kellankoski s	Siikakoski s	Simunankoski	Koivujoki	Siikak, Kellank,	Simunankoski	Suolijoki	Hirvasjoki	Kapeenkoski	JT_RAU_G11	JT_RAU_G12	JT_RAU_G13	JT_RAU_E12
Karink.-87	---	-0,001	0,005	-0,002	0,064	0,009	0,021	0,081	0,199	0,032	0,021	0,018	0,012	0,009
Kellank.-87	-0,001	---	0,006	0,003	0,059	0,006	0,025	0,057	0,185	0,022	0,013	0,021	0,020	0,019
Siikak.-87	0,005	0,006	---	0,010	0,073	0,023	0,047	0,086	0,219	0,051	0,024	0,047	0,030	0,031
Simun.-87	-0,002	0,003	0,010	---	0,071	0,015	0,026	0,074	0,188	0,025	0,016	0,032	0,022	0,016
Koivujoki	0,064	0,059	0,073	0,071	---	0,050	0,056	0,091	0,214	0,073	0,067	0,069	0,075	0,074
Siikak.y.m.	0,009	0,006	0,023	0,015	0,050	---	0,023	0,055	0,185	0,016	0,009	0,011	0,013	0,008
Simunank.	0,021	0,025	0,047	0,026	0,056	0,023	---	0,067	0,176	0,033	0,035	0,030	0,037	0,033
Suolijoki	0,081	0,057	0,086	0,074	0,091	0,055	0,067	---	0,214	0,062	0,065	0,066	0,075	0,076
Hirvasjoki	0,199	0,185	0,219	0,188	0,214	0,185	0,176	0,214	---	0,178	0,170	0,169	0,187	0,162
Kapeenk.	0,032	0,022	0,051	0,025	0,073	0,016	0,033	0,062	0,178	---	0,021	0,029	0,028	0,025
JT_G11	0,021	0,013	0,024	0,016	0,067	0,009	0,035	0,065	0,170	0,021	---	0,025	0,011	0,010
JT_G12	0,018	0,021	0,047	0,032	0,069	0,011	0,030	0,066	0,169	0,029	0,025	---	0,019	0,024
JT_G13	0,012	0,020	0,030	0,022	0,075	0,013	0,037	0,075	0,187	0,028	0,011	0,019	---	0,017
JT_E12	0,009	0,019	0,031	0,016	0,074	0,008	0,033	0,076	0,162	0,025	0,010	0,024	0,017	---
JT_E13	0,012	0,014	0,026	0,015	0,060	0,009	0,031	0,067	0,175	0,017	0,011	0,024	0,013	0,012

Taimennäytteiden samankaltaisuus näkyi myös siinä, että populaationäyteparien väliset erot eivät olleet merkitseviä (Taulukko 11). Vanhat suomunäytteet eivät eronneet lainkaan toisistaan. Viljelykannat eivät myöskään juurikaan eronneet vanhasta Karinkosken populaationäytteestä, eivätkä vanhasta Siikakosken näytteestä. Nämä näytteet muistuttivat myös eniten uudempiä näytteitä näiltä alueilta. Karinkosken vanha näyte tosin oli vain 13 kalaa, mikä vaikeutti sen erottumista muista yleensäkin. Kapeenkosken näyte muistutti myös yhtä viljelykannan näytettä.

Taulukko 11. Rautalammin ja Äänekosken reittien taimennäytteiden välisten geneettisten erojen tilastolliset merkitsevyydet.

Näyte	-87													
	Kellank.	Siikak.	Simunank.	Koivujoki	Siikak. Kellank.	Simunankoski	Suolijoki	Hirvasjoki	Kapeenkoski	JT_RAU_G11	JT_RAU_G12	JT_RAU_G13	JT_RAU_E12	JT_RAU_E13
Karink.-87	NS	NS	NS	***	NS	*	***	***	NS	**	*	NS	NS	NS
Kellank.-87		NS	NS	***	*	***	***	***	**	***	***	***	***	***
Siikak.-87			NS	***	*	***	***	***	**	NS	***	*	***	NS
Simunank.-87				***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Koivujoki				***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Siikak.Kellank.						***	***	***	***	***	***	***	*	*
Simunankoski							***	***	***	***	***	***	***	***
Suolijoki								***	***	***	***	***	***	***
Hirvasjoki									***	***	***	***	***	***
Kapeenkoski										***	***	***	***	**
JT_RAU_G11										***	***	**	***	***
JT_RAU_G12											***	***	***	***
JT_RAU_G13												***	***	***
JT_RAU_E12														**

Näytteiden keskimääräinen geneettinen diversiteetti oli keskimäärin samalla tasolla vanhoissa suomunäytteissä (0,6) ja nykyisissä luonnonvaraisissa kannoissa (0,6) (DIV, Taulukko 12). Viljelykantojen diversiteetti oli jonkin verran korkeampi (0,63).

Alleelirikkaus oli samoin korkein viljelyillä Rautalammin reitin taimenkannoilla (5,6) ja alhaisin nykyisten luonnonvaraisten taimenten näytteessä (5,0). Vanhoissa näytteissä alleelirikkaus oli varsin korkea (5,4), vaikka otoskoko oli alle puolet toisten ryhmien näytemäärästä.

Vanha Simunankosken populaationäyte poikkesi satunnaispariutumisesta, siinä oli ylimäärä homotsygootteja yksilöitä, eli mahdollisesti lisääntynyttä sukulaisuutta (Taulukko 12). Uudemmissa näytteissä Simunankosken ja Suolijoen taimennäytteiden Fis, homotsygoottien määrä, oli odotettua pienempi, mikä voi olla seuraus populaatioiden sekoittumisesta. Viljelykantaanäytteistä vanhimmassa JT_RAU_G11 oli, myös lievä alimäärä homotsygotiaa, eli samoin mahdollisesti alun perin taimenia eri populaatioista.

Selvästi alentunut diversiteetti oli Hirvasjoen näytteessä (0,46). Alhaisin alleelirikkaus oli samoin Hirvasjoen näytteessä, vaikka sen otoskoko oli 50 yksilöä. Myös Koivujoen ja Suolijoen taimennäytteiden alleelirikkaus oli selvästi keskimääräistä alhaisempi. Hirvasjoen näyte poikkesi tilastollisesti merkitsevästi myös satunnaispariutumisesta. Fis-arvo, homotsygotian määrä, oli tilastollisesti merkitsevästi pienempi kuin yhdellä tasapainossa olevassa populaatiossa, eli oli mahdollisesti tapahtunut populaatioiden tai perheryhmien sekoittumista tässä populaationäytteessä, eli se edusti useampaa kuin yhtä populaatiota. Hirvasjoen taimenpopulaatio on voimakkaasti erilaistunut, mutta vain vähän geneettistä diversiteettiä sisältävä populaatio.

Nykyisistä luonnonvaraisista populaatioista yhdistetyssä Siikakosken–Kellankosken populaationäytteessä oli korkein geneettisen diversiteetin määrä. Sen keskimääräinen diversiteetti oli 0,63 ja alleelirikkaus 5,76 alleelia geenilokusta kohti.

Taulukko 12. Rautalammin ja Äänekosken reitin taimennäytteiden sisäinen diversiteetti.

Taimennäyte	N	DIV	N All.	All. Rikk.	All. Rikk/L	Fis	P Fis
Siikakoski s	16	0,57	89	83,0	5,18	0,025	ns
Karinkoski s	13	0,62	93	93,0	5,81	0,041	ns
Kellankoski s	48	0,61	134	91,3	5,71	0,015	ns
Simunankoski s	36	0,59	113	81,1	5,07	0,050	P<0,5 suuri
<i>Suomunäytteet</i>	113	0,60		87,1	5,4		
Koivujoki	104	0,63	102	75,7	4,73	-0,024	ns
Siikak., Kellank.	47	0,63	127	92,2	5,76	-0,005	ns
Simunankoski	67	0,63	115	83,9	5,24	-0,031	ns
Suolijoki	38	0,58	71	62,5	3,90	-0,083	P<0,1 pieni
Hirvasjoki	50	0,46	43	41,2	2,58	-0,063	P<0,5 pieni
Kapeenkoski	28	0,65	105	86,0	5,38	0,005	ns
<i>Luonnonkalat</i>	334	0,60		79,7	5,0		
JT_RAU_G11	50	0,65	127	90,8	5,68	-0,044	P<0,5 pieni
JT_RAU_G12	60	0,62	116	86,1	5,38	0,014	ns
JT_RAU_G13	50	0,62	116	87,9	5,49	0,006	ns
JT_RAU_E12	50	0,63	119	88,8	5,55	0,006	ns
JT_RAU_E13	50	0,65	123	91,9	5,74	0,033	ns
<i>Viljelykannat</i>	260	0,63		89,1	5,6		
Yhteensä	707	0,64	190	93,69	5,86		
Kaikkien KA		0,61		82,4	5,15		

Luonnonvaraisten ja viljeltyjen kantojen tehollisten ja todellisten kokojen suhteet erosivat selvästi. Ne olivat viljelykannoilla yleensä korkeat ja vaihtelivat välillä 0,7–1,0, kun luonnonvaraisilla kannoilla vaihteluväli oli 0,3–1,2. Tässäkin maksimi oli yhdistetyssä Siikakosken–Kellankosken populaationäytteessä (Taulukko 13). Myös Kapeenkoskella tehollinen koko oli suurempi kuin näytekoko (Taulukko 13).

Koivujoen ja Hirvasjoen näytteiden tehollinen koko oli vain noin kolmannes näytteen todellisesta koosta. Koivujoella 104 kalan näytteessä olikin edustus vain alle 60 perheestä, mikä sinällään oli varsin suuri perhemäärä yhdelle taimenkannalle. Hirvasjoen 50 kalan näytteessä oli vain 15 perhettä, eli poikasia samoista perheistä oli useita.

Simunankosken ja Suolijoen nykyisten populaatioiden näytteet vaikuttivat tyypillisiltä luonnonvaraisilta populaatioilta, vaikka tehollisen ja todellisen koon suhde oli hieman alhainen. Kummankin tehollisen koon arvio kuitenkin alle 50 yksilöä.

Viidestä viljelykantanäytteestä kolmessa tehollinen koko oli noin 50, ja N_e/N suhde oli kaikilla korkea. Viljelyolosuhteissa on onnistuttu viime vuosikymmeninä tehokkaammin säilyttämään geneerä kuin nykyisin luonnossa. Luonnosta näytteiden kerääminen on huomattavasti vaikeampaa, mutta näidenkin näytteiden perusteella säilytysteho on viljelyssä parempi. Viljelykannan 50 kalan näytteessä oli keskimäärin 42 perhettä, mikä on määränä varsin suuri.

Sukulaisuus oli selvästi koholla Hirvasjoen taimenella (12,1 %), vaikka näyte oli 50 yksilöä ja ihan teellinen alle 4 % arvo oli vain yhdistetyllä Siikakosken-Kellankosken näytteellä. Viljelykantanäytteillä sukulaisuus oli tasaisesti lähellä 4 % tasoa (Taulukko 13).

Taulukko 13. Rautalammin ja Äänekosken reittien taimenten populaationäytteiden tehollinen koko (N_e), sen 95 % luottamusrajat, tehollisen koon ja näytteen todellisen koon ja suhde (N_e/N), näytteessä havaittujen taimenperheiden määrä ja sukulaisuusaste (%).

Viitearvot	> 50		> 0,5	> 50	< 4 %	
Taimennäyte	N	Ne	95 % Ne	Ne/N	N Perhe	Sukulaisuus %
Koivujoki 2012, 2013	104	27	17-47	0,3	57	6,4
Siikakoski-Kellankoski 2012, (2014, 1 kpl)	47	58	38-90	1,2	43	3,6
Simunankoski 2015, 2016	67	27	17-47	0,4	40	5,1
Suolijoki 2017	38	17	10-34	0,4	29	7,8
Hirvasjoki 2017	50	15	8-30	0,3	34	12,1
Kapeenkoski 2016	28	25	13-59	0,9	21	5,9
Yhteensä	334	169		0,6	169	
JT_RAU_G11	50	48	32-74	1,0	43	4,3
JT_RAU_G12	60	47	31-73	0,8	54	4,5
JT_RAU_G13	50	36	22-38	0,7	38	4,7
JT_RAU_E12	50	50	32-81	1,0	44	4,0
JT_RAU_E13	50	39	25-63	0,8	38	4,4
Yhteensä	260	220		0,8	217	
<i>Kaikki yhteensä</i>	<i>594</i>	<i>389</i>		<i>0,7</i>	<i>386</i>	

3.3.4. Tulosten tarkastelu ja taimenkantojen hoitosuositus

Rautalammin reitin taimenpopulaatiot olivat kaikki hyvin samanlaisia ja ilmeisesti, joko jo historiallisesti tai istutusten seurauksena muistuttivat viljeltyä Rautalammin reitin järvitaimenta. Pohjoinen Koivujoen populaatio on todennäköisesti paikallista taimenta, mutta varsin elinvoimainen, joten sen alue tulisi säilyttää omana yksikkönään, samoin ainakin vielä toistaiseksi läntisemmät Hirvasjoen ja Kapeenkosken populaatioiden alueet, vaikka näissä populaatiokoot ovat ilmeisesti selvästi pienemmät.

Rautalammin reitillä esiintyy luontaisia taimenpopulaatioita, joista ei saatu tähän tutkimukseen näytteitä. Tulevaisuudessa olisi hyvä kerätä näytteitä myös pääuomastosta Siikakosken yläpuolista viidestä reittikoskesta. Reitit järviin laskee myös joitakin pieniä taimenjokia ja -puroja, kuten Ahvenkosken reitti, joista olisi mahdollista ehkä saada riittävän suuria populaationäytteitä. Myös Äänekosken reitillä Leppäveteen laskevassa Pitkäjoen vesistössä esiintyy luontaisia taimenkantoja.

Rautalammin reitti on tärkeä lisäksi taimenen viljelykannan uudistamisalueena, sillä Luonnonvarakeskus uudistaa Rautalammin reitin järvitaimenen viljelykantaan pääreitit koskilta kerätyillä villoilla jokipoikasilla kasvattamalla ne sukukypsiksi viljelylaitoksella. Runsaat luontaiset taimenkannat reitillä turvaisivat myös viljelykannan pysymisen geneettisesti monimuotoisena. Reitit luontaiset taimenkannat ovat siten erityisen arvokkaita Järvi-Suomen kalatalouden luonnonvarana.

3.4. Arvajan reitti 14.2.

3.4.1. Kutualueet ja taimenkantojen tila

Arvajan reitin virtaama on pieni, noin $2 \text{ m}^3/\text{s}$, mutta reitillä sijaitsee kymmenkunta koskea ja useita järviä. Alin koski, Arvajankoski, on padottu. Padon ohittaa kalatie, jonka vesitys ei ilmeisesti aina toimi. Muita vaellusesteitä reitillä ei ole. Reitit suurin järvi on Isojärvi, josta reitti saa alkunsa. Järvien ja virtavesien vedenlaatu on hyvä tai erinomainen ja ainakin Isojärvessä on ollut runsas muikkukanta

2000-luvulla. Reitin kaikki muut kosket paitsi Arvajankoski on kunnostettu ja kaikki järvet ovat säännöstelemättömiä. Reitillä on vapaata koskialaa noin 3 hehtaaria.

Taimen lisääntyy luontaisesti mahdollisesti kaikilla pääreittien koskilla, mutta Isojärven luusuassa sijaitsevassa Kivikoskessa poikastiheys on ollut huomattavasti matalampi 2000-luvulla kuin 1980-luvulla (Heinimaa ym. 2016). Osa jokitaimenista lähtee syönnösvaellukselle järville, ehkä pääosin kohti Isojärveä (Syrjänen ym. 2014b). Reitin järviin ja koskiin on istutettu satunnaisesti Rautalammin reitin viljelykantaa olevia poikasiasia.



Kuva 17. Arvajän reitin vesistö ja taimennäytepaikat. (Lähde: taustakartta: Maanmittauslaitos, valuma-alue rajat: SYKE)

3.4.2. Taimennäytteet

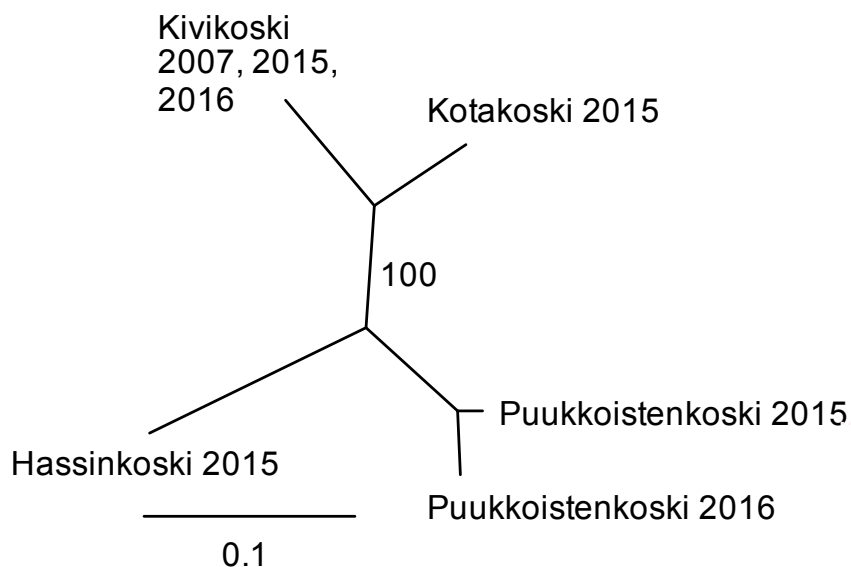
Arvajän reitiltä saatiin taimennäytteitä neljältä alueelta. Osa populaationäytteistä oli hyvin pieniä alle 10 kappaleen näytteitä (Taulukko 14). Kaikkien muiden alueiden eri vuosien näytteet yhdistettiin, paitsi Puukkoistenkosken alueelta, josta analysoitiin vuosien 2015 ja 2016 näytteet erikseen, koska niissä otoskoko juuri riitti siihen.

Taulukko 14. Arvajan reitin taimennäytteet. Näytepaikka ja näytteenottovuosi, sekä valuma-alueen kolmannen jakotason numero ja paikan EUREF-FIN koordinaatit on ilmoitettu.

Joki/koski	N	Näytevuosi	Valuma-alue	Pohjoinen	Itä	Kunta
Hassinkoski	19	2015	14.262	6846265	403469	Kuhmoinen
Puukkoistenkoski	23	2015	14.262	6843973	401491	Kuhmoinen
Puukkoistenkoski	25	2016	14.262	6843973	401491	
Kotakoski	17	2015	14.263	6840156	402202	Kuhmoinen
Kivikoski	20	2015	14.263	6839141	402450	Kuhmoinen
Kivikoski, suomi	3	2007	14.263	6839141	402450	
Kivikoski	3	2016	14.263	6839141	402450	
Kivikoski	26	2015	14.263	6839141	402450	
136						

3.4.3. Geneettisten analyysien tulokset

Arvajan reitin taimennäytteiden sukupuun rakenne oli harvinaisen varma. Kaikille sukupuunharjoille saatiin bootstrap-arvot 100 % (Kuva 10). Puukkoistenkoskien näytteet eri vuosilta ryhmittivät yhteen ja Kotakosken ja Kivikosken taimennäytteet myös keskenään yhteen ryhmään. Hassinkosken näytteet poikkesivat hieman enemmän näistä molemmista. Kotakoski ja Kivikoski myös sijaitsevat maantieteellisesti hyvin lähellä toisiaan.



Kuva 18. Arvajan reitin taimenkantojen geneettiset etäisyydet juurettoman sukupuun avulla kuvattuna. Geneettinen etäisyys on kuvattu populaatiohaarojen viivan pituutena, kuvassa etäisyys mitta-asteikko.

Pienin geneettinen etäisyys oli Puukkoistenkosken ja Hassinkosken välillä ($F_{st} = 0,06$), ja seuraavaksi pienin Kivikosken ja Kotakosken välillä ($F_{st} = 0,08$) (Taulukko 15.). Kaikkien neljän alueen Hassinkosken, Puukkoistenkosken, Kotakosken ja Kivikosken välisten geneettiset erot olivat merkitseviä 1 % riskitasolla ($P < 0,01$), mikä on varsin vähän geneettisissä tutkimuksissa, koska erittäin merkitseviä eroja yleensä syntyy varsin helposti. Kannat olivat siten suhteellisen samanlaiset kaikilla tutkitulla neljällä alueella.

Taulukko 15. Arvajan reitin taimennäytteiden väliset geneettiset etäisyydet mitattuna F_{st} – arvoilla.

	Hassink.	Puukkoistenk.	Kotakoski	Kivikoski
Hassinkoski	---	0,06	0,10	0,12
Puukkoisten	0,06	---	0,12	0,14
Kotakoski	0,10	0,12	---	0,08
Kivikoski	0,12	0,14	0,08	---

Arvajan reitin taimennäytteistä korkein diversiteetti (0,66) oli Hassinkosken taimenilla ja alhaisin Kivikosken taimenilla (0,54) (Taulukko 16.). Samoin alleelirikkaus oli suurin Hassinkosken taimenilla (95 alleelia yhteensä 16 geenilokuksessa, 17 kalan näytteessä keskimäärin). Puukkoistenkosken ja Kotakosken arvot olivat keskimääräisiä. Satunnaispariutumista poikkesivat Hassinkosken ja Kivikosken taimenten populaationäytteet. Molemmista Fis oli odotettua pienempi, eli alapopulaatioihin viittaava. Kivikosken näyte oli useammalta vuodelta, joten pyydystetyillä poikasilla on voinut olla osittain eri emot. Hassinkosken näytteen tulokselle ei ole ilmeistä selitystä, alueella on siten mahdollisesti kutsuttu kaloja eri populaatioista. Arvajan reitin kaikille koskille on istutettu jossain vaiheessa niin mätää kuin isompiakin poikasiasia. Istutuksiin on todennäköisesti käytetty Rautalammin reitin kantaa. Istutuksia on tehty erityisesti alaosan Hassinkoskiin (Tomi Ranta, kirjallinen tiedonanto).

Taulukko 16. Arvajan reitin taimennäytteiden sisäinen geneettinen diversiteetti.

Taimennäyte	N	DIV	N All	All Rikk.	All Rikk./L	Fis	P Fis
Kivikoski	52	0,54	80	63,5	4,0	-0,073	P<0,01 P
Kotakoski	17	0,59	75	75,0	4,7	-0,056	ns
Puukkoistenkoski	48	0,58	87	77,5	4,8	-0,026	ns
Hassinkoski	19	0,66	97	95,0	5,9	-0,054	P<0,5 P
Yht.			136	91,01	5,7		
Ka.		0,59	84,7	77,7	4,9		

Arvajan reitin taimennäytteistä suurin tehollinen koko, $N_e = 28$, oli Kivikosken populaationäytteessä, joka tosin oli kahdelta vuodelta kerätty (Taulukko 17). Paras N_e/N suhde oli kuitenkin Kotakosken näytteessä. Sekä geneettisesti teholliset koot, että perhemäärät olivat kaikissa yksittäisissä näytteissä alle 50 kpl. Maantieteellisesti lähekkäisissä Kotakoskessa ja Kivikoskessa oli kuitenkin yhdessä yli 50 perhettä. Sukulaisuus oli selvästi kohonnut Kivikosken ja Puukkoistenkosken näytteessä.

Taulukko 17. Arvajan reitin taimennäytteiden tehollinen koko (N_e), sen 95 % luottamusrajat, tehollisen koon ja näytteen todellisen koon ja suhde (N_e/N), näytteessä havaittujen taimenperheiden määrä ja näytteen yksilöiden välinen sukulaisuus, %.

Viitearvot	> 50		> 0,5		> 50	< 4 %
Taimennäyte	N	Ne	95 % Ne	Ne/N	N Perhe	Sukulaisuus %
Kivikoski 2015, 2016	49	28	16-50	0,6	42	8,8
Kotakoski 2015	17	19	10-43	1,1	15	5,9
Puukkoistenkoski 2015, 2016	48	18	10-35	0,4	31	8,5
Hassinkoski 2015	19	9	4-26	0,5	14	5,8
Kaikki yhteensä	133	74			102	

Arvajan reitin taimennäytteet on käsitelty myös Päijänteeseen laskevien vesien taimenpopulaatioiden yhteydessä. Kun Arvajan reitin taimenet ryhmitellään yhdessä muiden taimenten kanssa kolme ylintä koskea Kotakoski, Kivikoski ja Puukkoistenkoski muodostavat oman ryhmänsä ja alin Hassinkoski muistuttaa enemmän muita Päijänteen taimenpopulaatioita. Arvajan reitin taimenten hoito-yksiköksi voisi siten muodostaa Hassinkoskesta ylöspäin oleva vesireitti siten, että Hassinkoski ja ve-

sialueet siitä alaspäin ovat vielä Päijänteen alueen taimenille kuuluvaa aluetta. Jonkin verran geenivaihtoa näiden alueiden välillä luultavasti kuitenkin on.

3.5. Suur-Päijänne 14.2 ja Jämsän reitti 14.5

3.5.1. Kutualueet ja taimenkantojen tila

Päijänne on Kymijoen päävesistön ja Suur-Päijänteen vesistön keskusjärvi (Kuva 19). Suoraan Päijänteeseen laskevista reiteistä suurimmat on padottu. Näitä ovat Äänekosken reitti, Jämsän reitti ja Sysmän reitti. Arvajan reitin alimmassa koskessa on säännöstelypato kalateineen, mutta muuten reitti on esteetön kalojen vaeltaa. Muut järveen laskevat pienemmät joet ovat myös kokonaan tai pääosin vapaita. Näitä ovat Muuramenjoki, Saajoki, Nytkymenjoki, Pihlajakoski, Vääksynjoki, Heinjoki, Äiniönjoki ja Rutajoki, sekä Vesijaosta laskeva alaosaltaan padottu Arrakosken reitti. Päijänteen luusuan, Kalkkistenkosken, pääuoma on myös vapaa. Koskialaa on vapaissa joissa ja suurissa puroissa ehkä 6–9 hehtaaria. Järven vedenlaatu on hyvä. Muikkua esiintyy vaihtelevasti pohjoisessa, mutta etelässä erityisesti Tehinselällä laji on kohtalaisen runsas.

Luontaisia taimenkantoja esiintyy useissa pikkujoissa, joissakin puroissa sekä Kalkkistenkoskessa (Heinimaa ym. 2016). Näissä elävät villit taimenyksilöt ovat pääosin paikallisia. Pieni osa yksilöistä vaeltaa kuitenkin yhä Päijänteelle syönnösvaellukselle (Syrjänen ym. 2014a, 2014b). Padotuilta reiteiltä tai kymmenien kilometrien päässä sijaitsevilta koskilta taimenet eivät todennäköisesti Päijänteeseen juuri vaella. Muun muassa Joutsan Myllynkoski sijaitsee Tainionvirran reitillä noin 70 km päässä Päijänteestä. Reitillä ennen Päijännettä on isoja järviä kuten Jääsjärvi sekä kaksi patoa Tainionvirran alaosalla. Kalat eivät vaella Myllynkoskelta Päijänteelle, tuskin juuri Tainionvirraltakaan. Joutsan Myllynkoski on tässä selvityksessä ainut Jämsän reitin (14.8) alueelta oleva näyte. Myös Jyväskylän Autiojoen ja Jyväsjärven välillä on kaksi vesivoimalaa patoineen, jotka estävät kalojen vaeluksen Päijänteelle.

Harmoistenjoen alaosassa on voimalaitospato, joten vaellusreitti on ollut kauan poikki Päijänteelle. Harmoistenjoelle on suullisen tiedon mukaan istutettu aikoinaan taimenia (Tomi Ranta, kirjallinen tiedonanto).

Äiniönjoella on ollut myös lukuisia patoja, jotka on viime vuosina yhtä lukuun ottamatta poistettu. Vaellusväylä on ollut siten varsin kauan poikki, eikä alkuperäistä vaeltavaa taimenta näin ollen todennäköisesti siellä ole enää siellä. Äiniönjokeen on istutettu ainakin Rautalammin reitin taimenta.

Sääkspuroon ei ole tiettävästi tehty istutuksia (Tomi Ranta, kirjallinen tiedonanto).

Nytkymenjoessa sijaitseva Juveninkoski lienee kaloille luonnollinen nousueste, eli nousumahdollisuus Päijänteestä joen yläosille on hyvin epävarma. Nytkymenjoen näytteet on otettu kaikki Juveninkosken yläpuolelta. Juveninkoskessa nousuesteen alapuolella on myös taimenpopulaatio, joka voi erota yläpuolen populaatiosta.

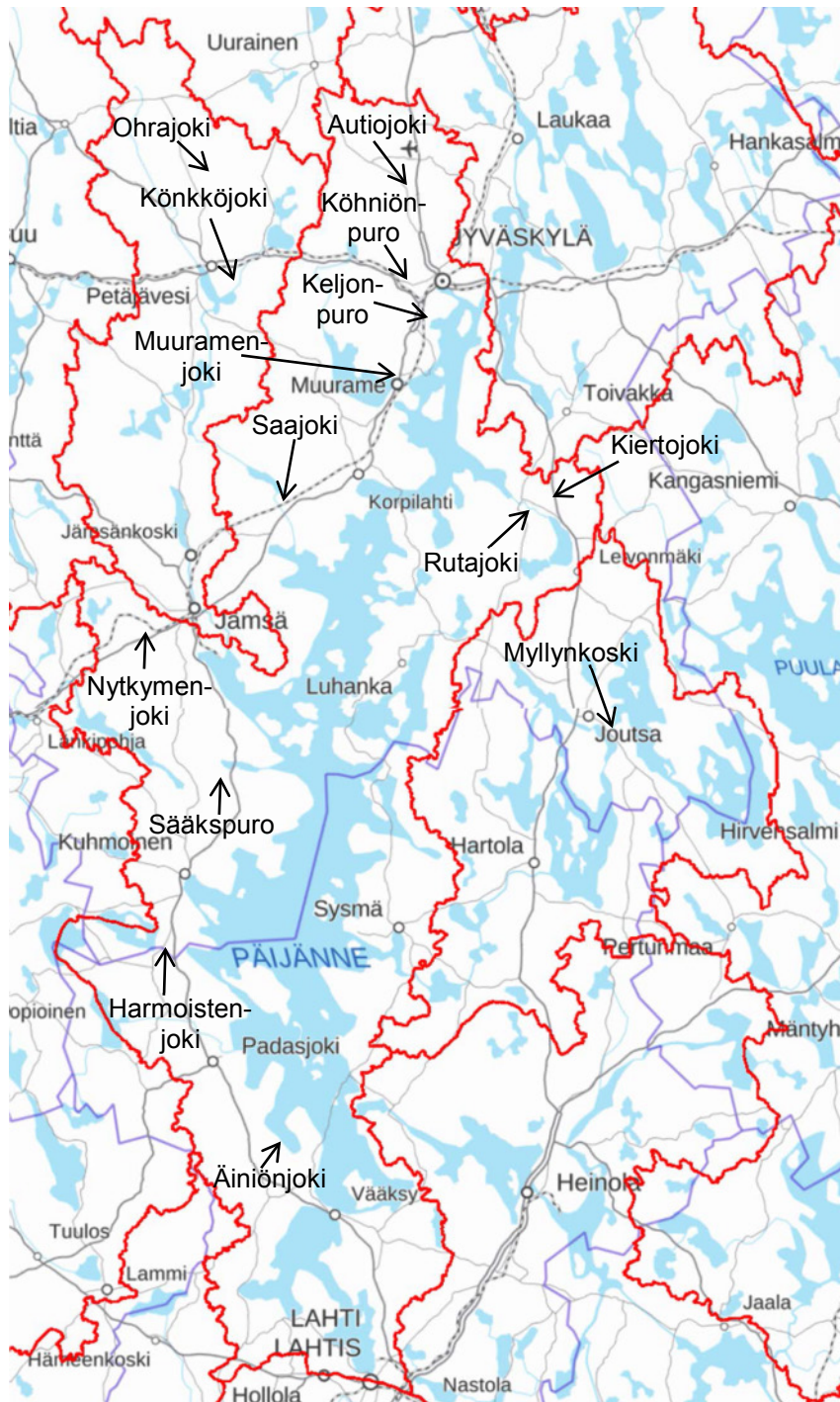
Jämsän reitti laskee luoteesta Jämsän kohdalla Päijänteeseen (Kuva 19). Jämsän yläpuolella Jämsänkoskella on kaksi kalatietöntä voimalapatoa. Ylempänä reitillä Kalliokoskessa on kolmas voimalapato ja kalatie. Reitti on ruskeavetinen. Turvetuotanto ja metsäojitukset vaivaavat vesistöjä. Erityisen ruskeavetinen on Pengerjoki reitin yläosalla. Reitin koskissa ja pienissä joissa on vapaata koskialaa noin 5–7 hehtaaria. Reitin yläosan metsäjoilla elää luontaisia taimenkantoja (Heinimaa ym. 2016; Pentti Valkeajärvi, Konneveden kalatutkimus ry, suullinen tieto). Taimenkannat lienevät pääosin tai kokonaan paikallisia, sillä reitin järvet ovat kooltaan pienehköjä eikä niissä esiintyne runsaita muikkukantoja.

3.5.2. Taimennäytteet

Jämsän reitiltä näytteitä oli vain Ohrajoelta ja Könkköjoelta, yhteensä 123 kpl, eri vuosina (Taulukko 18). Könkköjoki on taimentuotannoltaan ilmeisesti reitin paras jokialue, ja järvivaeltajistakin on havaintoja. Könkköjokeen on istutettu ainakin Talvalkosken Ohtaajan viljelykantaa sekä Rautalammin reitin järvitaimenen viljelykantaa (Pentti Valkeajärvi, kirjallinen tiedonanto). Ohrajoen näytteet olivat kudospäytteitä varsinkin viime vuosilta, vuodesta 2012 lähtien, vuoteen 2016. Könkköjoen näytteissä oli kolme vanhempaa suomunäytettä vuodelta 1996. Tässä yhteydessä Jämsän reitin näytteitä verrattiin ensin vain keskenään, ne analysoidaan tarkemmin Päijänteesen laskevien jokien kanssa yhdessä. Koska eri vuosilta oli vähintään 10 näytettä, vuoden 1996 Könkköjoen näytettä lukuun ottamatta, Jämsän reitin näytteistä voitiin tarkastella myös vuosien välistä vaihtelua.

Taulukko 18. Jämsän reitin taimennäytteet. Näytepaikka ja näytteenottovuosi, sekä valuma-alueen kolmannen jakotason numero ja paikan EUREF-FIN koordinaatit on ilmoitettu.

Joki/koski	N	Vuosi	Valuma-alue	Pohjoinen	Itä
Ohrajoki	11	2012	14.548	6916180	401756
Ohrajoki	30	2013	14.548	6916180	401756
Ohrajoki	10	2015	14.548	6916180	401756
Ohrajoki	10	2016	14.548	6916180	401756
Könkköjoki	27	2012	14.551	6901116	409458
Könkköjoki	32	2013	14.551	6901116	409458
Könkköjoki, s	3	1996	14.551	6901116	409458
123					



Kuva 19. Suur-Päijänne näytevesistöinen. Taimennäytejokien sijainti esitetty (Lähde: taustakartta: Maanmittauslaitos, valuma-alue rajat: SYKE).

Suur-Päijänteeseen laskevista vesistä saatiin yhteensä 448 taimennäytettä (Taulukko 19). Näihin eivät kuuluneet vielä Arvajän reitin ja Jämsän reitin taimenet, Sysmän reitin (14.6) Myllynkoski on kuitenkin listattu tähän yhteyteen. Yksittäinen Saajoen yhden kalan suomunäyte jätettiin pois. Samoin alustavassa analyysissä käsitellyt Rutajoen suomunäytteet vuosilta 1981 (1 kpl), 1987 (13 kpl) ja 2000 (3 kpl) jätettiin pois lopullisesta analyysistä erillaisuutensa vuoksi. Vuosien 2012 ja 2013 Rutajoen näytteet yhdistettiin.

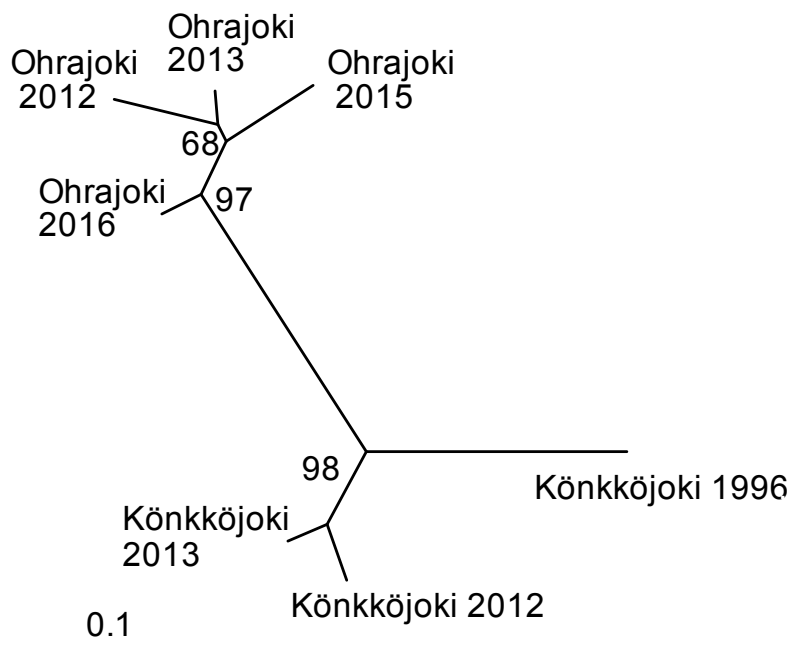
Taulukko 19. Suur-Päijänteeseen laskevien vesien taimennäytteet. Näytepaikka ja näytteenottovuosi, sekä valuma-alueen kolmannen jakotason numero ja paikan koordinaatit on ilmoitettu. Suomunäytteet merkitty s-kirjaimella, muut näytteet olivat kudoksenäytteitä.

Joki/koski	N	Vuosi	Valuma-alue	EUREF-FIN	
				Pohjoinen	Itä
Kalmujoki	26	2017	14.295	6916538	429896
Autiojoki ja Kalmujoki	23	2013	14.295	6916538	429896
Köhniönpuuro	46	2012, 2013	14.232	6901876	430154
Keljonpuuro	51	2012, 2013		6897270	433102
Muuramenjoki	50	2012, 2013	14.281	6889276	430562
Saajoki, s	43	2012, 2013, 2015	14.272	6872518	415408
Saajoki	8	2016	14.272	6872518	415408
Nytkymenjoki	19	2015	14.226	6858708	398284
Nytkymenjoki, s	4	2006	14.226	6858708	398284
Sääkspuuro	13	2015	14.225	6838180	408138
Kiertojoki	19	2013	14.236	6872802	450684
Kiertojoki	10	2015	14.236	6872802	450684
Kiertojoki	25	2016	14.236	6872802	450684
Rutajoki	52	2012, 2013	14.236	6873322	446910
Rutajoki, s	17	1981, 1987, 2000	14.236	6873322	446910
Myllynkoski, s	9	1997	14.84	6844971	454793
Harmoistenjoki	20	2016	14.254	6816521	401650
Äiniönjoki	13	2015	14.222	6791384	414312
	448				

3.5.3. Geneettisten analyysien tulokset

Geneettinen analyysi tehtiin ensin erikseen Jämsän reitin taimennäytteille.

Jämsän reitillä Könkköjoen taimennäytteet eri vuosilta ryhmittäytyivät sukupuussa keskenään yhteen ryhmään ja samoin Ohrajoen näytteet keskenään tiiviiksi ryhmäksi (Kuva 21). Taimenkantojen geneettinen rakenne oli siten säilynyt varsin samanlaisena vuodesta toiseen. Tämä viittaa selvään vakaaseen populaatorakenteeseen, jossa populaatiot ja niiden väliset erot ovat ajallisesti varsin pysyviä, eikä kysymyksessä siis ole vain tietyltä paikalta sattumalta tietynä vuonna saatuja kaloja.



Kuva 21. Jämsän reitin taimennäytteiden geneettiset etäisyydet juurettoman sukupuun avulla kuvattuna. Geneettisen etäisyyden mitta-asteikko annettu. Geneettinen etäisyys kuvataan sukupuun haaran pituutena.

Kummankaan joen osalta eri vuosien väliset näytteet eivät juuri eronneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi, ja ne yhdistettiin kumpikin omaksi näytteekseen ja analysoitiin jokinäytteinä myöhemmin yhdessä Suur-Päijänteeseen laskevien näytteiden kanssa yhdessä (Taulukko 20).

Taulukko 20. Jämsän reitin Ohrajoen ja Könkköjoen taimennäytteiden välisten geneettisten erojen tilastolliset merkitsevyydet.

Ohra12	Ohraj.13	Ohraj.15	Ohraj.16	Könkköj.12	Könkköj.13	Könkköj. 96
Ohrajoki-2012	NS	*	*	***	***	NS
Ohrajoki-2013		NS	NS	***	***	**
Ohrajoki-2015			NS	***	***	NS
Ohrajoki-2016				***	***	NS
Könkköjoki-2012					NS	NS
Könkköjoki-2013						NS

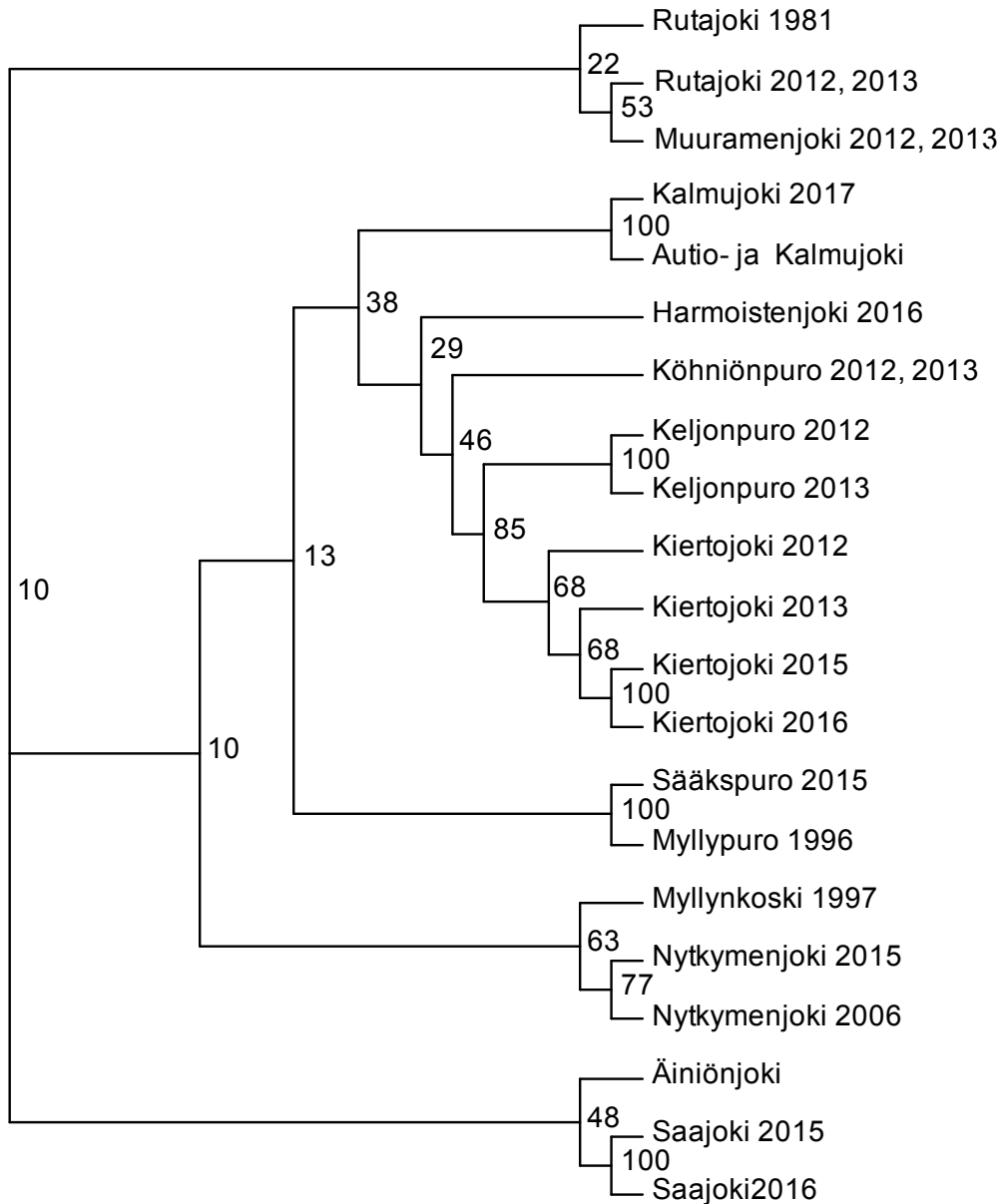
Jämsän reitin taimennäytteiden diversiteetti-analyysi osoitti, että geneettinen diversiteetti oli Könkköjoen taimenella suurempi (0,71) kuin Ohrajoen taimenella (0,63). Samoin keskimääräinen alleelirikkaus oli Könkköjoen taimenella suurempi (7,2 geenä/geenilokus), kuin Ohrajoen taimenella, (5,2 geenä/geenilokus). Näiden jokien taimenpopulaatioiden välinen geneettinen ero oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ($P < 0,001$).

Suur-Päijänteeseen laskevien jokien sukupuu tehtiin ensin niin, että eri vuosien taimennäytteet olivat omina näytteinään, mikäli näytekoot sen sallivat. Vaikka vuosittaisen näytteiden otoskoot olivat varsin pieniä, saman joen näytteet ryhmittivät lähes poikkeuksetta hyvin lähelle toisiaan ja varsin korkeilla bootstrap-arvoilla myös (Kuva 22), mikä kertoo populaatiorakenteiden pysyvyydestä, vaikka sekä populaatio- että näytekoot olivat varsin usein pienet.

Erittäin samanlaisia olivat Keljonpuron, Kiertojoen, Nytkymenjoen ja Saajoen eri vuosien näytteet ja ne kaikki yhdistettiin jatkossa kukin omaksi jokinäytteen. Samoin Kalmujoen ja yhdistetty Aution- ja Kalmujoen näyte olivat keskenään hyvin samanlaisia.

Sen sijaan Rutajoen uusi näyte vuosilta 2012 ja 2013 ryhmittyi lähemmäksi Muuramenjoen (2012, 2013) taimennäytettä kuin vanhaa vuoden 1981 Rutajoen taimennäytettä, joskin sekin kuului edelleen samaan ryhmään. Rutajoen vuoden 1981 näyte oli kuitenkin vain 14 kalaa, mikä saattaa vaikuttaa tulokseen.

Vuoden 1996 Myllypuron näyte oli vain 4 kalaa, se jätettiin pois jatkosta, samoin kuin vuoden 1997 Jämsän Myllynkosken 9 kalan näyte.



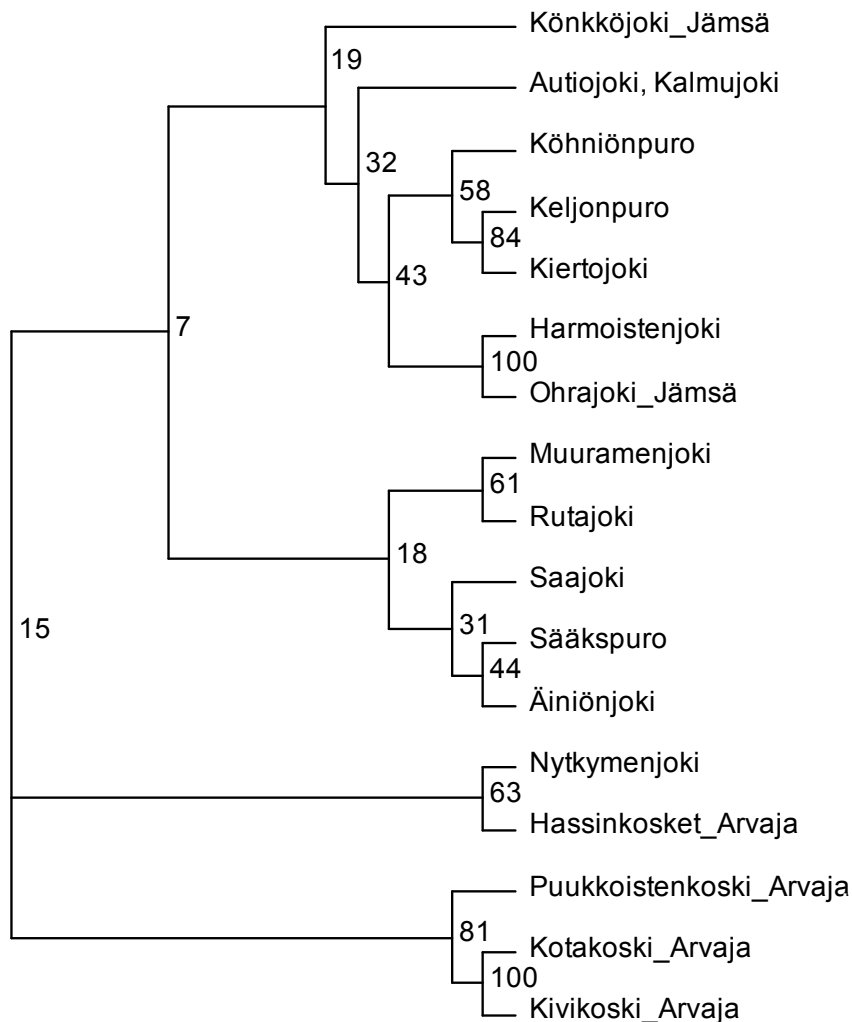
Kuva 22. Suur-Päijänteeseen laskevien jokien taimennäytteiden sukupuu, jossa on tarkasteltu myös vuosien välistä vaihtelua.

Kun kaikki taimennäytteet käsiteltiin omina jokinäytteinään, Suur-Päijänteeseen laskevien vesien taimenpopulaatioiden sukupuussa oli useita pieniä tiiviitä kantaryhmiä ja myös taimenkantoja, jotka eivät ryhmittyneet minnekään vaan jäivät yksittäisiksi, kaikista muista varsin etäisiksi ja erillisiksi populaatioiksi. Paikalliset taimenet ovat usein varsin voimakkaasti erilaistuneita ja niiden geneettisen diversiteetin määrä on myös usein alhainen. Jos pienellä populaatiolla ei ole lainkaan yhteyttä muihin populaatioihin, se menettää usein perinnöllistä muunteluaan ja samalla erilaistuu voimakkaasti.

Selvän geneettisen samankaltaisuuden ryhmän muodostivat Suur-Päijänteen alueella Köhniönpuuron, Keljonpuuron ja Kiertojoen taimenet (Kuva 23). Ne liittyivät yhteen yli 50 % bootstrap todennäköisyydellä, samoin Muuramenjoki ja Rutajoki yhdessä muodostivat yhden ryhmän (61 %). Saajoki, Sääkspuro ja Äiniönjoki muodostivat oman hieman epävarmemman ryhmänsä.

Jämsän reitin Könkköjoen ja Ohrajoen taimenen populaationäytteet ryhmittivät kauaksi toisistaan ja hieman yllättäen Ohrajoen taimen hyvin lähelle Harmoistenjokea (100 %). Näillä populaatioilla voi olla jokin selvä historiallinen ja/tai viimeaikainen yhteys.

Arvajan reitin taimenista Kivikosken, Kotakosken ja Puukkoistenkosken populaationäyte muodostivat oman selvän Arvajan reitin haaransa (Kuva 23). Saman reitin Hassinkosken näyte kuitenkin ryhmittyi yhteen Nytkymenjoen näytteen kanssa, joskin nämä yhdessä sitten varsin lähelle toista Arvajan reitin haaraa, mahdollisesti jonkinlaisena välimuotona muihin Päijänteen taimen populaatioihin verrattuna. Hassinkoski sijaitsee alimpana Arvajan reitillä ja lähimpänä Päijännettä ja Nytkymenjoki on maantieteellisesti varsin lähellä, joten näiden alueiden taimenilla on voinut olla yhteys ja mahdollisuus uida paikasta toiseen.



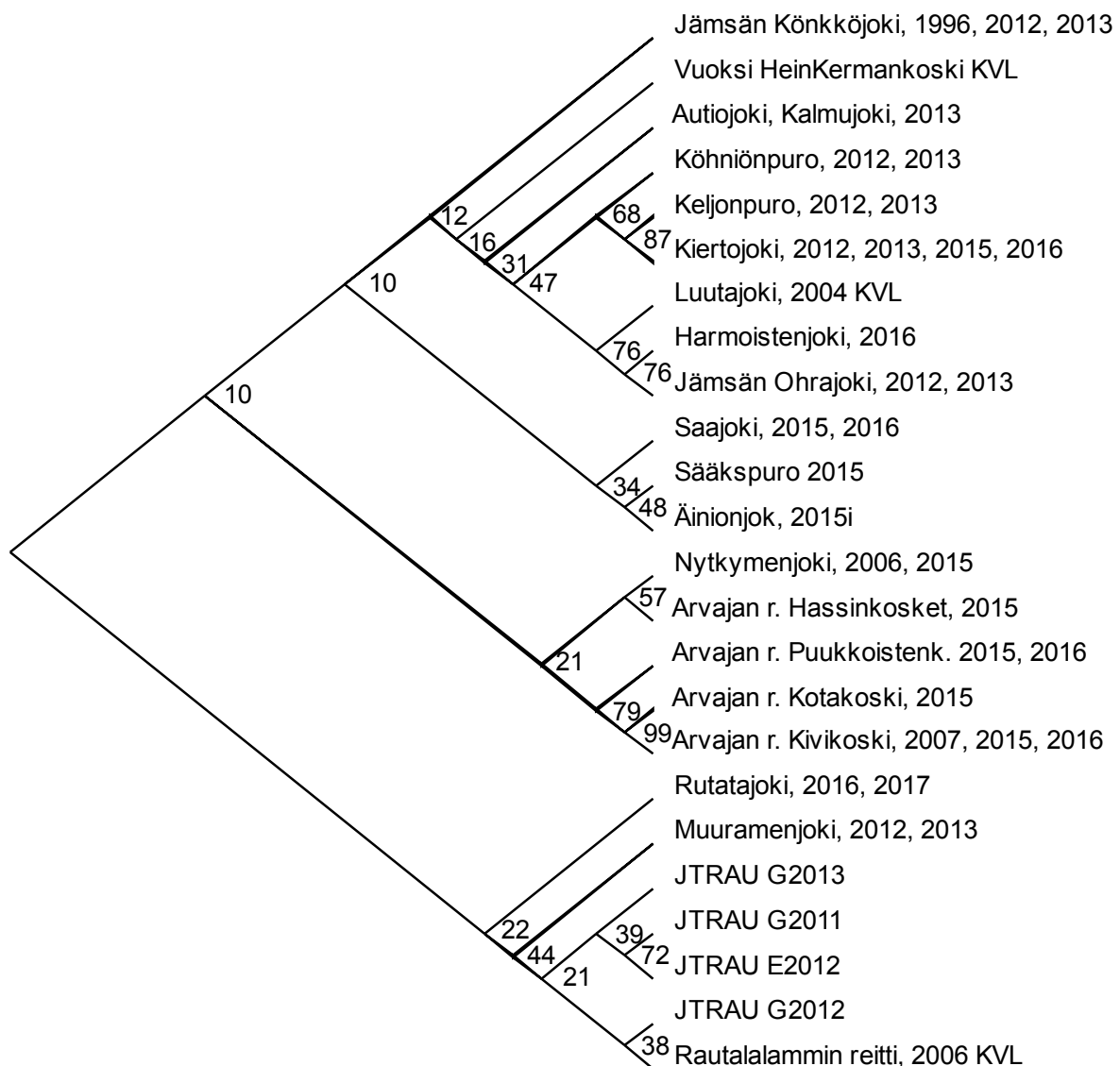
Kuva 23. Suur-Päijänteeseen laskevien vesien taimennäytteet ja Jämsän ja Arvajan reitin taimennäytteet yhteisessä geneettistä etäisyyttä kuvaavassa sukupuussa.

Suur-Päijänteeseen laskevien vesien taimennäytteet analysoitiin myös yhdessä viljelykantojen kanssa (Kuva 24). Tällöin kaikki Rautalammin reitin näytteet ryhmittivät yhteen ja Muuramenjoki ja Rutajoki ryhmittivät lähimmäksi tätä ryhmää, ja niihin Rautalammin reitin kantaa tiedetään myös istutetun. Tämä vahvistaa näkemystä, että näiden jokien taimenkantojen samankaltaisuus johtuu

molempiin vaikuttaneista Rautalammin reitin kannan taimenistutuksista. Äiniönjokeen tiedetään myös istutetun Rautalammin reitin taimenta, se ei kuitenkaan ryhmytä lähelle Rautalammin reitin näytteitä, joten jotain eroa näiden välillä on kuitenkin edelleen.

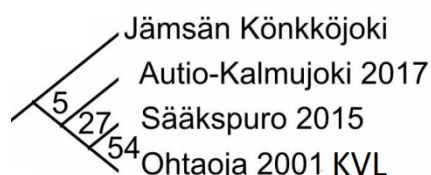
Luutajoen purotaimenen viljelykannan näyte ryhmittyi varsin tiiviisti (bootstrap 76 %) Harmoistenjoen ja Jämsän Ohraojan taimenen kanssa samaan ryhmään, joten mikäli näihin kumpaankin on istutettu Luutajoen taimenta, se selittäisi niiden selvän samankaltaisuuden maantieteellisestä etäisyydestä huolimatta. Ainakin Harmoistenjokeen tiedetään istutetun taimenia, joten mahdollisesti ne ovat olleet alun perin Luutajoen purotaimenia. Luutajoen taimenta on tyypillisesti istutettu patojen yläpuolisiin vesiin.

Vuoksen vesistön taimen sijoittui Jämsän Könkköjoen ja Autiojoen ja Kalmujoen läheisyyteen, mutta bootstrap-arvo oli alhainen (16 %), joten tämä yhteys voi olla merkityksetön. Kaikki viljelynäytteiden ja luonnonnäytteiden väliset erot olivat kuitenkin edelleen tilastollisesti erittäin merkitseviä, joten täysin varmoja yksinomaisia istutuskantoja ei luonnosta nykyisten näytteiden joukosta löytynyt, vaikka istutusvaikutusta todennäköisesti olikin. Näytteitä kerättäessä on kuitenkin usein myös pyritty poimimaan juuri luonnossa syntyneitä yksilöitä.



Kuva 24. Suur-Päijänteeseen laskevien vesien taimennäytteet sukupuussa yhdessä viljelykantojen kanssa.

Koska Könkköjoen taimenen on arveltu mahdollisesti olevan peräisin ainakin osin Ohtaojan purotaimenen istutuksista, tehtiin myös analyysi 10 DNA-mikrosatelliittilokuksella yhdessä Ohtaojan purotaimennäytteen kanssa. Tällöin tulos oli muilta osin sama, mutta Ohtaojan purotaimenen kanssa ryhmittyi ensisijaisesti Sääkspuro, seuraavaksi Autiojoki ja Kalmujoki ja viimeisenä heikosti myös Könkköjoki (Kuva 25). Muilla näytteillä ei ollut yhteyttä Ohtaojan purotaimenen kanssa ja muilta osin sukupuu oli samanlainen kuin edellä. Sääkspuroon ei ole tiedetty istutetun taimenta (Tomi Ranta, kirjallinen tiedonanto), ja tämäkin tulos voi olla sattuman seurausta.



Kuva 25. Taimennäytteiden sukupuunhaara, jossa on Ohtaojan purotaimenen viljelykannan näyte vertailunäytteenä.

Suur-Päijänteeseen laskevien jokien taimennäytteiden sisäinen diversiteetti vaihteli varsin paljon Kiertojoen minimistä (0,43) Jämsän reitin Könkköjoen maksimiin (0,71) (Taulukko 21). Havaittujen alleelien määrä oli selvästi suurin Muuramenjoen (138) ja Rutajoen (134) näytteissä. Näihin molempiin jokiin on ilmeisesti istutettu viljeltyä Rautalammin reitin kantaa olevia taimenia, mikä todennäköisesti selittää korkeat arvot. Alleelirikkaus oli myös korkein näiden jokien taimennäytteissä, samoin kuin Jämsän reitin Könkköjoen taimenella.

Taulukko 21. Suur-Päijänteeseen laskevien jokien ja Jämsän reitin ja Arvajan reitin taimennäytteiden sisäinen diversiteetti. Suurimmat ja pienimmät arvot on merkitty harmaalla taustavärillä.

Näyte	N	Div	N All.	All. Rikk.	All. Rikk./L	Fis	P Fis
1 Autio-,Kalmujoki	49	0,69	102	86,2	5,4	0,077	P<0,001
2 Köhniönpuuro	46	0,48	55	47,8	3,0	-0,051	ns
3 Keljonpuuro	51	0,52	58	50,6	3,2	-0,080	P<0,01
4 Muuramenjoki	50	0,64	138	96,5	6,0	-0,011	ns
5 Saajoki	51	0,59	74	64,2	4,0	-0,037	ns
6 Nytkymenjoki	23	0,63	80	73,0	4,6	-0,106	P<001
7 Sääkspuro	13	0,50	44	44,0	2,8	-0,075	ns
8 Kiertojoki	54	0,43	46	42,3	2,6	0,029	ns
9 Rutajoki	52	0,66	134	99,4	6,2	-0,021	ns
10 Harmoistenjoki	20	0,48	50	48,1	3,0	0,002	ns
11 Äiniönjoki	13	0,56	71	71,0	4,4	-0,032	ns
12 Hassinkoski	19	0,66	97	89,6	5,6	-0,054	P<0,05
13 Puukkoistenkoski	48	0,58	87	74,0	4,6	-0,026	ns
14 Kotakoski	17	0,59	75	70,3	4,4	-0,056	ns
15 Kivikoski	52	0,54	80	59,9	3,7	-0,073	P<0,01
16 Ohrajoki	60	0,63	89	72,3	4,5	-0,021	ns
17 Könkköjoki	59	0,71	115	90,9	5,7	0,020	ns
Yhteensä	677		216	114,8	7,2		
<i>Ka Yhteensä</i>		<i>0,58</i>	<i>89,50</i>	<i>71,90</i>	<i>4,50</i>		

Hyvin alhaisia arvoja esiintyi Sääkspuron ja Kiertojoen taimenilla. Näistä Sääkspuron populaatio- näyte oli vain 13 kalaa, mutta Kiertojoen 54 kalaa ja se oli useammalta vuodelta. Selvästi alle keskiarvon (4,5) olivat myös Köhniönpuron (3,0), Keljonpuron (3,2), Saajoen (4,0), Harmoistenjoen (3,0) ja Kivikosken (3,7) taimenpopulaationäytteiden alleelirikkaus (Taulukko 21).

Sukulaistumiseen viittaavaa ylimäärää homotsygotiassa havaittiin Autio- ja Kalmujoen populaationäytteessä ja populaatioiden sekoittumiseen viittaava alimäärää homotsygotiassa oli Keljonpuron, Nytkymenjoen, Hassinkosken ja Kivikosken näytteessä.

Teholliset koot olivat kaikki alle 50 yksilöä, samoin kuin perhemäärät (Taulukko 22). Suurimmat teholliset koot ($N_e = 40$) olivat Kalmujoen ja Rutajoen taimenpopulaatiolla. Vähintään 40 perhettä löytyi samoin Kalmujoelta ja Rutajoelta, mutta myös Keljonpurosta ja Muuramenjoesta. Seuraavaksi suurimmat perhemäärältään olivat Köhniönpuuro ja Saajoki.

Suur-Päijänteeseen laskevien jokien taimennäytteissä sukulaisuuden aste vaihteli voimakkaasti. Koko aineiston korkein sukulaisuusaste oli Kiertojoen taimennäytteessä (18,1 %), vaikka näytteessä oli yksilöitä kolmelta vuodelta ja kaikkiaan yli 50 kalaa tutkittiin (Taulukko 22). Kiertojoen taimenen tehollinen koko oli vain 13 yksilöä ja N_e/N myös vain 0,2. Yli 10 %:n sukulaisuus-aste havaittiin myös Köhniönpuron ja Keljonpuron näytteissä.

Taulukko 22. Suur-Päijänteeseen laskevien jokien taimennäytteiden tehollinen koko (N_e), sen 95 % luottamusrajat, tehollisen koon ja näytteen todellisen koon ja suhde (N_e/N), näytteessä havaittujen taimenperheiden määrä ja näytteiden yksilöiden välinen sukulaisuus %.

Viitearvot	> 50		> 0,5	> 50	< 4 %	
Taimennäyte	N	Ne	95 % Ne	Ne/N	N Perhe	Sukulaisuus %
Kalmujoki 2017	49	40	20-64	0,8	43	5,5
Köhniönpuuro 2012, 2013	46	22	13-41	0,5	37	10,0
Keljonpuuro 2012, 2013	51	25	15-44	0,5	41	10,4
Muuramenjoki 2012, 2013	50	38	24-63	0,8	40	4,0
Saajoki 2015, 2016	51	28	17-50	0,5	39	6,8
Nytkymenjoki 2006, 2016	23	14	7-30	0,6	13	7,0
Sääkspuro 2015	13	12	6-32	0,9	10	9,2
Kiertojoki 2013, 2015, 2016	54	13	7-30	0,2	26	18,1
Rutajoki 2012, 2013	52	40	26-64	0,8	47	4,0
Harmoistenjoki 2016	20	19	10-38	1,0	20	8,2
Äiniönjoki 2015	13	15	7-40	1,2	8	6,1
Yhteensä	422	192			324	

Jämsän reitin taimenkantojen teholliset koot yhdessä ovat reilusti yli 50, mutta ongelma on, että ne vaikuttavat muuten geneettisesti hyvin erilaisilta ja ajallisesti pysyviltä populaatiolta (Taulukko 23). Sukulaisuus oli jonkin verran koholla, useiden vuosien näytteissä se pysyy kuitenkin varsinkin Könkköjoella vielä kuitenkin suhteellisen alhaisella tasolla (5,2 %). Ohrajoella tilanne voi muutaman sukupolven kuluttua jo ylittää 10 % tason, kun se nyt jo oli 7,3 %.

Taulukko 23. Jämsän reitin jokien taimennäytteiden tehollinen koko (N_e), sen 95 % luottamusrajat, tehollisen koon ja näytteen todellisen koon ja suhde (N_e/N) ja näytteessä havaittujen taimenperheiden määrä.

Viitearvot	> 50		> 0,5	> 50	< 4 %	
Taimennäyte	N	Ne	95 % Ne	Ne/N	N Perhe	Sukulaisuus %
Ohrajoki 2012, 2013, 2015	61	37	24-62	0,6	46	7,3
Könkköjoki 2012, 2013	59	39	25-62	0,7	47	5,2
Yhteensä	130	192				

3.5.4. Tulosten tarkastelu ja taimenkantojen hoitosuositus

Suur-Päijänteeseen ja Jämsän reitin alueen taimenkannat olivat pilkkoutuneet geneettisesti varsin erilaisiin ryhmiin, ilmeisesti ainakin osittain eri alueiden erilaisten istutustaustojen takia ja myös vaellusesteiden aiheuttaman eristymisen vuoksi. Näitä ryhmittymiä noudattaen voidaan muodostaa alueellisia hoitoyksiköitä.

Päijänteeseen pohjoisosassa on ilmeisesti ollut tietty mahdollisesti paikallista taimenta edustanut tyyppi, johon selvästi kuuluivat Autiojoen-, Kalmujoen-, Köhniönpuron-, Keljonpuron- ja Kiertojoen taimenet, sekä lisäksi mahdollisesti nykyinen Jämsän reitin puolella oleva Könkköjoen taimen. Näiden jokien näytteissä ei nyt havaittu voimakasta istutusvaikutusta, vaikka Könkköjoelle tiedetäänkin istutetun Ohtaajan purotaimena aikoinaan (Kuva 26, ryhmä A).

Jämsän reitin Ohrajoen taimen erosi näistä jonkin verran ja se oli yllättäen samanlainen eteläisemmän Harmoistenjoen taimenen kanssa. Tämä samankaltaisuus voi olla seurausta molempiin tehdyistä Luutajoen purotaimennäytteen istutuksista, sillä molemmat ryhmittyivät samaan ryhmään tämän kanssa. Tämä selittäisi maantieteellisesti kaukaisten, eristyneiden kantojen geneettisen samankaltaisuuden. Harmoistenjoelle on suullisen tiedon mukaan istutettu aikoinaan taimenia, joiden alkupele ei ole enää tiedossa. Joen alaosassa on voimalaitospato, joten vaellusreitti on ollut pitkään poikki Päijänteelle, eikä sieltä ole noussut kalaa Harmoistenjokeen. Näiden kantojen nykyistä samankaltaisuutta voitaisiin hyödyntää käsittelemällä näiden alueiden kantoja osin yhtenä yksikkönä (Kuva 26, ryhmä B).

Oman ryhmänään voitiin pitää Päijänteeseen pohjoisosan Muuramenjoen ja Rutajoen taimenten ryhmää (Kuva 26, ryhmä C). Näihin jokiin on ilmeisesti istutettu Rautalammin reitin taimenta, ja viljelykantavertailussa ne myös ryhmittyivät varsin lähelle tätä. Ne lienevät tätä istutetun vaeltavan taimenen aluetta ja rautalammin reitin taimenella on loogista tukea näin ollen näitä alueita edelleen mikäli on tarvetta.

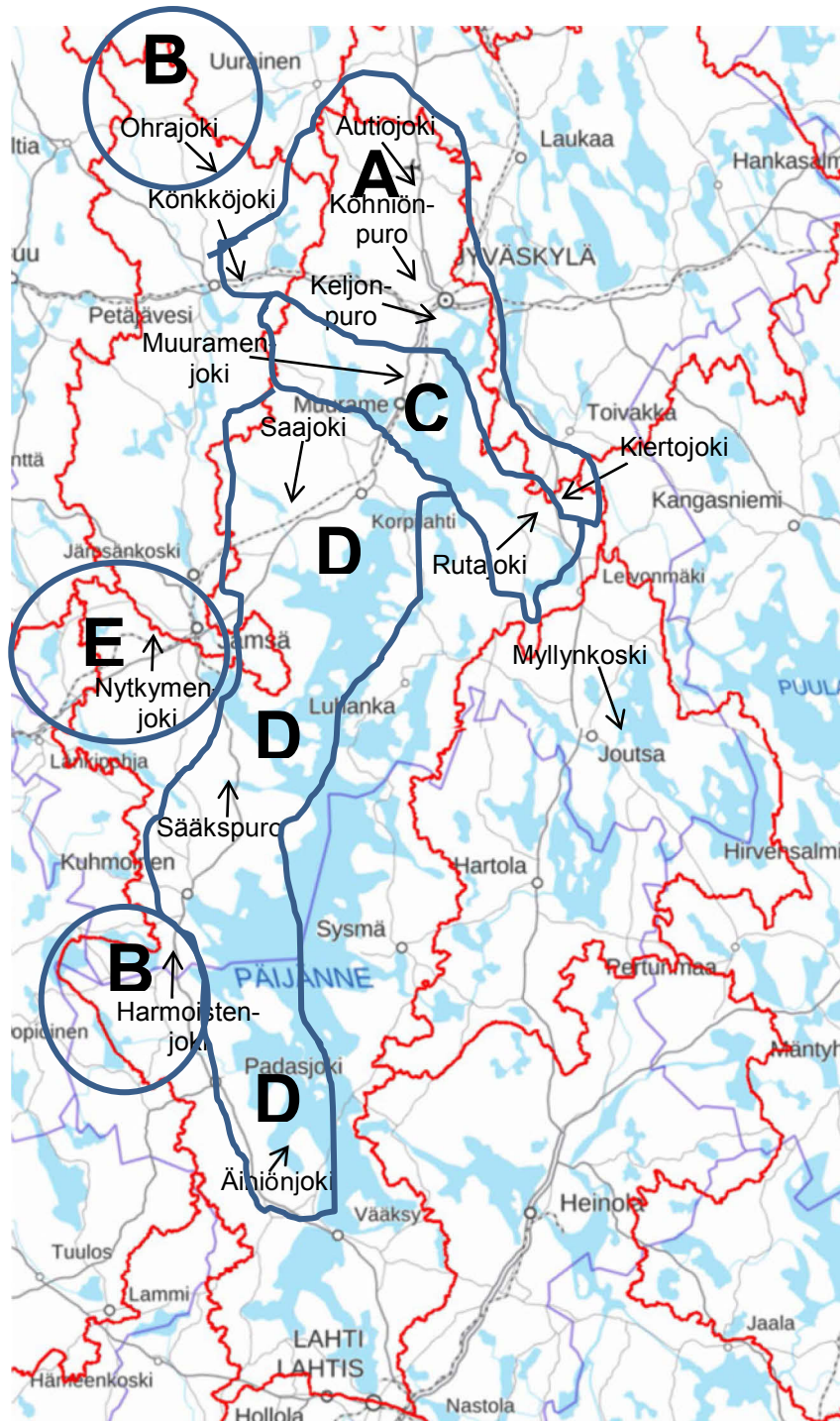
Suoraan tai välijärven kautta Päijänteeseen länsireunalta laskevat joet Saajoki, Sääkspuro ja Äiniönjoki kuuluivat keskenään samaan ryhmään. Äiniönjokeen on istutettu ainakin Rautalammin reitin taimenta, kun joen taimenkanta oli heikompi. Joella on ollut myös lukuisia patoja, jotka on viime vuosina yhtä lukuun ottamatta poistettu. Sen vaellusväylä on ollut pitkään poikki Päijänteelle. Sääkspuroon ei ole tietyvästi tehty istutuksia. Lievää samankaltaisuutta Ohtaajan purotaimennäytteen havaittiin viljelykantavertailussa, mutta se saattaa johtua myös sattumasta näin pienen näytteen kohdalla (Sääkspuro N = 13). Nämä pienet joet voivat muodostaa yhden ryhmän (Kuva 26, ryhmä D).

Nytkymenjoki oli geneettisesti lähellä Arvajanreitin Hassinkosken näytettä. Nytkymenjoen näytteet on otettu kaikki Juveninkosken yläpuolelta. Juveninkoski on kaloille luonnollinen noususte, mutta tiedossa ei ole onko este kaikilla virtaamilla täydellinen. Näin ollen samankaltaisuus johtuu joko historiallisesti maantieteellisten läheisten jokien samankaltaisuudesta tai yhteisestä istutushistoriasta. On myös mahdollista, että ihmiset ovat siirtäneet taimenta joen alaosalta yläosalle aikojen kuluessa. Nytkymenjoen taimen voidaan tarvittaessa ryhmitellä ainakin Hassinkosken taimenten kanssa (Kuva 26, ryhmä E), eli siirtää kalaa Arvajan reitiltä Nytkymenjoen suuntaan, vaikka ei ehkä toiseen suuntaan. Nytkymenjoki sijaitsee varsin lähellä Arvajan reitin laskua.

Arvajan reitin kaikille koskille on istutettu jossain vaiheessa niin mättiä kuin isompiakin poikasias. Istutuksiin on käytetty todennäköisesti Rautalammin reitin kantaa. Istutuksia on tehty erityisesti juuri alaosan Hassinkoskeen (Tomi Ranta, kirjallinen tiedonanto), mikä saattaa selittää tämän alueen poikkeamisen Arvajan reitin yläosan taimenista ja mahdollisesti myös samankaltaisuuden Nytkymenjoen taimenen kanssa.

Tämän tyyppinen ryhmäjako voidaan huomioida suunniteltaessa kalastuksensääätelyä, tukistutuksia tai muita taimenkantojen hoitotoimia Suur-Päijänteeseen alueelle. Selvästi erilaiset latvavesien purotaimennäytteet voidaan jättää järvitaimenen istutusten ulkopuolelle niin haluttaessa. Vaeltava taimen on kuitenkin selvästi uhanalaisempi, joten sen lisääntymisalueista tulee ensisijaisesti huolehtia, eli koskialueista, joilta on vapaa pääsy Päijänteeseen muikkuvesille.

Uusina populaatioina tämän tyyppiseen tutkimukseen tältä alueelta saattaisi olla mahdollista saada mukaan vielä Vaajanvirran, Joutsan Myllynkosken, Tainionvirran, Vääksynjoen ja Kalkkistenkosken populaatiot. Jämsän reitillä esiintyy myös muutamia luontaisia taimenpopulaatioita, joista ei tähän tutkimukseen saatu näytteitä.



Kuva 26. Suur-Päijänteen ja Jämsän reitin taimenkantojen geneettisten kantaryhmien esiintyminen vesistöalueilla. (Lähde: taustakartta: Maanmittauslaitos, valuma-alue rajat: SYKE).

4. Yhteenveto ja johtopäätökset

Suur-Päijänteen vesistön luontaisten taimenkantojen perinnöllisen monimuotoisuuden määrä on tämän tutkimuksen perusteella kokonaisuudessaan riittävällä ja suunnilleen samalla tasolla kuin luonnonvaraisten taimenkantojen monimuotoisuus muualla Suomessa. Taimenkantojen diversiteetti, alleelirikkaus, tehollinen populaatiokoko ja perheiden määrä vaihtelivat Suur-Päijänteen vesistön taimenpopulaatioissa samalla tasolla kuin Vuoksen vesistössä (Piironen ym. 2016), Suomenlahden puroissa ja joissa (Koljonen ym. 2013), Isojoen vesistössä (Jutila ym. 2015) sekä Kauhajoen vesistössä (Jutila ym. 2016).

Nykyisin Suur-Päijänteen ja sen latvavesien taimenkannat muodostavat sekä alueellisesti että geneettisesti varsin hajanaisen kokonaisuuden. Tämä johtuu vesireittien rakenteesta, vaellusesteistä, erilaista istutushistorioista ja myös osin taimenkantojen heikosta tilasta. Vesialueelle tyypillisiä ovat rajallisilla alueilla elävät varsin pienet, pienten perhemäärien varassa elävät populaatiot, joiden geneettisen diversiteetin määrä oli jo paikoin alentunut. Populaatioiden pienuus ja eristyneisyys on osin luontaista, mutta osin selvästi myös ihmisen toiminnan seurausta. Erilaiset vaellusesteet kuten padot uomaperkaukset, ojitukset, ja tierummut ovat osaltaan pilkkoneet luontaisia taimenpopulaatioita. Lisäksi kalastus on pienentänyt populaatioita ja estänyt yksilöiden vaelluksia järvien poikki populaatioista toiseen. Ihminen on velvollinen korjaamaan monimuotoisuuden menetystä oman toimintansa aiheuttaman menetyksen osalta.

Kunkin osavesistöreitit sisällä taimenkannat kuitenkin usein vielä muodostivat perinnölliseltä rakenteeltaan loogisia kokonaisuuksia, jotka runsaasta istutustoiminnasta huolimatta edelleen usein vastasivat alueiden maantieteellisiä etäisyyksiä ja taimenten vaellusmahdollisuuksia. Tämä päti varsinkin latvavesien taimenten populaatioihin. Tällainen rakenne viittaa siihen, että populaatiot osin edelleen sisältävät alkuperäisen geneettisen rakenteen aineksia. Suoraan Päijänteeseen laskevien jokien taimenkantojen rakenteeseen istutuskannoilla on ollut voimakkaampi vaikutus.

Pienten eriytyneiden populaatioiden ylläpitämä monimuotoisuus on vaarassa hävitä jo pelkätään siksi, että pienet yksiköt ovat helposti tuhoutuvia, mutta myös siksi, että niissä yksilöiden välinen sukulaisuus kasvaa ja erilaisten geenien määrä vähenee myös sattuman vaikutuksesta paljon tehokkaammin kuin suurissa populaatioissa. Näissä populaatioissa voi kuitenkin olla myös paikallisiin olosuhteisiin sopeutumiseen vaadittavia geenejä, jolloin ne voivat olla myös arvokkaita kokonaisuuden monimuotoisuuden ylläpitäjinä. Tämän vuoksi hoitotoimet täytyy aina ajatella tapauskohtaisesti ja kunkin paikallisen populaation oman tilanteen mukaan.

Populaatioilla, joiden perhemäärä on selvästi kauan ollut pieni ja diversiteetti alentunut ja sukulaisuusaste noussut, lähipopulaatiosta tuodulla uudella geeniaineksella voidaan lisätä perhemääriä, diversiteettiä, alleelirikkautta ja alentaa sukulaisuutta.

Useille vesistöalueille voitiin ehdottaa pienten samankaltaisten populaatioiden muodostamia hoitoyksiköitä geneettisen monimuotoisuuden säilymisen turvaamiseksi. Näiden yksikköjen sisällä tehtävä geneettisen materiaalin siirto ei muuta kovin paljon aiempaa perinnöllistä rakennetta, mutta lisää monimuotoisuutta pienimmissä populaatioissa. Tällöin annetaan paikallisille geeneille silti mahdollisuus säilyä tulevaisuudessakin. Kaloja siirryy myös luonnossa jonkin verran populaatiosta toiseen samoilla reiteillä ja myös ihminen on saattanut siirtää eri kalalajien yksilöitä osavesistöistä toiseen jo satojen tai tuhansien vuosien aikana.

Suojelusuunnittelussa tulee priorisoida selvästi uhanalaisempaa vaeltavaa taimenta ja varata kutsualueita juuri sen käyttöön, myös elvytysuunnitelmissa. Viljelykantojen vaikutusta voitiin havaita varsin monissa populaatioissa, ja sitä voi olla myös niissä, joita tätä ei havaittu.

Viljelykantojen vaikutus ei välttämättä alenna nykyisten populaatioiden suojeluarvoa, mutta saattaa vaikuttaa siihen, kuinka niitä jatkossa hoidetaan. Luonnonvaraisesti lisääntyvät taimenpopulaatiot ovat ilman muuta arvokkaita. Sellaisissa tapauksissa, joissa kuitenkin taimenkantaa on jo tuettu jonkun viljelykannan istutuksilla, tulee päätettäväksi, onko elvytysistutuksia tarve jatkaa, ja jos on niin millä kannalla jatketaan. Ellei istutuksille enää ole tarvetta, annetaan kannan elpyä edelleen

omin voimin. Mikäli on edelleen tukitarvetta, tulisi jatkossa suosia mieluummin oman vesistön geneettistä alkuperää olevia viljelykantoja.

Paras keino varmistaa, että taimenkantojen perimän tila säilyy ainakin nykyisellään, on parantaa nykyisten luontaisten kantojen elinmahdollisuuksia. Nykyisten luontaisten kantojen olemassaolo ja vaellusyhteydet pitäisi turvata, jotta Suur-Päijänteen vesistön taimenen populaatiot ja niiden välinen geenivaihto voisivat vähitellen elpyä ja myös alkuperäinen populaatioiden välinen dynamiikka käynnistyä uudelleen. Tämä tarkoittaa vaellusesteiden purkua, ekologisen tiedon pohjalta tehtyjä uoma-kunnostuksia, valuma-aluekunnostuksia, kalastuskuolevuuden pienentämistä vapaa-ajankalastusta säätelemällä sekä kantojen ekologisen ja perinnöllisen tilan seuranta. Jos vaellusyhteydet palaavat eristyneiden populaatioiden välille, niiden geneettinen eriytyneisyys lakkaa ja tämän seurauksena myös diversiteetti nousee. Elvytysistutusten käyttö on yksi mahdollinen keino taimenkantojen tukemiseen ja diversiteetin nostamiseen, mutta sitä tulisi käyttää harkiten varsinkin jos monimuotoisia alkuperäisiä erilaisia taimenpopulaatioita halutaan suojella.

Eri alueiden taimenkantojen hoitotarve on myös erilainen ja tärkeysaste voi myös olla eri. Erityisesti Rautalammin reitin vaeltaville taimenkannoille olisi syytä asettaa tavoitteet ja seurata kantojen ja geneettistä tilaa sekä luonnossa, että viljelyssä, sillä Luonnonvarakeskus käyttää tämän reitin luonnonvaraisia taimenkantoja viljelykantojensa ylläpitämiseen ja uudistamiseen. Rautalammin reitin järvitaimenen viljelykantaa käytetään ainoana kantana istukkaiden tuottamiseen nykyisin myös sekä Kymijoen että Kokemäenjoen päävesistöalueille.

Tavoitteena tulee olla Suur-Päijänteen ja sen latvavesien pysyvä hoitostrategia. Tätä strategiaa varten tulee olla tarkemmin tiedossa taimenkantojen alueelliset hoitotavoitteet, käytettävissä olevat kutualueet ja alueelliset käytettävissä taimenkantaresurssit. On mahdollista määritellä eriasteisesti suojeltuja taimenvesiä ja toisaalta vesiä, joissa kalastus on vapaampaa ja istutukset runsaampia. Lopullisen taimenkantojen hoitosuunnitelman tai -strategian tekeminen vaatii vielä yhteistyötä eri asiantuntijaryhmien ja kalastusoikeuden haltijoiden kanssa.

Kiitokset

Esitämme suuret kiitokset kaikille kudosnäytteitä keränneille ja suomunäytteitä luovuttaneille henkilöille, ilman heitä ei tämä tutkimus olisi ollut mahdollinen. Näytteitä ovat toimittaneet ainakin Päivi Anttonen, Anssi Eloranta, Matti Havumäki, Veijo Honkanen, Aki Janatuinen, Risto Kannel, Tapio Keskinen, Jouni Kivinen, Mikko Leminen, Katja Määttänen, Mika Oraluoma, Tomi Ranta, Mikko Saikku, Kimmo Sivonen, Olli Sivonen, Anssi Uitti, Pentti Valkeajärvi ja Sami Vesala. Keski-Suomen ELY-keskus, Metsäliitto osuuskunta, Konneveden kalatutkimus ry., Rapala-rahasto, Virtavesien hoitoyhdistys ja Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos ovat rahoittaneet kudosnäytteiden keruuta aiempina vuosina. Tämän yhteenvetoraportin teon ja tähän hankkeeseen kerättyjen näytteiden keruun rahoitti Pohjois-Savon ELY-keskus kalastonhoitomaksuvaroista vuosina 2016 ja 2017.

Viitteet

- Ekholm, M. 1993. Suomen vesistöalueet. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisu, Sarja A 126: 1–163.
- Eloranta, A.J. & Eloranta, A.P. 2016. Rumpurakenteiden ympäristöongelmat, niiden ehkäisy ja korjaaminen. Keski-suomalainen pilottitutkimus. - Keski-Suomen ELY-keskus, raportti, 198 s.
- Goudet, J. 1995. FSTAT (Version 1.2): A computer program to calculate F-statistics. *Journal of Heredity* 86: 485-486.
- Heinimaa, P., Syrjänen, J., Kivinen, J., Sivonen, O., Sivonen, K., Keskinen, T. & Valkeajärvi, P. 2016. Keski-Suomen taimenseuranta vuonna 2015. Konneveden kalatutkimus ry:n työraportteja 1/2016: 1–8.
- Honkanen, V. 2017: Sähkökoekalastukset ja järvitaimenkantojen tila Saarijärven reitillä 2016. Saarijärven kaupunki. 16 s.
- Jutila, E., Koljonen, M-L. & Koskiniemi, J. 2015. Taimenen perinnöllinen erilaistuminen ja hoidon järjestäminen Isojoen vesistöissä. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus*. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 52/2015: 1-24.
- Jutila, E., Koljonen, M-L., ja Koskiniemi, J. 2016. Kauhajoen vesistön taimenkantojen geneettinen rakenne ja hoitosuositus. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus*. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 42/2016: 1–27.
- Koljonen, M-L., Janatuinen, A., Saura, A. & Koskiniemi, J. 2013. Genetic structure of Finnish and Russian sea trout populations in the Gulf of Finland area. *Working papers of the Finnish Game and Fisheries Institute* 25/2013: 1–100.
- Koljonen, M.-L. ja Koskiniemi, J. 2016. Keski-Suomen taimenkantojen geneettinen kartoitus 2016. Luke, Muistio, 10 s.
- Koljonen, M.-L., Gross, R. & 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: 277–195 DOI 10.1111/hrd2.00070
- Koljonen, M-L., Vähä, J-P., Koskiniemi, J. & Valjus, J. 2016. Siuntionjoen taimenkantojen nykytila, geneettinen rakenne ja alkuperä sekä hoitosuositus. *Länsi-Uudenmaan Vesi ja ympäristö ry*. 263/2016: 1–29.
- Nei, M., Tajima, F. & Tateno, Y. 1983. Accuracy of estimated phylogenetic trees from molecular data. - *Journal of Molecular Evolution* 19: 153–170.
- Paananen, V., Pakkanen, E. 1992. Keiteleeltä lisedelle – Kymijoen latvavesien höyrylaivaliikenteen historiaa. Suomen Höyrypursiseura ry, 1992, 280 s.
- Page, R.D.M. 2000. TreeView program. version 1.6.1. Available at <http://taxonomy.zoology.gla.ac.uk/rod/treeview.html>
- Piironen, J. Koljonen, M-L & Koskiniemi, J. 2016. Vuoksen vesistön ja Mäntyharjun reitin taimenkantojen geneettinen kartoitus. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus*. 7/2016: 1–20.
- Saitou, N. & Nei, M. 1987. The neighbour joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. *Molecular and Biological Evolution* 4: 406–425.
- Syrjänen, J. T., Rajala, J., Sivonen, K., Sivonen, O. & Heinimaa, P. 2014a. Järvitaimenen vaelluspoikaspyynti Muuramenjoella ja Läsäkoskella keväällä 2013. RKT:n työraportteja 34/2014: 1–14.
- Syrjänen, J. T., Sivonen, K., Sivonen, O., Ruokonen, T. J., Haatanen, J., Honkanen, V., Kivinen, J., Kotakorpi, sM., Majuri, P., Oraluoma, M., Sarpakunnas, M., Vesikko, I., Heinimaa, P., Timperi, S. & Valkeajärvi, P. 2014b. Virtavesillä merkittyjen taimenten vaellukset ja pyynti Kymijoen vesistön järvillä vuosina 1999–2013. Riista- ja kalatalous – Tutkimuksia ja selvityksiä 6/2014: 1–32.
- Syrjänen, J. T., Sivonen, K., Sivonen, O. & Valkeajärvi, P. 2013. Taimenen kutupesälaskenta – menetelmät ja esimerkit. Riista- ja kalatalous – Tutkimuksia ja selvityksiä 9/2013: 1–28.
- Takezaki, N. 1998. NJBAFD: Neighbor-joining tree construction from allele frequency data. National Institute of Genetics, Misima, Sizuoka-ken, Japan. Available at <http://homes.bio.psu.edu/people/Faculty/Nei/Lab/software.htm>.

- Urho, L., Pennanen, J.T. & Koljonen, M.L. 2010. Fish. In: Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A., Mannerkoski, I. (eds.). The 2010 Red List of Finnish Species. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, Helsinki. p. 336–343.
- Valkeajärvi, P., Syrjänen, J., Eloranta, A., Kivinen, J., Sivonen, K., Sivonen, O. & Vesikko, I. 2012. Vieläkö on villejä järvitaimenia – Keski-Suomen järvitaimenhanke 2011. RKTL:n työraportteja 4/2012: 1–13.
- Valkeajärvi, P., Takkunen, T., Eskelinen, P., & Kovanen, J. 1997. Rautalammin reitin taimen tulee takaisin. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia 134: 1–48.
- Vesihallitus 1980. Koski-inventointi. Tiedotus 188.
- Wang, J. 2004. Sibship reconstruction from genetic data with typing errors. *Genetics* 166: 1963–1979.
- Wang, J. 2007. Triadic IBD coefficients and applications to estimating pairwise relatedness. *Genet. Res.* 89: 135–153.

5. Liitteet

Liite 1.

Liitetauluko1. Päijänteen vesistön taimenkantojen geneettisessä kartoituksessa analysoidut näytteet vesistöreiteittäin. Suomenäytteet merkitty s-kirjaimella.

	Reitti/Joki/koski	N	Näytevuosi
1 Saarijärven reitti			
1	Konttijoki	30	2014
2	Konttijoki k	8	2014
3	Kotajoki	19	2015
4	Kotajoki k	15	2015
5	Peltojoki	15	2014
6	Peltojoki k	24	2016
7	Sydänmaanpuro	7	2016
8	Moksinjoki	17	2012, 2013, 2015
9	Karajoki	13	2016
10	Heijoistenkoski_1995s	18	1995
11	Heijoistenkoski_2016k	36	2016
12	(Tuhmakoski)	1	2016
13	Kalmukoski	5	2016
14	Kalmukoski_1999s	10	1999
15	Haapakoski	3	2016
16	Muittarinkoski	27	2016
17	Muittarinkoski s	3	1997
18	Riekonkoski	31	2016
19	Summaskoski s	24	1994
20	(Naarakoski)	1	1997
20	<i>Yhteensä</i>	<i>307</i>	
2 Viitasaren reitti			
1	Leukunjoki_2007 s	3	2007
2	Viivajoki s	26	1996
3	Hilmonjoki_1993 s	9	1993
4	Hilmonjoki_22112016 k	43	2016
5	Keihärinkoski	12	2016
6	Kolkunjoki	14	2015
7	Kolkunjoki k	1	2016
8	Kärnäkoski_21112016	54	2016
9	Leppäsenkoski_102012s	3	2012
10	Sahankoski_102012	7	2012
11	Viitasaari_Kymönkoski_2007	5	2007
12	Äänekosken_Liimattalan_Isojoki	15	2016
13	Isojoki, Matti Havumäki	32	2014, 2016
14	Jurvonjoki_Äänekoski	23	2017
14	<i>Yhteensä</i>	<i>247</i>	

3 Rautalammin reitti		
1	Koivujoki	104 2012, 2013
2	Ahvenkoski	9 2017
3	Karinkoski s	13 1987, 1988, 1989
4	Kellankoski s	48 1987, 1988, 1990
5	Siikakoski s	16 1987, 1988, 1991
6	Siikakoski, Kellankoski	47 2012 (2014)
7	(Korholankoski s)	1 1981
8	Simunankoski	35 2015
9	Simunankoski	32 2016
10	Simunankoski	36 1987, 1989, 1990
11	Suolijoki	38 2017
11	<i>Yhteensä</i>	<i>379</i>
4 Äänekosken reitti		
1	Hirvasjoki_Äänekoski_14062017	50 2017
2	Laukaa_Kapeenkoski_2007	1 2007
3	Luija_Kapee_1998	2 1998
4	Kapeenkoski_18112016	28 2016
5	(Jyväskylän_Vaajakosken_Vaajanvirta)	2
5	<i>Yhteensä</i>	<i>83</i>
5 Jämsän reitti		
18	Ohrajoki-Jämsä	11 2012
19	Ohrajoki	30 2013
20	Ohrajoki k	20 2015, 2016
21	Könkköjoki-Jämsä	27 2012
22	Könkköjoki	32 2013
23	Könkköjoki	3 1996
23	<i>Yhteensä</i>	<i>123</i>
6 Arvajan reitti		
1	Hassinkosket	19 2015
2	Puukkoistenkoski	15 2015
3	Puukkoinen	8 2015
4	Puukkoistenkoski	25 2016
5	Kotakoski	17 2015
6	Kivikoski	20 2015
7	Kivikoski s	3 2007
8	Kivikoski k	3 2016
9	Kivikoski k	26 2015
9	<i>Yhteensä</i>	<i>136</i>

7 Suur-Päijänne		
1	Kalmukoski_1999 s	10 1999
2	Kalmujoki_Jyväskylä_15062017	26 2017
3	Autio_ja_Kalmujoki	23
4	Köhniönpuro	46 2012, 2013
5	Keljonpuro	51 2012, 2013
6	Muuramenjoki	50 2012, 2013
7	Saajoki	43 2012, 2013, 2015
8	Saajoki s	1 1980
9	Saajoki k	8 2016
10	Nytkymenjoki	19 2015
11	Nytkymenjoki s	4 2006
12	Sääkspuro	13 2015
13	Kiertojoki_092013	19 2012, 2013
14	Kiertojoki_14102015	10 2015
15	Kiertojoki_19102016	25 2016
16	Rutajoki	52 2012, 2013
17	Rutajoki s	17 1981, 1987, 2000
24	Myllynkoski_Joutsa_1997s	9 1997
26	Harmoistenjoki_2016	20 2016
27	Äiniönjoki	13 2015
27	<i>Luonnonkalat yhteensä</i>	459
109	Luonnonkalat yhteensä	1734 1734
5	Viljellyt kalat	260 260
114	Kaikki yhteensä	1994 1994



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000