

Rakennekalkituksen vaikutus Pakkalanjärven fosforikuormitukseen – #RAKAVA



Vastalevitettyä rakennekalkkia Loukkaanojalla (kuva: Petri Ekholm)

Loppuraportti

13.12.2019

Maria Kämäri¹, Petri Ekholm¹ Elina Röman¹ Eino Ahonen³ Matti Seppälä³ Raita Markula,
Mikko Kiirikki⁴ & Juho Urkko^{2,3}

¹Suomen ympäristökeskus (SYKE)

²MTY Hampaala

³Pakkalanjärven vesiensuojeluyhdistys

⁴Luode Consulting Oy

Tiivistelmä

Kipsin käytöstä mereen laskevilla valuma-alueella fosforikuormituksen vähentäjänä on olemassa useita tutkimuksia, kuten TraP-, SAVE, SAVE2- ja Vantaanjoen peltojen kipsikäsitteily -hanke. Järville soveltuvaa vastaavaa menetelmää ei ole valuma-alueittakaavassa tutkittu, vaikka lähtöasetelma sisävesillä on samanlainen: pelloilta tuleva fosforikuorma pitää saada tehokkaammin kuriin.

Hankkeessa toteutettiin ensimmäistä kertaa Suomessa valuma-alueen rakennekalkitus Pakkalanjärveen laskevien Loukkaanojan ja Hampaalanojan pelloilla. Rakennekalkituksella pyrittiin vähentämään ekologiselta tilaltaan huonon Pakkalanjärven fosforikuormitusta. Hankkeessa seurattiin järven laskevien uomien vedenlaatua jatkuvatoimisin anturein ja käsinäyttein. Lisäksi seurattiin peltomaan rakennetta visuaalisin havainnoin (ns. kuoppatestein) ja muun muassa pH:n, johtoluvun sekä fosforiarvojen kehitystä.

Vaikka Loukkaanojan ja Hampaalanojan pellot olivat melko kaltevilla savimailla, ojien vesi oli yllättävän kirkasta ja savialueille tyypillisen korkeita sameusarvoja ojissa ei juuri esiintynyt. Siten erityistä huomiota kiinnitettiin liuenneen fosforin kuormitukseen, jota alustavien tulosten mukaan rakennekalkitus on vähentänyt. Tulosta tukevat myös maaperästä tehdyt määritykset: maan johtoluku kasvoi ja vesiuttoisen fosforin pitoisuus pieneni.

Hankkeessa luotiin verkostoja ja kytköksiä eri toimijoiden välille yhdistäen sekä kaupallinen sektori että opetus, paikallinen ja laajemmaksi skaalattava toiminta sekä aktiivinen kyläyhteisö ja alueen maaseutuyritykset. Hankkeessa laadittiin myös viljelijöille tarkoitettu rakennekalkituksen työvihko

Alueen ojavesien seuranta jatkuu vielä kaksi vuotta ympäristöministeriön Rakennekalkki-hankkeessa, mikä mahdollistaa tarkemman käsityksen saamisen rakennekalkin vaikutuksista tällä valuma-alueella.

Ympäristöministeriö on rahoittanut hanketta 78862 eurolla. Hanke toteuttaa osaltaan Suomen vesienhoidon ja merenhoidon toimenpideohjelmaa, joissa esitetään toimet vesien hyvän tilan saavuttamiseksi.

Sisällys

Tiivistelmä	2
1. Hankkeen tausta ja tavoitteet	6
2. Tutkimusalue ja menetelmät	10
2.1 Koeasetelma	10
2.2 Tutkimusalue.....	10
2.3 Peltotyöt	13
2.4 Rakennekalkki.....	15
2.5 Viljavuusanalyysit.....	17
2.6 Maaperän fosforiuuttokokeet	18
2.7 Ojavesien vedenlaadun seuranta ja virtaaman määrittäminen	18
2.9 Hankkeen osapuolet	21
3. Hankkeen tulokset.....	22
3.1 Viljavuusanalyysit.....	22
Maan pH.....	25
Maan kationit	26
3.2 Liuennan fosforin huuhtoutumisalttius maaperästä	30
3.3 Valunta.....	31
3.4 Vedenlaadun seuranta käsinäytteillä.....	33
3.5 Rakennekalkituksen vaikutus pelto-ojien vedenlaatuun	34
Sähkönjohtavuus pelto-ojissa.....	34
Veden happamuuden vaihtelu pelto-ojissa	34
Sameus- ja kiintoainemuutokset	37

Fosfori	39
4. Hankkeen vaikutukset ja tulosten hyödyntäminen	44
5. Viestinnän toteutuminen ja tulokset.....	45
6. Talousraportti	46
7. Suositukset tulevia hankkeita ja ohjelmia varten.....	48
8. Johtopäätökset.....	49
9. Kirjallisuus.....	51
Liitteet	53
Liite 1. Liuenneen reaktiivisen fosforin ja kokonaisfosforin välinen yhteys.....	53
Liite 2. Ojavesien vedenlaatu suhteessa pienempään valunta-arvioon	55
Liite 3. Ojavesien fosforipitoisuudet suhteessa pienempään ja isompaan kevätvalunta-arvioon	57

1. Hankkeen tausta ja tavoitteet

Maataloudesta peräisin oleva vesien fosforikuormitus koostuu eroosion mukana kulkeutuvasta maa-ainekseen sitoutuneesta fosforista ja liuenneesta fosforista. Kumpaaakin fosforimuotoa kulkeutuu sekä peltojen pintavalunnassa että salaajavalunnassa. Kuormituksen vähentämisessä yksi tavoite on hyvä peltomaan rakenne, ts. maa, jolla on pieni eroosioalttius ja jossa vesi pääsee kulkeutumaan maaprofiilin läpi, jolloin osa fosforista voi pidäytyä syvempiin maakerroksiin. Tällainen maa edistää myös kasvien kasvua ja ravinteiden ottoa sekä hyödyttää viljelijää esimerkiksi pienempien polttoainekulujen ja suurempien satojen myötä.

Maan eroosioalttiuteen vaikuttavat muun muassa maalaji ja maan rakenne. Savimaat ovat herkkiä eroosiolle, sillä sade- ja lumensulamisedet kuljettavat helposti pieniä saveshiukkasia vesistöihin. Eroosioalttiuteen vaikuttaa myös se, missä määrin mikroskooppisen pienet saveshiukkaset muodostavat yhteenliittymiä eli mikromuruja, joiden koko on alle 0,25 mm. Tämä taipumus riippuu muun muassa maanesteen suolaväkevyydestä (ionivahvuudesta) ja kationikoostumuksesta. Mitä korkeampi suolaväkevyyttä, sitä herkemmin mikromuruja syntyy. Mikromurut taasen muodostavat suurempia yhteenliittymiä, jolloin eroosio pienenee. Savishiukkaset huuhtoutuvat herkimmin, kun maaperä on ollut vettyneenä pitkiä aikoja, sillä silloin maaneste on laimeaa ja hiukkaset vain löyhästi toisiinsa kiinnittyneinä. Maanesteen kationikoostumuksella on myös vaikutusta mikromurustumiseen. Kationit ovat positiivisesti varautuneita ioneita. Erityisen tehokas vaikutus on kalsiumilla, joka kahdenarvoisena kationina sitoo negatiivisesti varautuneita saveshiukkasia tehokkaasti toisiinsa ”kalsiumsilloin”. Murujen pysyvyydessä tärkeitä ovat nauhamaiset mikrobien, juuriston ja lierojen erittämät limamaiset liima-aineet sekä alumiini- ja rautaoksidit (Aura ym. 2006). Vettymisen ohella toinen eroosion kannalta kriittinen jakso on heti maanmuokkauksen jälkeen. Maan muokkauksessa paljastuvista tuoreista pinnoista saveshiukkaset huuhtoutuvat herkästi veteen, sillä ne eivät ole ehtineet stabiloitua (Aura ym. 2006).

Liuenneen fosforin huuhtoutumisessa ratkaisevaa on, kuinka paljon maassa on fosforia sekä fosforia pidättäviä alumiini- ja rautaoksideja. Näitä oksideja on maaperässämme luontaisesti runsaasti joko irtonaisena tai sitoutuneena savimineraaleihin tai humukseen. Lannoituksen myötä alumiini- ja rautaoksidien pintaan kiinnittyneiden fosfaatti-ionien määrä kasvaa. Kun maan niin sanottu kyllästysaste fosforin suhteen kasvaa, maa alkaa ylläpitää nestefaasissa

suurempaa fosforipitoisuutta (Aura ym. 2006). Tämä edistää kasvien fosforinottoa mutta lisää myös fosforin huuhtoutumisriskiä. Maanesteen suolapitoisuus vaikuttaa myös liuenneen fosforin huuhtoutumiseen: korkea suolapitoisuus puristaa fosfaatin tiukemmin maahiukkasten ympärille, pitäen sen kuitenkin kasveille käyttökelpoisena. Fosforin käyttökelpoisuus kasveille, ja myös huuhtoutuminen, kasvaa maanesteen pH-arvon noustessa. Tämä onkin yksi agronominen peruste käyttää maatalouskalkkia. pH:n noustessa yli 8 alkaa fosfori kuitenkin saostua kalsiumin kanssa, mikä heikentää fosforin käyttökelpoisuutta kasveille ja vähentää myös fosforin huuhtoutumista.

Viime vuosina on testattu erilaisia maanparannusaineita, kuten teollisuuden sivutuotteena syntyvää kipsiä, jonka on todettu vähentävän fosforikuormitusta vesiin (Ekholm ym. 2012). Ruotsissa rakennekalkkia on alettu käyttää yhä enenevässä määrin peltojen maanparannusaineena ja fosforikuormituksen vähentäjänä (Kindvall 1999, Ulén & Etana 2014, Bergström ym. 2015; Svanbäck ym. 2014), Suomessa sitä on toistaiseksi testattu laboratorio- ja peltolohkotasolla (Alakukku & Aura 2006a, Aura ym. 2006). Rakennekalkilla tarkoitetaan tavallisen maatalouskalkin, kalsiumkarbonaatin (CaCO_3), ja reaktiivisen kalkin seosta. Reaktiivinen kalkki on joko sammutettua kalkkia eli kalsiumhydroksidia (Ca(OH)_2) tai poltettua kalkkia (sammuttamaton kalkki) eli kalsiumoksidia (CaO). Esimerkiksi sellun keitossa syntyvää ylijäämäkalkkia eli meesakalkkia on käytetty savipeltojen mururakenteen parantamisessa, sillä se sisältää kalsiumhydroksidia. Perinteisestä maatalouskalkista rakennekalkki eroaa siten, että se on hyvin vesiliukoista. Kalsiumoksidin vesiliukoisuus on 1,2 g/l ja maatalouskalkin 0,0166 g/l (20 °C, OECD 105). Kuten yllä kerrottiin, kalkista liukeneva kalsium kiinnittyy kahdenarvoisena kationina negatiivisesti varautuneisiin saveshiukkasiin, jolloin hiukkaset järjestäytyvät uudelleen ja muodostavat mururakenteita. Maatalouskalkin hitaan liukenemisen vuoksi sillä aikaan saatu mikromurujen muodostuminen on hitaampaa. Maatalouskalkin reagointinopeuteen vaikuttaa muun muassa kalkin rakeisuus sekä muokkausolosuhteet; hienojakoinen kalsiumkarbonaatti voi reagoida maassa hyvinkin nopeasti (Aura ym. 2006).

Ruotsalaisten tutkimusten mukaan sammutetun kalkin on havaittu tuottavan merkittävästi parempia satoja ja vakauttavan maan rakennetta, sillä mikromurujen osuus maaperässä on kasvanut ja esim. sokerijuurikassadot ovat olleet 10 % suurempia verrattuna kalkitseemattomaan maahan (Kindvall 1999). Rakennekalkin vaikutusta fosforihuuhtoumiin on Ruotsissa tutkittu muun muassa kahdella peltokokeella (Ulén & Etana 2014). Toisen

tutkimuspellon maalajista oli 60 % savea, toisen 25%. Korkean savesprosentin lohkolla maa-ainesfosforin huuhtouma väheni merkittävästi. Rakennekalkki vähensi liuenneen fosforin huuhtoumaa merkittävästi vain korkean P-luvun pellolla, jonka pohjamaassa oli lisäksi suhteellisen korkea (17–18 %) fosforin kyllästysaste. Laboratoriossa tehdyt sadesimulaatiokokeet samojen peltojen pintamaalla osoittivat rakennekalkin vähentävän myös liuenneen fosforin huuhtoumaa. Ulén & Etana (2014) tutkimuksen perusteella rakennekalkitus on hyvä keino vähentää fosforihuuhtoumaa pelloilla, joilla on korkea savespitoisuus ja maan P-luku.

Suomessa on selvitetty kartongin valmistuksessa syntyvän sivuvirtakalkin nk. piippukalkin vaikutusta maa-ainesfosforin ja liuenneen reaktiivisen fosforin huuhtoutumiseen (Alakukku & Aura 2006a, 2006b; Aura ym. 2006). Piippukalkki on hienojakoista kalsiumkarbonaattia (Aura ym. 2006). Sadetuskokeiden maanäytteet olivat Jokioisten savipelloilta, joissa maanmuokkaus- ja viljelymenetelminä olivat suorakylvö, kevytmuokkaus ja kyntö. Sekä maa-ainesfosforin että liuenneen reaktiivisen fosforin huuhtouma väheni kaikissa maanäytteissä kaksi päivää maanäytteiden kalkkikäsittelyn jälkeen (Alakukku & Aura 2006a, 2006b). Todennäköisesti kalkitus nosti nopeasti veden kalsiumpitoisuutta ja edisti fosforin pidättymistä maa-ainekseen, jolloin myös liuenneen fosforin huuhtouma väheni, mistä on raportoinut myös Hartikainen (1985). Aurajoen kynnetyn ja suorakylvetyn savipellon maanäytteet käsiteltiin piippukalkilla, joka vähensi sekä kynnetyn että suorakylvetyn maan eroosiota sadetuskokeessa (Aura ym. 2006). Näissä kokeissa kalkkikäsittelyllä ei ollut vaikutusta valumaveden liuenneen fosforin pitoisuuteen (Aura ym. 2006).

Rakennekalkituksen yhtenä tavoitteena on maan kasvukunnon parantaminen. Siihen liittyy pH:n nosto hydroksidi- ja karbonaatti-ionien avulla sekä pintamaan mikromururakenteen kehittäminen. Maan mikromururakenteen parantaminen rakennekalkituksella tapahtuu kahdella tavalla. Ensinnäkin mikromuruja muodostuu edellä kuvatun mukaisesti, kun maanesteen ionivahvuus kasvaa ja positiivisesti varautuneet kalsiumionit sitovat negatiivisesti varautuneita savihiukkasia yhteen. Lisäksi rakennekalkin sisältämä reaktiivinen kalkki voi muodostaa pysyviä mikromuruja pii- ja alumiinipitoisten potsolaanimineraalien kanssa. Yleensä savessa ja hiesussa on kalium- ja piipitoisia mineraaleja, joista osa on potsolaanisia, jolloin ne voivat reagoida rakennekalkin kalsiumhydroksidin kanssa. Reaktiotuotteena syntyy lujaa kalsiumsilikaattihydraattia (Hainari 2016). Mikäli maassa on runsaasti alumiinipitoisia mineraaleja, syntyy sen sijaan

kalsiumaluminaattisilikaattihydraattia (Hainari 2016). Muodostunut mikromururakenne parantaa maan vedenläpäisykykyä ja siten pienentää pintavalunnan osuutta, jolloin odotettavissa on maa-aineksen ja siihen sitoutuneen fosforin väheneminen vesistöissä.

Se parantaako rakennekalkitseminen fosforin käyttökelpoisuutta kasveille riippuu kahdesta prosessista: pH:n nousu lisää fosforin vapautumista alumiini- ja rautaoksidien pinnoilta. Toisaalta maaveden liuennon fosforin pitoisuus vähenee, jos fosfori alkaa saostua kalsiumyhdisteinä. Lisäksi kalkitseminen lisää maassa hyödyllistä pieneliötoimintaa (Joona 2012). Edellä mainittujen ominaisuuksien takia rakennekalkin odotetaan vähentävän lisälannoituksen tarvetta, maan kuorettumista, vetovastusta ja polttoaineen kulutusta sekä kasvattavan satoja.

Ruotsissa rakennekalkituksen ympäristö- ja viljelyhyöty on arvioitu merkittäväksi, joten se on otettu mukaan kansalliseen vesiensuojeluohjelmaan ([asetus 2009:381: statlig stöd till lokala vattenvårdsprojekt](#) ja siihen liittyvä vesiensuojeluohjelma: [Lokala vattenvårdsprojekt, LOVA](#)). Viljelijöiden on siten mahdollista saada tukea rakennekalkituksen kustannuksiin savespitoisilla lohkoilla. Rakennekalkitusta tuetaan myös investointituella.

Rakennekalkituksen vaikutus Pakkalanjärven fosforikuormitukseen –hanke (#RAKAVA) on syksyllä 2017 alkanut ja vuoden 2019 loppuun asti kestävä ympäristöministeriön rahoittama hallituksen kärkihanke. Hankkeessa selvitetään ensimmäistä kertaa Suomessa rakennekalkin vaikutusta fosforikuormitukseen valuma-alueittakaavassa. Kohteena on ekologiselta tilaltaan heikon Pakkalanjärven kaksi osavaluma-aluetta. Laajempi tavoite on tutkia rakennekalkituksen vaikutuksia ja monistettavuutta muille savivaltaisille valuma-alueille.

2. Tutkimusalue ja menetelmät

2.1 Koeasetelma

Peltojen rakennekalkituksen vaikutusta peltomaan viljavuuteen ja ravinteiden huuhtoumiin tutkittiin kahdella peltovaltaisella valuma-alueella vuosina 2017–2019. Koeasetelmassa kummankin valuma-alueen pelto-ojien veden laatua ja määrää seurattiin noin yhden vuoden ajan ennen kuin toisen valuma-alueen pellot käsiteltiin rakennekalkilla syksyllä 2018. Rakennekalkikäsitteilyn jälkeen ojavesien seuranta jatkettiin vuonna 2019. Seuranta mahdollisti käsitellyn ja käsittelemättömän alueen välisen vertailun.

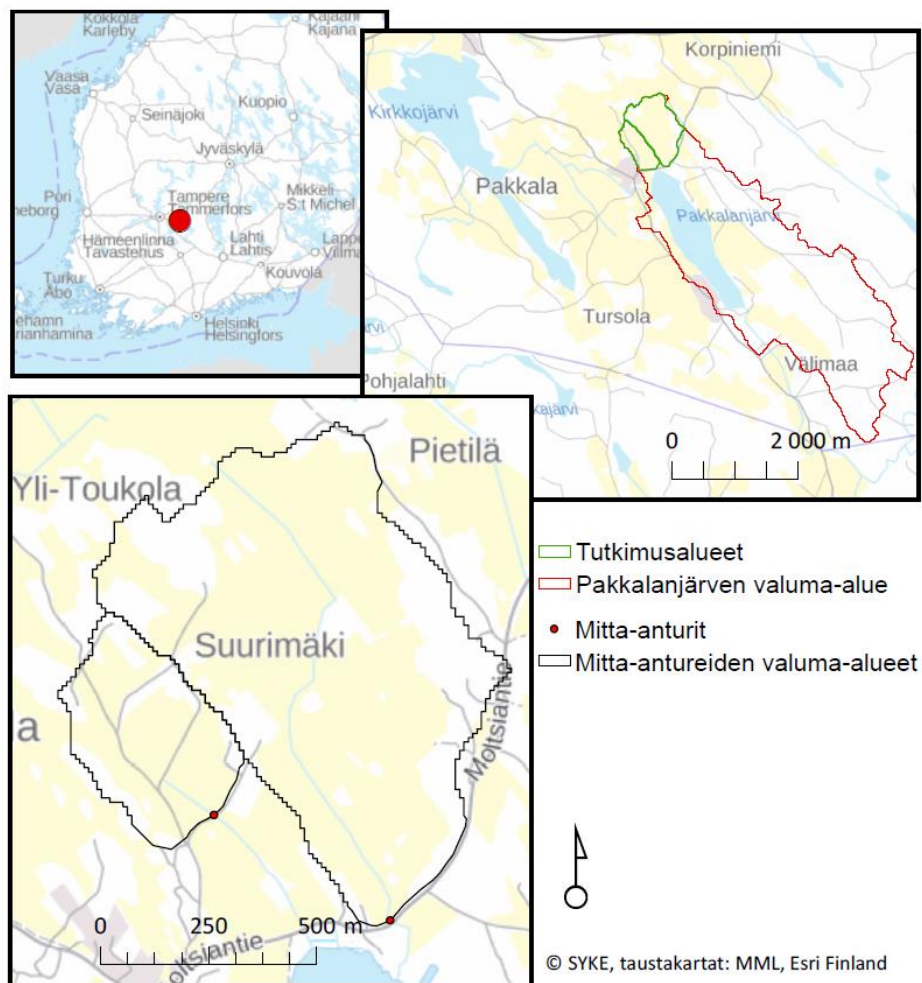
Lisäksi rakennekalkin vaikutusanalyysia varten kummankin valuma-alueen ojavesien laadun seuranta-aineisto ajalta 2017–2019 jaettiin seurantajaksoihin ennen ja jälkeen rakennekalkituksen. Peltomaan viljavuustutkimukset toteutettiin myös ennen rakennekalkitusta ja sen jälkeen.

Toisen valuma-alueen kalkitus toteutettiin hankkeen loppupuolella 2019. Tämän jälkeen kummankin alueen havaintoja verrataan jatkohankkeessa tilanteeseen ennen rakennekalkitusta.

2.2 Tutkimusalue

Hampaalanojan valuma-alue (13,5 ha) ja Loukkaanojan valuma-alue (58,7 ha) sijaitsevat Kangasalan Sahalahdella ja kuuluvat Kokemäenjoen vesistöalueen Myllyojan valuma-alueeseen (35.729) ollen osa Längelmäveden reittiä. Hampaalanoja ja Loukkaanoja laskevat Pakkalanjärven pohjoisosaan, kattaen 10 % järven valuma-alueen maa-alasta (Kuva 2.1). Alueella on broilerintuotantoa, ja peltojen osuus valuma-alueesta on Hampaalanojalla 69 % ja Loukkaanojalla 70 %. Pakkalanjärven pinta-ala on noin 100 ha ja teoreettinen viipymä 3,7 kuukautta. Järven keskisyvyys on vain noin 0,6 m ja maksimisyvyys 2,0 m (Heino 2001). Mekaanisen maalajiluokituksen mukaan kaikki tutkimusalueen peltolohkot ovat hiesusavea, sillä pelloilla on keskimäärin 35 % savesta (<0.002 mm) ja hieman enemmän, 39 % hienoa hiesua (0.002–0.006 mm). Maalajiluokituksen mukaan savimaita ovat maat, joissa on yli 30 % savesta. Peltojen keskikaltevuus on Hampaalanojalla 4,6 % ja Loukkaanojalla 4,0 %. Hankkeessa levitettiin rakennekalkkia Loukkaanojan valuma-alueen pelloille vuonna 2018 ja

Hampaalanojan pelloille vuonna 2019 ja seurattiin valumaveden laatua ennen ja jälkeen kalkituksen.



Kuva 2.1 Tutkimusalueen sijainti ja vedenlaadun havaintopaikat (punaiset ympyrät alimmassa kuvassa) Hampaalanojan valuma-alue on Loukkanojan valuma-alueetta pienempi.

Taulukko 1 Hampaalanojan ja Loukkaanojan ominaisuuksia

Muuttuja	Hampaalanoja	Loukkaanoja	Lähde/Lisätietoa
Anturin sijainti	360976-6816375	361385-6816131	Euref FIN TM 35
Pinta-ala (ha)	13,5	58,7	rajat KM10 + maastotarkistukset
Peltopinta-ala (ha)	9,3 (69 %)	41,0 (70 %)	MAVI
Savea (ha)	8,0 (59 %)	45,6 (78 %)	GTK
Kalliomaata (ha)	5,5 (%)	12,3 (%)	GTK
Sekalajitteinen (ha)	0 (%)	0,8 (%)	GTK
Peltojen keskikaltevuus (%)	4,6	4,0	ruutukoko 10 x 10 m, MML, SYKE



Kuva 2.2 Hampaalanojan mittauspaikka 24.9.2019. Ojan vasemmalla puolella on lohko 2 ja ohrasänki. Kuvassa oikealla on lohko 4 ja vehnäsänki. Kuva: Maria Kämäri



Kuva 2.3 Loukkaanojassa oli vähän vettä ja paljon kasvillisuutta 24.9.2019. Vedenlaadun seuranta paikan vieressä, kuvassa vasemmalla (lohko 21) kasvoi heinää 2017–2019. Ojan oikealla puolella on ohrasänki. Kuva: Maria Kämäri

2.3 Peltotyöt

Vuosi 2017

Kasvukauden alku oli normaali. Iso osa alueen lohkoista oli talven jälkeen kasvipeitteisenä ja kevytmuokattiin keväällä. Kylvötyöt ajoittuivat normaaliin aikaan toukokuun alkuun. Ainoastaan Hampaalanojan valuma-alueen pellot 4 ja 5 olivat kynnettyjä (ks. peltojen numerot kuvasta 3.4).

Viljelykasveina oli suurilta osin viljakasveja (vehnää ja ohraa) paitsi pelloilla 1–3,7,11–16 ja 20 oli viljelyssä rapsia. Pellot 21, 22 olivat koko hankkeen ajan nurmipeitteisinä ja niillä viljeltiin hevosheinää. Kasvukausi oli varsin runsassateinen ja viljan puinti alueella ajoittui syyskuun puoliväliin ja rapsi puitiin vasta lokakuun puolivälissä. Pelloista lohkot 7 ja 11 kynnettiin osin ja lohkot 4 ja 5 kevytmuokattiin.

Vuosi 2018

Mitä 2017 syksyllä ei ollut muokattu, kultivoitiin keväällä lautasmuokkaimella tai muulla kultivaattorilla. Pellot äestettiin 1–2 kertaa ja kylvö tehtiin sijoittavalla kylvölannoittimella.

Kylvötyöt ajoittuivat normaaliin aikaan toukokuun alkuun. Viljelykasveista 85 % oli viljaa (Taulukko 2), mutta lohkoilla 4–5 kasvoi rapsia. Lohkot 17–19 olivat ohralla, lohkoilla 20 riistapeltoa ja muuten viljelyssä olevat pellot kasvoivat vehnää.

Kasvukautta leimasi kylvöjen jälkeinen poikkeuksellinen kuivuus. Tämä jätti kasvustot erittäin harvoiksi ja useat viljat eivät tehneet juuri lainkaan sivuversoja. Alueen hehtaarisadot jäivät viljoilla 2–3 tonnin väliin, vaikka suotuisina vuosina alueella on korjattu yli 6 tonnin hehtaarisatoja. Öljykasvien sadonmuodostusta kuivuus ei samalla tavoin haitannut, vaan sadot olivat liki normaalin suuruisia, ollen 1,5-2,5 tonnin luokkaa hehtaaria kohden. Kasvien kasvurytmi oli todella nopea ja sadonkorjuu aikainen. Puinnit ajoittuivat aikaisilla ohrilla elokuun alkupuolelle ja puoliväliin ja vehnällä tästä hieman myöhemmäksi. Rapsi korjattiin syyskuun alkupuolella.

Rakennekalkitusnäytös 25.9.2018 sujui erittäin suotuisissa oloissa. Rakennekalkin muokkausmenetelminä koko alalla käytettiin sekä kultivointia että lautasmuokkausta, jotka eivät olennaisesti eroa toisistaan. Rakennekalkki levitettiin syyskuun loppupuolella 24-25.päivä. Molemmissa muokkausmenetelmissä pintamaata sekoitetaan 5–12 cm syvyyteen asti, jolloin kasvijäte sekä rakennekalkki muokkaantuvat hyvin maahan. Syksy oli todella kuiva ja maanmuokkaustyöt tehtiin hyvissä olosuhteissa. Liki kaikki alueen peltolohkot kevytmuokattiin, mitä Loukkaanojan peltojen rakennekalkitus edellytti. Työteknisistä syistä viljelijät usein valitsevat saman menetelmän saman alueen pelloille, joten myös Hampaalanojan pellot kevytmuokattiin. Ainoastaan lohko 2 kynnettiin.

Vuosi 2019

Lämmin helmikuu, sula maa, vähän routaa ja loppukevät kuivaa huhtikuussa 2019. Kevät 2019 oli poikkeuksellisen aikainen, arviolta 1,5–2 viikkoa normaalia aikaisempi. Pellot olivat kuivat huhtikuussa 25.4.2019, jolloin myös notkopaikat alkoivat kuivua ja vedenpinta laski voimakkaasti.

Keväällä tutkimusalueen pellot olivat pääosin kevytmuokattuja syksyn 2018 rakennekalkituksen jäljiltä. Kylvö- ja muokkaustyöt sijoittuivat toukokuun alkupuoliskolle. Peltotöihin viljelijät pääsivät hieman (muutamia päiviä – viikkoa) aikaisemmin kuin keskimäärin. Osa Pakkalan kylän pelloista oli kylvetty jo huhtikuussa. Varsinaisesti isoin osa kuitenkin kylvettiin vasta vapun jälkeen seuranneena kuivana jaksena. Toukokuun

ensimmäisenä viikkona kylvettiin pellot 4–11. Selvästi myöhemmin eli toukokuun puolivälissä kylvettiin pellot. 1–3,7,11, 12–20. Kaikilla pelloilla käytettiin verrattain samoja kevätmuokkausmenetelmiä. Syksyllä muokatut pellot äestettiin 1–2 kertaan, jonka jälkeen pellot kylvettiin sijoittavalla kylvölannoittimella. Lohkoja 21 ja 22 ei muokattu, vaan niillä on monivuotinen heinänurmi. Pelloista 80 % oli viljan viljelyksessä. Pelloilla 4–11 kasvoi 2019 viljelykasveina vehnää. Lisäksi lohkoilla kasvoi ohraa (1–3,7,11–16), riistapeltoa (20), rapsia (17–19) sekä nurmea (21 ja 22).

Syksyllä rakennekalkki levitettiin Hampaalanojan valuma-alueen pelloille. Tähän jätettiin myös noin 1,5-2 ha rakennekalkitsematon ala, jotta saadaan verrokki mahdollisia uusia tutkimuksia varten. Kalkki levitettiin lokakuun ensimmäisellä puoliskolla ja mullattiin ohjeiden mukaan pian levityksen jälkeen. Multaukseen käytettiin samoja menetelmiä kuin 2018. Vaikka syyskuussa oli jo satanut, oli peltomaa kuitenkin pinnan kostuneen kerroksen jälkeen kuivaa ja kantoi koneita hyvin. Alueella sadonkorjuu alkoi hyvissä olosuhteissa poutajakson vallitessa 25.8. ohran puinnilla ja päättyi syyskuun puolivälissä vehnän puintiin. Syksyllä alueen pellot muokattiin kultivoimalla. Alueella Nurmilohkoja ei rakennekalkittu eikä näille tehty muita toimenpiteitä. .

Taulukko 2 Yhteenveto viljelytoimista

	Peltojen muokkaus ja kasvipeitteisyys	Viljelykasvit
2017	Syksyllä kasvipeitteisyys korkea, yli 75 % alueen pinta-alasta. Kaksi nurmipeitteistä lohkoa (21 ja 22).	Viljakasvit 50 % Rapsi 45 % Nurmi ja muut 5 %
2018	Syksyllä kasvipeitteisyys vähäinen, isoin osa pelloista kevytmuokattu Loukkaanojan peltojen rakennekalkituksen vuoksi.	Viljakasvit 85 % Rapsi 10 % Muut 5 %
2019	Syksyllä kasvipeitteisyys vähäinen, pellot kevytmuokattu kultivoimalla ja lautasmuokkaamalla Hampaalanojan peltojen rakennekalkituksen ja työteknisten syiden vuoksi.	Viljakasvit 80 % Rapsi 15 % Muut 5 %

2.4 Rakennekalkki

Rakennekalkin toimittajaksi valittiin Nordkalk, joka on tutkinut menetelmää laajimmin ja jolla on kokemusta rakennekalkin vaikutusmekanismeista myös Ruotsissa. Nordkalk on myös ensimmäinen kalkinvalmistaja Suomen markkinoilla, joka toi markkinoille Fostop® –konseptin ja tarjosi keinon fosforin pidättämiseen peltomaassa. Fostop® on Nordkalkin

kaupallinen nimi rakennekalkitukselle. Fostop® on maanparannuskalkkia, jossa on poltettua kalkkia joukossa.

Vuoden 2019 syksyyn mennessä markkinoille on ilmaantunut muitakin rakennekalkin tarjoajia. Rakennekalkkia ei sinällään ole missään määritelty kovin tarkkaan, joten myös tarjolla saattaa olla useita erilaisia tuotteita ja niiden vaikutukset vaihtelevia. Erityisesti paperiteollisuuden sivuvirroista saatavat meesakalkki- sekä kalkkisuodinpöly / tehokalkki ovat erittäin voimakkaasti pH:ta nostavia ja nopeavaikutteisen kalkin osuus on suuri. Koska rakennekalkitukseen ei myöskään kohdistu esimerkiksi ympäristökorvauksen kautta tukea tai muita vaatimuksia, on asiakkaan vastuulla olla selvillä, mitä tuotetta pelloillaan käyttää.

Hakemusvaiheessa suunniteltiin levitettävän 7–10 t/ha kalkkia, jotta saadaan riittävä fosforia pidättävä vaikutus. Tämä on myös suositus Ruotsista sekä Nordkalkin laatimista yleismuotoisista ohjeista. Alueen pH kuitenkin vaihteli 6,3 ja 7,4 välillä sijoittuen viljavuusluokkiin hyvä-arveluttavan korkea, joten riskinä oli jopa pH:n nousu liian korkeaksi, jolla puolestaan olisi haitallinen vaikutus mm. kasvin ravinteiden ottoon.

Rakennekalkin toimittajalle Nordkalkille lähetettiin kesällä 2018 kerätyt maanäytteet, joiden perusteella Nordkalkin asiantuntijat ohjeistivat levittämään kalkkia 5 t/ha, jossa reaktiivisen kalkin osuus oli noin 22 % (Taulukko 3). Tämä määrittäminen perustui heidän omiin testeihin ja ohjeen mukainen kalkkimäärä levitettiin Loukkaanojalle syksyllä 2018 (Kuva 2.4).

Rakennekalkkia levitettiin 5 t/ha kuivaan maahan 23.–25.9.2018 Loukkaanojan valuma-alueen pelloille. Se muokattiin maahan välittömästi levityksen jälkeen, mutta vain kerran. Muokkaamalla maa kahteen kertaan ristiin, olisi varmistettu maa-aineksen ja kalkin mahdollisimman hyvä kontakti. Koska pintamaa oli kuohkeaa ja sekoittuminen näytti hyvältä jo yhden muokkauksen jälkeen, oletetaan, ettei tällä ole hankkeen tulosten kannalta suurta merkitystä. Käsitelty alue kattoi koko Loukkaanojan valuma-alueen peltoalan 41 ha, lukuun ottamatta pientä nurmilohkoa. Taulukossa 3 on esitetty levitetyn rakennekalkin kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet.

Lokakuun puolivälissä Hampaalanojan lohkoille levitettiin tasaisesti 80 tonnia rakennekalkkia eli noin 6 t/ha. Noin puolet lohkoista 7 eli sen läntinen osa jätettiin kalkitseematta. Maanäytteet kerättiin alueelta ennen rakennekalkitusta. Maanäytteitä kerättiin

tässä yhteydessä 8 kappaletta, joista 4 Hampaalanojalta ja 4 Loukkaanojalta. Näytteistä analysoitiin viljavuusfosforin lisäksi vesiututtainen fosfori.



Kuva 2.4 Rakennekalkin levitystä Loukkaanojan pelloille syyskuussa 2018. Kuvat: Petri Ekholm

Taulukko 3 Rakennekalkin analyysitulokset.

Muuttuja	Arvo
Vesipitoisuus (%)	18
Hehkutushäviö (550 °C) (%)	7,9
Hehkutushäviö (1000 °C) (%)	19,8
CaCO ₃ kokonaisneutralointiarvo (%)	94
Ca kokonaisneutralointiarvo (%)	37,7
CaO aktiivinen (%)	24,6
Ca EDTA (%)	34,2
Mg EDTA (%)	1,7
Nopeasti reagoiva Ca (%)	21,8
Cd (mg/kg)	<0,05
Cr (mg/kg)	47
Cu (mg/kg)	4,5
Hg (mg/kg)	<0,02
Ni (mg/kg)	12
Pb (mg/kg)	1,1
Zn (mg/kg)	9,5
As (mg/kg)	1,2
Raekoko <0,063 mm (%)	11,3
Raekoko <0,125 mm (%)	19,5
Raekoko <0,150 mm (%)	22,7
Raekoko <0,25 mm (%)	32,7
Raekoko <0,5 mm (%)	57,4
Raekoko <1,0 mm (%)	81,5
Raekoko <2,0 mm (%)	94,5

2.5 Viljavuusanalyysit

Viljavuusanalyysien tavoitteena oli selvittää rakennekalkituksen lyhyen aikavälin vaikutusta maan viljavuuden kannalta tärkeisiin ominaisuuksiin, kuten maan pH arvoihin, johtolukuun,

liukoiseen fosforiin ja kationikoostumukseen. Pintamaan viljavuusanalyysit teetettiin ennen ja jälkeen rakennekalkituksen kaikilta alueen yhteensä 22 peltolohkoilta. Ennen rakennekalkitusta viljavuusanalyysit tehtiin 5.12.2017 haetuista maanäytteistä, jotka kerättiin peltolohkoilta hajapistemenelmällä. Pieniltä alle 5 ha kokoisilta lohkoilta kerättiin yksi kokoomanäyte ja suuremmilta lohkoilta kerättiin yksi kokoomanäyte jokaista alkavaa 5 hehtaaria kohden. Rakennekalkituksen jälkeen maanäytteet kerättiin samoilta peltolohkoilta 22.4.2019. Näytteistä analysoitiin maalaji, multavuus, pH, johtoluku, kalsium, kalium, magnesium, fosfori, rikki, kupari, mangaani ja sinkki. Lisäksi 8 lohkolta kerättiin näytteet 2.10.2019 vesiuuttoista fosforia varten. Fosforimääritysten (ks. 2.5) ohella näistä määritettiin perusviljavuusanalyysi (ts. yllä luetellut määritykset lukuun ottamatta kuparia, mangaania ja sinkkiä).

2.6 Maaperän fosforiuuttokokeet

Hankkeessa testattiin rakennekalkituksen vaikutusta liuenneen fosforin huuhtoutumispotentialiin peltojen muokkauskerroksesta. Hypoteesina oli, että rakennekalkki ei vaikuttaisi viljavuusuttoiseen fosforiin mutta laskisi vesiuuttoista, mikä kertoisi alentuneesta liuenneen fosforin huuhtoutumispotentialista. Fosforiuuttoa varten näytteenottolohkoiksi valittiin yhteensä kahdeksan matalan, keskimääräisen ja korkean fosforitilan lohkoa käsitellyiltä (Loukkaanoja 9,12,16,19) ja käsittelemättömiltä alueilta (Hampaalanoja 3, 4, 6, 7, kts. Kuva 3). Maanäytteet kerättiin pelloilta 2.10.2019.

2.7 Ojavesien vedenlaadun seuranta ja virtaaman määrittäminen

Hampaalanojan ja Loukkaanojan vedenlaatua seurattiin jatkuvatoimisilla mittalaitteilla (YSI6600, <https://www.ysi.com/6600-V2-4>) keväällä ja syksyllä (yhteensä viisi seurantajaksoa), jolloin pääasiallinen valunta pieniltä valuma-alueilta tapahtuu. Mittalaitteet rekisteröivät tunnin välein veden pinnankorkeuden, veden lämpötilan, sähkönjohtavuuden, pH:n ja sameuden. Kesällä mittareita ei pidetty ojissa veden ja ainevirtaamien vähäisyyden ja talvella jäätyamisen takia. Laitteisto putsasi itsensä viiksipesurilla ennen mittausta, minkä lisäksi Pakkalanjärven suojeluyhdistyksen väki putsasi laitteet käsin noin kolmen viikon välein. Kummatkin ojat ovat pieniä ojia ja Hampaalanojaan kaivettiin tilaa mittalaitteille 2017. Kuvassa 2.5 miehet seisovat Hampaalanojaan kaivetun kuopan äärellä. Vuonna 2019 otetussa kuvassa 2.2 kuoppa on maastoutunut kasvillisuuden sekaan.



Kuva 2.5 Mittalaitteiden asentamista Hampaalanojaan 21.9.2017. Kuvassa vasemmalta oikealle Eino Ahonen (Pakkalanjärven suojeluyhdistys), Martti Seppälä (Pakkalanjärven suojeluyhdistys) ja Ari Laukkanen (Luode Consulting). Oikeanpuoleisessa kuvassa mittauksessa käytetty YSI6600-sensori. Alimmassa kuvassa Ari Laukkanen asentamassa anturia Hampaalanojaan, johon on kaivettu laajennus mittareiden asennusta varten. Kuvat: Elina Röman ja Petri Ekholm.

Hampaalan- ja Loukkaanojista kerättiin vesinäytteitä käsin näytepulloihin (nk. käsinäytteenotto) pyrkien ajoittamaan näytteenotto virtaamapiikkeihin. Vesinäytteistä analysoitiin laboratoriossa pH, sähkönjohtavuus, kiintoaine, kokonaistyyppi, kokonaisfosfori (TP, *total phosphorus*), liuennut kokonaisfosfori (TDP, *total dissolved phosphorus*) ja leville

suoraan käyttökelpoinen liuennut reaktiivinen fosfori (DRP, *dissolved reactive phosphorus*). TP:n ja TDP:n erotuksesta saatiin laskettua myös maa-ainesfosforin (PP, *particulate phosphorus*) pitoisuus. Laboratorioanalyysien avulla verifioitiin jatkuvatoimisen mittauksen tulokset. Jatkuvatoiminen ei pysty mittaamaan fosforia, mutta sen mittaama sameus on mahdollista muuntaa regression avulla maa-ainesfosforiksi tai kokonaisfosforiksi, vertaamalla sameutta ja käsinäytteistä analysoituja fosforipitoisuuksia. Laboratorioanalyysien tuloksista määritettiin sameuden ja kokonaisfosforin välinen yhteys.

Tutkimusalueelle ei voitu rakentaa mittapatoja, joten virtaama määritettiin aina vesinäytteiden oton yhteydessä, yleensä hyödyntämällä olemassa olevia rumpuputkia: Rumpuputken yläjuoksulla kaadettiin merkkiainetta veteen, ja mitattiin kuinka monta sekuntia kestää, että merkkiaine on saavuttanut putken toisen pään. Virtaama laskettiin kuluneen ajan, rummun poikkileikkauksen ja vallitsevan vedenkorkeuden avulla.

Hampaalanojalla oli syksyllä 2017 vaikeuksia löytää yhteyttä vedenkorkeudelle ja paikan päällä tehdyille virtaama-arvioille. Loukkaanojan virtaaman luotettavuus testattiin vertaamalla sitä kahteen lähellä sijaitsevaan pieneen valuma-alueeseen eli Paunulanpuroon (tutkimusalueesta n. 23 km pohjoiseen, valuma-alueen koko 1,5 km², 0 % maatalousmaata) ja Löytäneenojaan (tutkimusalueesta n. 117 km länteen, 6,24 km², 63 % maatalousmaata). Virtaamakäyrät olivat samankaltaiset ja erityisesti pienempi ja lähempänä sijaitseva Paululanpuro korreloi hyvin Loukkaanojan kanssa ($r^2 = 0,75$), joten Loukkaanojan virtaaman todettiin valuma-alueen pinta-alalla korjattuna sopivan käytettäväksi myös Hampaalanojalla. Paineanturi päätettiin silti asentaa Hampaalanojalle vielä keväällä 2018, mutta toistuvien vesimyyräongelmien takia anturia ei pidetty Hampaalanojalla koko kevään 2018 mittausjaksoa. Päätettiin käyttää systemaattisesti pinta-alakorjattua Loukkaanojan virtaamaa molemmille tutkimusalueille.

Syksyllä 2019 Hampaalanojassa oli vähän vettä mittareiden asennusajankohtana. Mittari jouduttiin laskemaan aivan uoman pohjalle, jotta se peittyi veden alle. Mittari nostettiin myöhemmin 18.10.2019 uomaan laitetun betonilaatan päälle, jossa se oli ollut aikaisemminkin. Tällä on saattanut olla vaikutusta Hampaalanojan vedenlaatumittauksiin.

Hankkeessa toteutettiin yhteensä viisi jatkuvatoimista vedenlaadun ja veden pinnankorkeuden seurantajaksoa (Taulukko 4). Raportissa esitetään yhteenveto kokonaisuudessaan neljältä

ensimmäiseltä vedenlaadun seurantajaksolta mukaan lukien laboratoriossa analysoitujen vesinäytteiden seurantatulokset. Viides eli syksyn 2019 seurantajakso raportoidaan 31.10.2019 asti kerätyllä aineistolla. Koko #RAKAVA-hankkeen aineisto ja myöhemmin kohteista saatava informaatio vedenlaadusta ja kuormituksista sisällytetään ympäristöministeriön rahoittaman hankkeen ”Rakennekalkki maatalouden vesiensuojelukeinona” (2019–2021) raportointiin.

Taulukko 4 Seurantajaksot jatkuvatoimisilla mittareilla.

Seuranta- jakso	Seurantajakso suhteessa kalkitusten ajankohtaan	Vuodenaika ja vuosi	Aika
I	ennen rakennekalkitusta	syksy 2017	21.9.–12.12.2017
II	ennen rakennekalkitusta	talvi-kevät 2018	15.3.–15.6.2018
III	jälkeen Loukkaanojan kalkituksen ¹⁾	syksy 2018	18.9.–25.11.2018
IV	jälkeen Loukkaanojan kalkituksen	talvi-kevät 2019	27.2.–15.5.2019
V	jälkeen molempien alueiden kalkituksen ²⁾	syksy 2019	24.9.– 4.12.2019

¹⁾ Loukkaanojan rakennekalkitus 23.–25.9.2018, ²⁾ Hampaalanojan rakennekalkitus lokakuussa 2019

Pitoisuus- ja virtaamatietojen perusteella tavoitteena oli laskea fosforin ainevirtaamat, jolloin uomien kuljettama fosforikuormitus Pakkalanjärveen saadaan entistä tarkemmin arvioitua. Samalla saadaan arvio rakennekalkituksen vaikutuksesta fosforikuormitukseen (vähenemäprosentti). Uomissa havaittuja muutoksia verrataan viljavuusanalyyseissä mahdollisesti tapahtuneisiin muutoksiin, jotta saadaan lisätietoa rakennekalkin vaikutuksesta ja mahdollisista sivuvaikutuksista. Lopulta tuloksia verrataan muiden maatalouden vesiensuojelumenetelmien tehokkuuteen ja arvioidaan rakennekalkituksen potentiaalia maatalouden fosforikuormituksen vähentäjänä.

2.9 Hankkeen osapuolet

Hankkeen vetäjänä toimi Pakkalanjärven suojeluyhdistys, josta Martti Seppälä sekä Eino Ahonen vastasivat vesinäytteiden otosta ja anturien huollosta. Hankkeen projektipäällikkö oli Juho Urkko, joka huolehti käytännön järjestelyistä ja viestinnästä. Suomen ympäristökeskuksen vastuulla oli aineiston käsittely ja hankeraportointi. Tähän osallistuivat Petri Ekholm, Elina Röman (marraskuuhun 2018 asti) sekä Maria Kämäri (alkaen marraskuusta 2018). Luode Consulting hoiti ojavesien jatkuvatoimiset mittaukset ja

vesinäytteet analysoi Kokemäenjoen vesiensuojeluyhdistys. Hankkeen ohjausryhmään nimettiin Emir Bilaletdin (Pirkanmaan ELY-keskus, Jarkko Nummela ja Maritta Kymäläinen (Hämeen ammattikorkeakoulu), Risto Uusitalo (Luonnonvarakeskus) ja Kjell Weppling (Nordkalk).

3. Hankkeen tulokset

3.1 Viljavuusanalyysit

Vuonna 2017 kaikki maanäytteet analysoitiin aistinvaraisesti runsas- tai erittäin runsasmultaisiksi hiesuiksi (Hs). Vuoden 2019 aistinvaraisissa analyysituloksissa maalajit olivat suurimmaksi osaksi hiesusavea (HsS). Mekaanisen maalajiluokituksen mukaan kaikki tutkimusalueen peltolohkot ovat kuitenkin hiesusavea. Multavuuksissa ei tapahtunut muutoksia, vaan molemmilla kerroilla multavuus oli luokassa ”Runsasmultainen”.

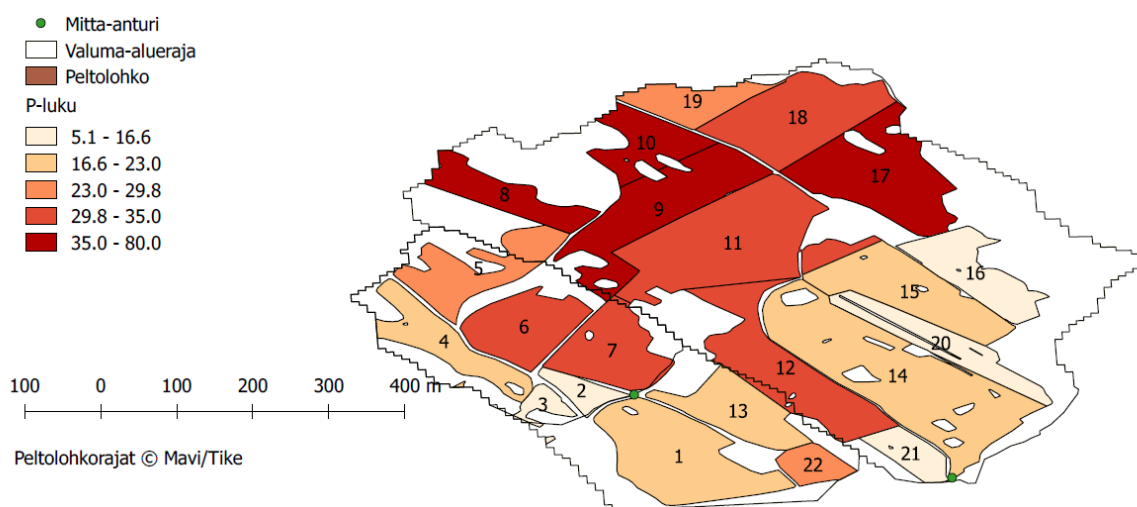
Peltomaan viljavuus oli Hampaalan- ja Loukkaanojalla samalla tasolla (taulukko 5). Keskimääräinen fosforiluku oli korkea Pirkanmaan savimaiden keskiarvoon (8,8 mg/l, Lemola ym. 2018) verrattuna. Tämä johtunee alueen pelloille levitetystä runsaasti fosforia sisältävästä broilerinlannasta. Seuraavassa tarkastellaan peltolohkojen viljavuutta ja sen muutosta tarkemmin.

Taulukko 5 Viljavuusnäytteiden pinta-alapainotetut keskiarvot tutkimusalueilla.

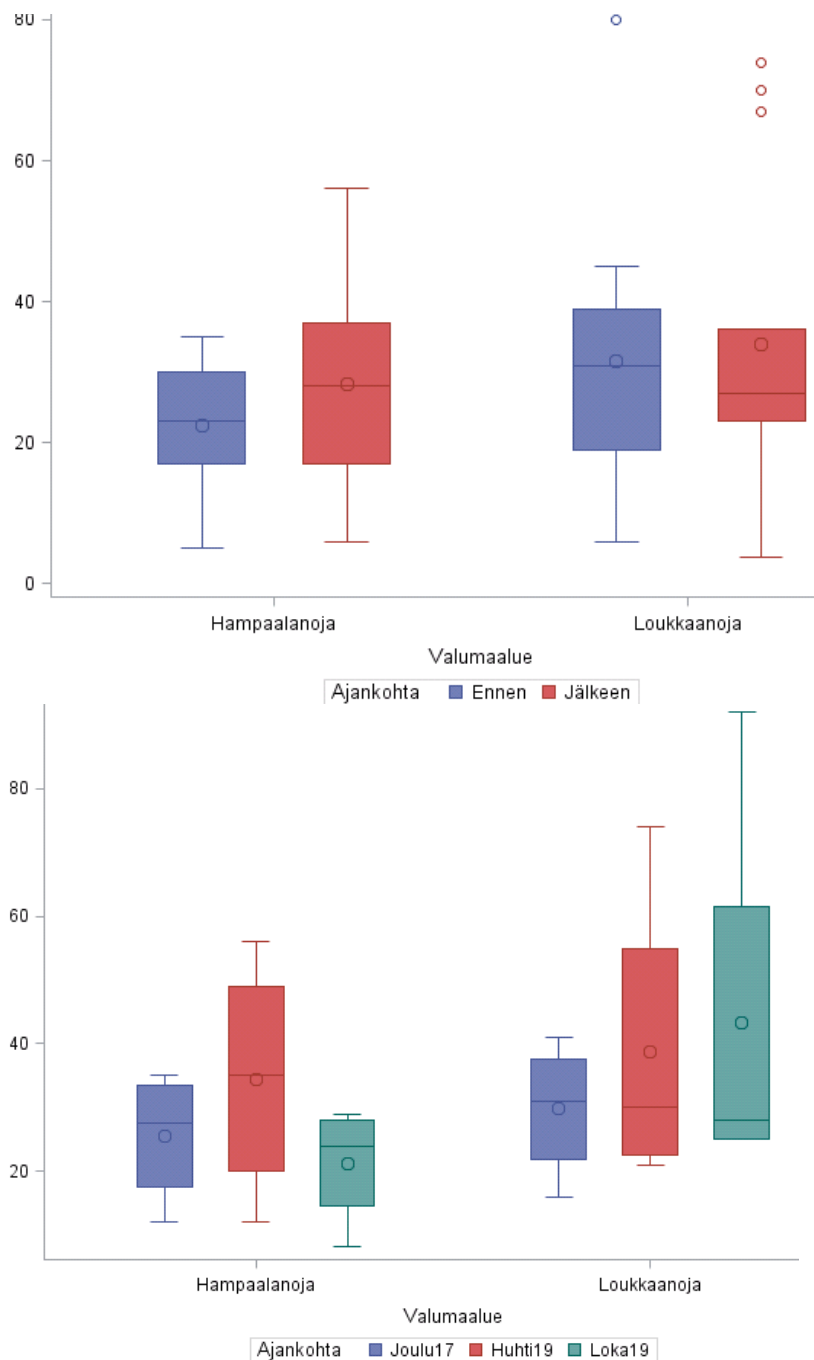
Parametri	yksikkö	Hampaalanoja 2017	Loukkaanoja 2017
Maalaji		Hs	Hs
Multavuus		rm	rm
Johtoluku	10xmS/cm	1,3	1,3
Happamuus	pH	6,8	6,9
Kalsium	mg/l	2122,5	2499,1
Fosfori	mg/l	26,1	31,1
Kalium	mg/l	171,4	160,9
Magnesium	mg/l	296,7	274,1
Rikki	mg/l	14,4	14,3
Kupari	mg/l	6,5	6,4
Mangaani	mg/l	43,8	35,3
Sinkki	mg/l	6,4	5,4
KVK	cmol+/kgka	15,1	16,6

Ravinteet

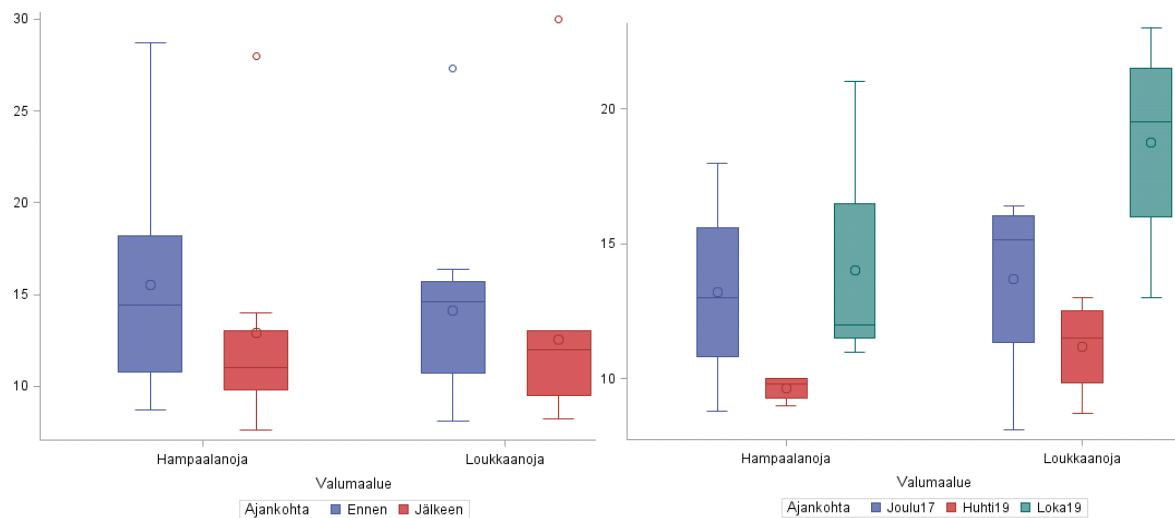
Peltolohkojen välillä viljavuusuoittoinen fosfori vaihteli voimakkaasti (kuva 3.1). Fosforipitoisuus (Kuva 3.2), samoin kuin rikkipitoisuus (Kuva 3.3) oli korkeimmillaan lokakuussa 2019, ehkä lannoituksesta johtuen. Rakennekalkituksen ei pitäisi vaikuttaa viljavuusuoittoiseen fosforiin eikä rikkiin.



Kuva 3.1 Joulukuussa 2017 kerättyjen viljavuusnäytteiden perusteella lohkojen P-luvut vaihtelivat voimakkaasti. Kartalla olevat luvut 1–22 tarkoittavat lohko- ja näytenumeroita.



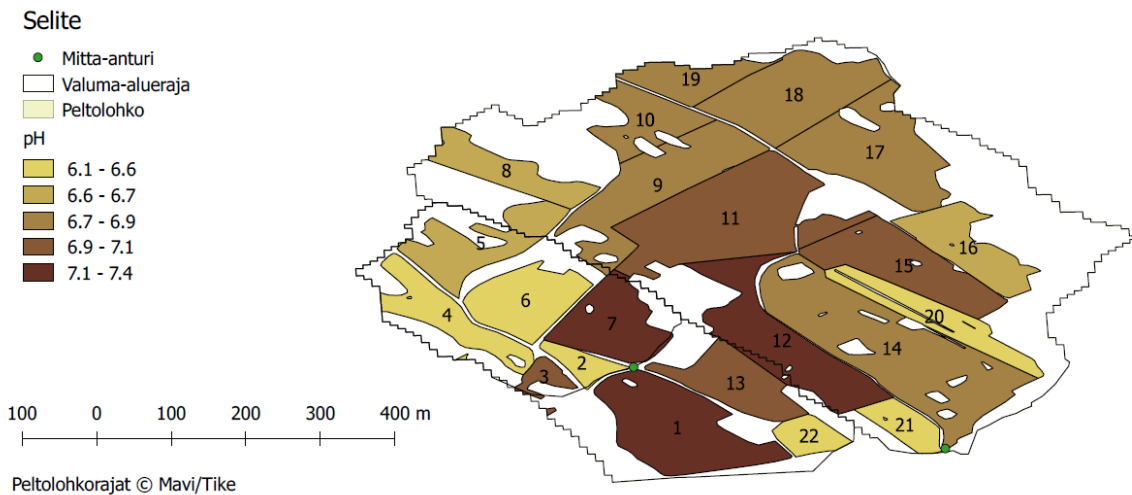
Kuva 3.2 Ylhäällä: Maan viljavuusfosforipitoisuudet (P, mg/l maata) Hampaalanojalla ja rakennekalkitulla Loukkaanojalla ennen (joulukuu 2017) ja jälkeen (huhtikuu 2019) kalkituksen. Aineistosta poistettu lohko 5, joka sijaitsee kummankin ojan valuma-alueella. Palkit kuvaavat aluetta, johon puolet havainnoista sijoittuu, palkin keskellä oleva viiva mediaania ja palkin sisällä pallo keskiarvoa, palkin ulkopuolella olevat pallot ovat ääriarvoja. Alhaalla: Fosforipitoisuudet neljällä Hampaalanojan ja neljällä rakennekalkitun Loukkaanojan peltolohkolta, joilta tehtiin viljavuusanalyysi myös lokakuussa 2019.



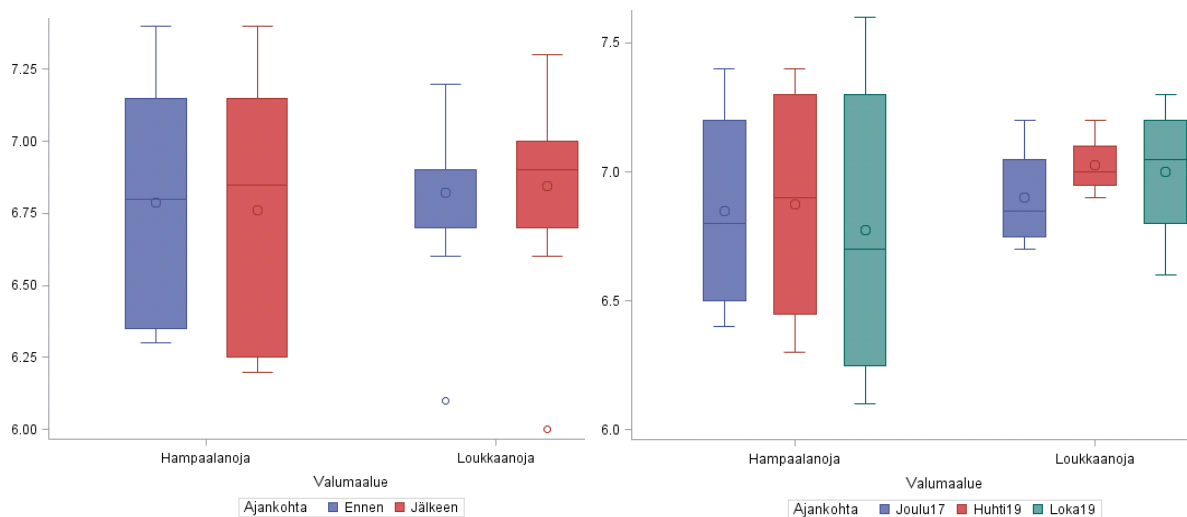
Kuva 3.3 Vasemmalla: Maan viljavuusrikkipitoisuudet (y-akseli mg/l maata) Hampaalanojalla ja rakennekalkitulla Loukkaanojalla ennen (joulukuu 2017) ja jälkeen (huhtikuu 2019) kalkituksen. Aineistosta poistettu lohko 5, joka sijaitsee kummankin ojan valuma-alueella. Palkit kuvaavat aluetta, johon puolet havainnoista sijoittuu, palkin keskellä oleva viiva mediaania ja palkin sisällä oleva pallo keskiarvoa. Palkin ulkopuolella olevat pallot ovat ääriarvoja. Oikealla: Rikkipitoisuudet neljällä Hampaalanojan ja neljällä rakennekalkitun Loukkaanojan peltolohkolta, joilta tehtiin viljavuusanalyysi myös lokakuussa 2019.

Maan pH

Ennen rakennekalkitusta maan pH vaihteli välillä 6,1–7,4 ($n = 22$, kuva 3.4). Oletuksena oli, että rakennekalkitus nostaa maan pH:ta. Loukkaanojan peltojen keskimääräinen pH oli kuitenkin 6,8 ennen ja noin puoli vuotta rakennekalkituksen jälkeen ($n = 13$, kuva 3.5). Maan keskimääräinen pH (6,8) oli sama myös Hampaalanojalla ($n = 9$) kumpanakin ajankohtana. Neljälle Loukkaan- ja Hampaalanojan lohkolle tehty uusi viljavuusanalyysi lokakuussa 2019 (noin vuosi rakennekalkituksen jälkeen) ei sekään viitannut maan pH:n muutoksiin. Tulos vastaa ruotsalaista havaintoa (Ulén ym. 2014), jonka mukaan rakennekalkitus ei merkittävästi vaikuttanut savimaan pH arvoihin, kun maanäytteet tutkittiin kuusi kuukautta ja kaksi vuotta rakennekalkituksen jälkeen. Sen sijaan meesakalkki nosti rakennekalkitun peltomaan pH-arvoa (Valkama & Mikkilä 2018).



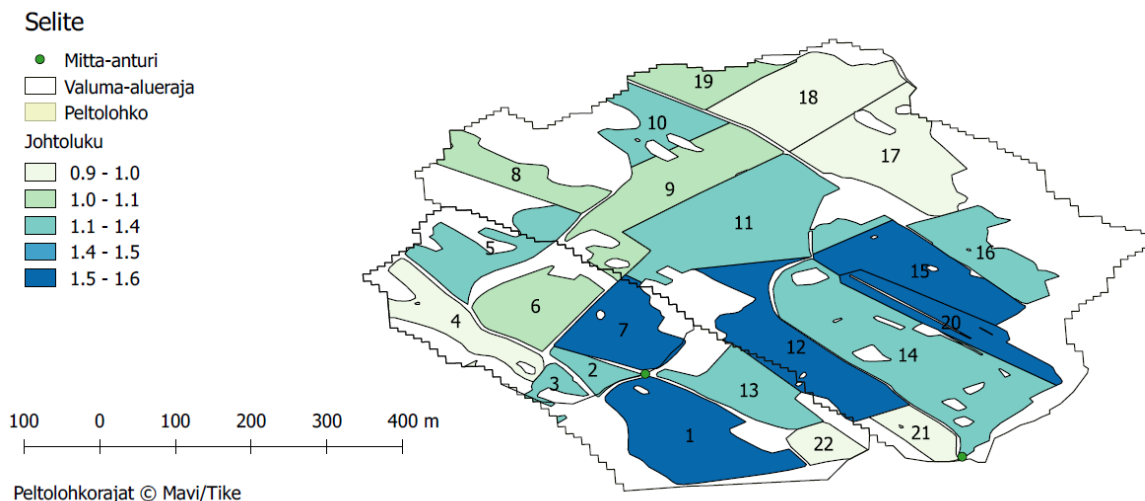
Kuva 3.4 Viljavuusnäytteiden (2017) pH. Kartan luvut 1–22 tarkoittavat näytenumeroita.



Kuva 3.5 Vasemmalla: Maan pH-arvot Hampaalanojalla ja rakennekalkitulla Loukkaanojalla ennen (joulukuu 2017) ja jälkeen (huhtikuu 2019) kalkituksen. Oikealla: Maan pH-arvot neljällä Hampaalanojan ja neljällä rakennekalkitun Loukkaanojan peltolohkolta, joilta tehtiin viljavuusanalyysi myös lokakuussa 2019.

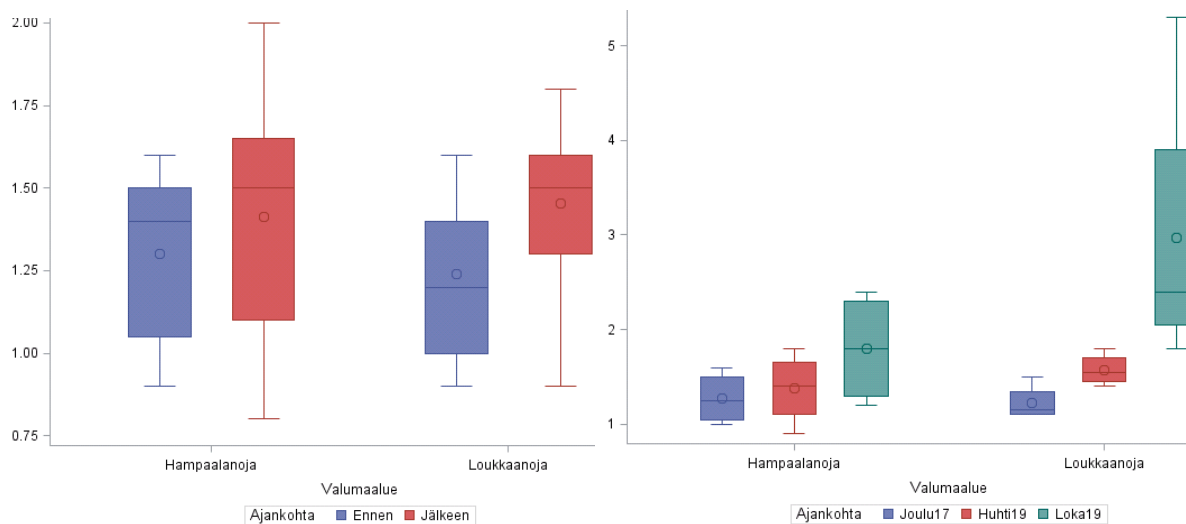
Maan kationit

Maan johtoluku, joka kuvaa maanesteen liuenneiden ionien pitoisuutta, vaihteli huomattavasti tutkimusalueella (kuva 3.6).



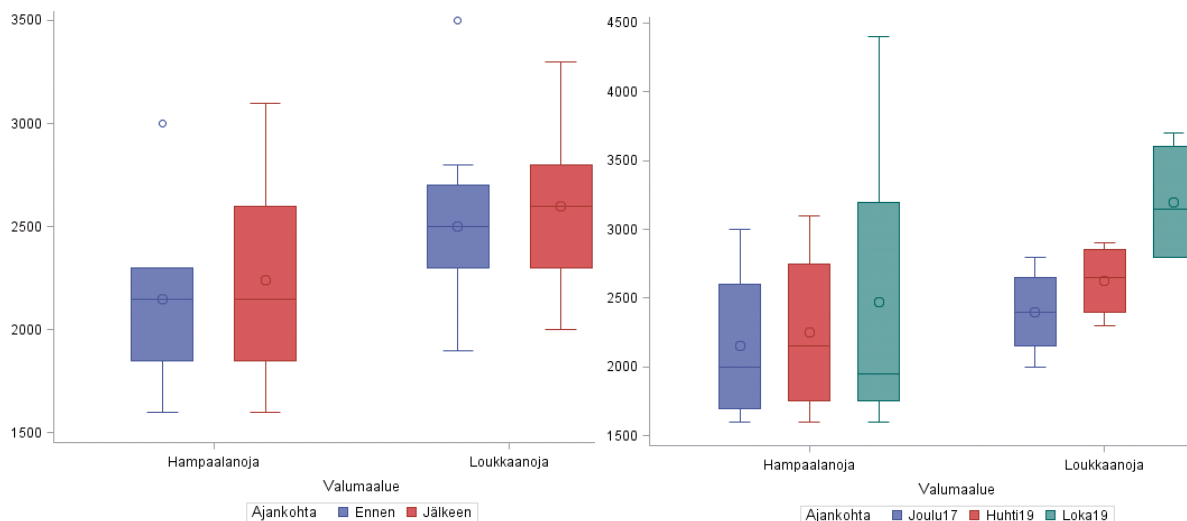
Kuva 3.6 Viljavuusnäytteiden (2017) johtoluku (10 mS/cm). Kartan luvut 1–22 tarkoittavat näytenumeroita.

Sekä Hampaalanojan että Loukkaanojan peltojen johtoluku oli korkeampi vuonna 2019 kuin vuonna 2017 (kuva 3.7). Muutos oli kuitenkin suurempi Loukkaanojalla, jossa johtoluku nousi vuoden 2017 joulukuun keskimääräisestä tasosta 1,2 huhtikuun 2019 tasolle 1,5. Tämä kuvaa rakennekalkin liukenemista ja sitä kautta maanesteen ionivahvuutta nostavaa vaikutusta. Johtoluku oli edelleen koholla niillä neljällä loholla, jotka analysoitiin lokakuussa 2019 (kuva 3.7).

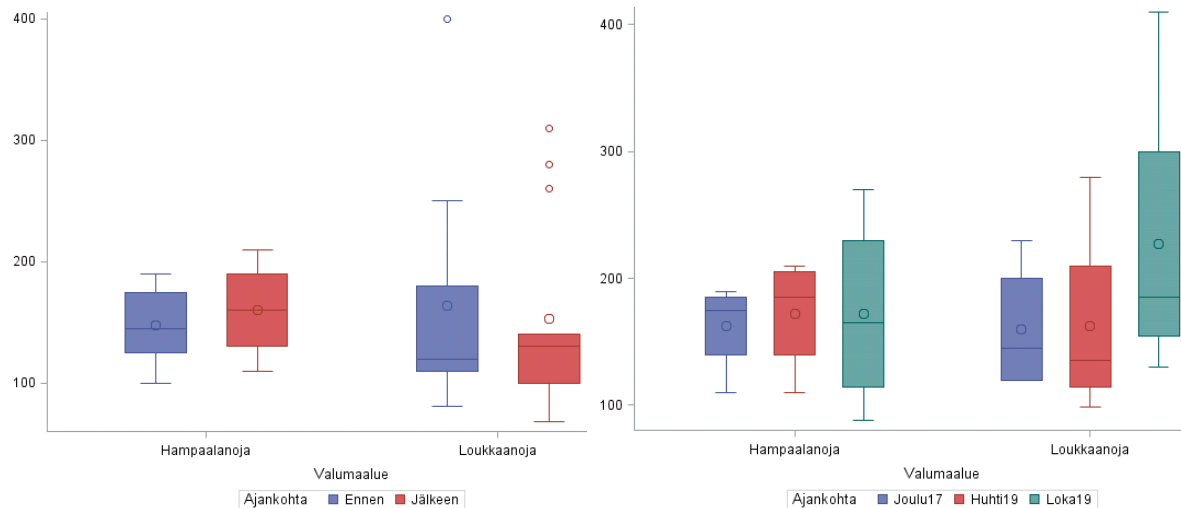


Kuva 3.7 Vasemmalla: Maan johtoluku Hampaalanojalla ja rakennekalkitulla Loukkaanojalla ennen (joulukuu 2017) ja jälkeen (huhtikuu 2019) kalkituksen. Oikealla: Maan johtoluku neljällä Hampaalanojan ja neljällä rakennekalkitun Loukkaanojan peltolohkolta, joilta tehtiin viljavuusanalyysi myös lokakuussa 2019.

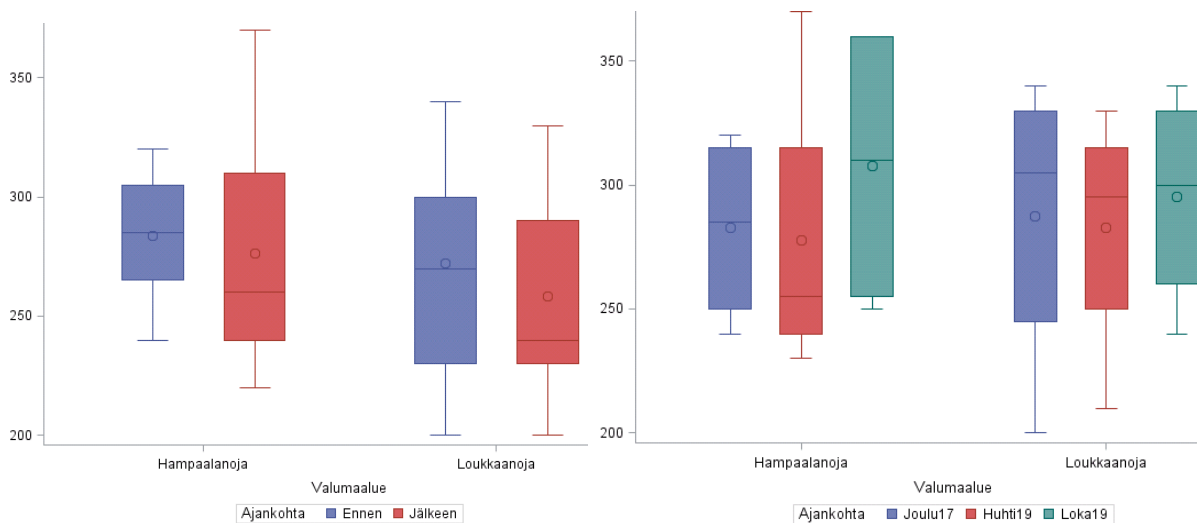
Vaikka rakennekalkki pääosin koostuu kalsiumyhdisteistä, maan viljavuusuuttoisessa kalsiumpitoisuudessa ei havaittu muutosta tarkasteltaessa kaikkia lohkoja. Sen sijaan neljältä lohkolta lokakuussa 2019 otettujen lisänyytteiden perusteella kalsiumpitoisuus oli noussut huhti-lokakuun välisenä aikana (kuva 3.8). Tämä voi johtua rakennekalkin sisältämän kalsiumkarbonaatin hitaasta liukenemisestä maassa. Pientä nousua tosin havaittiin myös kaliumissa (kuva 3.9). Muutokset magnesiumipitoisuuksissa olivat vähäisiä (kuva 3.10).



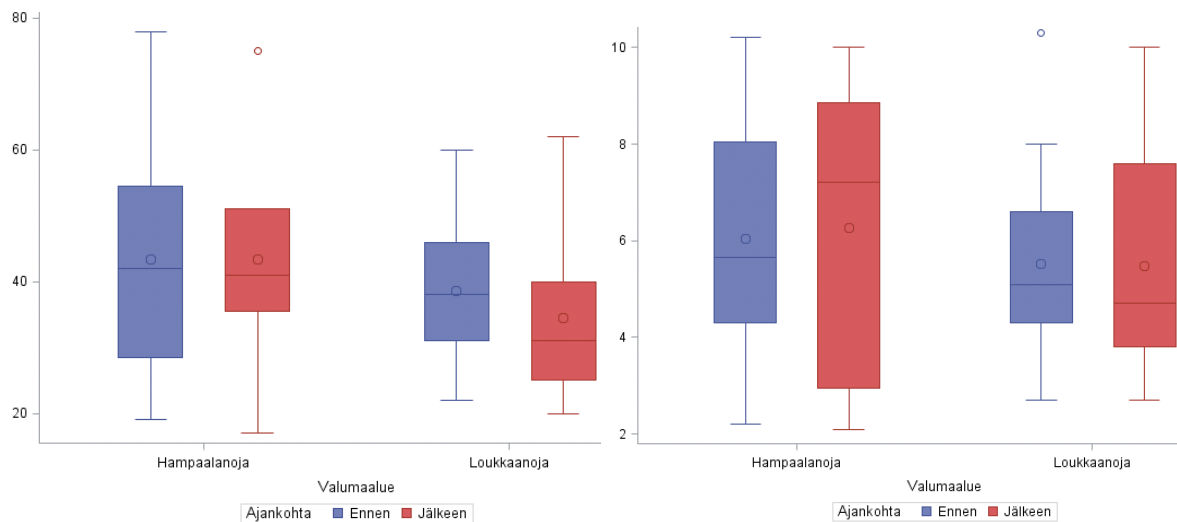
Kuva 3.8 Vasemmalla: Maan kalsiumpitoisuus (mg/l) Hampaalanojalla ja rakennekalkitulla Loukkaanojalla ennen (joulukuu 2017) ja jälkeen (huhtikuu 2019) kalkituksen. Oikealla: Kalsiumpitoisuus neljällä Hampaalanojan ja neljällä rakennekalkitun Loukkaanojan peltolohkolta, joilta tehtiin viljavuusanalyysi myös lokakuussa 2019.



Kuva 3.9 Vasemmalla: Maan kaliumpitoisuus (mg/l) Hampaalanojalla ja rakennekalkitulla Loukkaanojalla ennen (joulukuu 2017) ja jälkeen (huhtikuu 2019) kalkituksen. Oikealla: Kaliumpitoisuus neljällä Hampaalanojan ja neljällä rakennekalkitun Loukkaanojan peltolohkolta, joilta tehtiin viljavuusanalyysi myös lokakuussa 2019.



Kuva 3.10 Vasemmalla: Maan magnesiumipitoisuus (mg/l) Hampaalanojalla ja rakennekalkitulla Loukkaanojalla ennen (joulukuu 2017) ja jälkeen (huhtikuu 2019) kalkituksen. Oikealla: Magnesiumipitoisuus neljällä Hampaalanojan ja neljällä rakennekalkitun Loukkaanojan peltolohkolta, joilta tehtiin viljavuusanalyysi myös lokakuussa 2019.

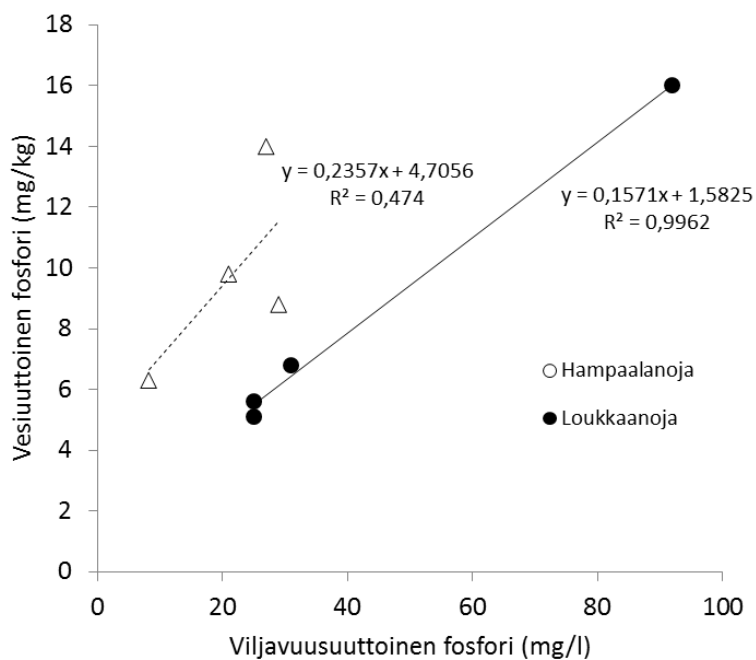


Kuva 3.11 Vasemmalla maan mangaanipitoisuus ja oikealla sinkkipitoisuus (mg/l) Hampaalanojalla ja rakennekalkitulla Loukkaanojalla ennen (joulukuu 2017) ja jälkeen (huhtikuu 2019) kalkituksen.

Maanäytteiden keskimääräinen mangaanipitoisuus laski Loukkaanojan peltojen näytteissä arvosta 39 mg/l (2017) arvoon 34 mg/l (2019). Sen sijaan keskimääräinen mangaanipitoisuus Hampaalanojan pelloilla pysyi samana ollen 44 mg/L kumpanakin tutkimuskertana. Kuparissa ja sinkissä ei juurikaan havaittu eroa.

3.2 Liuennan fosforin huuhtoutumisalttius maaperästä

Peltojen maanäytteestä määritettiin perinteinen viljavuusuuttainen fosfori ja vesiuuttainen sen testaamiseksi vähentääkö rakennekalkitus fosforin huuhtoutumistaipumusta sade- tai lumensulamisvesien mukana. Vaikka näytteitä oli vain neljä, vaikuttaa rakennekalkitus selvästi vähentäneen vesiuuttoisen fosforin määrää suhteessa viljavuusuuttoon, ts. tuloksen mukaan liuennan fosforin huuhtoutumisen voisi olettaa vähenevän rakennekalkituksen myötä (Kuva 3.12). Aiemmin mainitussa Laurinojan kohteessa maaperän vesiuuttoisen fosforin pitoisuus nousi pinta- ja pohjamaassa rakennekalkituksen jälkeen (Valkama & Mikkilä 2018)



Kuva 3.12 Viljavuusuuhtoisen ja vesiuuttoisen fosforin suhde neljässä Hampaalanojan ja Loukkaanojan maanäytteessä lokakuussa 2019.

3.3 Valunta

Loukkaanojan valunta-aikasarja määritettiin siten, että se vastasi mahdollisimman hyvin hetkellisiä rumpuputkesta mitattuja virtaamia (Kuva 3.14). Lisäksi Loukkaanojan valuntaa verrattiin (syksy 2017 – kevät 2019) vertailukohteiden eli SYKEN pienten hydrologisten valuma-alueiden Paunulanpuron ja Löytäneenojan valuntoihin.

Valunnan määrittämisessä oli kuitenkin monia ongelmia. Ojien alajuoksu on hyvin tasainen ja niiden virtaamaan vaikuttaa Pakkalanjärven vedenkorkeus. Järvi padottaa ajoittain ojien vettä, mikä heikensi virtaamamäärityksen luotettavuutta. Lisäksi sulavan jään ja lumen pakkaantuminen rumpuputkeen nosti ojissa vedenpintaa ja vaikeutti virtaaman arviointia. Vuodenajan mukaan ojien kasvillisuus vaihtelee, mikä osaltaan lisää hetkellisen virtaamamäärityksen epävarmuutta. Syksyllä Loukkaanojassa oli runsas kasvillisuus (Kuva 3.13). Virtaaman mittauksista saatu purkautumiskäyrä ei täten ollut käyttökelpoinen kaikissa tilanteissa.

Kevätvalunnan määrittäminen oli haasteellista, sillä vertailukohteiden valunnat poikkesivat toisistaan riippuen keväästä. Kevään 2018 hetkelliset valunnat olivat suurempia Löytäneenojalla kuin Paunulanpurossa ja keväällä 2019 tilanne oli päinvastainen. Kuvassa 3.14 on kaksi eri Loukkaanojan valunta-arviota, jotka eroavat toisistaan keväiden 2018 ja 2019 osalta. Sekä pienempi että suurempi valunta-arvio Loukkaanojalle keväällä 2018 on kuitenkin suurempi kuin Paunulanpuoron kevätvalunta vastaavana aikana. Valuntamäärityksen suurin epävarmuus liittyy siis juuri kevätvaluntaan, jolloin paikan päällä tehdyt virtaamamittaukset ovat ensiarvoisen tärkeitä.

Keskivaluma Suomessa on noin 10 l/s km², mutta järveltömillä pienillä valuma-alueilla hetkellinen valuma voi vaihdella rajusti, kuivakausien nollasta yli 1000 l/s km². Loukkaanojan vuosivalunnaksi 2018 määritettiin 11–14 l/s km², koska kevätvalunnan määrittäminen oli tulkinnanvaraista. Paunulanpuoron vuosivalunta oli 9 l/s km² vuonna 2018.



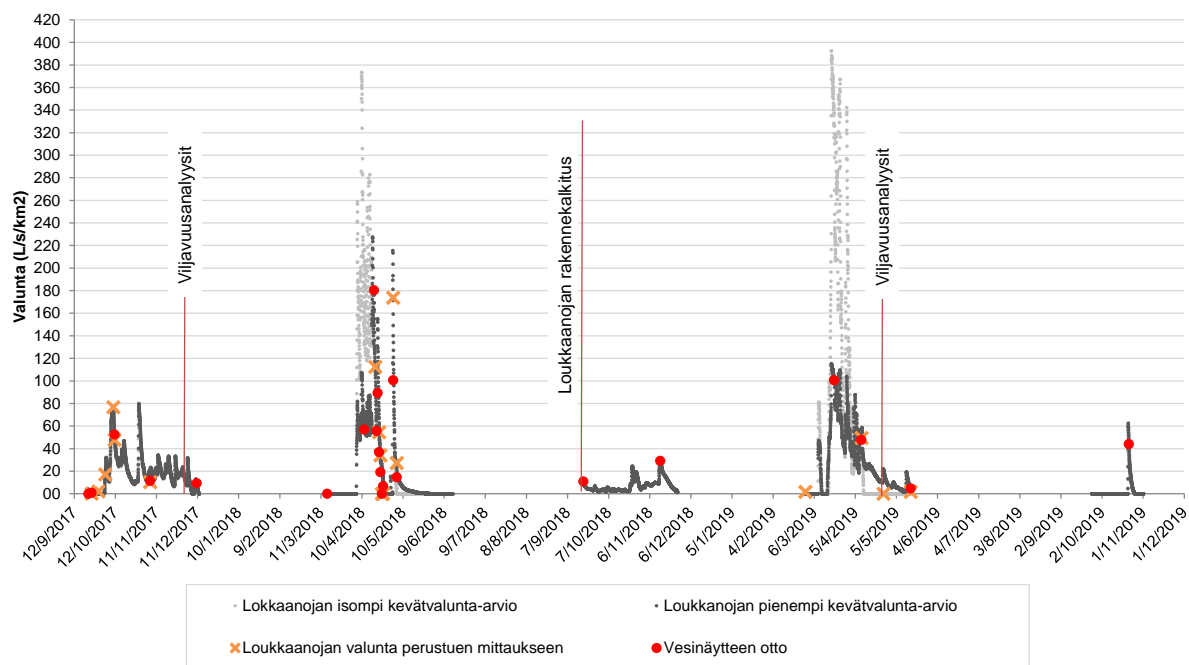
Kuva 3.13 Loukkaanojassa oli runsaasti kasvillisuutta, kun jatkuvatoimiset mittalaitteet asennettiin ojiin 24.9.2019. Martti Seppälä sitoo naruja merkiksi mittarien asennuspaikkaan.
Kuva: Maria Kämäri.

3.4 Vedenlaadun seuranta käsinäytteillä

Vesinäytteitä otettiin jatkuvatoimisen mittauksen rinnalla (vrt. Kuva 3.14). Ennen rakennekalkitusta vesinäytteitä kerättiin kohtuullisen paljon. Kuivan kesän seurauksena valunnat jäivät syksyllä 2018 rakennekalkituksen jälkeen varsin maltillisiksi eikä korkean virtaaman vesinäytteitä saatu toivotusti.

Keväällä 2019 kerättiin vesinäytteet ojista, jolloin valunta oli minimissä ja ojavesi seisovaa. Kyseiset vesinäytteet eivät kuvastaneet erityisen hyvin pelloilta tulevan veden laatua, sillä seisovan ojaveden laatu muuttuu erityisesti lämpimissä olosuhteissa. Esimerkiksi perustuotanto ojissa muuttaa ojavesien laatua, jos vesi ei vaihdu.

Vesinäytteitä varauduttiin keräämään kesällä 2019 rankkasateiden ja niiden aiheuttamien valuntojen aikaan, jotta saataisiin tarkempi käsitys kesäajan valuntapiikkien aikaisista ravinnehuuhtoumista ja erityisesti rakennekalkituksen vaikutuksista liuenneen fosforin huuhtoumiin. Kesällä 2019 ei kuitenkaan ollut voimakkaita valuntoja, joten käsinäytteitä ei kerätty. Syksyllä 2019 valunnat voimistuivat ja käsinäytteitä kerättiin 4 kappaletta.

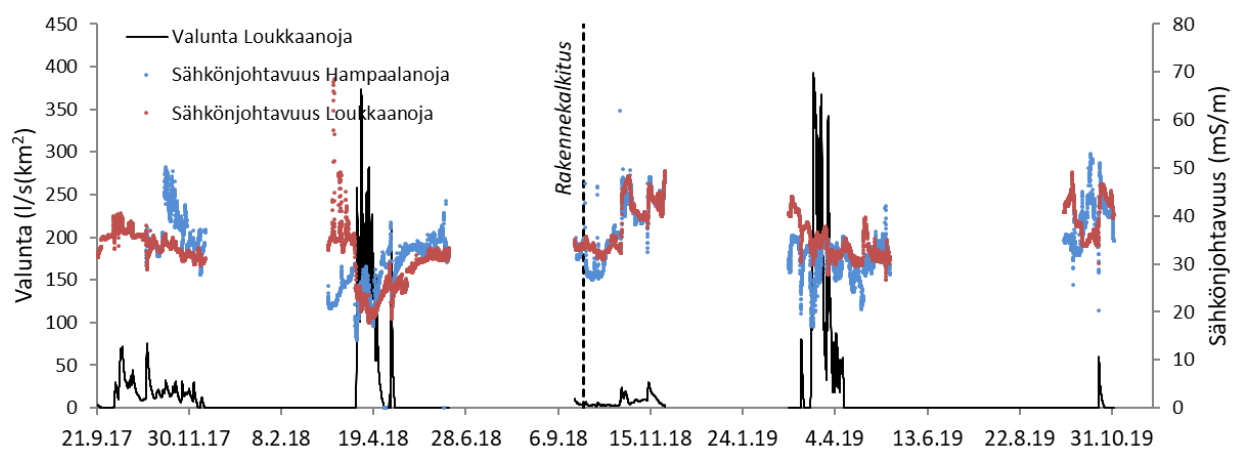


Kuva 3.14 Loukkaanojalle määritetyt kaksi valunta-arviota vedenpinnankorkeusmittauksen, hetkellisen virtaamamittauksen ja referenssialueiden valuntojen perusteella. Punaiset ympyrät ovat ojavesien käsinäytteiden keruun ajankohdat, joihin on liitetty pienempi kevävalunta-arvio.

3.5 Rakennekalkituksen vaikutus pelto-ojien vedenlaatuun

Sähkönjohtavuus pelto-ojissa

Hampaalan- ja Loukkaanojan sähkönjohtavuus oli lähtötasoltaan korkea. Luultavimmin broilerin lanta aiheutti korkeita nitraattipitoisuuksia. Rakennekalkin oletetaan nostavan valumavesien sähkönjohtavuutta, koska kalkista liukenee kalsiumioneita (Ca^{2+}) maaveteen. Syksy 2018 oli kuiva ja valunta pelloilta ojiin vähäistä. Rakennekalkituksen vaikutusta ei näkynyt syksyllä 2018 Loukkaanojan sähkönjohtavuudessa, joka oli kutakuinkin sama kuin käsittelemättömässä Hampaalanojassa (Kuva 3.15). Kevään 2019 mittausjaksolla IV johtokyky oli Hampaalanojassa Loukkaanojaa alhaisempi ollen täten hieman korkeampi rakennekalkittujen peltojen valumavedessä (Taulukko 6).



Kuva 3.15 Sähkönjohtavuus Hampaalan- ja Loukkaanojassa sekä suurempi valunta-arvio.

Veden happamuuden vaihtelu pelto-ojissa

Rakennekalkki voi nostaa valumavesien pH:ta kalkin reagoiessa maassa, mutta vaikutuksen kesto ei tunneta. Ennen rakennekalkitusta ojavesien pH:n keskiarvo oli 6,5–6,8. Rakennekalkituksen jälkeen syksyllä 2018 pH laski Hampaalanojassa selvästi happamaksi, mutta vastaavaa laskua ei tapahtunut Loukkaanojassa (Kuva 3.16). Tämä voi johtua siitä, että rakennekalkitus hillitsi syksyllä 2018 eli kolme kuukautta rakennekalkituksen jälkeen pH:n laskua Loukkaanojassa.

Maan pH-arvoissa ei ollut muutosta näytteissä, jotka tutkittiin puoli vuotta rakennekalkituksen jälkeen. Samanaikaisesti seurantajaksolla IV rakennekalkitun ja vertailualueen ojavesien pH:n keskiarvo oli kummassakin 6,7 (Taulukko 6). Ajalle 16.3.–1.4.2019 osuivat kevään 2019 valuntahuiput. Tuolloin veden pH oli vain vähän matalampi Hampaalanojassa (pH = 6,3) verrattuna Loukkaanojaan (pH = 6,5) (Taulukko7).

Havaintojen valossa rakennekalkitus saattoi nostaa Loukkaanojan pH:ta aluksi, mutta puoli vuotta rakennekalkituksen jälkeen pH-vaikutusta ei enää ollut. Peltojen pH-taso oli viljavuusluokitukseltaan ”hyvä” jo ennen rakennekalkitusta. pH:n muutokset olisivat voineet olla ojavedessä voimakkaampia, jos olisi kalkittu hapanta maata.

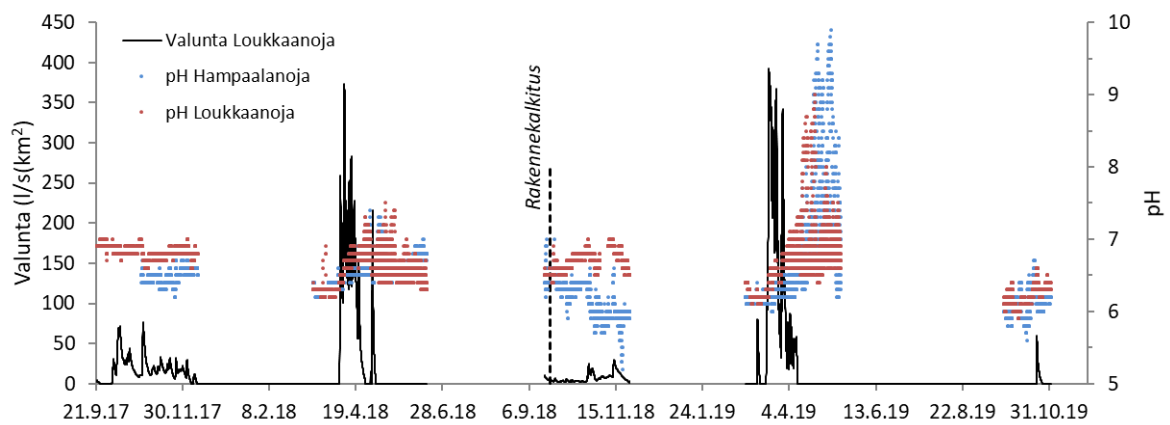
Hampaalanojan keväällä 2019 käsin kerättyjen yksittäisten vesinäytteiden (4 kpl) pH oli 6,4–6,9 ja Loukkaanojan 6,5–6,9. Jatkuvatoiminen mittaus osoitti, että vaihtelu oli todellisuudessa paljon suurempaa. Anturien mukaan Hampaalanojalla pH vaihteli välillä 5,2–9,9 ja Loukkaanojassa 6,1–9,0 (Kuva 3.16). Huhti-toukokuun vaihteessa keväällä 2019 pH:n vuorokausivaihtelu oli yli kaksi yksikköä (Kuva 3.17). Hampaalanojassa pH oli iltapäivällä ja illalla yli 9. Samanaikaisesti seisovassa ojavedessä oli voimakasta veden lämpötilan vuorokausivaihtelua. Myös Loukkaanojassa esiintyi iltapäivisin korkeita pH-arvoja 8–9 samalla, kun vedenpinta aleni. Korkeat pH arvot selittynevät voimakkaalla perustuotannolla ojavedessä päiväsaikaan. Kohonneita pH arvoja ei voida selittää rakennekalkituksella, sillä pH:n vuorokausivaihtelua oli molemmissa ojissa.

Taulukko 6. Jatkuvatoimisen mittauksen seurantaparametrien keskiarvot Hampaalanojassa (H) ja Loukkaanojassa (L). Isompi virtaama-arvio.

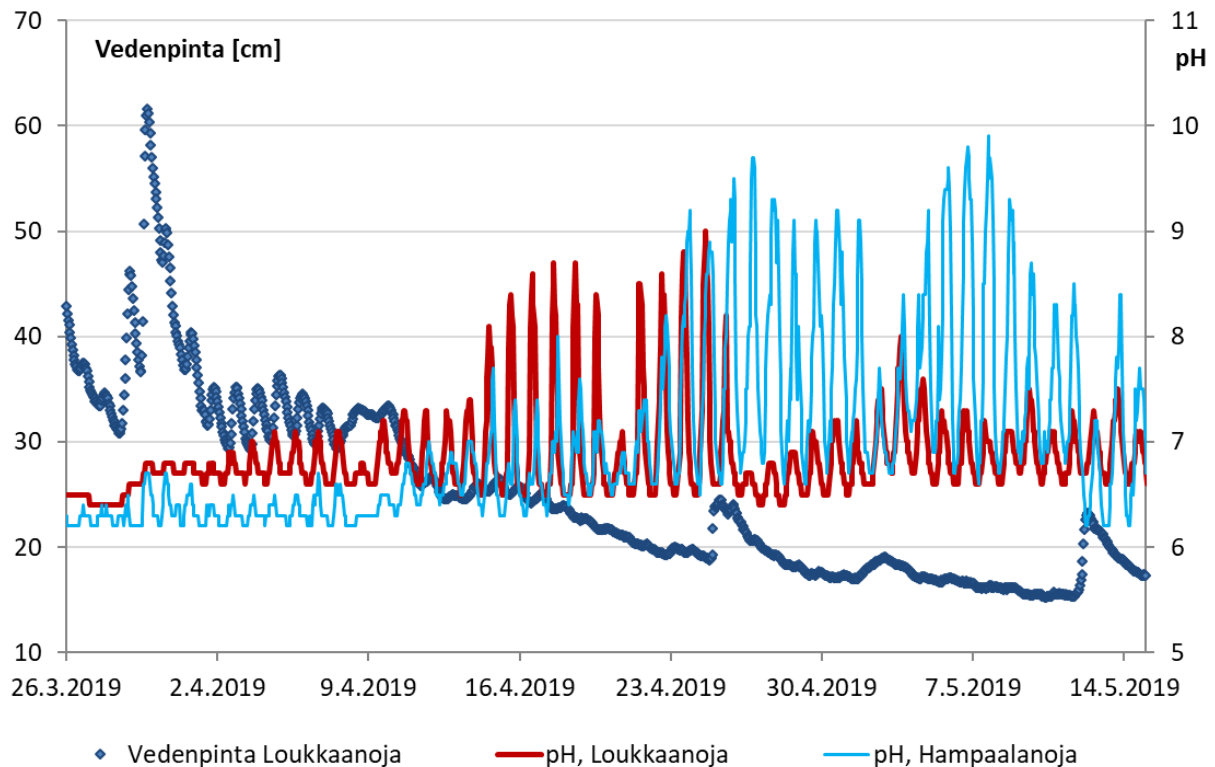
Jakso	Vuodenaika	Seuranta suhteessa rakennekalkitukseen	Johtokyky (mS/m)		pH		Sameus (FTU)		Veden lämpötila (°C)		Virtaama (L/s)	
			H	L	H	L	H	L	H	L	H	L
I	syksy 2017	ennen rakennekalkitusta	36,7	34,3	6,5	6,8	9,8	6,3	3,2	4,4	2,4	10,4
II	talvi-kevät 2018	ennen rakennekalkitusta	28,4	29,0	6,5	6,6	18,4	14,6	7,1	7,1	4,4	19,3
III	syksy 2018	jälkeen Loukkaanojan kalkituksen	37,0	38,0	6,2	6,7	6,8	2,4	6,1	5,4	1,0	4,2
IV	talvi-kevät 2019	jälkeen Loukkaanojan kalkituksen	30,7	34,2	6,7	6,7	9,6	3,9	3,8	3,8	6,6	28,8

Taulukko 7. Jatkuvatoimisen mittauksen seurantaparametrien keskiarvot kahtena perättäisenä kevätvalunnan ajanjaksona Loukkaanojassa (L) ja Hampaalanojassa (H) noin puoli vuotta Loukkaanojan peltojen rakennekalkituksen jälkeen. (Isompi valunta-arvio).

Jakso	Aika	Johtokyky (mS/m)		pH		Sameus (FTU)		Veden lämpötila (°C)		Valunta (L/s/km ²)
		H	L	H	L	H	L	H	L	
IV	16.3.-1.4.2019	29,8	34,1	6,3	6,5	20,8	4,9	0,7	0,2	197
IV	2.4.-10.4.2019	31,2	32,0	6,4	6,8	13,7	3,3	1,9	2,7	45



Kuva 3.16 Veden pH Hampaalan- ja Loukkaanojassa sekä suurempi valunta-arvio.



Kuva 3.17 Ojavesien pH vaihteli vuorokaudenajan mukaan voimakkaasti keväällä 2019. pH nousi luultavasti uomassa tapahtuneen perustuotannon takia korkeaksi (>8) iltapäivällä/illalla vedenpinnan hitaasti laskiessa eli ojiin ei juurikaan tullut lisävettä valuma-alueelta. Ilma oli päivisin lämmin ja yöllä oli viileää, joten vuorokauden sisäistä ojavesien lämpötilan vaihtelua esiintyi yhdessä pH:n heilunnan kanssa.

Sameus- ja kiintoainemuutokset

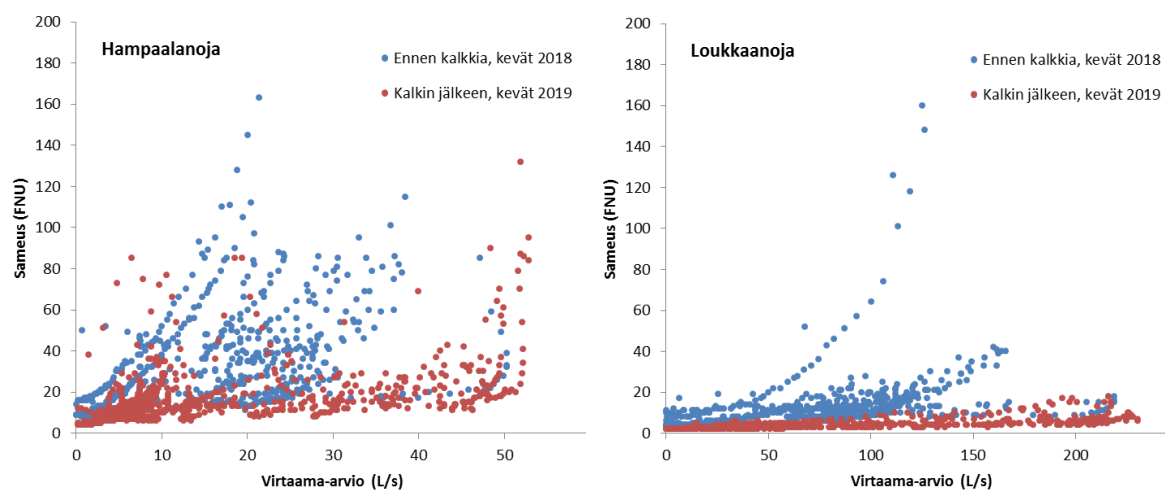
Rakennekalkitus oletettavasti vähentää peltojen eroosiota, mikä näkyy valumavesien alhaisempina kiintoainepitoisuuksina. Seurannassa todettiin, että ojavesien sameus oli jo ennen rakennekalkitusta alhainen, vaikka valuma-alueet ovat pieniä ja peltojen osuus niissä huomattava. Oletuksena oli, että ojavesien sameus olisi ollut paljon suurempaa. Esimerkiksi Vantaanjoen valuma-alueesta peltoja on vain 23 %, mutta keskimääräinen sameus Vantaanjoessa (42–46 FTU, Kämäri ym. 2018) on selvästi suurempi kuin tutkimuskohteen ojissa 2–18 FTU (Taulukko 6). Hampaalanojan jatkuvatoimisella mittarilla mitattu keskimääräinen sameus oli ennen rakennekalkitusta vain 15 FTU ja Loukkaanojan 10 FTU.

Veden sameus oli kummassakin ojassa keväällä 2019 vähäisempää kuin keväällä 2018 (Kuva 4). Kovarianssianalyysillä testattiin, onko sameus suhteessa virtaamaan pienentynyt

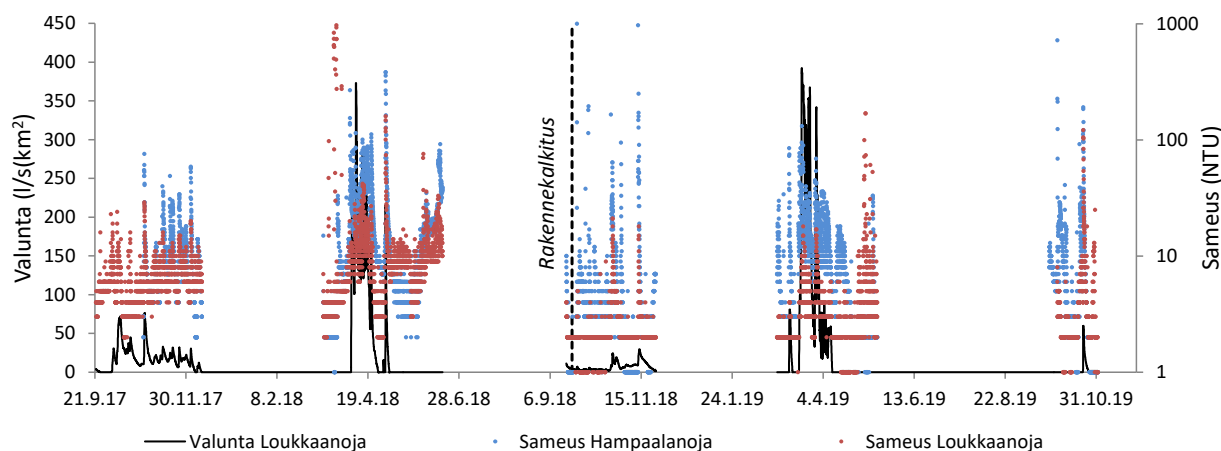
rakennekalkituksen jälkeen. Testissä käytettiin isompaa valunta-arviota (kts. kuva 3.14), jolle tehtiin logaritmimuunnos. Testin mukaan sekä rakennekalkitussa kohteessa että vertailualueella Hampaalanojassa sameus oli pienentynyt merkittävästi ($p < 0.0001$) jaksojen III–IV aikana verrattuna mittausjaksoihin I–II. Tämän tarkastelun perusteella jokin muu tekijä kuin rakennekalkitus vaikutti sameuden vähenemään. LOHKO-hankkeessa vihtiläisen Laurinojan sameus pieneni 34 % rakennekalkituksen jälkeen (Valkama ja Mikkilä 2018), mutta Laurinojan vesi oli huomattavasti sameampaa verrattuna Loukkaanojaan. Laurinojan valuma-alueen pelloille levitettiin meesakalkkia 3,8–8 t/ha.

Loukkaanojassa mitattiin 4.5.2019 jälkeen hetkittäin kohonneita sameuslukemia, vaikka valunta oli minimissä (Kuva 3.19). Ne saattoivat aiheutua salaojakaivoon viedystä pumpusta (lohko 20), ja sieltä pumpatusta ruosteisesta vedestä tai keväiset peltotyöt ja työkoneilla ajo pelloilla on voinut aiheuttaa hetkittäistä sameuden nousua vähävetisessä ojassa.

Rakennekalkitus ei vaikuttanut havaintojen perusteella ojavesien kiintoainepitoisuuteen (Liite 2).



Kuva 3.18 Sameus suhteessa virtaama-arviioon keväällä maaliskuu-kesäkuussa 2018 ennen kalkin levitystä (22.9.2018) ja levityksen jälkeen helmi-toukokuussa 2019. Sameus suhteessa virtaama-arviioon oli kummassakin ojassa merkittävästi pienempi suhteessa virtaamaan kalkin levityksen jälkeen keväällä 2018. Laskennassa käytettiin Loukkaanojan isompaa virtaama-arviota.



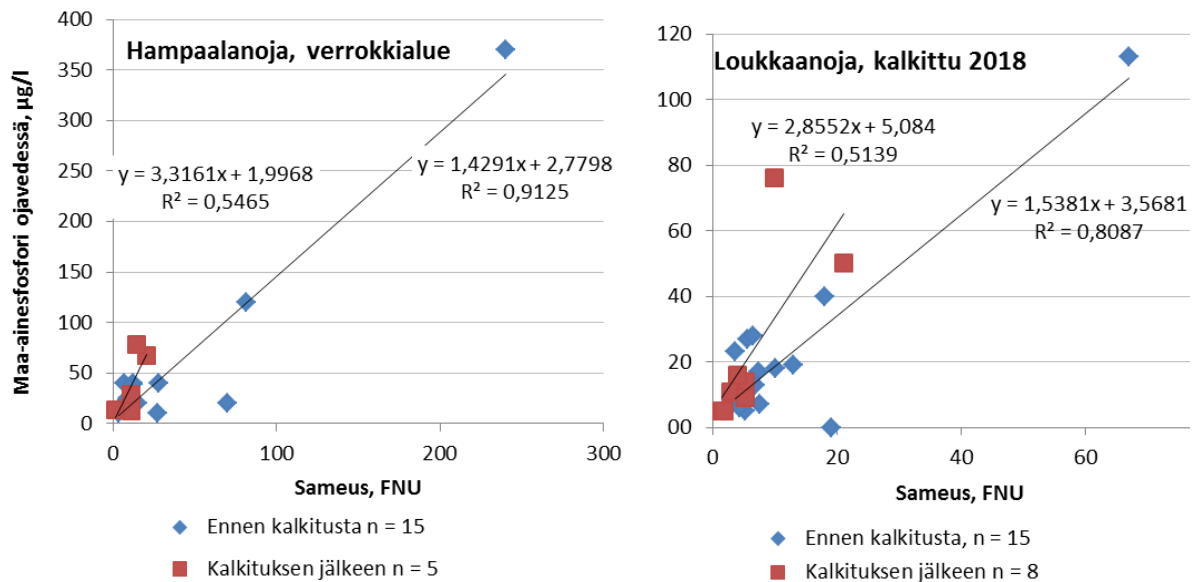
Kuva 3.19 Sameus Hampaalan- ja Loukkaanojalla (suurempi valunta-arvio).

Fosfori

Tutkimus suunniteltiin olettaen, että valuma-alueen pellot ovat savisia. Vuonna 2017 otettujen viljavuusnäytteiden perusteella kaikki lohkot ovat kuitenkin hiesua tai hiesusavea, ja mekaanisen maalajimäärityksen mukaan savesta on vain 35 %. Tämä selittää osin alueen alhaiset sameuslukemat. Pakkalanjärven osavaluma-alueet eivät vastaa fosforin huuhtouman osalta savipeltoja, sillä tyypillisesti savipelloilta pintavaluntana tai salaojien kautta huuhtoutuva fosfori on suurimmaksi osaksi maa-ainekseen sitoutunut fosforia (Uusitalo ym. 2003). Esimerkiksi Lounais-Suomen savipeltovaltaisten valuma-alueiden virtavesissä maa-ainesfosforin osuus kokonaisfosforista on yleisesti >70 %. Sen sijaan Pakkalanjärven tutkimusalueella maa-ainesfosforin osuus ojavesien kokonaisfosforipitoisuudesta oli keskimäärin vain 28 %. Alhaisissa sameusarvoissa maa-ainesfosforin pitoisuudet vaihtelivat paljon suhteessa sameuteen ja vedenlaadun seurannassa ei löydetty vahvaa yhteyttä maa-ainesfosforille ja sameudelle. Yhteyden löytäminen on olennaista, sillä nimenomaan sameuden muutoksella oli tarkoitus seurata rakennekalkin vaikutusta maa-ainesfosforin muutoksiin.

Sameuden ja maa-ainesfosforin välinen yhteys vaihteli ajallisesti kummassakin ojassa (Kuva 3.20). Ennen rakennekalkitusta kerättyjen näytteiden osalta sameuden ja maa-ainesfosforin yhteyden vaikuttaa voimakkaasti yksi keväinen, hyvin samea näyte

(Hampaalanoja 240 FNU, Loukkaanoja 67 FNU, 2.5.2018), jolloin maa-ainesfosforin pitoisuudet olivat Hampaalanojassa 370 µg/l ja Loukkaanojassa 113 µg/l.



Kuva 3.20 Sameuden ja maa-ainesfosforin yhteys käsinäytteiden perusteella on melko samanlainen Hampaalan- ja Loukkaanojassa.

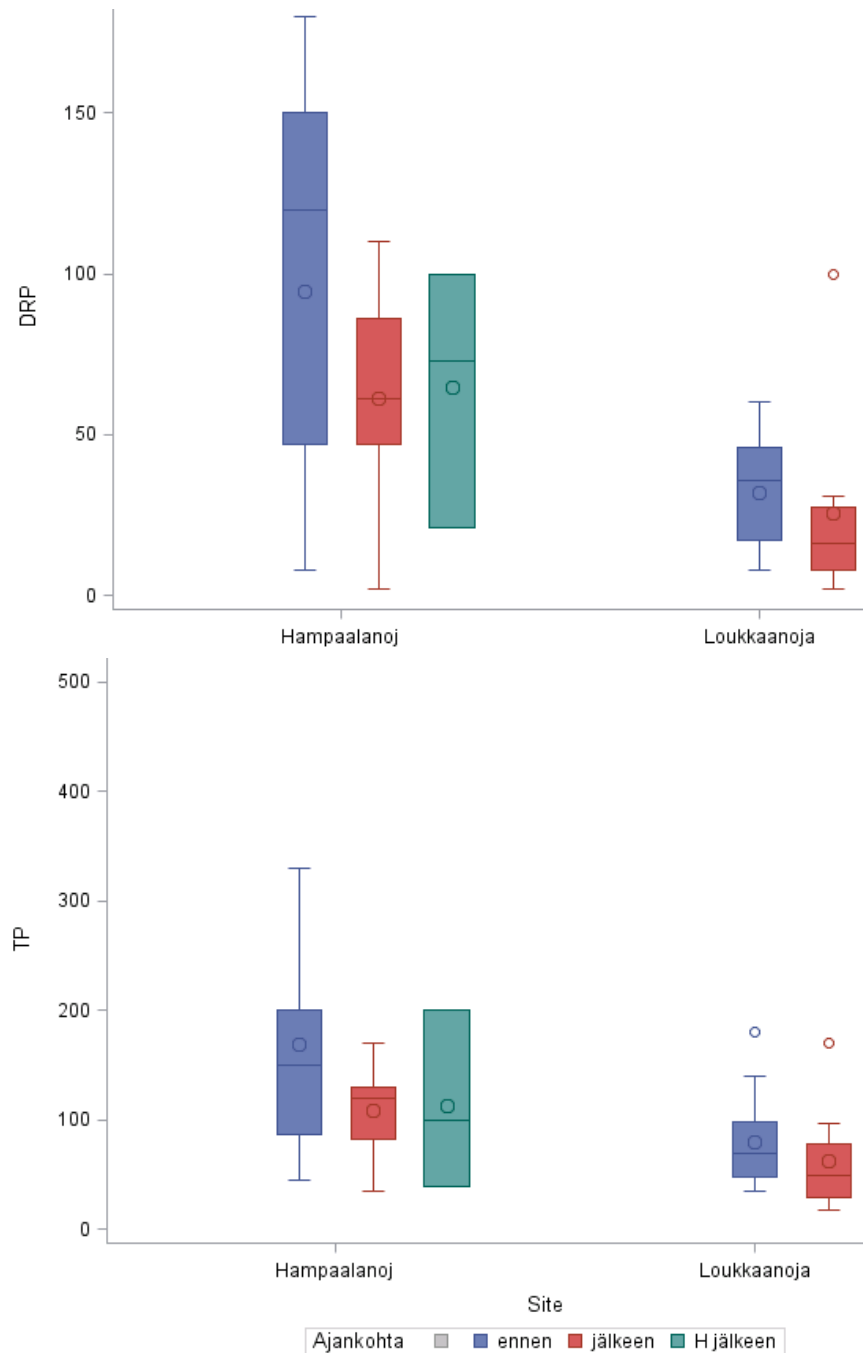
Koska ojavesien sameus oli ennakoitua vähäisempää, tutkimuksen painopistettä päätettiin siirtää maa-ainesfosforista liuenneen reaktiivisen fosforin (DRP) muutoksiin. Tutkimusalueen ojien liuenneen reaktiivisen fosforin poikkeuksellisen suuri osuus kokonaisfosforista (Hampaalanoja 57 % keskihajonta 21 %, Loukkaanoja 39 % keskihajonta 15 %) ja osan peltojen korkeat P-luvut tukivat tätä päätöstä. Vertailun vuoksi LOHKO-hankkeessa tutkitussa Laurinojassa DRP/TP suhde oli 22 % (Valkama & Mikkilä, 2018). Kyseisessä kohteessa rakennekalkitus vähensi maa-ainesfosforin huuhtoumaa valuma-alueella, jossa ojaveden savisameutta voimistivat kynnetyt savipellot. Vedenlaadun, mukaan lukien liuenneen reaktiivisen fosforin pitoisuuksien, seuranta Laurinojalla jatketaan ja niistä on odotettavissa tuloksia RAKUVE-hankkeessa.

Kokonaisfosforin ja liuenneen reaktiivisen fosforin pitoisuus on pääsääntöisesti ollut ennen ja jälkeen rakennekalkituksen korkeampi Hampaalanojassa verrattuna Loukkaanojaan (Kuva 3.21). Täten myös liuenneen reaktiivisen fosforin pitoisuudet suhteessa valunta-arvioon ovat suurempia Hampaalanojalla kuin Loukkaanojalla (Kuva 3.22). Kalkituksen jälkeen Loukkaanojan vesinäytteissä liuenneen reaktiivisen fosforin pitoisuudet olivat pieniä lukuun ottamatta 21.10.2019 otettua näytettä (Kuva 3.22). Jatkoseurannassa selviää asettuvatko

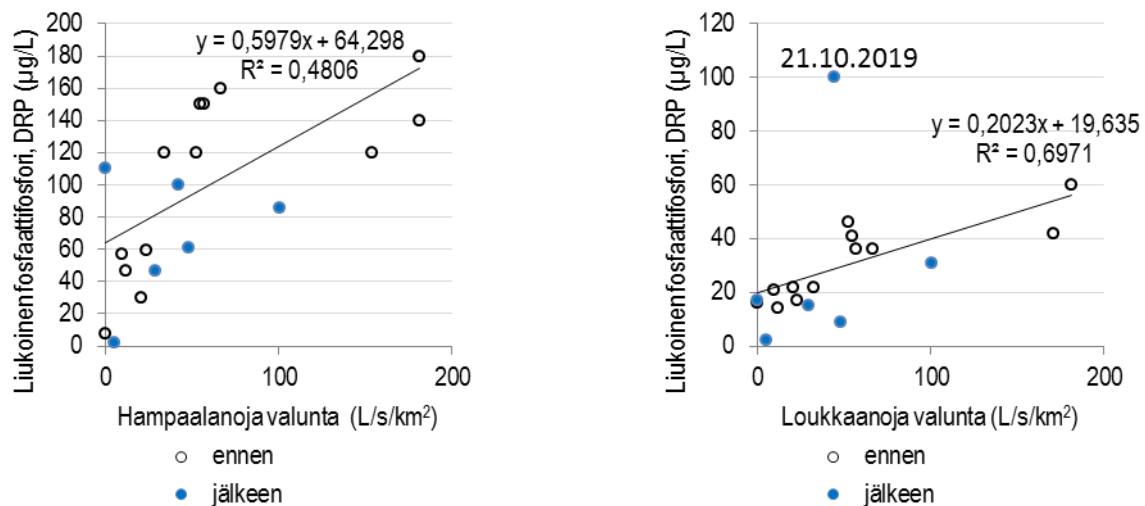
liuennon reaktiivisen fosforin pitoisuudet ojissa eri valuntatilanteissa alemmalle tasolle verrattuna näytteisiin, jotka on kerätty ennen kalkitusta. DRP/TP suhteeseen rakennekalkituksella ei ollut vaikutusta (Kuva 3.23).

Kahden eri valunta-arvion suhteen fosforin pitoisuudet ojissa ennen ja jälkeen Loukkaanojan rakennekalkituksen ovat liitteenä (Liite 3).

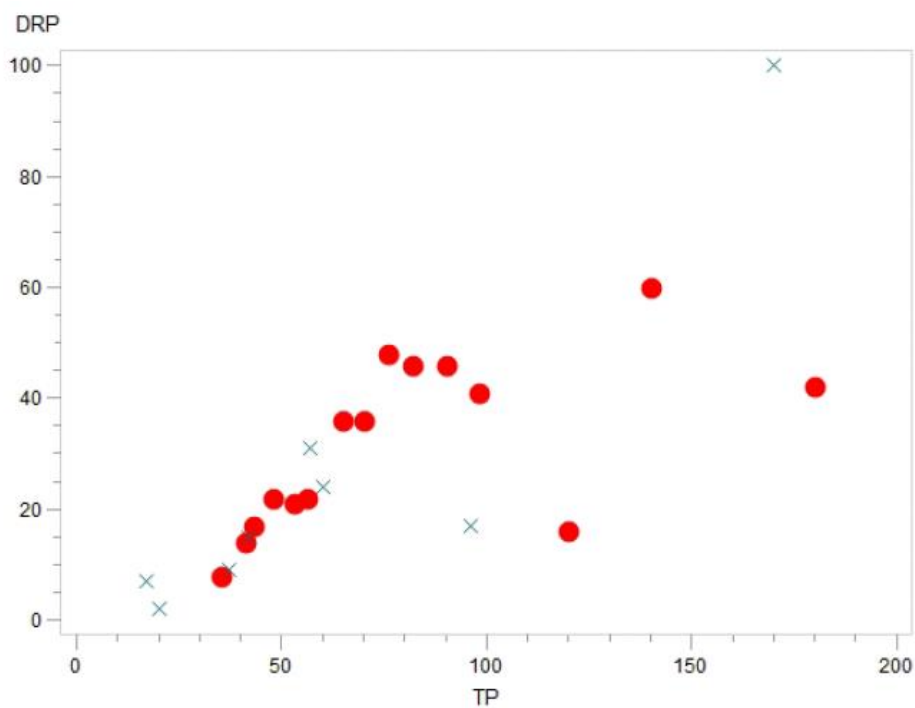
Keväällä huhtikuussa ja toukokuun alussa 2019 oli kuivia jaksoja, jolloin ojissa ei ollut virtaamaa. Seisovassa vedessä perustuotanto kulutti ojavedestä leville välittömästi käyttökelpoisen liuennon reaktiivisen fosforin, joka romahti arvoon 2 µg/l (15.5.2019). Aikaisemmin keväällä (9.4.2019) liuennutta reaktiivista fosforia oli Hampaalaojassa 61 µg/l ja Loukkaanojassa 9 µg/l. Keväiset ojavesistä mitatut ravinnepitoisuudet ovat siis riippuvaisia myös muista tekijöistä kuin siitä millaista vettä pelloilta suotautuu salaojista tai pintavaluntana ojiin. Pitoisuuksiin vaikuttavat ympäristötekijät kuten vesitilanne, lämpötila, kasvun eteneminen ja ravinteiden kierto ojassa.



Kuva 3.21 Liukoinen reaktiivinen fosfori (DRP, µg/l) ja kokonaisfosfori (TP, µg/l) ennen ($n = 15$) ja jälkeen (Hampaalanoja, $n = 5$, Loukkaanoja $n = 8$) Loukkaanaojan rakennekalkituksen. Vihreä palkki sisältää näytteet ($n = 3$), jotka on otettu Hampaalanojasta sen valuma-alueen kalkituksen jälkeen syksyllä 2019. Laatikoissa näkyvä vaakaviiva on mediaani ja täplä palkin sisällä vesinäytteiden keskiarvo.



Kuva 3.22 Liukoisen fosfaattifosforin pitoisuudet ennen ja jälkeen Loukkaanojan rakennekalkituksen. Valunta on arvioitu pienempi valunta. Regressiosuora liittyy ennen kalkitusta kerättyihin näytteisiin.



Kuva 3.23 Loukkaanojassa kokonaisfosfori (TP) vs. liukoinen reaktiivinen fosfori (DRP) ennen (punaiset pallot) ja jälkeen (vihreät ristit) rakennekalkituksen.

4. Hankkeen vaikutukset ja tulosten hyödyntäminen

Hanke toteutti suhteellisen pienillä resursseilla toistaiseksi laajimman rakennekalkituksen Suomessa. Alueella havaittu eroosion vähäisyys ja valunnan määrityksen haasteellisuus ovat tekijöitä, joiden vaikutuksesta rakennekalkituksen vaikutus fosforikuormituksen vähentäjänä jäi osin epäselväksi. Lisäksi hankkeen vesiensuojelliset tulokset ovat kytköksissä kyseisen tutkimusalueen olosuhteisiin, maaperään ja viljelykäytäntöihin eivätkä siten ole suoraan sovellettavissa muissa kohteissa.

Valuma-alueella tehtyjen yksittäisten toimien vaikutuksen arviointi on ylipäätään hyvin vaikeaa, sillä se edellyttää rakennekalkituksen ja kaikkien muidenkin fosforikuormitukseen vaikuttavien tekijöiden hallintaa, mikä on haastavaa vaikka resursseja seurantaan olisi runsaasti ja alue etukäteen tutkimusnäkökulmasta huolellisesti valittu. Tätä näkökulmaa vasten Pakkalanjärven rakennekalkituksen voidaan katsoa täyttäneen tehtävänsä tuoden valuma-alueen tietoa vaikutusten suunnasta.

Hanke toi arvokasta lisätietoa rakennekalkituksen mahdollisista vaikutuksista peltomaahan ja valumavesien laatuun. Hankkeen aikana yleinen kiinnostus rakennekalkitusta kohtaan viljelijöiden keskuudessa vaikuttaa lisääntyneen. Rakennekalkitusta on syksyllä 2019 toteutettu eri puolilla Suomea ja toimet ovat olleet esillä mediassa sekä some-kanavissa. Samanaikaisesti tutkimuksellisesti pitkäjänteisesti kerättyä tietoa rakennekalkituksen vaikutuksista erityyppisissä pelloissa kaivataan lisää, sillä olemassa olevat tutkimustulokset rakennekalkituksen vaikutuksista peltomaan rakenteeseen ja valumavesiin eivät ole yhteneväisiä.

Yksi jatkossa selvitettävä asia on tarkastella viljelijän näkökulmasta rakennekalkituksen taloudellisesta kannattavuutta suhteessa tavalliseen maatalouskalkitukseen. Uuden ohjelmakauden lähestyessä myös ympäristön tilaa parantavien toimenpiteiden merkitys on noussut aiempaa suuremmaksi. 2020-2022 vuosille on jo varattu merkittävä, 15 miljoonan euron rahoitus Varsinais-Suomen alueelle peltojen kipsikäsittelyyn. Samaisessa rahoituspaketissa varattiin myös rahat sekä rakennekalkituksen tutkimuksen jatkamiseen että maanparannuskuitujen tutkimuksen jatkamiseen.

Mikäli tulevalla ohjelmakaudella toimenpiteitä tulee enemmän ympäristökorvauksen kautta toteutettaviksi ja viljelijän tulee kyetä tekemään ratkaisuja omien peltojensa kasvukunnon parantamiseksi, tulee myös olla riittävä tutkimuksellinen näyttö sekä selkeät käytännönläheiset ohjeet, miten eri menetelmiä pystyy omalla tilallaan hyödyntämään ja näiden vaikutuksia arvioimaan. Laajamittaisesti toteutettavat toimenpiteet eivät voi perustua ainoastaan kaupallisten toimijoiden suosituksiin. Tätä arviointia varten hankkeen tulokset sekä mm. työvihko joka hankkeen osana tehtiin tulevat varmasti käyttöön, jolleivät suoraan hankkeen julkaisuina, niin eri toimijat voivat hyödyntää niitä muita materiaaleja laatiessa.

5. Viestinnän toteutuminen ja tulokset

Hankkeen aikana viestittiin käyttäen suunnitellusti blogialustaa, viestintätapahtumia sekä olemalla yhteydessä eri sidosryhmiin, ohjausryhmätyön kautta, mutta myös suoraan mm. ammattikorkeakouluun, alueen viljelijöihin sekä kylän asukkaisiin sekä yhdistysaktiiveihin (mm. kalkitustapahtuma). Hankkeesta laadittiin myös opinnäytetyö sekä rakennekalkituksen työvihko opinnäytetyön osana.

Teemasta kirjoitettiin useita blogitekstejä hankkeen blogisivulla (<http://rakennekalkitus.blogspot.com/>, viitattu 8.12.2019) kattaen hankkeen perustamisen, aikeet ja toteutumisen. Blogiteksteillä saavutettiin melko rajallinen lukijajoukko, vaikka tekstejä jaettiin mm. Twitterissä. Tyypillinen lukijamäärä oli kymmeniä parhaiden yltäessä noin sataan näyttökertaan.

Viestinnän kannalta onnistunein tilaisuus oli hankkeen järjestämä pellonpiennarpäivä, joka keräsi kokoon noin 50 hengen yleisön ja jonka puitteissa pidettiin useita asiantuntijapuheenvuoroja sekä tutustuttiin itse menetelmään. Tästä myös kirjoitettiin artikkelit Farmit.net –sivustolle sekä paikallisiin lehtiin. Lehtien levikki on Kangasalan sekä Pälkäneen kuntien alueella pääosin. Farmit.net -sivusto on maatalouden verkkomedioista luetuin ja tavoittaa tuhansia viljelijöitä. Farmitin jäsenenä ovat useimmat suurista maatalousalan yrityksistä Suomessa.

Hanke oli myös esillä hanketilaisuudessa yhdessä muiden alueen hankkeiden kanssa hankejakson alussa; Kaikkineen alueella käynnistyi tuolloin 4 erillistä hanketta. Myös YM järjestämiin hankefoorumeihin osallistuttiin sekä pääkaupunkiseudulla että Lahdessa.

Rakennekalkituksen työvihko valmistui Raita Markulan Hämeen ammattikorkeakoulun opinnäytetyönä. Työvirossa esitellään rakennekalkitus siten, että viljelijät voivat toteuttaa omien peltöjen rakennekalkituksen.

Viestintä onnistui kokonaisuutena arvioiden kohtalaisesti; Alun suunnitelmien mukaiseen tekemiseen olisi tullut varata suurempi ja hankkeen ulkopuolinen resurssi. Toisaalta tällaisen varaaminen olisi asettanut hankkeelle hankekokonaisuuteen nähden suuren kustannuspaineen.

Hankkeen päättymisen jälkeen Blogi jää näkyviin toistaiseksi; Myös Farmit.netin artikkeli on edelleen (viitattu 11.12.2019) luettavissa. Lisäksi hankkeesta tullaan mahdollisesti tekemään lisäraportteja SYKEN sähköisiin julkaisuihin.

6. Talousraportti

Hankkeen budjetti oli 127679€ josta YM rahoitusosuus oli 102098€ ja loppu oli omarahotteista hanketoteuttajan rahoitusta. Hanke toteutui budjetoidut kulut alittaen, lopullinen kustannus ollen 103605€, josta YM rahoitusosuus 78862€ ja loppu hanketoteuttajan omaa rahoitusta. Budjetin alittamiseen johtivat mm. alhaisempi käytetty kalkin määrä sekä hankkeen varojen vähäisempi käyttö mm. opintomatkoihin. Hankkeen aikana ei myöskään ilmennyt muita erityisiä kuluja, johon näihin varattuja varoja olisi käytetty.

Toteuttajana Pakkalanjärven Suojeluyhdistys ry on ollut aiemmin talkoopohjaiseen toimintaan nojannut, paikallinen pieni yhdistys. Suurimpien hankkeiden kustannukset ovat olleet korkeintaan joitain tuhansia euroja. Tämä aiheutti erityisen ongelman hankerahoituksessa, sillä ainoastaan toteutuneet kulut voitiin maksaa YM toimesta. Hankerahoitus hoidettiin tällöin yksityisellä rahoituksella yhdistykselle rahaa lainaamalla sekä yhteistyökumppaneiden myöntämällä maksuajalla laskuille.

Tämä hankkeen alussa kutsuttu siltarahoitus voi koitua ongelmaksi, etenkin, mikäli kyseessä olisi suurempi hanke ja mm. puolivuotiseen maksamiseen ei olisi voitu siirtyä. Suurimmat rahoitettavat erät olivat kuitenkin kymmeniä tuhansia, joten aiemmin kuvatulla pienimuotoisella kyläyhdistyksellä ei useinkaan tällaisia varoja ole omassa kassassa vapaana.

Mikäli vastaavia hankkeita tullaan jatkossa tekemään, tulisi rahoittajatahon puolelta saada toteutettua budjettipohjainen maksatus; Hanke voisi raportoida etukäteen esimerkiksi puolivuotiskauden toimenpiteet ja budjetin mukaiset kulut, joita vastaan voitaisiin rahoitus saada. Hankkeen lopuksi maksetut ennakot ja toteutuneet kulut täsmättäisiin. Näin menettelemällä suurempi joukko kykenisi hankkeisiin lähtemään mukaan ja hanketoteutuksiin saataisiin erilaisia toteuttajatahoja, pienempiä ja suurempia. Muutoin hanketoteutukset saattavat jäädä vain pienemmän toteuttajajoukon saataville, käytännössä ammattikorkeakouluille tai säätiöille, joilla mainittu kymmenien tuhansien – jopa suurempi – rahoitus on hankkeisiin panostaa.

7. Suositukset tulevia hankkeita ja ohjelmia varten

Tutkimusalueen valinta

Pakkalanjärven valuma-alue valikoitui rakennekalkituspilotin kohteeksi, sillä paikallisilla viljelijöillä ja vesiensuojeluyhdistyksellä oli suuri motivaatio menetelmän kokeiluun. Kuten yllä todetaan, tutkimusalueen tulisi paikallisen innokkuuden ohella täyttää myös eräitä luonnontieteellisiä kriteerejä, kuten mahdollisuus luotettavaan veden määrän mittaukseen. Hampaalanojan ja Loukkaanojan veden liunneen fosforin pitoisuudet olivat korkeita ja tämä osin saattaa olla Pakkalanjärven huonon ekologisen tilan selittäjänä. Tässä suhteessa aluevalinta onnistui erinomaisesti. Toisaalta alueen valumavedet olivat poikkeuksellisen kirkkaita vallitsevaan maalajiin ja peltojen kaltevuuteen nähden. Tähän voi vaikuttaa monet tekijät: osa lohkoista oli kasvipeitteisiä, ja eräille niistä oli aiemmin levitetty lentotuhkaa, mitkä kummatkin ovat voineen vähentää eroosiota. Maaperä oli myös runsasmultaista, mikä osaltaan parantaa maan vesitaloutta ja vähentää sekin eroosiota. Pellot ovat sekä viljavuusnäytteiden että mekaanisten maanäyteanalyysien perusteella erittäin homogeenisia, lukuun ottamatta pieniä notkokohtia, joissa on enemmän eloperäistä maata.

Vedenlaadun ja -määrän seuranta

Jatkuvatoiminen vedenlaadun mittaus on suositeltavaa, kun halutaan selvittää pieniltä valuma-alueilta purkautuvan veden laatua. Valuntatapahtuvat ovat ajallisesti nopeita ja pelkkien käsinäytteiden avulla ei saada käsitystä vedenlaadun kokonaisvaihtelusta. Jatkuvatoiminen mittaus tuottaa valtavasti havaintoja tiheällä frekvenssillä. Tulosten analysointia on suositeltavaa tehdä ryhmätyönä, jotta tulee otettua huomioon monet mahdolliset tekijät, mitkä vaikuttavat havaintoihin.

Tässä tutkimuskohteessa jatkuvatoimisella ojavesien mittauksella selvitettiin rakennekalkituksen vaikutusta peltojen kiintoaine- ja fosforihuuhtoumiin sekä pH-arvoon. Tulosten analysoinnissa kuitenkin todettiin, että kaikki mittausaineisto ei kuvannut pelloilta ja valuma-alueelta tulevan veden laatua. Kohteen ojissa oli ajoittain seisovaa vettä, jolloin vedenlaatu muuttui huomattavasti biologisissa ja kemiallisissa prosesseissa. Onneksi tällaiset muutokset yleensä havaittiin tilanteissa, jolloin veden valunta ja ravinnekuormitus olivat vähäisiä.

Virtaaman määrittäminen osoittautui kohteessa hankalaksi, sillä alapuolinen järvi padottaa ojavesiä ajoittain. Virtaaman mittauksen ja määrittämisen haasteellisuudesta raportoitiin myös toisessa hallituksen kärkihankkeessa (Valkama & Mikkilä, 2018). Tässä kohteessa tärkeää on, että jatkossa näytteenoton yhteydessä toteutetaan aina myös hetkellinen virtaaman määrittäminen, jotta pitoisuudet saadaan suhteutettua virtaamaan. Uusissa hankkeissa, jos on mahdollista valita useampien eri kohteiden välillä, on suositeltavaa valita tutkimuskohde siten, että virtaama pystytään määrittämään mahdollisimman luotettavasti. Tämä mahdollistaa luotettavien ainevirtaamien ja niissä tapahtuvien muutosten arvioinnin. Hydrologin asiantuntemusta on syytä käyttää siis tutkimuskohdetta valittaessa ja selvittää mahdollisuus mittapadon rakentamiseen ja muut virtaaman määrittämiseen vaikuttavat asiat.

Viestintä

Tässä hankkeessa pellonpiennarpäivä, jossa esitellään toimintaa ”taivasalla” oli onnistunut ja vastaavia tilaisuuksia suositellaan järjestettäväksi myös muissa hankkeissa.

Hyväkään viestintä ei välttämättä leviä laajalle. Perustettua uutta rakennekalkituksen blogialustaa eivät laajat joukot löytäneet. Bloggeja on nykyään runsaasti. Suositeltavaa on, että tarjotaan hankkeen blogikirjoituksia asemansa vakiinnuttaneisiin blogeihin, joilla on valmiiksi laaja lukijakunta.

Pienehköissä hankkeissa viestintä saattaa jäädä esimerkiksi resurssien niukkuuden vuoksi vaatimattomaksi. Suositeltavaa on, että hankkeissa resursoidaan taloudellisesti ja aikataulullisesti hankkeen päätuloksen viestintä oikealle kohderyhmälle. Tietotulva on nykyaikana massiivista, joten viestintäammattilaisten osallistuminen viestinnän suunnitteluun ja toteutukseen on hankkeissa toivottavaa.

8. Johtopäätökset

Hankkeessa toteutettiin ensimmäistä kertaa Suomessa peltojen valuma-alueen rakennekalkitus ja toimenpiteen seuranta. Suuri osa työstä tehtiin talkootyönä, joten hanketta voidaan pitää kustannustehokkaana. Rakennekalkin on ajateltu suotuisissa olosuhteissa vähentävän sekä maa-ainesfosforin että leville täysin käyttökelpoisen liuenneen fosforin kuormitusta. Hankkeen kohdealueella, Hampaalanojalla ja Loukkaanojalla, vesi ei melko kaltevista savipelloista huolimatta ollut kovinkaan sameaa eikä rakennekalkitus vaikuttanut

sameutta alentavan. Ojavesissä oli kuitenkin korkeita liuenneen fosforin pitoisuuksia, luultavimmin peltolohkojen korkeiden fosforilukujen seurauksena. Toistaiseksi saatujen tulosten mukaan liuenneen fosforin pitoisuus vaikutti Loukkaanojassa pienentyneen jonkin verran, mutta tulos on muun muassa pitoisuushavaintojen vähyyden ja suuren hajonnan vuoksi epävarma. Kevään 2019 käsinäytteenotto olisi pitänyt suunnitella ja aikatauluttaa paremmin. Kesällä 2019 alueelle ei osunut rankkasateita, mutta syksyllä 2019 vesinäytteitä kerättiin tehostetusti ja niiden analysointi on kesken. Hampaalanojan rakennekalkitus tehtiin niin myöhään (syksyllä 2019), että vedenlaadun mahdollista muutosta ei voida vielä arvioida.

Hankkeen aikana kiinnostus rakennekalkitusta kohtaan on lisääntynyt. Aihetta tutkitaan muun muassa Suomen Kulttuurirahaston rahoittamassa Samassa Vedessä –hankkeessa. Lisäksi ympäristöministeriön Vesiensuojelun tehostamisohjelmasta rahoitetaan vuonna 2019 alkanut laajempi tutkimus- ja kehittämishanke, jossa toteutetaan rakennekalkitus Eurajoen Vähäjoella. Jälkimmäiseen hankkeeseen sisällytettiin myös Hampaalanojan ja Loukkaanojan vedenlaadun seuranta, joten tässä mielessä hanke on onnistunut hyvin: seuranta ei pääty liian aikaisin rakennekalkituksen pitkäaikaisen vaikutuksen arvioimiseksi.

Hanke oli erinomainen esimerkki käytännön verkostoitumisesta: hankkeessa yhdistyi kahden tutkimuslaitoksen (Suomen ympäristökeskus toimijana ja Luonnonvarakeskus ohjausryhmän kautta) osaaminen, ammattikorkeakoulun opintoihin ja paikallistason aktiiviseen toimintaan Pakkalanjärven suojeluyhdistyksen ja MPY Hampaalan kautta. Tarvittavan rakennekalkin määräästä ja itse aineen toimituksesta vastasi Nordkalk.

Rakennekalkikäsittelyllä on potentiaalia laajojen peltoalueiden vesiensuojelumenetelmäksi, josta myös viljelijä voi hyötyä parempana peltojen kasvukuntana. On kuitenkin vielä liian aikaista sanoa, miten tehokkaaksi rakennekalkitus osoittautuu, kun sitä koetellaan eri luonnon- ja viljelyolosuhteiden kombinaatioilla valuma-aluepiloteissa. Jos tulokset tulevat tukemaan rakennekalkin käyttöä vesiensuojelumenetelmänä, sille on vielä järjestettävä rahoitus, jotta menetelmän käyttö kasvaisi koskemaan niin suurta peltoalaa, että sillä olisi todellista merkitystä maataloudesta peräisin olevan fosforikuormituksen alentajana.

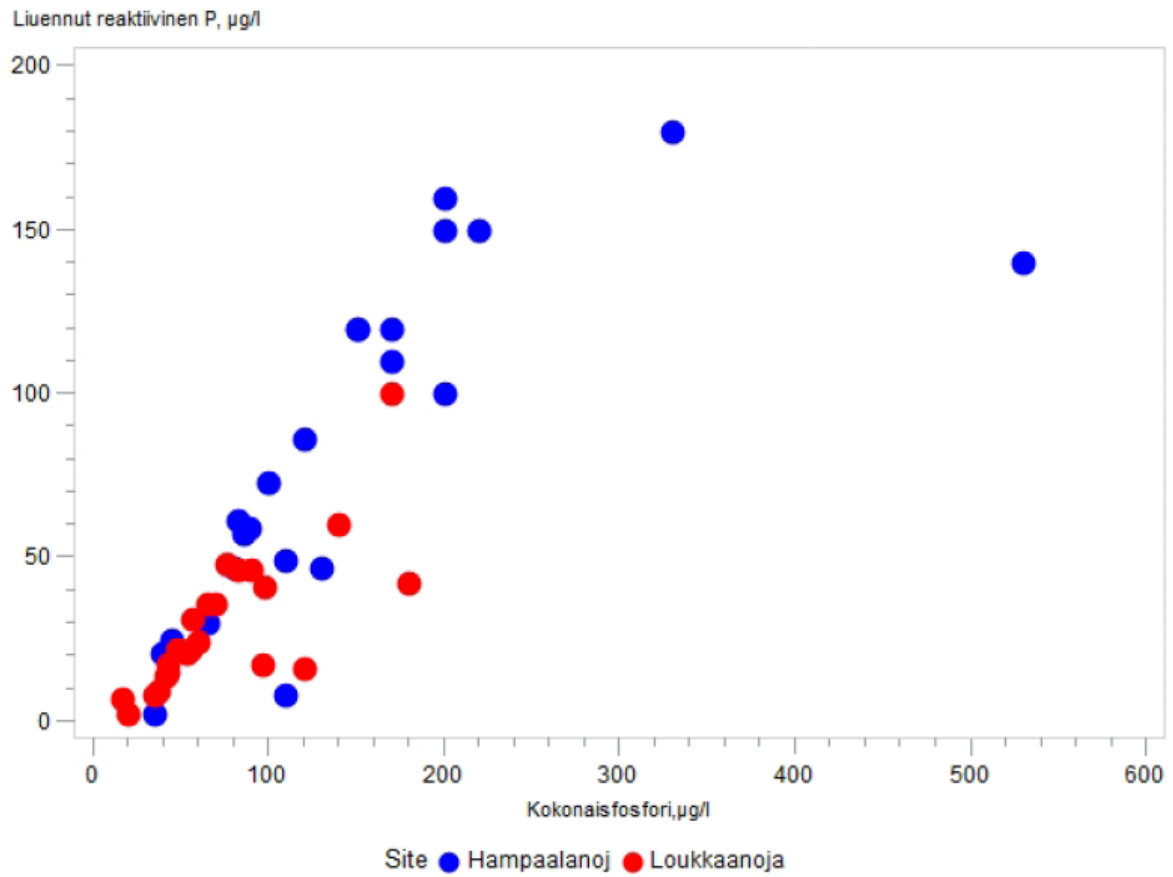
9. Kirjallisuus

- Alakukku L. & Aura E. (2006a). Zero tillage and surface layer liming promising technique to reduce clay soil erosion and phosphorus loading. Written for presentation at the 2006 ASABE Annual International Meeting in Portland, Oregon 9-12 July, 2006.
- Alakukku L. & Aura E. (2006b). Savimaan eroosion ja fosforin huuhtoutuminen pintakalkittaessa ja kevennettäessä muokkausta. *Pro Terra* No. 29/2006
- Aura E., Saarela K. & Rätty M. (2006). Savimaiden eroosio. *MTT:n selvityksiä* 118. 32 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:952-487-039-8>
- Bergström L., Kirchmann H., Djodjic F., Kyllmar K., Ulén B., Liu J., ym. (2015). Turnover and Losses of Phosphorus in Swedish Agricultural Soils: Long-Term Changes, Leaching Trends, and Mitigation Measures. *Journal of Environmental Quality*, 44, 512-523, doi:10.2134/jeq2014.04.0165.
- Ekholm P., Valkama P., Jaakkola E., Kiirikki M., Lahti K., & Pietola L. (2012). Gypsum amendment of soils reduces phosphorus losses in an agricultural catchment. *Agricultural and Food Science* 21:279–291.
- Hainari S. (2016). Massastabiloinnin vaikutus maan indeksi- ja geoteknisiin ominaisuuksiin. Tampereen teknillinen yliopisto, Diplomityö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:ttty-201512281853>
- SAVE-hankkeen blogi: <http://blogs.helsinki.fi/save-kipsihanke/2017/05/02/kipsia-vai-rakennekalkkia/>
- Svanbäck A., Ulén B. & Etana A. (2014). Mitigation of phosphorus leaching losses via subsurface drains from a cracking marine clay soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 184, 124-134, doi:<https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.11.017>
- Joona J. (2012). Rakennekalkitus parantaa savimaan mururakennetta. *Käytännön maamies* 10/2012.

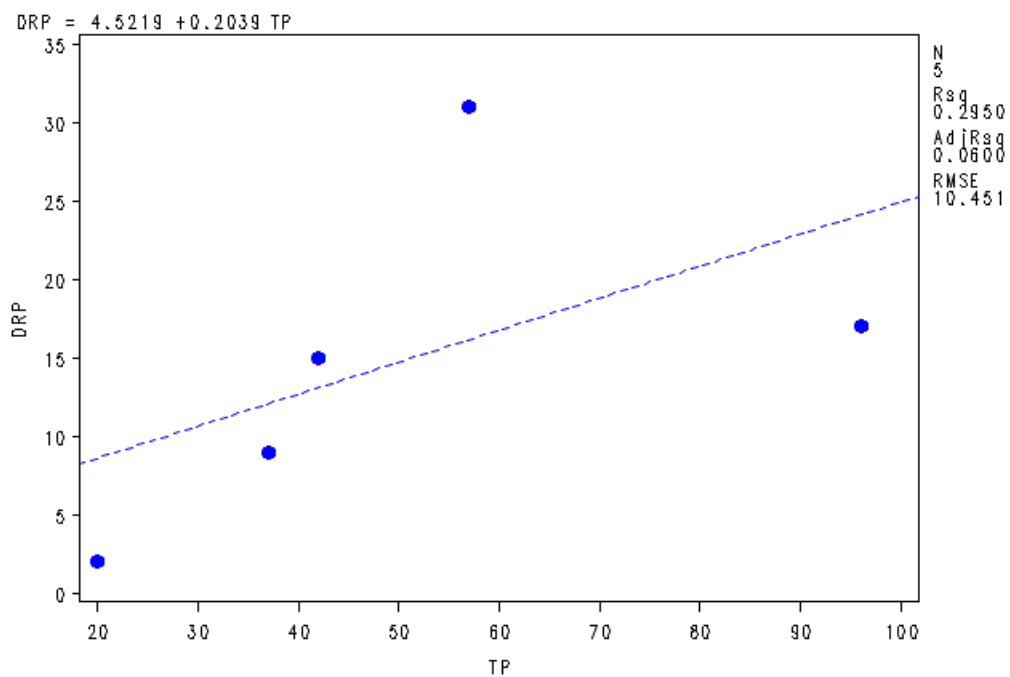
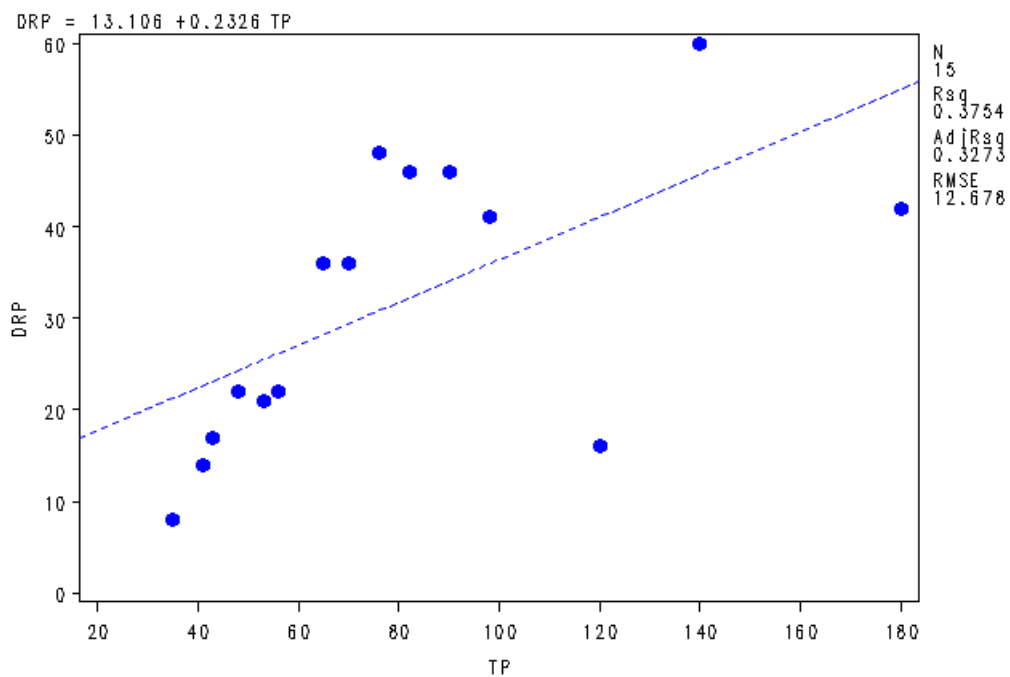
- Kindvall T. (1999). Strukturkalkning på lerjordar – effekter på markstruktur och sockerbetskörd. Examensarbete. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, avdelningen för lantbrukets hydroteknik. 52 s.
- Kämäri M., Tattari S., Lotsari E., Koskiaho J. & Lloyd, C. E. M. (2018). High-frequency monitoring reveals seasonal and event-scale water quality variation in a temporally frozen river. *Journal of Hydrology*, 564, 619-639, doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.07.037>.
- Lemola R., Uusitalo R., Hyväluoma J., Sarvi M. & Turtola E. (2018). Suomen peltojen maalajit, multavuus ja fosforipitoisuus Vuodet 1996–2000 ja 2005–2009 Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 17/2018, Luonnonvarakeskus. 209 s.
- Ulén B. & Etana A. (2014). Phosphorus leaching from clay soils can be counteracted by structure liming. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 64(5), 425-433.
- Uusitalo R., Turtola E., Kauppila T. & Lilja T. (2001). Particulate phosphorus and sediment in surface runoff and drainflow from clayey soils. *J. Environm. Qual.* 30:589–595.
- Uusitalo R., Yli-Halla M. & Turtola, E. (2000). Suspended soil as a source of potentially bioavailable phosphorus in surface runoff waters from clay soils. *Wat. Res.* 34(9): 2477–2482.
- Uusitalo R., Turtola, M., Puustinen, M. Paasonen-Kivekäs, & Uusi-Kämpä J. (2003). Contribution of particulate phosphorus to runoff phosphorus bioavailability. *J. Environ. Quality* 32: 2007-2016.
- Valkama P. & Mikkilä E. 2018. Lohkon ominaispiirteet huomioiva ravinnekuormitusmallinnus ja sen kehittäminen (LOHKO-hanke) -hankkeen jatkohanke (LOHKO II) YM 104/481/2016. Liite 1: Veden laadun sekä maan lämpötilan ja kosteuden seuranta. Rakennekalkituksen vaikutukset.

Liitteet

Liite 1. Liuenneen reaktiivisen fosforin ja kokonaisfosforin välinen yhteys

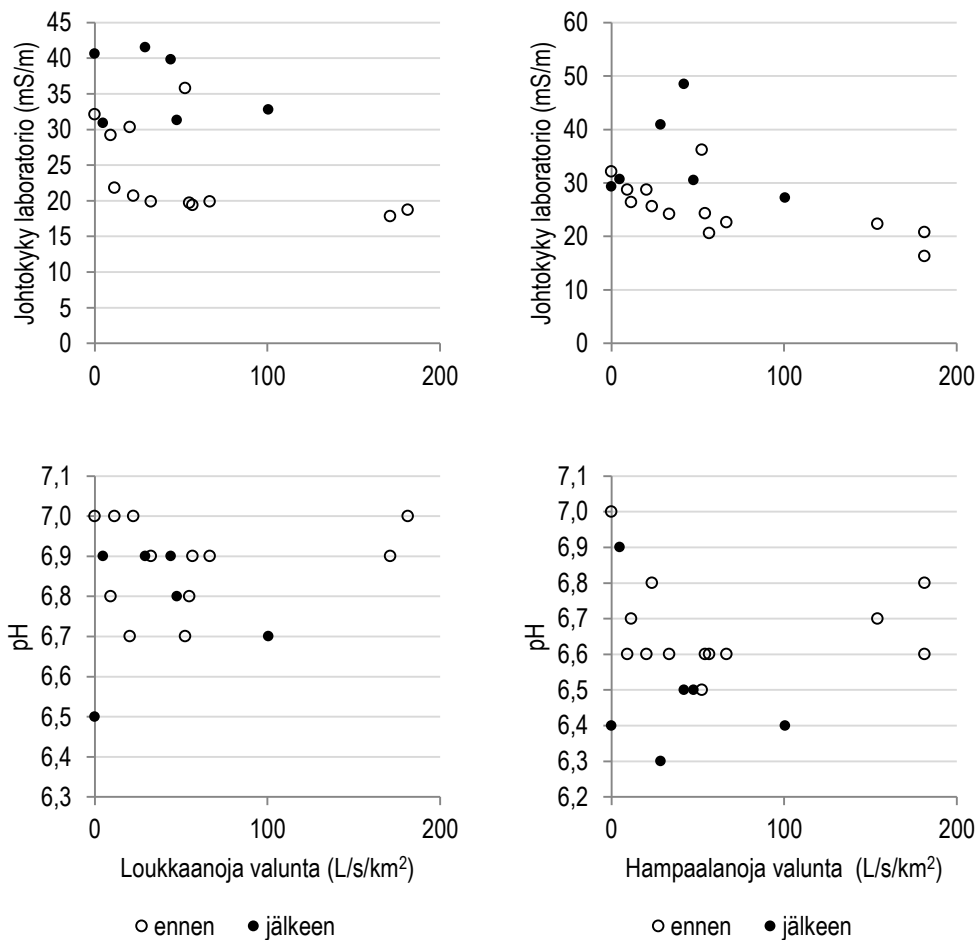


Kuva Hampaalan- ja Loukkaanojan fosforinäytteiden vertailu

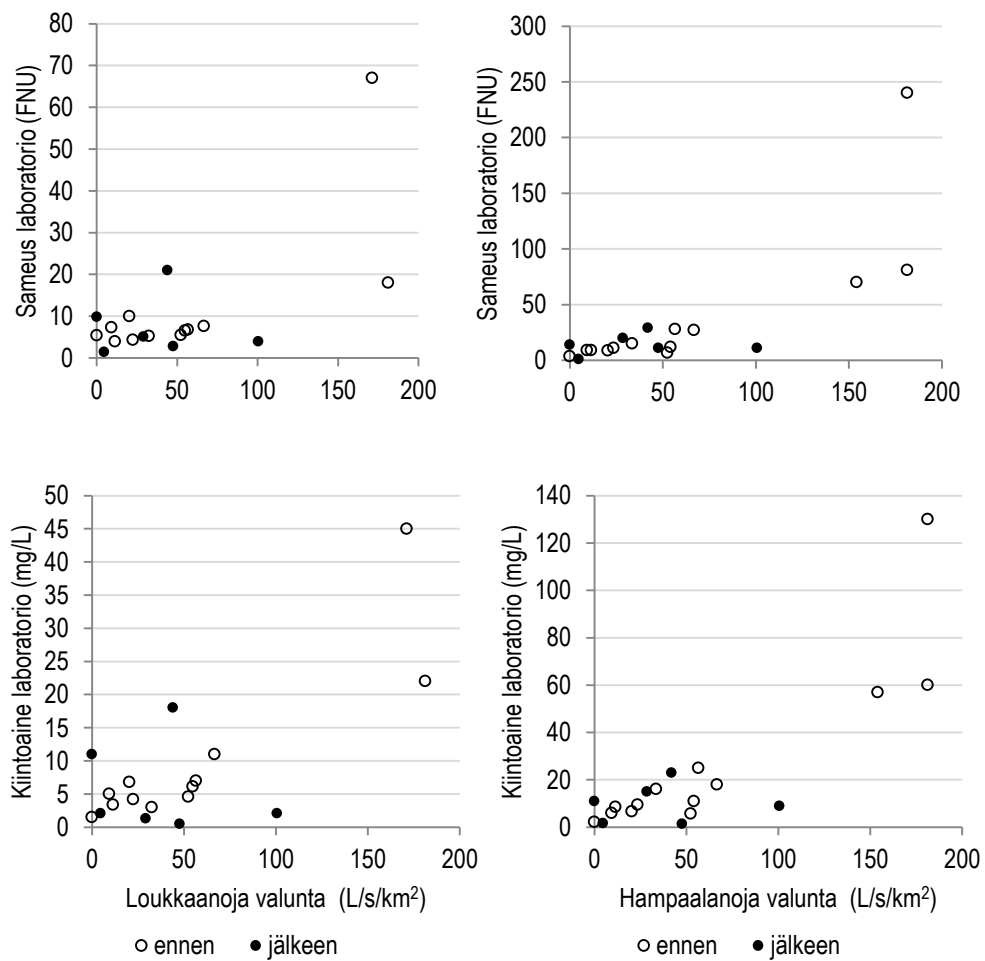


Kuva Liuennut reaktiivinen fosfori versus kokonaisfosfori Loukkaanojalla ennen(yläkuva) ja jälkeen (alakuva) rakennekalkituksen.

Liite 2. Ojavesien vedenlaatu suhteessa pienempään valunta-arvioon

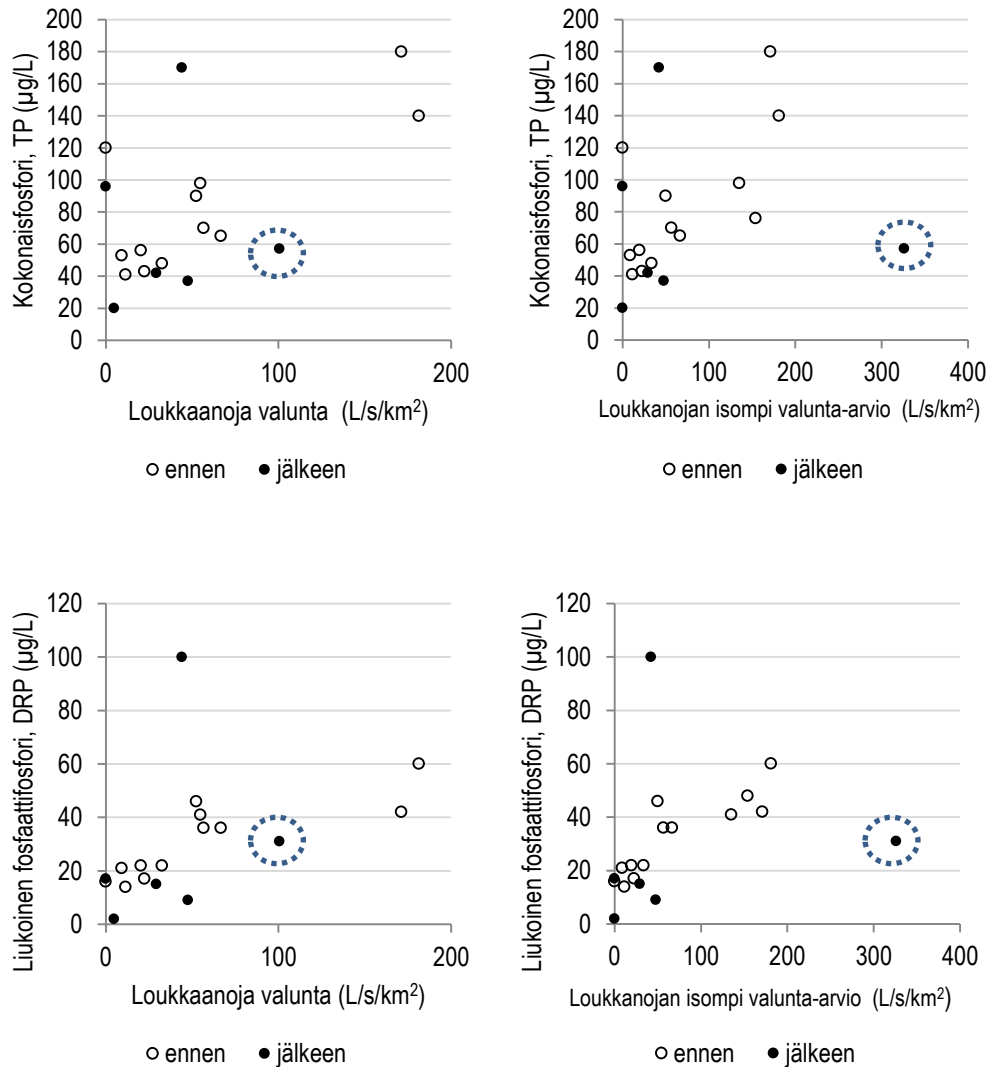


Kuva Johtokyky ja pH suhteessa valuntaan (pienempi valunta-arvio) ennen ja jälkeen Loukkaanojan kalkituksen. Vasemmalla Loukkaanojan ja oikealla Hampaalanojan arvot.

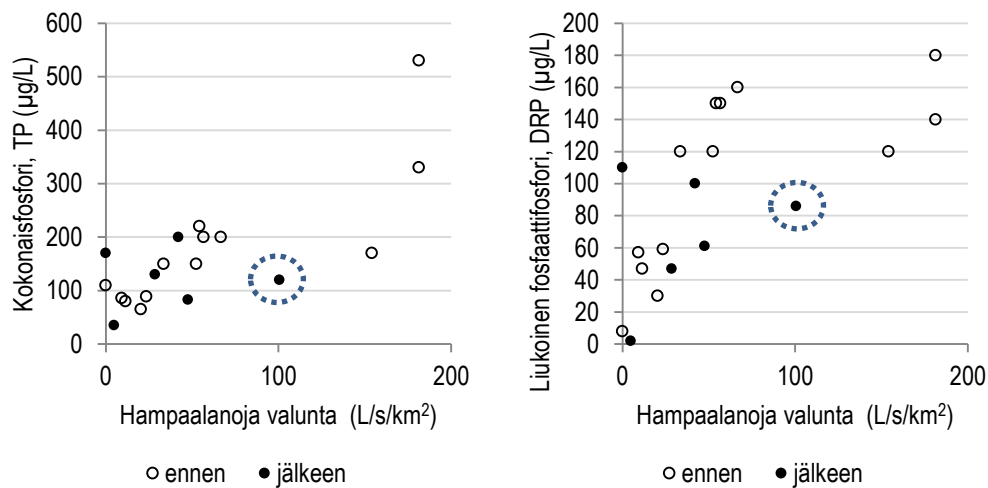


Kuva Hetkelliset sameusarvot ja kiintoainepitoisuudet suhteessa valuntaan (pienempi valunta-arvio) ennen ja jälkeen Loukkaanojanrakennekalkituksen . Vasemmalla Loukkaanojan ja oikealla Hampaalanojan arvot.

Liite 3. Ojavesien fosforipitoisuudet suhteessa pienempään ja isompaan kevätvalunta-arvioon



Kuva Kokonaisfosforipitoisuus (TP) ja liukoinen fosfaattifosfori (DRP) suhteessa valuntaan Loukkaanojalla. Kuvassa esitetty sekä pienempi valunta-arvio (vaemmanpuoleiset kuvat) että isompi valunta arvio (oikeanpuoleiset kuvat) Loukkaanojalle. Katkoviivalla merkitty kevätvalunnan aikaan 20.3.2019 kerätty näyte.



Kuva Kokonaisfosforipitoisuus ja liukoinen fosfaattifosfori suhteessa valuntaan Hampaalanojalla (pienempi valunta-arvio). Katkoviivalla merkitty kevätvalunnan aikaan 20.3.2019 kerätty näyte.