

Lahden Vesijärven Enonselän sedimenttitutkimus

Turun Yliopisto
Geologian laitos
Maaperägeologia
Lokakuu 2009

1. Johdanto

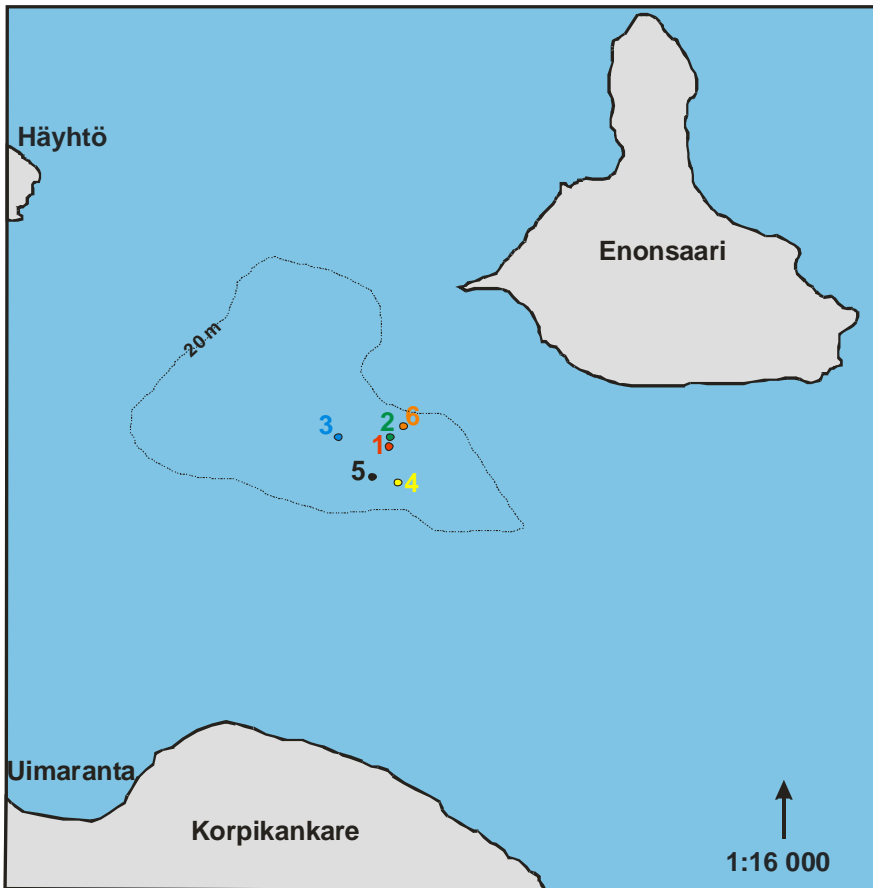
Lahden Vesijärven Enonsaaren ja Messilän väliseltä syvänealueelta (20-31 m) oli tarkoitus kairata 6-7 näytettä, joista osanäytteitä yhteensä n. 100 kpl. Kaksi näytettä tuli ottaa altaan syvimmästä kohdasta ja muut syvänteen muilta alueilta n. 100-400 m päästä syvimmästä kohdasta. Sedimenttinäytteistä tuli määrittää vesipitoisuus, hehkutushäviö ja fosforin eri fraktiot.)

Tutkimus palvelee mahdollista kunnostustoimintaa siten, että tulosten avulla voidaan tarkastella sedimentin sisäkuormituspotentiaalia sekä mahdollista pienalueellista / ajallista jakaumaa sedimentin laadun suhteen. Tutkimuksessa ei oteta kantaa kunnostustoimenpiteisiin, vaan todetaan saadut tulokset, joiden pohjalta toimenpiteitä on mahdollista myöhemmin suunnitella.

2. Tehdyt tutkimukset

2.1. Näytteenotto

Näytteenotto toteutettiin 11-12.3.2009. Sää oli näytteenottopäivinä pilvinen, lämpötila noin -1-+1 °C. Näytteenottimena käytettiin vaijerikäyttöistä Limnos – sedimenttinäytteenotinta. Näytteet otettiin Enonsaaren lounaispuolelta sijaitsevasta syvänteestä taulukon 1 mukaisesti. Näytepisteet on merkattu karttaan (Kuva 1.)



Kuva 1. Vesijärven Enonselän sedimentinäytteenottopisteet 1-6.

Taulukko 1. Vesijärven fosforitutkimuksen näytepistetiedot

Näytepiste	Koordinaatit	Vesisyvyys	Sedimenttisyvyys	Muuta
P1	N61°01.650 E25°35.196	32.1 m	48 cm	
P2	N61°01.650 E25°35.196	32.1 m	48 cm	8 m pohjoiseen P1:stä
P3	N61°01.684 E25°35.049	24.0 m	44 cm	46 m P1:stä
P4	N61°01.626 E25°35.234	30.0 m	48 cm	
P5	N61°01.628 E25°35.166	30.2 m	44 cm	46 m P1:stä
P6	N61°01.673 E25°35.219	30.1 m	44 cm	46 m P1:stä

Näytteet otettiin pääosin vähähappisesta syvänteestä (>30 m vesisyvyys); kuitenkin yksi näytepiste (P3) sijaitsi hapekkaan pohjan alueella. Näytesarjojen pituus oli 44-48 cm riippuen näytteenottimen tunkeutumissyvyydestä. Sarjat jaettiin 2 cm:n paksuisiin osanäytteisiin siten, että ylin 20 cm viipaloitiin kokonaan ja sitä syvemältä 2 cm viipale 2 cm välein. Näin näytteiden

kokonaislukumääräksi saatiin 99 kpl. Näytteet pakattiin Minigrip™ - pusseihin, joista poistettiin ilma mahdollisimman tarkoin. Näytteet varastoititiin Turun yliopiston maaperägeologian osaston kylmäsäilytystiloihin.

2.2. Vesipitoisuus ja hehkutushäviö

Vesipitoisuus ja orgaanisen aineen määrää kuvaava hehkutushäviö määritettiin Håkansonin ja Janssonin (1983) kuvaaman menetelmän mukaisesti. Tuoreet, punnitut näytteet kuivattiin yön yli 105°:ssa, jäähdytettiin eksikaattorissa, punnittiin, hehkutettiin 550°:ssa kahden tunnin ajan, jäähdytettiin eksikaattorissa ja punnittiin. Työssä käytetyt upokkaat oli hehkutettu ja punnittu vakiopainoon.

2.3. Sedimentin fosforianalyysi

Vesijärven sedimenttinäytteiden fosforianalyyseissä käytettiin kahta eri menetelmää: sedimentin kokonaisfosforipitoisuus määritettiin käyttämällä Bengtssonin ja Enellin (1986) menetelmää, jossa väkevillä HCl - ja HNO₃ - uutoilla pyritään pääsemään kuningasvesiuuttoa vastaavaan totaaliuuttoon. Fosforin jakautuminen puolestaan määritettiin Hieltesin ja Lijkleman (1980) menetelmällä, jossa eri uutoilla pyritään saamaan selville eri tyyppisten fraktioitten (jakeitten) osuus kokonaisfosforista. Varsinaisena osoitusreaktiona kummassakin menetelmässä käytettiin Murphyn ja Rileyn (1962) molybdeeninsininen - menetelmää, jolla liuoksesta pystytään spektrofotometrisesti osoittamaan reaktiivisen fosforin määrä mg / l. Laimennussuhteet huomioiden näistä tuloksista voidaan laskea alkuperäisen näytteen fosforipitoisuudet mg:na grammassa kuivaa sedimenttiä.

Osittaisliuotusmenetelmässä käytetyt liuottimet olivat 1 M NH₄Cl, 0,1 M NaOH ja 0,5 M HCl. Näistä ammoniumkloridiliuotuksella saadaan esiin labiili eli löyhästi sitoutunut, useimmiten huokosveden fosfori, joka on periaatteessa suoraan eliöstön käytettävissä. Ammoniumkloridiliuotuksella näytteistä saadaan lisäksi poistettua karbonaatteja ja löyhästi sitoutunutta kalsiumia, jotka muuten häiritsisivät NaOH - liuotusta.

NaOH - liuotuksella saadaan esiin pääasiassa metallioksideihin (Al, Fe, Mn) sitoutunut fosfori. Myös muille pinnoille adsorboitunut fosfori, joka on vaihdettavissa OH⁻ -ioneihin, saadaan esiin tällä liuotuksella, samoin kuin mahdolliset emäksiin liukenevat fraktiot.

HCl - liuotuksella reaktiiviseksi saadaan apatiittifosfori, karbonaatteihin sitoutunut fosfori, sekä mahdollisesti oksideista liuennut fosfori.

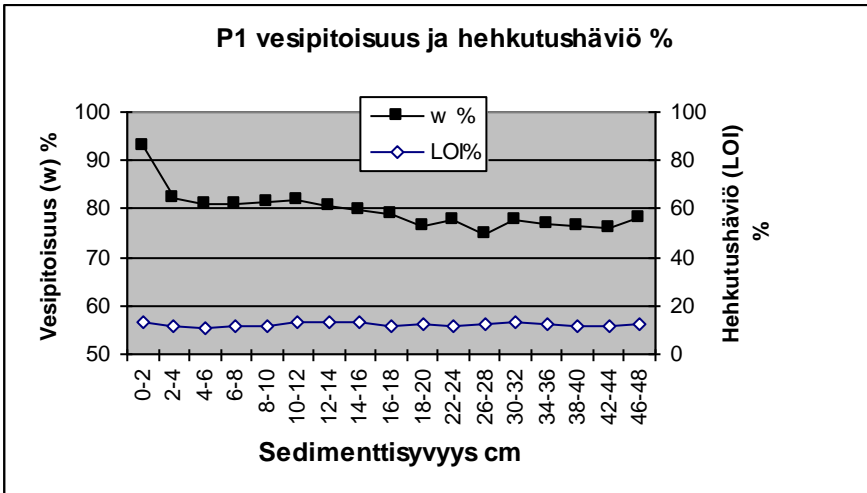
Kokonaisfosforin ja eri fraktioiden erotuksesta saadaan lisäksi nk. residuaalifraktio, joka edustaa vaikealiukoista, lähinnä orgaaniseen ainekseen sitoutunutta fosforia.

3. Tulokset ja tulkinta

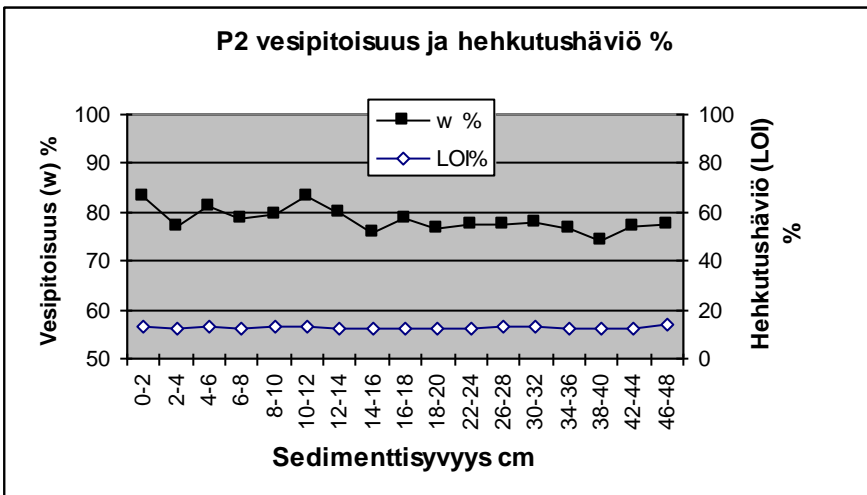
3.1. Vesipitoisuus ja hehkutushäviö

Vesijärven sedimenttien vesipitoisuus vaihteli välillä 71,1 % (P5) - 92,9 % (P1) (Taulukko 1). Suurin arvo tavattiin kunkin näytepisteen pintaosista (0-12 cm) ja pienin arvo syvyyksiltä 22-44 cm. Vesipitoisuustuloksissa kussakin näytepisteessä oli havaittavissa selkeä laskeva trendi syvemmälle sedimentissä mentäessä. Tämä selittyy alempien sedimenttien suuremmalla kokoonpuristuvuudella. Mikäli jätetään huomiotta aivan ylin sedimenttikerros (0-2 cm), jonka vesipitoisuus ei ole todellinen, vaan alusveden vääristämä, ei näytepisteessä P3 voida todeta vesipitoisuuden kasvua pintaa kohden. P3 on ainoa matalamman veden alueelta otettu näyte.

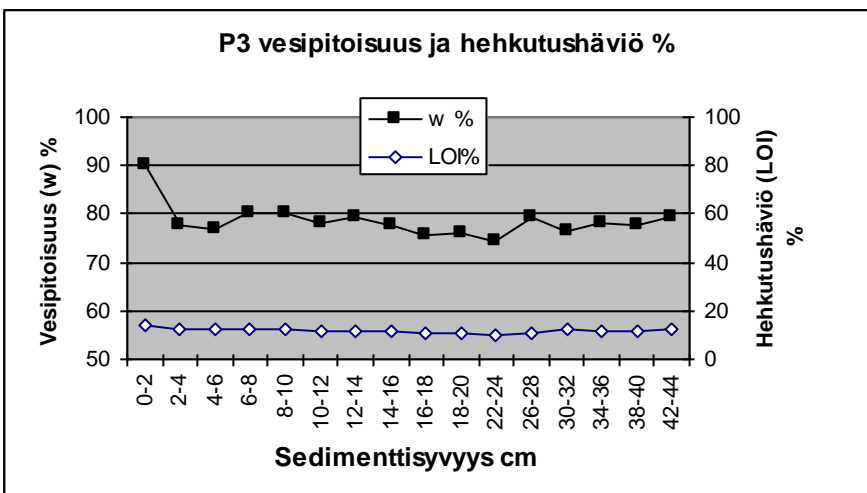
Vastaavasti hehkutushäviö vaihteli välillä 8,8 % (P4) - 13,7 % (P3) (Taulukko 1), joista suurimmat arvo tavattiin jälleen pääosin pintaosista, poikkeuksena näytepiste P2, jossa suurin hehkutushäviöarvo sijoittui syvyydelle 46-48 cm. Vesipitoisuus- ja hehkutushäviöarvot näytepisteittäin syvyyden funktiona on esitetty kuvissa 2-7. Selkeää orgaanisen aineksen kuormituksen lisäystä tai olojen muuttumista oleellisesti hapettomampaan tai hapelliseen suuntaa ei voida hehkutushäviöarvoista todeta.



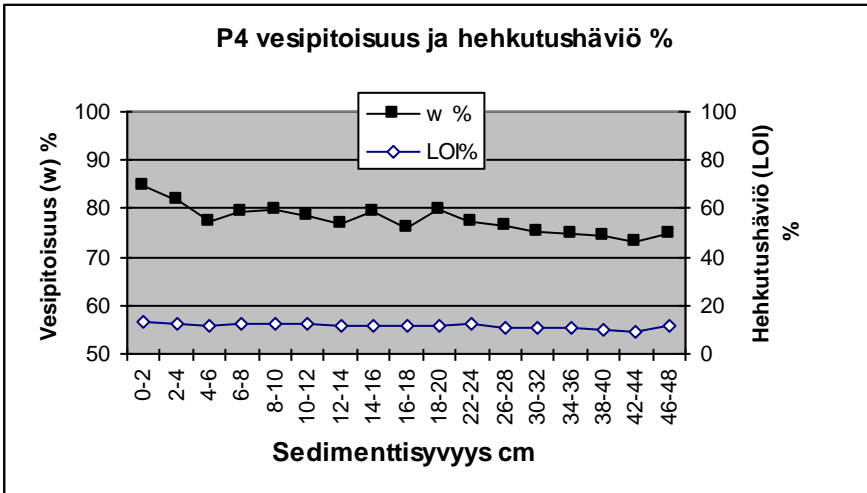
Kuva 2. Vesipitoisuus (W-%) ja hehkutushäviö (LOI-%) näytepisteen P1 sedimenttisarjassa.



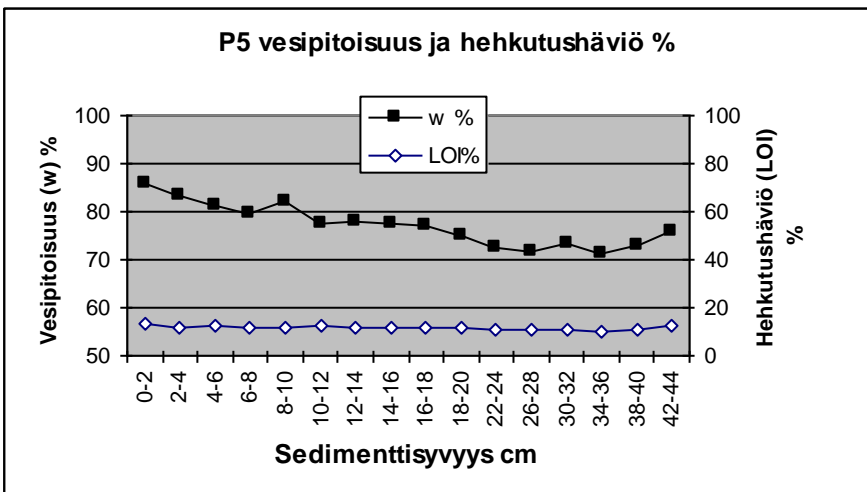
Kuva 3. Vesipitoisuus (W-%) ja hehkutushäviö (LOI-%) näytepisteen P2 sedimenttisarjassa.



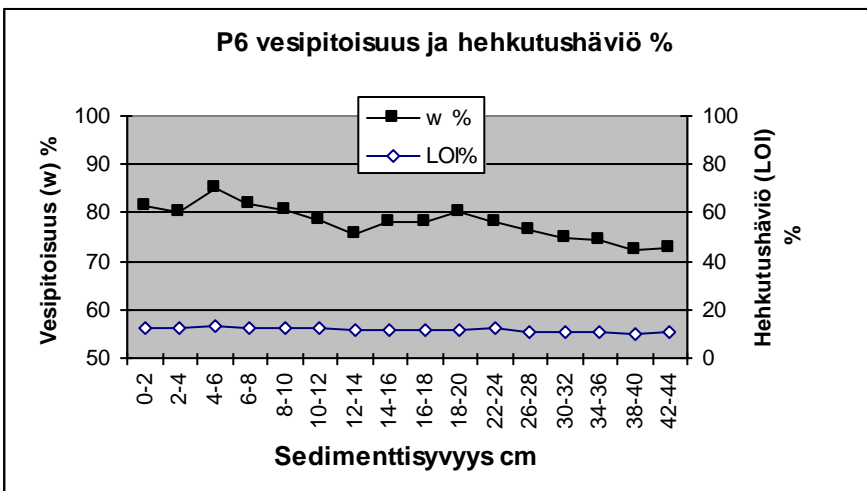
Kuva 4. Vesipitoisuus (W-%) ja hehkutushäviö (LOI-%) näytepisteen P3 sedimenttisarjassa.



Kuva 5. Vesipitoisuus (W-%) ja hehkutushäviö (LOI-%) näytepisteen P4 sedimenttisarjassa.



Kuva 6. Vesipitoisuus (W-%) ja hehkutushäviö (LOI-%) näytepisteen P5 sedimenttisarjassa.



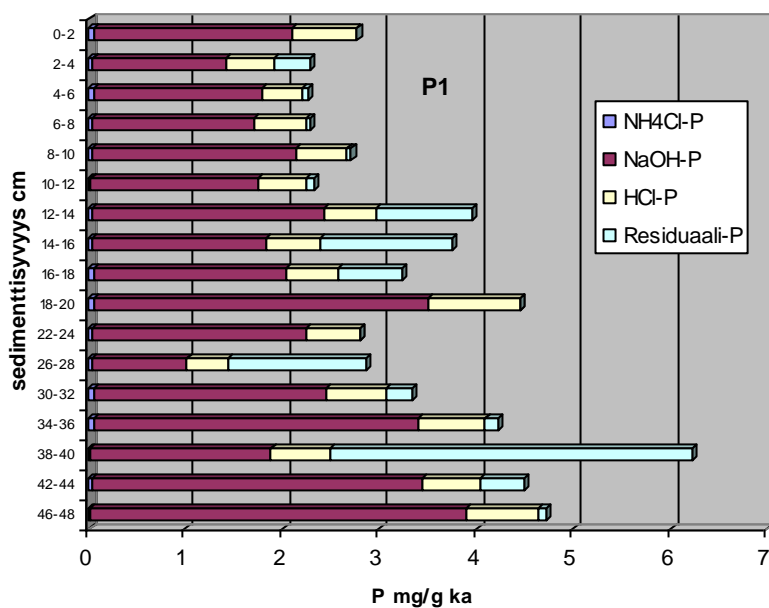
Kuva 7. Vesipitoisuus (W-%) ja hehkutushäviö (LOI-%) näytepisteen P6 sedimenttisarjassa.

Taulukko 1. Vesipitoisuus- ja heikutushäviöarvoista näytesteittäin lasketut maksimit, minimi- ja keskiarvot. Maksimi- ja minimiarvojen saavuttamissyvyudet on merkattu sulkeisiin arvon jälkeen. **Punaisella** on merkattu suurimmat ja **sinisellä** pienimmät maksimi- ja minimipitoisuudet.

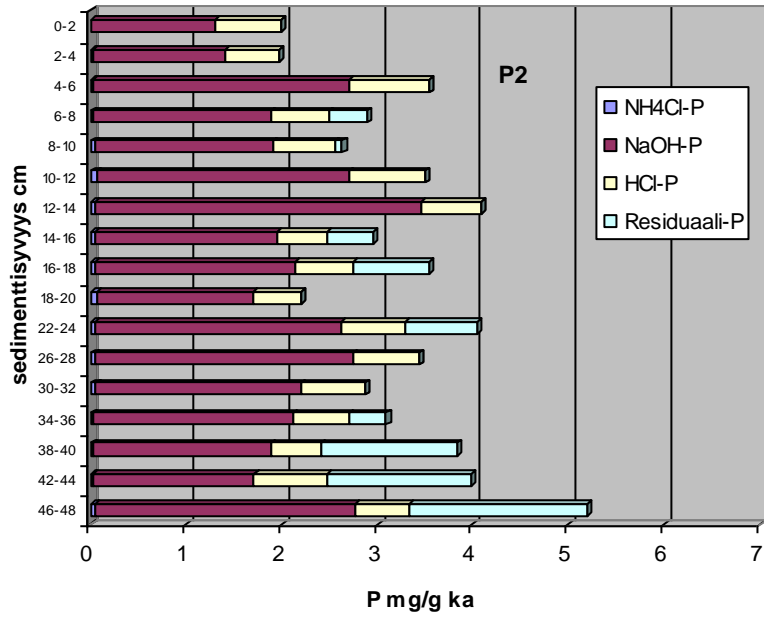
w %	Vesipitoisuus					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
max (cm)	92,9(0-2)	83,3 (10-12)	89,9 (0-2)	84,8 (0-2)	85,6 (0-2)	85,0 (4-6)
min (cm)	74,8 (26-28)	74,1(38-40)	74,3 (22-24)	73,2 (42-44)	71,1 (34-36)	72,4 (38-40)
ka	79,7	78,3	78,6	77,6	77,1	78,1

LOI %	Heikutushäviö					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
max (cm)	13,5 (14-16)	13,7 (46-48)	13,7 (0-2)	13,2 (0-2)	12,9 (0-2)	12,8 (4-6)
min (cm)	11,1 (4-6)	11,9 (14-16)	10,1 (22-24)	8,8 (42-44)	10,0 (34-36)	9,9 (38-40)
ka	12,2	12,6	11,8	11,5	11,7	11,7

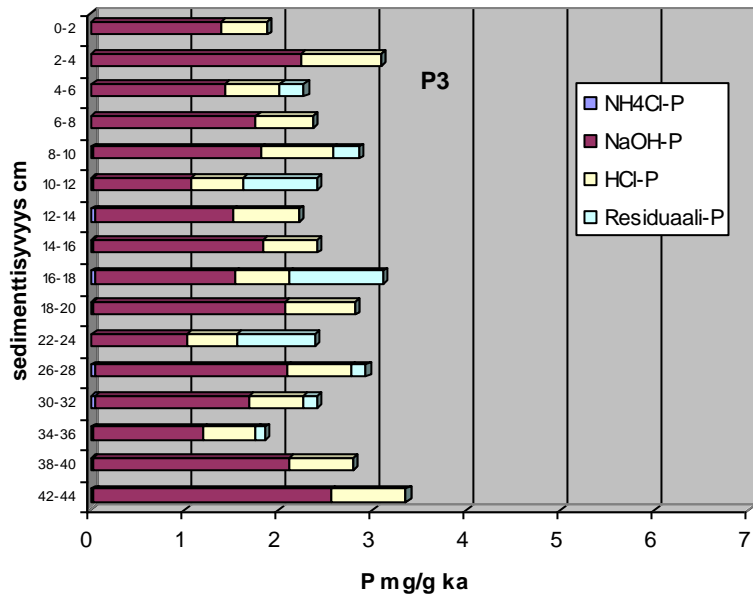
3.2. Fosforipitoisuudet



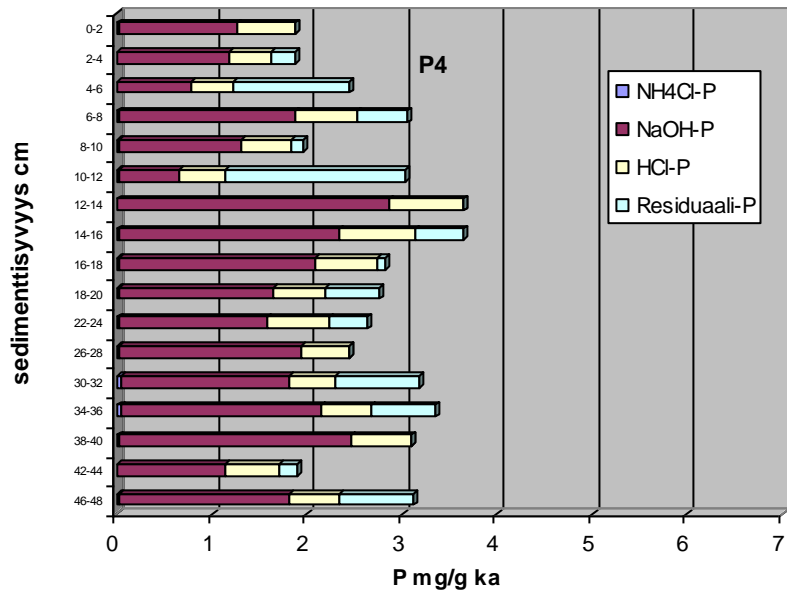
Kuva 8. Fosforipitoisuudet näytesteittäin P1 sedimenttisarjassa.



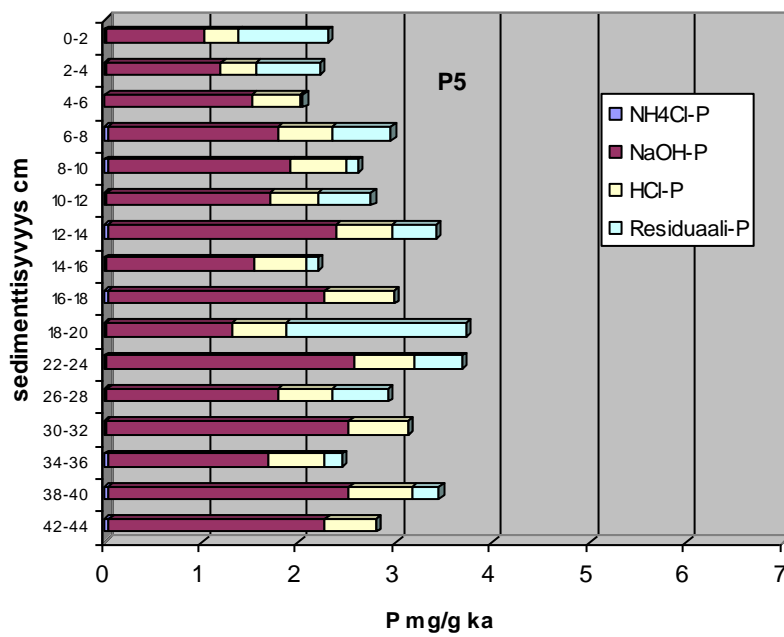
Kuva 9. Fosforipitoisuudet näytepisteen P2 sedimenttisarjassa.



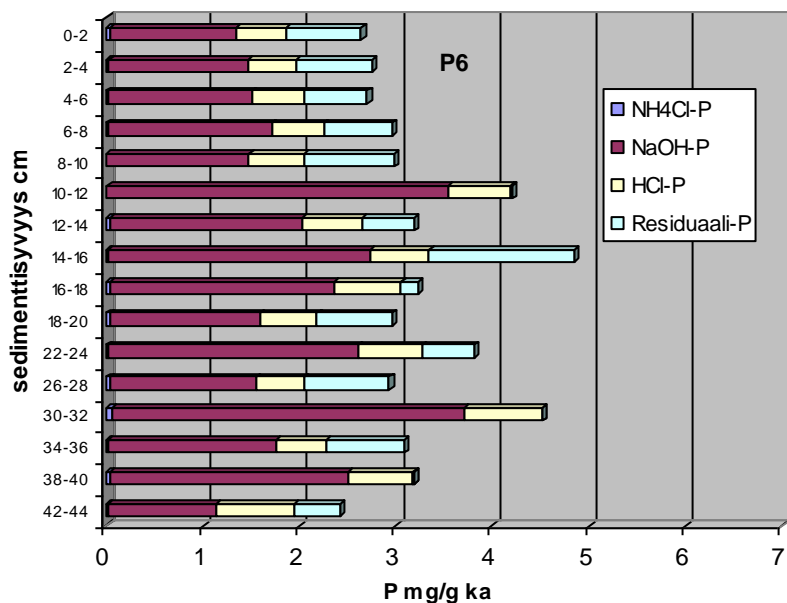
Kuva 10. Fosforipitoisuudet näytepisteen P3 sedimenttisarjassa.



Kuva 11. Fosforipitoisuudet näytepisteen P4 sedimenttisarjassa.



Kuva 12. Fosforipitoisuudet näytepisteen P5 sedimenttisarjassa.



Kuva 13. Fosforipitoisuudet näytepisteen P6 sedimentisarjassa.

3.2.1. Kokonaisfosfori

Sedimenttisarjojen kokonaisfosforipitoisuudet vaihtelevat välillä 3,36 - 6,22 mg/g ka. Sarjakohtaisesti suurimmat pitoisuudet löytyvät pääasiallisesti sedimentin syvemmistä osista. Alhaisimmat pitoisuudet sijoittuvat sedimentin pintaosiin lukuun ottamatta pistettä P6, jossa alhaisimmat pitoisuudet löytyvät 42-44 cm syvyydestä. Pintaosien pitoisuudet ovat kuitenkin lähes samalla tasolla. Suurimmat keskimääräiset kokonaisfosforipitoisuudet löytyvät näytepisteestä P1 ja pienimmät pisteestä P3.

Kokonaisfosforipitoisuuden nousun sedimentissä (erityisesti pintaa lähestyttäessä) on yleisesti tulkittu heijastelevan rehevöitymistä (esim. Itkonen & Olander, 1997). Vesijärven näytepisteissä tällaista kehitystä ei havaittu, vaan kokonaisfosforipitoisuudet pikemminkin vähenivät pintaa kohden. Voimakkainta tämä lasku on näytepisteissä P1 ja P2. Pisteessä P3 kokonaisfosforipitoisuuden lisääntymistä tai vähenemistä sedimenttisyvyyden funktiona ei pystytty havaitsemaan, vaan pitoisuus vaihteli tasaisesti koko tutkitun syvyyden matkalla.

Suuret vaihtelut sedimentin kokonaisfosforikertymässä saattavat johtua paitsi kuormituksen vaihteluista, myös sedimentin pidätyskyvyn vaihteluista. On mahdollista, että syvänteen sedimentin fosforinpidätyskyky on ollut aiemmin parempi, ja ravinnekuormasta suurin osa on kyennyt

sitoutumaan sedimenttiin. Sen sijaan nuoremmissa sedimenteissä pidätyskyky olisi alkanut heikentyä.

Järvisedimenttien kokonaisfosforipitoisuus on yleensä välillä 0,5 – 3,0 mg/g ka (Häkansson & Jansson), mutta pelkkä kokonaisfosforin tarkastelu ei riitä arvioitaessa järven fosforikiertoa. Eri järvien pohjasedimentin fosforinpidätyskyky vaihtelee ja sedimentin korkeat fosforipitoisuudet saattavat olla jopa hyvä merkki. Tällöin järvi kykenee sitomaan ylimääräisen fosforin sedimenttiinsä eikä se jää rehevöittämään vettä (Alhonen 1987).

Taulukko 2. Fosforipitoisuuksista näytesteittäin lasketut maksimit, minimi- ja keskiarvot. Maksimi- ja minimiarvojen saavuttamissyvyudet on merkattu sulkeisiin arvon jälkeen. **Punaisella** on merkattu suurimmat ja **sinisellä** pienimmät maksimi-, minimi- ja keskiarvopitoisuudet.

TP	Kokonaisfosfori					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
max (cm)	6,22 (38-40)	5,20 (46-48)	3,36 (42-44)	3,65 (14-16)	3,72 (18-20)	4,84 (14-16)
min (cm)	2,26 (4-6)	1,97 (2-4)	1,86 (0-2)	1,87 (0-2)	2,04 (4-6)	2,41 (42-44)
ka	3,45	3,28	2,58	2,76	2,85	3,28

3.2.2. NH_4Cl -fosfori

Sedimenttisarjojen NH_4Cl -fosforipitoisuudet vaihtelevat välillä 0 - 0,067 mg/g ka. (Taulukko 3) Sarjakohtaisesti suurimmat pitoisuudet löytyvät pääasiallisesti sedimentin syvemmistä osista, paitsi näytteessä P2, jossa suurin pitoisuus oli pinnassa. Kaiken kaikkiaan tämän fraktion osuus kokonaisfosforista vaihtelee välillä 0 - 1,5 %, joten erot eri näytteiden ja näytesteitten välillä ovat varsin pieniä. Keskimääräinen NH_4Cl -fraktion osuus näytesteittäin vaihtelee välillä 0,82 - 1,26 % (Taulukko 7). Tämä fraktio on yleisesti ottaen hyvin pieni, koska se heijastelee huokosveden sisältämää fosforia, joka on jatkuvassa vuorovaikutuksessa alusveden kanssa.

Taulukko 3. NH_4Cl -liukoista fosforipitoisuuksista mg/g ka näytesteittäin lasketut maksimit, minimi- ja keskiarvot. Maksimi- ja minimiarvojen saavuttamissyvyudet on merkattu sulkeisiin arvon jälkeen. **Punaisella** on merkattu suurimmat ja **sinisellä** pienimmät maksimi-, minimi- ja keskiarvopitoisuudet.

NH ₄ Cl-P	NH ₄ Cl-fraktio					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
max (cm)	0,058 (0-2)	0,067 (10-12)	0,050 (30-32)	0,045 (34-36)	0,045 (42-44)	0,054 (30-32)
min (cm)	0,022 (46-48)	0,008 (0-2)	0,006 (0-2)	0 (2-4)	0,006 (4-6)	0,003 (8-10)
ka	0,039	0,037 (0-2)	0,029	0,023	0,027	0,027

3.2.3. NaOH-fosfori

Sedimentisarjojen NaOH-fosforipitoisuudet vaihtelevat välillä 0,62 – 3,86 mg/g ka (Taulukko 4) Sarjakohtaisesti suurimmat pitoisuudet löytyvät sedimentin syvemmistä osista ja alhaisimmat pitoisuudet vaihtelevasti eri osista sedimenttiprofiilia. Tämän fraktion osuus kokonaisfosforista vaihtelee välillä 29,8– 83,4 %, joten tämän fraktion osuus on varsin merkittävä, keskiarvon vaihdella 60,9 -66,9 % välillä (Taulukko 7). Tämä fraktio kuvaa Fe- ja Al-hydroksideihin sitoutunutta fosforia. Kun happea on saatavilla, fosfori sitoutuu näihin hydroksideihin; kun taas happivajausta esiintyy, tämä fraktio alkaa vapautua. Usein myös ulkoisen kuormituksen kasvu näkyy juuri NaOH-fraktion kasvuna, koska hapekkaissa oloissa fosforia voi varastoitua rauta- ja alumiinihydroksideihin huomattavia määriä (Häkansson & Jansson 1983). Vesijärven Enonselän näytteissä tämän fraktion osuus ja kokonaismäärä on merkittävän suuri, ja tarjoaa edullisen lähtökohdan sisäkuormitukselle happiolojen heikentyessä.

Taulukko 4. NaOH-liukoista fosforipitoisuuksista mg/g ka näytepisteittäin lasketut maksimit, minimi- ja keskiarvot. Maksimi- ja minimiarvojen saavuttamissyvyys on merkattu sulkeisiin arvon jälkeen. **Punaisella** on merkattu suurimmat ja **sinisellä** pienimmät maksimi-, minimi- ja keskiarvopitoisuudet.

NaOH-P	NaOH-fraktio					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
max (cm)	3,86 (48-46)	3,40 (12-14)	2,53 (42-44)	2,85 (12-14)	2,55 (22-24)	3,65 (30-32)
min (cm)	0,98 (26-28)	1,28 (0-2)	1,01 (22-14)	0,63 (10-12)	0,99 (0-2)	1,12 (42-44)
ka	2,257	2,151	1,683	1,682	1,849	2,036

3.2.4. HCl-fosfori

Sedimentisarjojen HCl-fosforipitoisuudet vaihtelevat välillä 0,41 – 0,94 mg/g ka (Taulukko 5). Sarjakohtaisesti suurimmat sekä pienimmät pitoisuudet löytyvät hyvin eri syvyyksiltä sedimenttipatsaista. HCl-fraktion osuus kokonaisfosforista vaihtelee välillä 9,8 - 34,7 % keskiarvon vaihdella välillä 17,8 - 25,2 % (Taulukko 7).

HCl-liukoinen fraktio on vakaa, eikä ole potentiaalinen sisäkuormituksen aiheuttaja.

Taulukko 5. HCl-iukoisista fosforipitoisuuksista mg/g ka näytepisteittäin lasketut maksimit, minimi- ja keskiarvot. Maksimi- ja minimiarvojen saavuttamissyvyudet on merkattu sulkeisiin arvon jälkeen. **Punaisella** on merkattu suurimmat ja **sinisellä** pienimmät maksimi-, minimi- ja keskiarvopitoisuudet.

HCl-P	HCl-fraktio					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
max (cm)	0,94 (18-20)	0,83 (4-6)	0,85 (2-4)	0,80 (14-16)	0,71 (16-18)	0,81 (30-32)
min (cm)	0,41 (26-28)	0,49 (18-20)	0,48 (0-2)	0,45 (4-6)	0,35 (2-4)	0,49 (26-28)
ka	0,583	0,637	0,643	0,577	0,549	0,616

3.2.5. Residuaalifosfori

Sedimenttisarjojen residuaalifosforipitoisuudet vaihtelevat välillä 0,00 -3,73 mg/g ka (Taulukko 6). Sarjakohtaisesti suurimmat arvot löytyvät sedimentin syvemmistä osista ja pienimmät pitoisuudet vaihtelevasti eri kohdista sedimenttiprofiileja. Nollapitoisuuksia löytyi useammalta eri sedimenttisyvyydeltä näytteistä P2, P3, P4 ja P5. Tämän fraktion osuus kokonaisfosforista on laskennallinen, eli kokonaisfosforin ja muiden fraktioiden erotus. Koska kumpaankin analyysiin on otettu eri osanäyte, saattaa nollapitoisuuksia ilmetä tästä syystä. Prosentuaalisesti tämän fraktion osuus vaihteli välillä 0,0 - 60,0 % keskiarvon vaihdellessa välillä 8,5 - 17,3 % (Taulukko 7).

Yleensä tämä fraktio on kokonaisfosforin suurin fraktio ja on korkeimmillaan sedimentin pintaosissa. Syvemmällä sedimentissä olevat korkeat pitoisuudet (kuten tässä tapauksessa) kertovat, että hajotusprosessit eivät ole kyenneet hajottamaan kaikkea sedimentoitunutta ainesta (Håkansson & Jansson 1983). Enonselän syvänteen näytteistä pisteessä P3 residuaalifraktion osuus on selvästi pienempi kuin muissa näytepisteissä. Tämä oletettavasti johtuu alhaisemmasta vesisyvyydestä ja siitä aiheutuvasta paremmasta happitilanteesta ja tehokkaammasta orgaanisen aineksen hajotuskyvystä.

Taulukko 6. Residuaalipitoisuuksista mg/g ka näytepisteittäin lasketut maksimit, minimi- ja keskiarvot. Maksimi- ja minimiarvojen saavuttamissyvyudet on merkattu sulkeisiin arvon jälkeen. **Punaisella** on merkattu suurimmat ja **sinisellä** pienimmät maksimi-, minimi- ja keskiarvopitoisuudet.

RES	Residuaali-fraktio					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
max (cm)	3,73 (38-40)	1,87 (46-48)	0,99 (16-18)	1,89 (10-12)	1,85 (18-20)	1,50 (14-16)
min (cm)	0 (18-24)	0 (X)	0 (X)	0 (X)	0 (X)	0 (30-32)
ka	0,571	0,454	0,221	0,479	0,428	0,597

Taulukko 7. Eri fraktioiden osuudet kokonaisfosforista keskiarvoina

	Fraktio %			
	NH ₄ Cl-P	NaOH-P	HCl-P	Residuaali-P
P1	1,26	66,85	17,76	14,14
P2	1,19	66,61	20,54	11,66
P3	1,13	65,16	25,17	8,53
P4	0,85	60,92	20,90	17,34
P5	0,95	64,82	19,23	14,99
P6	0,82	62,14	18,81	18,23

Johtopäätökset

Enonselän syvänteen sedimenttien vesipitoisuus- ja hehikutushäviöarvot eivät ole millään tavoin poikkeuksellisia. Hehikutushäviöarvojen heijastelema orgaanisen aineksen pitoisuus ei osoita järveen tulevan poikkeuksellisen suurta orgaanisen aineksen kuormitusta.

Sedimenttien syvimmissä osissa kokonaisfosforipitoisuudet ovat paikoin todella korkeita (max. 6,22 mg/g ka), mutta pintaa lähestyttäessä pitoisuudet laskevat. Nämä muutokset sedimentin kokonaisfosforikertymässä saattavat johtua paitsi kuormituksen muutoksesta, myös sedimentin pidätyskyvyn vaihteluista. On mahdollista, että syvänteen sedimentin fosforinpidätyskyky on ollut aiemmin parempi, ja ravinnekuormasta suurin osa on kyennyt sitoutumaan sedimenttiin. Sen sijaan nuoremmassa sedimenteissä pidätyskyky olisi alkanut heikentyä ns. sietorajan ylityttyä.

Näytepisteistä mitatut pintaosienkokonaisfosforipitoisuudet eivät ole poikkeuksellisen suuria, mutta ongelman luo se, että tästä kokonaisfosforista suurin osa (keskimäärin 60,9 -66,9 %) on NaOH-liukoista fosforia, joka lähtee liikkeelle, kun sedimentin redox-taso laskee. Nimenomaan NaOH-liukoisien fraktion suuri määrä Enonselän sedimentissä luo merkittävän potentiaalisen sisäkuormituksen.

Lähteet

- Alhonen, P. 1987. Chemostratigraphy of the Holocene sediments of lake Työtjärvi and its limnological significance. *Bulletin of the geological society of Finland* 59:2. Ss 97-107.
- Bengtsson, L & Enell, M., 1986: Chemical analysis. Teoksessa: Berglund, B., (toim.): *Handbook of Holocene Palaeoecology and palaeohydrology*. John Wiley & Sons. Ss. 405-451.
- Hieltjes, A. & Lijklema, L., 1980. Fractionation of inorganic phosphates in calcareous sediments. *J. Environ. Qual.* 9(3). Ss. 405-407.
- Håkanson, L. ja Jansson, M., 1983: *Principles of Lake Sedimentology*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokio. Ss. 73-80.
- Itkonen, A & Olander, H. 1997. The origin of the hypertrophic state of shallow boreal shield lake. *Boreal Environment Research* 2. Ss.183-198.
- Murphy, J. & Riley, J., 1962: A modified single solution method for the determination of phosphorus in natural waters. *Analytica Chimica Acta* 27. Ss. 31-36.
- Renberg, I. & Wik, M., 1984: Dating recent lake sediments by soot particle counting. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 22 (2). Ss. 712-718.
- Rose, N., 1990: A method for the extraction of carbonaceous particles from lake sediment. *Journal of Paleolimnology* 3. Ss. 45-53.
- Troels-Smith, J., 1955: Karakterisering af løse jordarter. *Danmarks Geologiske Undersøgelse, IV Række* 3:10. 73 s.
- VTT & Tilastokeskus 1998: Fossiilisten polttoaineiden kulutuskäyrä.