



LITTOISTENJÄRVEN HOITOKUNTA

Littoistenjärven sedimenttitutkimus

Copyright © Pöyry Finland Oy

Pöyry Finland Oy

Anneli Wichmann, FM Kemia

Yhteystiedot

PL 4 (Jaakonkatu 3)

01621 Vantaa

Puh. 010 3311

sähköposti etunimi.sukunimi@poyry.com

www.poyry.fi

Copyright © Pöyry Finland Oy

Sisältö

1	JOHDANTO	2
1.1	Taustaa	2
1.2	Erilaiset fosforifraktiot.....	2
2	TUTKIMUSPISTEET JA NÄYTTEENOTTO	3
3	LABORATORIOANALYYSIT JA TULOSTEN KÄSITTELY.....	4
4	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU.....	5
4.1	Kokonaisfosfori.....	6
4.2	Helppoliukoinen fosfori	6
4.3	Rautaan sitoutunut fosfori, Fe-P	7
4.4	Alumiiniin sitoutunut fosfori, Al-P	7
4.5	Kalsiumiin sitoutunut fosfori, Ca-P	8
4.6	Orgaaniseen ainekseen sitoutunut fosfori, Org.-P	8
4.7	Vertailu vuoden 2012 tuloksiin.....	9
4.8	Fosforin määrä sedimentissä	10
5	PÄÄTELMÄT	11
6	KIRJALLISUUSVIITTEET.....	11

Liitteet

- Liite 1 Näyteprofiilien analyysitulokset
- Liite 2 Pöyry Finland Oy, Littoistenjärven sedimenttitutkimus, tutkimussuunnitelma. 2018.
- Liite 3 Varjo E. Littoistenjärven sedimenttitutkimus. Turun yliopisto, Maantieteen ja Geologian laitos, Geologian osasto – maaperägeologia. 2012.

1 JOHDANTO

1.1 Taustaa

Littoistenjärvi sijaitsee Varsinais-Suomessa Kaarinan ja Liedon kuntien alueella. Järvi on pinta-alaltaan n. 1,5 km² ja sen valuma-alue on n. 3 km². Littoistenjärvi on säännöstelty, ja sen vedenkorkeus voi vaihdella välillä +35,20 - +36,05 m (N43). Littoistenjärvi kuuluu Piikkiöjoen-Aurajoen valuma-alueeseen ja on sen ainoa järvi. Littoistenjärvi laskee Väröjoen kautta Kuusistonsalmeen mereen.

Littoistenjärvellä toteutettiin 11.–12.5.2017 järven kemiallinen käsittely, jolloin fosforia ja muita aineita saostavaa kemikaalia (polyalumiinikloridi) levitettiin yhtäjaksoisesti noin 36 tuntia kahdella aluksella. Järven kemialliselle kunnostukselle on Etelä-Suomen aluehallintoviraston myöntämä ympäristölupa tarkkailuvelvoitteinen (ESAVI/177/04.08/2013).

Littoistenjärvellä on aiemmin tehty kaksi sedimenttitutkimusta vuosina 1985–95 (Glückert et al 1992) ja vuonna 2012 (Varjo 2012). Molemmat tutkimukset on tehty Turun yliopiston maantieteen ja geologian laitoksella. Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy teki sedimentin rauta- ja rikkipitoisuuksista erillisselvityksen vuonna 2015.

Tämä tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kemiallisen kunnostuksen jälkeinen tilanne sedimentin pintaosissa: kuinka suurin osa sedimentin fosforista on sellaisessa muodossa, että se sopivissa olosuhteissa on helposti liukenemassa uudelleen vesifaasiin ja mahdollisesti uudelleenrehevöittämässä Littoistenjärveä. Tutkimuksen avulla on myös mahdollista arvioida kunnostustoimien vaikutuksen ajallista kestoa.

Sedimentissä oleva mobiili fosfori voidaan jakaa karkeasti kolmeen eri kategoriaan: huokosvedessä oleva, sedimentin löyhästi sitoutunut sekä rautaan sitoutunut fosfori. Muihin metalleihin sitoutuneesta alumiiniin ja kalsiumiin sitoutunut fosfori on huomattavasti pysyvämpää. Alumiiniin sitoutunut osio vaatii olosuhteet, joissa pohjanläheisen veden pH nousee yli 8,5 tai laskee alle 5,5; jotta alumiinin uudelleen liukeneminen ja siten myös fosforin irtoaminen vesifaasiin voisi tapahtua. Kalsiumiin sitoutunut fosfori esiintyy pääasiassa apatiittina, Ca₃(PO₄)₂, joka on tavanomaisissa olosuhteissa erittäin pysyvä. Orgaaniseen ainekseen sitoutunut fosfori voi olla joko mobiilia tai hitaasti vapautuvaa riippuen orgaanisen aineksen laadusta. Mikäli orgaaninen aines on helposti hajoavaa, vapautuu myös fosfori tästä osasta hajoamisen myötä.

1.2 Erilaiset fosforifraktiot

Sedimentin huokosvedessä oleva ja sedimentti heikosti adsorboitunut helposti liukeneva fosfori on myös helposti saatavilla kasvien käyttöön. Rautaan ja alumiiniin sitoutunut fosfori (Fe-P ja Al-P) on huomattavasti pysyvämpää, ja voi vapautua ainoastaan sedimentin olosuhteiden muuttuessa. Fe-P voi vapautua, mikäli pohjasedimentti esim. rehevöitymisen seurauksen joutuisi hapettomaksi. Tällöin rauta pelkistyy kahdenarvoiseksi raudaksi, joka on vesiliukoista kaikissa hapettomissa olosuhteissa. Alumiiniin sitoutunut fosfori voi mahdollisesti vapautua, mikäli pohjan läheisyydessä veden pH nousisi yli 8,5. Tällaiset olosuhteet saattavat muodostua esim. uposkasvien massaesiintymien yhteydessä, jolloin voimakkaan yhteyttämisen tuloksena veden pH saattaa olla mikroympäristössä hyvin emäksinen. Kalsiumiin sitoutunut fosfori (Ca-P) esiintyy pääasiassa apatiittina, joka on erittäin pysyvä. Orgaaniseen ainekseen sitoutunut fosfori (Org.-P) voi olla pysyvää tai helposti vapautuvaa riippuen orgaanisen

aineksen hajoamista. Pitkällä hajonneeseen orgaaniseen ainekseen, kuten humusaineisiin, sitoutunut fosfori on pysyvämmässä muodossa kuin pieneliöiden ravinnoksi kelpaavaan ainekseen sitoutunut fosfori.

2

TUTKIMUSPISTEET JA NÄYTTEENOTTO

Sedimenttinäytteiden näytepisteitä oli 6 kpl eri puolilla Littoistenjärveä. Näytepisteiden sijainti mukaili vuoden 2012 tutkimusta, ainoastaan näytepiste F siirrettiin järven keskiosaan paremman kattavuuden saavuttamiseksi. Näytepisteiden koordinaatit on esitetty taulukossa 1. Pisteiden sijainti Littoistenjärvessä on esitetty kuvassa 1. Tutkimussuunnitelma on tämän raportin liitteenä 2.

Taulukko 1 Sedimenttinäytteenoton näytepisteet

Näytepiste	ETRS89 TM-35	
	E	N
A	246771	6710616
B	246980	6711142
C	245978	6711331
D	246314	6710751
E	246705	6710293
F	246576	6711032



Kuva 1 Näytepisteiden sijainti Littoistenjärvessä

Näytteet otti joulukuussa 2018 sukeltamalla Varsinais-Suomen vesistösaneraus Oy. Näytteet otettiin painamalla halkaisijaltaan 50 mm oleva putki (Niemistö-

näytteenottimen sisäputki) sedimenttiin haluttuun syvyyteen saakka. Putki tulpattiin ja irrotettiin varovasti pohjasta. Putki tuettiin pohjasta tuotaessa näytettä pinnalle.

Kustakin pisteestä otettiin kahdeksasta (8) osanäytteestä koostuva profiili, joka kattoi syvyysvälin 0-30 cm lukuun ottamatta pistettä D, jossa näytteenotto päättyi syvyyteen 28,5 cm. Näyteprofiili jaettiin kahden senttimetrin paksuisiin osanäytteisiin syvyyteen - 10 cm asti eli 0-2 cm, 2-4 cm, 4-6 cm, 6-8 cm ja 8-10 cm. Tämän jälkeen otettiin vielä kolme viiden cm paksuista näytettä, 10–15 cm, 15–20 cm ja 25–30 cm (D 25–28,5 cm).

Osanäytteet pakattiin nimikoituihin muovipusseihin mahdollisimman ilmatiiviisti ja toimitettiin kylmälaukkuun jääpakkauksen kanssa pakattuina kuriiripalvelulla analysoivaan laboratorioon.

3 LABORATORIOANALYYSIT JA TULOSTEN KÄSITTELY

Näytteet analysoitiin Svenska Lantbruksuniversitetin laboratoriossa Uppsalassa. Näytteiden analysoinnista vastasi dosentti Brian Huser.

Näytteistä analysoitiin fosforin eri sitoutumismuodot peräkkäisten uuttojen menetelmällä sekä fosforin kokonaispitoisuus Hupferin kuvaamalla menetelmällä (Hupfer 1995). Sedimentin kokonaisfosforipitoisuuden määrittystä varten hajotetusta näytteistä analysoitiin myös alumiinin kokonaispitoisuus. Näytteistä määritettiin myös vesipitoisuus sekä hehkutushäviö (550 °C).

Fosforin kokonaispitoisuuden ja eri fosforifraktioiden summana esitetyn kokonaispitoisuuden kokonaisepävarmuus on $\pm 20 \%$.

Kaikki analyysitulokset raportoitiin mg/g kuiva-aineessa. Koska tilavuuspohjaisille pitoisuuksille (märkäpitoisuuksille) on tarvetta käytännön merkitystä, muunnettiin raportoidut pitoisuudet yhtälön (1) avulla:

$$c(P_{wv}) = c(P_{dw}) * \left(\frac{100 - \text{kosteus } \%}{100} \right) * d_{H_2O} \quad (1)$$

jossa $c(P_{wv})$ = fosforikonsentraatio märkätilavuudessa, g l⁻¹

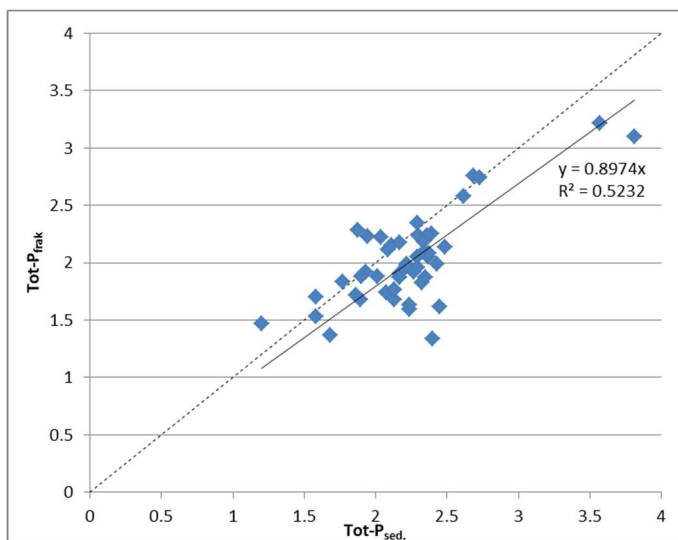
$c(P_{dw})$ = fosforikonsentraatio kuiva-aineessa, mg g⁻¹

d_{H_2O} = veden tiheys, g l⁻¹

Laskennassa käytettiin veden tiheyttä 1000 g l⁻¹, koska kuiva-aineen irtotiheys ei ollut tiedossa.

4 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Taulukossa 2 on esitetty keskimääräiset tulokset kuiva-aineessa näytteenottosyvyyksittäin. Taulukkoon 3 on muunnettu keskimääräiset pitoisuudet sedimentin märkään tilavuuteen. Kaikki analyysitulokset on esitetty raportin liitteenä 2. Kaikki tulokset ovat pitoisuuksia kuiva-aineessa. Tulosten tarkastelussa eri fraktioiden prosenttiosuudet on laskettu käyttäen jakajana fraktioiden summaa. Fraktioiden summan (Tot-P_{frac}) ja sedimentin kokonaisfosforin (Tot-P_{sed}) välinen suhde on esitetty kuvassa 2, josta havaitaan, että fosforifraktioiden summa oli keskimäärin n. 10 % pienempi kuin sedimentin kokonaisfosfori, mutta vaihtelua esiintyy molempiin suuntiin.



Kuva 2 Sedimentin kokonaisfosforin ja eri fosforifraktioiden summan suhde

Taulukko 2 Keskimääräiset pitoisuudet kuiva-aineessa syvyyksittäin

Syvyys cm	Kosteus %	Hekktus häviö %	Helppoliukoinen P mg/g	Fe-P mg/g	Al-P mg/g	Ca-P mg/g	Org-P mg/g	Tot-P _{frac} mg/g	Tot-P _{sed} mg/g	Residuaali P mg/g
0-2	94	24	0.01	0.37	0.68	0.15	0.92	2.1	2.4	0.2
2-4	92	24	0.01	0.30	0.72	0.16	0.85	2.0	2.2	0.2
4-6	91	23	0.01	0.33	0.69	0.17	0.79	2.0	2.2	0.2
6-8	90	23	0.01	0.37	0.64	0.17	0.78	2.0	2.2	0.2
8-10	88	23	0.01	0.27	0.53	0.13	0.66	1.6	2.1	0.5
10-15	88	25	0.01	0.25	0.60	0.15	0.75	1.8	2.0	0.3
15-20	88	29	0.01	0.19	0.66	0.15	0.98	2.0	1.9	-0.1
25-30	88	36	0.02	0.13	0.96	0.15	1.2	2.5	2.5	0.0

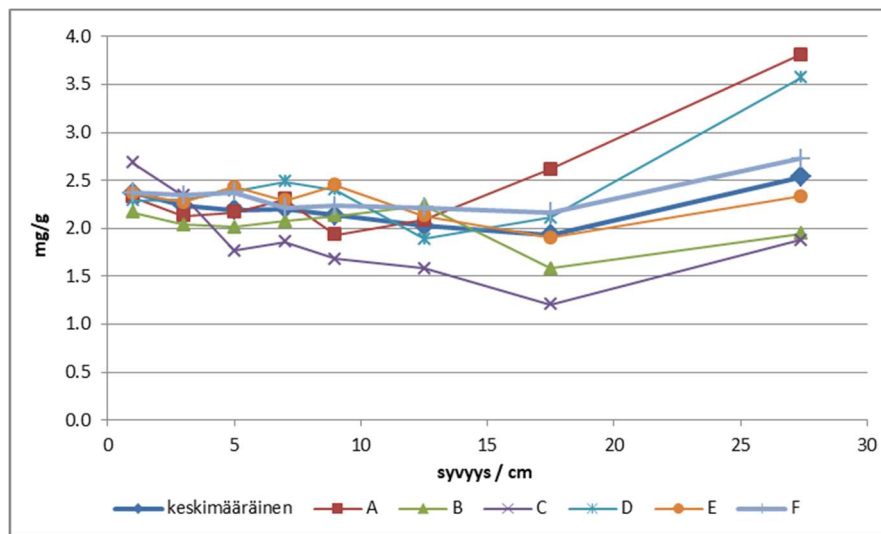
Taulukko 3 Keskimääräiset pitoisuudet märässä sedimentissä syvyyksittäin

Syvyys cm	Helppoliukoinen P g/l	Fe-P g/l	Al-P g/l	Ca-P g/l	Org-P g/l	Tot-P _{frac} g/l	Tot-P _{sed} g/l	Residuaali P g/l
0-2	0.001	0.022	0.04	0.009	0.056	0.13	0.14	0.01
2-4	0.001	0.026	0.06	0.014	0.072	0.17	0.19	0.01
4-6	0.001	0.031	0.06	0.015	0.073	0.18	0.20	0.02
6-8	0.001	0.036	0.06	0.016	0.077	0.19	0.22	0.02
8-10	0.001	0.032	0.06	0.016	0.078	0.19	0.26	0.07
10-15	0.001	0.030	0.07	0.018	0.088	0.21	0.24	0.03
15-20	0.001	0.022	0.08	0.019	0.12	0.24	0.23	-0.01
25-30	0.003	0.014	0.11	0.017	0.16	0.30	0.29	0.00

4.1 Kokonaisfosfori

Sedimentin kokonaisfosforipitoisuus ($\text{Tot-P}_{\text{sed}}$) kaikkien näytteiden keskiarvona laskettuna oli 2,23 mg/g ja sedimentin eri fosforifraktioiden ($\text{Tot-P}_{\text{frak.}}$) summana 2,01 mg/g, keskimääräinen residuaalifosforin määrä oli 0,21 mg/g. Kuvassa 3 Sedimentin kokonaisfosforipitoisuus syvyyden funktiona näytepisteissä A-F sekä keskimääräinen kokonaispitoisuus.

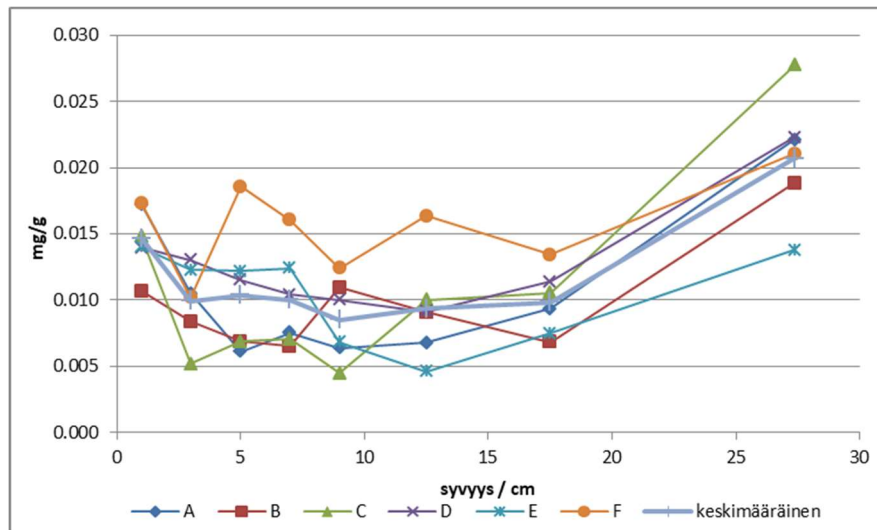
on esitetty sedimentin kokonaisfosforipitoisuus eri näytepisteissä ja keskimääräinen kokonaisfosforipitoisuus syvyyden funktiona. Kokonaisfosforin vaihteluväli oli 1,23–3,81 . Maksimipitoisuus oli näytteessä A25–30 cm ja minimi näytteessä C15–20 cm. Kokonaisfosforipitoisuus oli aivan pinnimmaisista näytteistä lukuun ottamatta kauttaaltaan alhaisin näytepisteessä C. Kokonaisfosforipitoisuuden vaihtelu eri näyteprofiileissa oli vähäistä n. 15 cm syvyyteen saakka, mutta näyteprofiilien maksimeissa ei voitu havaita säännönmukaisuutta.



Kuva 3 Sedimentin kokonaisfosforipitoisuus syvyyden funktiona näytepisteissä A-F sekä keskimääräinen kokonaispitoisuus.

4.2 Helppoliukoinen fosfori

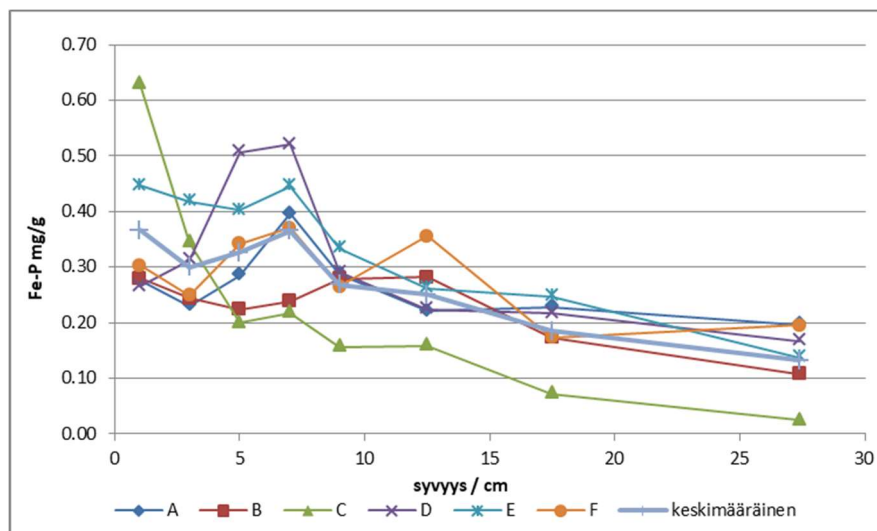
Huokosveden ja sedimenttiin erittäin löyhästi sitoutuneen fosforin määrä oli erittäin pieni kaikissa näytteissä, keskimäärin 0,01 mg/g ja vaihteluväli 0,004-0,03 mg/l (Kuva 4). Helppoliukoisesta fosforin osuus yhteenlasketuista fosforifraktioista oli kaikissa näytteissä <1 %. Näytepisteiden välillä oli vain vähän hajontaa, samoin näytteenottosyvyyksien välillä. Suurimmat helposti liukoisesta fosforin pitoisuudet mitattiin aivan pintakerroksesta sekä syvimmistä näytteistä.



Kuva 4 Helppoliukoisen fosforin määrä sedimentissä näytepisteissä A-F sekä keskimääräinen helppoliukoisen fosforin pitoisuus.

4.3 Rautaan sitoutunut fosfori, Fe-P

Rautaan sitoutuneen fosforin määrässä oli vain vähän vaihtelu eri näyteprofiilien välillä. Suurin osa vaihtelusta oli 0-15 cm syvyydellä. Maksimipitoisuudet mitattiin useimmissa pisteissä syvyydeltä 6-8 cm. Fe-P:n määrä pieneni huomattavasti 15 cm syvyydestä alkaen (Kuva 5). Keskimääräinen rautaan sitoutuneen fosforin määrä oli 0,28 mg/g vaihteluvälin ollessa 0,02–0,63 mg/g. Suurin pitoisuus oli näytepisteessä C pintakerroksessa ja pienin saman pisteen syvimmässä näytteessä (25–30 cm). Fe-P:n osuus oli keskimäärin n.17 % syvyydellä 0-10 cm ja koko profilissa 14 %.

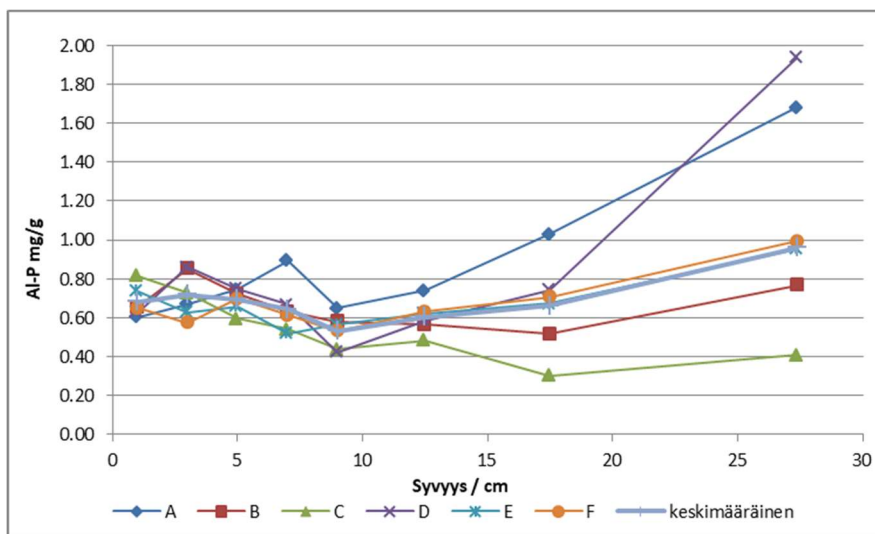


Kuva 5 Rautaan sitoutunut fosforipitoisuus syvyyden funktiona näytepisteissä A-F sekä keskimääräinen rautaan sitoutuneen fosforin määrä.

4.4 Alumiiniin sitoutunut fosfori, Al-P

Alumiiniin sitoutuneen fosforin määrä kuvaa parhaiten kemiallisessa saostuksessa vedestä poistettua fosforia. Al-P:n keskimääräinen pitoisuus laskee hivenen pintakerroksessa 10 cm asti, jonka jälkeen pitoisuus kasvaa (Kuva 6). Syvimpien näytteiden pitoisuuksissa oli huomattavaa hajontaa, ja pisteessä C Al-P osuus oli vain 18 %, kun pisteessä D vastaava osuus oli 60 %. Keskimäärin Al-P vastasi n.

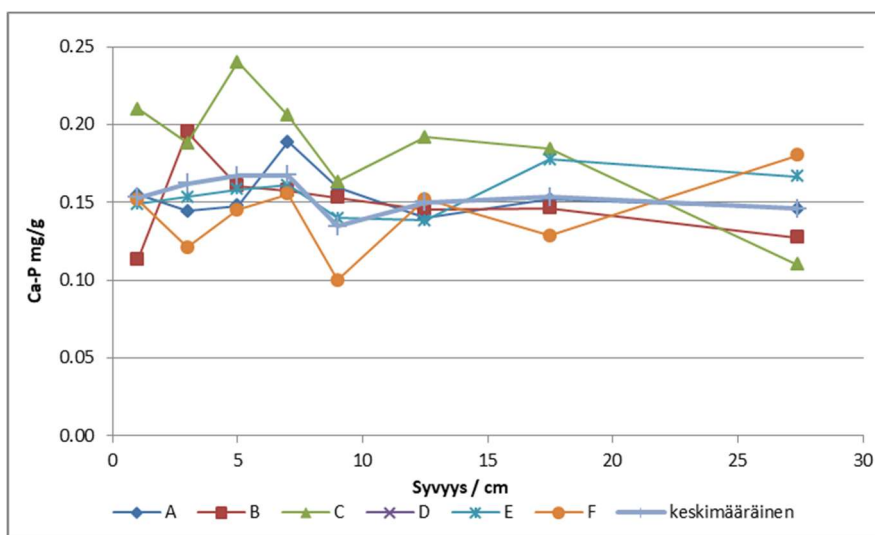
kolmannesta kokonaisfosforin määrästä. Keskimääräinen pitoisuus oli 0,71 mg/g ja vaihteluväli 0,30–0,94 mg/g.



Kuva 6 Alumiiniin sitoutunut fosforipitoisuus syvyyden funktiona näytepisteissä A-F sekä keskimääräinen alumiiniin sitoutuneen fosforin määrä.

4.5 Kalsiumiin sitoutunut fosfori, Ca-P

Kalsiumiin sitoutuneen fosforin määrä oli verrattain vähäinen kaikissa näyteprofileissa eikä eri syvyyksien välillä ollut vaihtelua (Kuva 7). Keskimääräinen Ca-P pitoisuus oli 0,15 mg/g ja vaihteluväli 0,09–0,24 mg/g. Kalsiumiin sitoutuneen fosforin osuus oli keskimäärin 8 % kaikista fosforifraktioista.

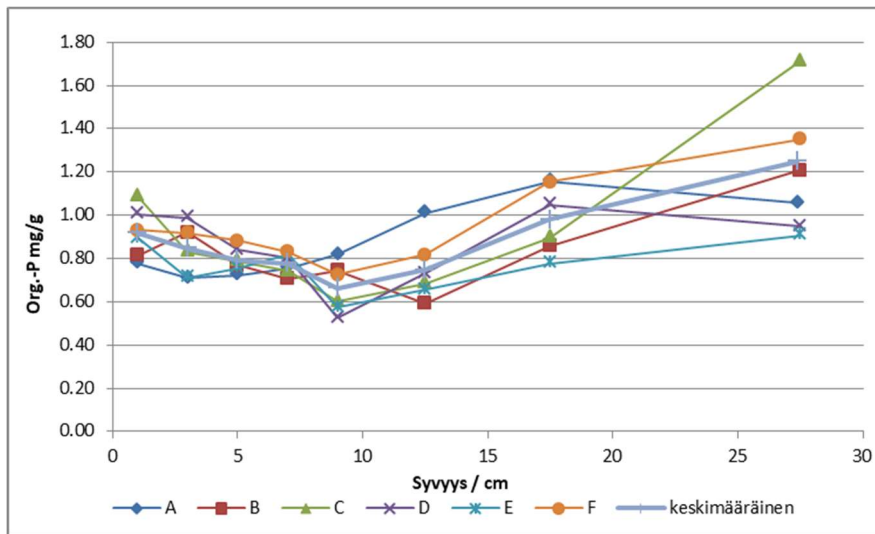


Kuva 7 Kalsiumiin sitoutunut fosforipitoisuus syvyyden funktiona näytepisteissä A-F sekä keskimääräinen kalsiumiin sitoutuneen fosforin määrä.

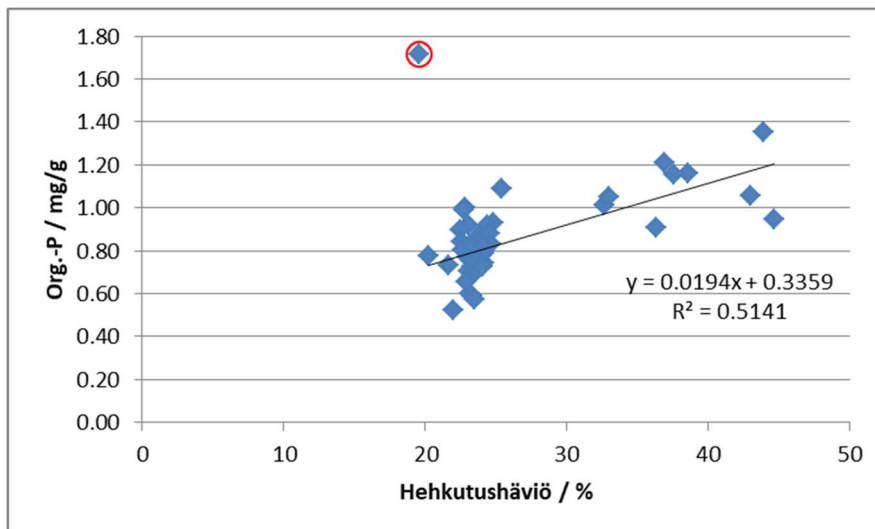
4.6 Orgaaniseen ainekseen sitoutunut fosfori, Org.-P

Orgaaniseen ainekseen sitoutunut fosfori oli suurin fraktio lähes kaikissa näytteissä. Keskimäärin orgaaniseen ainekseen sitoutuneen fosforin osuus oli n. 40 %. Keskimääräinen pitoisuus oli 0,87 mg/g ja vaihteluväli 0,52–1,71 mg/l (Kuva 8).

Suurimmat pitoisuudet mitattiin aivan sedimentin pinnasta sekä syvimmistä näytteistä. Orgaanisen aineksen määrä (hehkutushäviö) ja orgaaniseen ainekseen sitoutunut fosfori korreloivat selvästi, kuvaajassa hehkutushäviö vs. Org-P selitysaste on n. 50 % (Kuva 9), kun selvästi poikkeava tulos pisteen C syvyydellä 25–30 cm jätetään huomioimatta.



Kuva 8 Orgaaniseen ainekseen sitoutunut fosforipitoisuus syvyyden funktiona näytepisteissä A-F sekä keskimääräinen orgaaniseen ainekseen sitoutuneen fosforin määrä.



Kuva 9 Orgaaniseen ainekseen sitoutunut fosfori orgaanisen aineksen määrän (hehkutushäviö) funktiona. Muusta aineistosta poikkeava tulos ympäröity punaisella.

4.7 Vertailu vuoden 2012 tuloksiin

Littoistenjärven vuoden 2012 sedimenttitutkimuksessa (Varjo 2012) käytettiin hieman erilaista fraktiointimenetelmää kuin tässä tutkimuksessa. Aiemmassa tutkimuksessa on esitetty rautaan ja alumiiniin sitoutuneet fraktiot yhdessä. Molempien tutkimusten tulokset on esitetty taulukossa 4. Helppoliukoisen fosforin ($\text{NH}_4\text{Cl-P}$) osuus on pienentynyt selvästi sedimentin pintaosissa ja NaOH-P -fraktion (Fe-P ja Al-P) pitoisuudet ovat kasvaneet kaikissa syvyyksissä. Fosforin kokonaismäärä oli molemmissa tutkimuksissa yhtenevä.

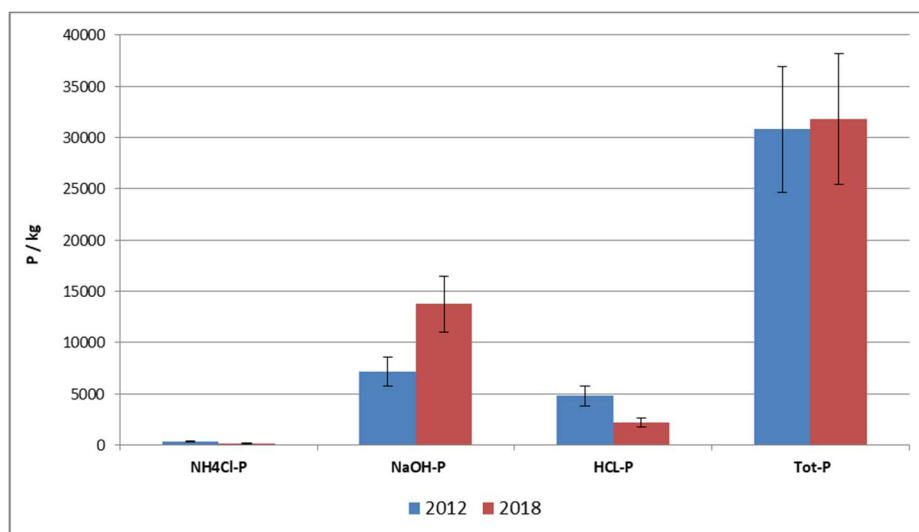
Taulukko 4 Vuosien 2012 ja 2018 sedimenttitutkimusten eri fosforifraktioiden keskimääräiset pitoisuudet syvyyksittäin.

Syvyys / cm	NH ₄ Cl-P mg/g		NaOH-P mg/g		HCl-P mg/g		Residuaali-P mg/g		Tot-P _{sed.} mg/g	
	2012	2018	2012	2018	2012	2018	2012	2018	2012	2018
0-2	0.057	0.015	0.64	1.0	0.35	0.15	1.4	0.92	2.4	2.4
2-4	0.029	0.010	0.64	1.0	0.21	0.16	1.4	0.85	2.2	2.2
4-6	0.019	0.010	0.40	1.0	0.28	0.17	1.2	0.79	1.9	2.2
6-8	0.017	0.010	0.44	1.0	0.40	0.17	1.2	0.78	2.1	2.2
8-10	0.020	0.009	0.36	0.80	0.42	0.13	1.1	0.66	1.9	2.1
10-15	0.021	0.009	0.49	0.85	0.18	0.15	0.91	0.75	1.6	2.0
15-20	0.011	0.010	0.24	0.85	0.31	0.15	0.97	0.98	1.5	1.9
25-30		0.021		1.1		0.15		1.2		2.5

4.8

Fosforin määrä sedimentissä

Sedimenttitutkimuksen perusteella sedimentin pinnimmaisesta 10 cm:n fosforivaranto on n. 32 000 kg, analyysimenetelmän epävarmuuteen perustuva vaihteluväli 25 000–38 000 kg. Tästä helppoliukoista fosfori on n. 150 kg (120–180 kg), rautaan sitoutunutta fosforia 4600 kg (3700–5500 kg) ja alumiiniin sitoutunutta n. 9200 kg (7300–11000 kg) (Kuva 10). Sedimentin fosforivaranto on samaa luokkaa aiemman arvion kanssa (Sarvala 2005)



Kuva 10 Fosforin laskennallinen määrä sedimentin pintakerroksessa (0-10 cm) vuosina 2012 ja 2018. Analyysimenetelmän mittauserävarmuuteen perustuva vaihteluväli on esitetty janoilla.

5 PÄÄTELMÄT

Littoistenjärven kemiallinen kunnostus vaikutti merkittävästi myös pohjasedimentin fosforiin. Vaikka fosforin kokonaismäärä näyttäisi pysyneen ennallaan verrattuna vuoteen 2012, on helppoliukoisen fosforin osuus pienentynyt merkittävästi. Tämä muutos edesauttaa järven hyvän tilan kehittymistä edelleen, sillä helppoliukoisen fosforin määrä sedimentin pintaosassa rajoittanee kasvillisuuden kehittymistä ja näin ollen kasvillisuuden lahoamisen kautta tapahtuvaa fosforin vapautumista vesifaasiin.

Alumiiniin sitoutuneen fosforin osuus oli merkittävä kaikissa tutkituissa syvyyksissä. Tämän fraktion osuuden kasvu oli suurinta syvimmissä näytteissä. Al-P on myös Fe-P:tä pysyvämpi esiintymismuoto eikä niin helposti mobilisoituva esim. hapettomissa oloissa.

6 KIRJALLISUUSVIITTEET

Glückert, G., Illmer, K., Kankainen, T., Rantala, P., Räsänen, M. Littoistenjärven ympäristön kasvillisuuden kehitys jääkauden jälkeen ja järven luonnollinen happamoituminen. Turun yliopiston maaperägeologian osaston julkaisuja 75. 1992.

Hupfer, M., Gächter, R., Giovanoli, R. Transformation of phosphorus species in settling seston and during early sediment diagenesis. *Aquatic Sciences* 57/4. 1995.

Sarvala, J. Littoistenjärven ekologisen tilan kehitys ja hoitovaihtoehdot. Turun yliopisto, Biologian laitoksen Julkaisuja n:o 24. Turku 2005

Varjo E. Littoistenjärven sedimenttitutkimus. Turun yliopisto, Maantieteen ja Geologian laitos, Geologian osasto – maaperägeologia. 2012.