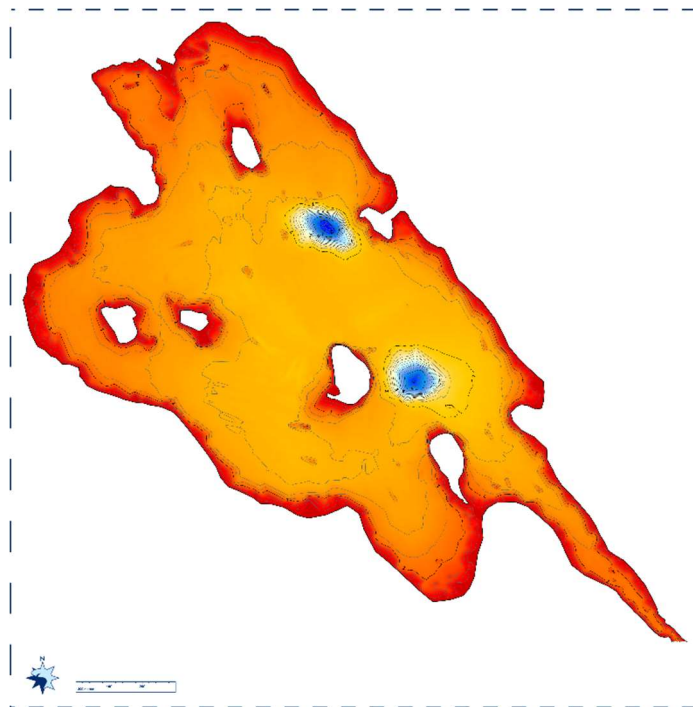


Rautalampi -järven vaihtoehtoiset kunnostusmenetelmät



Tmi Arto Hautala

4.6.2020

SISÄLLYS

1. TAUSTA	2
2. HYDROLOGIA	2
3. VEDEN LAATU JA SEN KEHITYSHISTORIA	4
3.1 NYKYTILAN LUOKITUS.....	4
3.2 RAVINTEISUUS JA NÄKÖSYVYYS	4
3.3. HAPPI.....	7
4. RAVINNEKUORMITUKSEN ALENTAMINEN	9
4.1 PELTOVILJELYN LISÄTOIMENPITEIDEN POTENTIAALI.....	11
4.2 VESIENSUOJELUKOSTEIKKOJEN POTENTIAALI	12
4.3 KAIPAISPURON YLÄOSAN VALUNNAN KÄÄNTÖ LONKARINJOKEEN JA LONKARIIN?.....	12
5. HAPETUS	14
6. HOITOKALASTUS	18
7. VESIKASVILLISUUDEN POISTO	23
8. ALIVESIKORKEUDEN NOSTO	24
9. YHTEENVETO.....	27
KIRJALLISUUS	27

1. TAUSTA

Rautalampi -järvi on matala ja rehevä 150 ha:n järvi Rautalammin kunnassa. Järven ravinteisuus aiheuttaa virkistyskäyttöä haittaavia leväongelmia ja järvellä on ajoittain havaittu myös hapettomuudesta johtuneita loppukesän kalakuolemia, viimeksi kesällä 2019. Menetelmiä järven ravinnekuormituksen alentamiseen ja sisäiseen kunnostamiseen on etsitty ja osin sovellettukin jo pitkään (mm. Savolainen 1992, Veijola ym. 2000, P-Savon ympäristökeskus 2003, Vesi-Eko 2006, Rautalampi- järven suojeluyhdistys ry 2019). Sisäisen kunnostuksen menetelmistä esillä ovat pääasiallisesti olleet vesitulavuuden lisääminen (pohjapadon rakentaminen järven purkautumissalmeen), hoitokalastus ja muu ravintoketjukkunnostus, vesikasvillisuuden vähentäminen sekä syvänteiden hapettaminen.

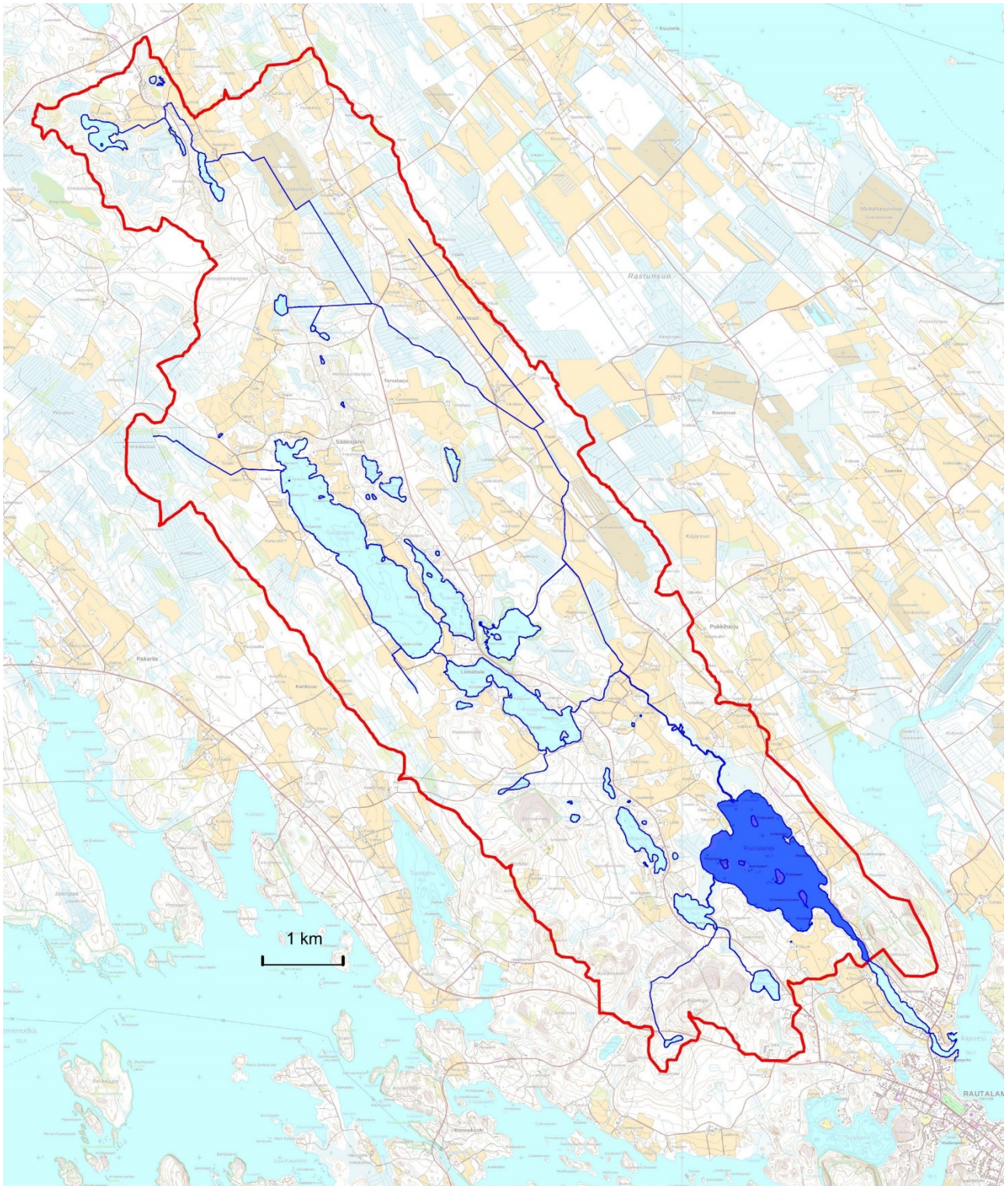
Tämän työn tarkoitus on arvioida esillä olleiden kunnostusmenetelmien tehoa, toteutettavuutta ja kustannuksia. Työ on tehty yleisselvitystasoisena olemassa olevaan aineistoon perustuen. Työn on tilannut Rautalammin kunta Maveplan Oy:ltä järven tilavuuden kasvattamiseen tähtäävän pohjapadosuunnittelun ohien. Arvioinnin on tehnyt alihankintana FM Arto Hautala (Tmi Arto Hautala).

2. HYDROLOGIA

Taulukko 1. Rautalampi -järven hydrologiset ominaisuudet

	valuma-alue		virtaaman tunnusluvut m ³ /s				
	F, km ²	L, %	NQ	MNQ	MQ	MHQ	HQ _{1/20}
Rautalampi	52,6	9,6	0	0,08	0,49	2,91	4,65
F= valuma-alueen pinta-ala järven luusuassa		L=valuma-alueen järvisyys järven luusuassa					
NQ=alivirtaama, MNQ=keskialivirtaama, MQ=keskivirtaama, MHQ=keskiylivirtaama, HQ _{1/20} =ylivirtaama kerran 20 vuodessa							

	Järven pinta-ala		keskisyvyys	suurin syvyys	tilavuus	viipymä
	kokonais-	vesialue				
	ala ha	ha				
Rautalampi	155,27	151,08	1,4	6,7	2,12	50
Tilanne keskivesikorkeudella MW						








Kuva 1. Rautalampi -järvi (sininen korostus) ja sen valuma-alueen raja (punainen viiva)

3. Veden laatu ja sen kehityshistoria

3.1 Nykytilan luokitus

Rautalampi luokitellaan 'Matalaksi runsashumukseksi järveksi (MRh)'. Sen yleinen ekologinen tila on nykyisellään luokassa Tyydyttävä, mutta kemiallinen tila luokassa Välttävä. Luokitteluperusteiden mukaan ekologinen tila on "selkeästi korkeintaan tyydyttävä rehevyyden ja hapettomuuden perusteella... Järvi on selvästi rehevöitynyt sekä ravinteilla että klorofyllillä mitattuna ...Turvetuotannon kuormittama järvi". (Hertta tietokanta, luokittelutekstit) (taulukko 2).

Taulukko 2. Matalien ja runsashumuksisten järvien VPD luokkarajat pintaveden (0-2m) kokonaisfosforille, kokonaistypelle ja a-klorofyllille kasvukaudella kesä-syyskuun aikana, sekä näiden keskiarvot Rautalampi -järvessä vuosina 2000-2019. n=näytemäärä.

		Luokkarajat				Rautalampi 2000-2019	
		E/Hy	Hy/T	T/V	V/Hu	keskiarvo	n
Kokonaisfosfori	µg/l	30	45	60	75	56	27
Kokonaistyyppi	µg/l	580	800	1000	1200	1009	27
a-klorofylli	µg/l	13,5	25	50	100	30	26
			erinomainen				
			hyvä				
			tyydyttävä				
			välttävä				
			huono				

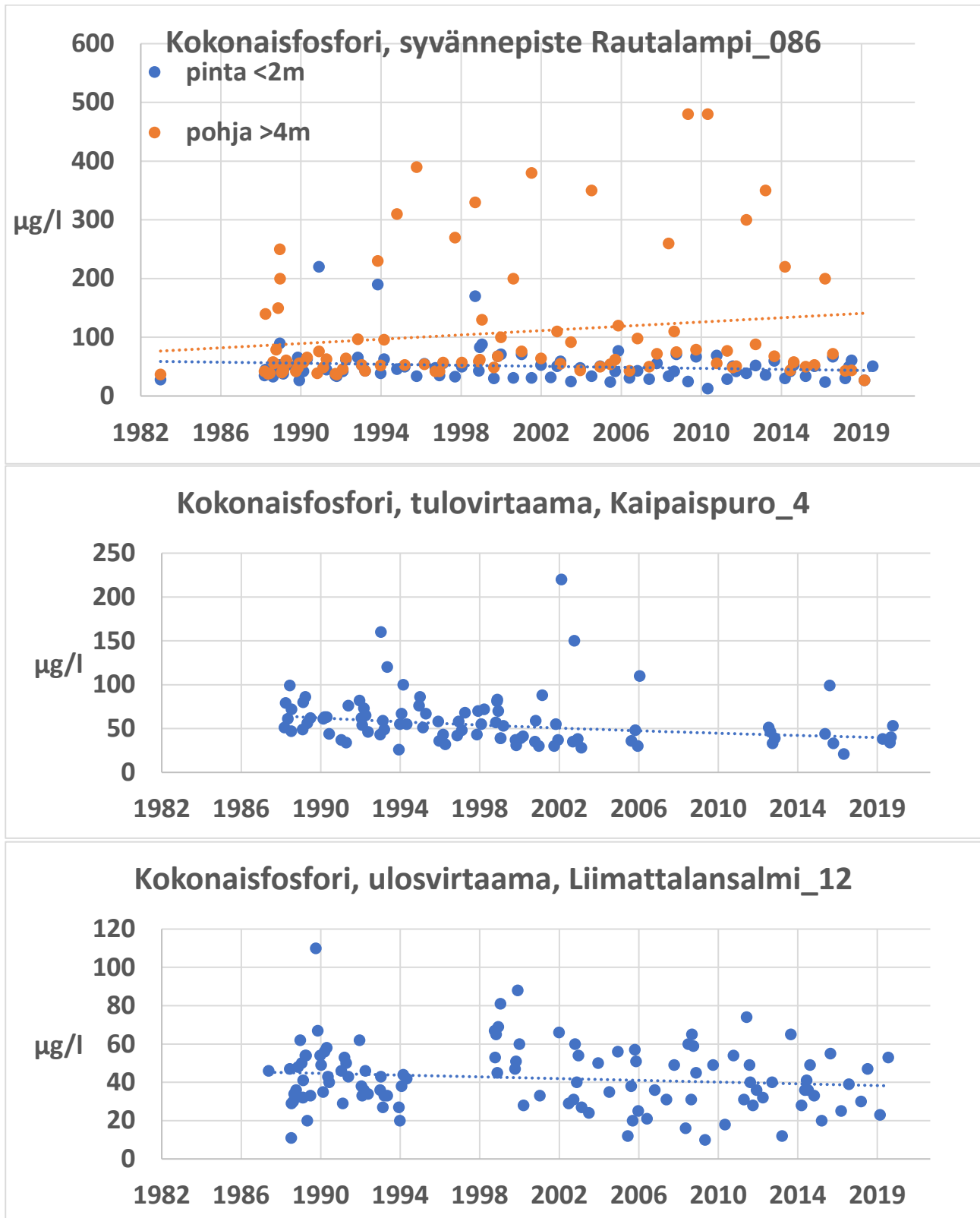
Kasvukauden kokonaisfosfori- ja klorofyllitasojen perusteella järvi voidaan luokitella erittäin reheväksi. Typpipitoisuuden kohoaminen 1000 µg/l tasolle kuvaa puolestaan humuskuormituksen runsautta (turvetuotanto, metsäojitukset). (mm. Oravainen 1999). Pääravinteiden pitoisuussuhde Ntot/Ptot on 18, minkä perusteella fosfori on tuotantoa säätelevä minimiravinne (Ntot/Ptot-suhde >17, Pietiläinen ja Räike 1999).

3.2 Ravinteisuus ja näkösyvyys

Rautalampi on ollut rehevä koko 1980 -luvulla alkaneen mittaushistorian ajan, mutta syvännenäytepisteen pintavedessä on kuitenkin havaittavissa hienoinen kokonaisfosforipitoisuuden laskeva trendi (kuva 2). Järveen tulevan veden fosforipitoisuus eli tulokuormitus on laskenut selkeästi - karkeasti noin kolmanneksella - 1990 luvulta lähtien (kuva 2). Samansuuruinen trendi on ollut havaittavissa laajalti mm. Perämereen laskevissa joissa ja laskun syynä lienee ennen kaikkea maatalouden fosforipäästöjen lasku. Myös Rautalammesta purkautuvan veden ravinnepitoisuus on laskenut, mutta lievemmin kuin järven tulovedessä (kuva 2). Oletettavasti järven kuormitushistorian saatossa pohjaan sedimentoituneet ravinteet puskuroivat sisäkuormituksen kautta ravinteisuuden laskua, mikä näkyy syvännenäytepisteen happiongelmien seurauksena tapahtuneena pohjakerroksen veden kokonaisfosforipitoisuuden nousevana trendinä (kuva 2a).

Kokonaistypen suhteen kehitys syvännenäytepisteessä on pintaveden osalta varsin neutraali, mutta pohjassa typpipitoisuudella on fosforin tapaan kasvava trendi (kuva 3). Tulovirtaaman typpipitoisuudessa on sitä vastoin kasvava trendi, mikä myöskin on yleinen mm. Pohjanmaan Perämereen laskevissa joissa. Todennäköisin syy tähän on turvemaiden ojitusten lisääntyvä typpikuorma. Ulosvirtaaman typpipitoisuuden trendi on kuitenkin hienoisesti laskeva (kuva 3).

Näkösyvyys on vaihdellut historiassa laajasti 0,5-1,5 m välillä, mutta ilman selvää kehitystrendiä (kuva 4).

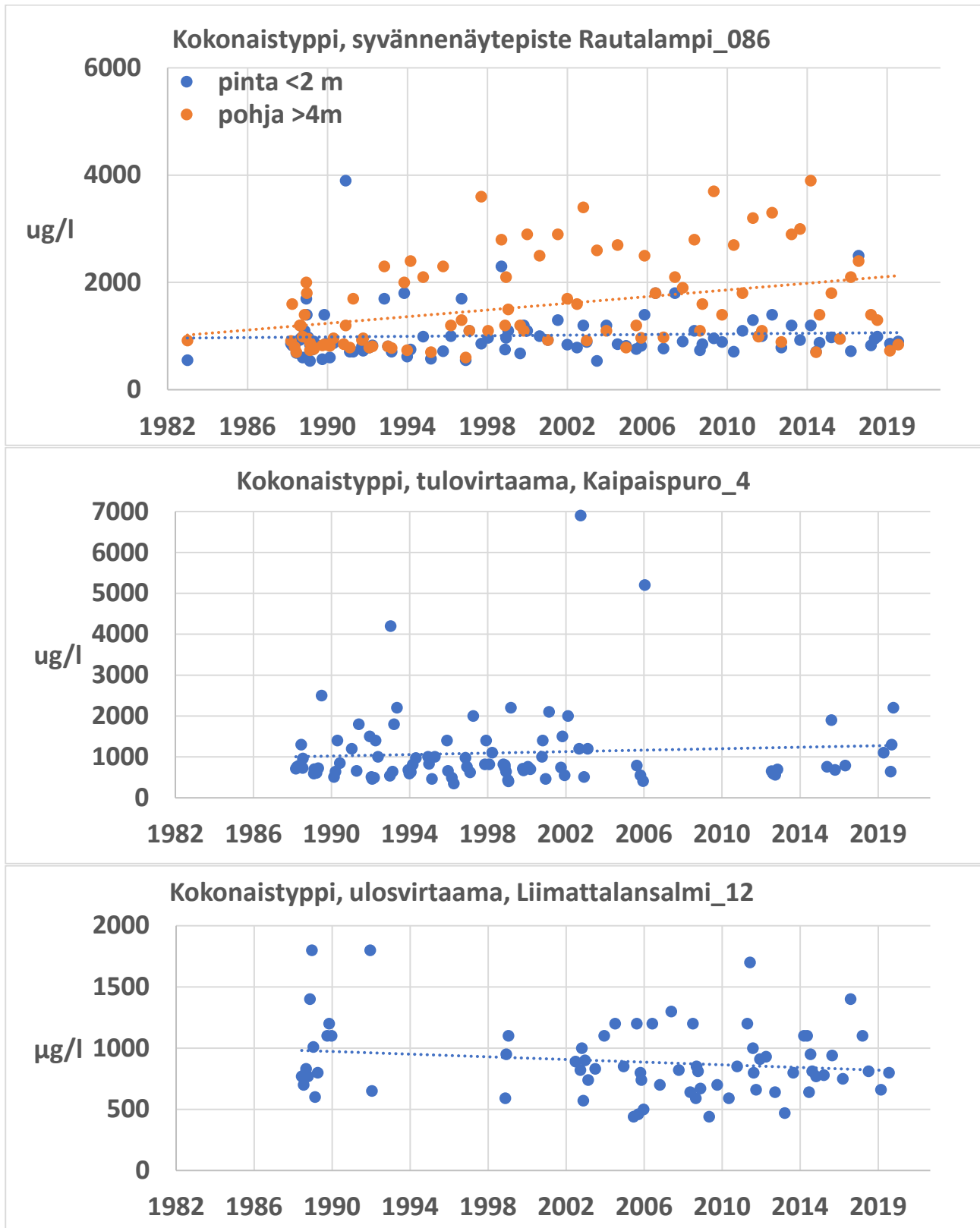


Kuva 2. Kokonaisfosforipitoisuuden kehitys Rautalampi -järvessä mittaushistorian aikana.

Yläkuva: Pinta- ja pohjakerros syvännenäytepisteessä (Hertta ympäristötietokanta, näytepiste Rautalampi_086).

Keskikuva: Järven päätulovirtaama (näytepiste Kaipaispuro_4)

Alakuva: Järven ulosvirtaama (näytepiste Liimattalansalmi_12)

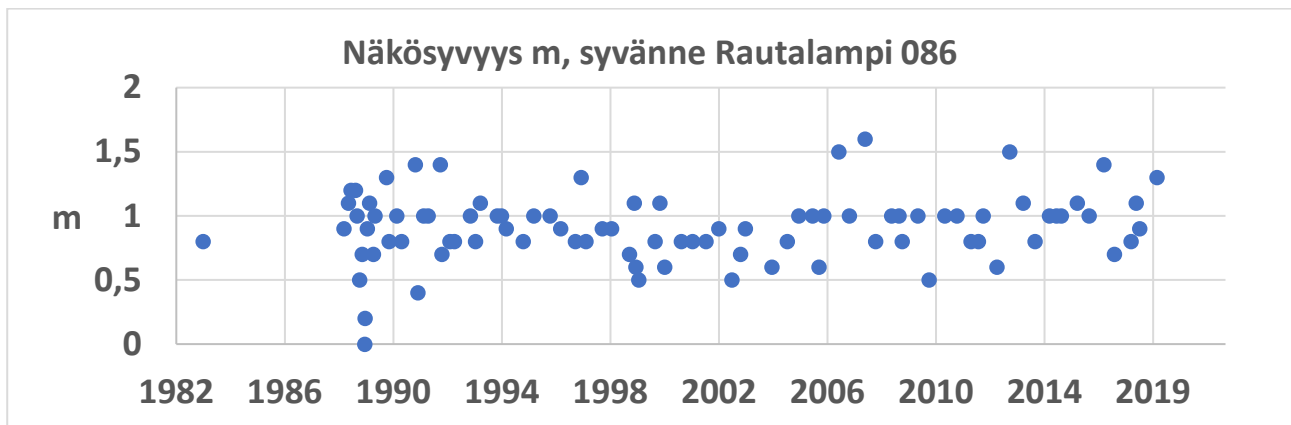


Kuva 3. Kokonaistyyppipitoisuuden kehitys Rautalampi järven mittaus historian aikana.

Yläkuva: Pinta- ja pohjakerros syvännenäytepisteessä (Hertta ympäristötietokanta, näytepiste Rautalampi_086).

Keskikuva: Järven päätulovirtaama (näytepiste Kaipaispuro_4)

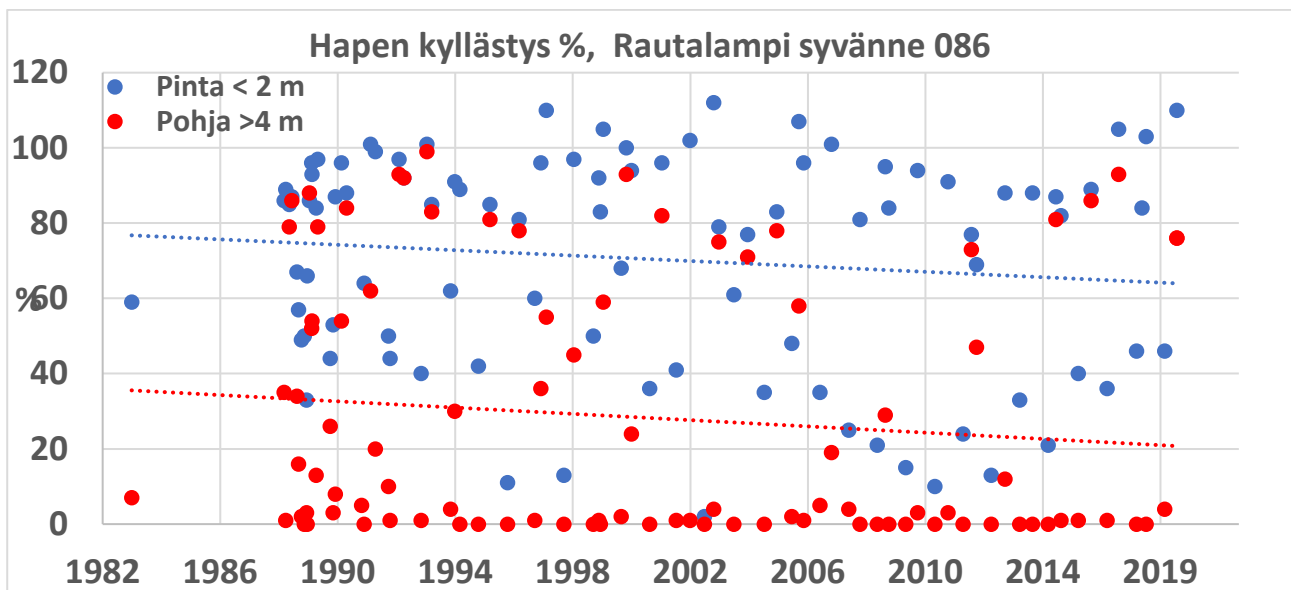
Alakuva: Järven ulosvirtaama (näytepiste Liimattalansalmi_12)



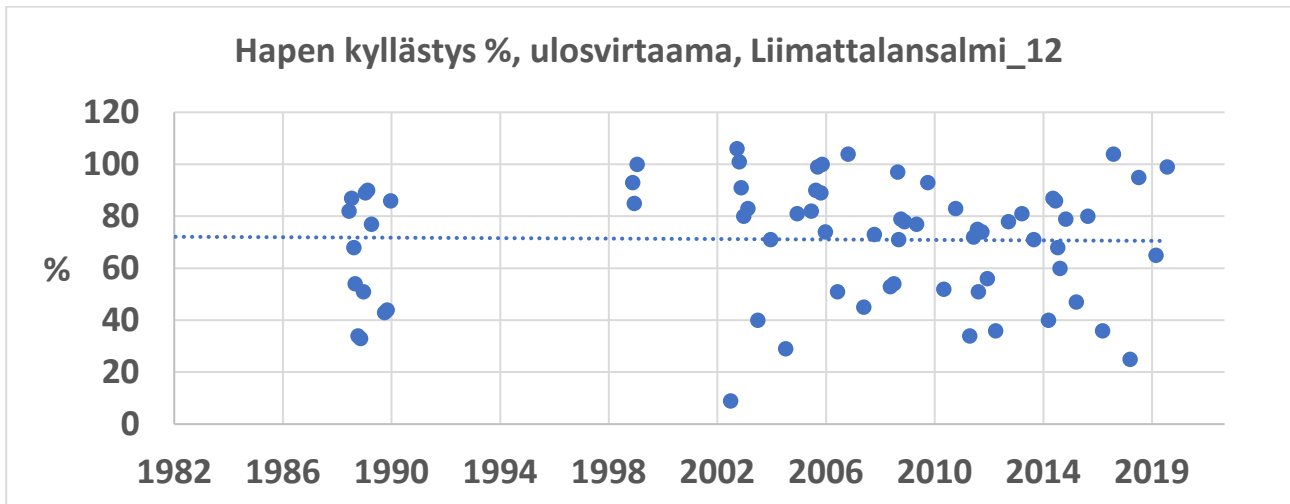
Kuva 4. Näkösyyvyyden mittaushistoria syvännenäytepisteessä (*Hertta ympäristötietokanta, näytepiste Rautalampi_086*).

3.3. Happi

Syvänteen happitilanteessa on koko mittaushistoriassa heikkenevä trendi sekä pinta- että pohjakerroksessa (kuva 5). Tilanne näyttäisi kuitenkin olleen heikoin 2000-luvun alkuvuosina ja koko vesipatsaan keskimääräinen tilanne on kohentunut vuodesta 2014 alkaen. Liimattalansalmen ulosvirtaaman happikyllästeisyyden vaihtelu on ollut saman kaltaista koko mittaushistorian (kuva 6). Ulosvirtaaman lukemat kuvannevat pienialaista syvännettä paremmin järven matalan päävesialueen happitilannetta.



Kuva 5. Hapen kyllästysprosentin kehitys syvännenäytepisteen *pinta- ja pohjakerroksessa* (*Hertta ympäristötietokanta, näytepiste Rautalampi_086*).



Kuva 6. Hapen kyllästysprosentin kehitys järven ulosvirtaamassa (*Hertta ympäristötietokanta, näytepiste Liimattalansalmi_12*).

4. Ravinnekuormituksen alentaminen

Ravinnekuormitustarkastelussa keskitytään vain kokonaisfosforiin (P_{tot}). Fosfori on Rautalampi -järvessä levätuotantoa säätelevä minimiravinne. Fosforin merkitys myös sisäisen kuormituksen kautta järven rehevyytason ylläpitäjänä on tyypeä suurempi. Ylimääräinen tyyppi poistuu ulkoisen kuormituksen alenemisen jälkeen vesiekosysteemistä fosforia nopeammin (Jeppesen ym. 2005).

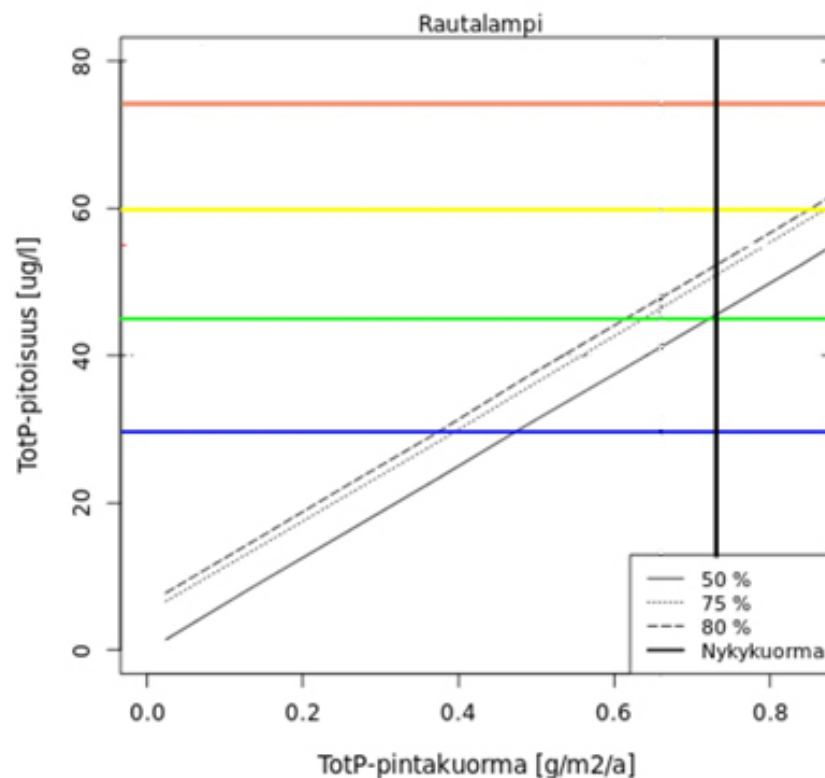
Suomen ympäristökeskus ylläpitää valuma-aluekohtaista ja jatkuvasti päivittyvää VEMALA vedenlaatumallia, jonka kuormitustarkastelu perustuu mm. satelliittikuvista saataviin maankäyttökäyttömaisiin, peltojen maalaji-, kaltevuus- ja viljavuustietoihin, metsien ojitus- ja hakkuutietoihin, lupatarkkailujen pistekuormitustietoihin sekä rakennus- ja huoneistorekisteritietoihin. Maankäyttömuotojen kuormitus muuntelee hydrologisten olosuhteiden mukaan ja tämä otetaan mallissa huomioon (sadanta -> huuhtoumat). (https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Vesi/Mallit_ja_tyokalut). VEMALAN vuosien 2010-2019 tarkastelujaksolla Rautalampi -järven valuma-alueen kokonaisfosforivalunta järveen on keskimäärin 1095 kg vuodessa, mikä tekee pintakuormana 0,73 g/m²/v (taulukko 3). Valunnasta kolme neljänestä on ihmisen toimintaan liittyvää kuormitusta. Ylivoimaisesti suurin yksittäinen kuormituslähde on peltoviljely, jonka osuus ravinnevalumasta on 62 % ja varsinaisesta kuormituksesta 84 %. Haja-asutuksen jätevesien osuus kuormituksesta on laskennallisesti 6 %. Muiden yksittäisten kuormituslähteiden osuus jää 0-2 % tasolle. VEMALA ennustaa järven fosforipitoisuudeksi hieman havaittua suurempaa lukemaa eli valuma-alueen maankäyttö selittää hyvin pitoisuuden eikä alueelta ole tarvetta etsiä mitään normaalista poikkeavaa kuormituslähdeä. Sekä VEMALAN että tulo- ja lähtövirtaamien fosforipitoisuuksien erotuksen (kuva 2) perusteella järvi on fosforia pidättävä. Tulokuormasta keskimäärin 28 % pidättyy järven pohjasedimenttiin. Kyse on keskimääräisestä tilanteesta ja järvessä voi tästä huolimatta esiintyä lyhytaikaista sisäistä kuormitusta.

Rautalammen valuma-alueella on ollut kaksi turvetuotantoaluetta, jotka ovat kuitenkin tätä selvitystä tehtäessä poistuneet käytöstä. VEMALA laskelmassa turvetuotannon fosforikuormituksen osuus näkyy taulukon 3 pistekuormitus rivillä ja tiedot tulevat suoraan toiminnan kuormitustarkkailusta. Turvetuotanto ei yleensä ole erityisen merkittävä kuormittaja fosforin suhteen, mutta tyyppien ja humuksen suhteen selvästi suurempi tekijä, kuten soiden ojitus yleensäkin. Kun tarkastellaan levätuotantoa (ja loppukesän kalakuolemiin) ensisijaisesti vaikuttavaa minimiravinnetta eli fosforia, turvetuotannon vaikutus jää Rautalampi -järvessä vähäiseksi suhteessa peltoviljelyyn.

Vuosien 2010-2019 vesinäytehavaintojen ja VEMALAN virtaamamallin avulla voidaan tehdä Lake Load Response analyysi fosforikuormituksen ja järviveden fosforipitoisuuden keskinäisestä riippuvuussuhteesta (LLR, Pätynen ym. 2010) (kuva 7). LLR analyysillä voidaan esimerkiksi osoittaa, paljonko fosforikuormitusta voidaan sallia, jotta järvi olisi ravinteisuuden suhteen ekologisesti Hyvässä tai jopa Erinomaisessa tilassa. Analyysin perusteella järven tila on nykykuormituksella todennäköisimmin Tyydyttävä. Hyvään tilaan päästäisiin 80 % todennäköisyydellä, jos ravinnealunaa alennettaisiin noin viidenneksellä. Erinomainen tila vaatisi vastaavasti kuormituksen puolittamista.

Taulukko 3. Rautalampi järven fosforikuormituksen lähteet vuosien 2000-2019 keskiarvona valuma-alueen maankäytön ominaiskuormituslaskentaan perustuvan VEMALA mallin perusteella. Taulukon alaosassa on mallin ennustama ja havaittu kokonaisfosforipitoisuus järvessä.

Lähde	Kokonaisfosfori		
	kg /vuosi	% valunnasta	% kuormituksesta
Luonnonhuuhtouma	279	25	
Peltoviljely	682	62	84
Metsätalous_hakkuut	12	1	2
Metsätalous_kunnostusojitus	2	0	0
Metsätalous_lannoitus	4	0	0
Metsät_muu	22	2	3
Haja-asutus	51	5	6
Loma-asunnot	2	0	0
Hulevesi	1	0	0
Laskeuma veteen	23	2	3
Pistekuormitus	17	2	2
Yhteensä	1095	100	100
pintakuorma g/m2/vuosi	0,73		
Kokonaisfosforipitoisuus järvessä			
Ominaiskuormituksen ennustama	44,61	ug/l	
Havaittu	42,07	ug/l	

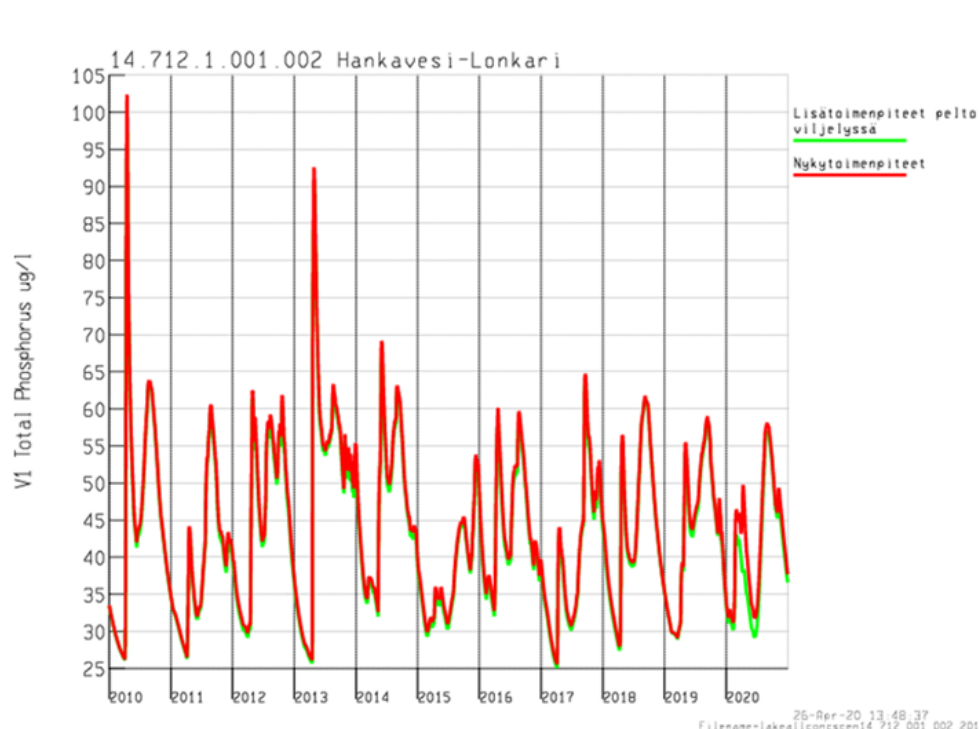


Kuva 7. Vuosien 2010-2019 VEMALA mallinnuksen sekä vedenlaatuseurannan perusteella Rautalampi -järvelle tehty fosforikuormituksen Lake Load Response analyysi. Musta pystyviiva kuvaa nykyistä pintakuormatasoa 0,73 g/m²/a. Värilliset poikkiviivat kuvaavat järviyypin eri tilaluokkien ylärajoja fosforipitoisuudelle.

4.1 Peltoviljelyn lisätoimenpiteiden potentiaali

Kuormituksen vähentäminen kaikessa valuma-alueen ihmistoiminnassa on suotavaa, mutta merkityksellinen kuormituslennus voidaan Rautalampi -järvestä saavuttaa vain peltoviljelyn kuormitusta leikkaamalla. Kuten jo aiemmin todettiin, peltoviljelyn aiheuttama fosforikuormitus on monilla maamme alueilla vähentynyt selvästi EU aikana ja sama kehitys on nähtävissä myös Kaipaispuron fosforipitoisuudessa (kuva 2). Muun muassa peltomaan fosforipitoisuudelle ja vuotuisille lannoitusmäärille on asetettu rajoitteet, joita valvotaan tavanomaisten viljelyn ympäristötukiehtojen mukaisesti (**ns. tavanomaiset toimet**).

VEMALAn yksi lisäosa mallintaa peltoviljelyssä saavutettavaa kuormitusalenemaa, mikäli valuma-alueella otetaan käyttöön maksimimäärä peltoviljelyn **lisätoimenpiteitä**, joille viljelijät voivat saada erillistä tukea. Mallinnuksessa on otettu huomioon mahdollisuudet peltojen kipsikäsittelyyn, tarkennettuun lannoitukseen, talviaikaiseen kasvipeitteisyyteen, kerääjäkasveihin, suojavyöhykkeisiin ja lietelannan tarkkaan sijoitukseen. Menetelmät ovat tehokkaimpia Varsinais-Suomen tyyppisillä viljanviljelyalueilla. Sen sijaan tyypillisillä nurmiviljelyalueilla, kuten Rautalammin, lisätoimien teho jää heikommaksi. Mallinnuksen mukaan maksimaalisesti hyödynnettynä näiden aikaansaama fosforikuormituksen alenema Rautalampeen olisi peltoviljelyssä 10 % (682 -> 611 kg P/v) (kuva 8) ja kokonaiskuormituksessa 6 % (1075 -> 1025 kg P/v). Koska kyse on vapaaehtoisista toimenpiteistä, joiden toteutettavuus todellisuudessa ei ole täysimääräistä, voitaneen peltoviljelyn lisätoimenpiteillä päästä parhaimmillaan karkeasti puoleen edellisistä luvuista eli noin 3 % alenemaan kokonaiskuormituksessa.



Kuva 8. Peltoviljelyssä käyttöön otettujen, erillistettävien lisätoimenpiteiden maksimaalisen käyttöönoton vaikutus Rautalammin peltoviljelyn vuosien 2010-2020 fosforikuormitukseen VEMALA mallinnuksen perusteella. Punainen valunnan mukaan vaihtuva käyrä kuvaa nykyistä tilannetta ja vihreä käyrä tilannetta lisätoimenpiteiden kanssa. Toimenpiteet on kuvattu tekstissä.

4.2 Vesiensuojelukosteikkojen potentiaali

VEMALASSa on myös vesiensuojelukosteikot -osio, joka laskee valuma-alueelle potentiaalisten kosteikkojen sijainnin ja lukumäärän muun muassa maaston korkeuden ja maankäytön perusteella. Valitettavasti laskentaa ei ole tehty Kaipaispuron alueelle. Rautalampi -järven lähivaluma-alueen ja viereisen, ominaisuuksiltaan Kaipaispuron alueen kaltaisen Lonkarinjoen valuma-alueen laskennan perusteella Rautalammen valuma-alueen potentiaali olisi kuitenkin yhteensä noin 25 kosteikkoa, joilla voitaisiin käsitellä noin 40 % peltoalueiden valunnasta. Jos nämä kaikki toteutettaisiin, voitaisiin peltoviljelyn aiheuttamaa fosforikuormitusta alentaa karkeasti 14 % ja kokonaiskuormitusta 8,5 % (taulukko 4). Tässäkin lienee syytä olettaa kosteikkojen käytännön maksimimääräksi korkeintaan puolet potentiaalista, jolloin vastaavat luvut olisivat 7 ja 4 %.

Taulukko 4. Rautalampi -järven valuma-alueen peltoviljelykosteikoiden rakentamiskustannus ja mahdollinen kuormitusvähennys eri vesiensuojelukosteikkojen määrillä, kun yhden kosteikon valuma-alueeksi oletetaan keskimäärin 15,8 ha (Lonkarinjoelle VEMALASSA laskettu keskiarvo) ja kosteikolla saatavaksi fosforireduktioksi 34 % (Hjerppe 2013). Kosteikkokäsittelyyn soveltuvan peltopinta-alan oletetaan olevan enintään 40% kokonaispinta-alasta (Lonkarinjoelle VEMALASSA arvioitu osuus)

Kosteikot			valuma-alue		Kuormituksen vähennys		
kpl	a €	yht €	ha	% peltoalasta	kg	% peltoviljelyn kuormituksesta	% kokonaiskuormituksesta
5	16000	80000	79	8	18,6	2,7	1,7
10	16000	160000	158	16	37,1	5,4	3,4
15	16000	240000	237	24	55,7	8,2	5,1
20	16000	320000	316	32	74,2	10,9	6,8
25	16000	400000	395	40	92,8	13,6	8,5

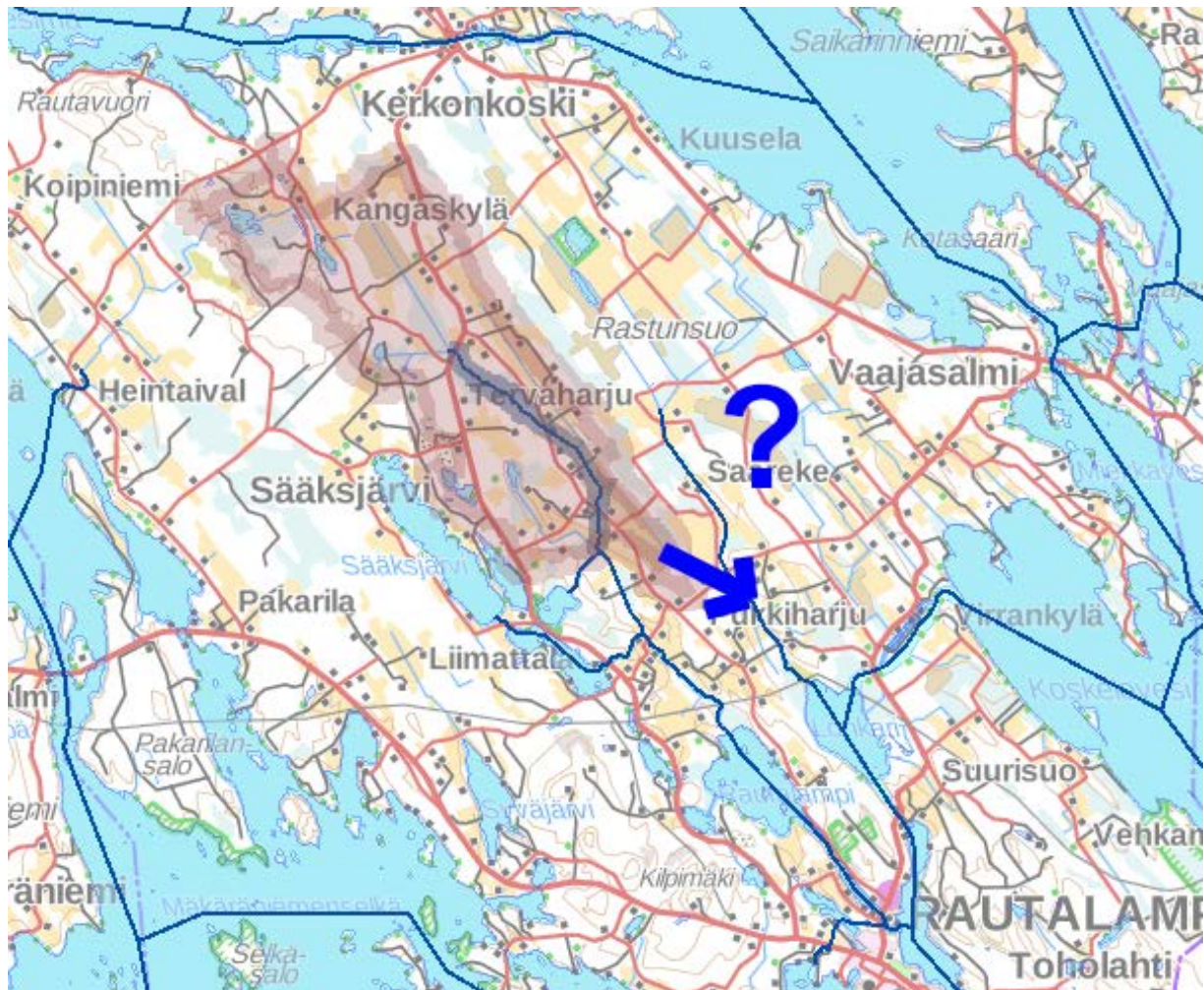
4.3 Kaipaispuron yläosan valunnan käänö Lonkarinjokeen ja Lonkariin?

Edellä kuvatun perusteella kuormituksen tehokas ja merkityksellinen alentaminen on vaikeaa valuma-alueen nykyisillä peltopinta-aloilla. Peltoviljelyn lisätoimenpiteiden ja vesiensuojelukosteikkojen käyttöönottolla voitaisiin peltoviljelyn kuormitusta realistisesti ajateltuna alentaa yhteensä hieman alle 10 %. Tehokkain tapa vähentää Rautalampi -järven ravinnekuormitusta olisikin kääntää Kaipaispuron yläosan vedet viereiseen Lonkariin. Viereisten valuma-alueiden laskujokien lähekkäisyys ja välimaaston pienet korkoerot tekisivät tämän mahdolliseksi. Kuvassa 9 esimerkinomaisesti esitetty käännettävä valuma-alue on kooltaan 19,8 km² (37 % Rautalammen valuma-alueesta) ja pitää sisällään 4,48 km² peltoa (45 % Rautalammen valuma-alueen peltopinta-alasta). Toimenpide alentaisi järven fosforikuormitusta karkeasti 38 % (300 kg/a). Toimenpiteen jälkeen Rautalampi -järven pintakuormaksi jäisi noin 0,5 g/m²/v, jolloin järveden fosforipitoisuus laskisi tasolle 30 µg/l eli kyseisen järvityypin hyvän ja erinomaisen tilan rajalle.

Muutos lisäisi Lonkarin valuma-aluetta vain 0,4 % eli vaikutus Lonkarissa olisi sekä virtaaman että veden laadun osalta merkityksetön. Rautalammin keskivesikorkeuteen muutoksella ei myöskään liene vaikutusta, koska sen vesikorkeus on sama kuin Hankaveden, johon vedet laskevat myös Lonkarin kautta. Toimenpide nostaisi myös Rautalampi järven valuma-alueen järvisyysprosenttia 9,6 -> 14,5 %:iin, millä olisi osaltaan positiivinen vaikutus järven valuvan veden laatuun.

Kaivuu-urakkana noin 3,5 kilometrin uoma ei liene merkittävä, koska työssä voitaisiin hyödyntää paljolti nykyisiä ojalinjoja. Hanke vaatisi kuitenkin tarkan suunnittelun, AVI:n luvan ja aiheuttaisi todennäköisesti uoman varren yksityisalueiden korvaus/lunastuskuluja. Uoma tulisi lähtökohtaisesti suunnitella ja rakentaa

mahdollisimman suurelta osin luonnonpuron kaltaiseksi. Kokonaiskustannusarvio suunnittelulle, luvitukselle ja toteutukselle on 130 000 – 150 000 € alv 0 %.



Kuva 9. Vaihtoehtoinen Kaipaispuron yläosan valuntasuunta Lonkarinjokeen ja Lonkariin Rautalampi -järven kuormituksen alentamiseksi.

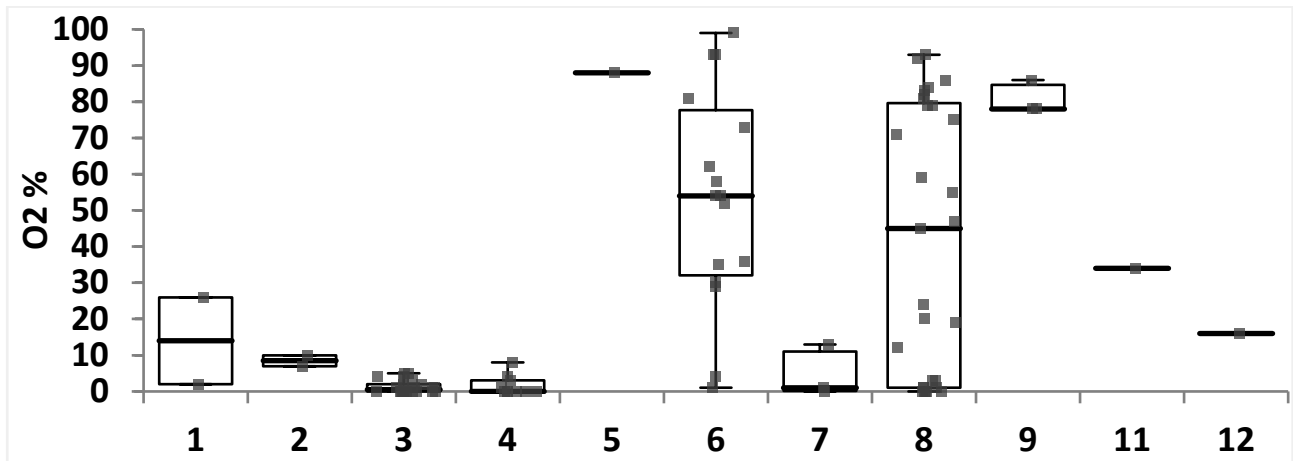
5. Hapetus

Rautalammen syvänneäytepisteessä alusvesi käy ajoittain hapettomana tai vähähappisena (kuva 10). Kevättalvella hapettomuus on säännöllistä ja kesän kerrostuneisuuskaudella kesä-elokuussa satunnaista. Suhteellisen harvalukuisten kesäaikaisten pohjan hapettomuushavaintojen perusteella tuuliset säät rikkovat syvänteiden kerrostuneisuuden herkästi, jolloin vesi pääsee vaihtumaan ja hapettumaan. Syvänteen pintavesi säilyy kesän läpi hyvähappisena, kevättalvella happipitoisuus pintavedessäkin saattaa olla melko matala mutta varsinaista hapettomuutta ei esiinny (kuva 11). Hyvin samanlainen tilanne on Liimattalansalmen vedessä (kuva 12).

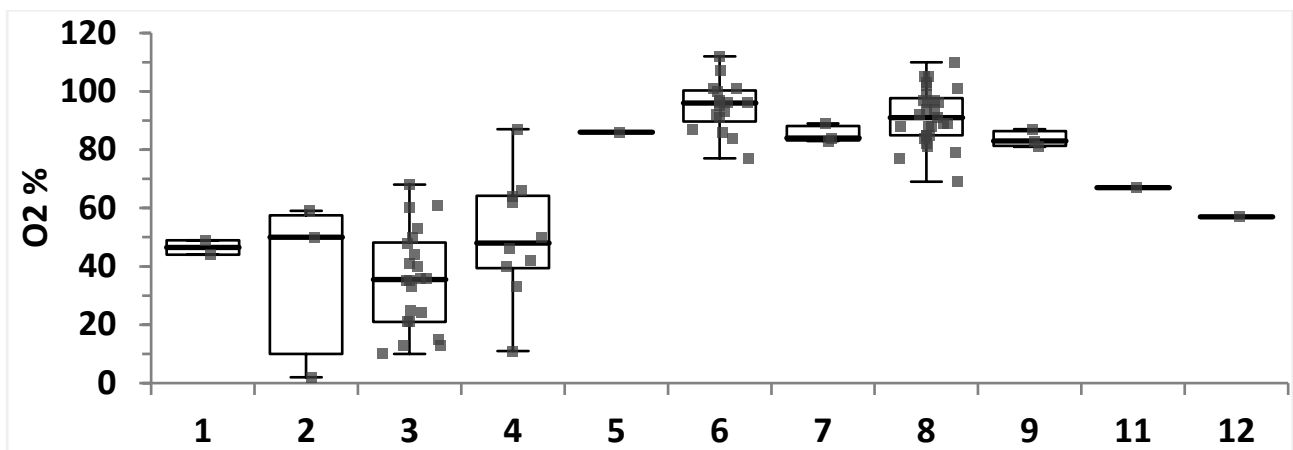
Happipitoisuuden ja kokonaisfosforin korrelaatio syvänteen vesinäytteissä on hapen esiintyessä liki olematon; fosforipitoisuus nousee vasta kun happi loppuu tai on hyvin vähissä (kuva 13). Hapettomissa tilanteissa syvänteveden fosforipitoisuus voi nousta kymmenkertaiseksi tavanomaiseen nähden. Toisaalta pitoisuus laskee heti kun happea on läsnä. Ilmeisestikin sedimentissä on runsaasti rautaa ja alumiinia, jotka sitovat hapellisissa olosuhteissa fosforin tehokkaasti metallifosfaateiksi. Mikäli esimerkiksi raudan ja fosforin suhde sedimentissä on alle 15, fosforinpidätyskyky alkaa heikentyä hapellisissakin olosuhteissa (Jensen ym. 1992).

Rautalampi -järvi on matala järvi, jonka kaksi erillistä syvännettä ovat hyvin pienialaisia (kuva 14). Tämän projektin yhteydessä tehdyn syvyyskartoituksen¹⁾ perusteella järven keskisyvyys MW tilanteessa on 1,4 m ja syvin kohta 6,7 m. Syvänteiden pohjakerrosten (syvyys > 4m) tilavuus on vain 0,66 % järven kokonaistilavuudesta (taulukko 5). Näissä olosuhteissa syvänteiden ajoittainen hapettomuus ei veden tehokkaasti sekoittuessaan voi aiheuttaa merkittävää ravinlasisäystä järveen. Lisäksi hapettomuudessa liuenneen fosforin ilmeisen nopea saostuminen takaisin sedimenttiin hapen läsnä ollessa estää hapen puutteeseen liittyvän sisäkuormituksen leviämisen etäälle syvänteistä.

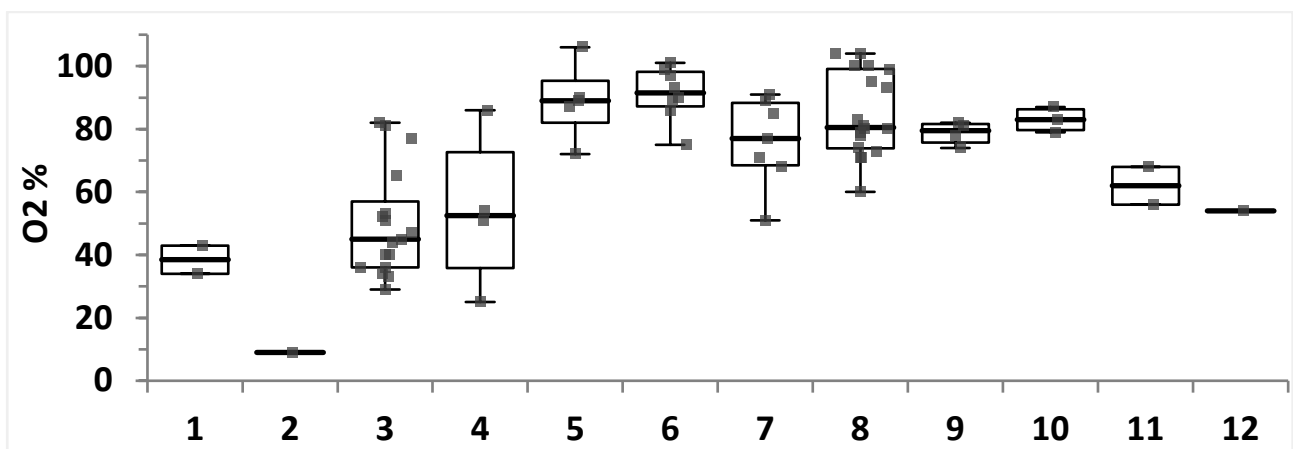
Hapetus on nähty perinteisesti kunnostusmenetelmänä, jonka avulla järven akuuttia happivajetta pyritään korjaamaan hetkellisesti. Useilla tutkimuskohteilla hapetuksella saavutetut tavoitteet veden laadun osalta ovat jääneet vähäisiksi tai niiden saavuttaminen on jäänyt kyseenalaiseksi ja osa tutkimuksista pitää kierrätyshapetusta toimimattomana kunnostustekniikkana (Vesala 2016 ja siinä lähemmin mainitut lähteet, Horppila ym 2017). Vuosikymmeniä kestävä ympärivuotinen hapetus ei ole tarkoituksenmukaista, vaan järvikunnostuksissa tulisi löytää ratkaisu, joka auttaa järveä elpymään hyvään ekologiseen tilaan pysyvästi ilman jatkuvaa hoitoa (Vesala 2016). Syvänteiden hapetukseen tulisi erityisesti pienissä humusjärvissä suhtautua väliaikaisena kunnostustoimenpiteenä, koska sillä ei näytä näissä olevan merkittäviä vaikutuksia veden laatuun eikä järven trofiatasoon (Kuha ym. 2016). Muun muassa Rautalammen yläpuoleisessa Sääksjärvessä syvänteen pohjakerros käy Rautalammen tapaan säännöllisesti hapettomana, mutta järvi on vähäravinteinen (P_{tot} noin 10 – 15 $\mu\text{g/l}$). Toisaalta esimerkiksi talviaikaisessa hapetuksessa, jossa tavoitteena on lähinnä kalakuolemien estäminen, asetetut tavoitteet on usein saavutettu (Martinmäki ym. 2012). Rautalammessa talviaikaisten kalakuolemien todennäköisyys on kuitenkin lähes olematon, koska pintaveden happipitoisuus näyttäisi historiassa säilyneen riittävänä vaihtolämpöisten kalojen talviaikaiseen tarpeeseen. Veden runsasravinteisuudesta johtuvaan, vuoden 2019 kaltaiseen loppukesän yöaikaiseen happiongelmaan (runsas levien perustuotanto päiväaikaan, runsas happea kuluttava levien hajotus yöaikaan) tehoavaa ja kustannuksiltaan järkevää hapetusmenetelmää taas ei ole olemassa. Pienetkin tuulet hapettavat laajoja matalia vesialueita huomattavasti tehokkaammin kuin paikalliset mekaaniset ilmastimet (Patalas 1961). Hapetus ei ole Rautalampi-järvelle tarpeellinen eikä soveltuva kunnostusmenetelmä.



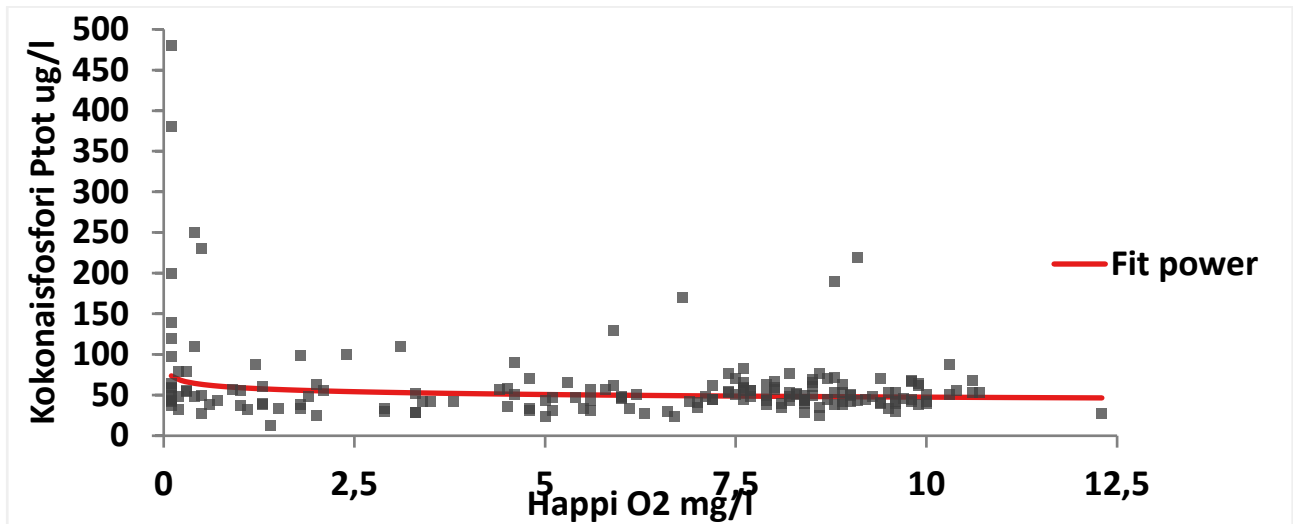
Kuva 10. Syvännenäytepisteen pohjakerroksen (syvyys ≥ 4 m) happikyllästeisyyden (%) kuukausittainen vaihtelu mittaushistoriassa 1982-2019 (Hertta ympäristötietokanta, näytepiste Rautalampi_086).



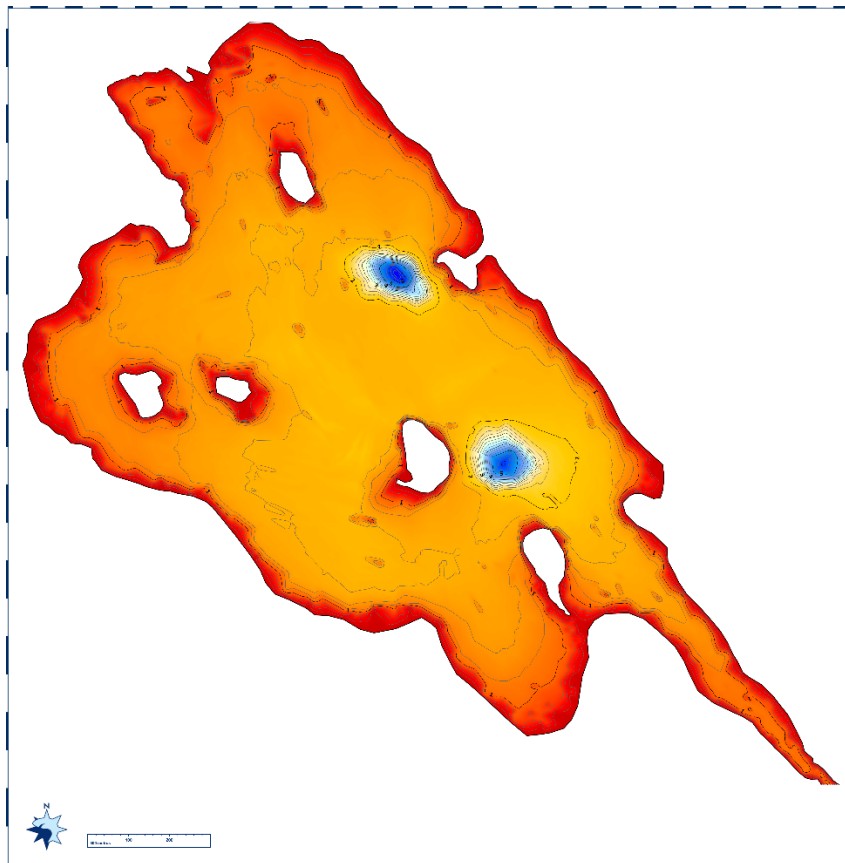
Kuva 11. Syvännenäytepisteen pintakerroksen (syvyys 0-2 m) happikyllästeisyyden (%) kuukausittainen vaihtelu mittaushistoriassa 1982-2019 (Hertta ympäristötietokanta, näytepiste Rautalampi_086).



Kuva 12. Liimattalansalmen happikyllästeisyyden (%) kuukausittainen vaihtelu mittaushistoriassa 1982-2019 (Hertta ympäristötietokanta, näytepiste Rautalampi_086).



Kuva 13. Syvännenäytteiden (koko vesikerrostuma) happi- ja kokonaisfosforipitoisuuden korrelaatio mittaushistoriassa 1982-2019 (Hertta ympäristötietokanta, näytepiste Rautalampi_086)



Kuva 14. Rautalampi -järvelle keväällä 2020 luodattu syvyyskartta ¹⁾, jossa näkyy pienialaisten syvänteiden sijainti.

Taulukko 5. Rautalampi -järvelle keväällä 2020 luodatus syvyyskartan ¹⁾ perusteella lasketut eri syvyyskerrosten tilavuudet ja pinta-alat MW 96, 42 m N2000 tilanteessa.

Syvyyskerros m	Tilavuus		Pinta-ala	
	m3	%	m2	%
0.00 - 1.00	1333817	62,73	1473692	100
1.00 - 2.00	721514	33,93	1181451	80,17
2.00 - 3.00	37828	1,78	69681	4,73
3.00 - 4.00	19234	0,90	25528	1,73
4.00 - 5.00	9915	0,47	13785	0,94
5.00 - 6.00	3683	0,17	6488	0,44
6.00 - 7.00	339	0,02	1215	0,08
	2126329	100		

1) Luotaus tehtiin Lowrance HDS luotaimella 6.5.2020. Luotainturin syvyys vesipinnasta oli 28 cm. Luotaus tehtiin tyynellä ilmalla. Luotainta ei kytketty RTK-GNSS tason GPS vastaanottajaan, vaan paikkatieto kerättiin laitteen omasta gps laitteesta ja korkeustieto otettiin tyynestä vesipinnasta suhteessa Hankaveden vedenkorkeusaseman 1403600 antamaan lukemaan. Luotaushetkellä vedenkorkeus oli 96,64 m keskivesikorkeuden ollessa 96,42 m N2000. Luotausdataan tehtiin siis 6 cm korjaus ($MW - W_{luotaus} + 28 \text{ cm} = 6 \text{ cm}$) ja se käsiteltiin Reefmaster ohjelmalla, jolla laskettiin myös syvyyteen ja pinta-alaan liittyvät tilastot ja tilavuudet.

6. Hoitokalastus

Särkikalat käyttävät ravinnokseen järvien pohjaeläimiä ja eläinplanktonia ja voivat aiheuttaa vedenlaadun ongelmia kahdella tavalla.

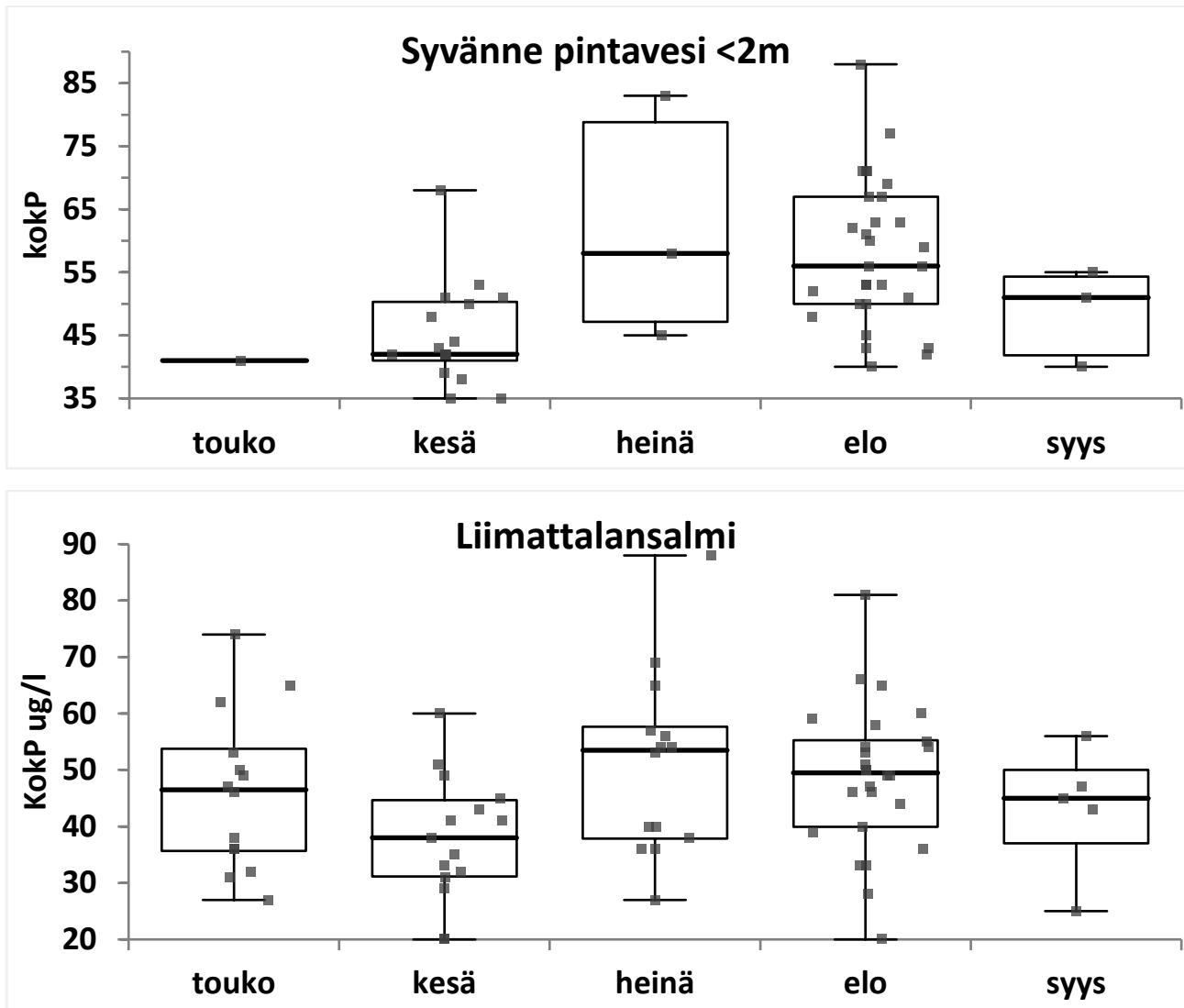
Pohjaeläimiä etsiessään ja syödessään kalat pölyttävät pohjamutaa aiheuttaen suoraa sedimentin ravinteiden sekoittumista veteen. Mitä kovempi pohjaeläinsyöjien ravintokilpailu on, sitä enemmän yksilöt pölyttävät pohjaa saadakseen tarvitsemansa ravinnon. Ravinteet leviävät myös kalojen ulosteiden mukana pohjalta pintaan ja rannalta ulapalle. Tämä kalojen *bioturbation* aiheuttama sisäkuormitus näkyy fosforipitoisuuden nousuna loppukesää kohden, koska vaihtolämpöisten särkikaloiden aktiivisuus ja ravinnonkulutus seuraavat veden lämpötilaa.

Särkikaloiden poikasikäluokat ja osin vanhemmatkin yksilöt syövät eläinplanktonia, joka puolestaan kuluttaa ravinnokseen kasviplanktonia (leviä). Suuri kalamäärä voi kuluttaa etenkin suurikokoisen eläinplanktonin vähiin ja edesauttaa näin levien runsastumista. Kesän aikana tämä *ravintoketjun vinoutuminen* näkyy esimerkiksi veden suurena a-klorofylli- eli lehtivihreäpitoisuutena suhteessa kokonaisfosforiin. Suhteeton levämassa voi valottomassa pohjakerroksessa tai yöaikaan rantavedessäkin hajotessaan aiheuttaa hapen vähyyttä, sedimentin ravinteiden kiertoa veteen, ja kalakuolemiakin. Särkikaloiden ohella eläinplanktonkannan voi romahduttaa myös esimerkiksi runsas kuhan tai ahvenen poikasikäluokka.

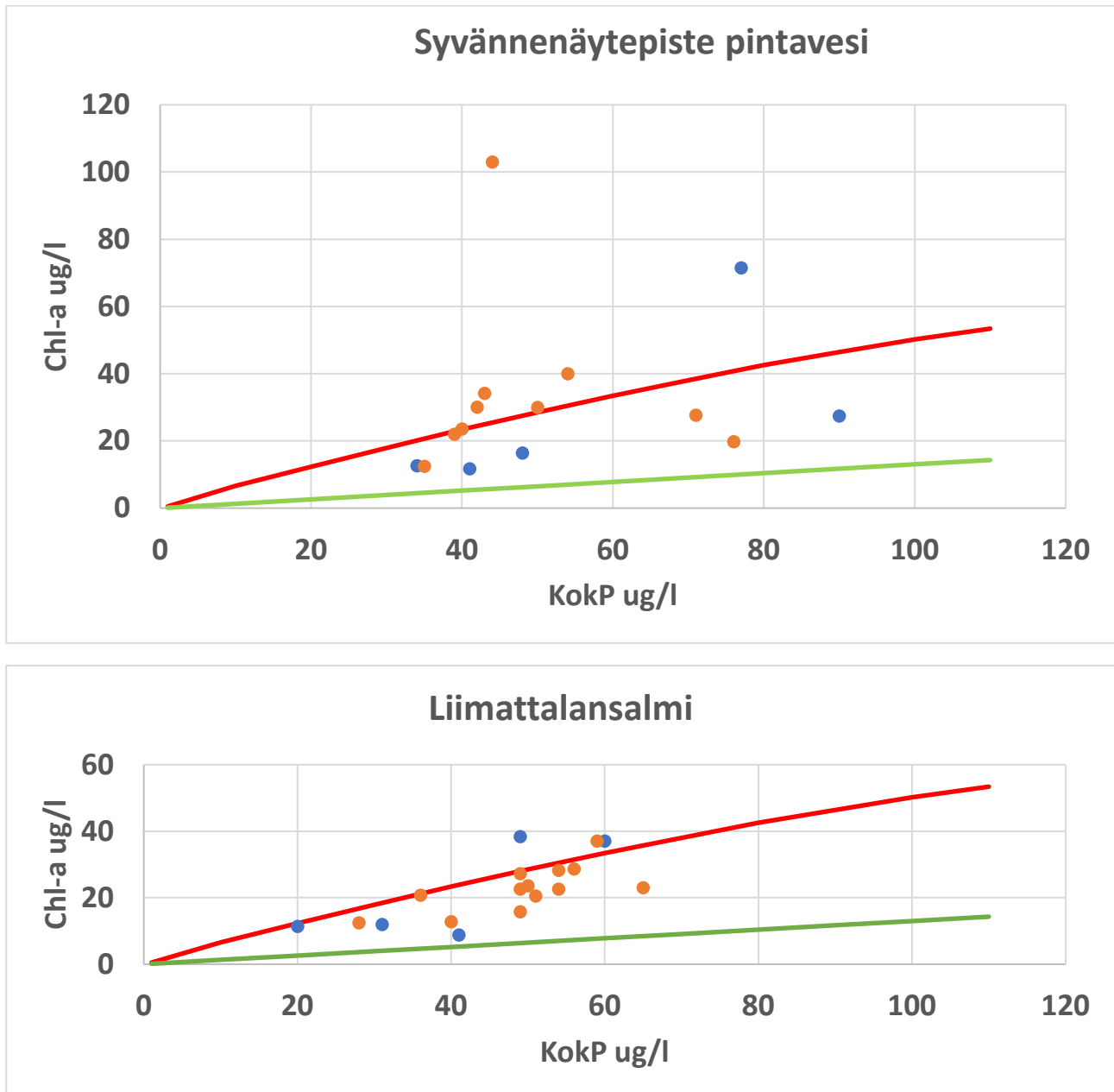
Leväsamennus ja kalojen pohjapölytyksen aikaansaama kiintoainesamennus hankaloittavat näkökykyyn perustavien saalistajien kuten ahvenen, hauen ja kalansyöjälintujen elinolosuhteita ja edesauttavat siten edelleen särkikalaston lisääntymistä.

Rautalampi -järvessä veden fosforipitoisuus nousee kasvukaudella tasaisesti veden lämpötilan mukana. Pitoisuus on suurimmillaan heinä-elokuussa ja tämän jälkeen pitoisuus taas alenee veden viiletessä (kuva 15). Sama rytmi on havaittavissa lievempänä myös Liimattalansalmen vesinäytteissä (kuva 15). Kehitysrytmi on siis tyypillinen kalaston aiheuttamalle sisäkuormitukselle. Fosforipitoisuuden nousu alkukesästä on syvänteellä karkeasti 1,4-kertainen (43 → 60 P µg/l) ja Liimattalansalmessa 1,3-kertainen (40 → 50 P µg/l). Tämä on kuitenkin selvästi vähemmän kuin merkittävästä kalasto-ongelmasta kärsiville järville tyypillinen 2-3-kertainen nousu (Saarijärvi ja Sammalkorpi 2005).

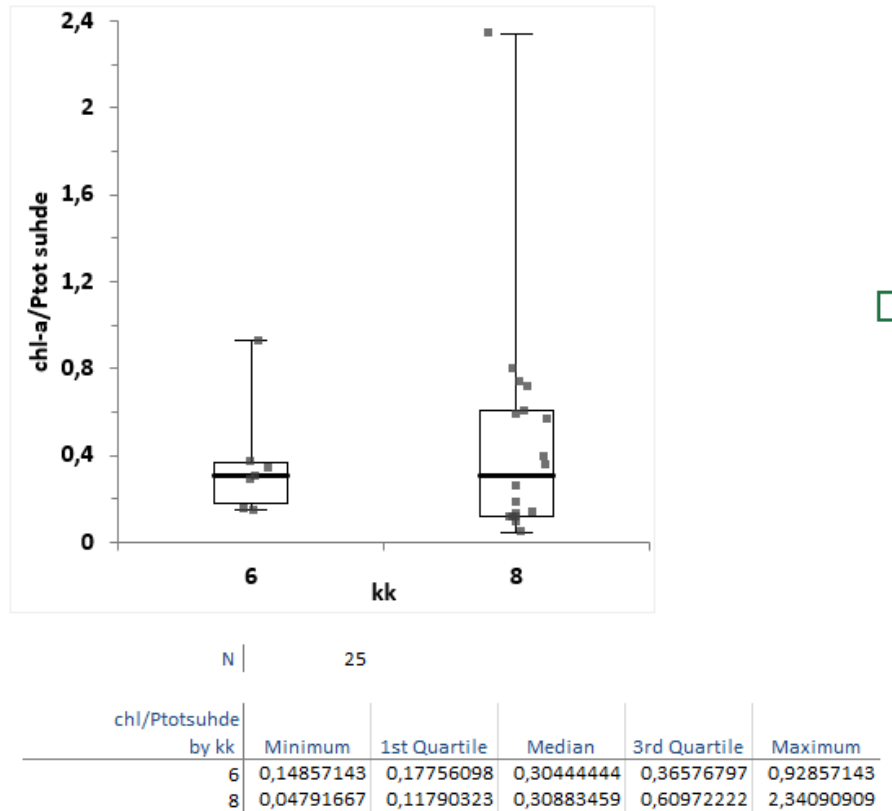
Kasvukauden klorofylli/fosfori suhde on viimeisen vuosikymmenen näytteissä ollut vaihtelevasti joko keskimääräinen tai korkea (kuva 16). Kalasto-ongelmista kärsivissä järvissä klorofylli/fosfori suhde on tyypillisesti yli 0,4 (Sammalkorpi ja Horppila 2005). Syvänteiden mediaani Rautalammessa on noin 0,3 ja todennäköisimmin ylikorkeita suhdelukuja tavataan loppukesällä (kuva 17). Järvessä ei siis näyttäisi olevan pysyväloueisesta ravintoketjuinoutumaa. Kalojen vaikutus eläinplanktonkantaan voi joinakin vuosina nousta normaalia korkeammaksi esimerkiksi kyseisenä kesänä syntyneen voimakkaan ahvenen, särjen tai kuhan poikasikäluokan seurauksena. Yleensä hoitokalastuksella saadaan selkeimmin laskettua veden fosforipitoisuutta ja sitä myöten myös levän määrää pohjapölytyksen vähentymisen vuoksi. Klorofylli/fosforisuhde saattaa vaihdella laajasti kalastuksen jälkeenkin (Hansson ym 1998).



Kuva 15. Rautalampi -järven syvänteen pintaveden ja Liimattalansalmen kokonaisfosforipitoisuuden kuukausivaihtelu toukokuusta syyskuuhun vuosina 1988–2019 (Hertta ympäristötietokanta)



Kuva 16. Kesä- ja elokuun Chl-a/Ptot -suhde Rautalammin syvänteen pintavedessä ja Liimattalansalmessa vuosina 2000-2019 sekä suhteen keskimääräinen vaihteluväli pohjoismaisessa järviaineistossa (punainen =yläraja, vihreä= alaraja). Sininen piste=kesäkuu, ruskea piste = elokuu.



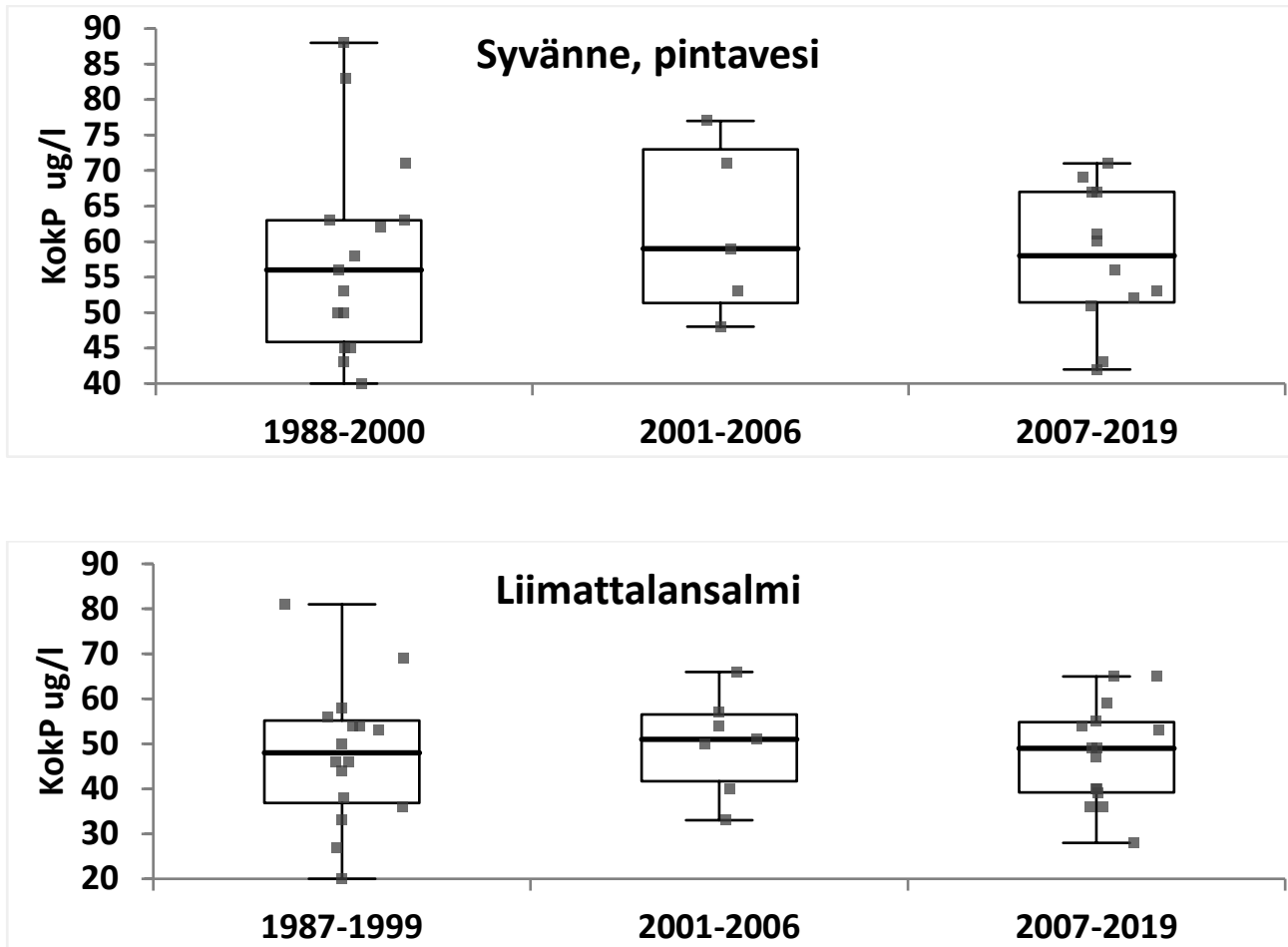
Kuva 17. Chl-a/Ptot -suhdeluvun kesä- ja elokuun jakaumat Rautalammin syvänteen pintavedessä vuosina 2000-2019.

Hoitokalastuksella voidaan teoriassa vähentää Rautalammen loppukesän fosforipitoisuutta maksimissaan 20 %. Samalla saadaan mahdollisesti nostettua jonkin verran näkösyvyyttä. Loppukesän fosforipitoisuuden perusteella laskettuna saalistavoitteen tulisi olla vähintään 137 kg/ha eli 20 000 kg 1-2 vuoden aikana (laskentakaava Sammalkorpi ja Horppila 2005). Kuitenkin, Rautalampi -järveä on jo hoitokalastettu vuosina 2000-2003, jolloin järvestä poistettiin särkikalaa tietyvästi noin 200 kg hehtaarilta (P-Savon ympäristökeskus 2003). Vedenlaatuilastojen perusteella tuolla kalastuksella ei kuitenkaan ollut vaikutusta järven loppukesän kokonaisfosforipitoisuuteen (kuva 18). Yhtenä syynä tähän voi olla järven kynnyksetön yhteys alapuoleisiin suuriin järvioltaisiin, joista poistettu kalamassa voi helposti korvautua uudella. Särkikalasto saattaa tehdä sekä kevät- että syysvaelluksia matalan Rautalammin (nopea lämpeneminen /nopea kylmeneminen) ja alapuoleisten syvien järvien välillä.

Mikäli hoitokalastus kuitenkin katsotaan näillä lähtökohdilla tarpeelliseksi, tulisi saalistavoitteen olla fosforipitoisuuden perusteella siis vähintään 137 kg/ha 1-2 vuoden aikana, mielellään reilusti enemmänkin. Järven mataluus yhdistettynä pienialaisiin syvänteisiin saattavat tehdä kalastuksesta hyvinkin edullista, mikäli särkikalaa parveutuu syksyllä syvänteille. Saalistavoite voidaan tuolloin parhaassa tapauksessa saavuttaa nuottaamalla 2-5 päivänä syys-lokakuun aikana. Nuottauskustannus olisi tällöin ulkopuolisen urakkana noin 5000 – 9000 € (alv 0). Mikäli kala ei parveudu vahvasti syvänteisiin, nuottaus ei muutoin ole näin matalassa järvestä tehokas kalastustapa.

Tällöin jäljelle jää lähinnä rysäpyynti, johon järvi soveltuu hyvin. Sovelias hoitokalastusrysten määrä olisi 10-15 kpl ja pyynnin tulisi kattaa kaksi kevättä (2 x 1,5-2 kk = 3-4 kk). Pyyntikustannus urakkana olisi tuolloin yhteensä noin 30 000 € eli selvästi enemmän kuin syväntenuottausten vaihtoehdossa.

Hoitokalastuksen potentiaalia ja toteuttamistapaa arvioitaessa tulisi siis aluksi panostaa syksyisen syvänneparveutumisen havainnointiin. Vaellukset saattavat siis heikentää hoitokalastusten tehoa, mutta toisaalta vaeltava kala voisi Liimattalansalmessa tarjota hyvän rysäsaalispotentiaalin.



Kuva 18. Heinä-elokuun kokonaisfosforipitoisuus syvänteen pintavedessä ja Liimattalansalmessa ennen, aikana, ja jälkeen hoitokalastuksen. Hoitokalastusjakson vaikutusvuosiksi on tässä oletettu aika, joka alkaa vuosi kalastuksen aloituksesta ja päättyy kolmen vuoden kuluttua kalastuksen päättymisestä (kalastusvuodet olivat 2000-2003).

7. Vesikasvillisuuden poisto

Vesikasvillisuus on olennainen osa järviluontoa ja sillä on tärkeä merkitys ravinteiden kesäaikaisena sitojana. Esimerkiksi laskupuron suulle muodostunut kasvillisuus ja siihen kiinnittynyt pintalevästö voivat pidättää osan selkävesille muutoin kulkeutuvista ravinteista. Kyseessä on siis eräänlainen luonnon oma pintavalutuskenttä tai vesiensuojelukosteikko. Vesikasvillisuus rajoittaa osaltaan veden vapaiden levien kuten sinilevien elinmahdollisuuksia ravintokilpailun ja varjostuksen kautta. Tervettä ravintoverkkoa ylläpitävien petoahventen ja hauen on todettu menestyvän parhaiten vesikasvillisuusvyöhykkeissä. Samoin myös petokoon alla olevat nuoret ahvenet menestyvät kasvillisuusvyöhykkeissä ja särki väistyy, kun taas avovesialueilla särki menestyy ahvenen kustannuksella. (mm. Diehl 1988, Skov ja Nilsson 2018).

Erilaisten tutkimusten yleisesti hyväksytty johtopäätös on, että ravinteisuuden vähentäminen vesikasvillisuutta poistamalla ei ole toimiva kunnostusmenetelmä rehevyydestä kärsivillä järvillä (mm Jorgensen ym. 2005). Myöskään Rautalampi -järvessä vesikasvillisuuden poistoa ei tulisi ottaa käyttöön tällä perusteella. Ravinnekuormituksesta kärsivillä järvillä tulisi pikemminkin pyrkiä säilyttämään tai jopa lisäämään tiheydeltään vaihtelevia vesikasvillisuusvyöhykkeitä. Vesikasvillisuuden poisto tulisi rajoittaa vain virkistyskäytön kannalta tärkeille kohteille kuten uima- ja venerannoille sekä ranta-asutuksen edustoille. Kasvillisuuden laajamittaisempaa harventamista ajoittaisilla niitoilla on suositeltava tehdä vain paikoilla, joissa vaarana on ylitiheän kasvuston aiheuttama veden virtauksen heikentyminen ja ranta-alueen umpeenkasvu. Kasvuston suunnitellulla käsittelyllä voidaan lisäksi laskupurojen suualueilla levittää virtaamaa rannan suuntaisesti ja näin kasvattaa veden viipymää tällä ravinteita sitovalla vyöhykkeellä. Myös ylitiheän kasvuston aukko- ja väylämäisillä harvennuksilla saadaan parannettua niin petokalojen kuin vesilinnustonkin olosuhteita. https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesistöjen_kunnostus/Jarvien_kunnostus/Kunnostusmenetelmat/Vesikasvien_niitto

8. Alivesikorkeuden nosto

Yhtenä järven kunnostusmuotona on esillä ollut alimpien järvessä havaittujen veden korkeustasojen nostaminen noin 40 cm:llä (P-Savon ympäristökeskus 2003), mikä on lähtökohtana tähänkin selvityskokonaisuuteen liittyvässä pohjapadon rakenteen ja mitoituksen suunnittelussa. Alimpien vesipintojen nosto voi näin matalassa järvessä olla perusteltua jo fyysisistä virkistyskäyttösyistäkin, mutta nostolla voidaan mahdollisesti parantaa myös veden laatua ja järven ekologiaa. Matalassa järvessä pohjan vaikutus veden laatuun tuntuu syvää järveä voimakkaammin (mm. hapettomuus, sisäinen kuormitus). Vedenpinnan nosto kasvattaa vesitilavuutta, jolloin kevättalven happitilanne järvessä voi parantua pohjasedimentin happea kuluttavan vaikutuksen kohdistuessa suurempaan vesimassaan. Kesällä aallokon aiheuttama pohjasedimentin sekoittuminen vähenee, jolloin myös sisäinen kuormitus laskee. (Sarvilinna ja Sammalkorpi 2010).

Vedenlaatuhistorian mukaan Rautalammen syvännenäytepisteen kasvukauden (kesä-syyskuu) aikainen pintaveden fosforipitoisuus on ollut sitä suurempi, mitä matalammalla vesi on näytteenottohetkellä ollut (kuva 19). Vähävetiset kesät ovat yleensä myös keskimääräistä lämpimämpiä, mutta fosforipitoisuuden ja veden lämpötilan välillä ei käytännössä näyttäisi olleen riippuvuutta (kuva 19). Myös hapen kyllästys on ollut suurimmillaan veden ollessa alimmillaan (kuva 19). Ilmeisesti sekä tuulen aiheuttama pohjasedimentin sekoittuminen veteen että vesipatsaan ja ilman hapen sekoittuminen ovat tässä matalassa järvessä tehokkaimmillaan alhaisilla vedenkorkeuksilla. Tehokkaampi tuulisekoittuminen lisää näin sekä kokonaisfosforin että hapen pitoisuutta vedessä. Mikäli hapen kyllästysprosentti laskisi veden pinnan laskiessa, voisi fosforipitoisuuden samanaikainen nousu liittyä ennemminkin syvänteiden ajoittain hapettomasta pohjakerroksesta tapahtuvaan suurempaan ainevirtaukseen matalan veden aikaan. Tuolloin tulokset kuvaisivat lähinnä pienialaisen syvänteiden tilannetta eikä välttämättä koko järveä. Mutta näidenkään tulosten perusteella syvänteiden ajoittainen hapettomuus ei siis näyttäisi olevan merkityksellinen vedenlaatuongelmien aiheuttaja.

Kuormitusmalli -perusteisestikin laskettuna loppukesän vesikorkeuden ja vesitilavuuden kasvu vaikuttavat veden ravinnepitoisuutta laskevasti. Rautalammen tapauksessa 0,5 metrin alivesikorkeuden nousu alentaa laskennallista fosforipitoisuutta noin 10 % (taulukko 6). Tämä on kuitenkin vain noin 1/3 kuvasta 19 tulkittavissa olevasta muutoksesta. Tuulisekoittuminen on siis ensisijainen fosforipitoisuuden nousun syy alhaisilla vesikorkeuksilla.

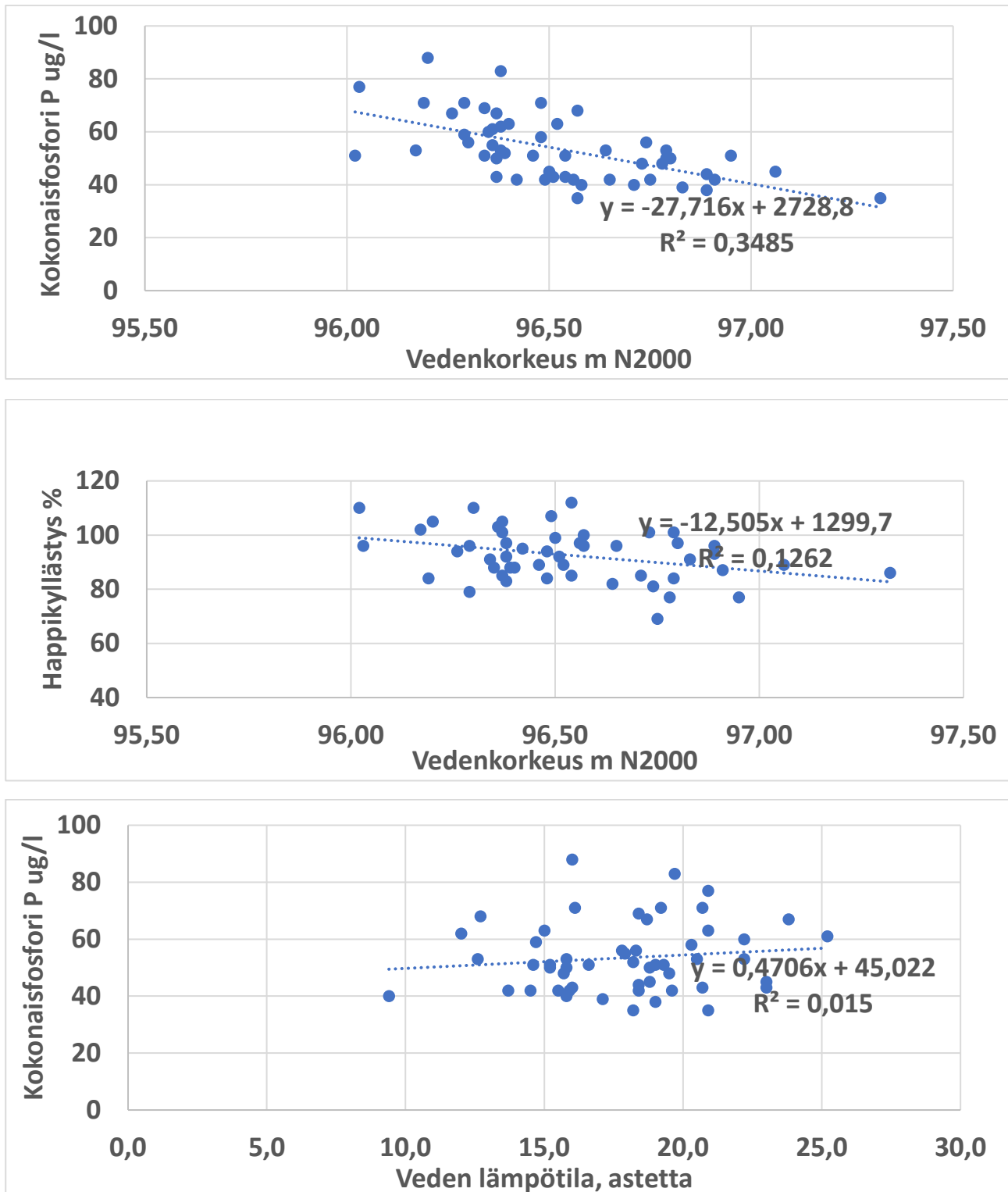
Alimpien havaittujen vesikorkeuksien aikana on mittausaineistossa havaittu myös alin Liimattalansalmen kevättalven happipitoisuus ja järvessä loppukesän kalakuolemia (kuva 20).

Tuulisekoittuman ohella myös kalojen pohjapölytyksen aikaansaaman suhteellisen fosforikuormituksen (kuorma/vesitilavuus) voidaan olettaa kasvavan matalan veden aikaan.

Vedennosto saattaa sekä haitata että hyödyttää vesikasvillisuutta. Talvella järven pohja jäätyy suhteellisesti pienemmällä alueella säästäten kasvillisuutta. Toisaalta olemassa olevan rantaviivan sisällä tapahtuva alivesipintojen nosto pienentää kasvillisuusvyöhykkeiden pinta-alaa. Humusvesissä kasvien yhteyttämiseen soveltuva vesikerros ja putkilokasvien leviämisyvytyden rajasyvyys on karkeasti sama kuin näkösyvyys (Eloranta 1978, kuva 21), mikä Rautalammissa on noin 1 m. Rautalammen kaltaisessa laakeassa ja matalassa järvessä vedennostolla voi olla huomattava vaikutus kasvillisuuden pinta-aloihin.

Vedenlaatuanalyysien perusteella alimpien vesipintojen nostaminen voisi edistää muiden virkistyskäyttöhyötyjen ohella myös veden laatua. Suunniteltu vedennosto on siten perusteltua ja soveltuu hyvin yhdeksi järven kunnostustoimenpiteeksi. Toimenpide on myös kustannustehokas suhteessa saavutettavissa olevaan hyötyyn. Toisin kuin tavanomaisissa virtavesissä, loppukesän alentuva virtaama ei

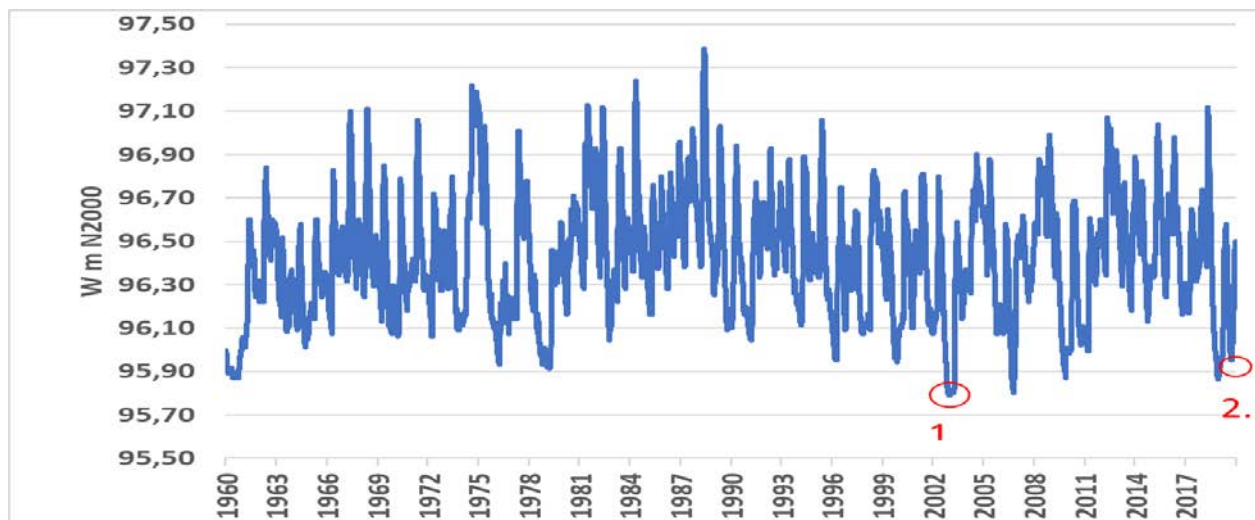
ole erityisen haitallista Liimattalansalmelle, koska sen vesipinta on vaaterissa Hankaveden kanssa. Virkistyskäytöllisesti saavutettava kokonaishyöty on selkeästi suurempi kuin pohjapadosta veneilylle mahdollisesti aiheutuva haitta.



Kuva 19. Kasvukauden eli kesä-syyskuun aikainen kokonaisfosforipitoisuuden (yläkuva) ja happikyllästeisyyden (keskikuva) suhde veden korkeuteen, sekä kokonaisfosforipitoisuuden suhde veden lämpötilaan (alin kuva) Rautalammen syvänteiden pintavedessä vuosien 1988-2019 näytehistoriassa.

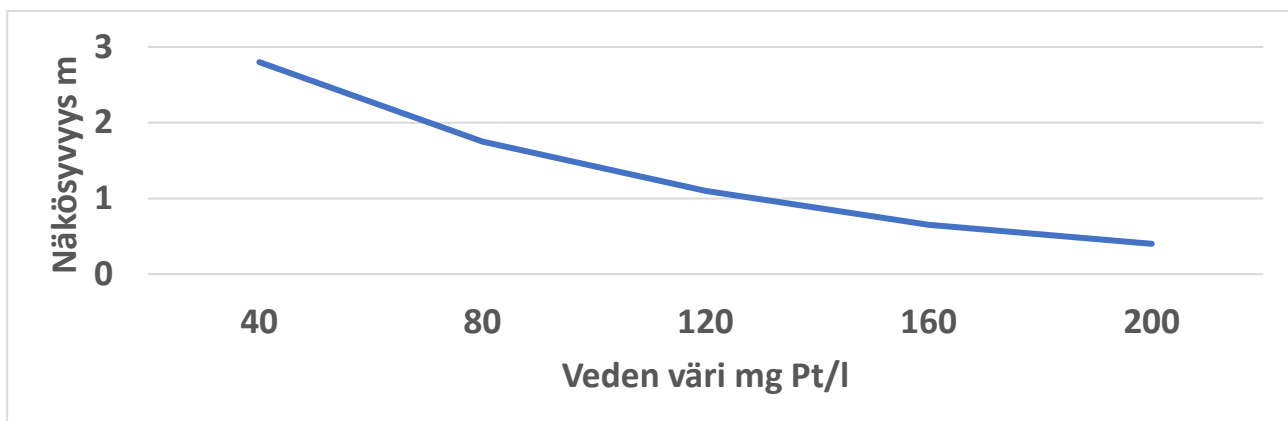
Taulukko 6. Rautalammen veden kokonaisfosforipitoisuudet C_p loppukesän eri vedenkorkeusvaihtoehdoilla ja Friskin (1978) fosforitasekaavalla laskettuna. Veden ravinnepitoisuuden suhteellinen muutos on sama, vaikka virtaamana ja tuloveden fosforipitoisuutena C_0 käytettäisiin muitakin lukuja.

		Friskin kaavan muuttujat							
Vedenkorkeus		Virtaama	Tilavuus	C_0	T, viipymä	B, vakio	R_p	I_p	C_p
Taso	m N2000	m ³ /s	milj m ³	mg/m ³	kk	mg/m ³ kk		mg/s	ug/l
NW	95,80	0,35	1,30	50	1,4	250	0,20	17,5	56
NW + 0,10	95,90	0,35	1,43	50	1,6	250	0,22	17,5	55
NW + 0,20	96,00	0,35	1,57	50	1,7	250	0,23	17,5	54
NW + 0,30	96,10	0,35	1,70	50	1,9	250	0,25	17,5	53
NW + 0,40	96,20	0,35	1,83	50	2,0	250	0,26	17,5	52
NW + 0,50	96,30	0,35	1,97	50	2,2	250	0,27	17,5	51



Kuva 20. Rautalampi -järven vedenkorkeusvaihtelu vuosina 1960-2019 (Hankavesi 1403600).

- (1) Kevättalvella 2003 on havaittu mittaushistorian alin pintaveden happikyllästyspitoisuus Liimattalansalmessa (9%).
- (2) Loppukesällä 2019 havaittiin Rautalammissa kalakuolemia.



Kuva 21. Veden värin ja näkösyvyyden välinen yhteys humusvesissä. Vesikasvien ja levien tuottava kerros on humusvesissä karkeasti sama kuin näkösyvyys yli 40 mg Pt/l arvoilla. Käyrä muokattu Elorannan (1978) tiedoista.

9. Yhteenveto

Soveliampia ja tehokkaimpia menetelmiä Rautalampi – järven rehevyys ja virkistyshaittojen vähentämiseksi ovat ulkoisen ravinnekuormituksen vähentäminen ja alimpien vesikorkeuksien nostaminen.

Olemassa olevan mittausaineiston perusteella aliveden nostaminen alentaisi selkeästi loppukesän ravinnepitoisuutta järvestä ja turvaisi pintaveden hapen riittävyden talviaikaan. Toimenpide olisi myös hyvin kustannustehokas.

Ulkoista ravinnekuormitusta voitaisiin alentaa lähes 40 % kääntämällä Kaipaispuron yläosan valunta Lonkariin. Toimenpiteen hyväksyttävyyys ja tekninen toteuttamiskelpoisuus tulisi selvittää yleissuunnitelmatasoisesti. Ennakkoon tarkasteltuna toimenpide olisi hyvin kustannustehokas. Kuormituksen alenemiseen suhteutettu kustannus olisi karkeasti vain 10 % tavanomaisten menetelmien kustannuksesta. Tavanomaisessa ravinnekuormituksen vähentämisessä tulisi keskittyä peltoviljelykuormituksen alentamiseen edistämällä maataloustukien piiriin kuuluvia lisätoimenpiteitä sekä rakentamalla vesiensuojelukosteikkoja. Näillä saavutettavissa oleva kuormitusvähennys nykyisellä valuma-alueella ja sen maankäytöllä on parhaimmillaan 10 % luokkaa.

Hoitokalastusta tai vesikasvillisuuden poistoa ei suositella ensisijaisina menetelminä. Hoitokalastusta voidaan harjoittaa kustannustehokkaasti nuottaamalla, mikäli särkikalat parveutuvat syksyisin järven pienialaisiin syvänteisiin. Hoitokalastuksella voitaisiin laskennallisesti alentaa loppukesän fosforipitoisuutta enimmillään 20 %, mutta menetelmän hyvästä tehosta ei ole järveltä historiallista näyttöä. Vesikasvillisuuden poiston tulisi kohdistua vain virkistyskäytön kannalta tärkeisiin pienialaisiin kohteisiin kuten vene- ja mökkirantoihin. Kasvillisuutta voidaan harventaa umpeenkasvun uhkaamien alueiden ajoittaisella niitolla. Veden ravinnepitoisuutta ei kasvillisuuden poistolla saada alennettua.

Hapetus ei ole suositeltava kunnostusmenetelmä Rautalammelle.

Lestijärvellä 4.6.2020



Arto Hautala, biologi, FM
Tmi Arto Hautala

Kirjallisuus

Eloranta P 1978. Light penetration in different types of lakes in Central Finland. *Ecography* 1(4):362 – 366.

Eloranta P 2005. Järvien kunnostuksen limnologiset perusteet. - Julkaisussa T Ulvi ja E Lakso (toim): Järvien kunnostus. Ympäristöopas 114, Suomen ympäristökeskus.

Hjerppe T 2013. Kustannustehokkaiden vesiensuojelutoimenpiteiden valintatyökalu – KUTOVA. Käyttöopas versio 1.2.

Diehl S 1988. Foraging Efficiency of Three Freshwater Fishes: Effects of Structural Complexity and Light. *Oikos*. 53. 207-214

Hansson L-A, Annadotter H, Bergman E, Hamrin , Jeppesen E, Kairesalo T, Luokkanen E, Nilsson P-Å, Søndergaard M & Strand J 1998. Minireview: Biomanipulation as an Application of Food-Chain Theory: Constraints, Synthesis, and Recommendations for Temperate Lakes. *Ecosystems*. 1. 558-574.

Horppila J, Holmroos H, Niemistö J, Massa I, Nygrén N, Schönach P, Tapio P & Tammeorg O 2017: Variations of internal phosphorus loading and water quality in a hypertrophic lake during 40 years of different management efforts. *Ecol. Eng.* 103: 264–274.

Jensen HS, Kristensen P, Jeppesen E & Skytthe A 1992. Iron:phosphorus ratio in surface sediment as an indicator of phosphorus release from aerobic sediments in shallow lakes. *Hydrobiologia* 235-236: 731-743.

Jeppesen E ym. 2005. Lake responses to reduced nutrient loading – an analysis of contemporary long-term data from 35 case studies. – *Freshwater Biology*, vol 50.

Jorgensen SE, Löffler H, Rast W, Straskraba M 2005. *Lake and Reservoir Management*. 512 s. Elsevier Publications.

Kuha JK, Palomäki AH, Keskinen JT, & Karjalainen JS 2016. Negligible effect of hypolimnetic oxygenation on the trophic state of Lake Jyväsjärvi, Finland. *Limnologica* 58:1–6.

Martinmäki K, Visuri M, Ulvi T, Väisänen T, Perälä E, Röpelin J ja Ihme R 2012. Pyykösjärven tila. Teoksessa: Martinmäki K. Ulvi T. ja Visuri M. (toim.) *Lisävesien johtamisen vaikutukset Pyykösjärveen. -Suomen ympäristökeskuksen raportteja 3/2013*.

Oravainen R 1999. *Vesistötulosten tulkinta. -Opasvihko 27 s. KVVY, Tampere*.

Patalas K 1961. Wind- und morphologiebedingte Wasserbewegungstypen als bestimmender Faktor für die Intensität des Stoffkreislaufes in nordpolnischen Seen. *Verh. Int. Verein. Limnol.* 14: 59–83.

Pohjois-Savon ympäristökeskus 2003. Rautalammen kunnostus, Rautalampi. Suunnitelma 14s + liitteet. Dnro PSA-2002-V-12

Pietiläinen O-P ja Räike A 1999. Typpi ja fosfori Suomen sisävesien minimiravinteina. Suomen ympäristö 313. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.

Pätynen, A., Kotamäki, N., Rasmus, K., Malve, O., & Huttula, T. (2010). Lake Load Response (LLR) – mallityökalu vesialueiden hoidon suunnittelun apuvälineenä. In P. Pasanen, & S. Parkkinen (Eds.), *Suurjärviseminaari 2010 "Muuttuva ilmasto - muuttuvat vesistöt ja yhteiskunta* (pp. 79-84).

Rautalampi- järven suojeluyhdistys ry 2019. Rautalampi-järven tilan parantaminen pienentämällä sisäistä kuormaa aiheuttavaa särkikalaston määrää isojen kuhanpoikasten istuttamisella. -Hankesuunnitelma 4 s.

Saarijärvi E ja Sammalkorpi I 2005. Kunnostustarpeen määrittäminen. Julkaisussa T Ulvi ja E Lakso (toim): *Järvien kunnostus. Ympäristöopas 114, Suomen ympäristökeskus*.

Sammalkorpi I ja Horppila J 2005. Ravintoketjukunnostus. Julkaisussa: Ulvi T ja Lakso E (toim). *Järvien kunnostusmenetelmät. - Ympäristöopas 114. Suomen ympäristökeskus*.

Sarvilinna A ja Sammalkorpi I 2010. Rehevöityneen järven kunnostus ja hoito. *Ympäristöopas 2010. Suomen ympäristökeskus*.

Savolainen T 1992. Rautalammen-Liimattalansalmen vesiensuojeluserveys. Moniste, 8 s + liitteet.

Skov C ja Nilsson P-A (toim.) 2018. Biology and ecology of pike. 402s, CRC Press.

Veijola H, Hynynen J, Palomäki A & Veijola H. 2000. Niiniveden ja Konneveden välisen vesistöalueen yhteistarkkailun vuosiyhteenveto vuodelta 1999 ja Rautalammin tilan selvitys. Jyväskylän yliopisto. Ympäristöntutkimuskeskus. Tutkimusraportti 87 / 2000. 32 s ja liitteet.

Vesala I 2016. Alusveden hapetuksen vaikutus pienten humusjärvien syvännepohjaeläimistön tilaan. _Pro gradu tutkielma 45 s. Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos.

Vesi-Eko Oy 2006. Rautalammin hapetussuunnitelma.