



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

**SUO- JA TURVEMAAN GEOKEMIAALLISET
TEKIJÄT LUONNONMUKAISEN
VESIENKÄSITTELYRAKENTEEN
SOVELTUVUUSARVIOINNISSA**

Sanna Turunen

Geotieteiden tutkinto-ohjelma

Pro Gradu

Toukokuu 2022

TIIVISTELMÄ

OPINNÄYTETYÖSTÄ

Oulun yliopisto, Teknillinen tiedekunta, OMS

<i>Tutkinto-ohjelma</i> Geotieteiden tutkinto-ohjelma		<i>Pääaineopintojen ala</i> Maaperägeologia	
<i>Tekijä</i> Turunen, Sanna Katariina		<i>Työn ohjaaja yliopistolla</i> Eskola, Tiina., tutkijatohtori	
<i>Työn nimi</i> Suo- ja turvemaan geokemialliset tekijät luonnonmukaisen vesienkäsittelyraken- teen soveltuvuusarvioinnissa			
<i>Yksikkö</i> Oulu Mining School	<i>Työn laji</i> Pro Gradu	<i>Aika</i> Toukokuu 2022	<i>Sivumäärä</i> 63+5
<i>Tiivistelmä</i> Pintavalutuskentäksi soveltuvan suoalueen suunnitteluohjeena käytetään turvetuotan- nossa yleisesti TuKos –hanketta (Turvetuotannon valumavesien ympärivuotinen käsitte- ly) ja sen suuntaa-antavia raja-arvoja tulevan pintavalutuskentän toimivuudesta. Tämän tutkimuksen aineisto on kerätty Neovan (sen hetkisen Vapon) toimesta suoalueilta, joi- den soveltuvuus pintavalutuskentiksi haluttiin selvittää TuKos –hankkeen ohjeiden mu- kaisesti. Tuloksia on tarkasteltu TuKos –hankkeen raja-arvojen valossa sekä tehty uusia havaintoja kerätystä aineistosta. Tutkimuksessa on mukana 38 suoaluetta ympäri Suomea, jotka jaettiin tarkempia tutki- muksia ja tarkastelua varten ojitettuihin ja ojitamattomiin soihin. Näiltä soilta on maas- tossa määritetty turvekaava ja maatuneisuusaste sekä laboratoriossa tehty alkuaeineana- lyysit pintaturpeesta fosforin (P), alumiinin (Al), raudan (Fe), mangaanin (Mn), kalsiumin (Ca) ja magnesiumin (Mg) pitoisuuksista. Pitoisuusanalyysia varten haluttiin tarkastella kahden hajotusmenetelmän, EPA 3051(HNO ₃ /HCL) ja SFS-EN ISO 16967:15, antamia eroavaisuuksia tuloksissa. Myös pH, sähkönjohtokyky ja tuhkapitoisuus määritettiin Geo- kemian laboratoriossa. Tutkimuksen tulokset osoittivat, että ojitetuilla ja ojitamattomilla soilla oli selkeä ero alku- ainepitoisuuksissa muun muassa fosforin osalta, joka on pintavalutuskentillä huuhtoutu- misongelmaa mahdollisesti aiheuttava alkuaine. Tarkasteltaessa myös fosforia sitovia alkuaaineita, oli ero ojitustilanteiltaan erilaisilla soilla suhteellisen tasainen huuhtoutu- misongelmaa silmälläpitäen. Ojitamattomilla soilla korrelaatiot eri pintaturpeen ominai- suuksien ja alkuaineiden kanssa olivat selkeämmät. Hajotusmenetelmän valinta ei aihe- uttanut suurta poikkeamaa pitoisuustulosten välille, mutta tietyissä alkuaineissa (Al) ja tutkimusten vertailuissa ero on otettava huomioon. TuKos –hankkeen suunta-arvoihin verrattuna tutkimuksen pintavalutuskentän puhdistustehokkuutta kuvaavan alkuainesuh- dekaavan arvot olivat huomattavasti pienempiä. Jotta voitaisiin varmistaa tämän tutkimuksen tuloksia pintavalutuskentän pintaturpeen ominaisuuksien mahdollisesta potentiaalista sekä korrelaatioista puhdistuksessa, tulisi olla tarkastelussa myös soiden valuntatiedot. Tuloksista voidaan kuitenkin tehdä varovai- sia johtopäätelmiä sen osalta, että varmimmin toimivana pintavalutuskenttänä toimii todennäköisesti TuKos –hankkeessakin esitetty pintaturpeeltaan heikosti maatunut ojit- tamaton suo.			
<i>Avainsanat</i> turve, fosfori, huuhtoutuminen, ojitettu suo, ojitamaton suo, pintavalutuskenttä			

ABSTRACT

OF THESIS

University of Oulu, Faculty of Technology, OMS

<i>Degree Programme</i> Degree Programme of Geosciences		<i>Major Subject</i> Quaternary Geology	
<i>Author</i> Turunen, Sanna Katariina		<i>Thesis Supervisor</i> Dr. Eskola, Tiina	
<i>Title of Thesis</i> Geochemical factors of peatland in suitability assessment of organic water treatment structure			
<i>Unit</i> Oulu Mining School	<i>Type of Thesis</i> Master's Thesis	<i>Time</i> May 2022	<i>Number of Pages</i> 63+5
<i>Abstract</i> <p>In peat production, the TuKos project (Turvetuotannon valumavesien ympäristöön käsittely) and its indicative limit values for the functioning of the future surface drainage field are commonly used as a design guide for a peatland area suitable for surface drainage field. The data from this study have been collected by Neova (then Vapo) from peatland, whose suitability as surface drainage fields was to be determined according to the instructions of the TuKos project. The results have been examined in the light of the thresholds of the TuKos project, as well as new findings from the collected data.</p> <p>The study includes 38 peatland areas around Finland, and these were divided into drained and undrained peatland for further investigation and examination. These peatland have been determined by the terrain peat formula and deposition and laboratory elemental analyses of surface peat for concentrations of phosphorus (P), aluminium (Al), iron (Fe), manganese (Mn), calcium (Ca) and magnesium (Mg). For concentration analysis, it was desirable to examine the differences in results given by two degradation methods, EPA 3051 (HNO₃/HCL) and SFS-EN ISO 16967:15. The pH, electrical conductivity and ash content were also determined in the Geochemistry Laboratory.</p> <p>The results of the study showed that drained and undrained peatland have a clear difference in elemental concentrations for, among other things, phosphorus, an element potentially causing leaching problem in surface drainage fields. When considering phosphorus-binding elements as well, there was a difference in drainage situations in different peatland with relatively flat leaching problems. In undrained peatland, correlations with various surface peat properties and elements were clearer. The choice of degradation method did not cause much deviation between concentration results, but in certain elements (Al) and comparisons between studies, the difference must be considered. Compared to the directional values of the TuKos project, the values of the elemental ratio formula describing the purification efficiency of the surface drainage field in the study were significantly lower.</p> <p>To verify the results of this study on the potential of surface peat characteristics of surface drainage field and correlations in purification, peatland runoff data should also be included in the review. However, cautious conclusions can be drawn from the results as to the fact that the most assured surface drainage field is likely to be the low-earthen undrained peatland presented in the TuKos project.</p>			
<i>Keywords</i> peat, phosphorus, leaching, drained peatland, undrained peatland, surface drainage field			

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	4
2. TURPEEN MUODOSTUMINEN JA OMINAISUUDET	5
2.1 Suot ja turve.....	5
2.2 Turpeen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet	5
2.2.1 Turpeen botaniikka	5
2.2.2 Turpeen maatuneisuus ja pH	6
2.2.3 Turpeen sisältämät yleiset alkuaineet ja niiden huuhtoutuminen	8
2.3 Turvetuotannon pintavalutuskentän toiminta	10
3. TUTKIMUSMENETELMÄT	12
3.1 Tutkimusalue	12
3.2 Näytteenotto ja turvelajin määrittäminen.....	15
3.3 Laboratorioanalyysit.....	16
4. TULOKSET.....	17
4.1 Turvelaji ja maatumisaste.....	17
4.2 pH, sähkönjohtokyky, tuhkapitoisuus.....	20
4.3 Alkuaineiden hajotusmenetelmien ero.....	21
4.4 Alkuaineet ojitetuilla ja ojittamattomilla soilla.....	26
4.5 Korrelaatiot	35
4.5.1 Korrelaatiot ojittamattomilla ja ojitetuilla soilla	42
5. TULOSTEN TARKASTELU	47
5.1 Alkuainetulokset.....	47
5.2 pH, sähkönjohtokyky ja tuhkapitoisuus.....	49
5.3 Hajotusmenetelmän vaikutus tuloksiin	50
5.4 Maatumisasteen vaikutus fosforiin	51
5.5 Ojitustilanteen vaikutus tuloksiin	53
5.6 Pintavalutuskentän suunnitteluohjeen (TuKos –hanke) mukaiset alkuainetulokset	53
5.7 Jatkotutkimukset.....	56
6. JOHTOPÄÄTÖKSET.....	56
7. KIITOKSET	58
LÄHTEET.....	60
LIITTEET.....	64

1. JOHDANTO

Tämän pro gradu tutkimuksen tarkoituksena on selvittää pintavalutuskentiksi suunnitteilla olevien suoalueiden pintaturpeen geokemiallisten ominaisuuksien pitoisuusarvot yleisesti, mutta myös jaettuna ojitettuihin ja ojittamattomiin soihin. Tutkimuksessa on mukana lisäksi jo toiminnassa olevia pintavalutuskenttiä. Onko ojitustilanteeltaan erilaisilla soilla pintaturpeessa merkittäviä pitoisuseroja, ja mikä aiheuttaa mahdolliset erot pintaturpeen geokemiallisissa ominaisuuksissa soiden välillä? Tuloksia vertaillaan muiden tutkimusten tuloksiin, ja yritetään löytää erojen syitä tämän ja muiden tutkimusten tulosten välillä.

Tutkimuksen yksi tärkeä tarkasteluosa-alue on mahdollinen korrelaatio pintaturpeen eri maatuneisuusasteiden ja turpeen sisältämän fosforin sekä sitä sitovien alkuainepitoisuuksien välillä pintavalutuskentiksi suunnitteilla olevilla tai jo pintavalutuskenttänä toimivilla suoalueilla. Fosforia (P) sitovista alkuaineista mukana tutkimuksessa ovat rauta (Fe), alumiini (Al), mangaani (Mn), kalsium (Ca) ja magnesium (Mg). Tutkielmassa tarkastellaan lisäksi muita pintaturpeen ominaisuuksia, ja niiden mahdollisia vaikutuksia edellä mainittuihin alkuainepitoisuuksiin. Tarkastelussa on myös tulosten eroavaisuudet alkuainemäärittämisessä, kun käytössä on kaksi eri tapaa (hajotusmenetelmää) valmistaa turvenäyte alkuaineanalyyysiin.

Tutkimuksessa saatuja tuloksia verrataan Turvetuotannon valumavesien ympärivuotinen käsittely eli TuKos -hankkeen (Postila *et al.* 2011) loppuraportissa esitettyihin tuloksiin alkuainepitoisuuksista. Tässä tutkimuksessa pyritään avaamaan ja varmentamaan TuKos -hankkeen päätelmiä pintaturpeen fosforipitoisuuden ja maatuneisuusasteen vaikutusarvosta turvetuotannon pintavalutuskenttien toimivuuteen. Myös SulKa (Uusia innovatiivisia vesiensuojelumenetelmiä turvetuotannon vesistökuormituksen vähentämiseen) -hankkeen (Karppinen ja Postila 2015) tutkimustuloksia käytetään avaamaan tämän tutkimuksen tuloksia.

2. TURPEEN MUODOSTUMINEN JA OMINAISUUDET

2.1 Suot ja turve

Suo on Laineen ja Vasanderin (1990 ja 2005) määritelmän mukaan ”kasvu- paikkaa, jolla on suokasvien vallitsema turvetta tuottava kasviyhdyiskunta”. Käsitteenä suolla voidaan tarkoittaa myös hieman erilaisia ekosysteemejä tarkastelunäkökulmasta riippuen. Suo voi esimerkiksi olla maa- ja metsätaloudellinen, kasvitieteellinen, biologinen tai geologinen käsite. Biologisella suolla yli 75 % aluskasvillisuudesta on suokasvillisuutta tai kivennäismaata peittää alle 30 cm turvekerros (Virtanen *et al.* 2003). Suota kutsutaan geologiseksi suoksi, mikäli turvepaksuus on vähintään 30 cm. Turve puolestaan on orgaaninen maalaji, joka kerrostuu kosteissa ja anaerobisissa olosuhteissa erilaisten kasvinjäänteiden hitaan, epätäydellisen maatumisen seurauksena (mm. Virtanen *et al.* 2003, Maunu & Virtanen 2005). Ekmanin (1955) mukaan luonnontilainen turve koostuu vedestä (88–95 %), orgaanisesta aineesta (5–12 %) ja epäorgaanista aineksesta (0,1–1,5 %). Orgaanisen aineksen määrä kuivatusta turpeesta on vähintään 75 % (Virtanen *et al.* 2003, Iivonen 2008).

2.2 Turpeen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet

2.2.1 Turpeen botaniikka

Turve koostuu erilaisista suokasvien jäänteistä, jotka ovat olosuhteista riippuen enemmän tai vähemmän maatumineita. Turve on kasvinosasten massa, josta voidaan silmämääräisesti erottaa isompia osasia, mutta myös mikroskooppisesti havaittavia kemiallisia orgaanisia yhdisteitä. Nämä hienojakoisimmat osat muodostavat yhtenäisen seoksen eli dispergoitun faasin, jossa dispersioaineena toimii vesi. (Ekman 1955, Virtanen *et al.* 2003) Näitä faasin osia ovat suokasvien maatumisen seurauksena kasveista irronneet selluloosat, hemiselluloosat, proteiinit, ligniinit, vahat, hartsit, humusha-

pot, fulvohapot ja humiinit (Ekman 1955, Smolander 2003, Virtanen *et al.* 2003).

Kasvit viihtyvät tietyntyyppisissä oloissa, ja indikoivatkin kasvupaikan tekijöitä, kuten kosteusolosuhteita ja kasvupaikan ravinteikkuutta (Rydin & Jeglum 2006). Yleisimmät turvetta muodostavat kasvit ovat erilaiset sarat (*Carex*), rahkasammaleet (*Sphagnum*) ja ruskosammaleet (*Bryales*). Nämä kasvit muodostavat Suomessa käytetyn geologisen turveluokituksen mukaan pääturvelajit (Lappalainen *et al.* 1984, Rydin & Jeglum 2006). Fennoskandian alueella rahkasammaleita esiintyy noin 50 erilaista lajia (Shaw *et al.* 2003, Rydin & Jeglum 2006). Rahkasammaleet voidaan jakaa eri ryhmiin, joita ovat muun muassa *Acutifolia*-, *Palustria*- ja *Cuspidata* -ryhmät. Suomessa yleisesti kasvavia rahkasammaleita ovat esimerkiksi *Sphagnum fuscum* (ruskorahkasammal, *Acutifolia*-ryhmä), *S. angustifolium* (rämerahkasammal), *S. papillosum* (kalvakkarahkasammal, *Palustria*-ryhmä), *S. cuspidatum* (kuljurerahkasammal, *Cuspidata*-ryhmä) ja *S. magellanicum* (punarahkasammal, *Palustria*-ryhmä) (mm. Lappalainen *et al.* 1984, Toivonen 1997). Suolla viihtyviä saroja Rikkisen (2014) mukaan ovat muun muassa *Carex globularis* (pallosara), *C. pauciflora* (rahkasara) sekä *C. paupercula* (riipasara). Muita turpeessa yleisesti esiintyviä ja turvekaavassa lisätekijöiksi merkittäviä kasveja ovat *Eriophorum vaginatum* (tupasvilla), *Scheuchzeria palustris* (suoleväkkö), *Equisetum* (kortteet), *Molinia caerulea* (siniheinä) ja *Menyanthes trifoliata* (raate). Lisäksi turpeessa esiintyy usein *Lignidi* eli puuainesta ja *Nanolignidi* eli varpuainesta (Lappalainen *et al.* 1984).

2.2.2 Turpeen maatumisuus ja pH

Botaanisen koostumuksen lisäksi turpeen yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on turpeen maatumisaste (Rydin & Jeglum 2006). Kivinen (1948) ja Virtanen *et al.* (2003) määrittelevät maatumisen eli huminositeetin kaikiksi niiksi ilmiöiksi, jotka hajottavat turvetta muodostavat kasvit pienempiin osiin aina humusaineiksi asti. Näitä ilmiöitä ovat mikrobiologisten tekijöiden aikaansaamat ilmiöt sekä kemialliset hapetus-pelkistymisreaktiot.

Maatumisnopeutta sääteleviä tekijöitä ovat kasvilaji (mm. Casparie 1972, Yellof & Mauquoy 2006), lämpötila, kosteus, ravinteet ja pH (Virtanen *et al.* 2003). Maatuminen on aktiivisinta suon pintakerroksissa suuren happipitoisuuden takia. Maatumisprosessin nopeus hidastuu pintaosien jälkeen, sillä alemmat kerrokset ovat veden alla anaerobisissa tai vähähappisissa olosuhteissa. Tällaiset olosuhteet säilövät tehokkaasti *in situ* -kerrostumishetkellä vallinneet olosuhteet turveprofiliin (Yellof & Mauquoy 2006, Iivonen 2008). Metsäojitukset laskevat vedenpintaa suolla ja nopeuttavat kasviaineksen maatumista (Päivänen 2007). Varsinkin rakkasammalissa maatumisnopeus riippuu lajista, esimerkiksi Johnson ja Damman (1991) esittävät, että *S. cuspidatum* maatuu 1,5 kertaa nopeammin kuin *S. fuscum*. Yleisesti rakkasammaleet ovat kuitenkin hitaita maatumaan alhaisen typpipitoisuuden ja metallien sitomiskykynsä vuoksi. Metallit estävät mahdollisesti maatumista aikaansaavien mikrobien toimintaa (Päivänen 2007).

Maatumisprosessi muuttaa turpeen orgaanista ja epäorgaanista rakennetta. Turpeen happipitoisuus vähenee ja hiilipitoisuus kasvaa sen mukaan, mitä enemmän turve on maatunut (Virtanen *et al.* 2003). Lisäksi pitoisuudet humushapoissa, fulvohapoissa ja humiineissa yhdisteissä kasvavat ja selluloosa-, hemiselluloosa- sekä ligniinipitoisuudet vähenevät turpeen maatumisen edetessä. Maatuneen turpeen väri on tumma, rakenne hienojakoinen ja huokostilavuus pienempi kuin vähemmän maatuneella aineksella. Rakenteen muutoksista johtuen pitkälle maatuneella turpeella veden saturaatio ja vedenläpäisevyys ovat huonommat kuin vähän maatuneella. (Iivonen 2008.) Heikosti maatuneella turpeella on suuri huokostilavuus, noin 95 %, jonka vuoksi vedenpidätys voi olla jopa 80 tilavuus-% (Peltola *et al.* 1986). Maatumisen yhteydessä tapahtuu jonkin verran mineralisaatiota, kun osa orgaanisesta aineksesta kiteytyy epäorgaaniseksi (Iivonen 2008). Suomessa turpeen maatumisastetta eli huminositeettiä (H) kuvataan von Postin kymmenasteikolla H₁–H₁₀, jossa H₁ on maatumaton ja H₁₀ täysin maatunut turve (mm. von Post 1922, Lappalainen *et al.* 1984).

pH kuvaa vetyionikonsentraatiota eli toisin sanoen liuoksen happamuutta. Neutraalin liuoksen pH on 7, emäksisen yli 7 ja happaman liuoksen alle 7 (mm. Virkanen *et al.* 2014). Suomen maaperä on humushappojen vuoksi hapan (Kauranne & Sillanpää 1992). Maalajeista alhaisimmat pH –arvot ovat turpeella, jonka pH vaihtelee lähes neutraalista pH: n arvoon 2. Turpeen happamuus johtuu pääosin rakkasammalien soluseinämän kationivaihtomekanismista, joka vapauttaa veteen vety-ioneja. Yleisesti saraturpeilla pH on korkeampi kuin rakkaturpeilla (Rydin & Jeglum 2006).

2.2.3 Turpeen sisältämät yleiset alkuaineet ja niiden huuhtoutuminen

Fosfori (P) on vesistöjä rehevöittävä tekijä, joten sen kokonaismäärän tarkkailu on tarpeellista. Rautaa (Fe) ja mangaania (Mn) esiintyy eniten humuspi-toisissa ja hapettomissa vesistöissä ja soilla (Oravainen 1999). Happamissa (pH alle 7) oloissa mangaani, magnesium (Mg) sekä kalsium (Ca) ovat kahdenarvoisia kationeina kun taas alumiini (Al) on alle 5 pH:ssa 3+ arvoinen kationi. Rauta on hyvin happamissa oloissa kahdenarvoinen ja vähemmän happamissa kolmen arvoinen kationi (Holappa 2010).

Turve pidättää fosforia kemiallisesti muun muassa raudan, mangaanin ja alumiinin avulla (Klöve *et al.* 2012). TuKos –hankkeessa (Postila *et al.* 2011) on esitetty suhdekaava (Kaava 1) fosforin pidättymiselle, jonka avulla voidaan arvioida fosforin mahdollista huuhtoutumista suolta.

$$(1) (Al + Fe + Mn)/P$$

Postilan *et al.* (2011) mukaan kaavan 1 avulla voidaan arvioida suuntaantavasti fosforin huuhtoutumista. Mikäli turpeessa on yli 1000 mg/kg fosforia, tulee kaavan 1 arvo olla yli 30, jottei fosforin huuhtoutumisessa tule mahdollisesti ongelmia. Jos kaavan arvo ylittää 50, ei Postilan *et al.* (2011) mukaan tule ongelmia vesienpuhdistuksessa fosforin osalta. Alle 800 mg/kg fosforia sisältävissä turpeissa ei tutkimuksen mukaan tapahdu fosforin huuhtoutumista, mikäli turpeessa on myös jonkun verran alumiinia, rautaa tai

mangaania sitomassa fosforia. Nämä suuntaa-antavat arvot toimivat vain jonkun aikaa pintavalutuskenttänä toimineella suoalueella. Uusilla pintavalutuskentillä fosforin huuhtoutumista voi tapahtua.

Fosfori poistuu suolta valumaveden mukana liuenneena epäorgaanisena fosfaattifosforina tai orgaanisena liukoisessa muodossa olevana fosforina. Orgaaninen fosfori on yleisin muoto. Fosforia huuhtoutuu myös kiintoaineen mukana (Tuukkanen *et al.* 2011, Kløve *et al.* 2012). Maatumattomat rahkaturpeet päästävät fosfaattifosforia helpommin huuhtoutumaan, sillä niissä on heikommin kiinnityspaikkoja ioneille (Saarela *et al.* 2008). Hydrologialla on tärkeä rooli fosforin huuhtoutumisessa. Valumavedet ovat fosforipitoisempia silloin, kun valunta on vähäistä. Tällöin vesi on viipynyt kauemmin turvekerroksessa vieden mukanaan enemmän fosforipitoista humusta. Pienemmät huuhtoumat myös laimentavat vähemmän valumavettä, jolloin vesimäärässä on enemmän fosforia. Mikäli valunta on runsasta ja kulkee myös suon pintakerroksissa, on fosforipitoisuus valuntavedessä yleensä pienempi (Kløve 2001).

Soilla, joilla on vähän rautaa ja alumiinia, fosfori pidättyy turpeeseen orgaanisesti mikro-organismeihin sekä kasveihin (Heikkinen *et al.* 1994, Kløve *et al.* 2012). Holapan väitöskirjassa (2010) esitetään joidenkin turpeessa esiintyvien kasvien indikoivan tiettyjen alkuaineiden korkeampia pitoisuuksia. Esimerkiksi turpeissa, joissa esiintyy pallosaraa (*Carex globularis*) ja metsäkortetta (*Equisetum sylvaticum*), voi olla korkeat fosforipitoisuudet. Vastaavasti taas tupasvilla (*Eriophorum vaginatum*) ja tupasluikka (*Trichophorum cespitosum*) -turpeissa on tavallista pienemmät fosforipitoisuudet. Holapan (2010) tutkimustyön aineistossa käy ilmi, että fosforia turpeessa on vähiten ombro(ravinteet sateen mukana) ja oligotrofisilla (vähäravinteisilla) soilla. Tupasvillaturpeessa esiintyy puolestaan korkeita rautapitoisuuksia. Korkeita Fe ja sen lisäksi Mg, Ca, Na ja Mn ja Cu-pitoisuuksia on löydetty siniheinää (*Molinia caerulea*) sisältävistä turpeista. Korkeita alumiinipitoisuuksia esiintyy heinäisissä, esimerkiksi keltasaraa (*Carex flava*) ja jouhisaraa (*Carex lasiocarpa*), sekä mähkää (*Selaginella selaginoides*) sisältävissä turpeissa. Rahkasammalturpeissa alkuaineita on joitain poikkeuksia lukuun ottamatta yleensä

vähän. Trofiatasoista eutrofisilla (runsasravinteisimmilla) soilla on suurimmat alkuainepitoisuudet. Minerotrofiset suot eli ravinteensa niin sateesta kuin ympäristöstä saavat suot, rikastavat pohjaturpeeseen alumiinia ja pintaturpeisiin rautaa, mangaania ja kaliumia (K). (Holappa 2010)

2.3 Turvetuotannon pintavalutuskentän toiminta

Turvetuotannon aikana syntyy valumavesiä, jotka ovat ravinteikkaampia kuin luonnontilaisten soiden vedet, aiheuttaen alapuolisiin vesistöihin esimerkiksi tummumista ja rehevöitymistä. Turvetuotannossa suota kuivatetaan ojituksilla, kaivetaan, jyrsitään ja työskennellään isoilla, painavilla koneilla, mikä aiheuttaa kiintoaineen irtoamista tehden valumavesistä ruskeita ja eloperäisiä. Ravinteet vapautuvat veteen eloperäisen aineksen hajotessa, jolloin veden happipitoisuus pienenee, ja liukoiset aineet, kuten fosfori ja typpi vapautuvat veteen. Turvetuotannon vesistövaikutus näkyy ennen kaikkea pienissä vesistöissä, kuten joissa (esim. Väyrynen *et al.* 2008, Ympäristöministeriö 2015). Näitä haittoja alapuolisiin vesistöihin voidaan vähentää turvetuotannon vesienkäsittelyrakenteilla (Kuva 1). Esimerkkeinä vesienkäsittelyrakenteista ovat laskeutusaltaat, lietsyvennykset, pintavalutuskenttä, kemikalointi ja aktiivinen seuranta. Tällä hetkellä parasta käyttökelpoista tekniikkaa, BAT (Best available techniques), turvetuotannon vesienpuhdistuksessa ovat ympärivuotiset kemikaloinnit ja pintavalutuskentät (Ympäristöministeriö 2015).

Pintavalutuskenttä on suoalue, johon johdetaan turvetuotannon valumavesiä eli kuivatusvesiä, puhdistettaviksi. Vedet puhdistuvat virratessaan pintaturpeessa fysikaalisten, kemiallisten ja biologisten tekijöiden vaikutuksesta. Osa ravinteista ja orgaanisesta aineksesta suotautuu kasvien käytössä kiintoaineksesta sekä sedimentoituu kiintoaineen mukana (Ihme *et al.* 1991). Puhdistunut vesi kerätään keräilyjojan, josta se johdetaan alapuolisiin vesistöihin (esim. Ihme *et al.* 1991, Väyrynen *et al.* 2008). Ojittamattomat pintavalutuskentät puhdistavat turvetuotannon valumavesistä noin 50 % kokonaisfosforista ja kiintoaineesta (Väyrynen *et al.* 2008).

Pintavalutuskentän tulee täyttää tietyt kriteerit, jotta se toimisi optimaalisesti. Paras puhdistusteho saadaan pintavalutuskentällä, joka on ojittamaton. Joissain tapauksissa turvetuotantoalueen lähellä ei ole pintavalutuskentäksi kelpavaa ojittamatonta aluetta. Tällöin pintavalutuskenttä joudutaan perustamaan turvemaalle, jossa on ojia. Ojat eivät kuitenkaan saa ulottua mineraalimaahan asti. Turvemaan ojitus estää veden tasaisen virtauksen ympäri pintavalutuskenttää sekä estää veden viipymän, jolloin puhdistusteho laskee. (esim. Ihme *et al.* 1991, Väyrynen *et al.* 2008.) Ojia voidaan tukkia suhteellisen onnistuneesti ojatukoksilla, mutta vain tilanteessa, jossa virtaussuunta on eri kuin ojien suunta (Postila *et al.* 2011).

Jos pohjavesialueella on turvetuotantoa, voi pohjavedenpinta laskea turvetuotantoalueen ojitusten myötä. Suon alapuolinen maalaji vaikuttaa valumavesien laatuun erityisesti tilanteessa, jossa turvetuotantoalueen turve on loppumassa tai ojat on kaivettu mineraalimaahan asti. Sulfidimaa on vesiä happamoittava tekijä turvetuotantoalueilla. (Väyrynen *et al.* 2008.)

Muita toimivan pintavalutuskentän kriteereitä ovat muun muassa kentän tarpeeksi suuri koko eli vähintään 3,8 % valuma-alueesta, kentän kaltevuus tasaisesti 1 % ja kentän pituus-leveyssuhde 0,5:1. Turpeen osalta pintavalutuskentän minimiturvepaksuus on 0,5 m ja turpeen optimaalisin maatuneisuus $H_{1,3}$ sara tai rahkaturveetta (esim. Ihme *et al.* 1991, Väyrynen *et al.* 2008). Postilan *et al.* (2011) mukaan myös yli H_3 turpeet puhdistavat vesiä, mutta kaikista korkeimmat maatuneisuusasteet voivat heikentää puhdistustehokkuutta.



Kuva 1. Turvetuotannon vesienkäsittelyrakenteet. Muokaten Ympäristöministeriö 2015.

3. TUTKIMUSMENETELMÄT

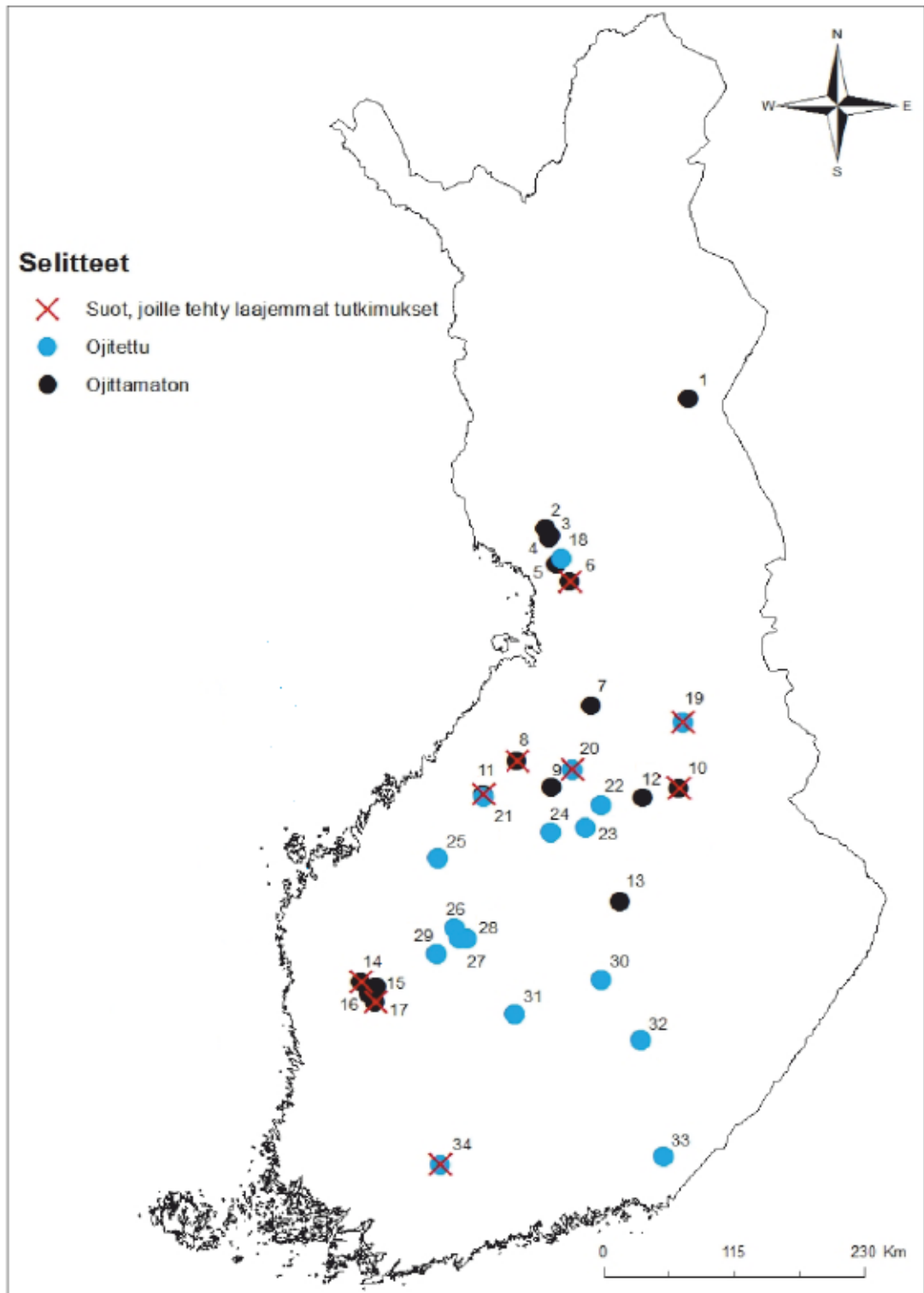
3.1 Tutkimusalue

Tässä tutkimuksessa soita, joiden soveltumista pintavalutuskentiksi tutkitaan, tai jo olemassa olevia pintavalutuskenttiä, kutsutaan yhteysnimityksellä ”suo”. Jokaiselle suolle on määritetty numerotunniste nimen sijaan. Suot, joilla on numerotunniste 1-17 ovat ojittamattomia ja numerot 18-34 puolestaan ojitetuja soita. Soita on yhteensä 38 kappaletta, sillä neljällä suolla on mukana kaksi läheistä suoaluetta, jotka ovat kartassa merkitty yhdeksi suoksi, mutta tuloksissa nämä suot tarkastellaan erillisinä alueina.

38 suoalueesta (Kuva 2), 21 suota on ojitettuja ja 17 suota on ojittamattomia. Näistä kaksi (suot numeroilla 24 ja 33) ovat toiminnassa olevia pintavalutus-kenttiä ja loput näytteenottohetkellä pintavalutuskentiksi suunnitteilla olleita suoalueita. Soilta 9, 12, 22 ja 29 on tutkimuksessa mukana kaksi lähellä toisiaan sijaitsevaa pintavalutuskenttää tai pintavalutuskentäksi suunnitteilla olevaa suoaluetta. Huomioitavaa on, että tässä tutkimuksessa ei oteta huomioon suon ennallistamista (esim. ojien tukkimista), vaan suot ovat joko ojittamattomia tai ojitettuja näytteenottohetkellä vallinneiden ojitusten mukaan. Tutkimuspisteitä, joilta on vähintään tulokset fosforin, alumiinin, raudan ja mangaanin osalta on 132 kappaletta. Näistä 55 tutkimuspisteellä on edellisten alkuaineiden lisäksi määritetty myös kalsium ja magnesium.

Aineiston turvenäytteet on kerätty eripuolilta Suomea usean vuoden ajalta Neova Group Oy:n (entisen Vapon) toimesta jo toiminnassa olevilta pintavalutuskentiltä tai pintavalutuskentäksi suunnitteilla olevilta tutkimussoilta. Osa soista on ojittamatonta aluetta ja osa ojitettu. Alueet, joilla on aikaisemmin ollut ojitusta, mutta ojat on tukittu, luokitellaan ojitetuiksi soiksi. Mikäli suoalue on ainoastaan rajattu reunaojilla, reunaojat eivät luokittele suota ojitetuksi.

Tutkimusta varten haettiin 10 lisänäytettä laajentamaan tutkimusaluetta, ja näitä soita kutsutaan tässä tutkimuksessa ”laajemmin tutkitut suot” -nimikkeellä. Näytteet ovat kerätty vuosina 2013–2016. Näille näytteille soiden numerotunnisteella 6, 8, 10, 11, 14, 17, 19, 20 ja 34 tehtiin tarkemmat laboratorioanalyysit Suomen ympäristöpalvelulla ja Oulun yliopistolla geokemian laboratoriossa. Edellä mainituista soista 19, 20 ja 34 ovat ojitettuja. Tutkimussuot numerotunnisteella 6, 8, 10, 11, 14 sekä 17 ovat puolestaan ojittamattomia soita. Tutkimussuolta 8 on mukana toinen tutkimuspiste (samalta suoalueelta), jonka tunnuksena on 8A.



Kuva 2. Tutkimussoiden sijoittuminen kartalle Suomessa sekä soiden ojitustilanne. Soita on yhteensä 38 kpl. Suota tunnisteilla 1-17 ovat ojittamattomia ja suot 18-34 ojitettuja. Soilta, joiden tunniste on 9, 12, 22 ja 29, on mukana kaksi eri lähekkäistä suoaluetta.

3.2 Näytteenotto ja turvelajin määrittäminen

Näytteenotto suoritettiin venäläisellä suokairalla niin, että pintaturpeeksi on määritetty 0–10 cm turpeen esiintymispinnasta. Puustoisilla soilla turpeen pinta alkaa juurivyöhykkeen alta. Mikäli juurivyöhykettä ei juuri ole, ja turve alkaa heti pinnasta, voidaan näyte ottaa metsäisen suon pintakerroksesta asti. Tällaisessa tapauksessa näyte otetaan kuitenkin niin, ettei näytteeseen tarkoituksella oteta pinnan kariketta mukaan. *S. Fuscum* -in muodostamilla mättäisillä rahkasoilla näyte otetaan mättäiden välistä siitä, mistä voidaan kuvitella suon keskiarvopinnan menevän.

Turvelajin sekä turvetekijöiden (maatuneisuuden ja kosteuden) määrittäminen tapahtuu laboratoriossa ja/tai maastossa. Maastossa turvetta määritettäessä Suomessa käytetään apuna yleisesti Geologian tutkimuskeskuksen 1984 julkaisemaa Turvetutkimusten maasto-opasta, jonka ovat laatineet Lappalainen, Stén ja Häikiö. Maastotutkimuksissa saatuja tuloksia merkitään turvekaavaan. Oppaan mukaan pääturvelajit on jaettu rahkaturpeisiin, ruskosammalturpeisiin ja saraturpeisiin sekä näiden sekoituksiin. Turvekaavassa rahkaturpeita merkitään latinankielisen nimen mukaan S -kirjaimella, ruskosammalturpeita B:llä ja saraturpeita C -kirjaimella. Näin ollen esimerkiksi sararahkaturvetta merkitään lyhenteellä CS. Myös turpeen lisätekiöillä on omat kirjaintunnisteensa, muun muassa tupasvilla merkitään ER ja raate MN. Turvekaavassa tekijöiden summa on aina 6. Turvetekijöiden merkitys kasvaa oikealle mentäessä, jolloin vasemmalla on turpeen lisätekiöt, esimerkiksi ER1C2S3. Kirjaimella B merkitään turpeen kosteutta. Kosteuden asteikko on B₁₋₅, jossa B₁ on ilmakeiva ja B₅ on turvejäänösten ohella pääasiassa vettä. Edellä mainittujen tekijöiden lisäksi voidaan myös ilmoittaa turpeen kuituisuus F. Kuituisuus kuvaa tupasvillan (*Eriophorum vaginatum*) -tuppien säikeiden määrää. Asteikko kuituisuudessa on F₀₋₆, jossa F₀ kuiduton ja F₆ on pelkästään kuituja.

3.3 Laboratorioanalyysit

Turvenäytteistä analysoitiin Suomen Ympäristöpalvelu laboratoriossa alkuaikaiset Al, Fe, Mn, P, Ca ja Mg standardin SFS-EN ISO 11885:09 mukaisesti. Näytteiden hajotus tehtiin kahdella eri tavalla EPA 3051(HNO₃/HCL) ja SFS-EN ISO 16967:15 (mangaanille SFS-EN ISO 16968:15) menetelmien aiheuttaman eron selvittämiseksi.

Oulun Yliopiston Geokemian laboratoriossa selvitettiin turpeen hehkutushäviö eli tuhkapitoisuus, kosteus, sähkönjohtokyky ja pH. Tuhkapitoisuus ja vesipitoisuus saatiin standardin SFS-3008 mukaan, vesipitoisuuteen sovellettiin myös SFS-EN 13040 standardia. Turvenäytteestä määritettiin kuiva-aines 105 °C asteisessa uunissa yön yli. Vesipitoisuus saatiin punnitsemalla märän ja kuivan näytteen massat, ja laskemalla tulos kaavan 2 mukaisesti:

$$(2) \quad \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad , \text{ missä}$$

a = näytteen massa märkänä

b = näytteen massa kuivana

Hehkutushäviö eli tuhkapitoisuus saadaan kun vähennetään kuivatun näytteen massasta hehkusjäännös. Hehkusjäännös saadaan hehkuttamalla kuivaa näytettä 550 °C asteisessa uunissa vähintään 2 tunnin ajan.

pH määritettiin CaCl₂ -liuoksessa standardin ISO 10390: 0,01 M CaCl₂ mukaisesti. Huomioitavaa on, että tuorenäytteestä vesiuton avulla mitattu pH on yleisesti noin 0,5–1,0 pH-yksikköä korkeampi kuin CaCl₂ uuttoon perustuvat tulokset (Derome 2003, Tarvainen & Karttunen 2005). Tämä johtuu neutraalisuolaliuoksen kyvystä vapauttaa liuokseen vaihtopaikkoihin pidättyneet vetyionit (Derome 2003). Sähkönjohtavuuden määrittämisessä käytettiin muokailen standardeja CEN/TS 15937:2013 sekä SFS-EN 27888. Sähkönjohtokyvyllä ilmastaan liuoksen sähkövastusta eli anionien ja kationien konsentraatioita (Derome 2003).

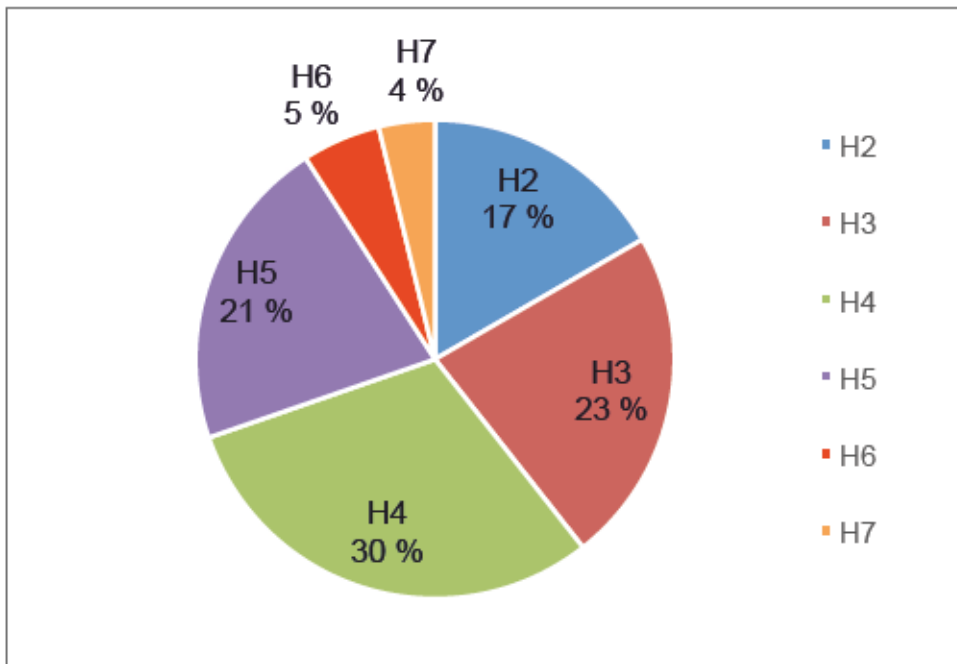
Neovan aineiston alkuaineanalyysit suoritettiin käyttäen hajotusmenetelmää standardin SFS-EN ISO 16967:15 mukaan sekä mangaanille SFS-EN ISO 16968:15. Tässä tutkimuksessa esitetyt alkuainepitoisuudet on tehty hajotusmenetelmällä SFS-EN ISO 16967:15 ja 16968:15, ellei muuta hajotusmenetelmää ole mainittu. Turvetuotannon valumavesien ympärivuotinen käsittely –loppuraportissa (Postila *et al.* 2011) hajotusmenetelmänä käytettiin EPA3051 (HNO₃/HCL) mukaista menetelmää. Hajotusmenetelmien antamien tulosten eron selvittämiseksi näytteistä laajemmin tutkituilta soilta numero-tunnisteilla 6, 8, 10, 11, 14, 17, 19, 20 ja 34 tehtiin laboratorioanalyysit kummallakin edellä mainitulla menetelmällä.

4. TULOKSET

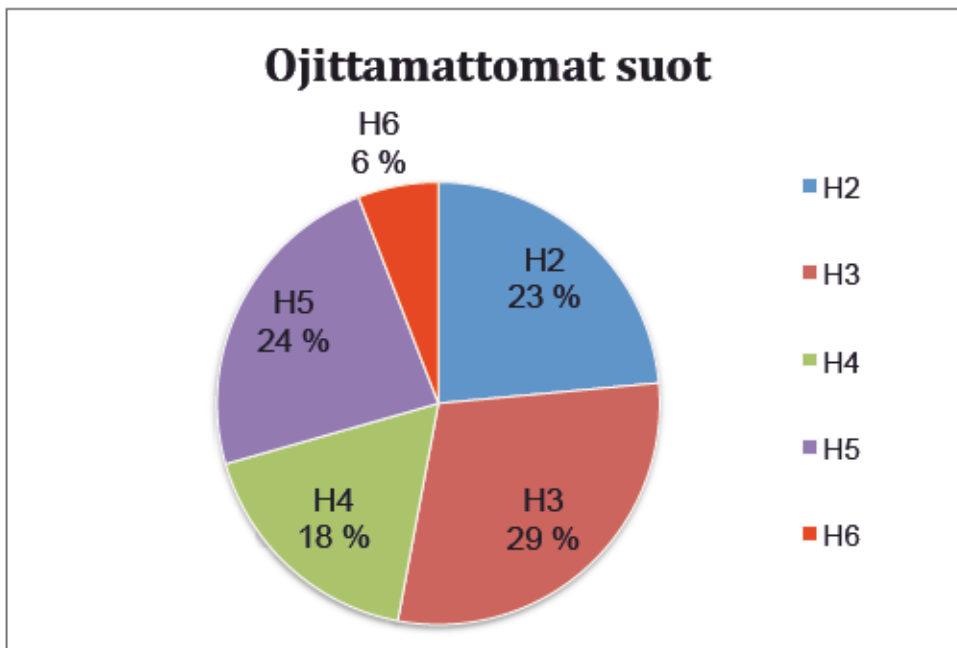
Tulokset on esitetty joissain aihepiireissä tutkimuspisteittäin jaettuna ojittamattomiin ja ojitetuihin soihin. Toisissa aiheissa tulokset on esitetty puolestaan suokohtaisten tutkimuspisteiden keskiarvotulosten mukaan, kuten Tu-Kos –hankkeen ohjeistus suosittelee. Tällöinkin soiden jako on ojitetut ja ojittamattomat suot. Tuloksissa on erikseen käsitelty myös ”laajemmin tutkitut suot”, sillä vain näillä soilla on tehty laajemmat tutkimukset esim. hajotusmenetelmän vaikutuksesta alkuainetuloksiin.

4.1 Turvelaji ja maatumisaste

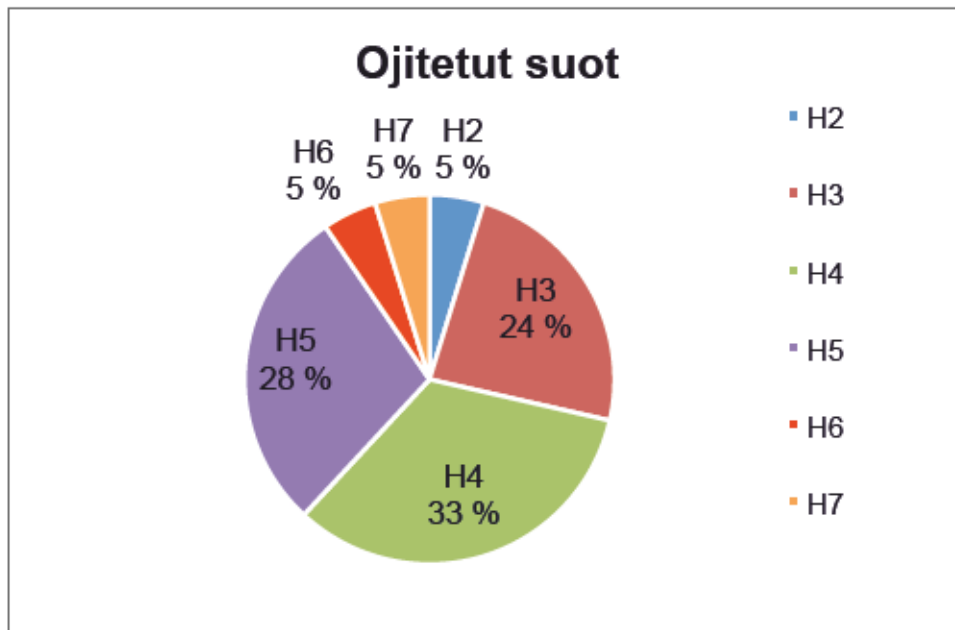
Tutkimuspisteitä aineistossa on 132 kpl. Näiden tutkimuspisteiden pintaturpeen maatumisasteet vaihtelevat välillä H₂–H₇. Eniten tutkimuspisteillä on pintaturvetta maatumisluokissa H₃–H₅. Kuvassa 3 on esitetty kaikkien 132 tutkitun pisteen maatumisasteen prosenttiosuudet kokonaismäärästä sekä ojittamattomien (Kuva 4) ja ojitetujen (Kuva 5) soiden keskiarvomaatuneisuudet soittain. Asteikkona toimii von Postin (1922) maatuneisuusasteikko H₁–H₁₀.



Kuva 3. Maatuneisuus H (von Post 1922) kaikilla tutkimuspisteillä, n=132.



Kuva 4. Maatuneisuus H (von Post 1922) ojittamattomilla soilla tutkimusoiden keskiarvona, n=17.



Kuva 5. Maatuneisuus H (von Post 1922) ojitetuilla soilla tutkimussoiden keskiarvona, n =21.

Kaikilla tutkimuspisteillä yleisin maatuneisuusaste pintaturpeessa on H₄ (30%) (Kuva 3). Seuraavaksi yleisimmät maatuneisuusasteet ovat H₃ (23%) ja H₅ (21%). Korkein maatuneisuusaste pintaturpeessa on H₇. Ojittamattomilla soilla (Kuva 4) yleisin maatuneisuusaste pintaturpeessa on H₃ (29%) ja seuraavaksi yleisimmät ovat H₅ (24%) ja H₂ (23%). Ojitetuilla soilla H₄ (33%) on yleisin maatuneisuusaste ja seuraavat ovat H₅ (28%) sekä H₃ (24%) (Kuva 5).

Taulukossa 1 on esitetty 10 kappaletta laajemmin tutkittuja soita näytteenotto-
tosyvyyksineen ja turvekaavoineen. Näistä soista on tehty myös alkuaineiden
hajotusmenetelmien ero -tutkimus. Suurin osa tutkimuspisteiden pintatur-
peesta on rahkasammal-sara tai sara-rahkasammal -sekaturvetta, sisältäen
yleisempänä lisätekijänä tupasvillaa (ER). Kosteus B on normaali kaikilla
ojitetuilla soilla sekä osalla ojittamattomista. Soiden numeroilla 6, 8 ja 17
kosteus on B₄.

Taulukko 1. Soiden näytesyvyudet ja turvekaavat.

Suon tunniste	Näytteenotto-syvyys (cm)	Turvekaava
Ojitettut		
19	0-10	S3C3H7B3
20	0-10	S2C4H6B3
34	0-10	S3C3H5B3
Ojittamattomat		
6	0-10	ER1S5H3B4
8A	20-50	S2C4H4B3
8	0-10	ER1S5H3B4
10	0-10	ER1S2C3H4B3
11	0-10	ER1S2C3H6B3
14	0-20	ER1S2C3H6B3
17	0-10	ER1S5H2B4

4.2 pH, sähkönjohtokyky ja tuhkapitoisuus

Turpeen ominaisuuksia pH, sähkönjohtokyky ja tuhkapitoisuus käsitellään tässä kappaleessa niin sanottujen ”laajemmin tutkittujen soiden” kautta. Suot, 10 kappaletta, on jaettu ojittamattomiin ja ojitettuihin (Taulukko 2).

Taulukko 2. Tutkimussoiden pH, sähkönjohtokyky ja tuhkapitoisuus.

Suon tunniste	pH	Sähkönjohtokyky ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Tuhkapitoisuus (%)
Ojitettut			
19	5,07	98,2	14
20	3,34	91,9	9,5
34	2,8	41,2	1,3
Ojittamattomat			
6	3,14	47,5	6,9
8A	3,88	27	4,7
8	3,45	24,6	3,6
10	3,51	41	14,1
11	3,98	39,2	25,4
14	2,71	38,6	5
17	2,88	41	3,6

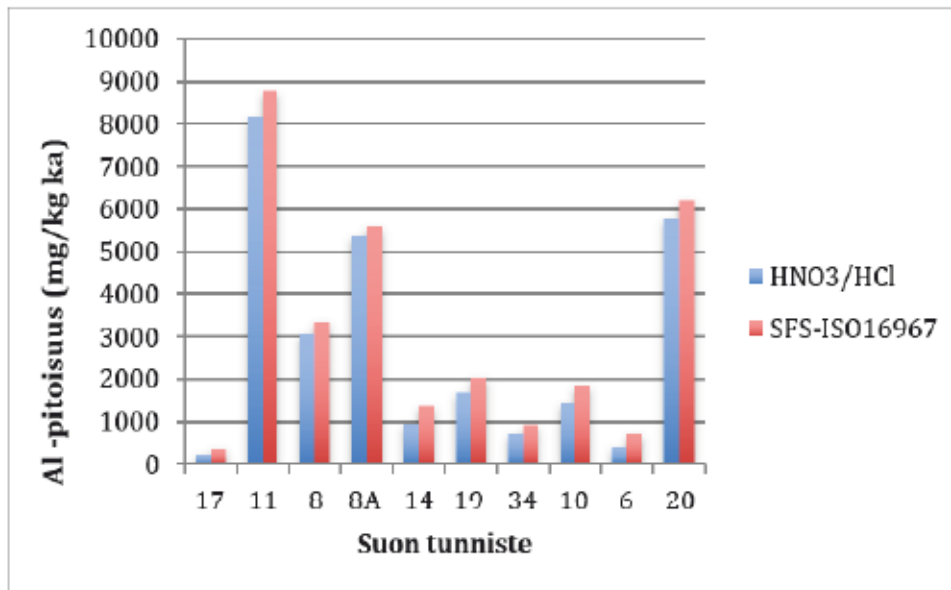
pH –arvo vaihtelee soiden välillä arvosta 2,71 arvoon 5,07. Happamin pH on ojittamattomalla suolla numero 14 ja lähimpänä neutraalia on suo 19. Suolla

numero 19 on myös isoin sähkönjohtokyky 98,2 $\mu\text{s}/\text{cm}$ kun taas suolla numero 8 sähkönjohtokyky on 24,6 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Tuhkapitoisuus on suurin suolla numero 11 (25,4 %) ja pienin (1,3 %) suolla numero 34.

4.3 Alkuaineiden hajotusmenetelmien ero

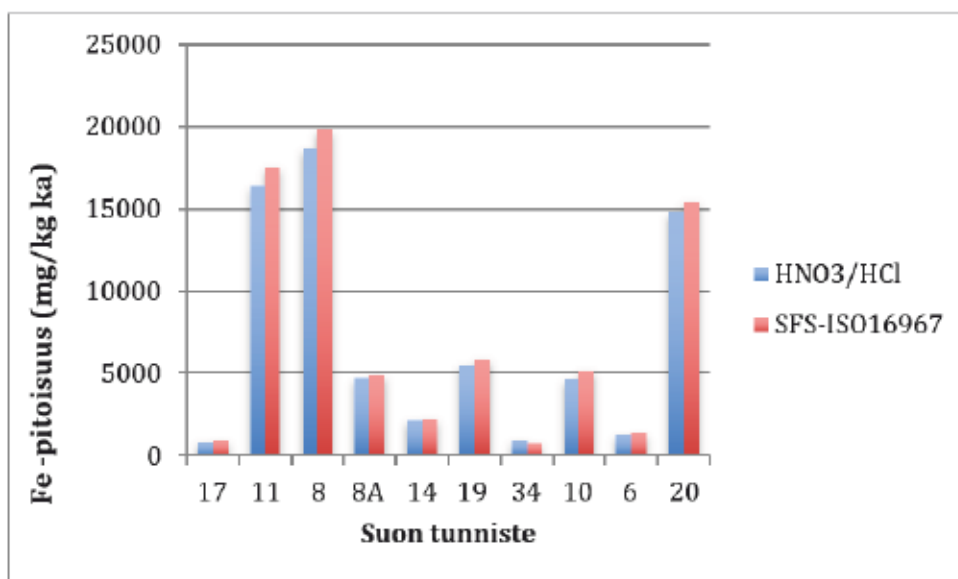
Tutkimusta varten haluttiin tietää alkuainepitoisuutta mitattaessa käytettyjen hajotusmenetelmien ero, sillä TuKos –hankkeessa hajotusmenetelmänä oli käytetty eri alkuaineiden hajotusmenetelmää kuin Neovan näytteisiin. Tätä varten lähetettiin alkuaineanalyysiin 10 kappaletta turvenäytteitä (suonumerot 6, 8, 8A, 10, 11, 14, 17, 19, 20 ja 34 eli ”laajemmin tutkitut suot”) AHMA laboratorioille. Hajotusmenetelminä käytettiin EPA3051(HNO_3/HCl) ja vertailuna menetelmää SFS-EN ISO 16967:15 (mangaanille SFS-EN ISO 16968:15). Mittausmenetelmä oli kumpaakin hajotusmenetelmää käytettäessä sama SFS-EN ISO 11885:09/OUL eli ICP-OES.

Kuvassa 6 on esitetty alumiinipitoisuudet soilta otetuista näytteistä. Suot 10 ja 10A ovat samaa suoaluetta, mutta eri pintavalutuskenttää. Alumiinipitoisuuden keskiarvo HNO_3/HCl menetelmällä on 2781 mg/kg kuiva-aineessa ja SFS-ISO 16967 menetelmällä 3120 mg/kg ka. Näiden menetelmien pitoisuusero on noin 11,5 %. Kaikilla kymmenellä suolla standardimenetelmä SFS-ISO16967 antaa korkeampia alumiinipitoisuuksia.

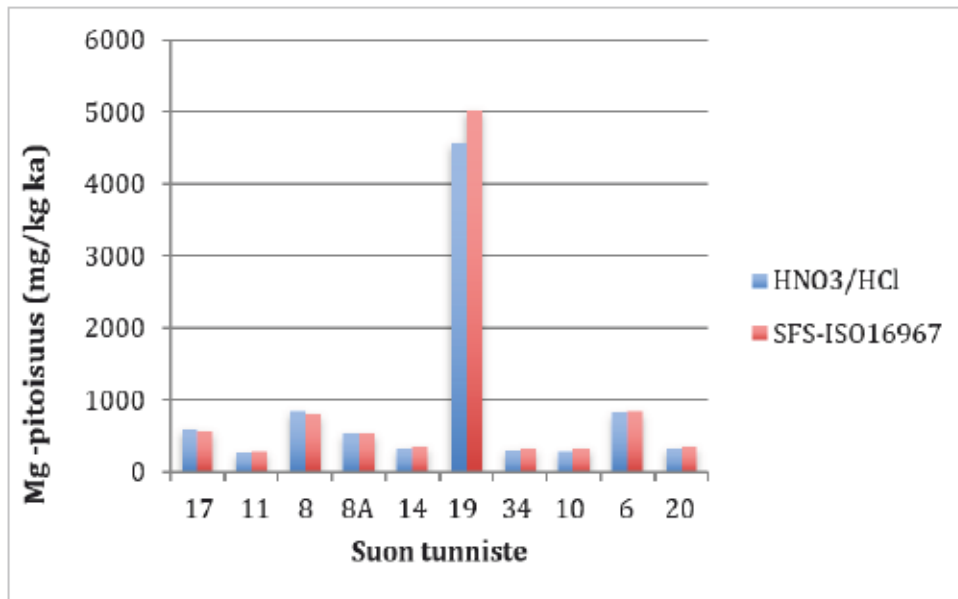


Kuva 6. Alumiinipitoisuudet soilla (suon tunniste) alkuaineiden hajotusmenetelmillä EPA3051(HNO₃/HCl) ja SFS-EN ISO16967:15. Keskiarvo HNO₃/HCl –menetelmällä on 2781 mg/kg ka ja SFS-ISO16967 3120 mg/kg ka.

Rautapitoisuudet ovat korkeammat hajotusmenetelmällä SFS-ISO 16967 (Kuva 7). Keskiarvo edellä mainitulla menetelmällä on 7374 mg/kg ka ja HNO₃/HCl menetelmällä 6986 mg/kg ka. Menetelmien ero on noin 5,4 %. Myös magnesiumilla on samansuuruinen ero (5,8 %) menetelmien välillä (Kuva 8). Magnesiumin keskiarvopitoisuus HNO₃/HCl on 883 mg/kg ka ja SFS-ISO 16967 standardilla 936 mg/kg ka.

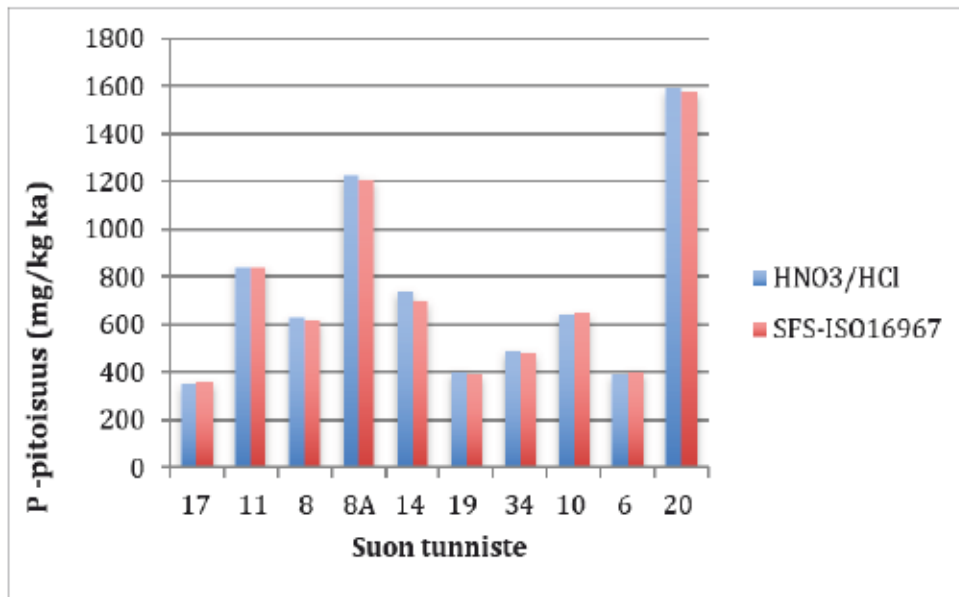


Kuva 7. Rautapitoisuudet soilla alkuaineiden hajotusmenetelmillä EPA3051(HNO₃/HCl) ja SFS-EN ISO16967:15. Keskiarvo HNO₃/HCl –menetelmällä on 6986 mg/kg ka ja SFS-ISO16967 7374 mg/kg ka.

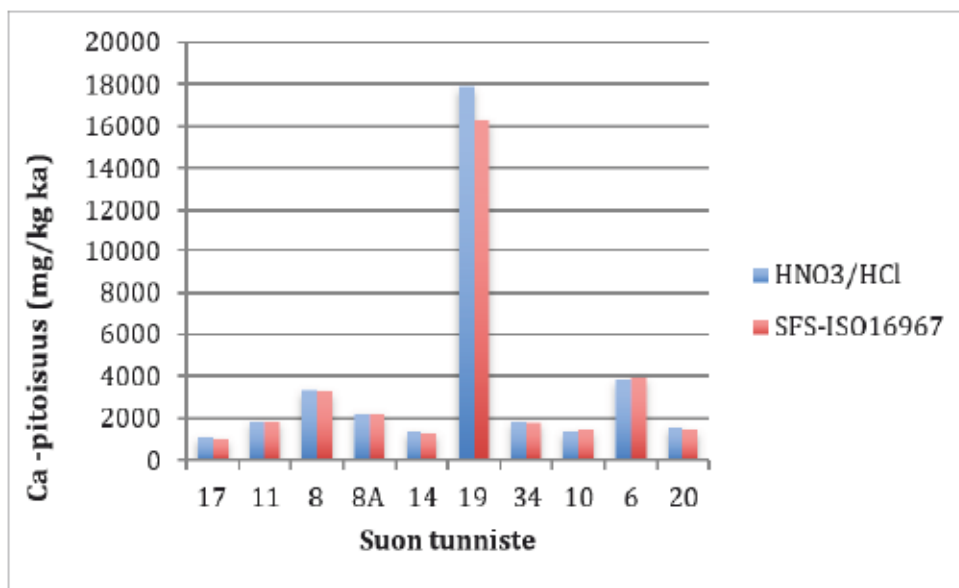


Kuva 8. Magnesiumpitoisuudet soilla alkuaineiden hajotusmenetelmillä EPA3051(HNO₃/HCl) ja SFS-EN ISO16967:15. Keskiarvo HNO₃/HCl –menetelmällä on 883 mg/kg ka ja SFS-ISO16967 936 mg/kg ka.

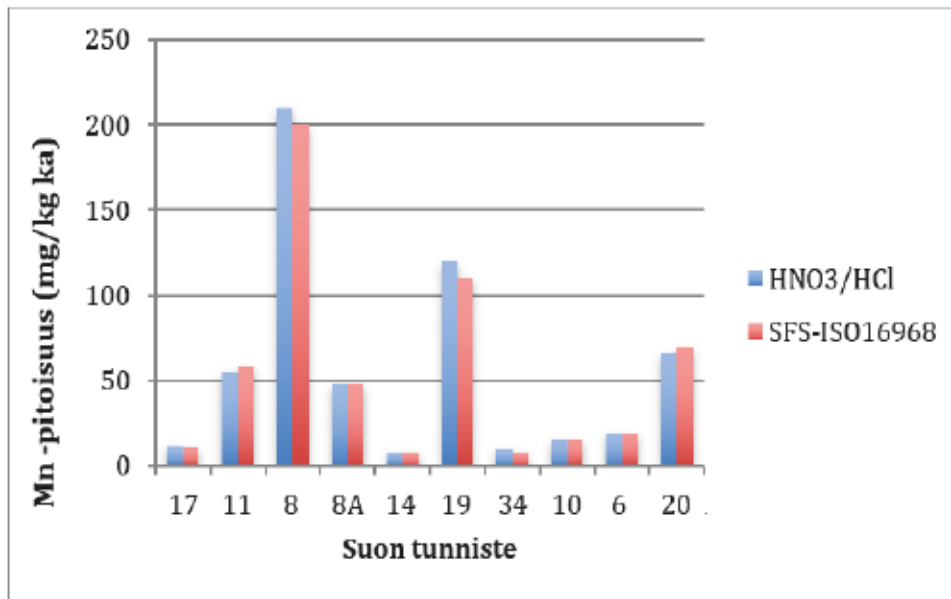
Tutkituista alkuaineista isommat pitoisuudet alkuaineille P, Ca ja Mn antaa hajotusmenetelmä HNO₃/HCl. HNO₃/HCl menetelmällä keskiarvo fosforille kuvan 9 mukaan on 730 mg/kg ka ja SFS-ISO 16967 723 mg/kg ka eli noin 1,8-% ero menetelmien välillä. Korkeampia pitoisuuksia samalla menetelmällä saadaan myös kuvassa 10 esitettyjen kalsiumpitoisuuksien kanssa. HNO₃/HCl hajotuksella Ca keskiarvopitoisuus turpeessa on 3622 mg/kg ka ja SFS-ISO 16967 keskiarvo on 3448 mg/kg ka. Menetelmien ero on n. 4,9-%. SFS-ISO 16968 standardilla hajotettujen näytteiden Mn keskiarvopitoisuus on 54,7 mg/kg ka ja HNO₃/HCl pitoisuuskeskiarvo puolestaan on 56,3 mg/kg ka (Kuva 11). Menetelmien välinen ero on 2,8 %.



Kuva 9. Fosforipitoisuudet soilla alkuaineiden hajotusmenetelmillä EPA3051(HNO₃/HCl) ja SFS-EN ISO16967:15. Keskiarvo HNO₃/HCl –menetelmällä on 730 mg/kg ka ja SFS-ISO16967 723 mg/kg ka.



Kuva 10. Kalsiumpitoisuudet soilla alkuaineiden hajotusmenetelmillä EPA3051(HNO₃/HCl) ja SFS-EN ISO16967:15. Keskiarvo HNO₃/HCl –menetelmällä on 3622 mg/kg ka ja SFS-ISO16967 3448 mg/kg ka.



Kuva 11. Mangaanipitoisuudet soilla alkuaineiden hajotusmenetelmillä EPA3051(HNO₃/HCl) ja SFS-EN ISO16968:15. Keskiarvo HNO₃/HCl –menetelmällä on 56,3 mg/kg ka ja SFS-ISO16968 54,7 mg/kg ka.

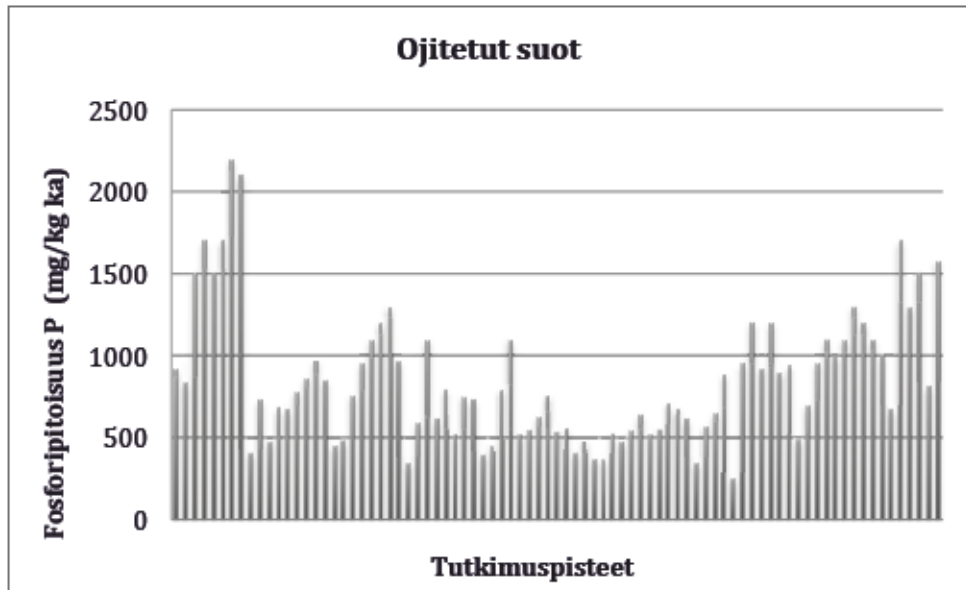
Hajotusmenetelmät vaikuttavat jonkun verran turpeesta mitattuihin alkuainepitoisuuksiin (Taulukko 3). TuKos –hankkeessa (Postila *et al.* 2011) esitetyn suhdekaavan (Kaava 1) perusteella kaavan arvo muuttuu vain hieman.

Taulukko 3. Hajotusmenetelmien EPA3051(HNO₃/HCl) ja SFS-EN ISO 16967:15 välinen ero laskettaessa TuKos –hankkeen mukaisia alkuainesuhdekaavan (Fe + Al + Mn) / P arvoja.

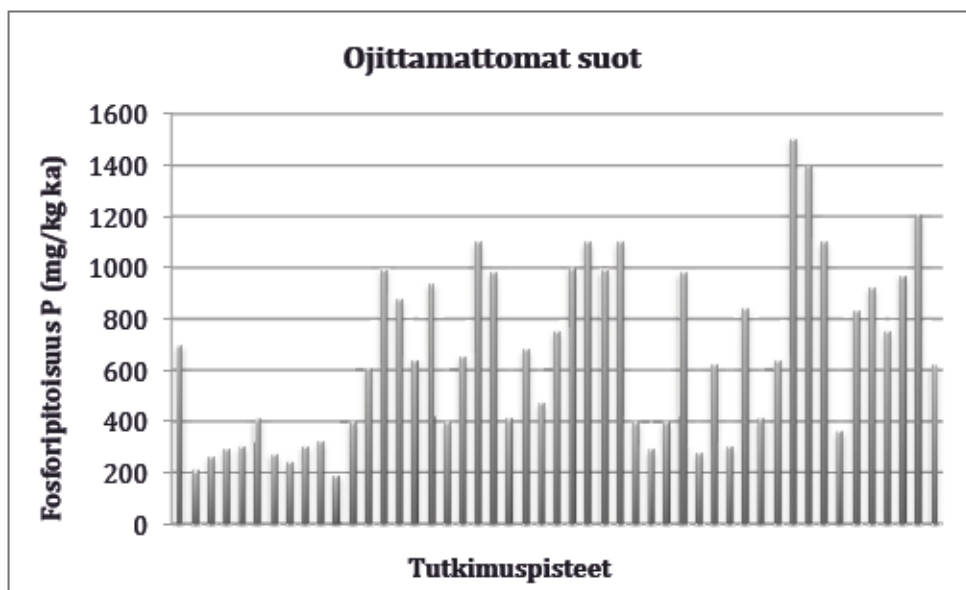
Suon tunniste	Kaava (Fe + Al + Mn) / P	
	EPA3051(HNO ₃ /HCl)	SFS-EN ISO 16967:15
6	4,4	5,2
8	34,9	37,7
8A	8,2	8,7
10	9,5	10,7
11	29,3	31,4
14	4,2	5,1
17	3,1	3,6
19	18,3	20,5
20	13	13,7
34	3,3	3,5

4.4 Alkuaineet ojitetuilla ja ojittamattomilla soilla

Tässä kappaleessa tarkastellaan alkuainepitoisuuksia kaikilla tutkimuspisteillä, erotellen tutkimuspisteet soiden ojitustilanteen mukaan ojitettuihin ja ojittamattomiin soiden tutkimuspisteisiin. Ojitettujen soiden tutkimuspisteitä on 83 ja ojittamattomien soiden tutkimuspisteitä 49 kappaletta.

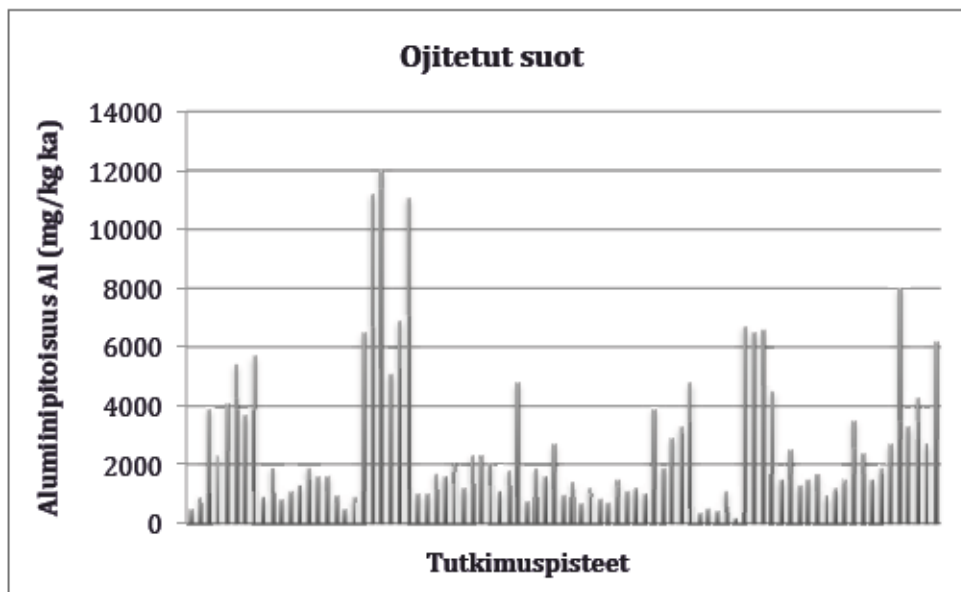


Kuva 12. Fosforipitoisuus (mg/kg ka) ojitettujen soiden tutkimuspisteillä, n = 83. Keskiarvo on 855 mg/kg ka, mediaani 760 mg/kg ka, suurin arvo on 2200 ja pienin 250 mg/kg ka.



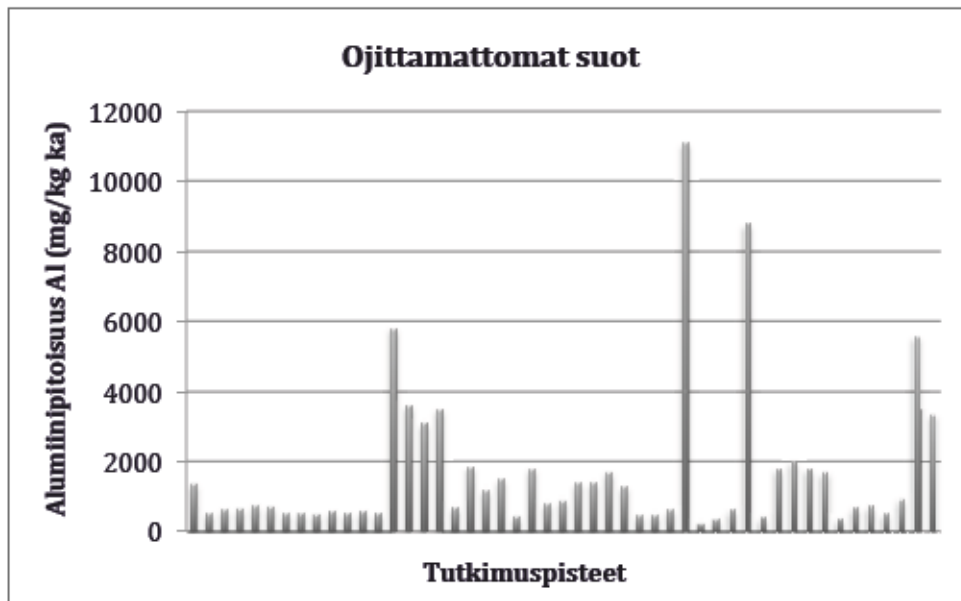
Kuva 13. Fosforipitoisuus (mg/kg ka) ojittamattomien soiden tutkimuspisteillä, n = 49. Keskiarvo on 661 mg/kg ka, mediaani 640 mg/kg ka, suurin arvo on 1500 ja pienin 190 mg/kg ka.

Kuvissa 12 ja 13 kuvataan turpeen fosforipitoisuuden arvoja tutkimussoilla. Pitoisuudet ojitetuilla soilla ovat keskiarvona 855 mg/kg kuiva-aineksesta. Ojittamattomilla soilla keskiarvofosforipitoisuus kaikilla soilla on 661 mg/kg kuiva-aineksesta. Ojitetuilla soilla suurin fosforipitoisuus on 2200 mg/kg ka kun taas ojittamattomilla soilla suurin fosforipitoisuus on 1500 mg/kg ka. Pienin fosforipitoisuus on ojitetuilla 250 mg/kg ka ja ojittamattomilla 190 mg/kg ka.

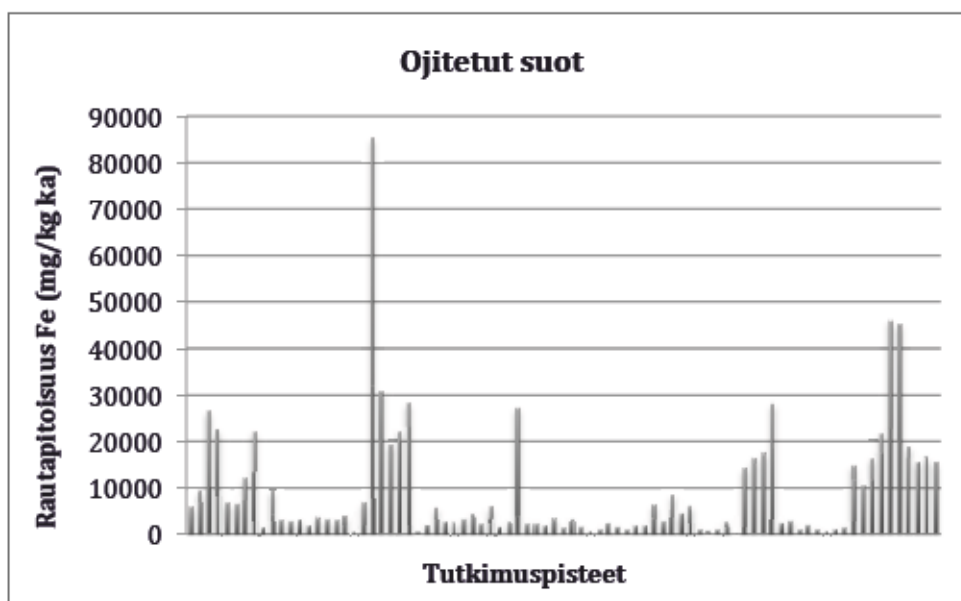


Kuva 14. Alumiinipitoisuus (mg/kg ka) ojitettujen soiden tutkimuspisteillä, n = 83. Keskiarvo on 2719 mg/kg ka, mediaani 1700 mg/kg ka, suurin arvo on 12000 ja pienin 190 mg/kg ka.

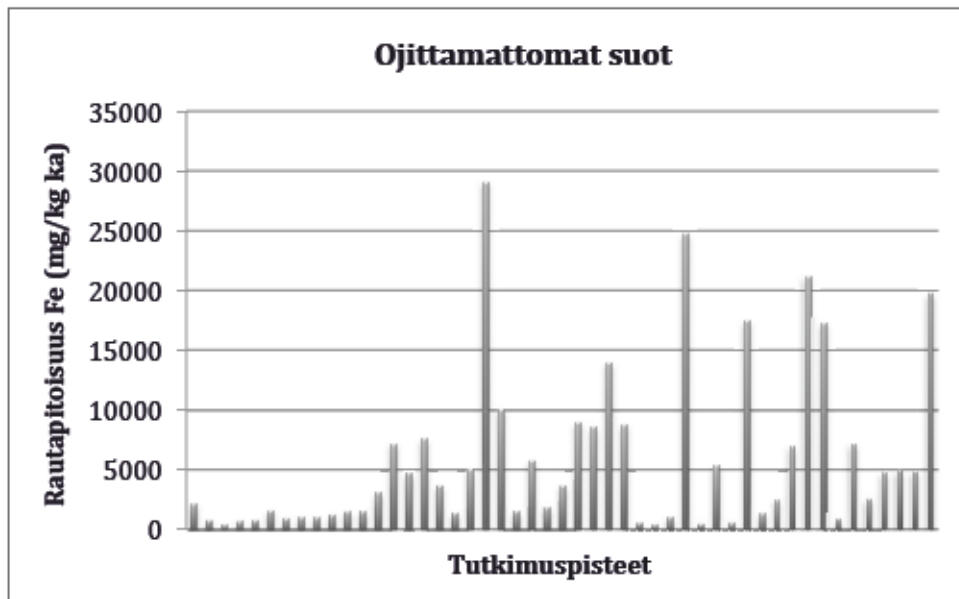
Turpeen alumiinipitoisuudet ojitetuilla ja ojittamattomilla soilla on esitetty kuvissa 14 ja 15. Pitoisuuksien keskiarvo ojitetuilla soilla on 2719 mg/kg kuiva-aineksesta ja ojittamattomilla soilla 1673 mg/kg kuiva-aineksesta. Suurin alumiinipitoisuus ojitetuilla soilla on arvoltaan 12000 mg/kg ka ja ojittamattomilla soilla 11100 mg/kg ka. Pienimmät arvot ovat ojitetuilla soilla 190 mg/kg ka ja ojittamattomilla 230 mg/kg ka.



Kuva 15. Alumiinipitoisuus (mg/kg ka) ojittamattomien soiden tutkimuspisteillä, n = 49. Keskiarvo on 1673 mg/kg ka, mediaani 760 mg/kg ka, suurin arvo on 11100 ja pienin 230 mg/kg ka.

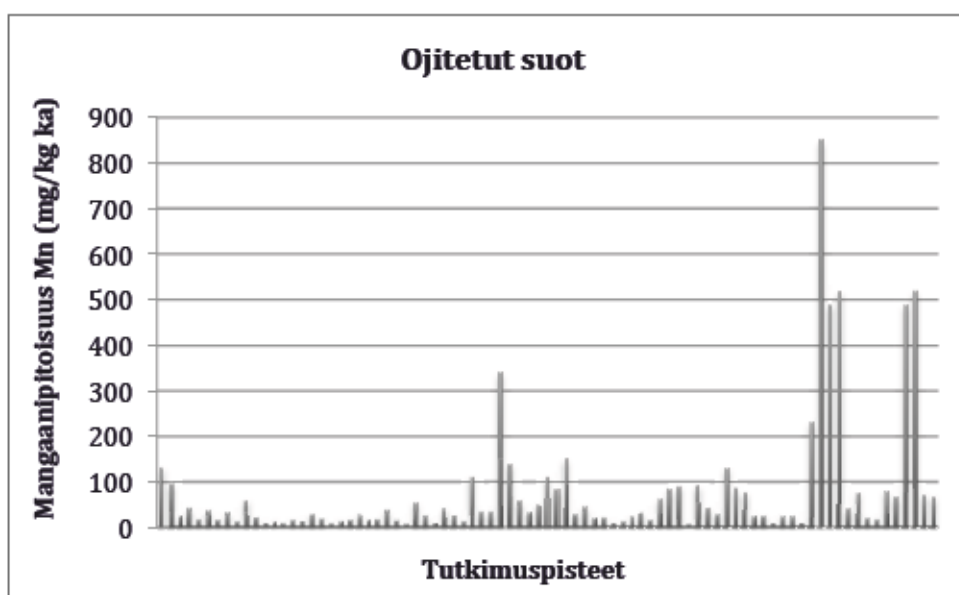


Kuva 16. Rautapitoisuus (mg/kg ka) ojitettujen soiden tutkimuspisteillä, n = 83. Keskiarvo on 9265 mg/kg ka, mediaani 3200 mg/kg ka, suurin arvo on 85300 ja pienin arvo 270 mg/kg ka.



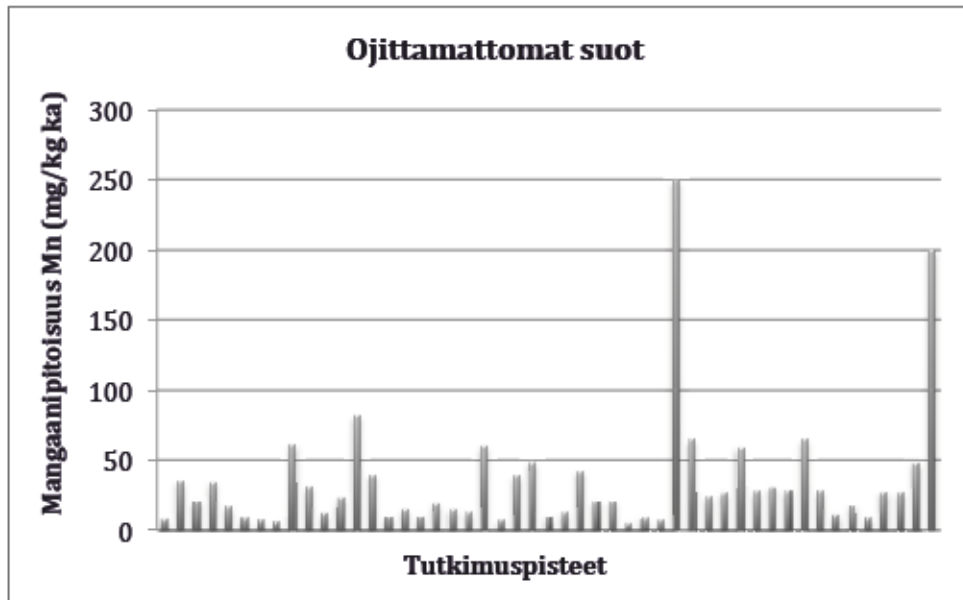
Kuva 17. Rautapitoisuus (mg/kg ka) ojittamattomien soiden tutkimuspisteillä, n = 49. Keskiarvo on 5805 mg/kg ka, mediaani 3100 mg/kg ka, suurin arvo on 29100 ja pienin arvo 360 mg/kg ka.

Ojitetuilla soilla keskiarvorausapitoisuus on 9265 mg/kg kuiva-aineksesta (Kuva 16) ja ojittamattomilla soilla keskiarvo on puolestaan 5805 mg/kg kuiva-aineksesta (Kuva 17). Suurimmat pitoisuudet ovat ojitetuilla soilla 85300 mg/kg ka ja ojittamattomilla 29100 mg/kg ka. Pienin rautapitoisuus on ojitetuilla soilla 270 mg/kg ka ja ojittamattomilla 360 mg/kg ka.

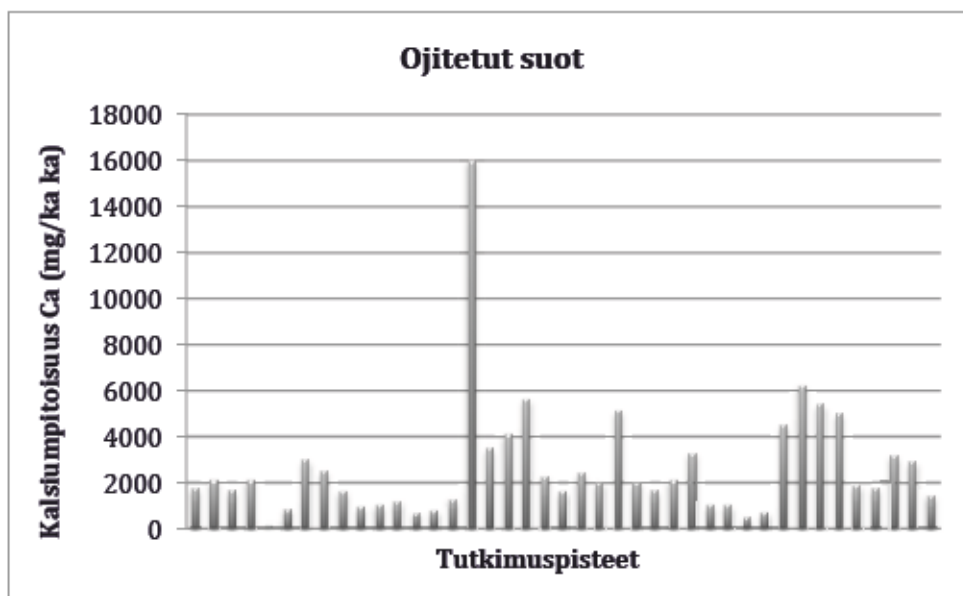


Kuva 18. Mangaanipitoisuus (mg/kg ka) ojitettujen soiden tutkimuspisteillä, n = 83. Keskiarvo on 80 mg/kg ka, mediaani 32 mg/kg ka, suurin arvo on 850 ja pienin arvo 6 mg/kg ka.

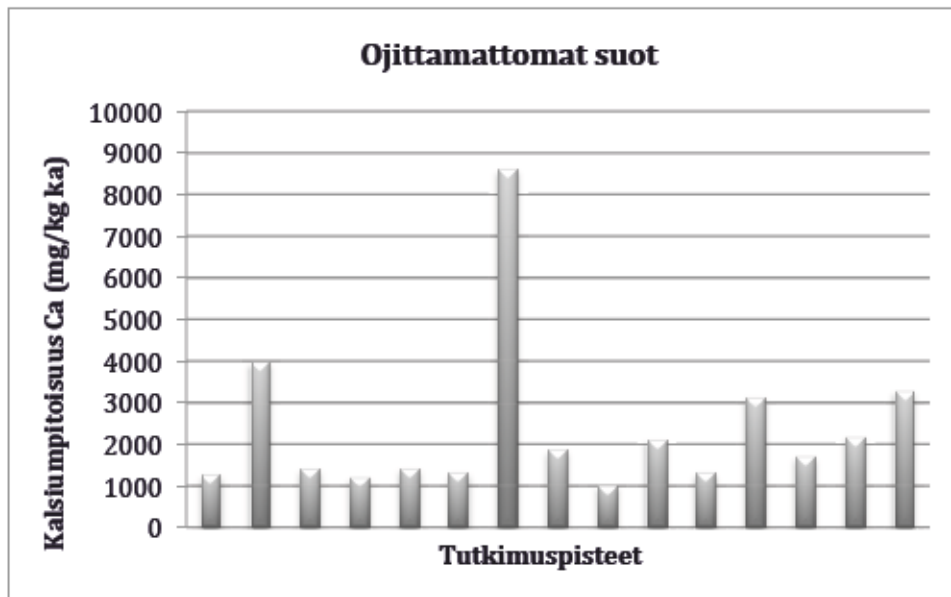
Mangaanipitoisuuden keskiarvo ojitetuilla soilla on 80 mg/kg kuiva-aineksesta (Kuva 18) sekä ojittamattomilla soilla 35 mg/kg ka (Kuva 19). Suurin pitoisuusarvo ojitetuilla soilla on 850 mg/kg ka ja ojittamattomilla soilla 250 mg/kg ka. Pienin mangaanipitoisuus on puolestaan ojitetuilla soilla 6 mg/kg ka ja ojittamattomilla soilla 5 mg/kg ka.



Kuva 19. Mangaanipitoisuus (mg/kg ka) ojittamattomien soiden tutkimuspisteillä, n = 49. Keskiarvo on 35 mg/kg ka, mediaani 23 mg/kg ka, suurin arvo on 250 ja pienin 5 mg/kg ka.

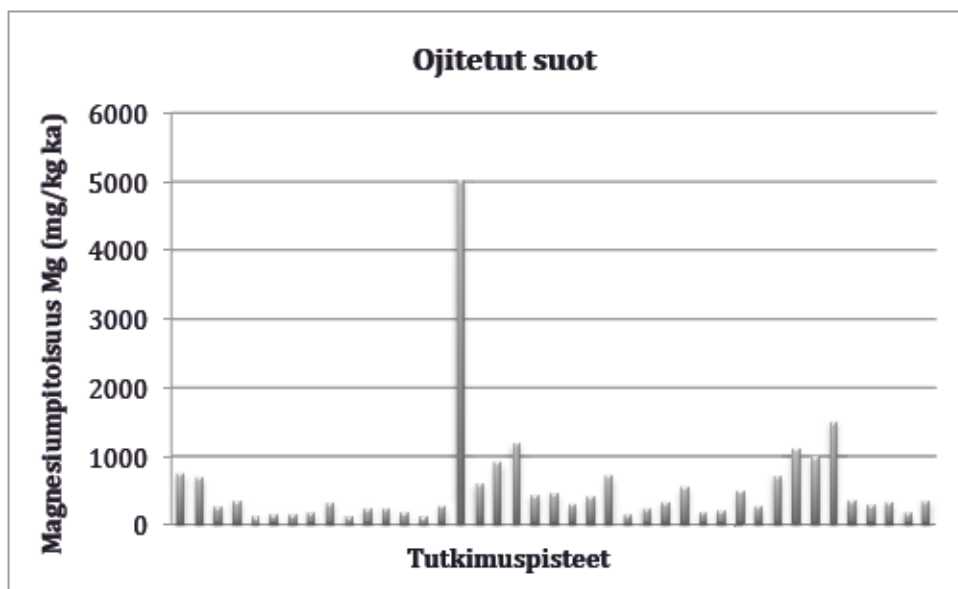


Kuva 20. Kalsiumpitoisuus (mg/kg ka) ojitetujen soiden tutkimuspisteillä, n = 41. Keskiarvo on 2656 mg/kg ka, mediaani 2000 mg/kg ka, suurin arvo 16000 ja pienin 100 mg/kg ka.



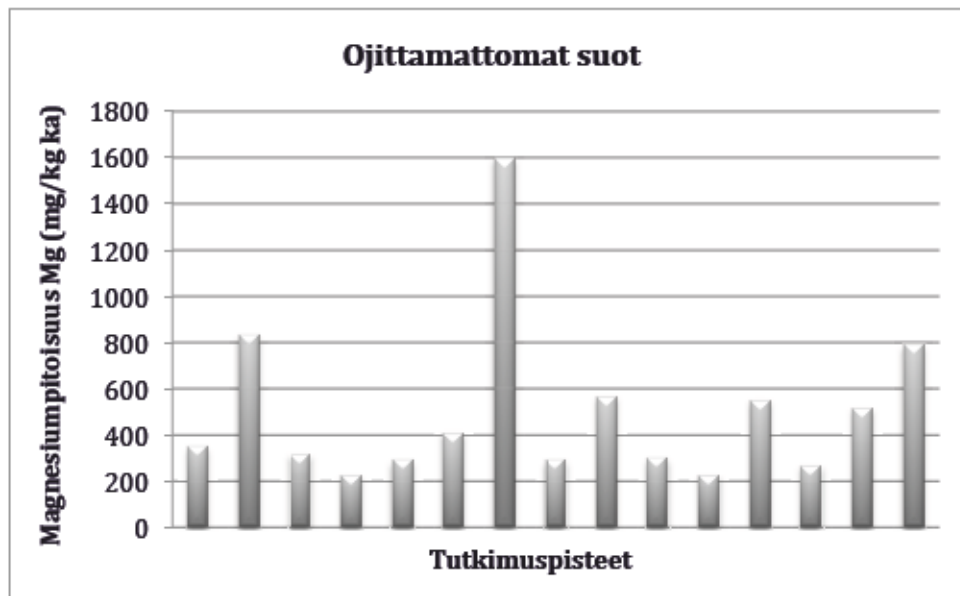
Kuva 21. Kalsiumpitoisuus (mg/kg ka) ojittamattomien soiden tutkimuspisteillä, n = 15. Keskiarvo on 2374 mg/kg ka, mediaani 1700 mg/kg ka, suurin arvo on 8600 ja pienin 1000 mg/kg ka.

Kalsiumpitoisuuksien keskiarvo ojitetuilla soilla on 2656 mg/kg ka ja suurin arvo 16000 sekä pienin 100 mg/kg ka (Kuva 20). Ojittamattomilla soilla kalsiumpitoisuuskeskiarvo on puolestaan kuvan 21 mukaan 2374 mg/kg ka, suurin arvo 8600 mg/kg ka ja pienin 1000 mg/kg ka.



Kuva 22. Magnesiumpitoisuus (mg/kg ka) ojitettujen soiden tutkimuspisteillä, n = 41. Keskiarvo on 545 mg/kg ka, mediaani 310 mg/kg ka, suurin arvo on 5020 ja pienin 130 mg/kg ka.

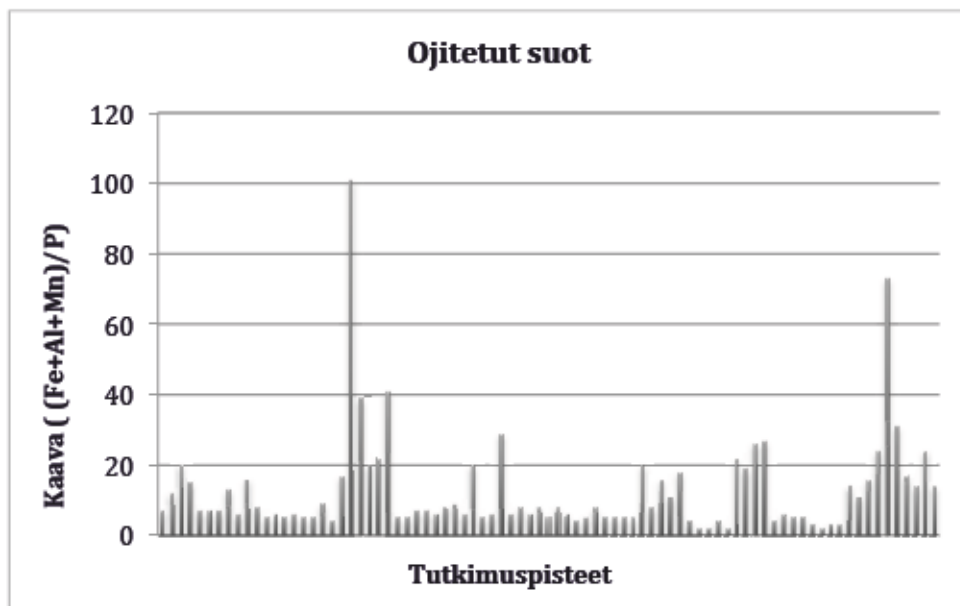
Kuvan 22 mukaan magnesiumpitoisuus ojitetuilla soilla on keskiarvona 545 mg/kg ka. Suurin arvo ojitetuilla soilla on 5020 mg/kg ka ja pienin arvo 130 mg/kg ka. Ojittamattomilla keskiarvopitoisuus magnesiumille on 503 mg/kg ka, suurin arvo 1600 mg/kg ka ja pienin 230 mg/kg ka (Kuva 23).



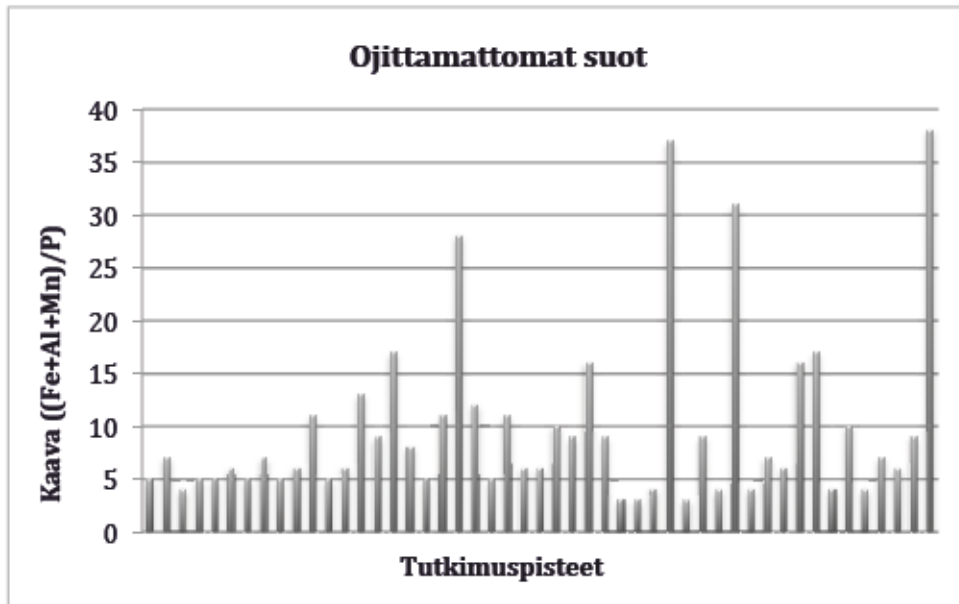
Kuva 23. Magnesiumpitoisuus (mg/kg ka) ojittamattomien soiden tutkimuspisteillä, n = 15. Keskiarvo on 503 mg/kg ka, mediaani 350 mg/kg ka, suurin arvo on 1600 ja pienin 230 mg/kg ka.

Kun tarkastellaan fosforin pidättäytymiskaavaa (Kaava 1), iso osa ojitettujen (Kuva 24) ja ojittamattomien soiden (Kuva 25) kaavan $((Al+Fe+Mn)/P)$ arvoista jää alle 30. Suokohtaiset tulokset tulevat suon tutkimuspisteiden keskiarvona. Kaavan arvo < 30 on Postilan *et al.* 2011 tutkimuksessa määritetty suuntaa-antavaksi ala-arvoksi sille, että pintavalutuskentällä (termi *kosteikko* Postilan *et al.* 2011 tutkimuksessa) tulee mahdollisesti esiintymään ongelmia mm. fosforin huuhtoutumisessa, mikäli fosforin keskiarvopitoisuus on yli 1000 mg/kg (Kuva 26). Varsinkin ojittamattomilla soilla fosforipitoisuus jää alle 1000 mg/kg. Postilan (2011) mukaan fosforin ollessa alle 800 mg/kg ei huuhtoutumista todennäköisesti tapahdu, mikäli turpeessa on myös fosforia sitovia alkuaineita (Al, Fe, Mn). Myös kaavan suhdeluku > 50 viittaa siihen, ettei fosforin huuhtoutumista mahdollisesti tulisi tapahtumaan. Aineiston ja kuvien 27 ja 28 mukaan yhdelläkään suolla (suokohtaisten tutkimuspisteiden keskiarvona) ei kaavan arvo yllä yli 50 (yksittäisillä tutkimuspisteillä arvoja 75 ja 105). Keskiarvo ojitetuilla soilla on 11 ja ojittamattomilla soilla 10. Ojitetuilla

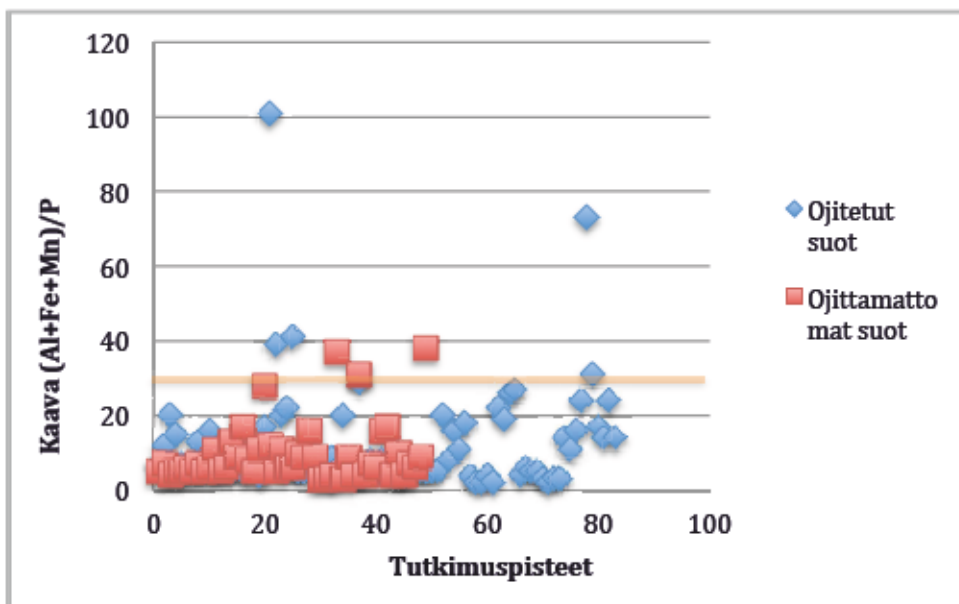
soilla kaavan minimiarvo on 2 ja maksimiarvo 40. Ojittamattomilla puolestaan minimiarvo on 4 ja maksimiarvo 31. Fosforipitoisuuden minimi on ojitetuilla soilla 250 mg/kg kuiva-aineessa ja maksimi 1875 mg/kg kuiva-aineessa. Fosforin keskiarvo ojitetuilla soilla on 792 mg/kg ka. Ojittamattomilla soilla minimiarvo fosforipitoisuudelle on 290 mg/kg ka ja maksimi 1010 mg/kg ka. Keskiarvo fosforipitoisuudelle ojittamattomilla soilla on 633 mg/kg ka.



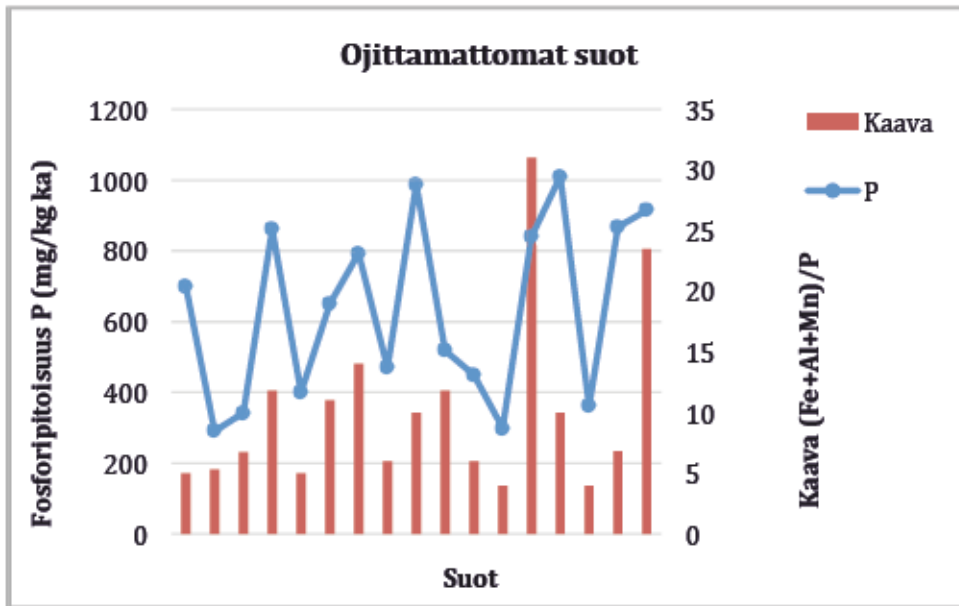
Kuva 24. Postilan *et al.* (2011) tutkimuksen mukaisen pintavalutuskentän puhdistus-tehokkuutta kuvaavan kaavan $((Fe+Al+Mn)/P)$ arvoja ojitetujen soiden kaikilla tutkimuspisteillä, $n = 83$. Keskiarvo on 13, suurin arvo on 101 ja pienin 2.



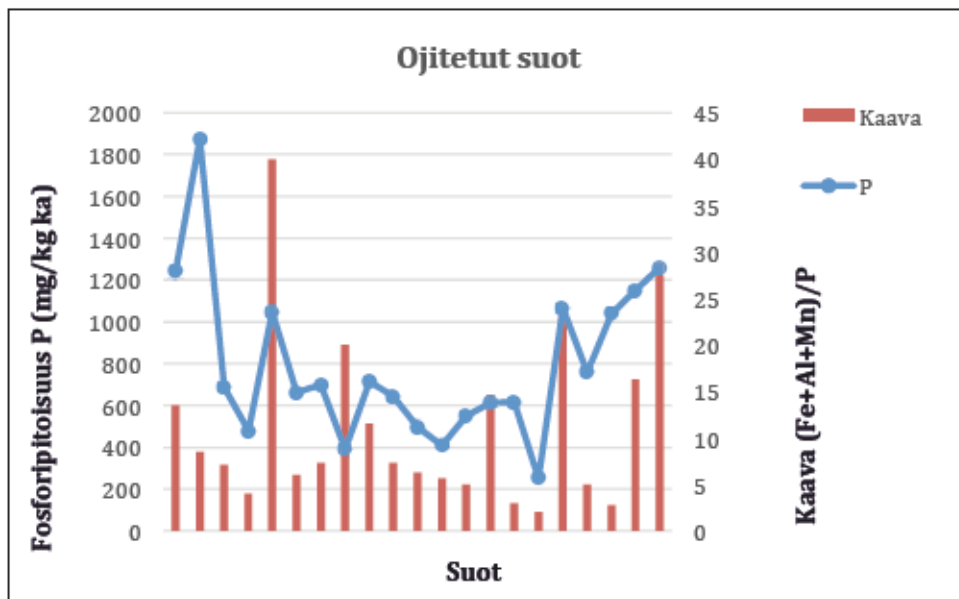
Kuva 25. Postilan *et al.* (2011) tutkimuksen mukaisen pintavalutuskentän puhdistus-
tehoa kuvaavan kaavan $((\text{Fe}+\text{Al}+\text{Mn})/\text{P})$ arvoja ojittamattomien soiden kaikilla
tutkimuspisteillä, $n = 49$. Keskiarvo on 10, suurin arvo on 38 ja pienin 3.



Kuva 26. Postilan *et al.* (2011) tutkimuksen mukaisen pintavalutuskentän puhdistus-
tehoa kuvaavan kaavan $((\text{Fe}+\text{Al}+\text{Mn})/\text{P})$ arvot ojittamattomien, $n = 49$, ja oji-
tettujen, $n = 83$, soiden kaikilla tutkimuspisteillä.



Kuva 27. Fosforipitoisuudet ja Postilan *et al.* (2011) tutkimuksen mukaisen kaavan ((Fe+Al+Mn)/P) arvot ojittamattomilla soilla suokohtaisten tutkimuspisteiden keskiarvona, n = 17.



Kuva 28. Fosforipitoisuudet ja Postilan *et al.* (2011) tutkimuksen mukaisen kaavan ((Fe+Al+Mn)/P) arvot ojitetuilla soilla suokohtaisten tutkimuspisteiden keskiarvona, n= 21.

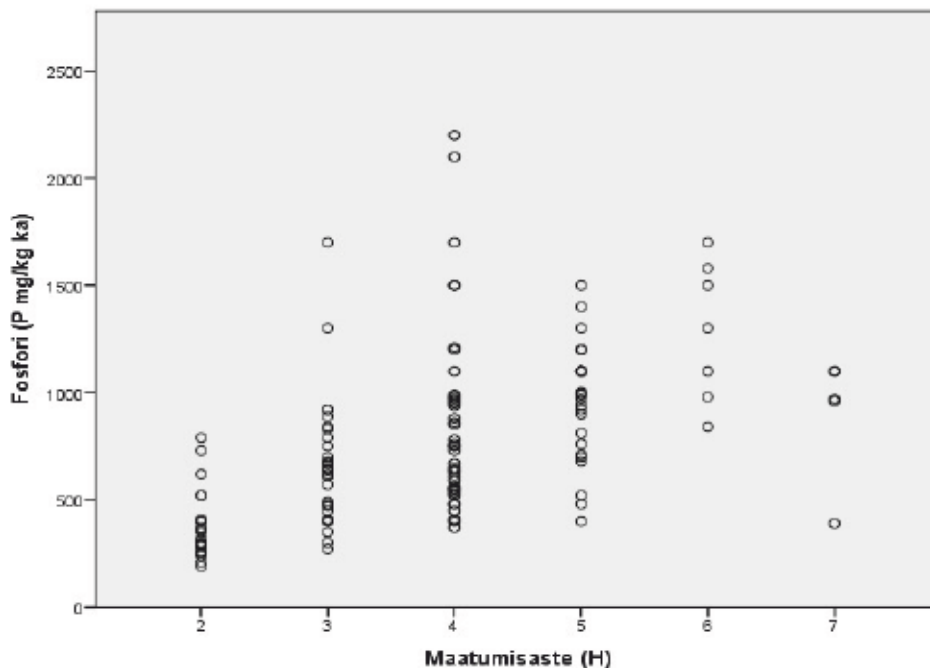
4.5 Korrelaatiot

Tässä kappaleessa esitetyt korrelaatiokuvaajat on tehty SPSS tilastotieteellisellä ohjelmistolla. Ohjelmisto antaa korrelaatiokertoimen R välillä -1–1 ja p-arvon, joka kertoo korrelaation merkitsevyyssasteen (Taulukko 4). Korrelaatio

muuttujien välillä kasvaa, mitä kauempana R arvo on nolasta (Karhunen *et al.* 2010). Pearsonin korrelaatiokerroin on jatkuville muuttujille, jotka voivat saada mitä tahansa arvoja (esim. alkuainepitoisuudet). Spearmanin korrelaatio on järjestysmitallisille muuttujille tai luokitteluasteikollisille muuttujille tehty korrelaatio (pH, maatuneisuusaste).

Taulukko 4. Korrelaation merkitsevyys p-arvon mukaan.

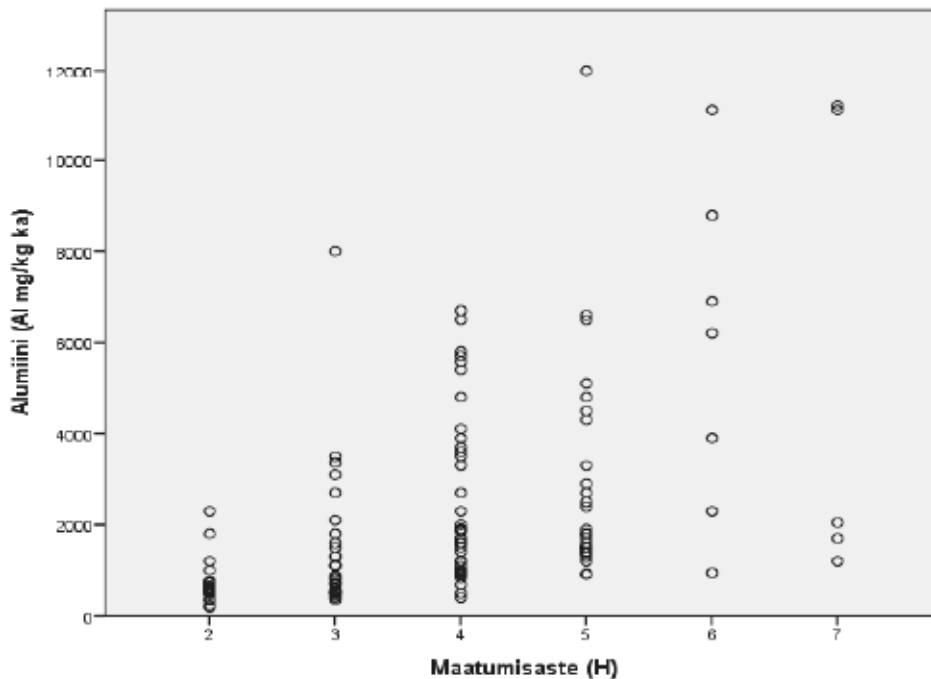
<u>p- arvo</u>	<u>Merkitsevyys</u>
$p > 0,05$	ei merkitsevää
$p < 0,05$	melkein merkitsevää
$p < 0,01$	tilastollisesti merkitsevää
$p < 0,001$	erittäin merkitsevää



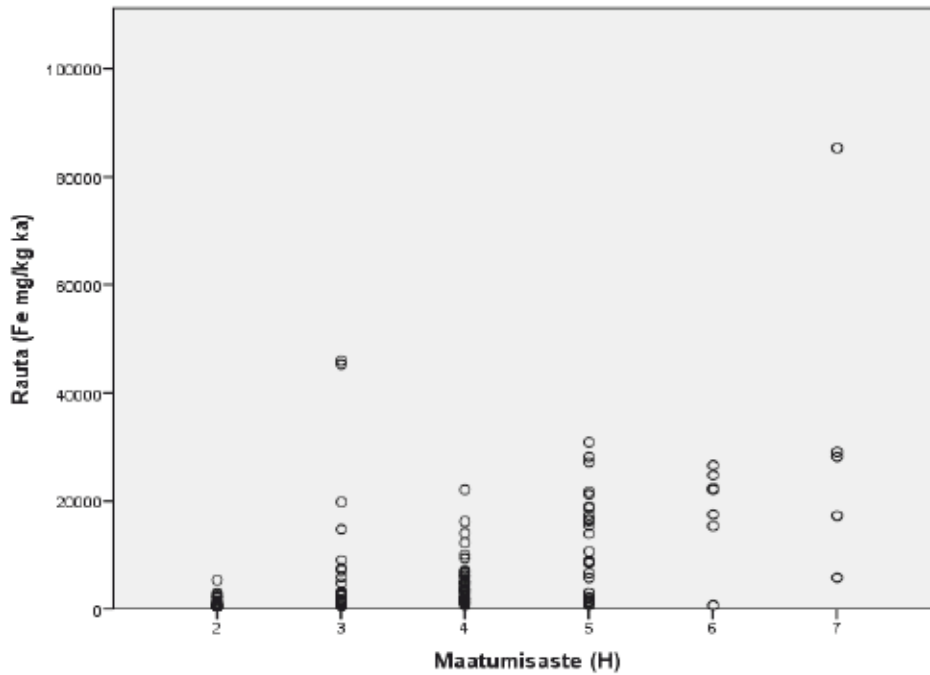
Kuva 29. Turpeen maatumisasteen (H) ja fosforipitoisuuden (P mg/kg ka) välinen korrelaatio kaikilla tutkimuspisteillä. $R = 0,634$ ja $p < 0,001$, $n = 132$.

Kun tarkastellaan korrelaatiota fosforipitoisuuden ja maatumisasteen välillä kaikilla tutkimuspisteillä, voidaan huomata, että niiden välillä on voimakas riippuvuus (Kuva 29). Korrelaatio on selkeä, sillä R on 0,634 ja merkitsevyysaste korrelaatiolle erittäin merkitsevä. Turpeen fosforipitoisuutta verrattiin myös turpeen sähkönjohtokykyyn sekä turpeen tuhkapitoisuuteen. Tällöin korrelaatiokerroin oli hyvin lähellä 0 ja p-arvo $> 0,05$, joten korrelaatiota ei näiden muuttujien välillä ollut.

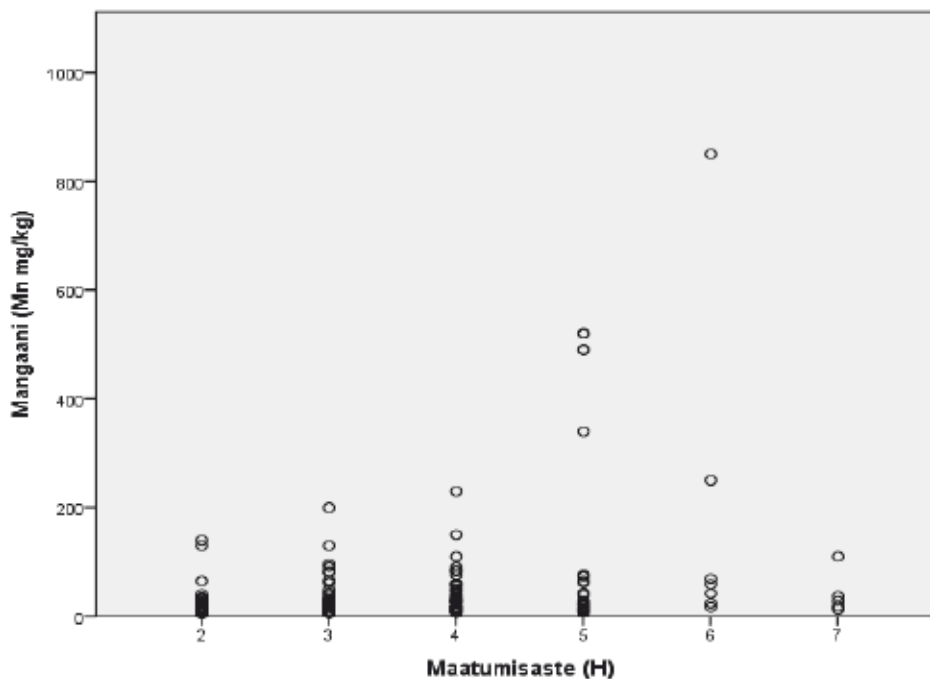
Myös alumiinipitoisuudella on lähes fosforipitoisuuden tasoinen korrelaatio turpeen maatumisasteen kanssa (Kuva 30). Tällöin $R = 0,60$ ja korrelaatio on tilastollisesti erittäin merkitsevä. Turpeen rautapitoisuuden ja turpeen maatumisasteen välinen positiivinen korrelaatio on myöskin alumiini- ja fosforipitoisuuksien kaltainen (Kuva 31). Rautapitoisuuden ja maatumisasteen välinen korrelaatiokerroin on 0,58 ja $p < 0,001$ eli korrelaatio on tilastollisesti erittäin merkitsevä.



Kuva 30. Turpeen maatumisasteen (H) ja alumiinipitoisuuden (Al mg/kg ka) välinen korrelaatio kaikilla tutkimuspisteillä. $R = 0,60$ ja $p < 0,001$, $n = 132$.



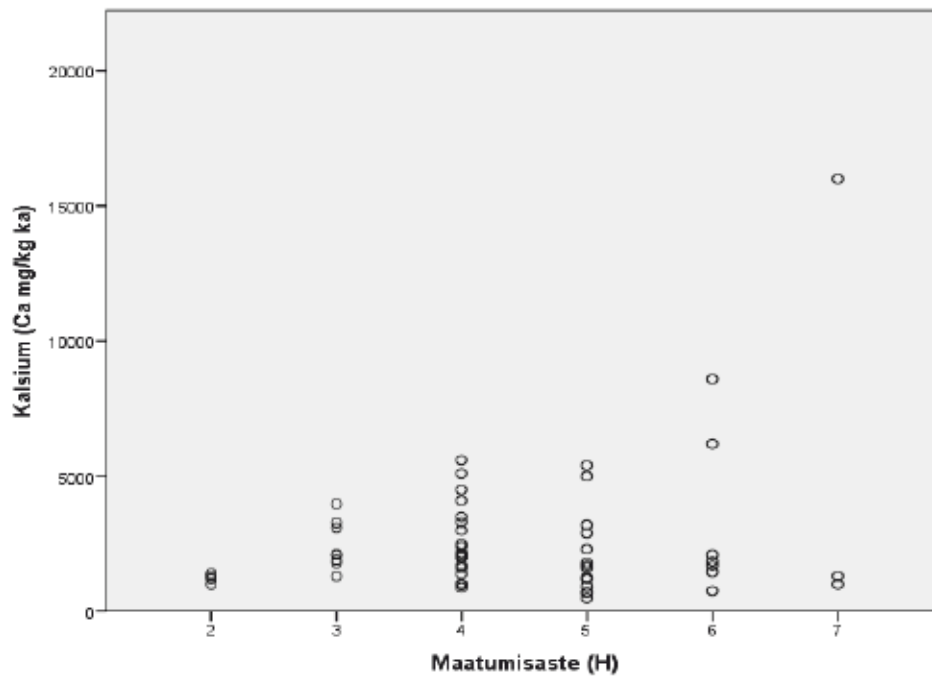
Kuva 31. Turpeen maatumisasteen (H) ja rautapitoisuuden (Fe mg/kg ka) välinen korrelaatio kaikilla tutkimuspisteillä. $R = 0,58$ ja $p < 0,001$, $n = 132$.



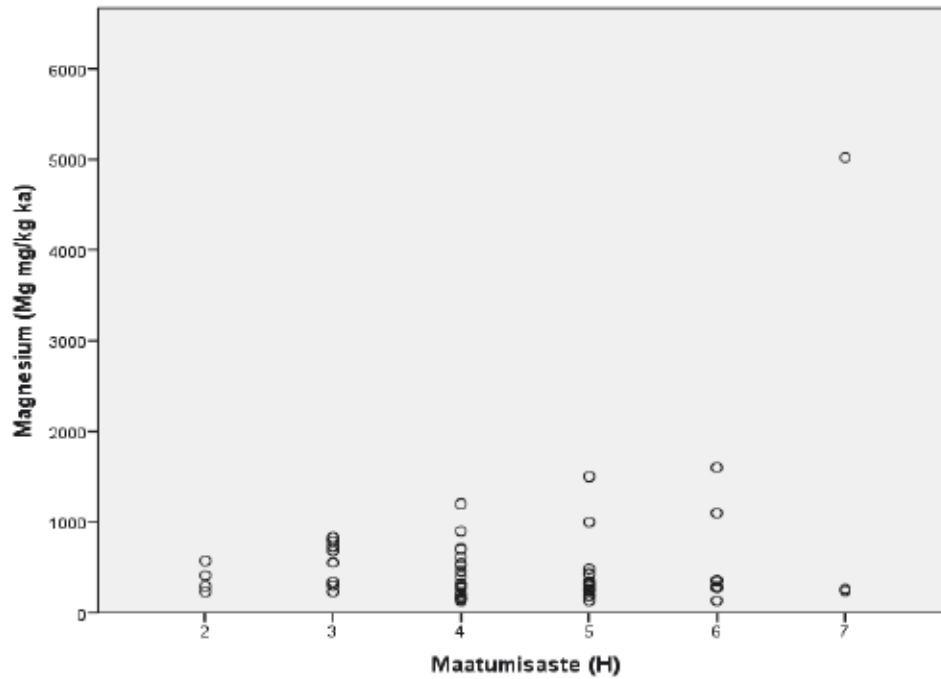
Kuva 32. Turpeen maatumisasteen (H) ja mangaanipitoisuuden (Mn mg/kg ka) välinen korrelaatio kaikilla tutkimuspisteillä. $R = 0,18$ ja $p < 0,05$, $n = 132$.

Kuvassa 32 näkyy, ettei turpeen maatuneisuudella ja mangaanipitoisuudella ole tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota. Muuttujien välillä näkyy pieni positiivinen korrelaatio ($R = 0,18$, $p < 0,05$), tämä ei kuitenkaan ole tilastollisesti

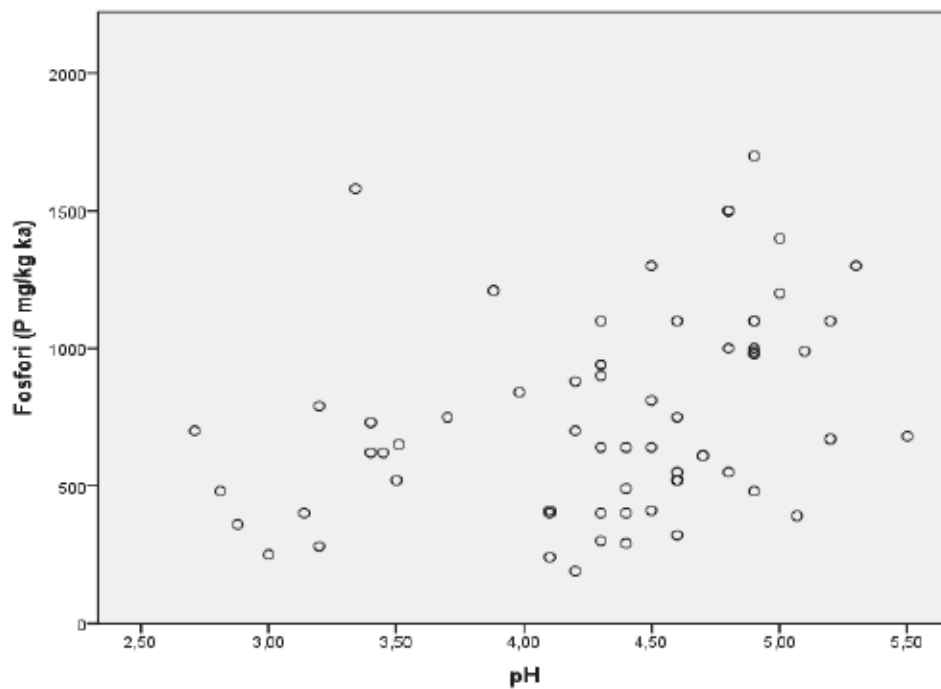
kovinkaan merkitsevää. Kalsiumpitoisuuden ja turpeen maatumisasteen välillä on hyvin heikko negatiivinen riippuvuus, kun korrelaatiokerroin on $R = -0,01$ (Kuva 33). Vaikka korrelaatio on pieni, on se kuitenkin tilastollisesti merkitsevää, sillä p-arvo on $< 0,001$. Turpeen maatumisasteen ja magnesiumipitoisuuden (Kuva 34) välillä ei ole korrelaatiota, sillä korrelaatiokerroin on vain hieman negatiivinen ($R = -0,08$) ja p-arvo ei merkitsevää ($p > 0,05$).



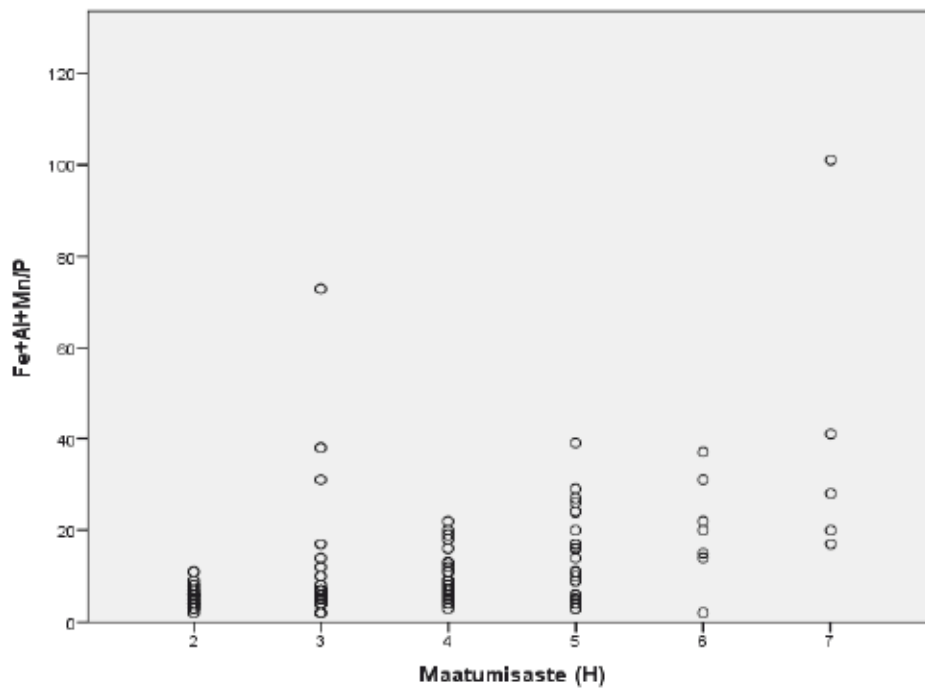
Kuva 33. Turpeen maatumisasteen (H) ja kalsiumpitoisuuden (Ca mg/kg ka) välinen korrelaatio kaikilla tutkimuspisteillä. $R = -0,01$ ja $p < 0,001$, $n = 132$.



Kuva 34. Turpeen maatumisasteen (H) ja magnesiumpitoisuuden (Mg mg/kg ka) välinen korrelaatio kaikilla tutkimuspisteillä. $R = -0,08$ ja $p > 0,05$, $n = 132$.



Kuva 35. Turpeen pH ja fosforipitoisuuden (P mg/kg ka) välinen korrelaatio kaikilla tutkimuspisteillä. $R = 0,41$ ja $p < 0,01$, $n = 132$.

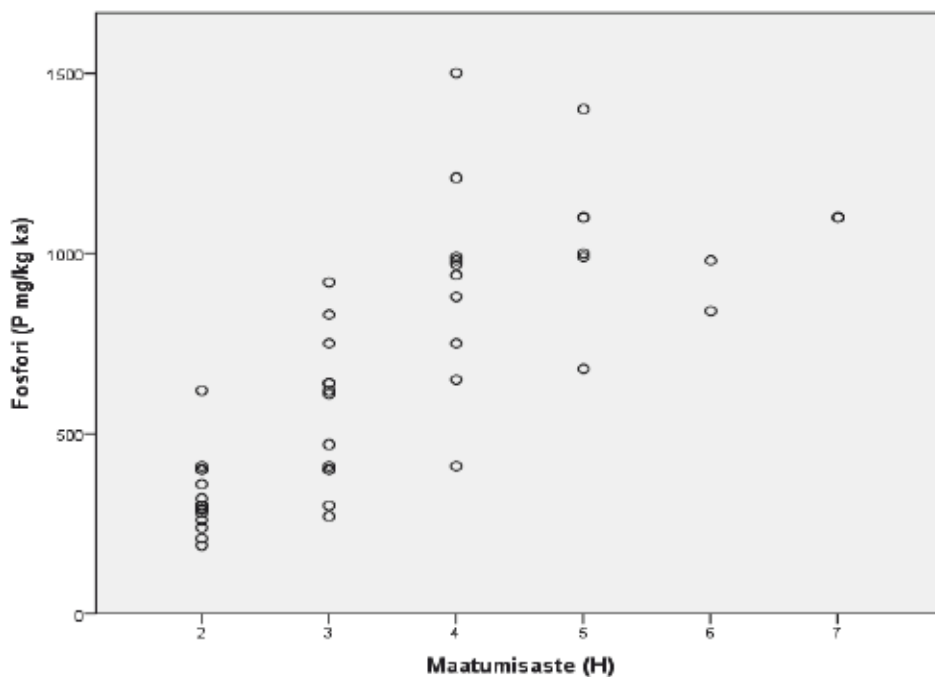


Kuva 36. Kaavan 1 ((Fe+Al+Mn)/P) ja turpeen maatumisasteen (H) välinen korrelaatio kaikilla tutkimuspisteillä. R = 0,46 ja p < 0,001, n = 132.

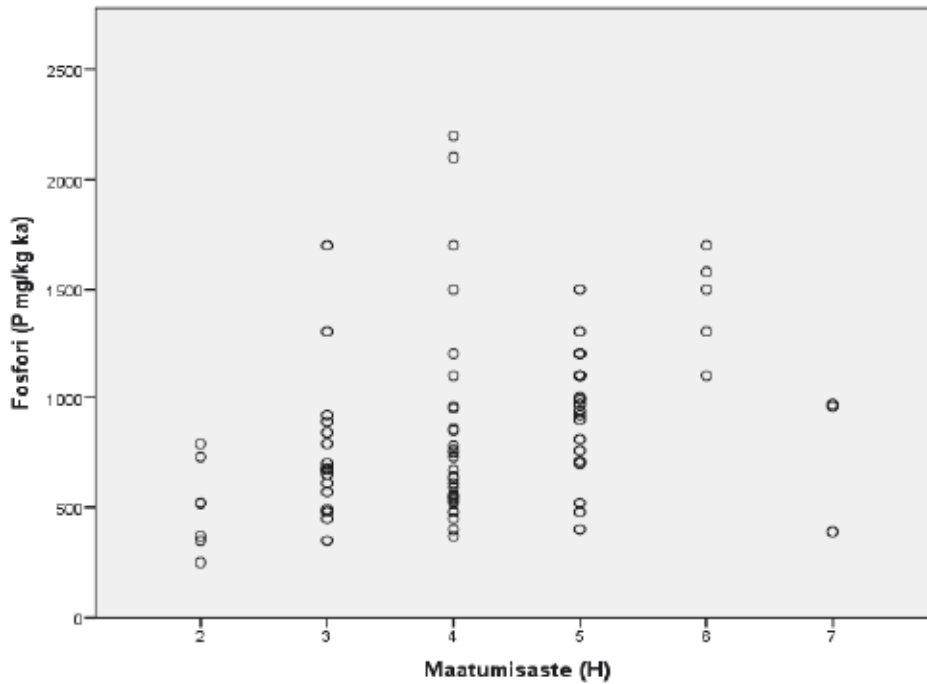
Turpeen pH arvolla ja fosforipitoisuudella on tutkimuksen mukaan positiivinen korrelaatio, sillä korrelaatiokerroin on 0,41 ja se on tilastollisesti merkitsevä (p < 0,01) (Kuva 35). Kuvassa 36 kuvataan korrelaatiota Postilan *et al.* (2011) tutkimuksessa kehitetyn kaavan, (Fe+Al+Mn)/P, ja maatumisasteen välillä. Korrelaatio on selkeä, sillä R = 0,46 ja p -arvo < 0,001 eli tilastollisesti erittäin merkitsevä.

4.5.1 Korrelaatiot ojittamattomilla ja ojitetuilla soilla

Ojittamattomilla soilla turpeen maatumisasteen ja fosforipitoisuuden välinen korrelaatio on selkeä, sillä korrelaatiokerroin on 0,85 ja p-arvo tilastollisesti erittäin merkitsevä (Kuva 37). Ojitetuilla soilla sama maatumisasteen ja fosforipitoisuuden välinen korrelaatio on noin puolet vähemmän muuttujien välillä, kun $R = 0,44$ ja $p\text{-arvo} < 0,001$ (Kuva 38).

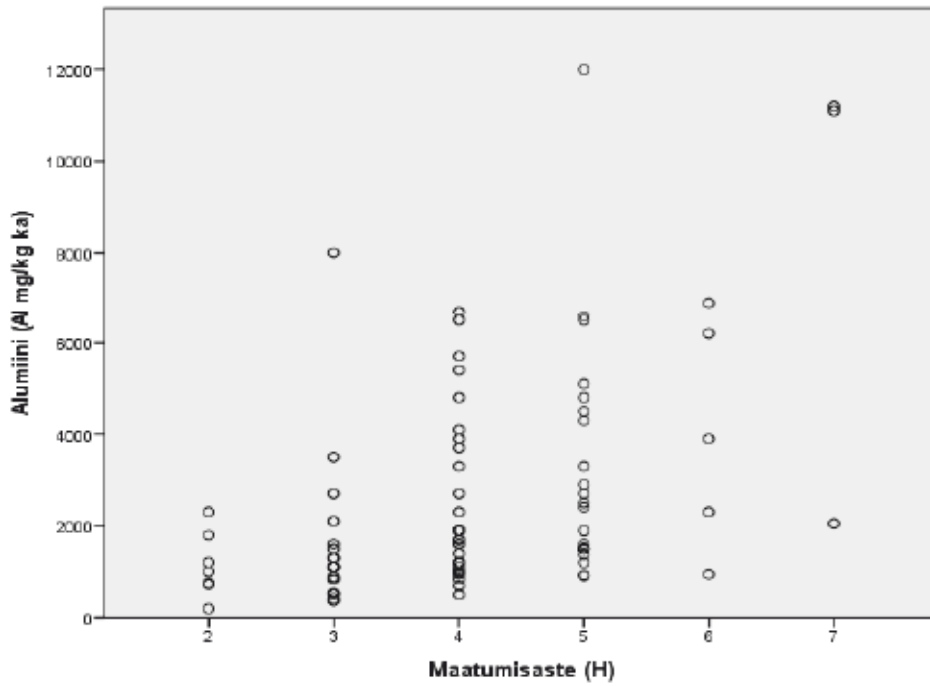


Kuva 37. Turpeen maatumisasteen (H) ja fosforipitoisuuden (P mg/kg ka) välinen korrelaatio ojittamattomien soiden kaikilla tutkimuspisteillä. $R = 0,85$ ja $p < 0,001$, $n = 49$.

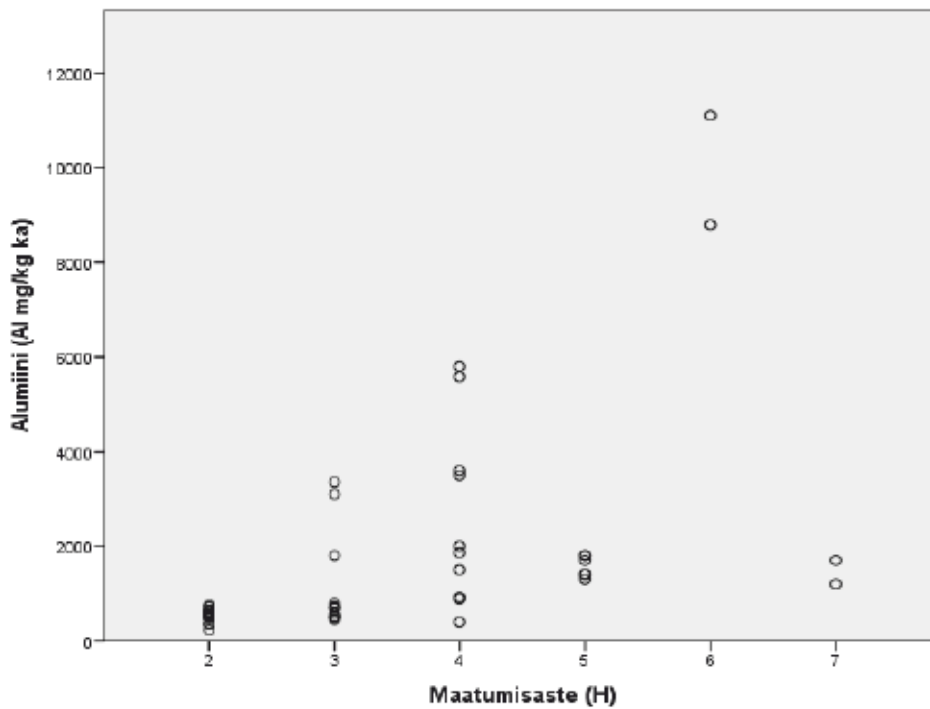


Kuva 38. Turpeen maatumisasteen (H) ja fosforipitoisuuden (P mg/kg ka) välinen korrelaatio ojitettujen soiden kaikilla tutkimuspisteillä. $R = 0,44$ ja $p < 0,001$, $n = 83$.

Samalla tavalla kuin fosforipitoisuuden ja maatumisasteen välillä on suurempi korrelaatio ojittamattomilla soilla, on myös alumiinipitoisuudella ja maatumisasteella vastaavanlainen ero ojittamattomien ja ojitettujen soiden välillä. Ojittamattomilla soilla korrelaatio on selkeä alumiinipitoisuuden ja maatumisasteen välillä, kun R on $0,69$ ja p tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p < 0,001$) (Kuva 39). Ojitetuilla soilla korrelaatio muuttujien välillä on myös havaittavissa ja on tilastollisesti erittäin merkitsevä ($R = 0,46$ ja $p < 0,001$) (Kuva 40).

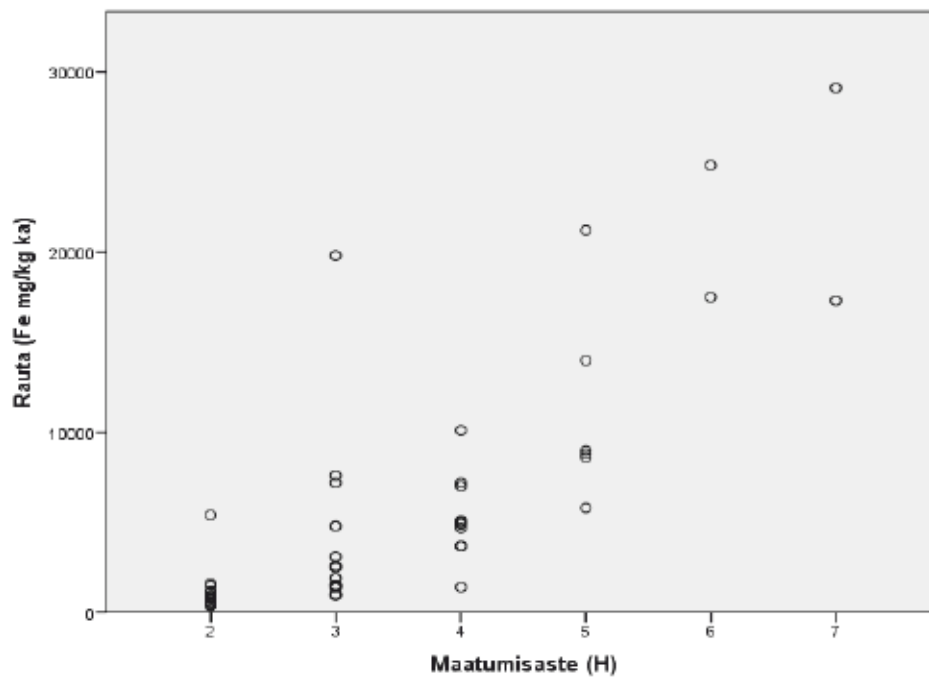


Kuva 39. Turpeen maatumisasteen (H) ja alumiinipitoisuuden (Al mg/kg ka) välinen korrelaatio ojittamattomien soiden kaikilla tutkimuspisteillä. $R = 0,69$ ja $p < 0,001$, $n = 49$.

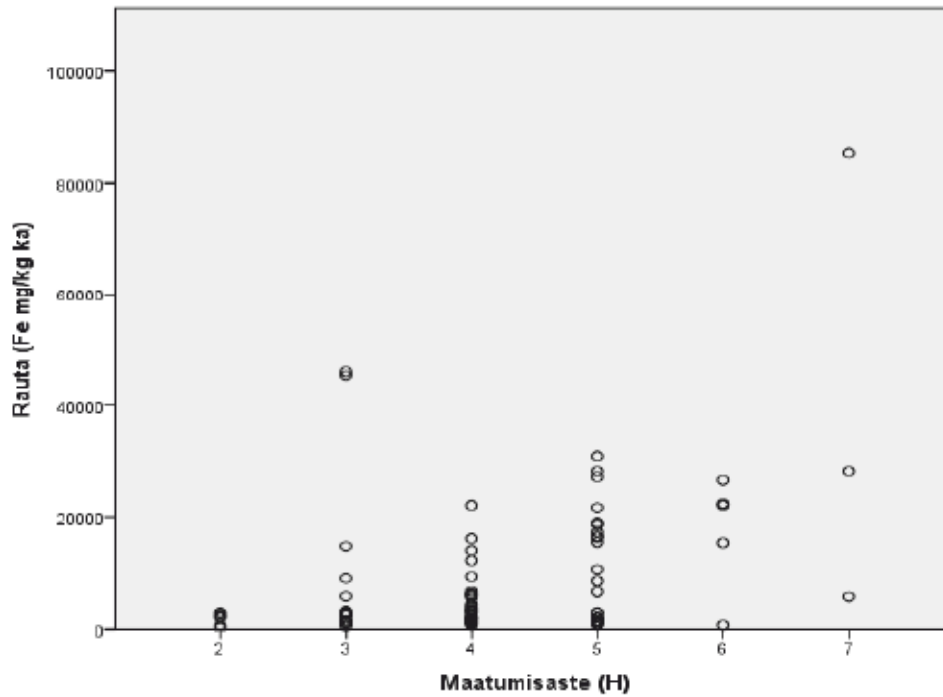


Kuva 40. Turpeen maatumisasteen (H) ja alumiinipitoisuuden (Al mg/kg ka) välinen korrelaatio ojitettujen soiden kaikilla tutkimuspisteillä. $R = 0,46$ ja $p < 0,001$, $n = 83$.

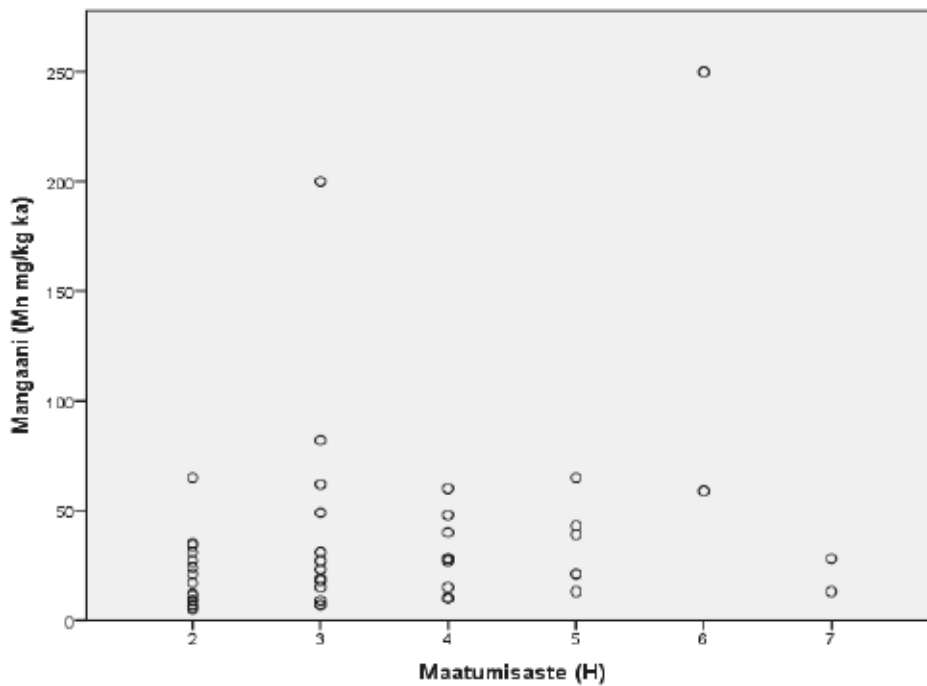
Myös rautapitoisuudella ja turpeen maatumisasteella on eroja korrelaatiossa ojittamattomilla ja ojitetuilla soilla. Ojittamattomilla soilla rautapitoisuuden ja maatumisasteen välinen riippuvuus on huomattava (Kuva 41). Tällöin korrelaatiokerroin on jopa 0,83 ja merkitsevyys tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p < 0,001$). Ojitetuilla soilla korrelaatio on huomattavasti pienempi, sillä $R = 0,38$. Korrelaatio on kuitenkin tilastollisesti erittäin merkitsevä (Kuva 42).



Kuva 41. Turpeen maatumisasteen (H) ja rautapitoisuuden (Fe mg/kg ka) välinen korrelaatio ojittamattomien soiden kaikilla tutkimuspisteillä. $R = 0,83$, $p < 0,001$, $n = 49$.



Kuva 42. Turpeen maatumisasteen (H) ja rautapitoisuuden (Fe mg/kg ka) välinen korrelaatio ojitettujen soiden kaikilla tutkimuspisteillä . $R = 0,38$ ja $p < 0,001$, $n = 83$.



Kuva 43. Turpeen maatumisasteen (H) ja mangaanipitoisuuden (Mn mg/kg ka) välinen korrelaatio ojittamattomien soiden kaikilla tutkimuspisteillä. $R = 0,30$ ja $p < 0,05$, $n = 49$.

Mangaanipitoisuudella ja turpeen maatumisasteella ei ole kovin isoa korrelaatiota ojittamattomilla soilla (Kuva 43). Korrelaatiokerroin on 0,30, mutta tilastollisesti korrelaatio on vain melkein merkitsevä ($p < 0,05$). Ojitetuilla soilla ei korrelaatiota muuttujien välillä havaittu ollenkaan.

5. TULOSTEN TARKASTELU

5.1 Alkuainetulokset

Tutkimuksessa saadut alkuainepitoisuudet ojitetuilla ja ojittamattomilla soilla ovat samansuuntaiset kuin Herrasen ja Toivosen (2018 ja 2020) esittämät GTK:n tulokset. Tutkimuksessa fosforin keskiarvo on 758 mg/kg kuiva-aineessa (mediaani 720 mg/kg ka) kun taas Herrasen ja Toivosen (2020) noin 9900 suon tuloksissa keskiarvo turvenäytteiden fosforille on 550 mg/kg ka. Alumiinin osalta tämän tutkimuksen keskiarvo on 2196 mg/kg ka (mediaani 1500 mg/kg ka) ja GTK:n aineistossa 2679 mg/kg ka. Raudan keskiarvo tutkimuksessa kaikilla soilla on 7535 mg/kg ka (mediaani 3150 mg/kg ka) ja Herrasen ja Toivosen tutkimuksessa 6529 mg/kg ka. Vaikka tulokset ovat samansuuntaiset, on tulosten välinen ero selitettävissä todennäköisesti soiden ojitustilanteen erilaisella jakaumalla. Tässä tutkimuksessa on selkeä ero ojitettujen ja ojittamattomien soiden alkuainepitoisuuksissa P, Al ja Fe osalta. Esimerkiksi alumiini on ojitetuilla soilla keskiarvopitoisuudeltaan 2719 mg/kg ka (mediaani ojitetut 1700 mg/kg ka) kun se on ojittamattomilla soilla 1673 mg/kg ka (mediaani ojittamattomat 760 mg/kg ka). Huomioitavaa alkuainevertailussa on erityisesti siinä, että GTK:n raportissa (Herranen ja Toivonen 2020) on mukana turvenäytteitä eri syvyyksiltä, kun tässä tutkimuksessa turvenäytteet on otettu korkeintaan 50 cm suon pinnasta. Eri alkuaineet rikastuvat eri kerroksiin suossa, esim. lyijy rikastuu usein pintaturpeeseen. Myös suon vesitalous ja mahdolliset lähialueen lannoitukset vaikuttavat muun muassa fosforin määrään pintaturpeessa.

SulKa –hankkeen loppuraportissa (Karppinen ja Postila 2015) saatujen pinta-turpeen alkuainepitoisuuksien mukaan kaikkien tutkimuksessa mukana olleiden soiden (15 kpl) fosforipitoisuus on alle 1000 mg/kg. Tämän tutkimuksen ojitetuilla soilla isoin fosforipitoisuus on 2200 mg/kg ka ja keskiarvo 855 mg/kg ka. Ojittamattomilla soilla suurin fosforipitoisuus on myös suurempi kuin SulKa –hankkeessa, 1500 mg/kg ka ja keskiarvo 661 mg/kg ka. SulKa -hankkeessa ja tässä tutkimuksessa näytteenotto on pyritty ottamaan juurikerroksen alta 30 cm asti, kun taas TuKos –hankkeessa näytteenottosyvyys on 0-10 cm. Erot turpeen fosforipitoisuudessa voivat selittyä suokohtaisilla eroilla sekä sillä, että tutkimuksessa on mukana myös pintavalutuskentäksi suunnitteilla olevia soita. Myös näytemäärä on isompi, jolloin vaihteluvälikin on suurempi. SulKa –hankkeessa käytettiin turvenäytteisiin EPA 3051 hajotusmenetelmää.

Myös mediaanipitoisuudet alkuaineille laskettiin, sillä joillain soilla oli isoja haja-arvoja. Mediaani fosforille on 720 mg/ka ka, kun se on Herrasen ja Toivosen GTK (2020) raportissa on 471 mg/kg ka. Alumiini on samassa raportissa 1860 mg/kg ka ja tässä tutkimuksessa 1500 mg/kg ka. Raudan mediaani Herrasella ja Toivosella (2020) on 4420 mg/kg ka kun taas tämän tutkimuksen raudan mediaani on 3150 mg/kg ka. Mangaanille mediaani on 27,5 mg/kg ka ja GTK:n raportissa 36,3 mg/kg ka. Huomattavin ero alkuaineiden mediaaneissa on fosforin välillä. Tässä tutkimuksessa on mediaanien vertailtu tehty kaikkien tutkimuspisteiden mukaan, mutta mikäli tarkastellaan ojitustilanteen mukaan mediaaneja, ovat ojitetuilla soilla mediaani alkuainemäärät isommat. Ojitetuilla soilla mediaani fosfori on 760 mg/kg ka kun taas ojittamattomilla soilla mediaani fosforiarvo on 640 mg/kg ka. Tämä ojittamattomien soiden fosforimediaanipitoisuus on hieman lähempänä Herrasen ja Toivosen (2020) raportin fosforimediaania. Toinen merkittävä mediaanipitoisuusero on alumiinin välillä ojitetuilla ja ojittamattomilla soilla, vaikkakin kokonaismediaani on tässä tutkimuksessa suhteellisen lähellä GTK:n raportin alumiinin mediaanipitoisuutta (1860 mg/kg ka). Ojitetuilla soilla mediaanipitoisuus alumiinille on 1700 mg/kg ka kun se on ojittamattomilla soilla on vain 760 mg/kg ka. Alumiinipitoisuus näyttää nousevan paljon ojitetuilla soilla.

5.2 pH, sähkönjohtokyky ja tuhkapitoisuus

Turpeen pH on määritetty vain osasta soista. Näiden näytetulosten perusteella maantieteellisesti tarkasteltuna Etelä-Suomen soilla olisi happamin turve eli keskiarvon ollessa pH 2,81 ja Keski-Suomessa vähiten hapan, ka pH 4,16. Pohjois-Suomen soilla tämän tutkimuksen mukaan happamuus on keskiarvona pH 3,9. Happamat sulfaattimaat eivät yksin selitä näitä tuloksia, sillä happamat sulfaattimaat esiintyvät yleisesti rannikoilla (Yli-Halla *et al.* 1999, Autiola *et al.* 2022), ja tämän tutkimuksen happamimmat turvenäytteet ovat sisämaasta. Useiden tutkimusten mukaan kallioperä vaikuttaa suotyyppiin, ja edelleen turpeen pH arvoon (Salmi 1958, Virtanen 1978, Herranen 2009). Kapillaariset voimat, pintaturpeen – ja suon kasvien imukyky sekä sähkökemialliset reaktiot kuljettavat vesiä turpeeseen kallioperästä. Tässä tutkimuksessa ei tarkastella tarkemmin kallioperän vaikutusta yksittäisten soiden turpeiden ominaisuuksiin tai happamuuteen, mutta kallioperän kivilajivaihtelut voivat selittää tutkimuksen pH –arvojen eroja muun muassa soiden eri trofiatasojen mukaan. Holapan väitöskirjassa (2010) esitetään, että esimerkiksi ombrotrofisen rahkarämeen pH arvo on alle 3,5 kun taas eutrofisten luhtasoiden pH voi olla 5–6 välillä. Toisaalta nämä trofiatasoa ja happamuutta vertaavat esimerkit sopivat vain luonnontilaisille soille, ei ojituksen takia pidemmälle muuttuneille suotyypeille. Happamuus vaihtelee myös turpeen maatumisasteen mukaan, sillä pH on yksi maatumista säätelevä tekijä (Virtanen *et al.* 2003, Holappa 2010). Tässä tutkimuksessa saatiinkin tulokseksi, että fosforin ja pH –arvon välillä on korrelaatio, sillä myös maatumisasteen ja fosforin välillä on voimakas korrelaatio.

Sähkönjohtokyky ja tuhkapitoisuus ovat määritetty laajemmin tutkituista soista eli kymmeneltä suoalueelta. Ojitustilanteen vaikutus näkyy tuloksissa. Ojitetuilla soilla sähkönjohtokyvyn keskiarvo on 77,1 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ja ojittamattomilla 36,9 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Tuhkapitoisuus puolestaan on hieman suurempi (ka 9%) ojittamattomilla kuin ojitetuilla (ka 8,3%) soilla. Nämä kumpikin arvo ovat valtakunnallisesti keskiarvon yläpuolella turpeen tuhkapitoisuuksissa, sillä keskimäärin turpeen tuhkapitoisuus on noin 5–6% (Alakangas 2000), mutta voi vaihdella 0,3–25% välillä (Virtanen 2011). Yhdellä tutkituista soista (suotun-

niste 11) tuhkapitoisuus oli merkittävän korkea 25,4%. Kuten Virtanen (2011) toteaa, on turpeen ominaisuuksilla ja sattumalla myös yhteys. Suon numero 11 korkea tuhkapitoisuus saattaa johtua siitä, että näytteet ovat otettu pintaturpeesta, jolloin näytteeseen on voinut sekoittua mukaan mineraalimaata, jonka esimerkiksi tulvavesi on kuljettanut suolle. Myös maatumisasteella ja turvelajilla on vaikutusta tuhkapitoisuuteen. Rahkaturpeilla on usein pienempi tuhkapitoisuus kuin saraturpeilla (Alakangas 2000).

5.3 Hajotusmenetelmän vaikutus tuloksiin

Alkuaineiden hajotusmenetelmien ero tahdottiin tietää, sillä Neovan (silloisen Vapon) näytteet on aiemmin tehty eri hajotusmenetelmällä kuin tässä tutkimuksessa usein viitattu TuKos –hankkeen (Postila *et al.* 2011) näytteet. TuKos –hankkeen pintavalutuskentän suuntaa-antavat mitoitusohjeet ovat yleisesti käytettyjä ohjeita ja raja-arvoja. Turvenäytteisiin käytettiin AHMA Ympäristö Oy:llä menetelmiä EPA3051(HNO₃/HCl) ja SFS-EN ISO 16967:15 (mangaanille SFS-EN ISO 16968:15).

Suurimmat pitoisuuserot hajotusmenetelmien välillä saadaan alumiinin kohdalla. Alumiinin keskiarvopitoisuusero menetelmien välillä on 11,5 %. Seuraavaksi isoimmat erot menetelmien välillä ovat magnesiumilla (5,8 %) ja raudalla (5,4 %). Kaikilla näillä standardihajotusmenetelmä SFS-ISO EN 16967:15 antaa suuremmat pitoisuudet. Kaikista pienin ero hajotusmenetelmien välillä on fosforin kohdalla, siinä ero on vain 1,8 %. Koska juuri fosfori on haitallista huuhtoutumaa aiheuttava alkuaine, ei sen kohdalla hajotusmenetelmän käytöllä ole suurta eroa. Fe, Al ja Mn ovat fosforia sitovia alkuaineita, joten niiden pitoisuuden nousu tai lasku vaikuttaa TuKos –hankkeessa (Postila *et al.* 2011) esitetyn suhdekaavan (Kaava 1) arvoon, ja näin ollen suon potentiaaliin vesienpuhdistuksessa. Varsinkin alumiiniin kohdalla vaikuttaa hajotusmenetelmän valinta. Mikäli käytetään standardia SFS-ISO EN 16967:15 hajotukseen, on suhdeluku kaavalla 1 hieman isompi. Tämän tutkimuksen näytteissä on käytetty edellä mainittua SFS –standardia. Näin ollen suhdeluvut ovat hieman isompia kuin jos olisi käytetty TuKos –hankkeessa

käytettyä EPA3051(HNO₃/HCl) menetelmää. Nämä suhdearvot (ojitetuilla soilla soiden ka. suhdearvo on 13 ja ojittamattomilla 10) ovat huomattavasti pienempiä kuin TuKos –hankkeessa esitetyt raja-arvot. Mikäli olisi käytetty samaa hajotusmenetelmää, olisi tämän tutkimuksen tulosten ja TuKos –hankkeen alkuaineinen suhdekaavan arvojen välinen ero kasvanut entisestään. Esimerkkinä hajotusmenetelmien erosta on suo numerolla 11, jossa EPA3051(HNO₃/HCl) antaa suhdekaavan arvoksi 29,3 kun taas SFS –standardin hajotus antaa tulokseksi 31,4. TuKos –hankkeen mukaan alle 30 arvoilla olevilla soilla voi ilmetä huuhtoutumisongelmaa, mikäli mukana on myös fosforia. Menetelmien antamien tulosten ero ei ole iso, mutta tässä tapauksessa toisella hajotusmenetelmällä saatu arvo menee alle 30 luokkaan ja toinen yli.

Tutkimuksen tulosten mukaan ei ole suurta eroa, kumpaa hajotusmenetelmää käyttää, mikäli tarkastellaan vain fosforia tai mangaania. Mikäli halutaan pitoisuustuloksia alumiinista, raudasta, magnesiumista tai kalsiumista, tai tarkastellaan kokonaisuutta, on hyvä käyttää samaa hajotusmenetelmää kuin tutkimuksessa, jonka tuloksia käytetään ohjearvoina, jotta tulokset ovat mahdollisimman vertailukelpoiset.

5.4 Maatumisasteen vaikutus fosforiin

Koska fosfori on turvetuotantoalueilla usein mahdollisia huuhtoutumisongelmia aiheuttava alkuaine, tarkastellaan tässä kappaleessa fosforipitoisuuksien ja maatumisasteen välistä yhteyttä.

Karppisen ja Postilan (2015) tutkimuksesta käy ilmi, että turve, joka sisältää vähemmän fosforia, sitoo sitä paremmin pintavalutuskentällä, mikäli veden virtaus tapahtuu pintavalutuskentän turvekerroksessa. Tämän tutkimuksen tulosten mukaan fosforilla ja maatumisasteella on selkeä korrelaatio, $R = 0,634$, kun tarkastellaan aineiston kaikkia tutkimuspisteitä. Eniten tuloksissa on H₄ (30%) ja H₃ (23%) maatumisasteen turpeita, joten näillä tutkimuspis-

teillä myös hajonta on isointa. Silti korrelaatio maatuneisuuden ja fosforin kanssa on selkeästi nähtävissä.

Jos tarkastellaan erillisinä soina ojittamattomia ja ojitetuja soita, on ojittamattomilla soilla korrelaatio maatumisasteen ja fosforipitoisuuden välillä vieläkin selvempi kuin kaikkien soiden tutkimuspisteillä. Korrelaatio on ojittamattomilla soilla $R = 0,85$. Ojitetuilla soilla on myös korrelaatiota, mutta se ei ole yhtä selvä ($R = 0,44$). Tämä tulosten korrelaatioero voi johtua siitä, että ojitetut suot eivät toimi yhtä hyvin hydraulisesti eli valunta kulkee osaksi ojissa tai turvekerrostumien ohitse. SulKa –hankkeen loppuraportissa Karppinen ja Postila (2015) esittävät, että pintavalutuskentältä lähtevän valumaveden kokonaisfosforin pitoisuusreduktio on sitä isompi, mitä vähemmän pintavalutuskentän turpeessa on fosforia (mg/kg).

Tulosten perustella fosforipitoisuutta voisi tutkia ojittamattomilla soilla pintaturvenäytteestä. Mikäli ojittamattoman suon pintaturve on vain vähän maatunutta H_2-H_4 , voi tämän tutkimuksen tulosten mukaan tehdä varovaisen arvion fosforipitoisuudesta, joka ei mahdollisesti aiheuta huuhtoutumisongelmaa. Tarkempaa arviota varten on tutkittava laboratoriossa fosforipitoisuus sekä fosforia sitovat alkuaineet (Al, Fe, Mn) sekä arvioitava suon virtaamia. Tämän tutkimuksen mukaan voidaan kuitenkin tehdä päätelmä, että fosforipitoisuus on vähäisin ojittamattomilla, pintaturpeeltaan heikosti maatuneilla soilla. Tästä edelleen päätelmänä on, että pintavalutuskentän valumavesien kokonaisfosforin reduktio on näin ollen yleisesti isompi eli puhdistustehokkuus parempi, ojittamattomilla soilla (Karppinen & Postila 2015). Tällöin on kuitenkin tutkittava, onko ojittamaton suo hydraulisesti toimiva. Myös ojitetuilla soilla korrelaatiota on fosforin ja maatuneisuuden välillä, mutta ojitustilanne muuttaa suon virtaamia sekä suon pintakasvillisuutta niin, ettei suon pintaturpeen maatuneisuuden ja fosforipitoisuuden määrittäminen ole yhtä luotettava.

5.5 Ojituslaitteen vaikutus tuloksiin

Tämän tutkimuksen mukaan ojittamattomilla tutkimussoilla turpeen maatumisasteen korrelaatio tutkittavien alkuaineiden (P, Al, Fe) kanssa on selkeä ja merkitsevyyssasteeltaan erittäin merkitsevä. Ojitetuilla tutkimussoilla korrelaatio maatumisasteen ja alkuaineiden kanssa on myös erittäin merkitsevä, mutta ei yhtä selkeä, kuin ojittamattomilla. Huomioitavaa on, että mangaani ei korreloi niin selkeästi maatumisasteen kanssa kuin muut tutkimuksen alkuaineet. Mangaanin ja turpeen maatumisasteen välillä ei ollut ollenkaan korrelaatiota ojitetuilla soilla.

Fosforin- ja muiden alkuaineiden pitoisuudet ovat pienemmät ojittamattomilla kuin ojitetuilla soilla. Arvojen vaihteluväli on myös pienempi. Tämä voi mahdollisesti liittyä suon pintakasvillisuuden muutoksiin suon vesitalouden muuttuessa. Ojittamattoman suon virtaus tapahtuu yleisemmin suon pintaosissa eli akrotelmassa. Ojituksen jälkeen veden lisääntynyt virtaus siirtyy akrotelmasta ojiin ja joissain tilanteissa myös alivalunnaksi eli suon pohjakerroksissa tapahtuvaksi valunnaksi (Rehell *et al.* 2013). Ojitus tuo ravinteita ympärivästä maastosta. Ojitus myös alentaa pintaturpeen happamuutta. (Tahvanainen & Haapalehto 2013).

Tutkimuksen ojitetut suot sijaitsevat mahdollisesti lähellä turvetuotantoalueita, sillä turvetuotantoalueita saa perustaa vain jo valmiiksi ojitetuille alueille. Tutkimuksen ojittamattomat suot voivat olla laajemmalla alueella ojittamattomia, ja näin ollen niihin vaikuttaa luonnolliset virtaamat turpeessa.

5.6 Pintavalutuskentän suunnitteluohjeen (TuKos –hanke) mukaiset alkuainetulokset

Ojitettujen kosteikkojen (tässä yleisesti suo) suunnitteluun ja mitoittamiseen on käytetty Postilan *et al.* (2011) tutkimusta. Siinä esitetään suuntaa-antavaksi ohjeeksi pintavalutuskentälle, että suunnitellun alueen tutkimuspisteiden keskiarvo-fosforipitoisuus tulisi olla alle 1000 mg/kg, ja sen ylittyessä alku-

ainekaavan ((Fe+Al+Mn)/P) arvon olisi hyvä olla yli 30, jotta fosforin huuhtoutumista ei mahdollisesti tapahdu. Kaavan arvo yli 50 ja turpeen sisältämän fosforin pitoisuus alle 800 mg/kg, ennustavat toimivaa pintavalutuskenttää.

Jos tarkastellaan tutkimuksessa saatuja tuloksia fosforin mahdollisen huuhtoutumisriskin kannalta, on tulosten mukaan suurin osa tutkimuspisteiden kaavan (Kaava 1) (Al+Fe+Mn)/P arvoista alle 30. Myös suokohtaisesti keskiarvona laskettuna kaavan arvo jää ojitetuilla ja ojittamattomilla soilla paljon alle 30. Tämä tarkoittaa TuKos –hankkeen (Postila *et al.* 2011) mukaan sitä, että mikäli P pitoisuus (suokohtaisten tutkimuspisteiden keskiarvo) on yli 1000 mg/kg ka, fosforin huuhtoutumista saattaa tapahtua, ja tuloksia olisi hyvä tarkastella tutkimuspisteittäin. Ojitetuilla soilla fosforin keskiarvopitoisuus suokohtaisesti on vain 792 mg/kg ka. Arvo on pienempi kuin TuKos –hankkeessa esitettyjen mahdollisten huuhtoutumisien raja-arvo 1000 mg/kg ka. Fosforipitoisuus on kuitenkin lähellä TuKos –hankkeen alle 800 mg/kg ka rajaa, jolloin todennäköisesti ei tule fosfori huuhtoutumista tapahtumaan. Tästä voi tehdä johtopäätöksen ettei tässä tutkimuksessa mukana olleiden ojitetujen soiden fosforin huuhtoutumaa tule mahdollisesti tapahtumaan. Joissain yksittäisillä tutkimuspisteillä rajat (800 mg/kg ka ja 1000 mg/kg ka) ylittyvät, mutta keskiarvona tarkasteltuna huuhtoutumista ei tapahtune. Ojittamattomilla soilla suokohtaisten pisteiden keskiarvo on 633 mg/kg ka. Ojittamattomilla soilla fosforipitoisuudet jäävät selvästi alle TuKos –hankkeessa asetetun 800 mg/kg ka fosforirajan. Näiltä soilta ei tule todennäköisesti huuhtoutumaan fosforia.

Huomioitavaa on, että tämän tutkimuksen alkuainekaavan (Kaava 1) arvot ovat huomattavasti pienempiä kuin Postilan *et al.* 2011 tutkimuksessa (TuKos) esitetyt raja-arvot. Ojitetuilla soilla kaavan arvo keskiarvona on 11 ja ojittamattomilla 10. Sen mukaan fosforin huuhtoutuminen voisi olla mahdollista. Tällöin tulee kuitenkin tarkastella myös turpeen fosforipitoisuutta. Ojitetuilla soilla 14 suota 21:stä (n. 67%) sijoittuu alle 800 mg/kg fosforipitoisuuteen. Ojittamattomilla soilla alle 800 mg/kg ka fosforipitoisia soita on n. 88%.

Tarkasteltaessa yksittäisiä pisteitä soilla, ojitetuilla soilla pisteiden välinen vaihtelu kaavan arvoissa on suurempaa kuin ojittamattomilla soilla. Ojitettujen soiden pisteillä suurin kaavan arvo on 101 ja pienin 2, kun taas ojittamattomien soiden pisteillä suurin kaavan arvo on vain 38 ja pienin 3. Ojitettujen soiden tutkimuspisteet, joissa on paljon isommat kaavan arvot kuin keskiarvo (keskiarvo 13), voivat olla inhimillinen tulosten käsittelyvirhe tai lannoitetulla alueella sijaitseva suo, johon ojat tuovat ravinteita. Vaikka yksittäisten tutkimuspisteiden kaavan arvo on korkea, ei yksittäinen poikkeama näy keskiarvossa suurena poikkeama, kun tarkastellaan soiden pisteiden keskiarvoa eli suotasolla tilannetta.

Tutkimuksen mukaan mikään yksittäinen tutkimuksessa mukana ollut suo ei yllä TuKos –hankkeessa (Postila *et al.* 2011) esitettyyn kaavan, $(\text{Fe} + \text{Al} + \text{Mn}) / \text{P}$, suhdearvoon yli 50. Yksittäinen tutkimuspiste ojitetulla suolla yltää yli 50 kaavan arvoon, mutta suon tutkimuspisteiden keskiarvossa mahdollinen mittausvirhe/ravinteikas alue jne. tasoittuu. Myöskään kaavan arvoon 30 ei yllä kuin yksi ojittamaton ja ojitettu suo. TuKos –hankkeen mukaan pelkkää suhdekaavaa tarkastellessa tässä tutkimuksessa mukana olleilla, lähes kaikilla soilla, saattaa esiintyä fosforin huuhtoutumista, sillä kaavan arvo on alle 30. Tosin huuhtoutumisongelman syntymiseen vaikuttaa myös mm. fosforin määrä (P alle 800 mg/kg ka ei mahdollisesti tapahdu fosforin huuhtoutumista). Ojitetuilla soilla seitsemän suota 21:stä on yli 1000 mg/kg ka fosforia sisältäviä soita. Näillä seitsemästä suosta kuudella fosforin pitoisuus ja kaavan suhdearvo ennustavat yhdessä fosforin mahdollista huuhtoutumisongelmaa. Ojittamattomilla soilla yli 1000 mg/kg ka fosforia sisältäviä soita on kaksi suota 17:sta. Yhdessä suhdekaavan arvon ja fosforipitoisuuden kanssa, kummallakin näillä ojittamattomilla soilla tulee mahdollisesti TuKos –hankkeen mukaan esiintymään fosforin huuhtoutumista.

Tutkimuksen tulosten mukaan olisi hyvä tehdä vielä laajahko lisätutkimus virtaamatietojen kanssa TuKos –hankkeen suhdekaavan (Kaava 1.) arvojen vahvistamiseksi, sillä tämän tutkimuksen mukaan kaavan raja-arvot eivät näytä toteutuvan luonnonolosuhteissa. Tässä tutkimuksessa suhdekaavan

arvot olivat huomattavasti pienempiä kuin TuKos –hankkeessa annetaan suuntaa antaviksi ohjealueiksi.

5.7 Jatkotutkimukset

Jotta voitaisiin tutkia pintavalutuskentän toimintaa kokonaisuudessaan, pitäisi tutkimukseen ottaa mukaan myös vesistömittaustiedot ennen ja jälkeen pintavalutuskentän. Tällöin saataisiin muodostettua suuntaa-antavat raja-arvot alkuaineiden keskinäisistä pitoisuussuhteista fosforin huuhtoutumisarviointikaavan (Kaava 1) mukaisesti. Valuntatiedoilla pintavalutuskentältä voitaisiin laskea myös kokonaisfosforin reduktiot, jotka antaisivat arvokasta lisätietoa turpeen fosforipitoisuuksien kanssa, pintavalutuskentän puhdistustehokkuudesta. Olisi hyvä myös seurata huuhtoutunutta fosforia useiden vuosien ajan, sillä pintavalutuskentän valutusominaisuudet voivat muuttua käyttöönoton jälkeen.

Holapan väitöskirjassa 2010 käy ilmi, että fosforia esiintyy turpeessa vähiten ombro- ja oligotrofisten soiden turpeissa. Myös Laihon ym. (1999) tutkimusten mukaan mesotrofisilla soilla turpeen fosforipitoisuus oli jopa kaksi kertaa isompi kuin ojittamattomilla ombrotrofisilla soilla. Tässä tutkimuksessa ei ole määritetty trofiatasoja soille. Tämä voisi olla lisätietoa antava tekijä soiden alkuainepitoisuuksien ja turpeen sekä soiden ominaisuuksien välisessä korrelaatioissa. Jatkotutkimuksena ehdottaisinkin, pintavalutuskentän valuntatietojen kanssa, ojitettujen kosteikkojen suunnitteluohjeen tarkastelua (TuKos) fosforipitoisuuksien ja alkuainesuhdekaavan osalta laajemmalla aineistolla.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän pro gradun tarkoituksena oli selvittää pintaturpeen geokemiallisia ominaisuuksia pintavalutuskentiksi suunnitteilla olevilla ja jo pintavalutuskentinä toimivilla suoalueilla. Aineistona oli Neovan 38 suon pintaturvetiedot

maastokartoituksista. Tarkastelua tehtiin alkuaineiden (P, Al, Fe, Mn, Ca ja Mg), ja niihin vaikuttavien turpeen ominaisuuksien, kuten maatuneisuuden ja pH:n näkökulmasta. Myös turpeen alkuaineanalyysiin vaikuttavaa hajotusmenetelmän valintaa tarkasteltiin. Tutkimuksella haluttiin lisäksi avata ja varmentaa yleisesti turvetuotannon suunnittelukäytössä olevan, pintavalutus-kentän toimivuutta kuvaavan TuKos –projektin tuloksia.

Tutkimuksessa saatujen tulosten mukaan, suurimmalla osalla tämän aineiston suunnittelussa olevista pintavalutuskentistä ei mahdollisesti tapahtuisi fosforin huuhtoutumista, mikäli tarkastellaan TuKos –hankkeen suuntaantavia raja-arvoja (Postila *et al.* 2011). Tulokset olivat keskiarvona ojittamattomilla ja ojitetuilla soilla alle 800 kg/mg ka, kun vasta yli 1000 kg/mg ka fosforipitoisuus voisi aiheuttaa huuhtoutumisongelmaa. Mielenkiintoista oli kuitenkin se, että TuKos –hankkeessa esitetyn puhdistustehokkuutta kuvaavan kaavan (Kaava 1) arvot olivat tässä tutkimuksessa huomattavasti pienempiä. TuKos –hankkeessa kaavan arvoksi esitetään toimivalla pintavalutuskentällä riippuen fosforipitoisuudesta, yli 30 tai yli 50. Tässä tutkimuksessa keskiarvo oli 10. Nämä erot tuloksissa olisi hyvä tarkistaa lisätutkimuksella, sillä varsinkin puhdistustehokkuutta kuvaavan kaavan (Kaava 1) arvot olivat huomattavan erilaisia. Tätä tutkimusta voisi laajentaa ja varmentaa soiden valuntatietojen kanssa, jolloin saataisiin tietoja pintavalutuskentän oikeasta toiminnasta.

Alkuaineiden keskiarvojen osalta tutkimuksen tulokset olivat samansuuntaiset GTK:n (2020) valtakunnallisten suotutkimusten kokoomatulosten kanssa. Mediaanit erosivat GTK:n raportista lähinnä fosforin ja alumiinin osalta, ja niidenkin kanssa tulokset olivat samansuuntaiset toistensa kanssa huomioituna erittäin iso näytemäärän ero tutkimusten välillä. Tässä tutkimuksessa haluttiin myös selvittää hajotusmenetelmän aiheuttama ero alkuainepitoisuuksiin. Standardien EPA3051(HNO₃/HCl) ja SFS-EN ISO 16967:15 välillä ei ollut suurta eroa pitoisuuksissa, mutta etenkin alumiinilla pitoisuuserot voivat jo muuttaa hieman tuloksia. Olisikin hyvä huomioida, että käytetään samaa hajotusmenetelmää vertailtaville alkuainepitoisuusnäytteille.

Suurimmat eroavaisuudet alkuaineissa saatiin, kun tarkasteltiin tämän tutkimuksen soita jaettuna ne ojittamattomiin ja ojitettuihin suoalueisiin. Ojittamattomilla soilla alkuainemäärät ja vaihteluväli olivat pienemmät kuin ojitetuilla. Myös korrelaatio ojittamattomilla soilla maatuneisuusasteen ja fosforipitoisuuden kanssa oli selkeämpi kuin ojitetuilla soilla, vaikkakin kummassakin ojitustilanteessa korrelaatio oli erittäin merkitsevä. Tämän tutkimuksen mukaan ojittamattomilta soilta, joilla on heikosti pintamaatunutta turvetta (H₂-H₄), voi tehdä varmimmin varovaisen arvion fosforipitoisuudesta, ja sen mukaan esimerkiksi TuKos –hankkeen mukaisen jatkoarvion suon mahdollisesta soveltuvuudesta pintavalutuskentäksi. Ojitustilanteen vaikutus näkyy tuloksissa, joten siihen tulee kiinnittää huomiota myös senkin vuoksi, että ojitetuilla soilla pitoisuusarvot ovat isommat, mutta myös sen vuoksi, että suon hydraulinen valunta muuttuu ojituksen seurauksena.

7. KIITOKSET

Isot kiitokset Neova Oy :lle, silloiselle Vapolle, opettavasta kesätyöpaikasta turpeen parissa ja mielenkiintoisesta gradun aiheesta. Kiitos Juha Ovaskainen ohjauksesta, aineistosta ja arvokkaasta opastuksesta maastossa. Myös Päivi Peroniukselle ja muille neovalaisille kiitokseni opinnäytetyön aiheesta ja aiheen parissa auttamisesta.

Yliopistolta tahdon kiittää Riitta Kontiota, jonka avustuksella teimme osan turvenäytteiden analysoinneista geokemian laboratoriossa. Erityisen lämpimät kiitokset haluan esittää työni pääohjaajalle, tohtoritutkija Tiina Eskolalle, jota ilman graduni olisi edelleen vain lähes valmis. Kiitos Tiina tsemppaavasta asenteestasi, ideoista ja erinomaisesta gradun ohjauksesta!

Koska elämässä tulee välillä vastoinkäymisiä, ovat ystävät ja perhe erityisen tärkeitä tukijoukkoja myös kirjoitusprosessissa. Haluankin esittää kiitokseni kaikille ystäville, jotka olette tukeneet ja auttaneet omilla vahvuusalueillanne gradun teossa, kiitos siis muun muassa Mari, Anu ja Katri. Rakkaat kiitok-

set myös avomiehelleni, Markukselle, jonka rauhallisesta olemuksesta, arjessa välittämisestä ja tietotekniikan taidoista on ollut valtava apu. Viimeisenä haluan lähettää terveiset gradun viimeistelyn aikaan syntyneelle tyttärellemme: opiskelu ja kiinnostus maailman ihmeitä kohtaan kannattaa aina!

LÄHTEET

Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettyjen polttoaineiden ominaisuuksia. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT tiedotteita 2045, 84-87.

Autiola, M., Suonperä, E., Suvanto, S., Napari, M., Nylund, M., Kupiainen, V., Viennonon, S., Forsman, J., Suikkanen, T., Auri, J., Boman, A., Matbäck, S. 2022. Happamien sulfaattimaiden kansallinen opas rakennushankkeisiin: Opas happamien sulfaattimaiden huomioimiseen ja vaikutusten hallintaan. Ympäristöministeriön julkaisuja 2022:3, 12-32.

Casparie, W.A. 1972. Bog development in southeastern drenthe (The Netherlands). *Vegetatio*, vol. 24, iss. 4, 12-14.

Derome, J. 2003. Kemialliset ominaisuudet. Teoksessa: Mälkönen, E. (toim.) *Metsämaa ja sen hoito*. Metsätutkimuslaitos, Metsälehti Kustannus, 63-74.

Ekman, E. 1955. Turve raaka-aineena. Valtion teknillinen tutkimuslaitos, Helsinki, Tiedotus 148, 6-11.

Frilander, P., Leinonen, A. ja Alakangas, E. 1998. Turpeen tuotantoteknologia. Teoksessa: Vasander, H. (toim.). *Suomen suot*. Suoseura ry, 99-106.

Heikkinen, K., Ihme, R. ja Lakso, E. 1994. Ravinteiden, orgaanisten aineiden ja raudan pidättymiseen johtavat prosessit pintavalutuskentällä. *Vesi- ja ympäristöhallitus: Oulun vesi- ja ympäristöpiiri*, Helsinki, Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja A 193, 84 s.

Herranen, T. 2009. Turpeen rikkipitoisuus Suomessa. *Geologian tutkimuskeskus, Turvetutkimusraportti 398*, 61 s.

Herranen, T. ja Toivonen, T. 2018. Turpeen alkuainemääritykset GTK:ssa. *Geologian tutkimuskeskus, Tutkimustyöraportti 73/2018*, 47 s.

Herranen, T. ja Toivonen, T. 2020. Turpeen alkuainemääritykset Geologian tutkimuskeskuksessa – tuloksia laajasta analyysiaineistosta. *Suo 71(1): 25–45*.

Holappa, K. 2010. Pohjois-Pohjanmaan, Kainuun ja Koillismaan suotyyppeiden suknessio, turpeiden ominaisuudet ja suokasvien ekologia. *Res Terrae, Ser. A, No. 30*, 126 s.

Huikari, O. 1956. Primäärisen soistumisen osuudesta Suomen soiden synnyssä. *Yliopistollinen väitöskirja*, Helsinki, Valtioneuvoston kirjapaino, 79 s.

Hyttinen, O., Salonen, V-P. and Kaakinen, A. 2011. Depositional evidence of water-level changes of the Baltic Ice Lake in southern Finland during the Younger Dryas/Holocene transition. *GFF, Stockholm, Vol. 133*, 77-88.

Ihme, R., Heikkinen, K. ja Lakso, E. 1991. Pintavalutus turvetuotantoalueiden valumavesien puhdistuksessa. *Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja –sarja A*, Helsinki, 157-169.

Iivonen, S. 2008. *Ympäristöturpeet ja niiden käyttö*. Helsingin Yliopisto, Raportteja 32, 60 s.

Johnson, L.C. and Damman, A.W. 1991. Species-controlled Sphagnum decay on a south Swedish raised bog. *Oikos* 61, 234-242.

Karhunen, V., Rasi, I., Lepola, E., Muhli, A. ja Kanninen, A. 2010. IBM SPSS statistics, Perusteet. Oulun yliopisto, 101 s.

Karppinen, V. ja Postila, H. 2015. Pintavalutuskenttien turpeen alkuainepitoisuuksien vaikutus valumaveden fosforin pidättäytymiseen pintavalutuskentillä. Teoksessa: Karppinen, A. ja Postila, H. (toim.) Turvetuotannon vesistökuormituksen muodostuminen ja sen hallintamahdollisuuksia. Suomen ympäristökeskuksen raportteja, 23/2015, 81-85.

Kauranne, K. ja Sillanpää, M. 1992. Alkuaineiden esiintyminen elollisessa luonnossa ja niiden käyttö teollisuudessa. Teoksessa: Koljonen, T. (toim.). Suomen geokemian atlas, osa 2: Moreeni. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 88-95.

Kivinen, E. 1948. Suotiede. Werner Söderström Osakeyhtiö, Porvoo, 130-146.
Kløve, B. 2001. Characteristics of nitrogen and phosphorus loads in peat mining wastewater. *Wat. Res.* Vol. 35, No. 10, 2353–2362.

Korhola, A. 1990. Suomen soiden synty ja kehitys (The origin and development of mires in Finland). *Terra* 102: 4, 256-267.

Lahtinen, P., Jokinen, M. ja Leino, P. 2005. Turpeen energiakäytön asema Suomen energiajärjestelmässä. Kauppa- ja teollisuusministeriön julkaisuja osa 14, 97 s.

Laiho, R., Sallantausta, T. and Laine, J. 1999. The effect of forestry drainage on vertical distributions of major plant nutrients in peat soils. *Plants and soil*. 2007, 169-181.

Laine, J. ja Vasander, H. 1990. Suotyypit. Kirjayhtymä, Helsinki, 78 s.

Laine, J. ja Vasander, H. 2005. Suotyypit ja niiden tunnistaminen. Metsäkirjat, Helsinki, 110 s.

Lappalainen, E., Stén, C.-G. ja Häikiö, J. 1984. Turvetutkimusten maasto-opas. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, Opas N:o 12, 62 s.

Maunu, M. ja Virtanen, K. 2005. Suot ja turvekerrostumat. Teoksessa: Johansson, P. ja Kujansuu, R. (toim.). Pohjois-Suomen maaperä – maaperäkartojen 1: 400 000 selitys. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 80-85.

Mäkilä, M. and Toivonen, T. 2004. Rate of peat accumulation and its variability during the holocene. Teoksessa: Päivänen, J. (edit.). Wise Use of Peatlands. Proceedings of the 12th International Peat Congress. Volume 1 Oral Presentations. International Peat Society, Tampere, Finland 6-11 June, 50-55.

Mäkilä, M., Säävuori, H., Kuznetsov, O. ja Grundström, A. 2013. Suomen soiden ikä ja kehitys. Geologian tutkimuskeskus, Turvetutkimusraportti 443, 41 s.

Mäkilä, M., Moisanen, M., Kauppila, T., Rainio, H. ja Grundström, A. 2006. Onko Suomen vanhin viime jääkauden jälkeinen turve Ilomantsissa? *Suoseura ry*, Helsinki, *Suo* 57 (1), 11-20.

Oravainen, R. 1999. Opasvihkonen – vesistötulosten tulkitsemiseksi havaintoesimerkein varustettuna. KVVY, s. 17-19 ja 21-23.

Postila, H., Heikkinen, K., Saukkoriipi, J., Karjalainen, S.M., Kuoppala, M., Härkönen, J., Visuri, M., Ihme, R. ja Kløve, B. 2011. Turvetuotannon valumavesien ympärivuotinen käsittely. TuKos -hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristökeskus, Suomen ympäristö 30, 155 s.

Päivänen, J. 2007. Suot ja suometsät –järkevän käytön perusteet. Metsäkustannus Oy, 368 s.

Rehell, S., Sallantausta, T., Tahvanainen, T., Haapalehto, T. ja Joensuu, S., 2013. Soiden vesitalous. Teoksessa: Aapala, K., Similä, M. ja Penttinen, J. (toim.), Ojitettujen soiden ennallistamisopas. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja, sarja B 188. 41-65.

Rikkinen, J. 2014. Heinät ja sarat Suomen luonnossa. Otava, Keuruu, 74-94.

Ruuskanen, E. 2010. Suosta voimaa ja lämpöä: Turve Suomen energiapolitiikassa 1940-2010. Vapo Oy:n 70-vuotiasjuhla-julkaisu. Vapo Oy, Jyväskylä, 223 s.

Rydin, H. and Jeglum, J. 2006. The Biology of Peatlands. Biology of Habitats Series. Oxford University press, 343 s.

Saarela, I., Vuorinen, M. ja Puustinen, M. 2008. Turvemaiden fosforitalous maatalouden ja ympäristön kannalta. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote nro 23. s. 1-2.

Salmi, M. 1958. Soiden peittämän kallioperän vaikutus turpeiden pH-arvoihin. Geologinen tutkimuslaitos. Geotekn. Julk. 61, 29–39.

Savolainen, V. ja Silpola, J. 2008. Energiaa turpeesta. Teoksessa: Korhonen, R., Korpela, L. ja Sarkkola, S. (toim.). Suomi–Suomaa. Soiden ja turpeen tutkimus sekä kestävä käyttö. Suoseura ry, Maahenki Oy, 176-188.

Shaw, A.J., Cox, C.J. and Boles, S.B. 2003. Global patterns in peatmoss biodiversity. *Molecular Ecology* 12, 2554.

Smolander, A. 2003. Metsämaan biologia. Teoksessa: Teoksessa: Mälkönen, E. (toim.) Metsämaa ja sen hoito. Metsätutkimuslaitos, Metsälehti Kustannus, 81-88.

Tahvanainen, T. ja Haapalehto, T., 2013. Pintaturpeen ominaisuudet ja turpeen kertyminen. Teoksessa: Aapala, K., Similä, M. ja Penttinen, J. (toim.), Ojitettujen soiden ennallistamisopas. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja, sarja B 188. 66-71.

Tarvainen, T. ja Karttunen, V. 2005. Maaperän pH-määrittämissuomen menetelmien vertailututkimus. Geologian tutkimuskeskus, Espoo S41/2041/2005/1, 5 s.

Toivonen, T. 1997. Heikosti maatuneen rahkaturpeen laatuluokitus. Geologian tutkimuskeskus, Turvetutkimusraportti 308, 38 s.

Tuukkanen, T., Kløve, B., Marttila, H., Heikkinen, K. ja Karppinen, K., 2011. Tilastollinen analyysi turvetuotannon vesistökuormitukseen vaikuttavista tekijöistä. 86 s.

- Virkanen, J., Reijola, H. ja Vaahtojärvi, T. 2014. Geotieteiden ja maantieteen laitoksen ympäristölaboratorion toimintakäsikirja 24.10.2014. 205 s.
- Virtanen, K. 1978. Mineralisaation kuvastuminen turpeessa kolmella Keski-Pohjanmaan suolla. Pro gradu-tutkielma, Turun yliopisto.
- Virtanen, K. 2006. Soistuminen ja turvekerrostumien muodostuminen. Teoksessa: Rätty, M., Bärlund, I., Makkonen, K., Kähkönen, M. ja Esala, M. (toim.). Miten maamme makaa – Suomen maaperä ja sen tila: IV Maaperätieteiden päivien laajennetut abstraktit. Suomen maaperätieteiden seura, 117 s.
- Virtanen, K. 2008. Soiden synty ja kehitys. Teoksessa: Korhonen, R., Korpela, L. ja Sarkkola, S. (toim.). Suomi–Suomaa. Soiden ja turpeen tutkimus sekä kestävä käyttö. Suoseura ry, Maahenki Oy, 12-20.
- Virtanen, K. 2011. Turvevarat, turvemaiden käyttö ja turpeen energiakäyttö Suomessa (energianäkökulma). Esitelmä Suomen Geologisessa seurassa 10.2.2011, SGS:n energiateemaan liittyen. *Geologi* 63 (2011), 83-84.
- Virtanen, K. ja Hirvasniemi, T. 2007. Turvetuotantoalueiden hankintaopas PK – tuottajille. Geologian tutkimuskeskus, Turvetutkimusraportti 379, 16-17.
- Virtanen, K., Hänninen, P., Kallinen, R.-L., Vartiainen, S., Herranen, T. ja Jokisaari, R. 2003. Suomen turvevarat 2000. Geologian tutkimuskeskus, Turvetutkimusraportti 156, 37-39, 55-62.
- Väyrynen, T., Aaltonen, R., Haavikko, H., Juntunen, M., Kalliokoski, K., Niskala A-L. ja Tukiainen, O. 2008. Turvetuotannon ympäristönsuojeluopas. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus, Edita Prima Oy, 34-40.
- Wohlfarth, B., Björck, S., Funder, S., Houmark-Nielsen, M., Ingolfsson, O., Lunkka, J.-P., Mangerud, J., Saarnisto, M. and Vorren, T. 2008. Quaternary of Norden. Conference paper, Episodes, Vol. 31, iss. 1, 73-81.
- Yeloff, D. and Mauquoy, D. 2006. The influence of vegetation composition on peat humification: implications for palaeoclimatic studies. *Boreas*, vol. 35, 662-673.
- Yli-Halla, M., Puustinen, M. ja Koskiaho, J. 1999. Area of cultivated acid sulfate soils in Finland. *Soil Use and Management* 15: 62-67.
- Ympäristöministeriö 2015. Turvetuotannon ympäristönsuojeluohje. Ympäristöministeriö, Ympäristöhallinnon ohjeita 2|2015, 92 s.

LIITTEET

Liite 1. Suoaineisto

Suon tunnistus	Suotyyppi	Näytepiste	Syvyys (cm)	Turvelaji	Maatuneisuus (H)	Kosteus (B)	Alkuaineet (mg/kg kuiva-aineksestä)						pH
							P	Al	Fe	Mn	Ca	Mg	
22 (PVK 1)	VSRmu	1	0-10	N1S5	3	4	920	510	5900	130	1800	730	
Ojitettu		1	10-50	N1S1C4	4	3							
		1	30-50	S3C3	5	3							
		1	Pohja: 260 cm Sa										
	VSRmu	2	0-10	C1S5	3	4	840	880	9100	96	2100	680	
		2	10-50	N1C1S4	4	3							
		2	Pohja: 200 cm Sa										
	RHTK	3	0-20	N1C5	6	2	1500	3900	26600	24	1700	270	
		3	20-50	S1C5	4	3							
		3	Pohja: 180 cm Sa										
	RHTK	4	0-20	N1C5	6	2	1700	2300	22400	42	2100	360	
		4	20-50	S1C5	4	3							
Keskiarvot					5	3	1240	1898	16000	73	1925	510	
22 (PVK 2)	MTK II	1	0-50	S1C5	4	3	1500	4100	6800	17	1000	130	
Ojitettu		1	Pohja: 300 cm Sa										
	MTK II	2	0-50	S1C5	4	3	1700	5400	6300	39	870	160	
		2	Pohja: 350 Hk										
	MTK II	3	0-50	S1C5	4	3	2200	3700	12300	15	3000	150	
	MTK II	4	0-50	N1C5	4	3	2100	5700	22100	32	2500	190	
Keskiarvot					4	3	1875	4725	11875	26	1843	158	
14		1	0-20	ER1S2C3	6	3	700	1370	2190	8	1250	350	2,71
Ojittamaton													
25	PTK	1	0-10	L1N1S4	5	3	400	920	1600	12	-	-	
Ojitettu		1	10-50	ER2C1S3	5	3							
		1	50-100	ER2C1S3	6	3							
		1	Pohja: 460 cm Sa										
	RNmu	2	0-10	S6	4	3	730	1900	9400	60	-	-	
		2	10-20	S6	3	3							
		2	20-50	ER1S5	4	3							
		2	50-100	ER1N1S4	4	3							
	TURRmu	3	0-50	ER1S5	3	4	480	830	3200	22	-	-	
	KER	4	0-50	ER1S5	3	4	680	1100	2500	10	-	-	
	VATK	5	0-30	ER1S5	3	4	670	1300	3000	11	-	-	
		5	30-100	ER2S4	4	3							
	KARR	6	0-10	ER1N1S4	4	3	780	1900	1900	8	-	-	
		6	10-30	N1C2S3	5	3							
		6	30-50	ER2S4	4	3							
		6	Pohja: 420 cm HsSa										
	VATK	7	0-50	ER1C2S3	4	4	860	1600	3700	15	-	-	
	VATK	8	0-30	S3C3	5	3	970	1600	3000	14	-	-	
		8	30-50	ER1C1S4	4	3							
	VATK	9	0-50	ER1S5	4	3	850	940	3200	29	-	-	
	VATK	10	0-50	ER1C1S4	4	3	450	500	3700	18	-	-	
Keskiarvot					4	3	687	1259	3520	20			
34	/	/	0-10	S3C3	5	3	480	910	750	8	1610	320	2,81
Ojittettu													
16	VARR	1	0-50	ER1S5	2	3	210	540	810	35	-	-	
Ojittamaton	VARR	2	0-50	ER1S5	2	3	260	620	360	21	-	-	
	LKNR	3	0-50	ER1S5	2	3	290	660	720	34	-	-	
	VARR	5	0-50	ER1S5	2	3	300	760	810	17	-	-	
	TURRmu	6	0-50	ER1S5	2	3	410	720	1600	9	-	-	
	KARRmu	7	0-50	ER1S5	3	3	270	520	950	7	-	-	
Keskiarvot					2	3	290	637	875	21	-	-	

5		2	0-30	ER1S5	2	3	240	520	1100	6	-	-	4,1
Ojittamaton		2	30-60	ER1S5	5	3							
		4	0-20	ER1S5	3	3	300	500	1000	62	-	-	4,3
		4	20-40	ER1S5	2	3							
		4	40-50	ER1S5	5	3							
		6	0-50	ER1S5	2	4	320	580	1200	31	-	-	4,6
		8	0-30	ER1S5	2	3	190	520	1500	12	-	-	4,2
		15	0-30	ER1S5	3	3	400	580	1500	23	-	-	4,3
		15	30-50	ER1S5	6	5							
		19	0-30	ER1S5	3	3	610	520	3100	82	-	-	4,7
		19	30-60	C2S4	6	3							
Keskiarvot					3	3	343	537	1567	36	-	-	4,4
9 (PVK 1)	OLKN	1	0-50	ER2C1S3	4	4	990	5800	7200	40	-	-	4,9
Ojittamaton	OLKN	2	0-50	ER2S4	4	4	880	3600	4700	10	-	-	4,2
	OLKN	3	0-30	ER2S4	3	4	640	3100	7600	15	-	-	4,4
	OLKN	3	30-50	ER1S5	5	4							
	OLKN	4	0-50	ER2S4	4	3	940	3500	3700	10	-	-	4,3
Keskiarvot					4	4	863	4000	5800	19	-	-	4,5
9 (PVK 2)	IRmu	1	0-50	S3C3	5	3	760	6500	6700	12	920	130	
Ojitettu	IRmu	2	0-30	S2C4	7	3	960	11200	85300	18	1000	240	
	IRmu	2	30-50	S2C4	5	3							
	IRmu	3	0-50	S2C4	5	3	1100	12000	30900	28	1200	250	
	IRmu	4	0-50	S3C3	5	3	1200	5100	19000	15	710	180	
	IRmu	5	0-30	C2S4	6	3	1300	6900	22100	17	760	130	
	IRmu	5	30-50	S2C4	5	3							
	IRmu	6	0-30	S3C3	7	3	970	11100	28200	37	1300	260	
	IRmu	6	30-50	S2C4	5	3							
Keskiarvot					6	3	1048	8800	32033	21	982	198	
30 (PVK 3)	KARRmu	1	0-40	ER1S5	2	3	350	1000	670	16	-	-	
Ojitettu		1	40-50	ER1S5	6	3							
	KARRmu	2	0-10	ER1S5	4	3	590	1000	2000	7	-	-	
		2	10-30	ER1S5	3	3							
	VSRmu	4	0-30	S2C4	4	3	1100	1700	5700	56	-	-	
	KARRmu	5	0-30	ER1S5	3	3	610	1600	2600	25	-	-	
Keskiarvot					3	3	663	1325	2743	26	-	-	
32	PTK	1	0-10	NI1C1S4	3	2	790	2100	2600	10	-	-	3,2
Ojitettu		1	10-20	C1S5	5	3							
		1	20-40	C2S4	7	3							
		1	40-50	ER1C1S4	6	3							
	IRmu	2	0-10	ER1N1S4	2	3	520	1200	3000	41	-	-	3,5
		2	10-20	S6	5	3							
		2	20-50	ER1C1S4	6	3							
	PTK	3	0-20	C1S5	4	3	750	2300	4500	26	-	-	3,7
		3	20-50	L1C2S3	7	3							
	PTK	4	0-10	C1S5	2	3	730	2300	2200	13	-	-	3,4
		4	10-20	C1S5	5	3							
		4	20-30	C1S5	7	3							
		4	30-50	ER1C1S4	6	3							
Keskiarvot					3	3	698	1975	3075	23	-	-	3,5
6		6	0-10	ER1S5	3	4	400	710	1360	19	3970	830	3,14
Ojittamaton													
10		8	0-10	ER1S2C3	4	3	650	1860	5090	15	1390	320	3,51
Ojittamaton													
19		5	0-10	S3C3	7	3	390	2050	5830	110	16000	5020	5,07
Ojitettu													
2 (PVK 2)	RINR	1	0-50	S1C5	7	2	1100	1200	29100	13	-	-	5,2
Ojittamaton	RINR	2	0-30	S1C5	4	3	980	1500	10100	60	-	-	4,9
		2	30-50	S1C5	5	3							
	RINR	3	0-20	S1C5	3	3	410	450	1500	7	-	-	4,5
		3	20-50	S2C4	6	3							
	RINR	4	0-10	S2C4	5	3	680	1800	5800	39	-	-	5,5
		4	10-50	S2C4	4	3							
Keskiarvot					5	3	793	1238	11625	30	-	-	5
12 (PVK 1)	OKN	2	0-50	ER1S5	3	4	470	800	1900	49	-	-	
Ojittamaton													

12 (PVK 2)	LKNmu	5	0-50	ER1S5	3	3	450	1100	1300	33	-	-	
Ojitettu	LKNmu	6	0-40	ER1C2S3	2	3	790	1800	2800	33	-	-	
		6	40-50	S3C3	3	3							
	VATK	7	0-20	N1S2C3	5	3	1100	4800	27200	340	-	-	
		7	20-50	S2C4	4	3							
	LKNmu	8	0-50	ER1C1S4	2	4	520	750	2400	140	-	-	
Keskiarvot					3	3	715	2113	8425	137	-	-	
33	toimiva knt.	1	0-20	S2C4	4	3	540	1900	2400	58	3500	610	
Ojitettu		1	20-50	S2C4	5	3							
		1	50-100	S2C4	4	3							
		1	100-120	S3C3	6	3							
		1	120-170	S3C3	4	3							
		1	170-220	N2S1C3	5	3							
		1	Pohja: 220 cm Sa										
		2	0-10	ER1S5	4	4	630	1600	2000	35	4100	900	
		2	10-50	ER1S5	5	3							
		2	Pohja: 220 cm Sa										
		3	0-10	S6	4	3	760	2700	3300	51	5600	1200	
		3	10-30	C1S5	5	3							
		3	30-50	S3C3	5	3							
		3	Pohja: 230 cm Sa										
Keskiarvot					4	3	643	2067	2567	48	4400	903	
29 (PVK 1)	Rmu	1	0-10	ER1S5	4	3	530	980	1400	110	-	-	
Ojitettu		1	10-30	ER1S5	3	3							
		1	30-50	ER1S5	6	3							
	Rmu	2	0-30	ER1C1S4	4	3	560	1400	3100	83	-	-	
		2	30-50	ER1S5	6	3							
	Rmu	3	0-10	ER1N1S4	4	3	400	690	1600	150	-	-	
		3	10-30	ER1S5	3	3							
Keskiarvot					4	3	497	1023	2033	114	-	-	
29 (PVK 2)	Rmu	1	0-10	ER1S5	4	3	480	1200	700	30	-	-	
Ojitettu		1	10-50	ER1S5	3	3							
	Rmu	2	0-10	ER1S5	4	3	370	840	990	46	-	-	
		2	10-50	ER1S5	3	3							
	Rmu	3	0-10	ER1S5	2	3	370	720	2200	22	-	-	
Keskiarvot					3	3	407	920	1297	33	-	-	
1	VSR	3	0-30	L1N1C4	4	3	750	890	3700	10	-	-	4,6
Ojittamaton		3	30-50	L1C5	5	3							
	RINR	4	0-50	L1S1C4	5	3	1000	1400	9000	13	-	-	4,8
	VSR	5	0-50	L1S1C4	5	3	1100	1400	8600	43	-	-	4,9
	RINR	6	0-50	L1S1C4	5	3	990	1700	14000	21	-	-	5,1
	RINR	7	0-50	L1S1C4	5	3	1100	1300	8800	21	-	-	4,9
Keskiarvot					5	3	988	1338	8820	22	-	-	4,9
13	JATK	1	0-20	S6	2	3	400	480	600	5	1200	230	4,4
Ojittamaton		1	20-50	S6	3	3							
		1	Pohja: 200 cm Ht										
	JATK	2	0-50	ER1S5	2	3	290	490	380	9	1400	290	4,4
		2	Pohja: 200 cm Ht										
	JATK	3	0-50	ER1S5	2	3	400	620	1100	7	1300	410	4,1
		3	Pohja: 210 cm Hs										
	RHTK	4	0-50	L1C5	6	2	980	11100	24800	250	8600	1600	4,9
		4	Pohja: 150 cm Sa										
Keskiarvot					3	3	518	3173	6720	68	3125	633	4,5
31	RHTK	1	0-30	L1C5	5	2	520	1500	1300	21	2300	430	4,6
Ojitettu		1	Pohja: 30 cm Hk										
	RHTK	2	0-40	S1C5	4	3	480	1100	1100	10	1600	460	4,9
		2	Pohja: 40 cm Hk										
	RHSRmu	3	0-50	S1C5	4	3	550	1200	1800	12	2400	280	4,8
		3	50-70	S2C4	6	3							
		3	Pohja: 70 cm Hk										
	RHKmu	4	0-70	S1C5	4	3	640	1000	1900	24	2000	400	4,3
		4	Pohja: 70 cm Hk										
Keskiarvot					4	3	548	1200	1525	17	2075	393	4,7

24	Kasvittunut turvesar.	1	0-40	EQ1C5	4	3	520	3900	6300	33	5100	700	4,6
Ojitettu		1	40-50	EQ1C5	6	3							
		1	Pohja: 120 cm Sa										
	VSN	2	0-50	S1C5	4	4	550	1900	2500	18	2000	150	4,6
		2	50-100	EQ1C5	4	3							
		2	Pohja: 200 cm Sa										
	TK	5	0-10	C6	5	4	710	2900	8600	62	1700	240	
		5	0-50	EQ1C5	4	3							
		5	Pohja: 180 Sa										
	TK	6	0-80	EQ1C5	4	3	670	3300	4200	83	2100	310	
		6	Pohja: 180 cm Sa										
	VSN*	8	0-20	EQ1C5	4	4	610	4800	6100	91	3300	540	
		8	20-50	EQ1C5	7	4							
		8	Pohja: 80 cm Sa										
Keskiarvot					4	4	612	3360	5540	57	2840	388	
28	Rmu	1	0-20	S6	3	3	350	360	1200	6	-	-	
Ojitettu		1	20-50	ER155	4	3							
	Rmu	2	0-40	S6	3	3	570	530	510	91	-	-	
		2	40-50	ER155	4	5							
	Rmu	3	0-30	ER1N1S4	3	3	650	410	1100	43	-	-	
		3	30-50	ER155	4	3							
	Rmu	4	0-40	ER155	3	3	890	1100	2700	31	-	-	
		4	40-50	ER155	4	3							
Keskiarvot					3	3	615	600	1378	43	-	-	
18	MURN	1	0-50	S6	2	3	250	190	270	130	-	-	3
Ojitettu													
4	MURR	2	0-50	ER1C1S4	2	3	280	230	500	65	-	-	3,2
Ojittamaton	VSRmu	5	0-20	C2S4	2	3	620	350	5400	24	-	-	3,4
		5	20-50	S2C4	4	3							
Keskiarvot					2	3	450	290	2950	45	-	-	3,3
23	RHSRmu/ VLRmu	1	0-50	S2C4	4	3	950	6700	14100	85	1000	190	
Ojitettu		1	Pohja: 250 cm Sa										
	RHSRmu/ VLRmu	2	0-20	S2C4	4	3	1200	6500	16200	76	1000	220	
		2	20-50	S2C4	5	3							
		2	Pohja: 320 SaHs										
	RHSRmu/ VLRmu	3	0-50	S1C5	5	3	920	6600	17400	27	480	480	
		3											
	VSRmu	4	0-50	S1C5	5	3	1200	4500	28200	27	680	260	
Keskiarvot					5	3	1068	6075	18975	54	790	288	
27	NRmu	1	0-10	ER155	5	3	900	1500	2100	9	-	-	4,3
Ojitettu		1	10-50	ER155	4	3							
	NRmu	2	0-10	N155	5	3	940	2500	3000	24	-	-	4,3
		2	10-50	ER155	4	3							
	NRmu	3	0-50	ER155	3	3	490	1300	1000	23	-	-	4,4
		4	0-50	ER155	3	3	700	1500	1700	10	-	-	4,2
Keskiarvot					4	3	758	1700	1950	17	-	-	4,3
15	TR	1	0-50	ER2S4	2	4	300	620	560	27	-	-	
Ojittamaton													
11		5	0-10	ER1S2C3	6	3	840	8790	17500	59	1850	290	3,98
Ojittamaton													
3	TK	1	0-10	ER1C1S4	4	3	410	400	1400	28	-	-	4,1
Ojittamaton		1	10-30	ER155	4	3							
	TK	2	0-30	ER155	3	3	640	1800	2500	31	-	-	4,5
		3	0-10	L1S1C4	4	3	1500	2000	7000	28	-	-	4,8
	TK	3	10-30	ER1S1C4	4	3							
		5	0-10	N1S1C4	5	3	1400	1800	21200	65	-	-	5
	TK	5	10-30	S2C4	5	3							
	TK	6	0-20	L1S1C4	7	2	1100	1700	17300	28	-	-	4,6
Keskiarvot					5	3	1010	1540	9880	36	-	-	4,6

26	PTK	1	0-20	S2C4	4	3	960	1700	1200	230	4500	710	
Ojitettu		1	20-50	S2C4	6	2							
	PTK	2	0-20	S2C4	6	3	1100	940	710	850	6200	1100	
		2	20-50	S2C4	7	3							
	PTK	3	0-20	S2C4	5	3	990	1200	1000	490	5400	1000	
		3	20-50	S2C4	6	3							
	PTK	4	0-20	S2C4	5	3	1100	1500	1600	520	5000	1500	
		4	20-50	S2C4	6	3							
Keskiarvot					5	3	1038	1335	1128	523	5275	1078	
21	Rmu/TRmu	1	0-10	C1S5	3	4	1300	3500	14800	40	1900	340	5,3
Ojitettu		1	10-20	S3C3	5	3							
		1	20-50	S2C4	4	3							
		1	Pohja: 230 cm HsSa										
	Rmu/TRmu	2	0-20	ER1S5	5	3	1200	2400	10700	76	1800	290	5
		2	20-50	C2S4	4	3							
		2	Pohja: 270 cm Hs										
	Rmu/TRmu	3	0-40	ER1S5	5	3	1100	1500	16400	19	3200	310	4,3
		3	40-50	S3C3	4	3							
		3	Pohja: 200 cm Hs										
	Rmu/TRmu	4	0-30	ER1C1S4	5	3	1000	1900	21700	16	2900	190	4,9
		4	30-50	C2S4	4	3							
Keskiarvot					5	3	1150	2325	15900	38	2450	283	4,9
17		5	0-10	ER1S5	2	4	360	370	920	11	1000	570	2,88
Ojittamaton													
7	VARR	1	0-20	ER1S5	3	3	830	690	7200	18	2100	300	
Ojittamaton		1	20-40	S3C3	4	3							
		1	40-50	S2C4	5	2							
	VARR	2	0-20	ER1N1S4	3	3	920	730	2600	9	1300	230	
		2	20-50	S2C4	4	3							
	VARR	3	0-20	ER1N1S4	3	3	750	520	4800	27	3100	550	
		3	20-50	S2C4	4	3							
	VARR	4	0-40	S2C4	4	3	970	930	5000	27	1700	270	
		4	40-50	S2C4	5	3							
Keskiarvot					3	3	868	718	4900	20	2050	338	
20	VSRmu	1	0-20	N1C1S4	3	1	670	2700	46000	81	-	-	5,2
Ojitettu		1	20-40	S2C4	6	3							
		1	40-50	L1S1C4	5	3							
	VSRmu	2	0-10	N1C1S4	3	1	1700	8000	45300	66	-	-	4,9
		2	10-30	S2C4	6	3							
		2	30-50	L1S1C4	5	3							
	PTK	3	0-20	L1S1C4	5	3	1300	3300	18700	490	-	-	4,5
		3	20-50	L1S1C4	4	3							
	PTK	4	0-30	S2C4	5	3	1500	4300	15500	520	-	-	4,8
		4	30-50	L1S1C4	4	3							
	PTK	5	0-20	S2C4	5	3	810	2700	16600	73	-	-	4,5
		5	20-50	L1S1C4	4	3							
		6	0-10	S2C4	6	3	1580	6200	15400	69	1460	350	3,34
Keskiarvot					4	2	1260	4533	26250	217	1460	350	4,54
8		3	20-50	S2C4	4	3	1210	5580	4900	48	2170	520	3,88
Ojittamaton		5	0-10	ER1S5	3	4	620	3360	19800	200	3280	790	3,45
Keskiarvot							915	4470	12350	124	2725	655	3,67