
RKTL:n työraportteja 23/2013

Happamien sulfaattimaiden vaikutus jokien kalastoon

Tapio Sutela & Teppo Vehanen

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Helsinki
2013

(((CATERMASS



Julkaisija:
Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
Helsinki 2013

ISBN 978-952-303-047-3 (Verkkajulkaisu)

ISSN 1799-4756 (Verkkajulkaisu)

RKTL 2013

Kuvailulehti

Tekijät Tapio Sutela ja Teppo Vehanen			
Nimeke Happamien sulfaattimaiden vaikutus jokien kalastoon			
Vuosi 2013	Sivumäärä 13	ISBN 978-952-303-047-3	ISSN ISSN 1799-4756 (PDF)
Yksikkö/tutkimusohjelma Tutkimus- ja asiantuntijapalvelut			
Hyväksynyt Nina Peuhkuri			
Tiivistelmä Happamien sulfaattimaiden vaikutusta Pohjanmaan jokien kalastoon tutkittiin sähkökalastusmenetelmällä osana laajempaa Suomen ympäristökeskuksen johtamaa CATERMASS-projektia. Happamuudelle herkimpiä kalalajeja (kivisimppu, taimen, harjus) esiintyi yleensä vain niillä jokiosuuksilla, missä keskimääräinen pH oli yli kuuden. Happamuuden suhteen kestävimmiä kalajeiksi osoittautuivat ahven ja hauki, mutta myös kiiskejä ja särkiä tavattiin kohtalaisen voimakkaasti happamoituneissa joissa. Voimakkaimmin happamoitunut Vöyrinjoki (keskimääräinen pH 4,5) todettiin viiden sähkökalastuksen perusteella kalattomaksi. Sähkökalastussaaliista laskettuun FiFI-indeksiin perustuva joen ekologisen tilan arviointi johti voimakkaasti happamoituneilla jokiosuuksilla useimmiten luokkiin huono tai välttävä.			
Asiasanat Happamuus, sähkökalastus, joki, Pohjanmaa			
Julkaisun verkko-osoite http://www.rktl.fi/www/uploads/pdf/uudet%20julkaisut/tyoraportit/happamat_sulfaattimaat_kalasto.pdf			
Yhteydenotot Tapio Sutela, tapio.sutela@rktl.fi			
Muita tietoja			

Sisällys

Kuvailulehti	3
1. Johdanto	5
2. Menetelmät	5
3. Tulokset	6
4. Tulosten tarkastelu	10
5. Kiitokset	12
6. Kirjallisuus	12

1. Johdanto

Valtaosa maamme happamista sulfaattimaista (HS-maat) syntyi Itämeren ns. Litorinakauden aikana 4000-8000 vuotta sitten. Rannikkomme rehevillä matalikoilla mikrobit pelkistivät meriveden sulfaattia sulfidiksi. Sulfidi saostui rautasulfidina sedimentteihin, joissa myös monien muiden raskasmetallien pitoisuudet ovat suuria. Hapettomissa olosuhteissa sulfidisaven pH on neutraali ja metallit pysyvät saostuneina. Maankohoamisen seurauksena merestä nousseita sulfidisavikoita sisältäviä maita alettiin kuivata viljelykäyttöön. Myös vesirakentaminen ja muu maankäyttö ovat erityisesti 1970-luvulta lähtien voimistuneet. Pohjaveden laskiessa kuivatusalueilla sulfidisavikot hapettuvat, jolloin muodostuva rikki muodostaa maaperän veden kanssa rikkihappoa, joka taas liuottaa maaperästä metalleja. Runsaiden sateiden ja kevään sulamisvesien mukana happamuus ja metallit voivat huuhtoutua vesistöihin (Österholm & Åström 2002, Sutela ym. 2012).

Kalojen altistuminen happamuudelle havaitaan kenties selvimmin niiden lisääntymiseen liittyvänä häiriönä. Mätimunien hedelmöittyminen onnistuu huonosti happamassa vedessä. Poikasten kuoriutumisen voi estyä tai viivästyä. Aikuisten kalojen ionitasapaino häiriintyy ja alumiinia tai rautaa voi sakkautua kidusten pinnalle haitaten hengitystä (Sutela ym. 2012 viitteinen). Happamuus voi vaikuttaa kalastoon ilman näkyviä kalakuolemia.

Suomen ympäristökeskuksen johtamassa CATERMASS-projektissa (Climate Change Adaptation Tools for Environmental Risk Mitigation of Acid Sulphate Soils) tutkittiin vuosina 2010-2012 happamien sulfaattimaiden vesistövaikutuksia ja niiden lieventämismahdollisuuksia. Osana projektia Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos selvitti länsirannikkomme jokien kalaston tilaa. Alustavia tuloksia on esitelty myös kansainvälisessä symposiossa Vaasassa kesällä 2012 (Vehanen ym. 2012) sekä jokien kunnostusaiheisessa kongressissa Wienissä syyskuussa 2013 (Sutela & Vehanen 2013).

2. Menetelmät

Sähkökalastukset tehtiin elo- syyskuussa 2010, 2011 ja 2012 akkukäyttöisellä Hans Grassl 1G 200-2 sähkökalastuslaitteella ilman aitaverkkoja käyttäen jaksottaista 50 Hz tasavirtaa. Jännite (V) säädettiin sopivaksi jokiveden johtokyvyn mittauksen perusteella. Koealan paikaksi valittiin mahdollisuuksien mukaan virtausnopeudeltaan kohtalainen (0,2-0,7 m/s) alue ennakkoon tiedetyiltä tai karttatyönä selvitettyiltä koskipaikoilta. Kooltaan keskimäärin 133 m² (vaihteluväli 30-335 m²) suuruiset koealat kalastettiin yhteen kertaan koealan alareunasta ylävirtaan päin kahlaten. Pinta-alaltaan pienimmillä koealoilla sähkökalastuskelpoista aluetta ei ollut enempää veden syvyyden, virtausolosuhteiden, pohjan laadun tai näiden yhdistelmien takia. Sähkökalastuslaitteen käyttäjällä oli apuna yksi haavimies. Jos samalla koskella kalastettiin useampana vuotena, oli koealan paikka täsmälleen sama lukuun ottamatta muutamia poikkeuksia, joissa poikkeava vedenkorkeus esti vakiopaikasta kalastamisen. Neilikkaöljyllä nukutetut saaliskalat mitattiin (mm) ja punnittiin (0,1 g) yksilökohtaisesti, minkä jälkeen ne vapautettiin.

Jokaiselta koealalta kirjattiin ylös pohjan karkeus (orgaaninen aines / hieno (<2 mm) / sora (2-16 mm), pieni kivi (17-64 mm), iso kivi (65-256 mm), pieni lohkare (257-1024 mm), iso lohkare (>1024 mm) ja kallio prosenttiosuuksina. Koealan syvyys arvioitiin myös prosenttiosuuksina luokissa 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm ja >60 cm. Keskimääräinen veden virtausnopeus arvioitiin kuuluvaksi johonkin seuraavista luokista: hidas (<0,2 m/s), keskimääräinen (0,2-0,7 m/s) tai voimakas (>0,7 m/s). Jokive-

destä mitattiin lämpötila, johtokyky (mS/m) ja pH. Muista taustatiedoista kirjattiin ylös muun muassa uoman leveys (m), tieto siitä, että kalastettiin koko uoman leveydeltä vai ei, veden suhteellinen korkeus (normaali / ylhäällä / alhaalla), koealan kalastettavuus, vesisammalen, putkilokasvien sekä rantakasvillisuuden peittävyys (%).

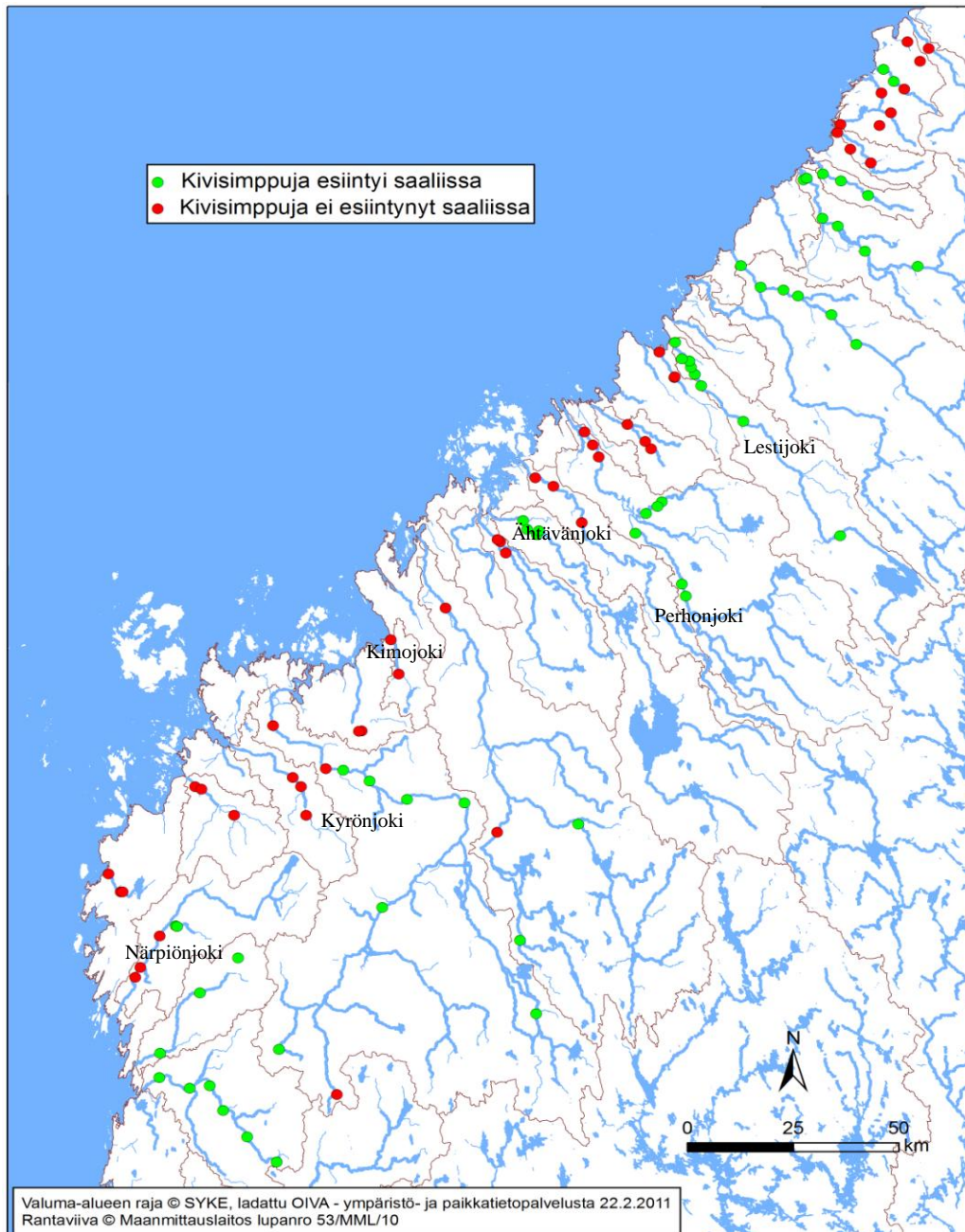
Catermass-projektissa tehtiin kolmena tutkimusvuotena yhteensä 136 sähkökalastusta Pohjanmaan rannikkojoissa välillä Lestijoki – Tiukanjoki. Koealoja oli 1-3 kultakin tutkimusjoelta riippuen sopivien sähkökalastuspaikkojen saatavuudesta. Lähinnä Keski-Pohjanmaalla vuosina 2011 ja 2012 esiintyneet tulvat haittasivat sähkökalastuksia niin, että osalta koealueista on vain 1 tai 2 sähkökalastusta. Suurimmilla tutkimusjoilla tehtiin sähkökalastukset erikseen alajuoksun HS-maiden voimakkaalta vaikutusalueella ja toisaalta yläjuoksun vertailualueella (3+3). Saimme projektin käyttöön identtisin menetelmin Haku-projektin yhteydessä kerätyn 50 sähkökalastuksen lisäaineiston hieman Catermass-projektin aineistoa pohjoisempaa väliltä Olkijoki – Pyhäjoki vuosilta 2010-2011. Lisäksi saimme täydentävää sähkökalastusaineistoa Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen sähkökalastuksista Isojoelta (N=6) ja Pohjanmaan ELY-keskuksen sähkökalastuksista Kyrönjoella (N=6). Kunkin sähkökalastuspaikan läheiseltä jokialueelta kerättiin vastaavat vedenlaatutiedot pH:n ja muiden keskeisten parametrien osalta Suomen ympäristökeskuksen Hertta-tietokannasta viiden vuoden keskiarvoina. Happamuuden (pH) keskiarvot laskettiin vetyionipitoisuuksista.

Kalojen levinneisyystarkasteluja varten hankimme vielä täydentävää materiaalia Pohjanmaan jokien sähkökalastusten tuloksista mm. koekalastusrekisteristä ja julkaisusta Myntti (2005). Kaiken kaikkiaan käytettävissämme oli 213 sähkökalastuksen tulokset.

Sähkökalastussaaliista laskettiin joen ekologista tilaa kuvaavan kalaindeksin (FiFi) arvo (Vehanen ym. 2010). Sanallisen luokituksen (huono, välttävä, tyydyttävä, hyvä, erinomainen) arviointiin käytettiin julkaisussa Aroviita ym. (2012) esitettyjä indeksin interkalibroituja raja-arvoja. Tässä käytetty kalaindeksin laskentatapa poikkeaa hieman vesienhoidon toisella suunnittelukaudella käytetystä menetelmästä.

3. Tulokset

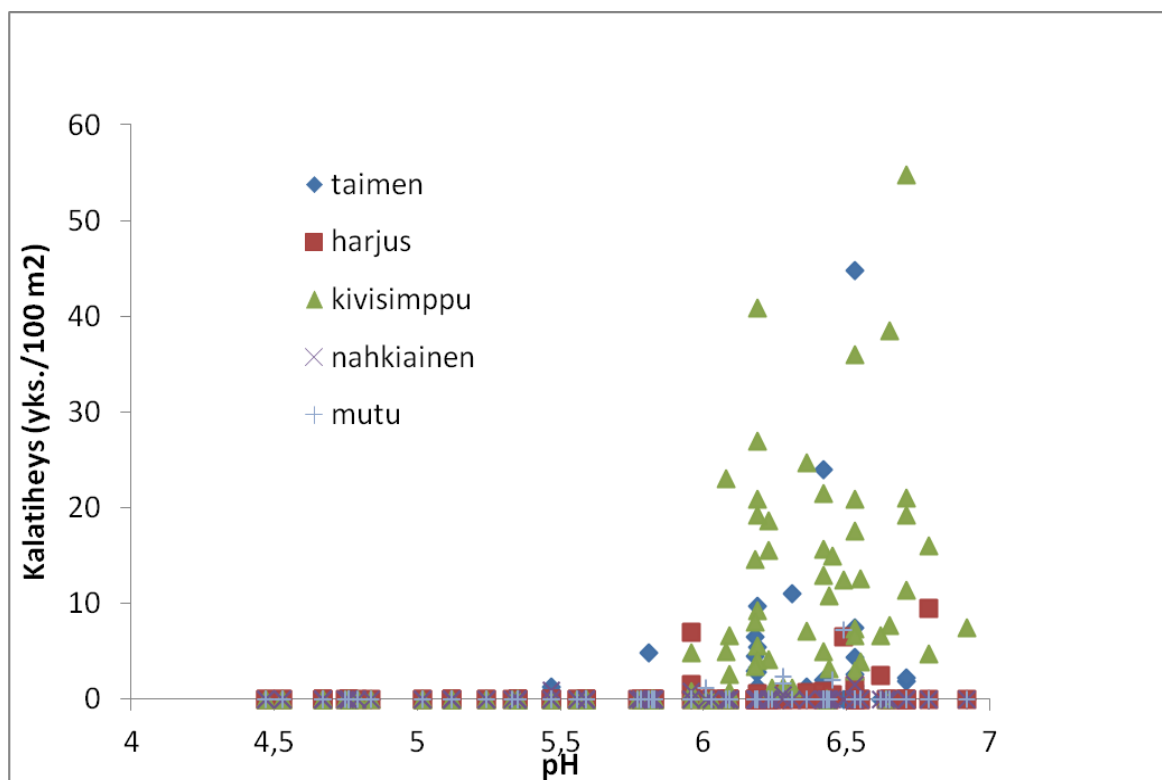
Happamuudelle herkkien kalalajien esiintymisessä oli nähtävissä alueellisia eroja. Kivisimppu puuttui kaikilta HS-maiden eniten kuormittamalta alueelta, eli Etelä-Pohjanmaan mereen laskevilta pikkujokilta välillä Närpiönjoki – Kimojoki ja Kyrönjoen alajuoksulta (Kuva 1). Keski-Pohjanmaalla kivisimppua esiintyi vain Lesti- ja Ähtävänjoella, joilla on kapea ja pitkä, kauas sisämaahan HS-maiden ulkopuolelle ulottuva valuma-alue. Perhonjoella kivisimppu puuttui HS-maiden eniten kuormittamalta alajuoksulta, mutta sitä esiintyi yläjuoksulla sekä keskijuoksun sivujoessa Ullavanjoella.



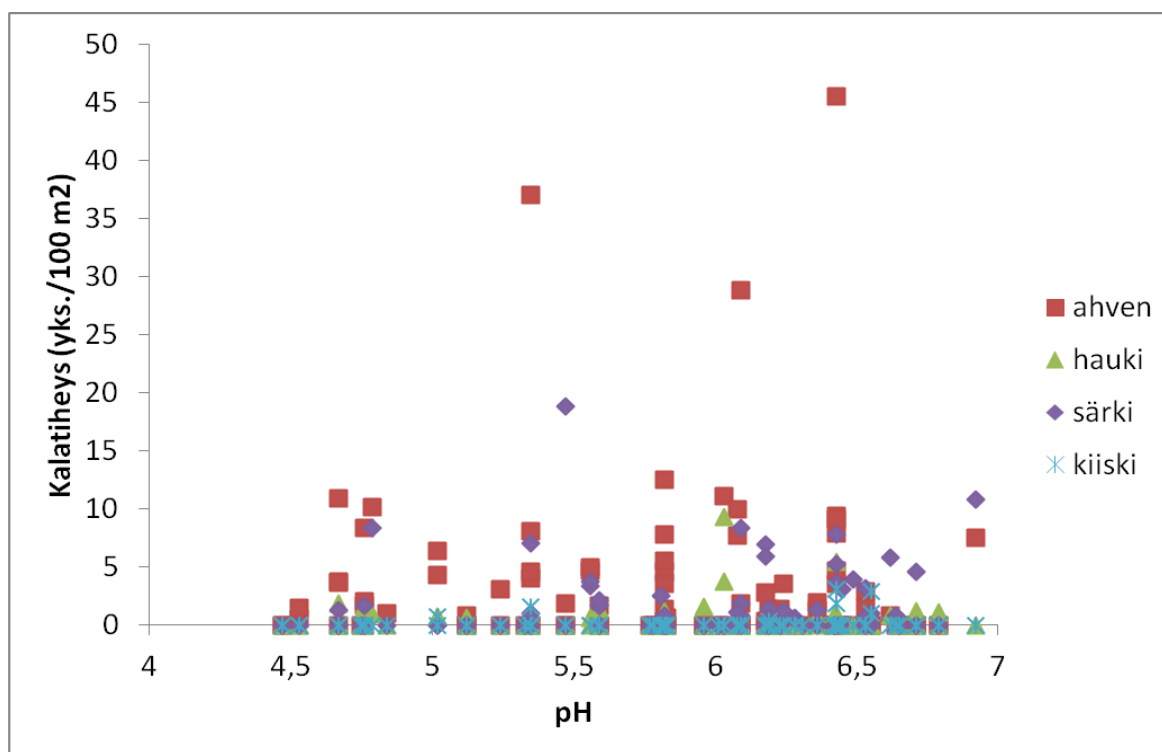
Kuva 1. Happamuudelle herkän kivisimppun esiintyminen sähkökalastusaineistossa Lapväärtinjoelta Siikajoelle.

Happamuudelle herkimmiksi lajeiksi havaittiin kivisimppu, harjus, taimen, mutu ja nahkiainen (Kuva 2). Aineiston perusteella tolerantteja lajeja olivat varsinkin ahven, hauki, kiiski ja särki (Kuva 3).

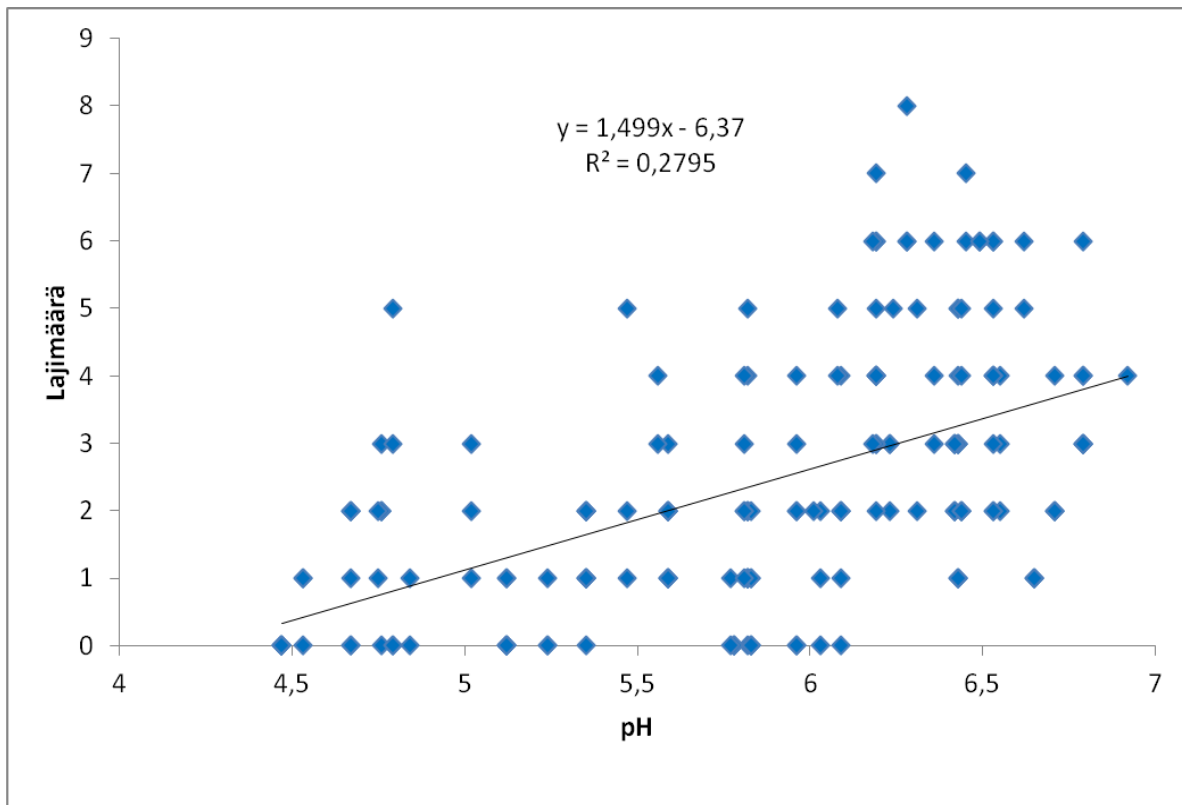
Kalalajien lukumäärä korreloi keskimääräisen pH:n kanssa (Kuva 4). Kalattomia koealoja tavattiin vain silloin, kun jokiveden keskimääräinen pH oli alle 6. Enimmillään yhdellä koealalla tavattiin kahdeksan kalalajia.



Kuva 2. Happamuudelle herkimpien kalalajien tiheyksiä suhteessa jokiveden keskimääräiseen pH-arvoon



Kuva 3. Happamuudelle kestävimpien kalalajien tiheyksiä suhteessa jokiveden keskimääräiseen pH-arvoon.



Kuva 4. Sähkökalastuksessa havaitun kalalajien lukumäärän suhde vesistönsosan keskimääräiseen happamuuteen.



Kuva 5. Catermass-projektissa sähkökalastettujen keskisuurten turvemaan jokien luokittelun tulos kolmen happamuusluokan joissa (pH<5: N=21, pH 5-6: N=50, pH>6, N=14)

Tutkituista joista suurin osa kuului vesienhoitotyössä määriteltyyn tyyppiin keskisuuret turvemaan joet (Kt). Kun jokiveden keskimääräinen pH oli alle 5, niin yli 40 % koealoista sijoittui luokkaan huono (Kuva 5). Kaikki tähän luokkaan sijoittuneet koealat olivat kalattomia. Vähemmän happamissa joissa kalattomien koealojen osuus oli pienempi, mikä näkyi myös luokitustuloksissa. Luokkaan hyvä sijoitui vain muutamia koealoja happamuusluokissa pH 5-6 ja pH > 6.

Vöyrinjoen sähkökalastuksissa vuosina 2010 ja 2012 (2+3 koealaa) ei saatu ainuttakaan kalaa. Myös Långån ainoa sähkökalastuskoeala oli kalaton kaikkina kolmena tutkimusvuotena. Ainakin osa koealoista tai kalastuskerroista oli kalattomia myös seuraavilla joilla: Haapajoki, Kimojoki Kruunupyynjoki, Kälviänjoki, Lohtajanjoki, Maalahdenjoki, Närpiönjoki, Olkijoki, Petolahdenjoki, Pieninkijoki, Poikajoki, Purmojoki ja Viirrejoki (vrt. taulukko 1).

Aineistosta lasketuissa kalaindeksin arvoissa ja ekologisen tilan viisiportaisessa luokituksessa asteikolla erinomaisesta huonoon oli kohtalaisen paljon vaihtelua saman joen eri koealojen ja tutkimusvuosien välillä (taulukko 1).

Taulukko 1. Sähkökalastettujen keskisuurten turvemaanjokien kalaindeksin arvoja, luokitustuloksia sekä tietoa kalasaaliista. Kalaindeksi saa arvons 0,1 ilman saalista jääneissä kalastuksissa.

	Kalaindeksin keskiarvo	Kalaindeksin minimi	Kalaindeksin maksimi	Vallitsevin luokka	Huonoin luokka	Paras luokka	Sähkökalastuksia	Sähkökalastuksia ilman saalista	Saaliittomien sähkökalastusten osuus (%)
Ullavanjoki	0,541	0,498	0,668	Tyydyttävä	Tyydyttävä	Hyvä	2	0	0
Viirrejoki	0,404	0,1	0,582	Tyydyttävä	Huono	Hyvä	9	1	11
Lehmäjoki	0,401	0,269	0,532	Välttävä	Välttävä	Tyydyttävä	2	0	0
Laihianjoki	0,4	0,25	0,532	Tyydyttävä	Välttävä	Tyydyttävä	9	0	0
Maalahdenjoki	0,387	0,1	0,532	Tyydyttävä	Huono	Tyydyttävä	6	1	17
Närpiönjoki	0,372	0,1	0,532	Tyydyttävä	Huono	Tyydyttävä	9	1	11
Kimojoki	0,273	0,1	0,392	Tyydyttävä	Huono	Tyydyttävä	6	2	33
Harrström å	0,271	0,19	0,344	Välttävä	Välttävä	Välttävä	9	0	0
Purmojoki	0,248	0,1	0,432	Huono	Huono	Tyydyttävä	6	3	50
Kruunupyynjoki	0,236	0,1	0,432	Huono	Huono	Tyydyttävä	6	3	50
Kälviänjoki	0,229	0,1	0,532	Huono	Huono	Hyvä	9	5	56
Petolahdenjoki	0,222	0,1	0,344	Huono	Huono	Välttävä	2	1	50
Långå	0,1	0,1	0,1	Huono	Huono	Huono	3	3	100
Vöyrinjoki	0,1	0,1	0,1	Huono	Huono	Huono	5	5	100

4. Tulosten tarkastelu

Kalaston tila oli yleensä heikoimmillaan HS-maiden voimakkaasti kuormittamilla alueilla mereen laskevissa pikkujoissa, joissa myös mitatut pH-lukemat olivat matalalla tasolla. Vöyrinjoesta voimakas happamuus yhdessä korkeiden alumiiniarvojen kanssa lienee tappanut kalaston jokseenkin kokonaan. Vöyrinjoen keskimääräinen pH oli 4,5 (minimi 3,9) ja alumiinipitoisuus 7,5 mg/l, maksimi 19 mg/l, N=107 (Sutela ym. 2010). Kalojen puuttuminen on hyvin ymmärrettävää, kun vertaa mitattuja pH-arvoja ja alumiinin pitoisuuksia kalojen altistuskokeiden tuloksiin (esim. Vuorinen ym. 1990, 1998). Vöyrinjoelta on raportoitu kalakuolemia 1970-luvun alkuvuosilta (Sutela ym. 2012). Uudempi-

en kalakuolemahavaintojen puuttuminen saattaa johtua siitä, että joessa ei 1970-luvun alun jälkeen ole ollut juurikaan kaloja.

Suurista joista Kyrönjoessa ja Perhonjoessa happamuuden vaikutus näkyi alajuoksulla, missä esimerkiksi kivisimppu puuttui lajistosta. Alajuoksullaan happamien sulfaattimaiden alueella juokseva Ähtävänjoki on säilynyt kalastoltaan kohtalaisen hyvässä kunnossa. Syynä tähän on todennäköisesti se, että joen valuma-alue painottuu kauas sisämaahan HS-maiden esiintymisalueen ulkopuolelle. Joen latvoilla on myös vedenlaatua ja virtaamia tasoittamassa ja parantamassa suuri järvi (Lappajärvi). Vastaava tilanne on myös Lestijoella, jossa tavattiin monimuotoinen kalasto sisältäen esimerkiksi muutamia meritaimenen luontaisesti lisääntyneitä 0+ poikasia. Kalataloudellisesti arvostetun taimenen poikasia tavattiin runsaimmin joissa Isojoki, Lillån ja Lestijoki, joissa kaikissa keskimääräinen pH on selvästi yli kuuden.

Kalalajeista särki osoittautui tutkituissa joissa vähemmän herkäksi happamuudelle, kuin mitä kirjallisuustietojen perusteella voisi olettaa (vrt. esim. Tuunainen ym. 1991, Poleo ym. 1997). Syynä tähän saattaa olla se, että särki levittäytyy esimerkiksi merestä kesän aikana hyvän happamuustilan-teen vallitessa tutkituille alueille, jotka ovat kevään ja syksyn virtaamaahuippujen aikana hyvinkin happamia. Sähkökalastusten yhteydessä elo-syyskuussa mitatut pH:t olivat lähes jokaisella joella ainakin kohtalaisen hyvällä tasolla. Toinen mahdollinen selitys on se, että särki on ainakin jossakin määrin geneettisesti sopeutunut happamaan vesiympäristöön (vrt. Battram 1990, Keinänen 2002).

Tutkituista joista Långå oli kalaton, vaikka sen veden pH oli hyvää keskitasoa. Syynä kalattomuuden oli ilmeisesti veden muu laatu: esimerkiksi elokuussa 2011 hapen kyllästysprosentti oli vain 59 %. Joessa tavataan säännönmukaisesti erittäin suuria COD-, rauta- ja väriarvoja. Yläpuolisella valuma-alueella on erityisen runsaasti ojitettuja suoalueita ja peltoja.

Pohjanmaan joet kärsivät happamuuden ohella rehevöitymisestä, kiintoainekuormituksesta ja virtaamien äärevöitymisestä, joiden aiheuttajina ovat pääasiassa maatalous ja metsäojitukset (Sutela ym. 2010). Aineistosta tehty pääkomponenttianalyysi (Vehanen ym. 2012) ja muut monimuuttujamenetelmillä saadut tulokset Pohjanmaan jokien sähkökalastusaineistoista julkaisuissa Myntti (2005) ja Sutela ym. (2010) osoittavat kuitenkin happamuuden olevan tärkeimmän tai yhden tärkeimmistä osatekijöistä.

Vuonna 2012 sähkökalastuksia tehtiin Keski-Pohjanmaalla poikkeuksellisen voimakkaan elokuun alun tulvan jälkeen. Sähkökalastustulokset viittasivat siihen, että tulva oli huuhtonut joista varsinkin ahvenia, joka ei lajina ole sopeutunut koskihabitaattiin siinä määrin kuin esimerkiksi kivisimppu. Tulvan vaikutus varsinkin ahvenen puuttumisen kautta ulottui myös kalaindeksin arvoon, jossa vuodelle 2012 saatu arvo usein poikkesi edellisen kahden vuoden arvoista. Tulos osoittaa kalaindeksin herkkyyden voimakkaan tulvan vaikutukselle.

Kalojen on todettu sietävän paremmin happamoitumista humuspitoisissa vesissä kuin kirrkaissa vesissä (Henriksen ym. 1998). Humuksinen, kemiallisesti stabiili vesi voi sisältää jopa useita milligrammoja rautaa litrassa ilman että se olisi myrkyllistä kaloille (Steffens ym. 1993, Lappivaara ym. 1999). Humusaineet vähentävät metallien myrkyllisyyttä, koska humushapot muodostavat komplekseja metallien kanssa (Gensemer & Playle 1999). Pohjanmaan runsashumuksisissa jokivesissä happamuuden vaikutukset olisivat olleet todennäköisesti vielä suurempia ilman humusta.

5. Kiitokset

Kiitämme sähkökalastuksissa mukana olleita Alpo Huhmarniemeä ja Mika Visuria. Anssi Teppo poimi Suomen ympäristökeskuksen Hertta-tietokannasta vedenlaatutietoja.

6. Kirjallisuus

- Aroviita, J., Hellsten, S., Jyväsjärvi, J., Järvenpää, L., Järvinen, M., Karjalainen, S. M., Kauppila, P., Keto, A., Kuoppala, M., Manni, K., Mannio, J., Mitikka, S., Olin, M., Pilke, A., Rask, M., Riihimäki, J., Sutela, T., Vehanen, T. & Vuori, K.-M. 2012. Ohje pintavesien ekologisen ja kemiallisen tilan luokitteluun vuosille 2012-2013 - päivitettyt arviointiperusteet ja niiden soveltaminen. Ympäristöhallinnon ohjeita 7. 144 s.
- Batram, J. C. 1990. Tolerance of acid waters by native brown trout (*Salmo trutta* L.), comparative biochemistry and physiology. *Comparative Pharmacology and Toxicology* 96: 377-380.
- Gensemer, R. W. & Playle, R. C. 1999. The bioavailability and toxicity of aluminum in aquatic environments. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 29: 315-450.
- Henriksen, A., Skjelkvåle, B. L., Mannio, J., Wilander, A., Harriman, R., Curtis, C., Jensen, J. P., Fjeld, E. & Moiseenko, T. 1998. Northern European lake survey, 1995. *Ambio* 27: 81-91.
- Keinänen, M. 2002. Effects of acidic water and aluminium on fish during the early life period and differences in sensitivity between species. PhD Thesis. University of Helsinki (Department of Biosciences, Division of Animal Physiology) and Finnish Game and Fisheries Research Institute. 59 s.
- Lappivaara, J., Kiviniemi, A. & Oikari, A. 1999. Bioaccumulation and subchronic physiological effects of waterborne iron overload on whitefish exposed in humic and nonhumic water. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 37: 196-204.
- Myntti, J. 2005. Pohjanmaan jokien koskikalastoon vaikuttavat ympäristötekijät sekä kalaston erot luonnontilaisten ja muutettujen koskien välillä. Pro gradu –tutkielma. Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos. 29 s.
- Poléo, A. B. S., Østbye, K., Øxnevad, S. A., Andersen, R. A., Heibo, E. & Vøllestad, L. A. 1997. Toxicity of acid aluminium-rich water to seven freshwater fish species - a comparative laboratory study. *Environmental Pollution* 96: 129-139.
- Steffens, W., Mattheis, T. & Riedel, M. 1993. Field observations on the production of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under high concentrations of water-borne iron. *Aquatic Science* 55: 173-178.
- Sutela, T. & Vehanen, T. 2013. Riverine fish assemblages in the areas of acid sulphate soils in Western Finland. Posterikongressissa European River Restoration Conference 10.-13.9. 2013 Wienissä. (http://www.restorerivers.eu/Portals/27/ERCC2013_poster_Tapio_Sutela.pdf).
- Sutela, T., Vehanen, T. & Jounela, P. 2010. Response of fish assemblages to water quality in boreal rivers. *Hydrobiologia* 641: 1-10.
- Sutela, T., Vuori, K.-M., Louhi, P., Hovila, K., Jokela, S., Karjalainen, S.M., Keinänen, M., Rask, M., Teppo, A., Urho, L., Vehanen, T., Vuorinen, P.J. & Österholm, P. 2012. Happamien sulfaattimaiden aiheuttamat vesistövaikutukset ja kalakuolemat Suomessa. *Suomen ympäristö* 14. 61 s.
- Teppo, A., Tolonen, M., Korsu, K., Sivil, M., Koivurinta, M., Marjomäki, T., Koivisto, A.-M., Latvala, J. & Rautio, L. M. 2006. Kyrönjoen yläosan vesistöiden vaikutus ja Kyrönjoen tila vuosina 1975-2003. *Suomen ympäristö* 18, Länsi-Suomen ympäristökeskus, Vaasa. 80 s.
- Tuunainen, P., Vuorinen, P. J., Rask, M., Järvenpää, T., Vuorinen, M., Niemelä, E., Lappalainen, A., Peuranen, S. & Raitaniemi, J. 1991. Happaman laskeuman vaikutukset kaloihin ja rapuihin. Loppuraportti. *Suomen Kalatalous* 57. 44 s.
- Vehanen, T., Sutela, T. & Korhonen, H. 2010. Environmental assessment of boreal rivers using fish data – a contribution to the Water Framework Directive. *Fisheries Management and Ecology* 17: 165-175.
- Vehanen, T., Sutela, T., Teppo, A., Aroviita, J., Vuori, K.-M. & Karjalainen, S.M. 2012. Impacts of acid sulfate soils on river biota in Finnish rivers. *Geologian tutkimuskeskus. Opas 56 – 7th International Acid Sulfate Soil Conference. Vaasa. Finland 2012. Towards Harmony between Land Use and the Environment. Proceedings volume, p. 147-148.*

- Vuorinen, P. J., Keinänen, M., Peuranen, S. & Tigerstedt, C. 1998. Effects of iron, aluminium, dissolved humic material and acidity on grayling (*Thymallus thymallus*) in laboratory exposures, and a comparison of sensitivity with brown trout (*Salmo trutta*). *Boreal Environmental Research* 3: 405-419.
- Vuorinen, P. J., Vuorinen, M. & Peuranen, S. 1990. Long-term exposure of adult whitefish (*Coregonus wartmanni*) to low pH/ aluminium: effects on reproduction, growth, blood composition and gills. Teoksessa: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (toim.), *Acidification in Finland*. Springer-Verlag. Berlin. s. 941-961.
- Österholm, P. & Åström, M. 2002. Spatial trends and losses of major and trace elements in agricultural acid sulphate soils distributed in the artificially drained Rintala area, W. Finland. *Applied Geochemistry* 17: 1209-1218.