

KALA- JA RIISTARAPORTTEJA nro 398

*Teppo Vehanen
Tapio Sutela
Henna Korhonen*

**Kalayhteisöt jokien ekologisen tilan
seurannassa ja arvioinnissa
Alustavan luokittelujärjestelmän perusteet**

Helsinki 2006

Teppo Vehanen, Tapio Sutela ja Henna Korhonen

Kalayhteisöt jokien ekologisen tilan seurannassa ja arvioinnissa. Alustavan luokittelujärjestelmän perusteet.

Raportti

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos

EU:n alueella vesipolitiikan puitedirektiivi (2000/60/EY) asettaa vesienhoidolle yhteiset tavoitteet. Näitä tavoitteita ovat estää vesien tilan heikkeneminen sekä saavuttaa pinta- ja pohjavesien osalta vähintään hyvä ekologinen tila vuoteen 2015 mennessä. Ekologisen tilan määrittäminen perustuu biologisiin muuttujiin sekä niitä tukeviin kemiallisiin ja hydrologis-morfologisiin tekijöihin. Kalasto on vesikasvien ja pohjaeläimien ohella yksi biologinen laatutekijä, jolla ekologista tilaa arvioidaan.

Vesipuitedirektiivin tehtävistä tutkimuslaitokselle kuuluu kalaston perusseuranta sekä jokien ja järvien ekologisen tilan luokittelu kala-aineiston avulla. Tässä raportissa kuvataan jokien luokittelussa käytettävät menetelmät ekologista luokittelua varten. Työtä varten kerättiin kala-aineisto eri puolella Suomea tehdyistä selvityksistä. Aineisto käsitti yhteensä 555 koskikohdetta.

Luokittelussa jokien tilaa arvioidaan virtajaksojen kalaston kautta. Näytteenottomenetelmänä on sähkökalastus. Alustava luokittelujärjestelmä sisältää viisi muuttujaa: lajilukumäärä (runsaussuhteet), särkikalajien tiheys, herkkien lajien suhteellinen osuus lajimäärästä, toleranttien lajien suhteellinen osuus lajimäärästä (kalaston koostumus) sekä 0+-ikäisten lohen ja taimenen poikasten tiheys (ikäluokat). Muuttujan arvo laskettiin mallintamalla muuttujan arvo välille 0-1 kertymäfunktiota apuna käyttäen. Kalaindeksin arvo on näiden viiden muuttujan keskiarvo. Ekologinen tila esitetään ekologisen laatusuhteena vertailualueiden ja vaikutusalueiden indeksiarvojen suhteella. Luokkarajat asetettiin kiinnittämällä hyvän ja ekologisen tilan raja 25 %:n kvartiiliin vertailuarvoon. Muut luokkarajat asetettiin tasavälein minimiin. Työssä esitetään alustavat vertailuarvot niille jokityypeille, joista aineistossa oli vertailuaineistoa.

Nyt esitetty alustava luokittelujärjestelmä on tehty lähinnä koko kala-aineistoa käyttäen. Jatkossa, kun vesipuitedirektiivin mukaisista vertailualueista kertyy kattavasti aineistoa, luokittelu tehdään tyyppi-kohtaisesti.

vesipuitedirektiivi, joet, luokittelu, EQR, vertailuarvot, luokkarajat, kalayhteisöt

Kala- ja riistaraportteja 398

951-776-547-9

1238-3325

36 s.

suomi

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
PL 2
00791 Helsinki
<http://www.rkti.fi/julkaisut/> (pdf)Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
PL 2
00791 Helsinki
Puh. 020 57511 Faksi 020 5751 201

Sisällys

1. JOHDANTO.....	1
2. JOKIEN TYYPITTELY.....	2
3. JOKIEN EKOLOGINEN LUOKITTELU KALASTON PERUSTEELLA	3
3.1 Ekologinen tila.....	3
3.2. Kalat ekologisen luokittelun seurannassa.....	4
3.3. Kuinka kala-aineisto kerätään jokivesissä?	5
3.4. Kalatietokanta.....	6
3.5. Joen ekologisen tilan kalastomittarit	7
Kokonaistiheys, biomassa.....	10
Lajimäärä.....	10
Ympäristömuutoksille herkät ja tolerantit lajit	10
Lohikalojen poikasten esiintyminen	10
Särkikalojen esiintyminen	11
Muut soveltuvat muuttajat.....	11
3.6. Muuttujien valinta	11
3.7. Ekologisen tilan laskenta.....	14
Esimerkki laskennasta	22
3.8. Ekologinen laatusuhde ja luokkarajat.....	25
3.9. Miten eri jokityyppien ominaisuudet huomioidaan luokittelussa?	26
3.10. Muita tapoja ekologisen tilan määrittämiseen	26
3.11. Jokityypit ja luokkien raja-arvot.....	27
Pienet kangasmaiden joet (jokityyppi 2)	27
Keskisuuret turvemaiden joet (jokityyppi 4)	27
Keskisuuret kangasmaiden joet (jokityyppi 5)	29
Keskisuuret savimaiden joet (jokityyppi 6).....	29
Suuret turvemaiden joet (jokityyppi 7).....	30
Suuret kangasmaiden joet (jokityyppi 8).....	31
Erittäin suuret kangasmaiden joet (jokityyppi 11).....	32
4. KIITOKSET	34
5. KIRJALLISUUS	35

1. Johdanto

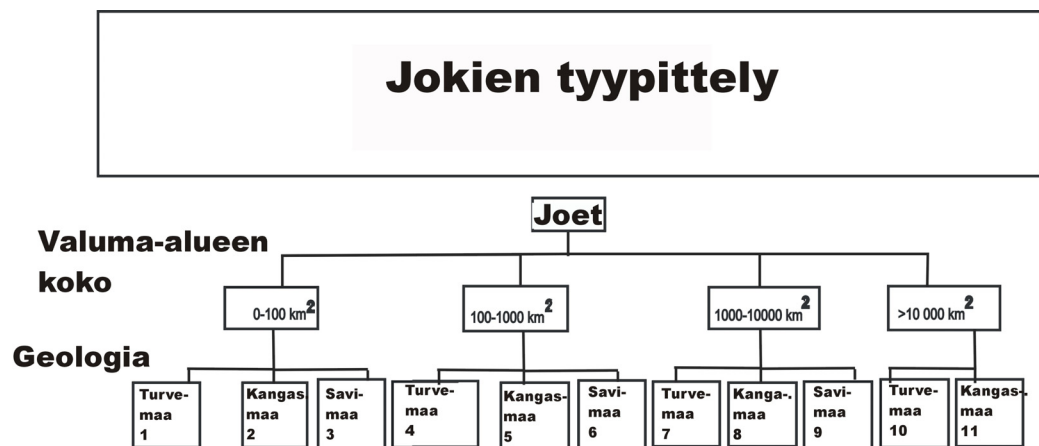
Euroopassa jokien tilan arviointi on aiemmin perustunut lähinnä veden kemialliseen laatuun sekä jokien hydrologis-morfologisiin muuttujiin (Mäkinen 2005). Viime vuosina myös biologisten aineistojen, kasviston ja eläimistön, käyttö vesien tilan mittarina on kuitenkin voimakkaasti lisääntynyt. Biologisten aineistojen käytön tarkoituksena on parantaa ja tarkentaa vesistön tilan arviointia sekä vesien käytön ja suojelun suunnittelua.

EU:n alueella vesipolitiikan puitedirektiivi (2000/60/EY) asettaa vesienhoidolle yhteiset tavoitteet (Anon. 2000). Näitä tavoitteita ovat vesien tilan heikkenemisen estäminen sekä pinta- ja pohjavesien osalta vähintään hyvän ekologisen tilan saavuttaminen vuoteen 2015 mennessä. Ekologisen tilan määrittäminen perustuu biologisiin muuttujiin sekä niitä tukeviin kemiallisiin ja hydrologis-morfologisiin tekijöihin. Kalasto on vesikasvien ja pohjaeläimien ohella yksi biologinen laatutekijä, jolla ekologista tilaa arvioidaan.

Jokien tilan määrittäminen kalaston avulla edellyttää kattavaa kalaston seuranta yhteinäisin menetelmin. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos vastaa direktiivin mukaisesta perusseurannasta kalaston osalta. Tällaista kalaston systemaattista seuranta ei ole Suomessa aiemmin tehty eikä tämän kaltainen seuranta ole aiemmin kuulunut tutkimuslaitoksen toimialaan. Ekologinen luokittelu edellyttää myös kalatietokannan perustamista ja luokitteluun käytettävien menetelmien kehittämistä. Järvien ekologisen luokittelun menetelmät ja periaatteet on kuvattu raportissa ”Kalayhteisöt jokien ekologisen tilan arvioinnissa ja seurannassa” (Tammi ym. 2005). Tässä raportissa esitetään jokien ekologisen luokittelun alustavat menetelmät ja periaatteet.

2. Jokien tyypittely

Jokien tyypittelyn tarkoituksena on muodostaa ominaisuuksiltaan yhtenäisiä ryhmiä, joissa esimerkiksi kalaston rakenne olisi tyypille ominainen. Aluksi joet erotellaan luonnonmaantieteellisiin alueisiin, joista Suomi kuuluu lähes kokonaisuudessaan Fennoskandian kilpeen. Tämän jälkeen tehdään tyypittely, joka pohjautuu fysikaalisiin ja kemiallisiin tekijöihin. Direktiivin mukaisesti pakollisia jokityypittelyssä käytettäviä tekijöitä ovat joen koko, geologia ja korkeussuhteet, joille voidaan järjestelmästä riippuen valita joukko apumuuttujia. Ekologisen luokittelun kannalta tyypin sisäinen kalaston rakenteen ja koostumuksen vaihtelu tulisi olla mahdollisimman pientä, jotta ihmistoiminnan vaikutukset pystytään havaitsemaan. Suomessa on päädytty ratkaisuun, jossa joet on jaettu luontaisten ominaispiirteidensä perusteella 11:sta erilaiseen tyyppiin (kuva 1). Lisäksi erotellaan Pohjois-Lapin joet, joiden valuma-alue sijaitsee pääosin metsänrajan yläpuolella.



Kuva 1. Jokien tyypittely Suomessa.

3. Jokien ekologinen luokittelu kalaston perusteella

3.1 Ekologinen tila

Joet luokitellaan sen perusteella miten ihmisen aiheuttamat muutokset niiden fysikaalis-kemiallisiin tai hydrologis-morfologisiin ominaisuuksiin ovat vaikuttaneet kalastoon. Luokittelun laadulliset tekijät kalastolle ovat kalaston koostumus, runsaussuhteet ja ikärakenne. Luokittelun perustana ovat vertailuolot, jotka kuvaavat häiriintymättömiä, ihmistoiminnasta kokonaan tai lähes kokonaan vapaita jokia. Jos tällaisia erinomaista tilaa kuvaavia vertailuolota ei löydy, voidaan käyttää mallinnusta tai asiantuntija-arviota vertailuolosten määrittämiseen.

Luokittelu tapahtuu viisiportaisella asteikolla: erinomainen, hyvä, tyydyttävä, välttävä ja huono ekologinen tila. Tavoitteena on siis vähintään hyvä ekologinen tila. Joet joissa hyvää ekologista tilaa ei todennäköisesti kyetä saavuttamaan, joutuvat lisätarkasteluun syiden ja tarvittavien toimenpiteiden selvittämiseksi (toiminnallinen seuranta). Lisäksi direktiivi antaa mahdollisuuden nimetä joet tietyin kriteerein voimakkaasti muutetuiksi. Alustavasti voimakkaasti muutetuiksi on nimetty esimerkiksi Kemi-, Ii-, ja Oulujoen rakennetut jaksot. Voimakkaasti muutetuissa joissa tavoitteena on saavutettavissa oleva hyvä ekologinen tila, eli tavoitteet ovat yleensä luonnonjokia alhaisemmat. Jatkossa tässä raportissa käsitellään ainoastaan luonnonjokien luokittelusta.

Vesipuitedirektiivissä erinomaisessa ekologisessa tilassa hydrologis-morfologiset ja fysikaalis-kemialliset tekijät vastaavat täysin tai lähes täysin häiriintymättömiä oloja. Täten direktiivin mukaisessa ekologisessa luokituksessa ei tarkastella ihmisen aiheuttamia muospaineita, jotka eivät vaikuta hydrologis-morfologisiin ja/tai fysikaalis-kemiallisiin olosuhteisiin. Voimakkaasti kalaston rakenteeseen vaikuttava kalastuksen vaikutus jääkin pitkälti direktiivitarkastelun ulkopuolelle. Kalastuksen aiheuttamat muutokset eivät voi estää jokea saavuttamasta hyvää tilaa.

Suomessa jokien kalaston hoitomuotona ovat yleisesti istutukset. Direktiivissä ei oteta suoranaisesti kantaa istutuksiin hoitomuotona. Tosin esimerkiksi hyvän ekologisen tilan määritelmässä sallitaan yksittäisen kalalajin lisääntymisen ja yksilönkehityksen häiriöt ainoastaan tietyissä ikäluokissa (taulukko 1). Lisääntymiseen liittyviä häiriöitä ei voida korvata istuttamalla. Toistaiseksi jokivesistöissä ei ole kuitenkaan eroteltu istutettuja kaloja luonnonkaloista jo sen vuoksi, että se rutiininomaisessa monitoroinnissa on vaikeaa. Sen sijaan luokitteluun on valittu muuttujia joihin istutuksilla juurikaan ei ole vaikutusta.

Taulukko 1. Jokien kalayhteisöjen erinomaista, hyvää ja tyydyttävää ekologista tilaa kuvaavat sanalliset määritelmät vesipuitedirektiivissä.

<i>Erinomainen tila</i>	Lajikoostumus ja runsaussuhteet vastaavat täysin tai lähes täysin häiriintymättömiä olosuhteita. Kaikkia tyypille ominaisia muutosherkkiä lajeja esiintyy. Kalaston ikärakenteessa on vähän ihmistoiminnasta johtuvia muutoksia, eikä siinä ole merkkejä häiriöistä minkään lajin lisääntymisessä tai yksilönkehityksessä.
<i>Hyvä tila</i>	Vähäisiä muutoksia lajikoostumuksessa ja runsaussuhteissa verrattuna tyypille ominaisiin yhteisöihin, mikä johtuu ihmistoiminnan vaikutuksista fysikaalis-kemiallisiin ja hydrologis-morfologisiin laatutekijöihin.
<i>Tyydyttävä tila</i>	Kalaston koostumus ja runsaussuhteet eroavat kohtalaisesti tyypille ominaisista yhteisöistä, mikä johtuu ihmistoiminnan vaikutuksista fysikaalis-kemiallisiin tai hydrologis-morfologisiin laatutekijöihin. Kalaston ikärakenteessa on merkkejä muutoksista, jotka johtuvat ihmistoiminnan vaikutuksista fysikaalis-kemiallisiin ja hydrologis-morfologisiin laatutekijöihin, sekä joissain tapauksissa siinä on merkkejä yksittäisen lajin lisääntymisen tai yksilönkehityksen häiriintymisestä siinä määrin, että jotkut ikäluokat voivat puuttua kokonaan. Kalaston ikärakenteessa on suurehkoja ihmistoiminnasta johtuvia muutoksia siinä määrin, että kohtalaisen suuri osa tyypille ominaisia lajeja puuttuu tai niiden esiintyminen on hyvin vähäistä.

3.2. Kalat ekologisen luokittelun seurannassa

Verrattaessa eri eliöryhmien käyttökelpoisuutta jokivesien ekologisen tilan arvioinnissa, kaloilla on keskeinen rooli jokisysteemin direktiivin mukaisten paineiden, vedenlaadun ja rakenteellisen tilan kuvauksessa. Vaelluskalojen esiintyminen ja lisääntymiskierto ovat suorassa yhteydessä jokisysteemin esteettömyyteen, uoman tilaan ja veden laatuun.

Kalat soveltuvat hyvin ihmistoiminnan aiheuttamien veden laadun ja jokien rakenteelliseen tilaan muutosten seurantaan hyvin mm. seuraavista syistä:

- Kalat esiintyvät lähes kaikissa jokiympäristöissä
- Kalojen tunnistaminen on verrattain helppoa ja nopeaa
- Kaloihin kohdistuu runsaasti yleistä mielenkiintoa, joten kalat ryhmänä on helposti käytettävä ja ymmärrettävä indikaattori suurelle yleisölle
- Kalojen ekologiset vasteet eri paineille tunnetaan hyvin
- Kalat esiintyvät eri tuotantotasolla planktonsyöjistä petokaloihin
- Kaloista voidaan erotella erilaisia toiminnallisia (esim. pohjakalat, virtaan hakeutuvat) ja ekologistia (esim. lisääntymisen suhteen) ryhmiä, joiden vasteet eri paineille voidaan arvioida ja ennustaa
- Vaelluskalat ilmentävät patojen ja muiden vaellusesteiden vaikutuksia

3.3. Kuinka kala-aineisto kerätään jokivesissä?

Lähtökohtana kala-aineiston keräämisessä oli että työssä keskitytään jokien koski- ja virta-alueisiin. Näiden katsotaan olevan jokien avainhabitaatteja, jotka kuvastavat koko joen tilaa. Käytännössä olemassa oleva kala-aineisto myös rajoittuu koskialueisiin, suvantoalueista tietoa on kerätty vain satunnaisesti. Suvantojaksojen kalaston näytteenotto vaatisi uusien käytäntöjen ja menetelmien tuomisen jokivesien kalaston näytteenottoon. Samanlaisen ratkaisuun kuin Suomessa on päädytty myös muualla Euroopassa (esim. Fame Project Group 2005). Tällöin tulosten vertaaminen muiden Euroopan maiden kanssa on mahdollista.

Direktiivin mukaan laatutekijöiden, kuten kalaston, seurannassa käytettävien menetelmien on noudatettava kansallisia tai kansainvälisiä standardeja (CEN/ISO). Näin varmistetaan tulosten tieteellinen laatu ja vertailtavuus. Näytteenottomenetelmänä jokivesistöissä on sähkökalastus, josta on olemassa eurooppalainen CEN-standardi (Water quality – Sampling of fish with electricity, EN 14011). Menetelmästä löytyy lisätietoa kalataloustarkkailujen menetelmäkirjasta (Böhling ja Rahikainen 1999).



Kuva 2. Sähkökalastus on standardoitu menetelmä vesipuidedirektiivin mukaiseen kalaston näytteenottoon jokivesissä.

Eri kalastaselvityksissä on aiemmin käytetty joko yhden, kahden tai kolmen poistopyynnin menetelmää. Eri menetelmien kalastettujen ja tuloksista laskettujen tiheysarvojen vertaaminen aiheuttaa aineistoon ylimääräistä vaihtelua. Tulosten vertailukelpoisuuden varmistamiseksi VPD:n mukaisessa ekologisen tilan kehittämistyössä on käytetty sähkökalastuksen ensimmäisen poistopyynnin tuloksia. Lisäksi yhden poistopyynnin tuloksia käytettiin kehitettäessä Eurooppalaista kalaindeksiä (EFI, European Fish Index, FAME Project Group 2005). Yhden poistopyynnin menetelmässä kuitenkin saadaan vähemmän informaatiota kuin esimerkiksi kolmen poistopyynnin kalastuksessa. Tämän vuoksi vesipuidedirektiivin mukaisten seurantojen käynnistyessä vuonna 2007, sähkökalastukset suositellaan tehtäväksi kolmena peräkkäisenä poistopyyntinä, siten että eri poistopyyntikertojen tulokset pystytään erottelemaan toisistaan.

Kolmea peräkkäistä pyyntikertaa tukee myös toiminnallisen seurannan rakenne. Usein seurannassa halutaan tietoa erityisesti lohikalojen tiheysmuutoksista, joita varten tarvitaan kolme peräkkäistä pyyntikertaa.

Kaikki pyynti tehdään päivänvalossa. Tarkoituksena on saada mahdollisimman tarkka tieto kaikista alueella esiintyvistä kalalajeista. Sähkökalastus tehdään kahlaamalla ylävirtaan päin ilman sulkuverkkoja. Sähkökalastuksen teho heikkenee syvässä vedessä, joten yleensä pitäydytään kalastamasta yli 0,8-1 m vedessä.

Pienin tarkasteltava yksikkö jokien ekologisen tilan määrittelyssä on yksittäinen koski/virta-alue. Näitä alueita voi olla joessa useampia, jolloin ekologisen tilan määrittelyssä otetaan huomioon kaikki alueen kohteet. Yksittäisessä koskessa tavoitteena on saada yleiskuva alueen kalastosta. Siksi sähkökalastuspaikka valitaan siten että siinä on edustettuna kaikki kyseiselle virtajaksolle tyypilliset elinympäristöt. Jos alue on heterogeeninen, voidaan samasta alueesta kalastaa kaksi tai useampia alueita. Tulosten luotettavuutta voidaan parantaa kasvattamalla kalastettavan alueen kokoa (esim. 200-400 m², kuitenkin aina yli 100 m²). Pienissä (alle 15 m leveissä) joissa pyritään kalastamaan koko uoman leveydeltä. Koska suurissa joissa syvyys estää kalastamisen koko uoman leveydeltä, kalastetaan niissä ranta-alue joko toiselta tai molemmilta puolilta jokea.

Vesipuidedirektiiviä varten sähkökalastukset tehdään ajankohtana, jolloin syyskutusten lohikalojen saman vuoden poikaset näkyvät sähkökalastussaaliissa. Yleisesti tämä ajankohta on heinäkuun lopulta lokakuuhun. Sähkökalastusta ei tehdä enää alle 5 °C vedessä, koska sekä kalojen aktiivisuus että laitteiden teho muuttuu merkittävästi alhaisissa lämpötiloissa.

3.4. Kalatietokanta

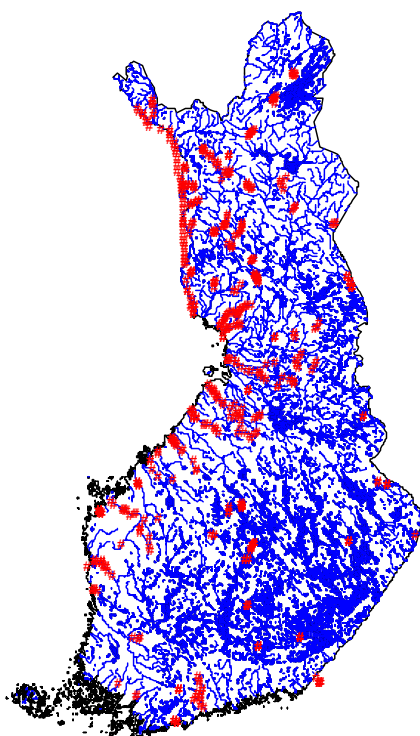
Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos vastaa direktiivin mukaisesta kalaston perusseurannasta, jonka tarkoituksena on lähinnä vertailuolosuhteiden validointi luokittelua varten ja ihmistoimintojen aiheuttamien pitkäaikaismuutosten arviointi. Perusseurannasta varten perustetaan seurantaverkko soveltuvista jokikohteista. Tätä kirjoitettaessa valtakunnalliseksi seurantaverkoksi on annettu ensimmäinen ehdotus. Seurantaväli on vähintään kerran perusseurantajaksona eli vähintään kerran kuudessa vuodessa. Lisäksi vesipuidedirektiivin mukainen hajakuormituksen toiminnallinen seuranta tullee RKTL:n hoidettavaksi. Siinä seurantaväli on kolme vuotta.

Edellä mainittua kalaston seurannasta varten tarvitaan yhtenäisin (ks. edellinen luku) menetelmin kerätty tietokanta sähkökalastustuloksista. Paitsi perusseurannasta tähän tietokantaan tulisi kerätä tulokset myös toiminnallisesta kalaston seurannasta, jota esimerkiksi useat konsultit tekevät. Kalatietokannan valmistelutyöt on tätä kirjoitettaessa aloitettu Maa- ja metsätalousministeriön ja ympäristöministeriön yhteistyönä. Tavoitteena on ympäristöhallinnon HERTTA-tietojärjestelmän kanssa yhteensopivan kalatietorekisterin luominen. Vesipuidedirektiivin mukaiset sähkökalastukset aloitettiin vuonna 2006 jolloin kalastettiin noin 35 vertailupaikkaa.

Suomessa ei ole aiemmin kerätty yhteen kalastotietoa Suomen joista. Tämän vuoksi luokittelutyö aloitettiin keräämällä sähkökalastustuloksia Suomen jokivesistöistä. Työssä kerätyt sähkökalastustulokset on kerätty eri tutkimusten ja selvitysten tuloksista eikä kaikkia kalastuksia ole välttämättä tehty standardin mukaisesti. Tuloksista kirjattiin saadut lajit, lajien tiheys (kpl kalastettua pinta-alaa kohden) ja biomassa (g). Ikäluokkien osalta tieto saatiin kattavasti lohen ja taimenen 0+-vuotiaiden osalta. Aineistoon otettiin ainoastaan loppukesän ja syksyn (heinäkuun loppu, elo-, syys- ja lokakuu) sähkökalastukset, jolloin em. poikaset on luotettavasti saaliin joukosta eroteltavissa kokoon perustuen.

Taustatiedoiksi sekä raportointia varten kustakin koskialueesta kerättiin tiedot sijainnista (yhtenäiskoordinaatit ja korkeus merenpinnan yläpuolella) ja koosta (joen leveys, yläpuolisen valuma-alueen koko). Vesikemia kerättiin ympäristökeskuksen tietojärjestelmästä (HERTTA) pitkäaikaisina keskiarviona (happi% (kesä ja talvi), pH, väri, kokonaisfosfori, kemiallinen hapenkulutus, kiintoaine (talvi)).

Kala-aineisto koostui 555 kohteesta (kuva 3). Maantieteellisesti suurimmat aineistolliset puutteet olivat Keski-Suomessa.



Kuva 3. Sähkökalastusaineiston koskialueiden sijainnit. Mittakaavan vuoksi yhden merkin alla voi olla useita kohteita.

3.5. Joen ekologisen tilan kalastomittarit

Jokien kalalajikoostumusta tarkasteltaessa lajisto voidaan jakaa esimerkiksi alkuperän, ravinnon, ja elinympäristön käytön perusteella useisiin ekologisiin tai toiminnallisiin ryhmiin. Lajien luontainen levinneisyys vaikuttaa jokien lajikoostumukseen, esimerkiksi kivenuoliaisen levinneisyys ei aineistossa ulottunut 66 leveyspiirin pohjoispuolelle ja särkikalat puuttuivat pohjoisista joista. Potentiaalisia muualta tuotuja virtavesien vieraslajeja ovat esimerkiksi puronieriä ja kirjolohi. Vieraslajien negatiivinen vaikutus perustuu niiden mahdolliseen kykyyn syrjäyttää alkuperäislajeja, esimerkiksi puronieriän on havaittu syrjäyttävän alkuperäisiä taimenkantoja Kemijoen vesistön latvajoissa (Korhonen ym. 1996). Tässä aineistossa vieraslajeista esiintyi vain kirjolo-

hi ja sekin varsin suppealla alueella. Ravinnonkäytöltään pääosa havaituista lajeista on (poikasvaiheessa) hyönteissyöjiä tai petoja. Ainoastaan särki voidaan lukea kaikkiruokaiseksi (omnivori). Tärkeä ryhmä ihmistoiminnan vaikutusten seuraamiseen on ympäristömuutoksille herkiksi luokiteltavat lajit. Lajiryhmästä virtavesien lohikalat (esim. harjus, taimen, ja lohi) suosivat hyvänlaatuista hapekasta vettä. Erityisesti lohen ja taimenen lisääntymisen onnistuminen (0+-poikasten esiintyminen) edellyttää pohjaineksen hyvää happipitoisuutta. Em. ryhmien lisäksi tarkasteltiin mm. särkikalojen osuutta. Särkikalat reagoivat erityisesti rehevöitymiseen (Persson ym. 1991), vaikka ryhmässä on myös virtavesiin sopeutuneita lajeja (esim. turpa, toutain, vimpa). Järvisä ja joissa käytettäviä muuttujia on esitetty taulukossa kaksi (julkaistu myös Tammi ym. 2006).

Taulukko 2. Kalamuuttujien soveltuvuus ja käyttökelpoisuus ekologisen tilan arvioinnissa. Muuttujien arvot saadaan standardin mukaisista sähkö- tai verkkokoekalastuksista.

Laatutekijä ja muuttuja	Soveltuvuus ja käyttökelpoisuus
Lajikoostumus	
Kalalajien lukumäärä (järvet, joet)	Järvet. Voimakas kuormitus voi hävittää herkkiä kalalajeja. Ei herkkä muuttuja, mutta kuvaa järven rakennetta ja toimintaa. Rehevöityminen voi teoriassa myös lisätä lajimäärää, jos lajit voivat levitä esteettömästi vesistösystemissä. Joet. Virtavesissä uoman perkaus tai ruoppaus hävittää herkkiä lajeja. Rehevöityminen voi lisätä tiettyyn rajaan saakka lajimäärää. Jokiluokittelussa alustavasti käytettävä muuttuja.
Indikaattorilajit (järvet, joet)	Järvet. Herkkä muuttuja. Eri kalaryhmät reagoivat eri paineisiin: säännöstely (rantavyöhykkeen lajit), kulkuesteet (lohikalat), happamoituminen (mm. särki). Joet. Kuten järvet, mutta jokiluokituksessa ei käytetä yksittäisiä indikaattorilajeja. Sen sijaan herkkien ja toleranttien lajien osuus lajimäärästä on hyvä mittari erilaisille paineille.
Runsaussuhteet	
Biomassa (järvet, joet)	Järvet. Rehevyyttä kuvaava muuttuja. Suuri biomassa kuvaa suurta perustuotantoa. Luontainen vaihtelu suurta järvien välillä, vaikeuttaa tulkintaa. Joet. Biomassa on jokiluokittelussa vaikeasti tulkittava mittari. Lievä rehevöityminen voi karuissa vesissä hetkellisesti lisätä jopa herkkien lajien biomassaa, rehevöitymisen jatkuessa muut lajit tulevat herkkien lajien tilalle. Ei käytetä alustavassa jokiluokittelussa.
Yksilömäärä (järvet, joet)	Järvet. Kuten biomassa yllä. Joet: Kuten biomassa yllä
Lajistosuhteiden tasaisuus (järvet, joet)	Järvet. Muuttujan avulla voidaan erottaa lajistosuhteiden vinoumat. Vaatii lisäselvityksiä. Alhainen lajiluku pienissä järvissä heikentää mittarin soveltuvuutta. Joet. Alhainen lajilukumäärä heikentää soveltuvuutta jokiluokittelussa.
Särkikalajien osuus -biomassaosuus (järvet) -yksilömäärä (joet)	Järvet. Keskeinen rehevöitymistä kuvaava muuttuja. Luontainen vaihtelu suurta. Luontainen särkikalaosuus eteläisissä järvissä suhteellisen korkea. Joet: Virtavesissä rehevöitymisen ja rakenteellisten muutosten. Esiintyminen painottuu etelään, puuttuu kokonaan pohjoisimmista joista. Särkikalajien osuus (kpl) on alustavasti käytettävä mittari jokiluokituksessa.
Ahvenkalajien (>15 cm) biomassaosuus (järvet)	Järvet. Kuvaa järven tuotantotasojen vuorovaikutussuhteita, luontaisesti petokalajia yleensä vähintään 20 % näytteen biomassasta. Heikosti vertailuaineistoa, kalastus vaikuttaa myös muuten kuormittamattomissa vertailujärvissä. Joet. Ei käyttökelpoinen muuttuja virtavesissä.
Lohikalajien osuus yksilömäärästä (joet)	Järvet. Ei käyttökelpoinen muuttuja. Joet. Keskeinen muuttuja jokien kalastoseurannoissa. Osuus saaliin yksilömäärästä korreloi voimakkaasti lohikalajien 0+-poikasten esiintymisen kanssa.
Ikärakenne	
Herkkien lajien yksilönkehityksen eri vaiheiden esiintyminen	Järvet. Happamoitumisen mittari. Särjen ja ahvenen lisääntyminen, poikas- ja nuoruusvaiheiden esiintyminen. Joet: Virtavesissä luontaisten 0+-ikäisten lohikalajien (lohi, taimen) esiintyminen (osuus yksilöistä) on herkkä mittari jokiluokituksessa. Niin joen rakenteellisen tilan kuin vedenlaatuun kohdistuvien paineiden mittari virtavesissä. Jatkossa kun aineistoa kertyy myös muiden lajien (esim. simput, muut lohikalat) nuoruusvaiheiden esiintymisestä muuttujaa voidaan laajentaa koskemaan myös muita lajeja.

Kokonaistiheys, biomassa

Yksilömäärä ja biomassa ovat suhteellisen vaikeasti tulkittavissa olevia mittareita jokivesistöissä. Alhainen biomassa tai yksilömäärä on luontaista oligotrofisille virtavesille, mutta voi kertoa muuntyyppisissä vesistöissä tilan heikkenemisestä. Myös suuri kalabiomassa voi olla seurausta muutoksesta, erityisesti vesistön rehevöitymisestä. Yksilömäärää ja biomassaa tuleekin todennäköisesti tarkastella kaksisuuntaisesti: poikkeuksellisen suuret tai pienet arvot voivat olla merkkejä vesistön häiriötilasta. Näin tehdään järvien ekologisen tilan kalaperusteisessa luokittelussa (Tammi ym. 2006).

Lajimäärä

Lajimäärä suomalaisissa koskikohteissa voi vaihdella 1-2 lajista yli kymmeneen lajiin. Tässä työssä havaittiin käsitellyssä aineistossa 1-10 lajia jokea kohti, keskiarvo oli 4,3, ja mediaani 4 lajia. Alhainen lajimäärä voi olla luontaista erityisesti pohjoisille oligotrofisille virtavesikohteille, mutta muualla alhainen lajimäärä yleensä viittaa joen tilassa tapahtuneisiin muutoksiin. Näitä voivat olla esimerkiksi rakenteelliset muutokset (esim. perkaus, vaellusesteet), tai mahdolliset myrkkyyvaikutukset. Myös suuret lajimäärät voivat erityisesti rehevöitymisen alkuvaiheessa olla merkinä tilan heikkenemisestä. Keskimäärin suomalaisten virtavesien lajimäärä on alhainen verrattuna eteläisempään Eurooppaan.

Ympäristömuutoksille herkät ja tolerantit lajit

Tässä työssä herkiksi lajeiksi ja muutoksia sietäviksi (toleranteiksi) lajeiksi luokiteltiin pienin muutoksin samat lajit, jotka jokikalastoon perustuvaa eurooppalaista luokittelumenetelmää kehittänyt FAME-projekti (FAME Project Group 2005) luokitteli herkiksi ympäristömuutoksille (Taulukko 3). Lohikalat yleisesti indikoivat sekä virtajaksojen hyvää rakenteellista tilaa myös vedenlaatua. Pohjakalat, kuten simpukat, ovat herkkiä kemiallisten aineiden kertymiselle (esim. McCain ym. 1992). Myös nahkiainen on herkkä ympäristössä tapahtuville muutoksille, erityisesti happamoitumiselle. Ympäristömuutoksille toleranteiksi lajeiksi luokiteltiin esimerkiksi ruutana, joka kestää alhaisia happipitoisuuksia, sekä niin sanottuja yleislajeja, kuten ahven ja särki.

Lohikalojen poikasten esiintyminen

Virtavesissä luontaisesti esiintyvien lohikalojen (esim. lohi, taimen, harjus) poikasten esiintyminen koskijaksoissa indikoi joen hyvää rakenteellista tilaa ja myös hyvää vedenlaatua. Ongelmana Suomessa on näiden lajien runsaat istutukset. Istutettuja poikasia on usein vaikea erottaa luonnonkaloista. Lohen ja taimenen 0+-ikäisten poikasten esiintyminen kertoo luontaisen lisääntymisen onnistumisesta alueella osoittaen joen hyvää rakenteellista tilaa sekä vedenlaadusta erityisesti korkeaa happipitoisuutta. Kesänvanhoja poikasia käytetään harvoin istutuksissa joten niiden esiintyminen kertoo luonnontuotannon onnistumista. Mäti kehittyy talven yli soran sisässä ja edellyttää hyvää vedenlaatua. VPD-koekalastusten karttuessa myös muiden lajien poikasvaiheiden esiintymistä voidaan tulevaisuudessa tarkastella vesien tilan arvioinnissa.

Särkikalojen esiintyminen

Särkikalojen suuri osuus saaliissa kuvastaa erityisesti rehevöitymistä, mutta voi kuvastaa myös muita, esimerkiksi rakenteellisia (virrannopeus, vesisyvyys, yms.) muutoksia.

Muut soveltuvat muuttajat

Myös useat muut ekologiset tai toiminnalliset ryhmät voivat tehokkaasti kuvata kalaston ja sitä kautta koko joen tilaa. Ympäristömuutokset usein vähentävät tarjolla olevan hyönteisravinnon määrää, mikä heijastuu kalastossa hyönteissyöjien osuuden laskuna. Kutukäyttäytymisen osalta lajiryhmä joka käyttää kutualustanaan soraa/kiviä (lithophilic) on herkkä sekä rakenteellisille muutoksille että esimerkiksi kiintoaineksen määrän lisääntymiselle joessa. Muita ekologista tilaa kuvaavia kala-muuttujia ovat esimerkiksi kalojen terveyden ja kuntoon liittyvät tekijät.

3.6. Muuttujien valinta

Koska vertailualueverkostosta kerättyä aineistoa ei työn kirjoitusvaiheessa ollut käytettävissä, käytettiin olemassa olevaa joki-aineistoa vertailualueiden määrittämiseen. Koskikohteet pisteytettiin kolmen eri tekijän mukaan 1.) uoman morfologia (luonnontilainen, kunnostettu, perattu, 1-3), 2.) ihmistoiminnan vaikutus (asiantuntija-arvio, 0-10, perustuu maankäyttöön karttatarkastelun perusteella) ja 3.) vedenlaatu (1-4). Vedenlaadun muuttujien sisältämää vaihtelua yhdistettiin pääkomponenttianalyysillä (PCA) ensimmäiseen pääkomponenttiin, joka kuvasi lähinnä ravinteisuuden ja veden värin kasvua. PCA on tilastollinen menetelmä, jossa alkuperäiset muuttujat pyritään korvaamaan pienellä määrällä uusia muuttujia, jotka säilyttävät mahdollisimman suuren osan (1. pääkomponentti eniten, 2. seuraavaksi eniten, jne.) alkuperäisten muuttujien vaihtelusta. Kunkin koskikohteen pääkomponentilla saamat pistearvot jaettiin neljään fraktiiliin, jotka pisteytettiin siten että kaikkein rehevin neljännes sai arvon 4. Näiden kolmen tekijän summana saatiin arvio koskikohteen tilasta. Pisteytyksen perusteella paras 20 % kohteista valittiin vertailualueiksi. Tässä valintavaiheessa ainoastaan luonnontilaiset uomat (kunnostetut, peratut jätettiin pois) kelpuutettiin vertailualueiksi. Kalaston osalta vertailualueiksi ei voida yleensä ottaa kohteita joissa on vael-lusesteitä.

Jokien tilan arvioinnissa käytettävät muuttujat valittiin kahden kriteerin perusteella: (1) muuttuja pystyi luokittelemaan jokikohteet mahdollisimman hyvin vertailualueisiin ja vaikutuskohteisiin ja (2) muuttujan arvojen ja ihmistoiminnan voimakkuuden välillä oli selkeä riippuvuus. Lopuksi laskettiin muuttujien väliset korrelaatiot, jotta lopullisessa ekologisen tilan arvioinnissa ei käytettäisi kahta tai useampaa samaa muuttujaa kuvaavaa muuttujaa. Tässä työssä testattiin yhteensä 14 kalastomuuttujaa (Taulukko 3).

Muuttujien valinnassa käytettiin erotteluanalyysiä (Discriminant Analysis). Analyysi pyrkii muodostamaan tilastotieteellisiä erottelusääntöjä, joiden avulla koeyksiköt voidaan mittausten perusteella luokitella mahdollisimman virheettömästi omiin populaatioihinsa. Tässä aineistossa kosket jaettiin vertailualueisiin ja vaikutusalueisiin. Tarkoituksena oli testata kalamuuttujien kykyä erotella vertailualueet muuntuneista. Analyysin muodostaman erottelusäännön hyvyttä voidaan arvioida erotteluvirheen todennäköisyyden perusteella (apparent error rate, APER).

$$(1) \quad APER = n1_e + n2_e / n1 + n2,$$

missä

$n1_e = X_1$:n rivivektorien määrä joka luokiteltiin virheellisesti ryhmään π_2

ja

$n2_e = X_2$:n rivivektorien määrä joka luokiteltiin virheellisesti ryhmään π_1 .

Kyseiset luvut voidaan helposti esittää 2×2 kontingenssitaulun avulla:

	Estimoitu ryhmä			summa
	1	2		
Todellinen ryhmä	1	n_{10}	n_{1e}	n_1
	2	n_{2e}	n_{20}	n_2

Erotteluvirhe on sitä pienempi mitä paremmin alueet pystytään kalamuuttujan perusteella luokittelemaan joko vertailukoskiin tai vaikutuskoskiin. Analyysin perusteella jokien tilan arviointiin valittiin alustavasti kuusi muuttujaa: lajilukumäärä, lohen ja taimenen tiheys kpl/aari, särkikalat kpl/aari, ympäristömuutoksille herkkien lajien suhteellinen osuus lajilukumäärästä, ympäristömuutoksille toleranttien lajien suhteellinen osuus lajilukumäärästä sekä lohen ja taimenen 0+-ikäisten yksilöiden tiheys kpl/aari (taulukko 3). Vaikka särkikalojen erotteluvirhe oli suuri (taulukko 3), se otettiin mukaan koska vertailualueiden osalta luokittelu onnistui 100 %:sti. Lohen ja taimenen tiheyden ja näiden lajien 0+-ikäisten poikasten tiheyden välillä oli voimakas positiivinen korrelaatio ($>0,7$, taulukko 4), joten vain toinen muuttujista, 0+-ikäisten lohikalojen tiheys, otettiin mukaan ekologisen tilan määrittelyyn. Direktiivi edellyttää että mukaan otetaan myös runsaussuhteita kuvaava muuttuja. Testatuista runsaussuhteista kuvaavista muuttujista valittiin lajilukumäärä koska se erotteli kohteet selkeästi kokonaistiheyttä ja biomassaa paremmin.

Kun luokitteluun mukaan otettavat muuttujat on valittu voidaan laskea kaikilla viidellä muuttujalla tehdyn erotteluanalyysin erotteluvirhe. Erotteluvirheen perusteella mahdollisuus väärin luokitteluun näiden viiden muuttujan perusteella on noin 25 % (APER = 0,25).

Taulukko 3. Testatut kalamuuttujat laatutekijöittäin. APER = estimoitu erotteluvirheen todennäköisyys erotteluanalyysissä.

Laatutekijä	Muuttuja	Kalalaji	APER Koko data	APER Suuret humusjoet
<i>Runsaussuhteet</i>	Kokonaistiheys kpl/aari	Kaikki lajit	0,51	0,46
	Biomassa g/aari	Kaikki lajit	0,47	0,41
	Lajilukumäärä kpl	Kaikki lajit	0,36	0,31
<i>Lajiston koostumus</i>	Lohen ja taimenen tiheys kpl/aari	Taimen <i>Salmo trutta</i> Lohi <i>Salmo salar</i>	0,28	0,29
	Särkikalat kpl/aari	Family: Cyprinidae	0,60 (vertailu- koskilla)	0,53 (vertailu- koskilla)

			0,00)	0,00)
Ympäristömuutoksille herkkien lajien yhteistiheys kpl/aari	Siika Kivisimppu Kirjoeväsimppu Jokinahkiainen Pikkunahkiainen Lohi Taimen Nieriä Harjus	<i>Coregonus</i> sp. <i>Cottus gobio</i> <i>Cottus poecilopus</i> <i>Lampetra fluviatilis</i> <i>Lampetra planeri</i> <i>Salmo salar</i> <i>Salmo trutta</i> <i>Salvelinus alpinus</i> <i>Thymallus thymallus</i>	0,41	0,53
Ympäristömuutoksille toleranttien lajien yhteistiheys kpl/aari	Kymmeniikki Kolmipiikki Ahven Salakka Särki Lahna Ruutana Ankerias	<i>Pungitius pungitius</i> <i>Gasterosteus aculeatus</i> <i>Perca fluviatilis</i> <i>Alburnus alburnus</i> <i>Rutilus rutilus</i> <i>Abramis brama</i> <i>Carassius carassius</i> <i>Anguilla anguilla</i>	0,64	0,52
Ympäristömuutoksille herkkien lajien prosentiosuus kokonaistiheydestä (%)	Lista yllä		0,35	0,35
Ympäristömuutoksille herkkien lajien suhteellinen osuus lajilukumäärästä	Lista yllä.		0,30	0,28
Ympäristömuutoksille toleranttien lajien suhteellinen osuus lajilukumäärästä	Lista yllä		0,42	0,36
Hyönteissyöjien tiheys kpl/aari (ravintomuuttuja)	Lohi, Taimen, Harjus, Kirjolohi, Siika, Kolmipiikki, Kymmeniikki, Kivisimppu, Kirjoeväsimppu, Seipi, Säyne, Salakka, Lahna, Mutu, Ahven, Kiiski, Kivenuoliainen,	<i>Salmo salar</i> <i>Salmo trutta</i> <i>Thymallus thymallus</i> <i>Oncorhynchus mykiss</i> <i>Coregonus</i> sp. <i>Gasterosteus aculeatus</i> <i>Pungitius pungitius</i> <i>Cottus gopio</i> <i>C. poecilopus</i> <i>Leuciscus leuciscus</i> <i>Leuciscus idus</i> <i>Alburnus alburnus</i> <i>Abramis brama</i> <i>Phoxinus phoxinus</i> <i>Perca fluviatilis</i> <i>Gymnocephalus cernuus</i> <i>Barbatula barbatula</i>	0,55	0,50
Pohjakalojen tiheys kpl/aari (elinympäristön käyttö)	Kivisimppu, Kirjoeväsimppu, Lahna, Kiiski, Made, Kivenuoliainen,	<i>Cottus gopio</i> <i>C. poecilopus</i> <i>Abramis brama</i> <i>Gymnocephalus cernuus</i> <i>Lota lota</i> <i>Barbatula barbatula</i>	0,49	0,39
Kiveä/soraa kutualustana käyttävien (lithophilic) lajien tiheys kpl/aari (lisääntyminen)	Lohi, Taimen, Harjus, Kirjolohi, Siika, Kivisimppu, Kirjoeväsimppu, Seipi, Mutu, Made, Kivenuoliainen,	<i>Salmo salar</i> <i>Salmo trutta</i> <i>Thymallus thymallus</i> <i>Oncorhynchus mykiss</i> <i>Coregonus</i> sp. <i>Cottus gopio</i> <i>C. poecilopus</i> <i>Leuciscus leuciscus</i> <i>Phoxinus phoxinus</i> <i>Lota lota</i> <i>Barbatula barbatula</i>	0,51	0,47
<i>Ikärakenne</i> Lohen ja taimenen 0+ ikäisten yksilöiden tiheys kpl/aari	Taimen Lohi	<i>Salmo trutta</i> <i>Salmo salar</i>	0,25	0,31

Taulukko 4. Ekologisen tilan arviointiin alustavasti valittujen muuttujien väliset korrelaatiot (Pearson).

	Tolerantit lajit	Herkät lajit	Lajilukumäärä	Särkikalat	0+-ikäiset lohikalat
Tolerantit lajit	1.000				
Herkät lajit	-0.645	1.000			
Lajilukumäärä	-0.379	0.224	1.000		
Särkikalat	-0.296	0.393	0.250	1.000	
0+-ikäiset lohikalat	0.249	-0.167	-0.185	-0.087	1.000
Lohen ja taime- nen tiheys	0.269	-0.205	-0.041	-0.066	0.716

3.7. Ekologisen tilan laskenta

Kalayhteisön rakenne joessa määräytyy sekä paikallisten pienipiirteisten olosuhteiden mukaan että laaja alaisten, globaalien ilmiöiden ohjaamina (Oberdorff ym. 1995). Yleisesti ottaen globaalit ilmiöt määräävät alueella menestyvän lajiston koostumuksen ja josta paikalliset olosuhteet sulkevat pois joidenkin lajien esiintymisen. Lajiston alueellista jakaantumista on selitetty useilla eri teorioilla jotka voidaan karkeasti jakaa leviämishistoriaa, tuottavuutta sekä lajiston ja pinta-alan suhdetta painottaviin (Preston 1962, Whittaker 1977, Wright 1983). Huet (1959) kuvasi ensimmäisenä lähinnä kaltevuuteen, virrannopeuksiin ja lämpötilaan liittyvän vyöhykkeisyyden Keski-Euroopan joissa ja nimesi eri vyöhykkeet vallitsevan kalalajin mukaan. Kalaston ja joen koon välisiä suhteita on kuvattu esimerkiksi Pohjois-Amerikan joissa (Angermeier ja Schlosser 1989). Oberdorffin ym. (1995, 1997) mukaan pinta-ala ja tuottavuustaso selittivät lajiston levinneisyyttä globaalilla tasolla, mutta myös leviämishistorialla on merkitystä.

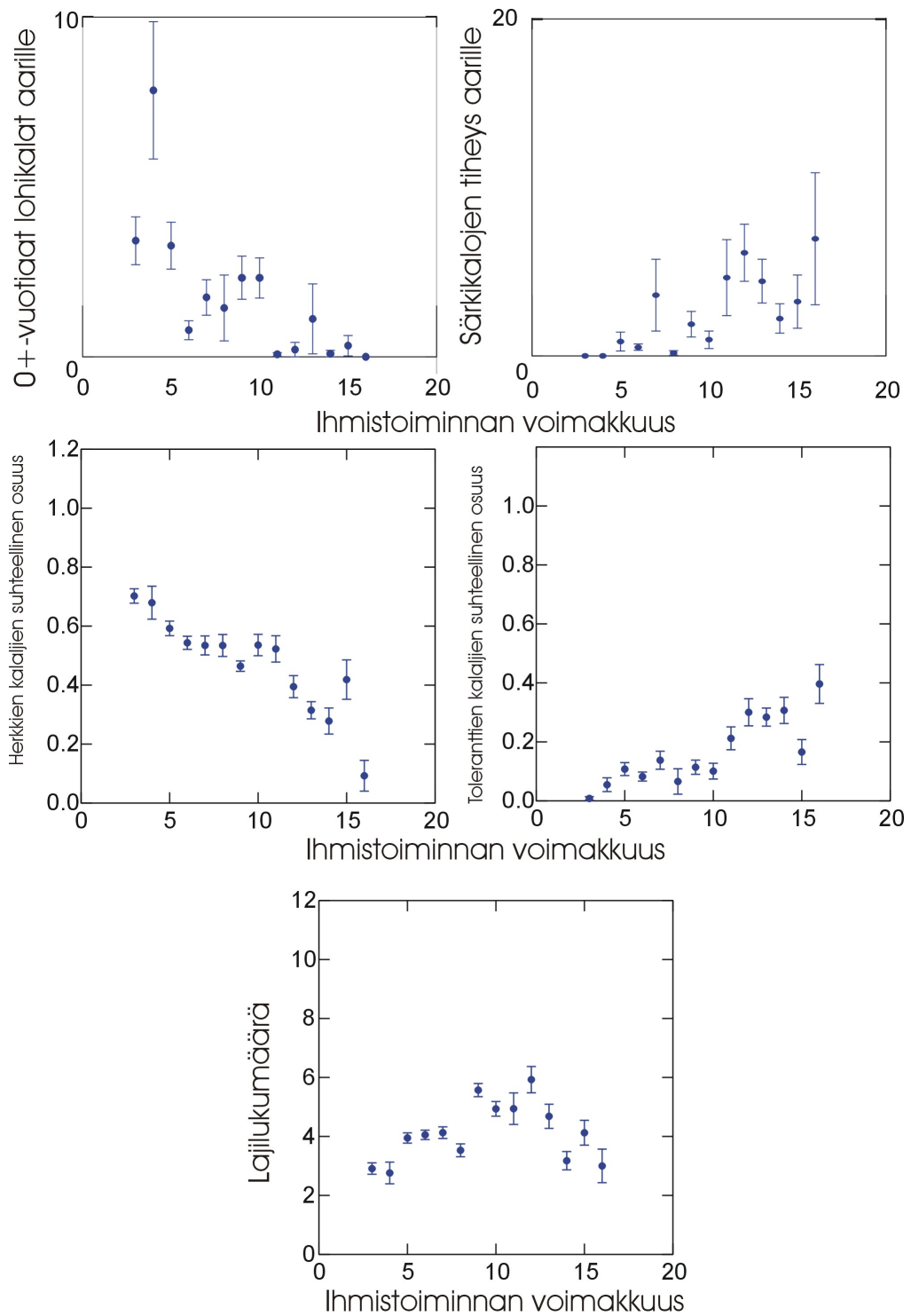
Ekologit ovat jo pitkään käyttäneet kaloja mittaamaan virtavesien ekologista tilaa. Kehitystyö on vienyt alunperin indikaattorilajeja painottavista indekseistä yhä enemmän kalayhteisöpohjaisiin indekseihin (Fausch ym. 1990). Yksi vertailualueita käyttävä, ihmistoiminnan vaikutusta virtavesien kalastoon mittaava lähestymistapa on IBI- indeksi (Index of Biotic Integrity), jonka ensimmäisenä muotoili Karr (1981). IBI sisältää joukon kalayhteisön koostumukseen ja tilaan liittyviä muuttujia. Tutkittavan alueen tuloksia verrataan vertailualueen arvoihin. Perustana oleva oletamus on, että muuntumattomissa vertailuvesissä kalaston rakenne on riittävän yhtenäinen, jotta ihmisen aiheuttamat muutokset voidaan luotettavasti havaita. Yleinen havainto muuntuneissa vesissä on alhaisempi kalaston diversiteetti verrattuna vertailualueisiin (Scott ja Hall 1997).

Alkuperäinen IBI on kehitetty lämpimän veden kalayhteisölle. Se sisälsi 12 kalamuuttujaa joihin kuuluivat kalojen lajimäärä ja koostumus, trofiataso sekä kalatiheys ja kalojen kunto. Alunperin IBI indeksi kehitettiin pienen mittakaavan kuten yksittäisen koskikohteen tilan arviointiin (Karr ym. 1986). Myöhemmin mittakaava on laajentunut kokonaisuun valuma-alueisiin (Gammon ja Simon 2000, Pyron ja Lauer 2004) ja laajempiin alueellisiin indekseihin (Oberdorff ym. 2001, Mebane ym. 2003, Mercado-Silva ym. 2002, Dauwalter ym. 2003). Nykyisin IBI:n voidaan sanoa koostuvan useista löyhästi toisiinsa liittyvistä indekseistä. Alkuperäistä IBI-indeksiä tuleekin muunnella, jotta se soveltuisi kulloinkin kyseessä olevalle kohdealueelle. Pohjoisissa olo-

suhteissa mahdollisia ongelmia indeksin soveltamisessa voivat olla esimerkiksi pieni lajimäärä, lämpimän veden ekosysteemeihin verrattuna erilaiset vasteet esim. rehevöitymiselle, sekä erityisesti Suomessa laajat lohikalojen istutukset. IBI-indeksiä ”kylmänveden” virtavesiolosuhteisiin on soveltanut esimerkiksi Mebane ym. (2003).

Laskentaa varten IBI-indeksiin täytyy sisällyttää menetelmä, jolla lasketaan indeksin tulos. Usein indeksin tulo on laskettu kategorisesti pisteyttämällä kunkin muuttujan saamat arvot (esim. 1, 3, 5). Tässä työssä jatkuva pisteytystapa katsottiin kategorista paremmaksi ja joustavammaksi (ks. myös Mebane ym. 2003). Kunkin muuttujan pistearvo siis kuvaa ihmistoiminnan vaikutusta kyseiseen muuttujaan. Muutoksen suunta selviää vertaamalla kalamuuttujaa kosken tilaa ja ihmistoiminnan vaikutusta vasten (ks. Mebane ym. 2003). Tässä työssä ihmistoiminnan aiheuttaman muutoksen voimakkuutta mittamaan käytettiin aiemmin esitettyä pisteytystä koskikohteen tilasta.

Ihmistoiminnan vaikutuksen lisääntyessä 0+-ikäisten lohikalojen tiheys laskee (Kuva 4). Muuttuja ”herkkien lajien suhteellinen osuus lajilukumäärästä” ja ihmistoiminnan välillä on selkeä laskeva riippuvuus. Vastaavasti toleranttien lajien suhteellinen osuus lajilukumäärästä nousee, kun ihmistoiminnan vaikutus lisääntyy (kuva 4). Myös särkikaloiden tiheys lisääntyy sitä mukaa, mitä muutetumpi vesistö on. Lajilukumäärä näyttää aluksi lisääntyvän ihmistoiminnan vaikutuksen lisääntyessä, mutta kääntyvän laskuun kaikista muuntuneimmissa paikoissa (kuva 4).



Kuva 4. Ekologisen tilan luokittelussa käytettyjen muuttujien (keskiarvo \pm keskivirhe) ja ihmistoiminnan vaikutuksen voimakkuuden välinen riippuvuus.

Kunkin muuttujan saama kohteen tilaa kuvastava piste-arvo lasketaan käyttämällä empiirisiä kertymäfunktioita, joita vastaamaan asetettiin graafisesti tätä kuvaava funktio. Kertymäfunktion avulla hahmotettiin milloin ja missä muodossa muuttuja saavuttaa maksimi- ja minimiarvot. Seuraavassa esitetään viiden indeksiin valitun kalamuuttujan laskentaperusteet koko sähkökalastusaineistoa hyväksi käyttäen.

Särkikalojen tiheys lisääntyy ihmistoiminnan arvioitun vaikutuksen mukana (kuva 5). Kertymäfunktioita kuvaamaan sovitettiin logistinen käyrä, joka on muotoa:

$$(2) \quad y = a / (1 + b \cdot \exp(-cx)),$$

jossa $a = 0.98743839$, $b = 17.618992$ ja $c = 0.28525038$.

Koska särkikalojen tiheys kasvaa ihmistoiminnan lisääntymisen myötä, täytyy y :n arvot vähentää luvusta yksi (kuva 5). Särkikalojen tiheyden ollessa alhainen muuttujan arvo on lähellä yhtä ja saavuttaa arvon 0 kun särkikaloja on noin ≥ 30 /aari.

Myös ihmistoimintaa sietävien lajien (lista taulukossa 3) suhteellinen osuus lisääntyy ihmistoiminnan myötä (kuva 6). Kertymäfunktioita kuvaamaan asetettu logistinen käyrä on muotoa:

$$(3) \quad y = a / (1 + b \cdot \exp(-cx)),$$

jossa $a = 0.9887648$, $b = 6.6118672$ ja $c = 11.632848$.

Koska toleranttien lajien vaste on nouseva, y :n arvot täytyy käyräsovituksessa vähentää luvusta yksi (kuva 6). Muuttujan arvo lähenee yhtä, kun lajistossa ei ole lainkaan toleranteja lajeja. Kun yli puolet lajeista on toleranteja, muuttujan arvo lähenee 0:aa.

Ihmistoiminnalle herkkien lajin osuus saalislajeista vähenee ihmistoiminnan lisääntyessä varsin suoraviivaisesti (kuva 7). Muuttujan arvoa kuvaamaan asetettiin lineaarinen suora:

$$(4) \quad y = a + bx$$

jossa $a=0$ ja $b=1$.

Muuttujan arvo kasvaa tasaisesti ja saavuttaa arvon 1 kun kaikki saalislajit kuuluvat herkkiin lajeihin.

Lohen ja taimenen 0+-vuotiaiden poikasten esiintyminen kertoo hyvästä ekologisesta tilasta. Jatkossa, kun tietoa myös muista lajeista kertyy, muuttuja on syytä laajentaa kattamaan myös muut lohikalat. Ihmistoiminnan lisääntyessä poikasten tiheys pienenee eikä niitä esiinny kaikista muuntuneimmista paikoissa (kuva 8). Kertymäfunktioita kuvaamaan sovitettiin logistinen käyrä:

$$(5) \quad (5) \quad y = a / (1 + b \cdot \exp(-cx)),$$

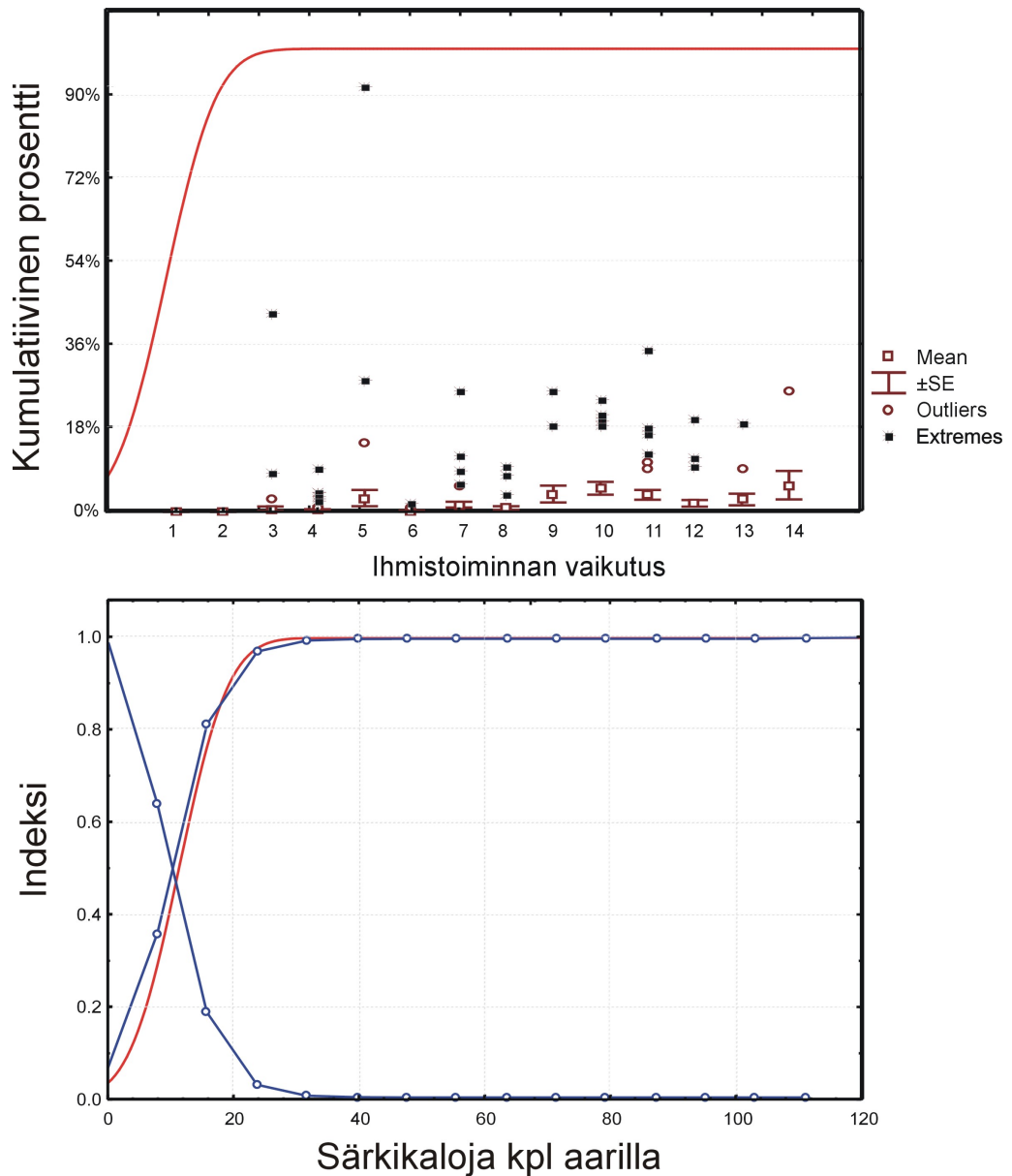
jossa $a = 0.99087072$, $b = 7.6590874$ ja $c = 0.58961435$.

Muuttujan arvo nousee nolasta nopeasti heti kun lohen tai taimenen poikasia esiintyy kohdealueella. Muuttuja arvo on lähellä arvoa yksi hieman yli kymmenen poikasen -aaritiheyksillä.

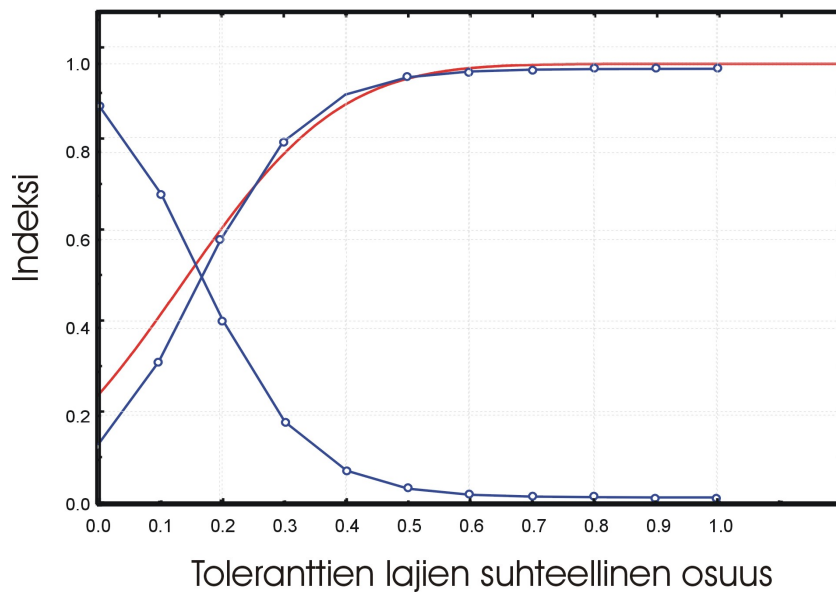
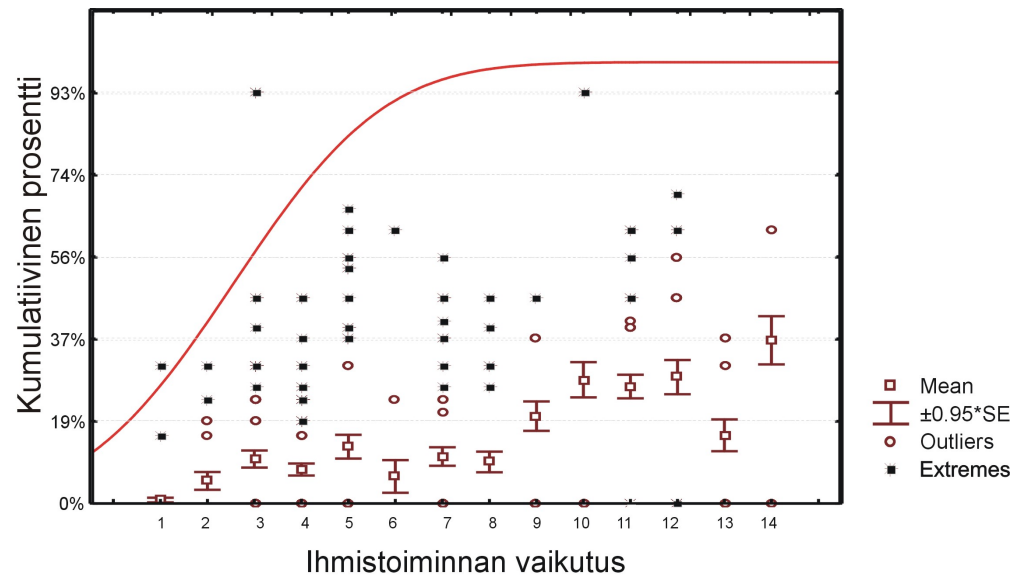
Lajilukumäärä on vaikein mallinnettava valituista muuttujista ja aineiston kertyessä kaikista jokityypeistä sitä täytyy tarkastella tyyppikohtaisesti. Kalaton paikka kertoo huonoista olosuhteista, mutta jo yksi herkkiin lajeihin kuuluva kalalaji voi olla hyvän ekologisen tilan indikaattori (kuva 9). Ekologinen tilaluokitus kasvaa kunnes lajeja on 3-4, mutta tätä suuremmat lajimäärät ilmentävät yhä heikkenevää ekologista tilaa (kuva 9). Ihmistoiminnan vaikutuksen ja kertymäfunktion perusteella muuttujan arvot mallinnettiin neljännen asteen polynomisella kaavalla:

$$(6) \quad y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4,$$

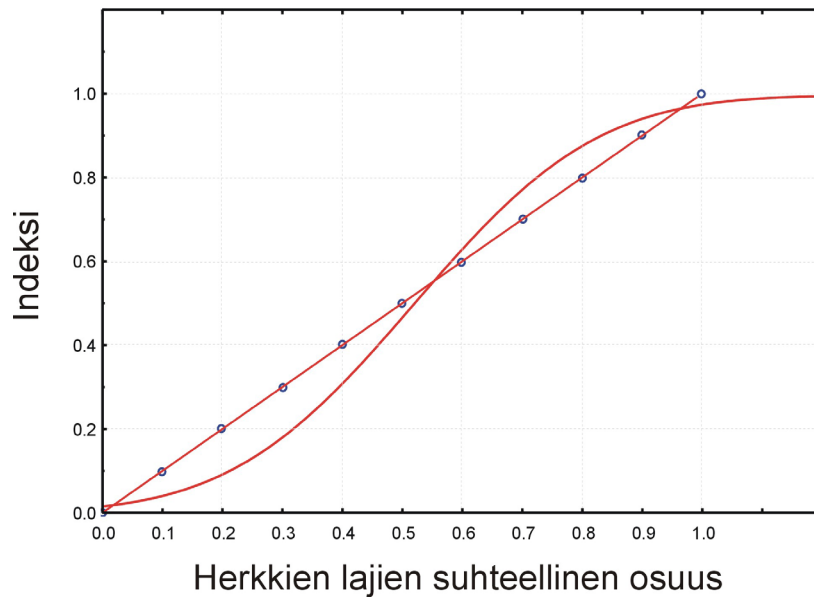
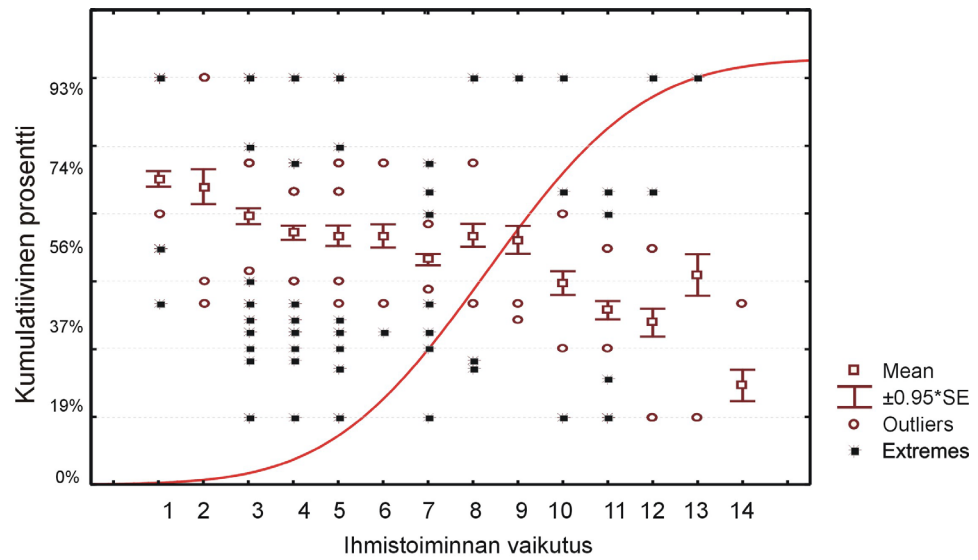
jossa $a = 0.20884111$, $b = 0.57341664$, $c = -0.13088887$, $d = 0.010000817$ ja $e = -0.000260657$.



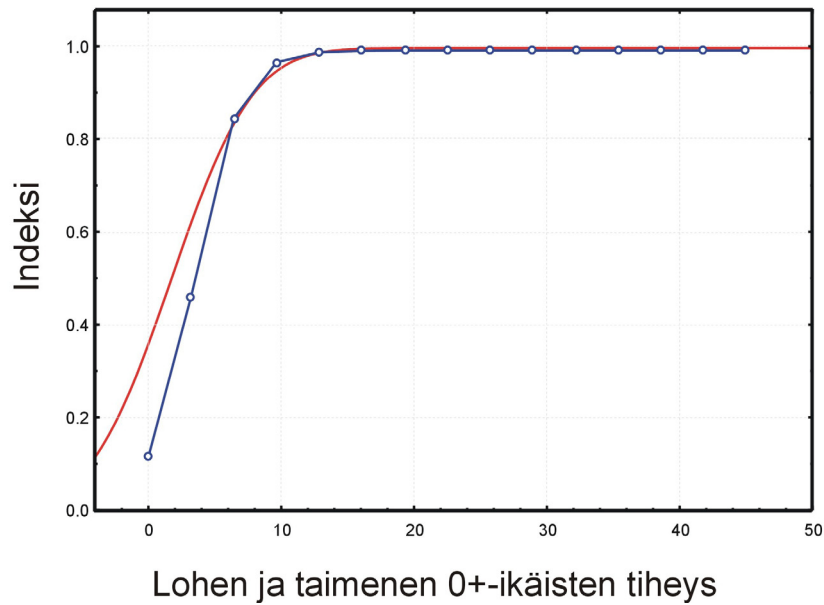
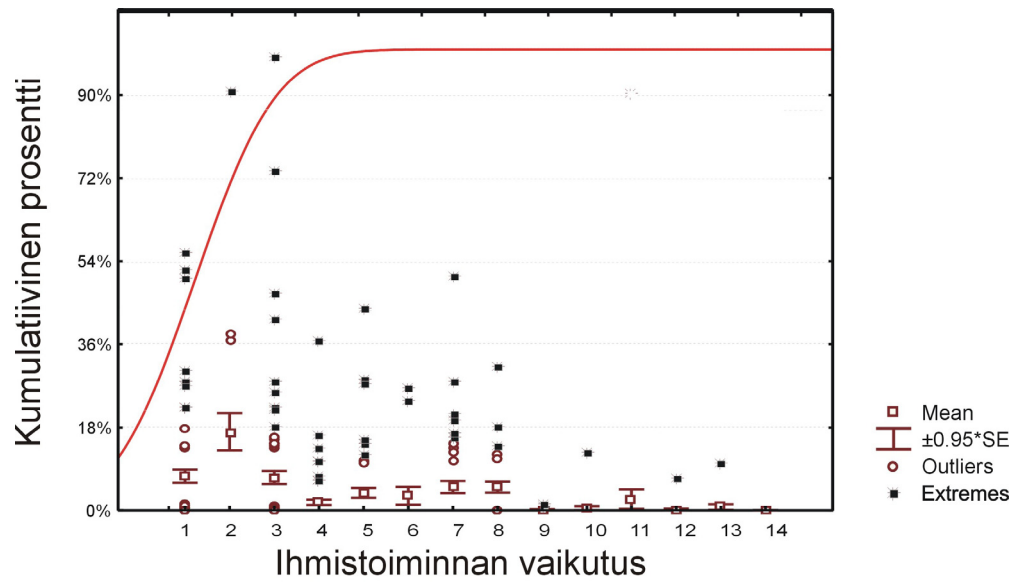
Kuva 5. Yllä: Särkikalojen tiheys eri ihmistoiminnan luokissa (box-plot) ja empiirinen kertymäfunktio. Ylemmässä kuvassa kertymäfunktion x-akseli ei ole ihmistoiminnan vaikutus vaan aineiston kertyminen vastaavien luokkien kohdalla (14 kpl tasavälisiä luokkia). Alemmassa kuvassa empiiristä kertymäfunktioita (yhtenäinen viiva) kuvaamaan on asetettu logistinen käyrä (ympyrät). Koska särkikalojen vaste ihmistoiminnalle on nouseva, täytyy käyrän y arvot vähentää luvusta yksi muuttujan arvon laskemiseksi (laskeva käyrä).



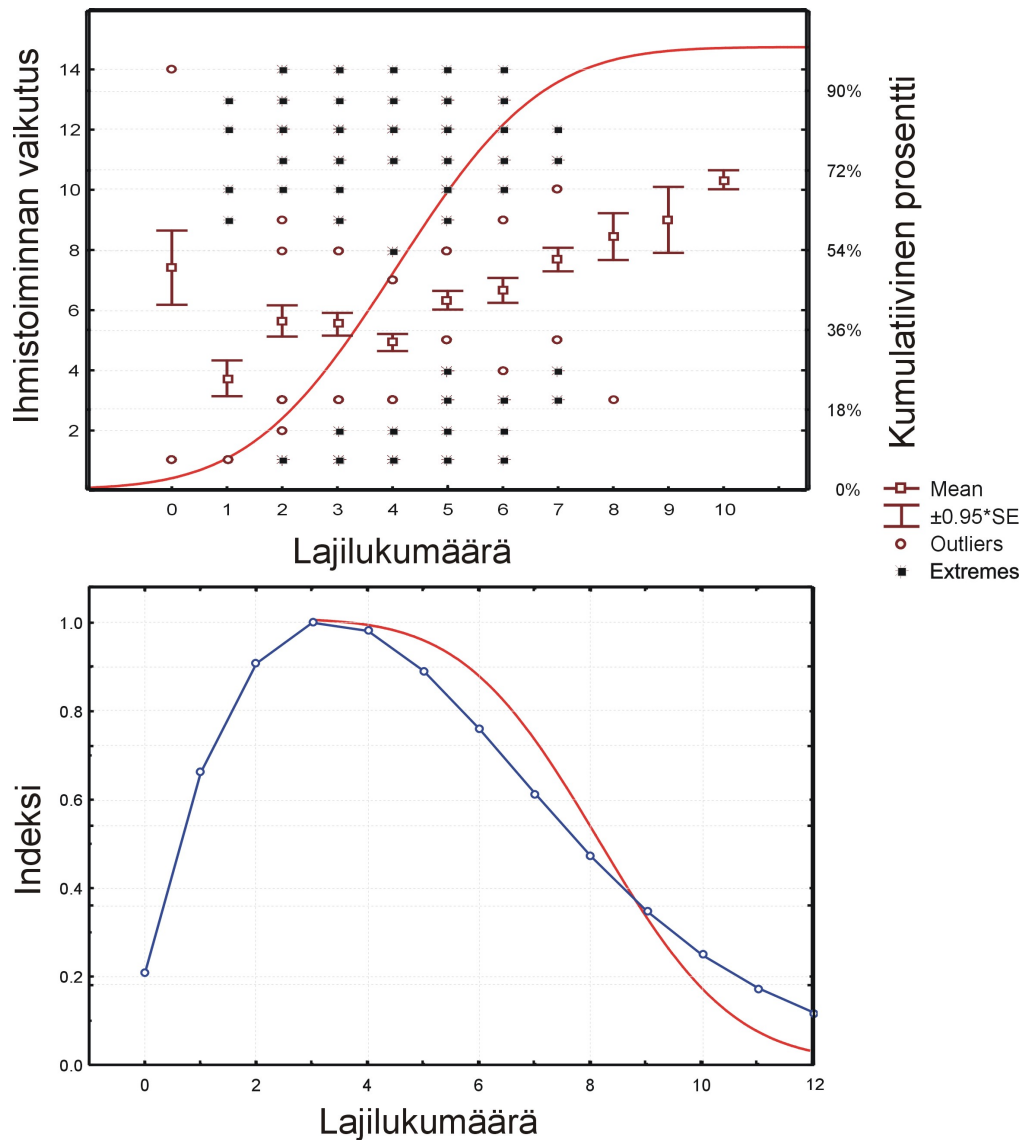
Kuva 6. Yllä: Toleranttien lajien suhteellinen osuus kalalajeista eri ihmistoiminnan luokissa ja empiirinen kertymäfunktio. Ylemmässä kuvassa kertymäfunktion x-akseli ei ole ihmistoiminnan vaikutus vaan aineiston kertyminen vastaavien luokkien kohdalla (14 kpl tasavälisiä luokkia). Alemmassa kuvassa empiiristä kertymäfunktioita (yhtenäinen viiva) kuvaamaan on asetettu logistinen käyrä (ympyrät). Koska toleranttien lajien vaste ihmistoiminnalle on nouseva, täytyy käyrän y arvot vähentää luvusta yksi muuttujan arvon laskemiseksi (laskeva käyrä).



Kuva 7. Yllä: Herkkien lajien suhteellinen osuus kalalajeista eri ihmistoiminnan luokissa ja empiirinen kertymäfunktio. Ylemmässä kuvassa kertymäfunktion x-akseli ei ole ihmistoiminnan vaikutus vaan aineiston kertyminen vastaavien luokkien kohdalla (14 kpl tasavälisiä luokkia). Alemmassa kuvassa empiiristä kertymäfunktioita (yhtenäinen viiva) kuvaamaan on asetettu lineaarinen suora (ympyrät).



Kuva 8. Yllä: Lohen ja taimenen 0+-ikäisten poikasten tiheys eri ihmistoiminnan luokissa ja empiirinen kertymäfunktio. Ylempässä kuvassa kertymäfunktion x-akseli ei ole ihmistoiminnan vaikutus vaan aineiston kertyminen vastaavien luokkien kohdalla (14 kpl tasavälisiä luokkia). Alemmassa kuvassa empiiristä kertymäfunktioita (yhtenäinen viiva) kuvaamaan on asetettu logistinen käyrä (ympyrät).



Kuva 9. Yllä: Kalalajien lukumäärä eri ihmistoiminnan luokissa ja empiirinen kertymäfunktio. Alemmassa kuvassa empiiristä kertymäfunktion laskevaa osuutta (yhtenäinen viiva) kuvaamaan on asetettu neljännen asteen polynominen funktio.

Esimerkki laskennasta

Kalaindeksin laskentaesimerkki oheisia kaavoja käyttäen tehtiin jokityypistä viisi, keskisuuret kangasmaiden joet, aineistosta (taulukko 5). Aineistossa oli kolme paikkaa joista ei ollut saatu kaloja. Näitä paikkoja ei otettu mukaan käsittelyyn. Taulukossa on esitetty kunkin kohteen alkuperäinen muuttujan arvo ja tästä kaavalla laskettu muuttujan indeksi-arvo. Kalaindeksin arvo on kaikkien viiden muuttujan keskiarvo. Vertailujoissa (N=24) kalaindeksin arvo oli keskiarvona 0,76 vaihdellen välillä 0,55-0,94. Vastaavasti muutetuissa joissa (N=35) indeksin keskiarvo oli 0,59 ja vaihteluväli 0,31-0,83 (taulukko 5).

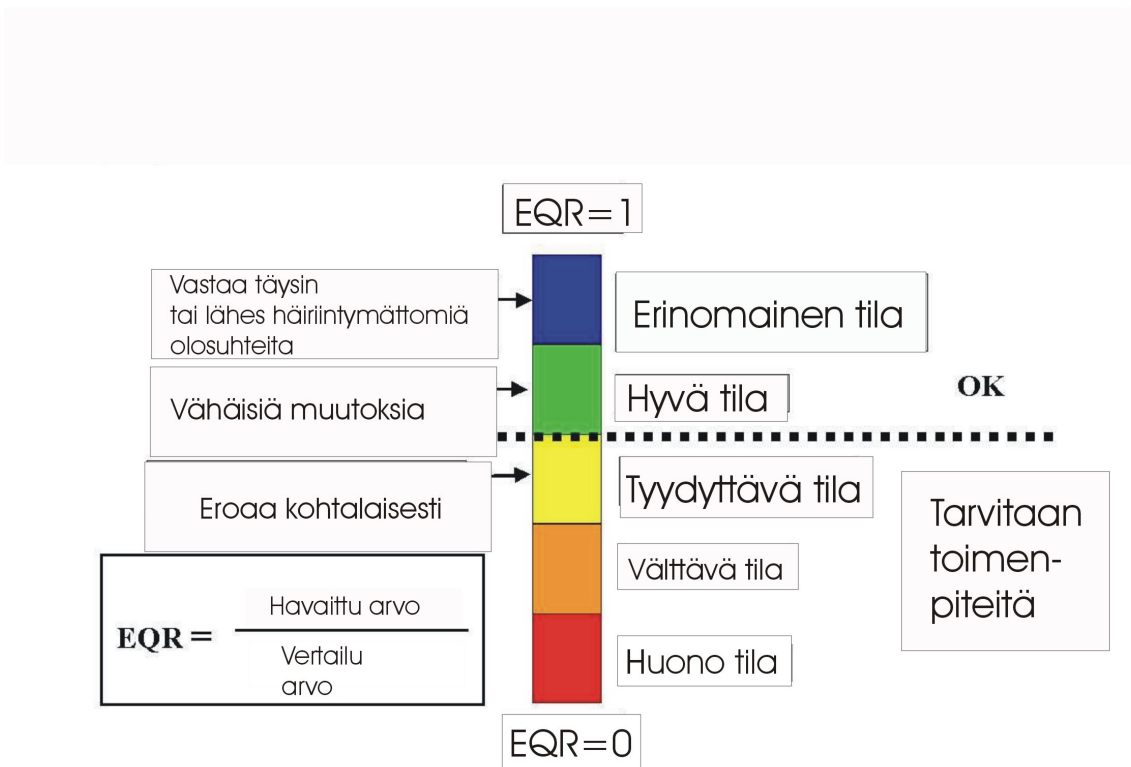
Taulukko 5. Esimerkki kalaindeksin laskennasta tyyppiä viisi (kangasmaan joet, valuma-alue 100-1000 km²). Taulukossa on eritelty vertailu- ja vaikutusjoet sekä annettu kunkin viiden muuttujan alkuperäiset arvot sekä niille kaavasta lasketut muuttujan arvot. Viimeisessä sarakkeessa on kalaindeksin arvo kullekin kohteelle.

	Tausta	Lohen ja taimenen 0+-ikäisten tiheys	Muuttujan arvo kaa- vasta viisi	Särkkälajien tiheys	Muuttujan arvo kaa- vasta kaksi	Lajiluku- määrä	Muuttujan arvo kaa- vasta kuusi	Herkkien lajien suhteellinen osuus	Muuttujan arvo kaa- vasta neljä	Toleranttien lajien suhteellinen osuus	Muuttujan arvo kaa- vasta kolme	Indeksi arvo
Päävesistöalue	Joki											
Paatsjoen	Vertailu	0.00	0.11	0.00	0.95	3.00	1.00	0.33	0.33	0.00	0.87	0.65
Paatsjoen	Vertailu	0.00	0.11	0.00	0.95	2.00	0.91	0.50	0.50	0.00	0.87	0.67
Paatsjoen	Vertailu	6.25	0.83	0.00	0.95	1.00	0.66	1.00	1.00	0.00	0.87	0.86
Paatsjoen	Vertailu	0.00	0.11	0.00	0.95	1.00	0.66	1.00	1.00	0.00	0.87	0.72
Tornionjoen-	Vertailu	0.00	0.11	2.41	0.90	4.00	0.98	0.50	0.50	0.25	0.27	0.55
Tornionjoen-	Vertailu	6.38	0.84	0.00	0.95	4.00	0.98	0.75	0.75	0.00	0.87	0.88
Tornionjoen-	Vertailu	3.53	0.51	0.00	0.95	4.00	0.98	0.75	0.75	0.00	0.87	0.81
Tornionjoen-	Vertailu	6.13	0.82	0.00	0.95	3.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.87	0.93
Tornionjoen-	Vertailu	45.21	0.99	0.00	0.95	2.00	0.91	1.00	1.00	0.00	0.87	0.94
Tornionjoen-	Vertailu	0.00	0.11	0.00	0.95	4.00	0.98	0.75	0.75	0.00	0.87	0.73
Tornionjoen-	Vertailu	10.20	0.97	0.00	0.95	4.00	0.98	0.75	0.75	0.00	0.87	0.90
Tornionjoen-	Vertailu	0.00	0.11	0.00	0.95	6.00	0.76	0.67	0.67	0.00	0.87	0.67
Tornionjoen-	Vertailu	1.61	0.25	0.00	0.95	1.00	0.66	1.00	1.00	0.00	0.87	0.75
Tornionjoen-	Vertailu	41.86	0.99	0.00	0.95	2.00	0.91	0.50	0.50	0.00	0.87	0.84
Tornionjoen-	Vertailu	5.21	0.73	0.00	0.95	1.00	0.66	1.00	1.00	0.00	0.87	0.84
Tornionjoen-	Vertailu	0.00	0.11	0.00	0.95	4.00	0.98	0.50	0.50	0.00	0.87	0.68
Tornionjoen-	Vertailu	17.50	0.99	0.00	0.95	1.00	0.66	1.00	1.00	0.00	0.87	0.89
Tornionjoen-	Vertailu	1.16	0.20	0.00	0.95	1.00	0.66	1.00	1.00	0.00	0.87	0.74
Tornionjoen-	Vertailu	0.00	0.11	1.25	0.93	6.00	0.76	0.50	0.50	0.17	0.49	0.56
Tornionjoen-	Vertailu	7.63	0.91	0.00	0.95	1.00	0.66	1.00	1.00	0.00	0.87	0.88
Vuoksen	Vertailu	4.00	0.57	0.00	0.95	5.00	0.89	0.40	0.40	0.20	0.40	0.64
Vuoksen	Vertailu	5.00	0.71	0.00	0.95	6.00	0.76	0.33	0.33	0.17	0.49	0.65
Vuoksen	Vertailu	9.17	0.96	0.00	0.95	3.00	1.00	0.67	0.67	0.00	0.87	0.89
Vuoksen	Vertailu	2.22	0.32	0.00	0.95	3.00	1.00	0.33	0.33	0.33	0.13	0.55
Kymijoen	Vaikutus	0.00	0.11	0.00	0.95	3.00	1.00	0.67	0.67	0.33	0.13	0.57

Kymijoen	Myllyjoki	Vaikutus	0.00	0.11	0.00	0.95	3.00	1.00	0.33	0.33	0.33	0.13	0.51
Kymijoen	Myllyjoki	Vaikutus	1.67	0.26	0.00	0.95	2.00	0.91	0.50	0.50	0.87	0.70	
Kymijoen	Myllyjoki	Vaikutus	0.00	0.11	10.00	0.51	2.00	0.91	0.00	0.00	0.01	0.31	
Kymijoen	Joutsanreitti	Vaikutus	0.00	0.11	2.00	0.91	1.00	0.66	0.00	0.00	0.01	0.34	
Kymijoen	Joutsanreitti	Vaikutus	0.00	0.11	0.00	0.95	1.00	0.66	1.00	1.00	0.87	0.72	
Kymijoen	Joutsanreitti	Vaikutus	0.00	0.11	2.00	0.91	2.00	0.91	0.00	1.00	0.01	0.39	
Kymijoen	Myllyjoki	Vaikutus	0.00	0.11	2.04	0.91	6.00	0.76	0.17	0.33	0.13	0.42	
lijoen	Naamanganjoki	Vaikutus	5.56	0.77	0.00	0.95	5.00	0.89	0.60	0.60	0.87	0.82	
lijoen	Naamanganjoki	Vaikutus	1.82	0.27	0.00	0.95	6.00	0.76	0.50	0.50	0.87	0.67	
lijoen	Naamanganjoki	Vaikutus	6.67	0.86	0.00	0.95	5.00	0.89	0.60	0.60	0.87	0.83	
lijoen	Puhosjoki	Vaikutus	13.13	0.99	0.51	0.94	4.00	0.98	0.25	0.25	0.27	0.69	
lijoen	Puhosjoki	Vaikutus	0.00	0.11	1.36	0.92	5.00	0.89	0.40	0.40	0.07	0.48	
lijoen	Puhosjoki	Vaikutus	0.00	0.11	0.00	0.95	5.00	0.89	0.60	0.60	0.87	0.68	
Karjaanjoen	Vanjoki	Vaikutus	0.00	0.11	0.00	0.95	5.00	0.89	0.60	0.60	0.87	0.68	
Karjaanjoen	Vanjoki	Vaikutus	0.00	0.11	0.50	0.94	3.00	1.00	0.67	0.67	0.13	0.57	
Karjaanjoen	Vanjoki	Vaikutus	0.00	0.11	31.75	0.01	2.00	0.91	0.50	0.50	0.03	0.31	
Karjaanjoen	Vanjoki	Vaikutus	0.00	0.11	1.25	0.93	4.00	0.98	0.25	0.25	0.03	0.46	
Kemijoen	Sattasjoki	Vaikutus	0.00	0.11	0.00	0.95	3.00	1.00	0.67	0.67	0.87	0.72	
Kemijoen	Sattasjoki	Vaikutus	0.00	0.11	0.00	0.95	3.00	1.00	0.67	0.67	0.87	0.72	
Kemijoen	Sattasjoki	Vaikutus	0.00	0.11	0.00	0.95	1.00	0.66	1.00	1.00	0.87	0.72	
Kemijoen	Sattasjoki	Vaikutus	0.00	0.11	0.00	0.95	2.00	0.91	1.00	1.00	0.87	0.77	
Kemijoen	Sattasjoki	Vaikutus	0.00	0.11	0.00	0.95	4.00	0.98	0.25	0.25	0.27	0.51	
Kemijoen	Sattasjoki	Vaikutus	0.00	0.11	0.00	0.95	2.00	0.91	0.50	0.50	0.87	0.67	
Kemijoen	Sattasjoki	Vaikutus	0.00	0.11	0.00	0.95	2.00	0.91	0.50	0.50	0.87	0.67	
Kemijoen	Sattasjoki	Vaikutus	0.41	0.14	0.00	0.95	3.00	1.00	0.67	0.67	0.87	0.73	
Vilajoen	Vilajoki	Vaikutus	5.00	0.71	0.00	0.95	3.00	1.00	0.67	0.67	0.13	0.69	
Vilajoen	Vilajoki	Vaikutus	0.00	0.11	4.17	0.84	4.00	0.98	0.50	0.50	0.03	0.49	
Vilajoen	Vilajoki	Vaikutus	0.00	0.11	0.00	0.95	3.00	1.00	0.33	0.33	0.13	0.51	
Vilajoen	Vilajoki	Vaikutus	0.00	0.11	1.14	0.93	3.00	1.00	0.00	0.00	0.01	0.41	
Vilajoen	Vilajoki	Vaikutus	0.00	0.11	1.67	0.92	5.00	0.89	0.40	0.40	0.02	0.47	
Vilajoen	Vilajoki	Vaikutus	0.00	0.11	1.33	0.92	5.00	0.89	0.20	0.40	0.07	0.44	
Vilajoen	Vilajoki	Vaikutus	2.22	0.32	0.74	0.94	3.00	1.00	0.67	0.67	0.13	0.61	
Vilajoen	Vilajoki	Vaikutus	2.22	0.32	4.44	0.83	5.00	0.89	0.40	0.40	0.07	0.50	
Vilajoen	Vilajoki	Vaikutus	0.56	0.15	3.89	0.86	5.00	0.89	0.40	0.40	0.02	0.46	

3.8. Ekologinen laatusuhde ja luokkarajat

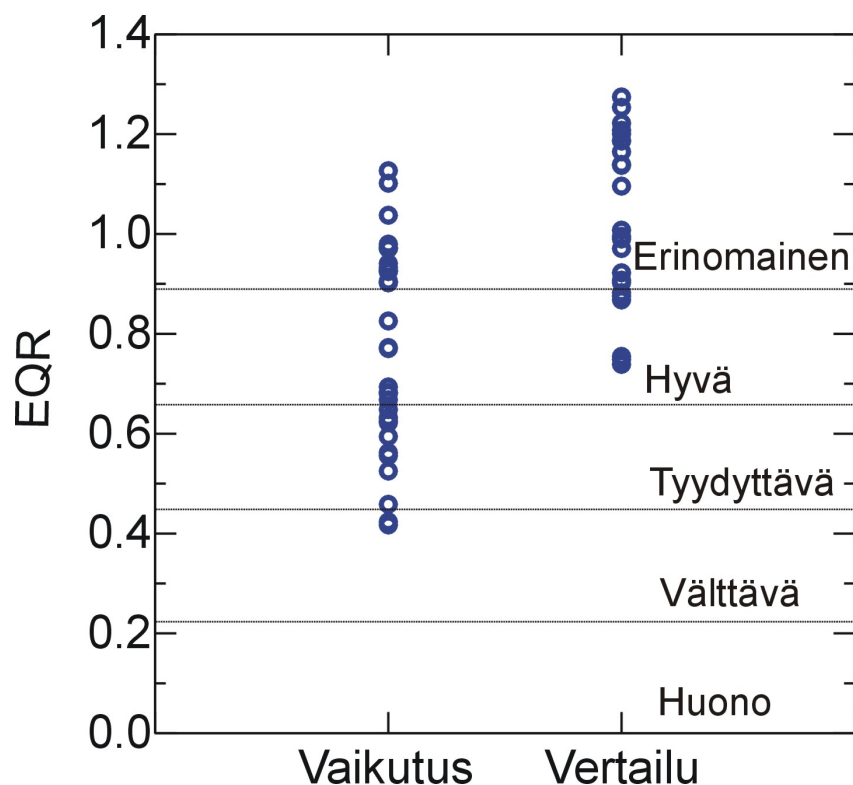
Vesipuitedirektiivin mukaisesti ekologinen tila ilmoitetaan ekologisena laatusuhteena (EQR, Ecological Quality Ratio) joka liikkuu välillä 0-1. Ekologinen laatusuhde lasketaan havaitun arvon ja vertailuarvon suhteesta. Ekologisen laatusuhteen perusteella kohteen tila jaetaan viiteen luokkaan: huono, välttävä, tyydyttävä, hyvä ja erinomainen (kuva 10).



Kuva 10. Ekologisen tilan luokat vesipuitedirektiivin mukaan.

EQR-arvon laskemiseksi tarvitaan niin sanottu vertailuarvo. Esimerkkiaineistossa vertailuarvot kullekin muuttujalle lasketaan vertailualueiden aineistosta. Vertailuarvona voidaan käyttää aineiston mukaan joko jakauman mediaania tai jakauman 75 % fraktiilia. Esimerkkiaineistossa (taulukko 5) kalaindeksin vertailuarvoksi saadaan 0,74. Indeksien arvot muunnetaan EQR-arvoiksi jakamalla kaikki saadut indeksiarvot tällä vertailuarvolla.

Seuraavaksi asetetaan luokkarajat ekologisille luokille. Hyvän ja erinomaisen tilan raja-arvo asetetaan jakauman 25 % fraktiiliin (0,89). Perusteena on arvio, jonka mukaan myös vertailualueiden joukossa on luonnollista hajontaa. Täten 25 % prosenttia havainnoista ei ole erinomaisessa tilassa vaan sijoittuvat alempaan luokkaan hyvä. Tämän jälkeen muiden luokkien raja-arvot sijoitetaan tasavälein nolnaan tai havaittuun minimiin. Kuvassa 11 on luokiteltu tyypin 5 joet vesipuitedirektiivin mukaisiin luokkiin. Vertailualueet sijoittuvat kalaston perusteella luokkiin erinomainen tai hyvä, vaikutuskoskien ekologinen tila vaihtelee erinomaisesta välttävään.



Kuva 11. Keskipokoisten turvemaan jokien ekologinen luokittelu.

3.9. Miten eri jokityyppien ominaisuudet huomioidaan luokittelussa?

Tässä työssä esitetty luokittelu perustui koko aineistosta laskettuihin riippuvuuksiin. Tätä kirjoitettaessa vertailualueiden havaintoverkko on vielä keskeneräinen, sillä direktiivin mukaiset kalastukset vertailualueilla aloitettiin vasta vuonna 2006. Kun eri jokityypeistä on olemassa riittävästi aineistoa, kalaindeksin riippuvuudet on syytä tehdä erikseen kullekin jokityypille. Kuten yllä oleva luokitus osoittaa koko aineistosta lasketut riippuvuudet voivat hyvinkin toimia myös eri jokityypeillä. Silti tyyppien ominaisuudet, esimerkiksi tyyppin vertailualueille ominainen lajilukumäärä, tulee ottaa huomioon asetettaessa esimerkiksi muuttujan maksimiarvo.

3.10. Muita tapoja ekologisen tilan määrittämiseen

Yllä kuvattu menetelmä vertailuarvon ja EQR arvojen (0-1) laskemiseksi, sekä luokkarajojen määrittäminen voidaan luonnollisesti tehdä myös muuttujakohtaisesti. Tämän jälkeen yleistila arvioidaan eri muuttujien antaman informaation perusteella.

Suomessa on pohjajeläimillä käytetty ns. summaindeksointia (ks. Vuori ym. 2005). Vertailuarvon, EQR-arvojen ja luokkarajojen asettamisen jälkeen kullekin muuttujalle annetaan pistearvo sen saaman ekologisen tilan mukaan: 5 pistettä jos tila on erinomainen, 4 hyvä, 3 tyydyttävä, 2 välttävä ja 1 jos tila on huono. Eri muuttujien pistearvot summataan yhteen ja jaetaan teoreettisella maksimilla (esim. 25 jos muuttujia on 5). Yleistila määritetään tasavälisellä asteikolla 1-0,8 erinomainen, 0,8-0,6 hyvä, 0,6-0,4 tyydyttävä, 0,4-0,2 välttävä and 0,2-0,0 huono. Koska pistemenetelmä perustuu pohjimmiltaan keskiarvojen käyttöön, tuottaa se yleensä melko korkean tilaluokituksen verrattuna menetelmään, jossa käytetään tarkkoja EQR-arvoja (Sutela ym., julkaisematon, Tammi ym. 2006).

Euroopassa on kehitetty yleiseurooppalainen kalaindeksi EFI (European Fish Index, <http://fame.boku.ac.at>). EFI perustuu Eurooppalaiseen FIDES- kalatietokantaan. Laajan aineiston avulla ennustetaan minkälainen kalayhteisö tulisi olla tietyllä vesistöalueella. Poikkeamat regressiopohjaisesta ennusteesta kuvaavat kalaston muuntuneisuutta. EFI-indeksiä ei ole tällä hetkellä sovellettu Suomen oloihin, mutta vuonna 2007 alkavassa jatkoprojektissa Suomi on mukana. EFI voi siis jatkossa olla työkalu jokikohteiden ekologisen tilan määrittelyyn ja erityisesti tulosten interkalibrointiin eri maiden välillä. Ekologisen luokittelun interkalibroinnista on meneillään tätä kirjoitettaessa myös erillinen projekti. EFI- muuttujien lisäksi vertaillaan ainakin Suomen ja Ruotsin (VIX, http://www.vattenportalen.se/docs/Bedomningsgrunder_Fisk_vattendrag.pdf) menetelmiä.

3.11. Jokityypit ja luokkien raja-arvot

Tyypille ominaisten piirteiden luokittelua varten vertailualueiksi valittiin ihmistoiminnan vähiten muuntama paras 20 %:n fraktiili kohteista mukaan lukien myös kunnostetut kohteet. Kaikkiaan 11:sta jokityypistä sähkökalastusaineistoa oli käytössä vain seitsemästä tyypistä (taulukko 6). Aineistoa tarkasteltaessa on huomioitava, että suuri osa tämän työn aineistosta on kerätty muiden kuin vesipuidedirektiiviin liittyvien tutkimusten ja selvitysten yhteydestä. Luotettavien vertailuarvojen määrittäminen vaatii riittävän määrän edustavia sähkökoekalastuksia kustakin tyypistä.

Taulukko 6. Kala-aineiston kohteet jokityypeittäin jaettuna vertailu ja vaikutuskohteisiin.

Jokityyppi	Pienet turvemaiden	Keskisuuret turvemaiden	Keskisuuret kangasmaiden	Keskisuuret savi- maiden	Suuret turvemaiden	Suuret kangasmaiden	Erittäin suuret kangasmaiden	Yht.
Vertailu	0	7	35	0	0	95	46	183
Vaikutus	10	101	27	14	171	34	15	372
Yhteensä	10	108	62	14	171	129	61	555

Pienet kangasmaiden joet (jokityyppi 2)

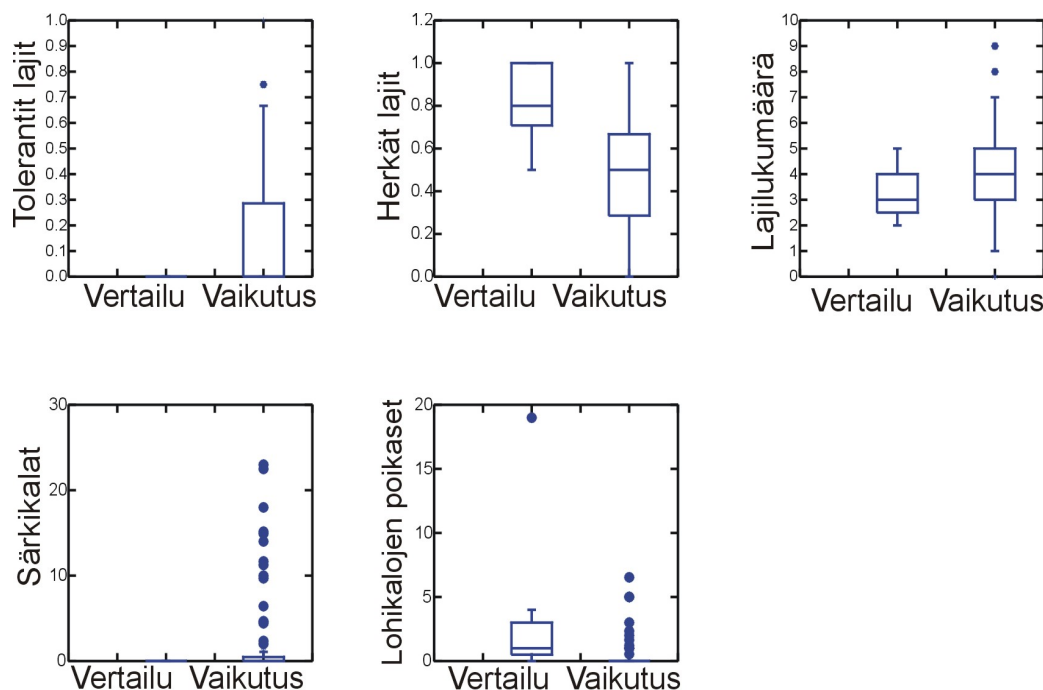
Pienistä kangasmaiden joista sähkökalastettuja kohteita on vain 10 kappaletta Oulujoen ja Siikajoen vesistöalueelta, joiden joukossa ei ollut vertailukohteita. Näillä vaikutetuilla paikoilla ei mediaanina mitaten ollut lainkaan lohen tai taimenen 0+-poikasia (keskiarvo=2,6 aarille), särkikalaja (keskiarvo=0,24 aarille) tai toleranteja lajeja (lajien suhteellinen osuus, keskiarvo=0,17). Herkkiä lajien suhteellinen osuus lajimäärästä oli mediaanina 0,45 (keskiarvo=0,41) ja lajimäärä 3,5 (keskiarvo=3,7).

Keskisuuret turvemaiden joet (jokityyppi 4)

Jokityypistä aineistossa oli yhteensä 108 kohdetta. Näistä ainoastaan seitsemän Kemi-joen ja Tornionjoen vesistöalueella olevaa kohdetta luokiteltiin vertailualueiksi. Pieni vertailuaineisto voi vinouttaa keskilukuihin tukeutuvia vertailulukuja ja sattuman vai-

kus tus tuloksiin kasvaa. Seuraavassa kuitenkin tästä pienestä aineistosta kerätyt vertailuarvot (kuva 12, taulukko 6).

Tyyppin vaikutuskoskissa on toleranttien lajien osuus oli suurempi ja herkkien lajien osuus pienempi kuin vertailualueilla (kuva 12). Vaikutuskohteissa lajiluvun mediaani oli hieman korkeampi kuin vertailukoskissa (kuva 12). Vertailukoskissa ei esiintynyt särkikalvoja. Särkikalvojen alkuperäistä vertailuarvoa (0) ei voi käyttää EQR-laskennoissa, vaan vertailuarvo lasketaan esimerkiksi lisäämällä sekä vertailu että vaikutuskoskiin sama luku (esim. 1). Lohen tai taimenen poikasia esiintyi vertailukoskissa lähes säännöllisesti, kun taas vaikutuskoskissa niiden esiintyminen oli harvinaista (kuva 12).



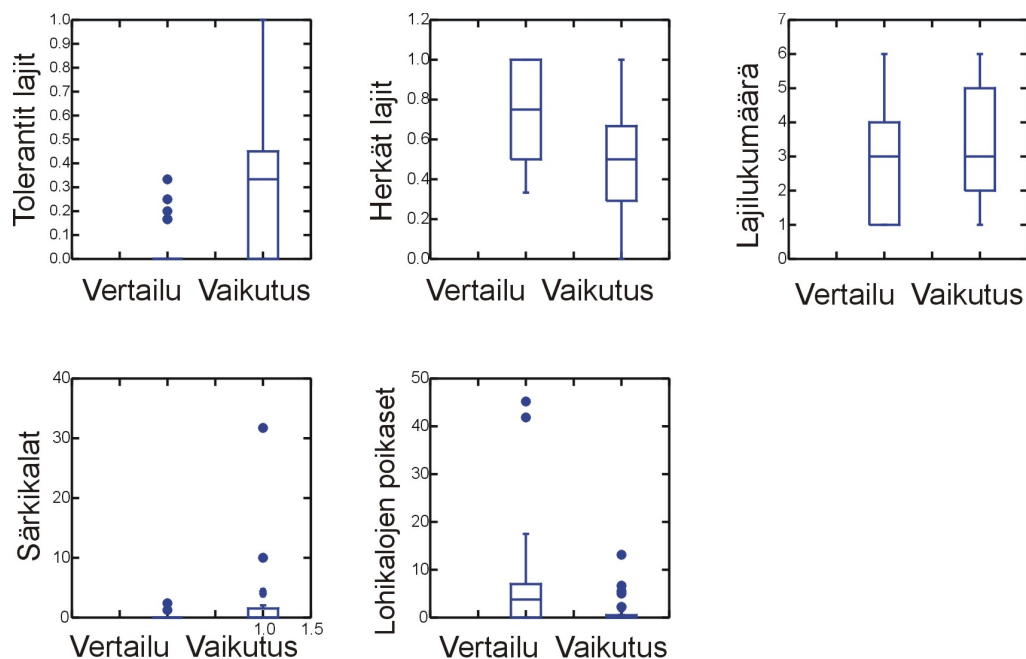
Kuva 12. Luokittelussa käytettyjen muuttujien jakaumat vertailu ja vaikutuskoskissa jokityypissä 4, keskiarvot turvemaiden joet. Laatikon sisään jää 50 % keskimmaisista havainnoista, poikkiviiva on mediaani. Viiksien alueelle sijoittuvat havainnot jotka ovat $\pm 1,5$ * laatikon pituisella alueella. Ympyrät kuvaavat havainnoita, jotka ovat tämän ulkopuolella ± 3 * laatikon pituisella alueella.

Taulukko 7. Keskiarvojen turvemaiden jokien vertailuarvot (mediaani) luokittelussa käytetyille muuttujille ja koko kalaindeksille.

Muuttuja	Muuttujan arvo kaavasta	Vastaava alkuperäinen arvo
Lohen ja taimenen 0+-ikäisten poikasten tiheys aarille	0,19	1
Särkikalvojen tiheys aarille	0,95	0
Lajilukumäärä	0,98	3 (2,6)
Herkkien lajien suhteellinen osuus lajimäärästä	0,80	0,80
Toleranttien lajien suhteellinen osuus lajimäärästä	0,87	0
Kalaindeksi		0,77

Keskisuuret kangasmaiden joet (jokityyppi 5)

Keskisuurten kangasmaiden jokien aineisto on esitetty kokonaisuudessaan taulukossa 5. Tyypin aineistossa oli yhteensä 24 vertailukoskea Paatsjoen, Tornionjoen ja Vuoksen vesistöalueelta. Tolerantteja lajeja tyypin vertailukoskissa esiintyy vain muutamassa tapauksessa (kuva 13, taulukko 8). Herkkien lajien osuus on vertailukoskissa vaikutuskoskia suurempi. Sen sijaan lajilukumäärä ei mediaanina mitattuna eroa vaikutus- ja vertailualueiden välillä. Särkikaloja esiintyy huomattavasti enemmän ja lohien tai taimenen poikasia vähemmän vaikutuskoskissa verrattuna vertailukoskiin.



Kuva 13. Luokittelussa käytettyjen muuttujien jakaumat vertailu ja vaikutuskoskissa jokityypissä 5, keskisuuret kangasmaiden joet. Hajontalukujen esitys kuten kuva 12.

Taulukko 8. Keskisuurten kangasmaiden jokien vertailuarvot (mediaani) luokittelussa käytetyille muuttujille ja kalaindeksille.

Muuttuja	Muuttujan arvo kaavasta	Vastaava alkuperäinen arvo
Lohen ja taimenen 0+-ikäisten poikasten tiheys aarille	0,54	3,76
Särkikalojen tiheys aarille	0,95	0
Lajilukumäärä	0,91	3 (2,0)
Herkkien lajien suhteellinen osuus lajimäärästä	0,75	0,75
Toleranttien lajien suhteellinen osuus lajimäärästä	0,87	0
Kalaindeksi		0,74

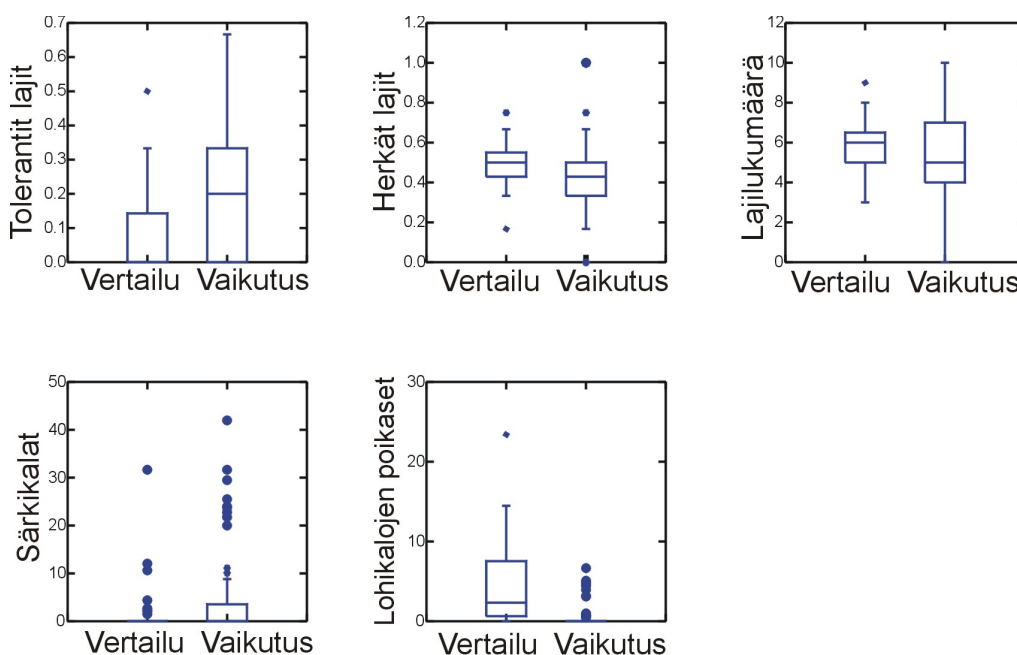
Keskisuuret savimaiden joet (jokityyppi 6)

Keskisuurista savimaiden joista aineistossa oli ainoastaan 14 kohdetta. Kaikki olivat muunnettuja koskia, joten vertailuarvoja ei tälle tyypille voitu laskea. Kohteet sijaitsevat Vantaanjoen, Halikonjoen, Aurajoen ja Ingarskilanjoen vesistöalueella. Savimai-

den joille ei todennäköisesti löydy vertailualueita vaan vertailuolot täytynee arvioida historiallisista aineistoista, asiantuntija-arviona tai mallintamalla. Aineiston vaikutetuilla paikoilla mediaanina lohen tai taimenen 0+-poikasille (keskiarvo=3,6 aarille) tai särkikaloiille (keskiarvo=3,7 aarille) oli nolla. Toleranttien lajien suhteellinen osuus oli 0,33 (keskiarvo=0,32) ja vastaavasti herkkien lajien suhteellinen osuus mediaanina 0.31 (keskiarvo=0.34). Lajilukumäärän mediaani oli 3 (keskiarvo=3.9 lajia).

Suuret turvemaiden joet (jokityyppi 7)

Suurista turvemaiden joista aineistossa oli 171 kohdetta, jotka olivat muutettuja koskia. Koska kyseessä on tärkeä jokiryhmä, josta on olemassa runsaasti kohteita, kohteiden joukosta valittiin asiantuntija-arviona parasta tilaa edustavat kohteet. Tarkoituksena oli näiden kohteiden avulla päästä mahdollisimman lähelle jokityypin vertailutilaa. Parhaiten vertailutilaa ilmentämään valittiin neljä kohdetta Lapväärtinjoelta, kuusi kohdetta Kiiminkijoelta ja 26 kohdetta Simojoelta. Kuten myös muissa jokityypeissä, toleranttien lajien suhteellinen osuus kasvoi muutetuissa koskissa (kuva 14). Herkkien lajien osuus oli hieman pienempi kuin vaikutuskoskissa verrattuna ”vertailukoskiin”. Lajilukumäärä suurissa turvemaiden joissa oli suurempi kuin pienissä ja keskisuurissa joissa. Vaikutuskoskien ryhmässä lajiluvun vaihtelu sekä pienempään että suurempaan lajilukumäärään oli suurempaa verrattuna ”vertailukoskiin”. Särkikalvoja esiintyi vain harvoin ja lohikalojen poikastiheydet kasvoivat ”vertailukoskissa” verrattuna muunnettuihin koskiin. Vertailuarvot on esitetty taulukossa 9.



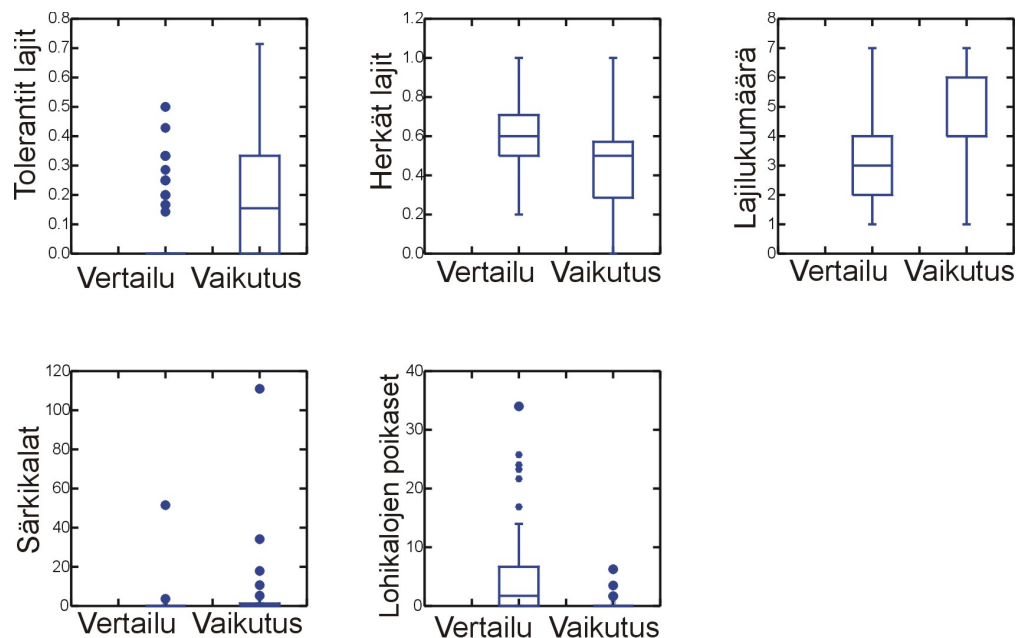
Kuva 14. Luokittelussa käytettyjen muuttujien jakaumat vertailu- ja vaikutuskoskissa jokityypissä 7, suuret turvemaiden joet. Hajontalukujen esitys kuten kuva 12.

Taulukko 9. Suurten humusjokien vertailuarvot (mediaani) asiantuntija-arviona valituille kohteille luokittelussa käytetyille muuttujille ja kalaindeksille.

Muuttuja	Muuttujan arvo kaavasta	Vastaava alkuperäinen arvo
Lohen ja taimenen 0+-ikäisten poikasten tiheys aarille	0,34	2,33
Särkikalojen tiheys aarille	0,95	0
Lajilukumäärä	0,76	6
Herkkien lajien suhteellinen osuus lajimäärästä	0,50	0,50
Toleranttien lajien suhteellinen osuus lajimäärästä	0,87	0
Kalaindeksi		0,70

Suuret kangasmaiden joet (jokityyppi 8)

Suurten kangasmaiden jokien kohteista lähes kolme neljäsosa oli vertailukoskia (taulukko 6). Vertailukosket sijaitsevat Kymijoen, Kemijoen, Tornionjoen, Koutajoen ja Paatsjoen vesistöalueella. Tolerantteja lajeja esiintyi vain muutamassa vertailukoskessa kun taas vaikutuskoskissa tolerantit lajit olivat suhteellisen yleisiä (kuva 15, taulukko 10). Herkkien lajien osuus oli hieman suurempi vertailukoskissa. Lajilukumäärä vertailukoskissa oli alhaisempi (50 % havainnoista välillä 2-4 lajia) kuin muutetuissa koskissa (50 % havainnoista välillä 4-6 lajia, kuva 15). Tässä tyypissä särkikaloja esiintyi vain hieman useammin vaikutuskoskissa verrattuna vertailukoskiin, mutta lohikalajien poikasten esiintymisessä oli selkeä ero (kuva 15).



Kuva 15. Luokittelussa käytettyjen muuttujien jakaumat vertailu- ja vaikutuskoskissa jokityypissä 8, suuret kangasmaiden joet. Hajontalukujen esitys kuten kuva 12.

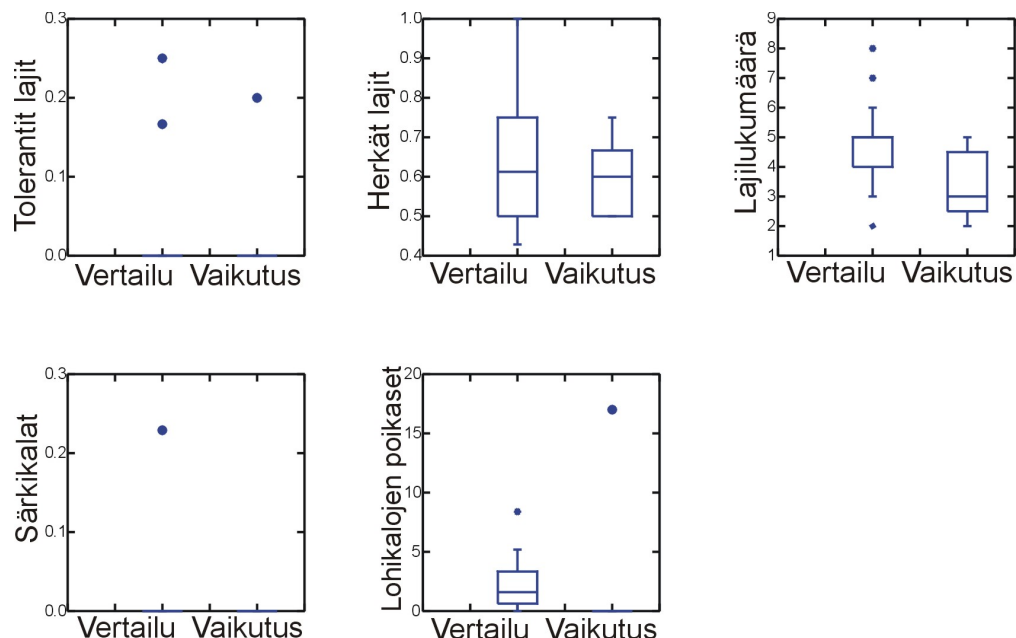
Taulukko 10. Suurten kangasmaiden jokien vertailuarvot (mediaani) luokittelussa käytetyille muuttujille ja kalaindeksille.

Muuttuja	Muuttujan arvo kaavasta	Vastaava alkuperäinen arvo
Lohen ja taimenen 0+-ikäisten poikasten tiheys aarille	0,26	1,72
Särkikalojen tiheys aarille	0,95	0
Lajilukumäärä	0,98	3 (2.6)
Herkkien lajien suhteellinen osuus lajimäärästä	0,60	0,60
Toleranttien lajien suhteellinen osuus lajimäärästä	0,87	0
Kalaindeksi		0,72

Erittäin suuret kangasmaiden joet (jokityyppi 11)

Erittäin suurien jokien ryhmästä aineistossa oli kohteita vain kangasmaiden joista (taulukko 6). Nämä joet olivat Tornionjoki, Muonionjoki ja Ounasjoki. Aineistossa oli ainoastaan 15 vaikutuskoskea Ounasjoelta, loput vertailukoskia (taulukko 6). Koskien määrittäminen vaikutuskoskiksi johtuu pääasiassa merivaelluksen estävistä vaellusesteistä Kemijoella.

Toleranttien lajien, herkkien lajien tai särkikalojen osuuksissa tai esiintymisessä ei ollut eroa vertailu- ja vaikutuskoskien välillä (kuva 16). Lajiluku oli mediaanina mitaten jopa hieman alhaisempi vaikutuskoskissa. Lohen ja taimenen 0+-ikäisten poikasten esiintyminen oli ainut muuttujista joka selkeästi erotteli vertailu- ja vaikutusalueita: vertailukoskissa poikasia esiintyi lähes säännönmukaisesti, vaikutuskoskissa ainoastaan yhdessä (kuva 16, taulukko 11).



Kuva 16. Luokittelussa käytettyjen muuttujien jakaumat vertailu- ja vaikutuskoskissa jokityypissä 11, erittäin suuret kangasmaiden joet. Hajontalukujen esitys kuten kuva 12.

Taulukko 11. Erittäin suurten kangasmaiden jokien vertailuarvot (mediaani) luokittelussa käytetyille muuttujille ja kalaindeksille.

Muuttuja	Muuttujan arvo kaavasta	Vastaava alkuperäinen arvo
Lohen ja taimenen 0+-ikäisten poikasten tiheys aarille	0,25	1,60
Särkikalojen tiheys aarille	0,95	0
Lajilukumäärä	0,89	5
Herkkien lajien suhteellinen osuus lajimäärästä	0,61	0,61
Toleranttien lajien suhteellinen osuus lajimäärästä	0,87	0
Kalaindeksi		0,73

4. Kiitokset

Useat ihmiset ovat luovuttaneet aineistojaan tämän projektin käyttöön, heille kaikille kiitokset. Erityiskiitokset Atso Romakkaniemelle ja Jarmo Huhtalalle. Kiitokset myös käsikirjoitusta kommentoineille Martti Raskille, Jukka Ruuhijärvelle ja Mikko Olinille hyvistä huomautuksista.

5. Kirjallisuus

- Angermeier, P.L. & Schlosser, I.J. (1989) Species-area relationships for stream fishes. *Ecology* 70: 1450-1462.
- Angermeier, P.L. & Karr, J. R. 1983. Fish communities along environmental gradients in a system of tropical streams. *Envir. Biol. Fish.* 9: 117-135.
- Anon. 2000. Environmental Quality Criteria. Lakes and Watercourses. Swedish Environmental Protection Agency. Report 5050. 102 pp.
- Böhling, P. & Rahikainen, M. (toim.) 1999. Kalataloustarkkailu. Periaatteet ja menetelmät. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Helsinki. 303 s.
- Dauwalter, D.C., Pert, E. J. & Keith W.E. (2003) An index of biotic integrity for fish assemblages in Ozark Highland Streams of Arkansas. *Southeastern Naturalist* 2: 447-468.
- FAME project group (2005) The development of a fish-based assessment method for the ecological status of European rivers – a tool to support the implementation of the European Water Framework Directive. (<http://fame.boku.ac.at>)
- Fausch, K. D., J. D. Lyons, P. L. Angermeier & J. R. Karr. 1990. Fish communities as indicators of environmental degradation. *American Fisheries Society Symposium* 8:123-144.
- Gammon, J. R., & Simon T. P. (2000) Variation in a Great River Index of Biotic Integrity over a 20-year period. *Hydrobiologia* 422/423: 291-304.
- Huet, M. 1959. Profiles and biology of Western European streams as related to fish management. *Trans. Am. Fish. Soc.* 88: 155-163.
- Karr, J. R. 1981, Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* 6: 21-27.
- Karr, J. R., Fausch, K. D., Angermeier, P. L., Yant, P. R. & Schlosser I. J. (1986) Assessing biological integrity in running waters: A method and its rationale. *Illinois Natural History Survey Special Publication* 5: 28 pp.
- Korhonen, P., Koskiniemi, J. & Tolonen, K. 1996. Taimenkannat ja kotiutettu puronieriä Ylä-Kemijoella vuosina 1993-1994. *Kalaturkimuksia* 106. 42 s.
- McCain, B.B., Chan, S-L., Krahn, M.M., Brown, D.W., Myers, M.S. & Landahl, J.T. 1992. Chemical Contamination and Associated Fish Diseases in San Diego Bay. *Environ. Sci. Technol.* 26: 725-733.
- Mebane, C.A., Maret, T.R. & Hughes, R.M. (2003) An index of biological integrity (IBI) for Pacific Northwest rivers. *Trans. Am. Fish. Soc.* 132: 239-261.
- Mercado-Silva, N., Lyons J. D., Maldonado G. S. & Nava, M. M. (2002) Validation of a fish-based index of biotic integrity for streams and rivers of central Mexico. *Rev. Fish Biol. Fish.* 12: 179-191.
- Mäkinen, H. 2005. Vesienhoidon hallinta Suomessa. Vesipolitiikan puitteiden toteuttaminen vuorovaikutteisen suunnittelun näkökulmasta. Helsingin Yliopiston Maantieteen laitoksen julkaisu B 51. Helsinki 2005.
- Oberdorff, T. & Hughes, R.M. 1992. Modification of an index of biotic integrity based on fish assemblages to characterize rivers of the Seine Basin, France. *Hydrobiologia* 228:117-130.
- Oberdorff, T, J.-F. Guégan & B. Hugueny, 1995. Global scale patterns in freshwater fish species diversity. *Ecography* 18 : 345-352.

- Oberdorff, T, B. Hugueny & J.-F. Guégan, 1997. Evidence of historical effects on freshwater fish species diversity: comparison between Europe and North America. *Journal of Biogeography* 24 : 461-467.
- Oberdorff, T, Pont, D, Hugueny, B, & Chessel, D.A. (2001) A probabilistic model characterizing fish assemblages of French rivers: a framework for environmental assessment. *Freshw. Biol.* 46: 399-415.
- Persson, L., Diehl, S., Johansson, L., Andersson, G. & Hamrin, S.F. 1991. Shifts in fish communities along the productivity gradient of temperate lakes—patterns and the importance of size-structured interactions. *J. Fish Biol.* 281-293.
- Preston, F.W. 1962. The canonical distribution of commonness and rarity: I and II. *Ecology* 43: 185-215, 410-432.
- Pyron, M. & Lauer, T. E. (2004) Hydrological Variation and Fish Assemblage Structure in the Middle Wabash River. *Hydrobiologia* 525: 203-213.
- Scott, M.C. & Hall, L.W. Jr. (1997) Fish assemblages as indicators of environmental degradation in Maryland coastal plain streams. *Trans. Am. Fish. Soc.* 126: 349-360.
- Tammi, J., Rask, M. & Olin, M. 2006. Kalayhteisöt järvien ekologisen tilan arvioinnissa ja seurannassa – alustavan luokittelujärjestelmän perusteet. Kala- ja riistaraportteja 383. 68 s. RKTL, Helsinki.
- Vuori, K.-M., Bäck, S., Hellsten, S., Karjalainen, S. M., Kauppila, P., Lax, H.-G., Lepistö, L., Londesborough, S., Mitikka, S., Niemelä, P., Niemi, J., Perus, J., Pietiläinen, O.-P., Pilke, A., Riihimäki, J., Rissanen, J., Tammi, J. Tolonen, K., Vehanen, T., Vuoristo, H. ja Westberg, V. 2006. Suomen pintavesien tyypittelyn ja ekologisen luokittelujärjestelmän perusteet. Suomen ympäristö 807, ympäristönsuojelu. 151 p.
- Whittaker, R. H. 1977. Evolution of species diversity in land communities. *Evol. Biol.* 10: 1-67.
- Wright, D. H. 1983. Species energy theory: an extension of species-area theory. *Oikos* 41: 495-506.