

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

2019

Maija Salonen

**RAKENNEKALKITUKSEN
MAHDOLLISUUDET ETELÄ-
SUOMEN SAVIPELTOJEN
FOSFORIKUORMITUKSEN
VÄHENTÄJÄNÄ**

Maija Salonen

RAKENNEKALKITUKSEN MAHDOLLISUUDET ETELÄ-SUOMEN SAVIPELTOJEN FOSFORIKUORMITUKSEN VÄHENTÄJÄNÄ

Itämeren rehevöitymisongelman yksi osa on maataloudesta peräisin olevan fosforin huuhtoutuminen jokien kautta Itämereen. Savipeltojen fosforimäärä on yleensä erityisen suuri ja savimaan eroosio sekä fosforin huuhtouma ovat suuria, mikäli myös maan rakenne on huono. Etelä-Suomessa on runsaasti savipitoisia peltoja, joiden fosforihuuhtoumaan on mahdollista vaikuttaa rakennekalkituksella. Ruotsalaistutkimuksista saatujen tulosten perusteella laskettuna kokonaisfosforin huuhtoumaa savimailta on mahdollista vähentää 23–53 %, kun rakennekalkitus suoritetaan oikein.

HELCOM:n tavoite Itämeren hyvän tilan saavuttamiseksi edellyttää typen ja fosforin huuhtouman vähentämistä. Fosforihuuhtouman Suomelle asetettu vähennystavoite on 330 tonnia fosforia per vuosi, josta yli 165 tonnia on vielä saavuttamatta. Suomen vähennystavoite on kohdennettu Suomenlahdelle.

Suomenlahteen laskevien jokien valuma-alueella ELY-keskusten alueiden perusteella laskettuna on noin 248 tuhatta hehtaaria savipeltoa, ja näiltä pelloilta huuhtoutuvan kokonaisfosforin määrä on laskennallisesti vaihteluvälillä 123–400 tonnia vuodessa.

Tästä määrästä rakennekalkituksella pystyisi vähentämään vähintään 28 tonnia kokonaisfosforia (123 tonnista per vuosi, minimivähennyksellä 23 %) ja enintään 212 tonnia kokonaisfosforia (400 tonnista per vuosi, maksimivähennyksellä 53 %). HELCOM:n kokonaisfosforin jäljellä olevasta vähintään 165 tonnia vuodessa vähennystavoitteesta tämä tarkoittaisi vähintään 17 % ja enintään 128 % tulosta Suomenlahden fosforimäärän vähennyksessä, mikäli kaikki Uudenmaan, Hämeen ja Kaakkois-Suomen ELY-keskusten alueiden savipellot rakennekalkittaisiin onnistuneesti.

ASIASANAT:

Rakennekalkki, savi, fosforihuuhtouma, Itämeri

Maija Salonen

POTENTIALS OF STRUCTURE LIMING IN REDUCING THE PHOSPHORUS LOAD OF CLAY FIELDS OF SOUTHERN FINLAND

Eutrophication in the Baltic Sea is a significant problem. It is partly because of phosphorus leaching from agriculture. The amount of phosphorus in clayey fields is often remarkably high, and erosion and phosphorus leaching are also high, if the soil structure is poor. Southern Finland is rich in clayey fields, whose phosphorus leaching can be affected by structure liming. Swedish researches show that with structure liming phosphorus leaching from clayey soil can be reduced as much as 23–53 %, if structure liming is performed right.

To achieve a good ecological status in the Baltic Sea, HELCOM has set targets to reduce phosphorus and nitrogen inputs to the Baltic Sea to a sustainable level. The reduction target to phosphorus for Finland is set to 330 tons per year, which is only partly achieved. The Finnish reduction target is targeted to the Gulf of Finland.

In the drainage basins of rivers flowing into the Gulf of Finland have about 248 hectares of clayey fields when counted on levels of 3 southern ELY centres. Total phosphorus leaching from those fields can be counted to be about 123–400 tonnes per year.

From this amount of phosphorus at least 28 tonnes of total phosphorus (from 123 tonnes with minimum reduction 23 %) and at most 212 tonnes of total phosphorus (from 400 tonnes with maximum reduction 53 %) could be reduced with structure liming. This compared to HELCOM's remaining reduction target (at least 165 tonnes per year) would mean at least 17 % and at most 128 % result, if all clayey fields from ELY centres Uusimaa, Häme and Southeast Finland could be structure limed successfully.

KEYWORDS:

Structure liming, clay, phosphorus leaching, Baltic Sea

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO	8
1 JOHDANTO	9
2 SAVIMAAN RAKENNEKALKITUS	11
3 RAKENNEKALKITUKSEN VAIKUTUKSISTA FOSFORIIN	14
3.1 Salaojien kautta tapahtuvan fosforihuuhtouman vähentäminen halkeilevilla merisavimailla	15
3.1.1 Tutkimusalue ja rakennekalkitukset	15
3.1.2 Tulokset	15
3.1.3 Päätelmät	20
3.2 Rakennekalkituksella voidaan torjua fosforihuuhtoumia savimailta	21
3.2.1 Tutkimusalue ja rakennekalkitukset	21
3.2.2 Tulokset	23
3.2.3 Päätelmät	26
3.3 Arviointia metodeista joilla voi vähentää fosforin huuhtoutumista salaojitetuilta savimailta	30
3.3.1 Tutkimusalue ja rakennekalkitukset	30
3.3.2 Tulokset	32
3.3.3 Päätelmät	34
3.4 Yhteenveto	36
4 RAKENNEKALKITUSTUTKIMUKSET SUOMESSA	39
5 HELCOM JA FOSFORI	40
6 SUOMEN SAVIMAAT JA FOSFORI	41
7 LASKELMAT	49
8 RAKENNEKALKITUKSEN JA RAKENNEKALKITUSTUTKIMUKSEN TULEVAISUUDESTA SUOMESSA	51
9 LOPUKSI	54
LÄHTEET	55

LIITTEET

- Liite 1. Svanbäck ym. 2014.
Liite 2. Ulén & Etana 2014.
Liite 3. Ulén ym. 2018.
Liite 4. Suomalaisia tutkimuksia (savi)maista, fosforista sekä maan kasvukunnosta.
Liite 5. HELCOM
Liite 6. Ylivainio ym. 2014.

KUVAT

- Kuva 1. Savimaata rakennekalkituksen jälkeen ja ennen rakennekalkitusta (Nordkalk 2019a). 13
Kuva 2. Savikkoalueiden sijoittuminen (Hakala 2018). 41
Kuva 3. Savimaiden osuus prosentteina kuntatasolla (kuva Ylivainio ym. 2014, figure 4, 14). 42
Kuva 4. Keskimääräiset fosforiluvut (STP) pelloilla Suomessa. Korkein Köyliössä (39,3 mg l⁻¹) ja matalin Pornaisissa (6,7 mg l⁻¹) on ympyröity sinisellä (kuva Ylivainio ym. 2014, figure 5, 16). 43
Kuva 5. Keskimääräiset fosforiluvut (STP) savipelloilla kuntatasolla. Vihreä väri indikoi vastetta fosforilannoitukseen (kuva Ylivainio ym. 2014, figure 6, 17). 44
Kuva 6. Figure 1 (Ulén & Etana 2014, 2). 59

KUVIOT

- Kuvio 1. Kokonaisfosforikuormitus: Suomenlahden alueelle Suomen vesistöistä - summa. Vesistöistä lähtevä fosforikuormasumma (kuvio ymparisto.fi 2019e 23.11.2019). 46
Kuvio 2. Kokonaisfosforikuormitus: Suomenlahden alueelle Suomen vesistöistä - summa. Summakuorma vesistöihin pelloilta, muilta alueilta, haja-asutuksesta, pistekuormasta ja laskeumasta (kuvio ymparisto.fi 2019e 23.11.2019). 47

TAULUKOT

- Taulukko 1. Tutkimuksen taulukosta 9 koottuna fosforin huuhtoumat (kg ha⁻¹ vuosi⁻¹), ei keskihajontaa mukana, keskiarvona neljältä palstalta kuudelta vuodelta. Taulukko M. Salonen (mukaillen Svanbäck ym. 2014, Table 9, 132; liitteessä 1). 17
Taulukko 2. Kokonaisfosforin (TP) huuhtouma, vertailu käsittelyyn C. Taulukko M. Salonen. Lähtötiedot Svanbäck ym. 2014, Table 9, 132; liitteessä 1. 17
Taulukko 3. Partikkeleihin sitoutuneen fosforin (PP) huuhtouma, vertailu käsittelyyn C. Taulukko M. Salonen. Lähtötiedot Svanbäck ym. 2014, Table 9, 132; liitteessä 1. 18

Taulukko 4. Liuenneen reaktiivisen fosforin (DRP) huuhtouma, vertailu käsittelyyn C. Taulukko M. Salonen. Lähtötiedot Svanbäck ym. 2014, Table 9, 132; liitteessä 1.	18
Taulukko 5. Käsittelyjen A ja C vertailu. Taulukko M. Salonen. Lähtötiedot Svanbäck ym. 2014, Table 9, 132; liitteessä 1.	19
Taulukko 6. Suurimmat ja pienimmät erotukset fosforihuuhtoumalle verrattuna käsittelyyn C. Taulukko M. Salonen. Lähtötiedot Svanbäck ym. 2014, Table 9, 132; liitteessä 1.	20
Taulukko 7. Fosforin vähenemät käytettäessä samaa tai eri maanmuokkaustapoja verrattuna rakennekalkittuun maahan. Taulukko M. Salonen. Lähtötiedot Svanbäck ym. 2014, Table 9, 132; liitteessä 1.	21
Taulukko 8. Tutkimuksen taulukosta 4 koottuna Bornsjönin koepalstoilta mitatut keskimääräiset fosforin huuhtoumat (kg ha^{-1} vuosi ⁻¹) seitsemänvuotisen tutkimuksen aikana. Taulukko M. Salonen (mukaillen Ulén & Etana 2014, Table 4, 5; liitteessä 2).	23
Taulukko 9. Tutkimuksen taulukosta 4 koottuna Wiadin koepalstoilta mitatut keskimääräiset fosforin huuhtoumat (kg ha^{-1} vuosi ⁻¹) seitsemänvuotisen tutkimuksen aikana. Taulukko M. Salonen (mukaillen Ulén & Etana 2014, Table 4, 5; liitteessä 2).	24
Taulukko 10. Fosforin vähenemät verrattaessa kontrollipalstoja rakennekalkittuihin palstoihin Wiadin tutkimusalueella. Taulukko M. Salonen. Lähtötiedot Ulén & Etana 2014, Table 4, 5; liitteessä 2.	24
Taulukko 11. Tutkimuksen taulukosta 5 koottuna Bornsjönin koepalstojen välistä ja Wiadin koepalstoilta kerättyjen maanäytteiden fosforihuuhtoumat (kg ha^{-1}) laboratoriossa. Taulukko M. Salonen (mukaillen Ulén & Etana 2014, Table 5, 6; liitteessä 2).	25
Taulukko 12. Wiadin tutkimusalueelta kerättyjen, laboratorio-olosuhteissa testattujen maanäytteiden fosforin vähenemät verrattaessa kontrollinäytteisiin. Taulukko M. Salonen. Lähtötiedot Ulén & Etana 2014, Table 5, 6; liitteessä 2.	25
Taulukko 13. Bornsjönin tutkimusalueelta kerättyjen, laboratorio-olosuhteissa testattujen maanäytteiden fosforin vähenemät verrattaessa kontrollinäytteisiin. Taulukko M. Salonen. Lähtötiedot Ulén & Etana 2014, Table 5, 6; liitteessä 2.	26
Taulukko 14. Fosforin vähenemät verrattaessa kontrollipalstoja ja rakennekalkittuja palstoja Wiadin tutkimusalueella. Taulukko M. Salonen. Lähtötiedot Ulén & Etana 2014, Table 4, 5; liitteessä 2.	27
Taulukko 15. Fosforin vähenemät verrattaessa rakennekalkittuja maanäytteitä kalkitseemattomiin kontrollinäytteisiin laboratoriossa. Taulukko M. Salonen. Lähtötiedot Ulén & Etana 2014, Table 5, 6; liitteessä 2.	28
Taulukko 16. Kahden tutkimuksen toisiaan vastaavat käsittelyt (Ulén ym. 2018, S115, S116; Svanbäck ym. 2014, 126, 127). Taulukko M. Salonen.	31
Taulukko 17. Tutkimuksen taulukosta 2 koottuna TP huuhtoumat (kg ha^{-1} vuosi ⁻¹) koepalsta-alueella kahdeksan vuoden tutkimusjakson aikana keskimäärin sekä erotus tapaan SL-CT. Taulukko M. Salonen (mukaillen Ulén ym. 2018, Table 2, S119; liitteessä 3).	32
Taulukko 18. Tutkimuksen taulukosta 2 koottuna DRP huuhtoumat (kg ha^{-1} vuosi ⁻¹) koepalsta-alueella kahdeksan vuoden tutkimusjakson aikana keskimäärin sekä erotus tapaan SL-CT. Taulukko M. Salonen (mukaillen Ulén ym. 2018, Table 2, S119; liitteessä 3).	33
Taulukko 19. Tutkimuksen taulukosta 2 koottuna peltoalueen (Oxelby field) fosforihuuhtoumat (kg ha^{-1} vuosi ⁻¹) ennen ja jälkeen rakennekalkituksen sekä niiden ero. Taulukko M. Salonen (mukaillen Ulén ym. 2018, Table 2, S119; liitteessä 3).	34
Taulukko 20. Fosforin vähenemät käytettäessä samaa tai eri maanmuokkaustapoja verrattuna rakennekalkituskäsitelyihin koepalstoihin. Taulukko M. Salonen. Lähtötiedot Ulén ym. 2018, Table 2, S119; liitteessä 3.	36
Taulukko 21. Kolmen tutkimuksen tuloksista kootut mahdolliset fosforihuuhtouman prosenttimääräiset (%) vähennykset verrattaessa rakennekalkittuja koepalstoja samalla	

sekä muilla maanmuokkaustavoilla käsiteltyihin kalkitseemattomiin koepalstoihin.	
Taulukko M. Salonen. Lähtötiedot katso lisätiedot alta.	37
Taulukko 22. Table 9 (Svanbäck ym. 2014, 132).	58
Taulukko 23. Table 4 (Ulén & Etana 2014, 5).	60
Taulukko 24. Table 5 (Ulén & Etana 2014, 6).	61
Taulukko 25. Table 2 (Ulén ym. 2018, S119).	62
Taulukko 26. HELCOM:n Baltic Sea Action Plan maakohtaisesti kohdennetut fosforin ja typen vähennystavoitteet (HELCOM 2019c).	64
Taulukko 27. Table 3 (Ylivainio ym. 2014,15).	65
Taulukko 28. MTT124 taulukko 3. (Ylivainio ym. 2014,15). Suomennos M. Salonen.	66

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

Aggregaatti	Maan muru, maan rakennetta kuvaava termi
Ca	Kalsium, calcium (EN), kalcium (SE) (<i>lat calcium</i>)
CaCO ₃	Kalsiumkarbonaatti, kalkkikivi
CaO	Kalsiumoksidi, kalkki, poltettu kalkki, sammuttamaton kalkki, quicklime/burnt lime (EN), bränd kalk (SE)
Ca(OH) ₂	Kalsiumhydroksidi, sammutettu kalkki, slaked lime (EN), släck kalk (SE)
CaSO ₄	Kalsiumsulfaatti, kipsi
DRP	Liennut reaktiivinen fosfori, dissolved reactive phosphorus (EN)
pH	Happamuus; alle 7 hapan, 7 neutraali, yli 7 emäksinen
P	Fosfori, phosphorus (EN), fosfor (SE), (<i>lat phosphorus</i>)
PP	Partikkeleihin sitoutunut fosfori, particulate phosphorus (EN)
Rakennekalkki	Kalkkituote, joka sisältää vähintään 20 % reaktiivista kalkkia (poltettua [CaO] tai sammutettua [Ca(OH) ₂]) (Weppling 2018, 9)
Reaktiivinen kalkki	Reaktiivinen aktiivinen rakennekalkki, puhdas CaO tai Ca(OH) ₂
Savi	Maalaji, jonka hiukkasten koko on alle 0,002 mm (Heinonen ym. 2001, 25)
SS	Kiintoaine, suspended solids (EN)
STP	Fosforiluku, soil test phosphorus (Ylivainio ym. 2014, 6)
TP	Kokonaisfosfori, totaalifosfori, total phosphorus (EN)

1 JOHDANTO

Lannoitteena käytettävän fosforin huuhtoutuminen pelloilta vesistöihin ja edelleen Itämereen on yksi suurimmista tekijöistä Itämeren rehevöitymisen taustalla (ymparisto.fi 2019a; ymparisto.fi 2019b). Rehevöitymisen näkyvin tunnusmerkki Itämerellä ovat syanobakteerisiintymät kesäisin. Sinileväkukinnoksi kutsuttu ilmiö pääsee valloilleen, kun vedessä on runsaasti tärkeimpiä ravinteita, eli fosforia ja typpeä, syanobakteerien käytettäväksi. Osa syanobakteereista pystyy ottamaan typpeä ilmasta (solunetti.fi 2019), joten kasvun minimitekijänä syanobakteereilla on yleensä fosfori. Sinileväkukintoja käytetäänkin yhtenä Itämeren tilan indikaattorina (ymparisto.fi 2019c).

Fosforia on valumavedessä sekä liukoisena (DRP) että partikkeleihin sitoutuneena (PP). Liukoinen fosfori on levien ja bakteerien käytettävissä suoraan. Partikkeleihin sitoutunut fosfori painuu lopulta vesialueen pohjaan, johon se sedimentoituu, mutta myös pohjaan sedimentoituneesta fosforista osa muuttuu käyttökelpoiseksi hapettomissa olosuhteissa. (Aura ym. 2006, 6.)

HELCOM (Baltic Marine Environment Protection Commission, Helsinki Commission, Itämeren suojelukomissio) perustettiin vuonna 1974 (HELCOM 2019a). Vuonna 2007 hyväksyttiin HELCOM:n Itämeren suojelun toimintaohjelma, jonka tavoitteena on Itämeren hyvä ekologinen tila, ja sen saavuttamiseksi ravinteiden huuhtoutumista Itämereen on sovittu rajoitettavan fosforin ja typen osalta (HELCOM 201b). Suomen vähennystavoite on 330 tonnia fosforia vuodessa (HELCOM 2019c). Nykytoimenpiteillä fosforipäästöjen vähennystavoitteisiin ei ole vielä päästy (HELCOM 2019d).

Suomessa on runsaasti savipitoisia peltoja, joiden ravinnehuhtoumaan on etsitty ratkaisuja jo pitkään. Tutkimusten mukaan savimaan rakennetta ja niin ollen sen fosforinpidätyskykyä voi parantaa rakennekalkituksella (Aura ym. 2006; Svanbäck ym. 2014; Ulén & Etana 2014; Ulén ym. 2018).

Tarkastelen julkaistujen tutkimusten pohjalta, paljonko olisi mahdollista vähentää Etelä-Suomen savipeltojen fosforihuhtoumaa vesistöihin ja sitä kautta Itämereen, mikäli muualla tehdyissä rakennekalkitustutkimuksissa saavutetut fosforin vähennysmäärät olisi mahdollista saavuttaa myös Suomen olosuhteissa. Lasken useamman julkaistun tutkimuksen perusteella karkean tason välin fosforimäärän vähennykselle, mahdolliset minimi- ja maksimivähennykset prosentteina huuhtoutuvasta fosforimäärästä. Tällä

mahdollisella huuhtouman vähennyksellä laskeen, paljonko tonnimääräisesti savipeltojen fosforihuuhtoumaa on mahdollista vähentää, ja vertaan sitä HELCOM:n asettamaan vähennystavoitteeseen. Tällä laskelmalla on mahdollista osoittaa, onko rakennekalkituksesta osaltaan apua yritettäessä päästä HELCOM:n fosforivähennystavoitteisiin.

2 SAVIMAAN RAKENNEKALKITUS

Rakennekalkitus on toimenpide, jossa savimaahan muokataan kalkkia (Nordkalk 2019a). Rakennekalkitus eroaa tavallisesta, maan pH:n noston vuoksi tehtävästä kalkituksesta siten, että se muuttaa savimaan rakennetta (Nordkalk 2019a). pH-kalkki on yleensä jauhattua kalkkikiveä, sisältää kalsiumkarbonaattia (CaCO_3), eikä sitä muokata maahan (Nordkalk 2019b). Rakennekalkitukseen käytettävän rakennekalkin pitää sisältää vähintään 20 % reaktiivista kalkkia (poltettua $[\text{CaO}]$ tai sammutettua $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$), jotta se reagoi tarpeeksi savimineraalien kanssa (Weppling 2018, 9). Puhdasta poltettua tai sammutettua kalkkia ei käytetä koska niiden käsittely ei ole riskitöntä mm. poltetun kalkin syövyttävyyden vuoksi (Joona 2012; Börling ym. 2018, 92).

Rakennekalkituksen maan rakennetta parantava vaikutus perustuu kalsiumin (Ca) kationivaihtoon savimineraalien kanssa (Aura ym. 2006, 9). Savimaan aggregaatit muodostuvat suuremmiksi ja samalla partikkeleihin sitoutunut fosfori (PP) jää aggregaateihin eikä huuhtoudu veden mukana pois (Aura ym. 2006, 3). Myös liukoisen fosforin (DRP) pitoisuudet valumavesissä saattavat vähentyä rakennekalkituksella (Aura ym. 2006, 18; Ulén & Etana 2014, 6). Vaikka kokonaisfosforin (TP) vähennys tapahtuu jo maassa, jossa on savea 25 % (Ulén & Etana 2014, 1), mitä enemmän savea, sitä enemmän partikkeleihin sitoutuneen fosforin (PP) huuhtouma vähenee (Aura ym. 2006, 18).

Rakennekalkittavan pellon kuivatus, eli yleensä salaojitus, on oltava kunnossa ennen rakennekalkitusta. Mikäli syksyllä ei ole rakennekalkitukseen sopivaa keliä, on parempi siirtää rakennekalkitusta vuodelle kuin onnistua vain osittain. (Börling ym. 2018, 92.)

Rakennekalkituksessa käytettävän kalkin määrästä ei ole olemassa yksiselitteistä ohjetta. Suomessa ei ole tutkittu rakennekalkitusta vielä niin laajasti, että optimaalisista määristä olisi löydettävissä täsmällistä informaatiota. Suomen olosuhteisiin ohjeita antavissa lähteissä annetaan tonnimääriä rakennekalkille hyvinkin laajasti, laajin on "Käyttömääräksi sammutetulle kalkille suositellaan 5–15 tonnia hehtaarille maan savespitoisuudesta riippuen." (Joona 2012), muita ovat "5–7 tonnista/ha aina 15 tonniin/hehtaari, riippuen maan laadusta, pH:sta ja fosforipitoisuudesta" (WaterChain 2019) sekä "Sopiva annos on vähintään 7 tonnia/hehtaari riippuen pellon pH:sta, fosforiluvusta, savespitoisuudesta ja rakenneongelmasta" (Nordkalk 2019a). Ruotsin Jordbruksverket antaa yleismääräksi 5–8 t/ha, mutta huomauttaa, että "erittäin korkealla

savipitoisuudella tai huonolla maanlaadulla voit joutua lisäämään määrää” (Börling ym. 2018, 92).

Joona (2012) mainitsee kalkkimäärän olevan sammutettua kalkkia ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ja käyttömäärän sille 5–15 tonnia hehtaarille. Tämä on todennäköisesti virhe, ja Joona (2012) tarkoittaa rakennekalkin määrää, sillä seuraavassa lauseessa mainitaan ”Esimerkiksi 35 prosentin savespitoisuuden omaavalle maalle on levitetty rakennekalkkia 5 tonnia hehtaarille.” (Joona 2012). WaterChain (2019) puhuu vain rakennekalkista eli 5–15 tonnia hehtaarille on rakennekalkkia, jossa reaktiivisen kalkin (poltettua $[\text{CaO}]$ tai sammutettua $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$) määrää ei ole mainittu. Nordkalk (2019a) mainitsee vain että rakennekalkki sisältää tietyn määrän poltettua kalkkia (CaO), eli myös Nordkalkin ohjemäärä 7 tonnista ylöspäin on rakennekalkkia. Jordbruksverket (Börling ym. 2018, 92) mainitsee että rakennekalkin pitää sisältää niin kutsuttua vapaata tai reaktiivista kalkkia, ja kalkitusmääräohje 5–8 tonnia hehtaarille on rakennekalkkia.

Tutkimuksissa näytettäisiin yleisesti ilmoitettavan käytetyn kalkin määränä laskennallista puhtaaksi kalsiumoksidiksi (CaO) muutettua määrää, jolloin tutkimusten vertaileminen on helppoa, mutta niiden vertaaminen muutoin käytössä oleviin ohjeisiin hieman hankalampaa. Rakennekalkin valmistajat eivät tuotekuvauksissaan kerro, paljonko reaktiivista kalkkia tuotteet täsmällisesti sisältävät. Laskettaessa 20 % rakennekalkista reaktiiviseksi kalkiksi (poltettu $[\text{CaO}]$ tai sammutettu $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$) reaktiivisen kalkin määrät eri ohjeistajien mukaan ovat seuraavat: Joona 1–3 tonnia hehtaarille, WaterChain 1–3 tonnia hehtaarille, Nordkalk 1,4 tonnista per hehtaari ylöspäin, Jordbruksverket 1–1,6 tonnia hehtaarille.

Rakennekalkki levitetään pellolle kuivissa olosuhteissa syksyllä sadonkorjuun jälkeen ja muokataan maahan välittömästi tai saman päivän aikana (Börling ym. 2018, 92), kuitenkin viimeistään 48 tunnin sisällä levityksestä (Nordkalk 2019a). Nordkalkin (2019a) mukaan rakennekalkin voi levittää kesällä tai syksyllä kuivaan maahan. Kalkin levityksessä käytetään samoja laitteita kuin pH-kalkkia levitettäessä (Nordkalk 2019a). Kalkki muokataan maahan kultivaattorilla vähintään kahteen suuntaan ajaen, siltä syvyydeltä kuin normaali maanmuokkaus yleensä suoritetaan (Börling ym. 2018, 92).

Rakennekalkituksella aikaan saatava maan rakenteen parantuminen on silmin havaittava. Kuvassa 1 vasemmalla savimaata rakennekalkituksen jälkeen ja oikealla ennen.



Kuva 1. Savimaata rakennekalkituksen jälkeen ja ennen rakennekalkitusta (Nordkalk 2019a).

Rakennekalkituksen muina etuina mainitaan muun muassa helpompi maan muokkautuvuus, josta taas on seurauksena polttoaineen kulutuksen väheneminen ja sitä myöden myös ympäristöystävällisyyden paraneminen (Joonas 2012; Nordkalk 2019a). Rakennekalkitus nostaa maan pH:ta (Svanbäck ym. 2014, 126 table 1; Ulén & Etana 2014, 6 table 5), jolloin myös pH-kalkituksen tarve vähenee. Lisälannoituksen tarve pienenee, kun pellossa jo oleva fosfori jää kasvien käyttöön, minkä lisäksi rakennekalkitus parantaa korjattavaa satoa (Svanbäck ym. 2014, 129; Nordkalk 2019a).

Rakennekalkituksen tehon sanotaan joissakin lähteissä säilyvän vuosia, jopa vuosikymmeniä, mutta löytämissäni tutkimuksissa ei ollut kymmenien vuosien aikajännettä eikä näin ollen todistetta näille väitteille. Vajaan vuosikymmenen mittaisia tutkimuksia on esimerkiksi Ulén ym. (2018) kahdeksanvuotinen tutkimus.

Rakennekalkitusta ei tällä hetkellä voi käyttää luomutuotannossa, sillä rakennekalkki ei ole EU:n luomutuotannon sallittujen maanparannusaineiden listalla (Komission asetus (EY) N:o 889/2008).

3 RAKENNEKALKITUKSEN VAIKUTUKSISTA FOSFORIIN

Valitsin laskelmien pohjaksi kolme Ruotsissa suoritettua tutkimusta, koska niiden tulokset ovat selkeät ja verrattavissa keskenään. Kolmesta tutkimuksesta kaksi on suoritettu kokonaan samalla tutkimusalueella hieman eri aikoina ja kolmas osittain samalla tutkimusalueella ja samaan aikaan kahden muun kanssa. Tutkimusalueet sijaitsevat Ruotsin länsirannikolla Tukholman lähistöllä eli suunnilleen samoilla korkeusasteilla kuin Etelä-Suomen savimaat. (Svanbäck ym. 2014, Ulén & Etana 2014, Ulén ym. 2018.)

Vastaavia monivuotisia tutkimuksia Suomesta ei ollut saatavilla, kun keräsin aineistoa tähän työhön. Myöskään muualta maailmasta ei löytynyt sopivia tutkimuksia. Nämä kolme tutkimusta yhdessä olivat laajin mahdollinen pohja-aineisto laskettaessa rakennekalkituksen merkitystä savimaiden fosforihuuhtoumiin.

Tutkimukset ovat:

1. Mitigation of phosphorus leaching losses via subsurface drains from a cracking marine clay soil - Annika Svanbäck, Barbro Ulén, Ararso Etana. 2014. - Salaojien kautta tapahtuvan fosforihuuhtouman vähentäminen halkeilevilla merisavimailta (suom. M. Salonen)
2. Phosphorus leaching from clay soils can be counteracted by structure liming - Barbro Ulén & Ararso Etana. 2014. - Rakennekalkituksella voidaan torjua fosforihuuhtoumia savimailta (suom. M. Salonen)
3. Assessing strategies to mitigate phosphorus leaching from drained clay soils - Barbro Ulén, Mats Larsbo, Johannes Koestel, Qarin Hellner, Maria Blomberg, Pia Geranmayeh. 2018. - Arviointia metodeista, joilla voi vähentää fosforin huuhtoutumista salaojitetuilta savimailta (suom. M. Salonen)

3.1 Salaojien kautta tapahtuvan fosforihuuhtouman vähentäminen halkeilevilla merisavimailla

3.1.1 Tutkimusalue ja rakennekalkitukset

Kyseessä on kuusivuotinen (vuosina 2007–2013) tutkimus, jossa käytettiin Itä-Ruotsissa sijaitsevaa, tutkimustarkoituksiin vuonna 2006 rakennettua aluetta. Tutkimusalueella on 28 palstaa pellolla kahdessa rivissä, jokaisella palstalla on oma salaojakuivatus. Palstojen koko on 20 metriä x 24 metriä. (Svanbäck ym. 2014, 124–125, 129.)

Tutkimusalue on alkujaan merenpohjaa, ja maaperässä on korkea savipitoisuus (60 %). Savipitoisuus vaihtelee tutkimusalueella vain vähän. (Svanbäck ym. 2014, 125.)

Tutkimuksessa palstoille käytettiin kolmea erilaista maanmuokkausta yhteensä 7 eri yhdistelmänä (käsittelyt A–G). Muokkaustavat olivat tavallinen kyntö syksyllä (A, B), rakennekalkitus yhdistettynä tavalliseen kyntöön syksyllä (C) sekä kevytmuokkaus syksyllä (D, E). Lisäksi vertailuna käytettiin lannoittamatonta kesantoa (F) sekä erilaista vuoroviljelykiertoa usealla maanmuokkaustavalla (G). Jokainen käsittely suoritettiin neljälle palstalle. Tavoille A, C, D, E ja G käytettiin myös fosforilannoitusta (2 eri tapaa), aavistuksen yli määrän, jonka oletettiin kuluvan seuraavan sadon kasvaessa. (Svanbäck ym. 2014, 126–127.)

Käsittelyssä C rakennekalkki lisättiin sängelle neljälle palstalle syksyllä vuonna 2007 kuivissa olosuhteissa ja se muokattiin välittömästi maahan kultivaattorilla useasta suunnasta. Käytetty määrä vastasi viittä tonnia kalsiumoksidia per hehtaari (5 t CaO ha⁻¹). (Svanbäck ym. 2014, 127.)

3.1.2 Tulokset

Rakennekalkituilta palstoilta huuhtoutuva kokonaisfosforin (TP) ja partikkeleihin sitoutuneen fosforin (PP) määrä oli merkittävästi alempi kuin muilta palstoilta huuhtoutuva kokonaisfosfori (TP) ja partikkeleihin sitoutunut fosfori (PP). Erilaisilla lannoitefosforin levitystavoilla ei ollut merkittävää eroa fosforihuuhtoumaan. (Svanbäck ym. 2014, 124.)

Tutkimuksen (Svanbäck ym. 2014) sivulla 132 olevassa taulukossa (Table 9, liite 1) esitetään koko tutkimuksen (6 vuotta) ajalta keskimääräinen vuosittainen fosforin (P) sekä typen (N) huuhtouma (typeä ei käsitellä tässä opinnäytetyössä). Taulukossa esitetään kokonaisfosforin (TP), partikkeleihin sitoutuneen fosforin (PP) ja liuenneen reaktiivisen fosforin (DRP) määrät kilogrammaa per hehtaari per vuosi ($\text{kg ha}^{-1} \text{vuosi}^{-1}$) keskihajontoineen. Taulukkoon 1 on koottu fosforin osalta nämä tulokset ilman keskihajontaa, koska keskihajonnan lisääminen laskelmille ei antaisi lisäarvoa lopulliseen tulokseen. Rakennekalkituksen sisältävä käsittely on seuraavissa taulukoissa **lihavoitu**.

Tutkimuksessa käytetyt käsittelyt, sisältäen maanmuokkaustavat sekä lannoitukset koottuna tutkimuksesta (Svanbäck ym. 2014, 126, 127):

A tavallinen kyntö syksyllä (syvyys 23 cm), fosforilisä I

B tavallinen kyntö syksyllä (syvyys 23 cm), ei lannoitusta

C rakennekalkitus ja tavallinen kyntö syksyllä (syvyys 23 cm), fosforilisä I

D kevytmuokkaus (syvyys 12 cm) syksyllä, fosforilisä I

E kevytmuokkaus (syvyys 12 cm) syksyllä, fosforilisä II

F lannoittamaton kesanto

G eri vuoroviljelykierto, fosforilisä, eri maanmuokkaustapoja eri vuosina, eri tapoja fosforilisälle

Lannoitustapa I sijoituslannoitus

Lannoitustapa II levityslannoitus

Taulukossa 1 merkinnät a ja b kuvaavat merkitsevää eroa käsittelyiden välillä. Tämä merkintä on mukana myös taulukoissa 2, 3, 6 ja 7. Taulukossa 4 merkintää b ei ole, koska tutkimuksen (Svanbäck ym. 2014) taulukon 9 (Svanbäck ym. 2014, 132) (liitteessä 1) yhteydessä todetaan, että liuenneen reaktiivisen fosforin (DRP) osalta merkitsevää eroa käsittelyn C ja muiden käsittelyjen välillä ei ole lainkaan. Tämä johtunee keskihajonnan (jopa puolet keskiarvosta) vaikutuksesta. Koska pelkkien keskiarvojen mukaan laskettuna ero on kuitenkin olemassa, on seuraavissa laskelmissa käytetty keskiarvoilla laskettua erotusta.

Taulukossa 2 on järjestetty kokonaisfosforin (TP) huuhtouma suuruusjärjestykseen suurimmasta pienimpään, sekä verrattu sitä määrällisesti ($\text{kg ha}^{-1} \text{vuosi}^{-1}$) sekä prosentteina (%) käsittelyyn C, joka sisältää rakennekalkituksen.

Taulukko 1. Tutkimuksen taulukosta 9 koottuna fosforin huuhtoumat ($\text{kg ha}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$), ei keskihajontaa mukana, keskiarvona neljältä palstalta kuudelta vuodelta. Taulukko M. Salonen (mukaillen Svanbäck ym. 2014, Table 9, 132; liitteessä 1).

käsittely	kokonaisfosfori TP	partikkeleihin sitoutunut fosfori PP	liennut reaktiivinen fosfori DRP
A	0,79	0,68	0,13
B	0,97 ^b	0,82 ^b	0,15
C	0,59^a	0,46^a	0,13
D	0,96	0,85	0,11
E	1,13 ^b	0,94 ^b	0,20
F	0,77	0,60	0,17
G	0,84 ^b	0,68	0,16

a, b merkitsevä ero käsittelyiden välillä

Taulukko 2. Kokonaisfosforin (TP) huuhtouma, vertailu käsittelyyn C. Taulukko M. Salonen. Lähtötiedot Svanbäck ym. 2014, Table 9, 132; liitteessä 1.

Kokonaisfosfori (TP)			
$\text{kg ha}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$	käsittely	erotus tapaan C $\text{kg ha}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$	erotus tapaan C prosenttia %
1,13	E ^b	0,54	48
0,97	B ^b	0,38	39
0,96	D	0,37	39
0,84	G ^b	0,25	30
0,79	A	0,20	25
0,77	F	0,18	23
0,59	C	-	-

b merkitsevä ero verrattuna käsittelyyn C, katso taulukko 1

Taulukko 3. Partikkeleihin sitoutuneen fosforin (PP) huuhtouma, vertailu käsittelyyn C. Taulukko M. Salonen. Lähtötiedot Svanbäck ym. 2014, Table 9, 132; liitteessä 1.

Partikkeleihin sitoutunut fosfori (PP)			
kg ha ⁻¹ vuosi ⁻¹	käsittely	erotus tapaan C kg ha ⁻¹ vuosi ⁻¹	erotus tapaan C prosenttia %
0,94	E ^b	0,48	51
0,85	D	0,39	46
0,82	B ^b	0,36	44
0,68	A	0,22	32
0,68	G	0,22	32
0,60	F	0,14	23
0,46	C	-	-

b merkitsevä ero verrattuna käsittelyyn C, katso taulukko 1

Taulukko 4. Liuenneen reaktiivisen fosforin (DRP) huuhtouma, vertailu käsittelyyn C. Taulukko M. Salonen. Lähtötiedot Svanbäck ym. 2014, Table 9, 132; liitteessä 1.

Liuennut reaktiivinen fosfori (DRP)			
kg ha ⁻¹ vuosi ⁻¹	käsittely	erotus tapaan C kg ha ⁻¹ vuosi ⁻¹	erotus tapaan C prosenttia %
0,20	E	0,07	35
0,17	F	0,04	24
0,16	G	0,03	19
0,15	B	0,02	13
0,13	A	0	0
0,13	C	-	-
0,11	D	-0,02	-15

Taulukossa 3 on järjestetty partikkeleihin sitoutuneen fosforin (PP) huuhtouma suuruusjärjestykseen suurimmasta pienimpään, sekä verrattu sitä määrällisesti (kg ha^{-1} vuosi⁻¹) sekä prosentteina (%) käsittelyyn C, joka sisältää rakennekalkituksen.

Taulukossa 4 on järjestetty liuenneen reaktiivisen fosforin (DRP) huuhtouma suuruusjärjestykseen suurimmasta pienimpään, sekä verrattu sitä määrällisesti (kg ha^{-1} vuosi⁻¹) sekä prosentteina (%) käsittelyyn C, joka sisältää rakennekalkituksen.

Taulukoista 2–4 on luettavissa selkeästi, että ainoa rakennekalkittua käsittelyä vähemmän fosforia päästävä käsittely on D (kevytmuokkaus (syvyys 12 cm) syksyllä, fosforilisä) joka sekin vain liuenneen reaktiivisen fosforin (DRP) osalta. Kaikkien muiden käsittelyjen fosforihuuhtoumat ovat joko selkeästi enemmän (kokonaisfosfori TP, taulukko 2 ja partikkeleihin sitoutunut fosfori PP, taulukko 3) tai vähintään sama (liuenut reaktiivinen fosfori DRP, taulukko 4).

Taulukkoon 5 on kerätty käsittelyjen A (tavallinen kyntö syksyllä (syvyys 23 cm), fosforilisä) ja C (rakennekalkitus ja tavallinen kyntö syksyllä (syvyys 23 cm), fosforilisä) erot. Näiden kahden käsittelyn ainoa ero on käsittelyn C rakennekalkitus.

Taulukko 5. Käsittelyjen A ja C vertailu. Taulukko M. Salonen. Lähtötiedot Svanbäck ym. 2014, Table 9, 132; liitteessä 1.

	Käsittelyt		Vertailu	
	A kg ha^{-1} vuosi ⁻¹	C kg ha^{-1} vuosi ⁻¹	erotus A – C kg ha^{-1} vuosi ⁻¹	erotus A – C prosenttia %
TP	0,79	0,59	0,20	25
PP	0,68	0,46	0,22	32
DRP	0,13	0,13	0	0

Taulukkoon 6 on kerätty suurimmat ja pienimmät erotukset kaikkien fosforilajien (TP, PP, DRP) osalta (pois lukien käsittely D liuenneen reaktiivisen fosforin (DRP) osalta, koska ero oli negatiivinen) verrattuna käsittelyyn C. Taulukko 6 on koostettu taulukoista 2, 3 ja 4.

Taulukko 6. Suurimmat ja pienimmät erotukset fosforihuuhtoumalle verrattuna käsittelyyn C. Taulukko M. Salonen. Lähtötiedot Svanbäck ym. 2014, Table 9, 132; liitteessä 1.

	kg ha ⁻¹ vuosi ⁻¹		prosenttia %	
	min (käsittely)	max (käsittely)	min	max
TP	0,18 (F)	0,54 (E) ^b	23	48
PP	0,14 (F)	0,48 (E) ^b	23	51
DRP	0 (A)	0,07 (E)	0	35

b merkitsevä ero verrattuna käsittelyyn C, katso taulukko 1

Taulukosta 6 näkee selkeästi, että suurin ero kaikkien fosforilajien kohdalla on käsittelyn E (kevytmuokkaus (syvyys 12 cm) syksyllä, fosforilisä II) ja C (rakennekalkitus ja tavallinen kyntö syksyllä (syvyys 23 cm), fosforilisä I) välillä. Näistä merkitsevät erot ovat kokonaisfosforin (TP) ja partikkeleihin sitoutuneen fosforin (PP) kohdalla.

3.1.3 Päätelmät

Taulukossa 7 on kerättyä tutkimuksen (Svanbäck ym. 2014) osoittamat fosforin määrän vähenemät verrattaessa rakennekalkittua koepalstaa muilla tavoin käsiteltyihin koepalstoihin. Tiedot on koostettu tutkimuksen (Svanbäck ym. 2014) taulukon 9 (Svanbäck ym. 2014, 132) (liitteessä 1) pohjalta ja kerätty taulukoista 5 ja 6.

Tutkimusalueen maaperässä on savea 60 % (Svanbäck ym. 2014, 125) ja koepalstoille käytetty rakennekalkkimäärä vastasi viittä tonnia kalsiumoksidia per hehtaari (5 t CaO ha⁻¹) (Svanbäck ym. 2014, 127)). Käytetty reaktiivinen kalkkimäärä on korkeampi, kuin eri toimijoiden antamat ohjeet rakennekalkituksessa käytettävän reaktiivisen kalkin määrästä, mikäli käytetään ohjeiden mukaisia määriä rakennekalkkia, esimerkiksi Ruotsin Jordbruksverket antaa yleismääräksi 5–8 tonnia rakennekalkkia hehtaarille (Börling ym. 2018, 92), mikä muutettuna oletusmääräksi puhdasta reaktiivista CaO (vähintään 20 % rakennekalkin määrästä (Weppling 2018, 9)) on 1–1,6 tonnia hehtaarille. Käytetty rakennekalkin levitystapa ja maahanmuokkaus vastasivat rakennekalkin levityksestä ja maahanmuokkauksesta annettuja ohjeita (esim. Börling ym. 2018, 92; Nordkalk 2019a).

Taulukko 7. Fosforin vähenemät käytettäessä samaa tai eri maanmuokkaustapoja verrattuna rakennekalkittuun maahan. Taulukko M. Salonen. Lähtötiedot Svanbäck ym. 2014, Table 9, 132; liitteessä 1.

	sama maanmuokkaustapa, fosforin vähenemä		eri maanmuokkaustapa, fosforin vähenemä			
	kg ha ⁻¹ vuosi ⁻¹	%	min kg ha ⁻¹ vuosi ⁻¹	min %	max kg ha ⁻¹ vuosi ⁻¹	max %
TP	0,20	25	0,18	23	0,54 ^b	48
PP	0,22	32	0,14	23	0,48 ^b	51
DRP	0	0	0	0	0,07	35

b merkitsevä ero verrattuna käsittelyyn C, katso taulukko 1

Taulukosta 7 on helposti nähtävissä, että mikäli samalla kun maa rakennekalkitaan, vaihdetaan maanmuokkaustapaa paremmaksi, voidaan päästä jopa yli 50 prosentin vähenemään partikkeleihin sitoutuneen fosforin (PP) osalta. Toisaalta tässä tutkimuksessa (Svanbäck ym. 2014) ei tarkasteltu kuin yhden maanmuokkaustavan rakennekalkitusta, joten maanmuokkaustavan pitäminen samana ja pelkkä rakennekalkitus tuottanee taas erilaisia tuloksia.

3.2 Rakennekalkituksella voidaan torjua fosforihuuhtoumia savimailta

3.2.1 Tutkimusalue ja rakennekalkitukset

Kyseessä on seitsemänvuotinen (vuosina 2006–2013) tutkimus, jossa kahdella 20–30 kilometrin päässä Tukholmasta sijaitsevalla tutkimuskentällä testattiin rakennekalkituksen vaikutusta maaperään sekä kentällä että laboratorioissa. Alueet olivat Bornsjön ja Wiad. (Ulén & Etana 2014, 1, 2, 3.)

Bornsjönin alueella on 28 salaojitettua koepalstaa kooltaan 24 metriä x 20 metriä. Alueella on korkea savipitoisuus, 57–61 %. Wiadin alueella on 8 salaojitettua koepalstaa

kooltaan 55 metriä x 60 metriä. Alueen savipitoisuus on merkittävästi matalampi, 22–29 %. (Ulén & Etana 2014, 2, 3.) Bornsjönin koealue on rakennettu vuonna 2006 (Svanbäck ym. 2014, 125). Wiadin koealueesta ei löytynyt rakennus- tai muita tietoja digitaalisessa muodossa, mutta sen kuvaus löytyy Ulén & Etanan (2014, 3; Table 2) mukaan tutkimuksesta Gustafsson A. & Torstensson G. 1988. Leaching of nutrients after ploughing a ley.

Molempia alueita seurattiin ja tutkittiin sekä ennen rakennekalkitusta että sen jälkeen. Bornsjön: tutkimukset vuosi ennen rakennekalkitusta, rakennekalkitus, tutkimukset 6 vuotena rakennekalkituksen jälkeen, Wiad: tutkimukset 3 vuotena ennen rakennekalkitusta, rakennekalkitus, tutkimukset 2 vuotena rakennekalkituksen jälkeen. (Ulén & Etana 2014, 3.)

Lisäksi molemmilta alueilta kerättiin maanäytteitä, joita tutkittiin laboratoriossa. Bornsjönin alueen näytteet (12 kappaletta) kerättiin rakennekalkitsemattomalta alueelta koepalstojen välistä lokakuussa 2010 ja Wiadin näytteet (8 kappaletta) kerättiin 17.10.2013 koepalstoilta, joista 4 oli rakennekalkittuja ja 4 kalkitsemattomia. (Ulén & Etana 2014, 3, 4.) Liitteessä 2 (Figure 1. Map of Sweden and the coastal area... (Ulén & Etana 2014, 2)) on kuva molempien koealueiden palstasijoittelusta ja näytteiden keräyspaikoista.

Rakennekalkitukset tutkimusalueilla:

Bornsjön: 26.9.2007 poltettua kalkkia (kalsiumoksidi CaO) määrä, joka vastasi 5 tonnia aktiivista CaO hehtaarille.

Wiad: 13.9.2011 kaupallisesti saatavilla olevaa tuotetta jossa aktiivista kalkkia sammutettuna kalkkina (Ca(OH)₂), määrä joka vastasi 2 tonnia aktiivista CaO hehtaarille.

Molemmissa kohteissa kalkki levitettiin kuivissa olosuhteissa ja muokattiin välittömästi huolellisesti kultivaattorilla useasta suunnasta pintamaahan. (Ulén & Etana 2014, 3.)

Rakennekalkitus laboratoriossa:

Bornsjönin alueelta kerätystä maanäytteistä (12 kappaletta) kahdeksaan sekoitettiin laboratoriossa joko puhdasta poltettua kalkkia (CaO) (neljään näytteeseen) tai puhdasta sammutettua kalkkia (Ca(OH)₂) (neljään näytteeseen) määrä joka teoreettisesti vastasi 5 tonnia aktiivista CaO hehtaarille. (Ulén & Etana 2014, 3.)

3.2.2 Tulokset

Rakennekalkin lisääminen maahan vähensi merkittävästi huuhtoutuvan kokonaisfosforin (TP) määrää molemmilla savipitoisuuksilla. Partikkeleihin sitoutuneen fosforin (PP) määrä väheni merkittävästi korkean savipitoisuuden koepalstoilla (Bornsjön) ja liuenneen reaktiivisen fosforin (DRP) määrä väheni merkittävästi matalan savipitoisuuden koepalstoilla (Wiad). (Ulén & Etana 2014, 1, 5.)

Taulukossa 8 on tutkimuksen (Ulén & Etana 2014) sivulla 5 esitetyn taulukon (Table 4, liite 2) tulokset palstoilta huuhtoutuvasta vedestä Bornsjönin osalta. Käytetty Bornsjönin koealue on sama kuin tutkimuksessa Mitigation of phosphorus leaching losses via sub-surface drains from a cracking marine clay soil - Annika Svanbäck, Barbro Ulén, Ararso Etana (2014) (Ulén & Etana 2014, 5) ja tulokset ovat samat kuin mainitun tutkimuksen tulokset. Vertailukontrollina on tulosten perusteella käytetty rakennekalkitsematonta ja fosforilannoittamatonta, mutta muutoin samoilla maanmuokkaustavoilla käsiteltyä peltoa (Svanbäck ym. 2014, 126, 127, 132; Ulén & Etana 2014, 5). Taulukossa 8 esitetyt tulokset ovat näin ollen jo mukana tuloksissa, joista on koostettu taulukko 7, eikä niitä esitetä enää tämän jälkeen.

Taulukko 8. Tutkimuksen taulukosta 4 koottuna Bornsjönin koepalstoilta mitatut keskimääräiset fosforin huuhtoumat ($\text{kg ha}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$) seitsemänvuotisen tutkimuksen aikana. Taulukko M. Salonen (mukaillen Ulén & Etana 2014, Table 4, 5; liitteessä 2).

Bornsjön	CaO 5 t ha ⁻¹ *	Kontrolli	Kesanto
TP ($\text{kg ha}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$)	0,59**	0,97	0,77
PP ($\text{kg ha}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$)	0,46**	0,82	0,60
DRP ($\text{kg ha}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$)	0,13	0,15	0,17

* (Ulén & Etana 2014, 3)

** Merkitsevä vähenemä kontrolliin nähden

Taulukossa 9 on tutkimuksen (Ulén & Etana 2014) sivulla 5 esitetyn taulukon (Table 4, liite 2) tulokset koepalstoilta huuhtoutuvasta vedestä Wiadin osalta. Rakennekalkituk-

sen jälkeinen tutkimusaika Wiadin tutkimusalueella kesti kaksi vuotta (Ulén & Etana 2014, 3).

Taulukko 9. Tutkimuksen taulukosta 4 koottuna Wiadin koepalstoilta mitatut keskimääräiset fosforin huuhtoumat ($\text{kg ha}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$) seitsemänvuotisen tutkimuksen aikana. Taulukko M. Salonen (mukaillen Ulén & Etana 2014, Table 4, 5; liitteessä 2).

Wiad	Ca(OH)_2 2 t ha^{-1} *	Kontrolli	Ennen tutkimusta mitattu
TP ($\text{kg ha}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$)	0,13**	0,30	0,29
PP ($\text{kg ha}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$)	0,07	0,14	0,14
DRP ($\text{kg ha}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$)	0,08**	0,15	0,11

* (Ulén & Etana 2014, 3)

** Merkitsevä vähenemä kontrolliin nähden

Taulukkoon 10 on laskettu fosforimäärien vähenemät tutkimuksen (Ulén & Etana 2014) sivun 5 taulukosta 4 (Table 4, liite 2) otetuista arvoista Wiadin tutkimusalueella. Vaikka partikkeleihin sitoutuneen fosforin (PP) vähenemä ei tutkimuksen (Ulén & Etana 2014) mukaan ole merkitsevä, kun tuloksessa on huomioitu sijaintivaihtelut ja se on arvioitu tilastollisesti (Ulén & Etana 2014, 5), tulos on mukana laskettaessa mahdollisia fosforin vähenemiä.

Taulukko 10. Fosforin vähenemät verrattaessa kontrollipalstoja rakennekalkittuihin palstoihin Wiadin tutkimusalueella. Taulukko M. Salonen. Lähtötiedot Ulén & Etana 2014, Table 4, 5; liitteessä 2.

Wiad	Kontrolli ($\text{kg ha}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$)	Ca(OH)_2 2 t ha^{-1} ($\text{kg ha}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$)	Erotus ($\text{kg ha}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$)	Erotus prosenttia %
TP	0,30	0,13**	0,17	57
PP	0,14	0,07	0,07	50
DRP	0,15	0,08**	0,07	47

** Merkitsevä vähenemä kontrolliin nähden, katso taulukko 9

Taulukossa 11 on tutkimuksen (Ulén & Etana 2014) sivulla 6 esitetyn taulukon 5 (Table 5, liite 2) tulokset laboratoriotutkimuksista. Bornsjönin näytteet (12 kappaletta) kerättiin rakennekalkitsemattomalta alueelta ja kahdeksaan niistä sekoitettiin puhdasta reaktiivista kalkkia laboratoriossa. Wiadin näytteet (8 kappaletta) kerättiin koepalstoilta, joista puolet oli rakennekalkittu. Laboratoriossa maanäytteet valmisteltiin ja niitä sadetettiin lysimetreissään sadekammiossa (Bornsjön) tai tarkoitukseen kehitellyn sadetuskorkin avulla (Wiad). (Ulén & Etana 2014, 3, 4.)

Taulukko 11. Tutkimuksen taulukosta 5 koottuna Bornsjönin koepalstojen välistä ja Wiadin koepalstoilta kerättyjen maanäytteiden fosforihuuhtoumat (kg ha^{-1}) laboratoriossa. Taulukko M. Salonen (mukaillen Ulén & Etana 2014, Table 5, 6; liitteessä 2).

	Bornsjön			Wiad	
	CaO 5 t ha^{-1} *	Ca(OH) ₂ 5 t ha^{-1} *	Kontrolli	Ca(OH) ₂ 2 t ha^{-1} *	Kontrolli
TP (kg ha^{-1})	0,03**	0,04**	0,15	0,11**	0,13
PP (kg ha^{-1})	0,02**	0,03**	0,13	0,03	0,03
DRP (kg ha^{-1})	0,01	0,01	0,02	0,08**	0,10

* (Ulén & Etana 2014, 3)

** Merkitsevä vähenemä kontrolliin nähden

Taulukko 12. Wiadin tutkimusalueelta kerättyjen, laboratorio-olosuhteissa testattujen maanäytteiden fosforin vähenemät verrattaessa kontrollinäytteisiin. Taulukko M. Salonen. Lähtötiedot Ulén & Etana 2014, Table 5, 6; liitteessä 2.

Wiad	Kontrolli (kg ha^{-1})	Ca(OH) ₂ 2 t ha^{-1} (kg ha^{-1})	Erotus (kg ha^{-1})	Erotus prosenttia %
TP	0,13	0,11**	0,02	15
PP	0,03	0,03	0	0
DRP	0,10	0,08**	0,02	20

** Merkitsevä vähenemä kontrolliin nähden, katso taulukko 11

Taulukko 13. Bornsjönin tutkimusalueelta kerättyjen, laboratorio-olosuhteissa testattujen maanäytteiden fosforin vähenemät verrattaessa kontrollinäytteisiin. Taulukko M. Salonen. Lähtötiedot Ulén & Etana 2014, Table 5, 6; liitteessä 2.

Bornsjön	Kontrolli (kg ha ⁻¹)	CaO 5 t ha ⁻¹ (kg ha ⁻¹)	Erotus (kg ha ⁻¹)	Erotus prosenttia %
TP	0,15	0,03**	0,12	80
PP	0,13	0,02**	0,11	85
DRP	0,02	0,01	0,01	50
Bornsjön	Kontrolli (kg ha ⁻¹)	Ca(OH) ₂ 5 t ha ⁻¹ (kg ha ⁻¹)	Erotus (kg ha ⁻¹)	Erotus prosenttia %
TP	0,15	0,04**	0,11	73
PP	0,13	0,03**	0,10	77
DRP	0,02	0,01	0,01	50

** Merkitsevä vähenemä kontrolliin nähden, katso taulukko 11

Taulukoissa 12 ja 13 on laskettu Bornsjönin ja Wiadin tutkimusalueilta kerättyjen, laboratoriossa tutkittujen näytteiden osoittamat fosforin vähenemät, kun verrataan rakennekalkilla käsiteltyjä näytteitä kontrollinäytteisiin. Mukana ovat myös tulokset, joissa ei ole merkitsevää vähenemää kontrolliin nähden

3.2.3 Päätelmät

Taulukossa 14 on koottuna tutkimuksen (Ulén & Etana 2014) osoittamat fosforin määrän vähenemät vedessä verrattaessa rakennekalkittuja koepalstoja muihin koepalstoihin Wiadin alueella, jossa savipitoisuus oli alhainen 22–29 % (Ulén & Etana 2014, 3). Tiedot on koostettu tutkimuksen (Ulén & Etana 2014) sivun 5 taulukosta 4 (Table 4, liite 2) pohjalta ja kerätty taulukosta 10.

Wiadin tutkimusalueelle käytetty kalkkimäärä vastasi 2 tonnia aktiivista CaO hehtaarille (Ulén & Etana 2014, 3). Käytetty reaktiivinen kalkkimäärä on hiukan korkeampi, kuin eri toimijoiden antamat ohjeet rakennekalkituksessa käytettävän reaktiivisen kalkin määrästä, mikäli käytetään ohjeiden mukaisia määriä rakennekalkkia. Ruotsin Jordbruksverket antaa yleismääräksi 5–8 tonnia rakennekalkkia hehtaarille (Börling ym. 2018,

92), mikä muutettuna oletusmääräksi puhdasta reaktiivista CaO (vähintään 20 % rakennekalkin määrästä (Wepppling 2018, 9)) on 1–1,6 tonnia hehtaarille ja Nordkalkin vähintään 7 tonnia hehtaarille (Nordkalk 2019a) on puhtaaksi reaktiiviseksi kalkiksi muutettuna vähintään 1,4 tonnia per hehtaari. Käytetty rakennekalkin levitystapa ja maahanmuokkaus vastasivat rakennekalkin levityksestä ja maahanmuokkauksesta annettuja ohjeita (esim. Börling ym. 2018, 92; Nordkalk 2019a). Tutkimuksessa (Ulén & Etana 2014) ei mainita, että rakennekalkittujen koepalstojen ja kontrollikoepalstojen maanmuokkauksilla olisi eroa, joten oletus on, että maanmuokkaukset ovat yhtenevät.

Taulukko 14. Fosforin vähenemät verrattaessa kontrollipalstoja ja rakennekalkittuja palstoja Wiadin tutkimusalueella. Taulukko M. Salonen. Lähtötiedot Ulén & Etana 2014, Table 4, 5; liitteessä 2.

Wiad	sama maanmuokkaustapa, fosforin vähenemä, matala savipitoisuus	
	kg ha ⁻¹ vuosi ⁻¹	%
TP	0,17**	57
PP	0,07	50
DRP	0,07**	47

** Merkitsevä vähenemä kontrolliin nähden, katso taulukko 10

Taulukossa 15 on koottuna tutkimuksen (Ulén & Etana 2014) osoittamat, laboratoriossa testatut fosforin määrän vähenemät vedessä verrattaessa rakennekalkittuja (Bornsjön laboratoriossa ja Wiad maastossa) maanäytteitä kalkitsemattomiin maanäytteisiin. Wiadin alueen savipitoisuus oli 22–29 % (Ulén & Etana 2014, 3) ja Bornsjönin alueen 57–61 % (Ulén & Etana 2014, 2). Tiedot on koostettu tutkimuksen (Ulén & Etana 2014) sivun 6 taulukosta 5 (Table 5, liite 2) ja kerätty taulukoista 12 ja 13. Bornsjönin koealueelta kerättyihin maanäytteisiin sekoitettiin laboratoriossa kalkkia, jonka määrä vastasi 5 tonnia aktiivista CaO hehtaarille (Ulén & Etana 2014, 3). Käytetty reaktiivinen kalkkimäärä on korkeampi, kuin eri toimijoiden antamat ohjeet rakennekalkituksessa käytettävän reaktiivisen kalkin määrästä, mikäli käytetään ohjeiden mukaisia määriä rakennekalkkia, esimerkiksi Ruotsin Jordbruksverket antaa yleismääräksi 5–8 tonnia rakennekalkkia hehtaarille (Börling ym. 2018, 92), mikä muutettuna oletusmääräksi puhdasta reaktiivista CaO (vähintään 20 % rakennekalkin määrästä (Wepppling 2018, 9)) on 1–

1,6 tonnia hehtaarille. Wiadin koepalstoilta kerätyt maanäytteet sisälsivät kalkkia määrän, joka vastasi 2 tonnia aktiivista CaO hehtaarille (Ulén & Etana 2014, 3).

Taulukko 15. Fosforin vähenemät verrattaessa rakennekalkittuja maanäytteitä kalkitsemattomiin kontrollinäytteisiin laboratoriossa. Taulukko M. Salonen. Lähtötiedot Ulén & Etana 2014, Table 5, 6; liitteessä 2.

Bornsjön CaO 5 t ha ⁻¹	sama maanmuokkaustapa, fosforin vähenemä, korkea savipitoisuus	
	kg ha ⁻¹	%
TP	0,12**	80
PP	0,11**	85
DRP	0,01	50
Bornsjön Ca(OH) ₂ 5 t ha ⁻¹	sama maanmuokkaustapa, fosforin vähenemä, korkea savipitoisuus	
	kg ha ⁻¹	%
TP	0,11**	73
PP	0,10**	77
DRP	0,01	50
Wiad Ca(OH) ₂ 2 t ha ⁻¹	sama maanmuokkaustapa, fosforin vähenemä, matala savipitoisuus	
	kg ha ⁻¹	%
TP	0,02**	15
PP	0	0
DRP	0,02**	20

** Merkitsevä vähenemä kontrolliin nähden, katso taulukko 11

Maanmuokkaustavat kalkituilla ja kalkitsemattomilla näytteillä oletetaan tässä samantaisiksi, koska tutkimuksessa (Ulén & Etana 2014) ei Wiadin kohdalla mainita, että rakennekalkittujen koepalstojen ja kontrollikoepalstojen maanmuokkauksilla olisi eroa, ja

Bornsjönin maanäytteet kerättiin koepalstojen välistä rakennekalkitsemattomalta alueelta (Ulén & Etana 2014, 3), jonka maanmuokkauksesta ei ole lainkaan mainintaa. Laboratoriossa näytteitä kohdeltiin tutkimusaluekohtaisesti (Ulén & Etana 2014, 3, 4).

Bornsjönin koepalsta-alueelta tässä tutkimuksessa olevat tulokset ovat jo mukana taulukon 7 tuloksissa. Tämä yhdistettynä taulukon 15 Bornsjönin tulosten kanssa kertoo, että laboratoriossa mitatut tulokset ovat huomattavan erilaiset. Toisaalta Bornsjönin maanäytteiden laboratorio- ja koekenttäfosforimääriä ei oikeastaan voi täysin verrata, koska ne on kerätty eri kohdista koealuetta; koekenttähuuhtoumat on mitattu koepalstoilta valuvasta vedestä ja laboratoriossa testatut maanäytteet on kerätty koepalstojen välissä olevalta rakennekalkitsemattomalta alueelta (Ulén & Etana 2014, 3), jonka maanmuokkaustavoista ei ole tietoa. Tuloksien mukaan laboratoriossa mitatut fosforihuuhtouman vähenemät (prosenttia %) ovat huomattavasti suuremmat kuin koepalstoilla (taulukot 7 ja 15). Määrältään sekä koepalstoille että maanäytteisiin lisätty kalkki oli sama, aktiivinen CaO 5 t ha⁻¹, mutta laboratorionäytteisiin se lisättiin vasta laboratoriossa ja kahdessa eri muodossa (Ulén & Etana 2014, 3).

Myös Wiadin tutkimusalueen palstoilta valuvan veden ja laboratoriossa testattujen maanäytteiden tuloksissa oli reilusti eroa. Wiadin maanäytteet kerättiin samoilta palstoilta, joilta vesinäytteetkin tulivat (Ulén & Etana 2014, 4). Wiadin tuloksissa ero oli toisinpäin, koepalstoilta valuvan veden fosforin määrän vähenemä (taulukot 14 ja 15, prosenttia %) rakennekalkituilta palstoilta oli suurempi, kuin laboratoriossa mitattu.

Tutkimustuloksissa oli kuitenkin merkitsevät erot molemmilla tutkimusalueilla ja molemmilla tutkimustavoilla kokonaisfosforin (TP) määrässä verrattaessa rakennekalkittua näytettä ja kontrollinäytettä. Bornsjönin tuloksissa merkitsevä ero oli kokonaisfosforin (TP) määrässä sekä lisäksi partikkeleihin sitoutuneen fosforin (PP) määrässä. Wiadin tuloksissa merkitsevä ero oli kokonaisfosforin (TP) määrässä sekä lisäksi liuenneen reaktiivisen fosforin (DRP) määrässä. Näin oli sekä koepalstoilta valuvan veden fosforimäärissä että laboratoriossa mitatuissa fosforimäärissä. (Ulén & Etana 2014, 5, 6.)

3.3 Arviointia metodeista joilla voi vähentää fosforin huuhtoutumista salaojitetuilta savimailta

3.3.1 Tutkimusalue ja rakennekalkitukset

Kyseessä on kahdeksanvuotinen tutkimusperiodi (vuosien 2007–2016 aikana), jossa käytettiin Itä-Ruotsissa sijaitsevaa, vuonna 2006 rakennettua aluetta. Alue on sama kuin tutkimuksessa “Mitigation of phosphorus leaching losses via subsurface drains from a cracking marine clay soil - Salaojien kautta tapahtuvan fosforihuuhtouman vähentäminen halkeilevilla merisavimailta” ja siten osittain sama kuin tutkimuksessa “Phosphorus leaching from clay soils can be counteracted by structure liming - Rakennekalkituksella voidaan torjua fosforihuuhtoumia savimailta”. Alueen nimeksi ilmoitetaan Oxelby experimental site (Oxelbyn tutkimusalue) ja se sisältää koepalsta-alueen (The Oxelby plot experiment) sekä peltoalueen (The Oxelby field). Alue sijaitsee laakson pohjalla ja on lähes täysin tasainen. (Ulén ym. 2018, S114–S115.)

Palsta-alueella on 28 salaojitettua koepalstaa kooltaan 20 metriä x 24 metriä. Palstat ovat kahdessa rivissä peltoalueen ja pienen puron välissä. Jokaisella palstalla on salaojitus, joka on rakennettu vuonna 2006. Salaojat ovat 1 metrin syvyydessä 8 metrin välein. Koepalstat on erotettu toisistaan kyntösyvyyden (30 cm) alle ulottuvalla muovilevyllä. (Ulén ym. 2018, S115.) Peltoalue on tutkimuksen alkaessa salaojitettu vanhoilla tiiliojilla (Ulén ym. 2018, S117). Palstoilta sekä pellolta tuleva vesi päätyy avo-ojaan, joka sijaitsee keskellä laakson keskellä koealueen itäreunassa (Ulén ym. 2018, S115). Peltoalueen koko on 4,3 hehtaaria (Ulén ym. 2018, S114).

Tutkimusalueen maaperässä on korkea savipitoisuus (60 %) ja se on alkujaan merenpohjaa (Svanbäck ym. 2014, 125). Savipitoisuus vaihtelee tutkimusalueella vain vähän (Svanbäck ym. 2014, 125), mutta lisääntyy kohti laakson keskustaa (Ulén ym. 2018, S115).

Tutkimuksessa palstoille käytettiin kolmea erilaista maanmuokkaustapaa. Tavat olivat kevytmuokkaus syksyllä (ShT), tavallinen kyntö syksyllä (CT) sekä rakennekalkitus yhdistettynä tavalliseen kyntöön syksyllä (SL-CT). Kaikille maanmuokkaustavoille käytettiin suositeltua fosforilannoitetta määrää, joka vastasi sadon mukaista poistumaa. Neljäntenä käsittelynä oli lannoittamaton kesanto (UF), jonka sato jätettiin pellolle. (Ulén ym. 2018, S115, S116.)

Tutkimuksen (Ulén ym. 2018) käsittelyt vastaavat tutkimuksen Mitigation of phosphorus leaching losses via subsurface drains from a cracking marine clay soil (Svanbäck ym. 2014) käsittelyitä yksikäsitteisesti, paitsi ShT, jonka tuloksista ei voinut päätellä kumpaa Svanbäckin ym. (2014) tutkimuksen ShT määritelmään sopivaa lannoitustapaa se vastasi. Taulukossa 16 on näiden kahden tutkimuksen käsittelyiden vastaavuudet.

Tutkimuspalstat sijoitettiin sattumanvaraisesti ja jokaista neljää variaatiota kohden oli neljä palstaa, yhteensä 16 tutkimuspalstaa (Ulén ym. 2018, S115). Reaktiivinen kalkki (käsittelyssä SL-CT) lisättiin koepalstoille vuonna 2007 kuivissa olosuhteissa sängelle ja se muokattiin välittömästi maahan kultivaattorilla 15 cm syvyydeltä. Puhdasta poltettua kalkkia käytettiin määrä, joka vastaa viittä tonnia kalsiumoksidia per hehtaari (5 t CaO ha⁻¹). (Ulén ym. 2018, S116.)

Taulukko 16. Kahden tutkimuksen toisiaan vastaavat käsittelyt (Ulén ym. 2018, S115, S116; Svanbäck ym. 2014, 126, 127). Taulukko M. Salonen.

Ulén ym. 2018	Svanbäck ym. 2014	Maanmuokkaustapa, käsittelyn sisältö
CT	A	tavallinen kyntö syksyllä (syvyys 23 cm), fosforilisä I
SL-CT	C	rakennekalkitus ja tavallinen kyntö syksyllä (syvyys 23 cm), fosforilisä I
ShT*	D	kevytmuokkaus (syvyys 12 cm) syksyllä, fosforilisä I
	E	kevytmuokkaus (syvyys 12 cm) syksyllä, fosforilisä II
UF	F	lannoittamaton kesanto

*Tapaa ei voi aukottomasti päätellä annetuista tuloksista.

Lannoitustapa I sijoituslannoitus

Lannoitustapa II levityslannoitus

Koko peltoalue (Oxelby field) rakennekalkittiin elokuussa vuonna 2013. Yleisesti saatavilla olevaa (commercial mixture) rakennekalkkia, sisältäen sammutettua kalkkia (Ca(OH)₂), levitettiin määrä, joka reaktiivinen osuus vastasi yhtä tonnia aktiivista kalsiumoksidia (CaO) hehtaarille. Kalkki lisättiin kuivalla säällä ja se muokattiin maahan välittömästi kultivaattorilla 12 cm syvyydeltä kahteen eri suuntaan ajaen. Kolme viikkoa myöhemmin salaojitus uusittiin kahdella kolmasosalla pellostä (alin ja keskiosa peltoa).

Salaojakaivantojen pohjalle tuli 4–8 mm soraa ja täytemaahan sekoitettiin rakennekalkkia. Käytetty rakennekalkki sisälsi 18 % CaO, vastaten 1,2 kg CaO m⁻¹ yhdelle kolmasosalle peltoa ja 2,4 kg CaO m⁻¹ yhdelle kolmasosalle peltoa. Rakennekalkki muokattiin täytemaahan kultivaattorilla. Suurempi määrä lisättiin alemmalle pellon osalle, jossa on suurempi savipitoisuus. (Ulén ym. 2018, S117.)

3.3.2 Tulokset

Koko tutkimuksen (Ulén ym. 2018) ajalta laskettu keskimääräinen huuhtoutuvan fosforin määrä koepalstoilta (Oxelby plot) eri käsittelyillä näyttäisi antavan tulokseksi, että rakennekalkitulta koepalstoilta oli pienempi fosforihuuhtouma kuin muilta koepalstoilta (Ulén ym. 2018, S114; Table 2, S119). Näin ei kuitenkaan ole, vaan erot eivät ole merkitseviä, kun niitä tarkastellaan eri muuttujien kautta (Ulén ym. 2018, table 2, S119; S120). Koepellon (Oxelby field) tuloksissa sen sijaan fosforihuuhtouman vähenemä oli selkeä ja huomattava (Ulén ym. 2018, table 2, S119; S122).

Taulukko 17. Tutkimuksen taulukosta 2 koottuna TP huuhtoumat (kg ha⁻¹ vuosi⁻¹) koepalsta-alueella kahdeksan vuoden tutkimusjakson aikana keskimäärin sekä erotus tapaan SL-CT. Taulukko M. Salonen (mukailien Ulén ym. 2018, Table 2, S119; liitteessä 3).

Kokonaisfosfori TP (Oxelby plot)			
kg ha ⁻¹ vuosi ⁻¹	maanmuokkaustapa	erotus tapaan SL-CT kg ha ⁻¹ vuosi ⁻¹	tapa SL-CT prosenttia % vähemmän
1,21	ShT	0,64	53
0,84	UF	0,27	32
0,81	CT	0,24	30
0,57	SL-CT	-	-

Taulukoihin 17 ja 18 on tutkimuksen (Ulén ym. 2018) sivulla S119 olevasta taulukosta 2 (Ulén ym. 2018, Table 2, S119) (liitteessä 3) koostettu fosforin (kokonaisfosfori TP taulukossa 17 ja liennut reaktiivinen fosfori DRP taulukossa 18) huuhtoumat (kg ha^{-1} vuosi $^{-1}$) koepalsta-alueella (Oxelby plot) ja laskettu niiden erot verrattuna rakennekalkituksen sisältävään koepalstakäsittelyyn. Näistä ainoastaan käsittelyn ShT ero rakennekalkituksen sisältävään käsittelyyn SL-CT on jollain tasolla merkitsevä (Ulén ym. 2018, Table 2, S119) (liitteessä 3). Koska kuitenkin erot ovat selkeät ja koko tutkimusperiodin keskiarvoilla olemassa, näitä keskiarvoja on käytetty sinällään taulukoissa.

Taulukko 18. Tutkimuksen taulukosta 2 koottuna DRP huuhtoumat (kg ha^{-1} vuosi $^{-1}$) koepalsta-alueella kahdeksan vuoden tutkimusjakson aikana keskimäärin sekä erotus tapaan SL-CT. Taulukko M. Salonen (mukaillen Ulén ym. 2018, Table 2, S119; liitteessä 3).

Liennut reaktiivinen fosfori DRP (Oxelby plot)			
kg ha^{-1} vuosi $^{-1}$	maanmuokkaustapa	erotus tapaan SL-CT kg ha^{-1} vuosi $^{-1}$	tapa SL-CT prosenttia % vähemmän
0,18	ShT	0,05	28
0,15	UF	0,02	13
0,13	CT	0	0
0,13	SL-CT	-	-

Taulukossa 19 on tutkimuksen (Ulén ym. 2018) sivulla S119 olevasta taulukosta 2 (Ulén ym. 2018, Table 2, S119) (liitteessä 3) koostettuna fosforin (kokonaisfosfori TP ja liennut reaktiivinen fosfori DRP) huuhtoumat (kg ha^{-1} vuosi $^{-1}$) peltoalueella (Oxelby field) ja niiden ero ennen ja jälkeen rakennekalkituskäsittelyn. Peltoalueen rakennekalkituskäsittely ei ollut tasainen koko pellon alueella (Ulén ym. 2018, S117), mutta tuloksissa sitä käsitellään yhtenä kokonaisuutena (Ulén ym. 2018, Table 2, S119) (liitteessä 3).

Taulukko 19. Tutkimuksen taulukosta 2 koottuna peltoalueen (Oxelby field) fosforihuuhtoumat ($\text{kg ha}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$) ennen ja jälkeen rakennekalkituksen sekä niiden ero. Taulukko M. Salonen (mukaiillen Ulén ym. 2018, Table 2, S119; liitteessä 3).

Oxelby field	ennen rakennekalkitusta $\text{kg ha}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$	rakennekalkituksen jälkeen $\text{kg ha}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$	erotus ennen - jälkeen $\text{kg ha}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$	erotus ennen - jälkeen, prosenttia %
TP	1,00	0,45	0,55	55
DRP	0,20	0,13	0,07	35

Peltoalueella (Oxelby field) myös kiintoaineen (SS, suspended solids) määrä vedessä väheni yli puolella verrattaessa aikaa ennen ja jälkeen peltoalueella tehtyjen perusparannustoimien; $650 \text{ kg ha}^{-1} \text{ vuosi}^{-1} \rightarrow 302 \text{ kg ha}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$ (Ulén ym. 2018, Table 2, S119) (liitteessä 3). Kiintoaineen vähenemisen syyksi arvioidaan salaojien uusinta, salaojakaivantojen täytemaahan lisätty rakennekalkki, sekä koko pellon rakennekalkitus (Ulén ym. 2018, S121, S122).

Tutkimustekstissä viitataan myös partikkeleihin sitoutuneen fosforin (PP) vähenemiseen peltoalueella (Oxelby field) samalla kun kiintoaineen (SS) määrä on vähentynyt (Ulén ym. 2018, S121, S122), mutta taulukossa, johon viitataan (Ulén ym. 2018, Table 2, S119) (liitteessä 3), ei ole lainkaan mainintaa partikkeleihin sitoutuneesta fosforista (PP). Viittaus partikkeleihin sitoutuneen fosforin (PP) määrän vähenemisestä on 40-50 % ("Phosphorus transport as TP and PP was 40–50% lower ...") (Ulén ym. 2018, S122), josta ilmeisesti noin 40 % olisi partikkeleihin sitoutuneen fosforin (PP) vähenemä, koska kokonaisfosforin (TP) vähenemä on 55 % (taulukko 19).

3.3.3 Päätelmät

Rakennekalkituille koepalstoille käytettiin poltettua kalkkia määrä, joka vastasi viittä tonnia kalsiumoksidia per hehtaari (5 t CaO ha^{-1}) (Ulén ym. 2018, S116). Käytetty reaktiivinen kalkkimäärä on korkeampi, kuin eri toimijoiden antamat ohjeet rakennekalkituksessa käytettävän reaktiivisen kalkin määrästä, mikäli käytetään ohjeiden mukaisia määriä rakennekalkkia, esimerkiksi Ruotsin Jordbruksverket antaa yleismääräksi 5–8 tonnia rakennekalkkia hehtaarille (Börling ym. 2018, 92), mikä muutettuna oletusmää-

räksi puhdasta reaktiivista CaO (vähintään 20 % rakennekalkin määrästä (Weppling 2018, 9)) on 1–1,6 tonnia hehtaarille. Peltoalueelle käytettiin yleisesti saatavilla olevaa (commercial mixture) rakennekalkkia, sisältäen sammutettua kalkkia (Ca(OH)₂) ja sitä levitettiin määrä joka vastasi yhtä tonnia aktiivista kalsiumoksidia (CaO) hehtaarille (ekvivalentti 1 t CaO ha⁻¹) (Ulén ym. 2018, S117). Tämä kalkkimäärä vastaa eri toimijoiden antamia ohjeita rakennekalkituksen käytettävän kalkin määrästä, esimerkiksi Ruotsin Jordbruksverket antaa yleismääräksi 5–8 tonnia rakennekalkkia hehtaarille (Börling ym. 2018, 92), mikä muutettuna oletusmääräksi puhdasta reaktiivista CaO (vähintään 20 % rakennekalkin määrästä (Weppling 2018, 9)) on 1–1,6 tonnia hehtaarille. Sekä koepalstoilla (Oxelby plot) että koepellolla (Oxelby field) käytetty rakennekalkin levitystapa ja maahanmuokkaus vastasivat rakennekalkin levityksestä ja maahanmuokkauksesta annettuja ohjeita (esim. Börling ym. 2018, 92; Nordkalk 2019a). Salaojakaivantojen täytemaahan lisättiin rakennekalkkia (18 % CaO) vastaten 1,2 kg CaO m⁻¹ tai 2,4 kg CaO m⁻¹ tai ei lainkaan kalkkia (Ulén ym. 2018, S117). Rakennekalkki muokattiin täytemaahan kultivaattorilla (Ulén ym. 2018, S117). Salaojakaivantojen täytemaahan lisättävän kalkin määrästä ei ole löydettävissä täsmällisiä ohjeita. Maa- ja metsätalousministeriön asetus maatalouden ympäristötuen erityistuista 647/2000 §28 mukaan “Kalkkisuodinojituksessa salaojakaivanto täytetään täyttömaalla, johon on sekoitettu poltettua kalkkia. --- Kalkkia tarvitaan savimaalla keskimäärin viisi prosenttia maan märkäpainosta.” (Maa- ja metsätalousministeriön asetus maatalouden ympäristötuen erityistuista 647/2000). Käytetyn kalkin määrän arviointi suhteessa maan painoon on mahdotonta. Lisäksi käytetty kalkin määrä ei ollut tasainen, vaan noudatti pellon savipitoisuutta (Ulén ym. 2018, S117).

Taulukossa 20 on koottuna tutkimuksen (Ulén ym. 2018) osoittamat kokonaisfosforin (TP) ja liuenneen reaktiivisen fosforin (DRP) määrän vähenemät verrattaessa rakennekalkittuja koepalstoja muihin koepalstoihin (Oxelby plot). Tiedot on koostettu tutkimuksen (Ulén ym. 2018) sivulla S119 olevasta taulukosta 2 (Ulén ym. 2018, Table 2, S119) (liitteessä 3) ja kerätty taulukoista 17 ja 18.

Taulukko 20. Fosforin vähenemät käytettäessä samaa tai eri maanmuokkaustapoja verrattuna rakennekalkituskäsitelyihin koepalstoihin. Taulukko M. Salonen. Lähtötiedot Ulén ym. 2018, Table 2, S119; liitteessä 3.

Oxelby plot	sama maanmuokkaustapa, fosforin vähenemä		eri maanmuokkaustapa, fosforin vähenemä			
	kg ha ⁻¹ vuosi ⁻¹	%	min kg ha ⁻¹ vuosi ⁻¹	min %	max kg ha ⁻¹ vuosi ⁻¹	max %
TP	0,24	30	0,27	32	0,64	53
DRP	0	0	0,02	13	0,05	28

Taulukosta 20 on nähtävissä, että vaikka kokonaisfosforin (TP) määrien erot eivät ole merkitseviä, kun niitä tarkastellaan eri muuttujien kautta (Ulén ym. 2018, table 2, S119; S120), niin erot ovat olemassa kaikilla käsittelytavoilla, jotka tässä tutkimuksessa (Ulén ym. 2018) ovat mukana. Liunneen reaktiivisen fosforin (DRP) osalta näkyy, että samoin kuin kahdessa muussa tutkimuksessa (Svanbäck ym. 2014; Ulén & Etana 2014), ero on joko pienempi tai sitä ei ole lainkaan (taulukot 7 ja 15).

Taulukossa 19 peltoalueen (Oxelby field) fosforihuuhtouman vähenemät noudattavat samaa linjaa, kuin koepalstoilla (Oxelby plot) (taulukko 20). Kokonaisfosforin (TP) määrän vähenemä on suurempi kuin liunneen reaktiivisen fosforin (DRP) vähenemä.

3.4 Yhteenveto

Kolmen ruotsalaisen, vuosien 2006 ja 2016 välillä suoritetun tutkimuksen yhdistetyt tulokset ovat, että rakennekalkituksella joko voidaan vähentää merkittävästi fosforin (P) huuhtoutumista savimaata sisältävältä pellolta, tai sitten ei. Kahdessa tutkimuksessa (Svanbäck ym. 2014; Ulén & Etana 2014) tuloksena oli merkitsevä vähenemä fosforin määrälle verrattaessa rakennekalkittuja koepalstoja kalkitsemattomiin, ja kolmannessa tutkimuksessa, jossa käytettiin samoja, korkean savipitoisuuden (60 % Svanbäck ym. 2014, 125) koepalstoja, merkitsevää eroa ei löydetty (Ulén ym. 2018). Yhdessä tutkimuksessa löydettiin myös merkitsevä ero verrattaessa rakennekalkittuja koepalstoja

kalkitsemattomiin matalan savipitoisuuden (22–29 % Ulén & Etana 2014, 3) alueella (Ulén & Etana 2014, Table 4, 5) (liitteessä 2).

Kaikkien kolmen tutkimuksen samalta tutkimusalueelta (nimeämätön (Svanbäck ym. 2014), Bornsjön (Ulén & Etana 2014), Oxelby plot (Ulén ym. 2018)) saaduissa tuloksissa on kuitenkin nähtävissä ero vähintään kokonaisfosforin (TP) määrässä rakennekalkituilla ja rakennekalkitsemattomilla palstoilla, kun tarkastellaan pelkkiä, koko tutkimusajan keskiarvoja (Svanbäck ym. 2014, Table 9, 132, liitteessä 1; Ulén & Etana 2014, Table 4, 5, liitteessä 2; Ulén ym. 2018, Table 2, S119, liitteessä 3).

Taulukko 21. Kolmen tutkimuksen tuloksista kootut mahdolliset fosforihuuhtouman prosenttimääräiset (%) vähennykset verrattaessa rakennekalkittuja koepalstoja samalla sekä muilla maanmuokkaustavoilla käsiteltyihin kalkitsemattomiin koepalstoihin. Taulukko M. Salonen. Lähtötiedot katso lisätiedot alta.

savipitoisuus 60 % korkea ¹	sama maanmuokkaustapa, fosforin vähenemä		eri maanmuokkaustapa, fosforin vähenemä	
	min %	max %	min %	max %
TP	25 ¹⁽⁷⁾	30 ³⁽²⁰⁾	23 ¹⁽⁷⁾	48 ^{b1(7)} 53 ³⁽²⁰⁾
PP	-	32 ¹⁽⁷⁾	23 ¹⁽⁷⁾	51 ^{b1(7)}
DRP	0	0	0 ¹⁽⁷⁾	35 ¹⁽⁷⁾
savipitoisuus 22–29 % matala ²	sama maanmuokkaustapa, fosforin vähenemä			
	%			
	TP	57 ^{b2(14)}		
	PP	50 ²⁽¹⁴⁾		
	DRP	47 ^{b2(14)}		

^b merkitsevä vähenemä rakennekalkitussa näytteessä verrattuna kontrolli- tai muuhun näytteeseen

¹ tutkimus 1 (Svanbäck ym. 2014)

² tutkimus 2 (Ulén & Etana 2014)

³ tutkimus 3 (Ulén ym. 2018)

⁽ⁿ⁾ taulukko, josta tieto on kerätty

Taulukkoon 21 on koottu näiden kolmen ruotsalaisen tutkimuksen tuloksista (Svanbäck ym. 2014, Table 9, 132, liitteessä 1; Ulén & Etana 2014, Table 4, 5, liitteessä 2; Ulén ym. 2018, Table 2, S119, liitteessä 3) kerätyillä arvoilla lasketut mahdolliset fosforin määrän vähenemät prosentteina. Taulukossa 21 on koepalstoilta kerättyjen vesinäytteiden tutkimustuloksista laskettuja arvoja, koska ne ovat vertailukelpoisia keskenään.

Laboratorio-olosuhteissa sadetettujen, osittain samoilta palstoilta kerättyjen näytteiden antamat tulokset poikkeavat huomattavasti palstavesinäytteiden tuloksista. Kaikki laboratoriotuloksista lasketut arvot ovat taulukossa 15. Lisäksi kokonaisen peltoalueen rakennekalkituksella saatiin selkeä ero fosforihuuhtoumille (Ulén ym. 2018, Table 2, S119), näillä tuloksilla lasketut arvot on esitetty taulukossa 19.

4 RAKENNEKALKITUSTUTKIMUKSET SUOMESSA

Suomessa on tutkittu rakennekalkitusta jonkin verran. Suuri osa tutkimuksista on lyhyitä ja/tai osittain laboratoriossa toteutettuja, joten rakennekalkituksen pitkäaikaisvaikutuksista suomalaiseseen savimaahan on vielä vähän tietoa. Lisäksi rakennekalkin annosmääristä suomalaiseseen savimaahan on mitä ilmeisimmin hyvin vähän tutkittua tietoa. Suurin osa saatavilla olevista rakennekalkitusohjeista on hieman epämääräisiä ja rakennekalkin tonnimäärät per hehtaari ovat laveita. Maanviljelijän onkin, rakennekalkitusta harkitessaan, otettava yhteyttä rakennekalkkia myyvään kaupalliseen tahoon informaatiota saadakseen.

Liitteeseen 4 olen kerännyt muutamia suomalaisia tutkimuksia, jotka liittyvät savimaihin, fosforihuuhtoumiin sekä maan kasvukuntoon ja sen parantamiseen. Monissa ulkomaisissa tutkimuksissa viitataan suomalaisten tutkimusten löydöksiin, esimerkiksi Svanbäckin ym. (2014) mukaan viisivuotisessa tutkimuksessa (Koskiahon ym. 2002) aurauksen vähensi liuenneen reaktiivisen fosforin (DRP) määrää, mutta eroosio ja typpi (N) vähenivät matalalla maanmuokkauksella ja toisessa viisivuotisessa tutkimuksessa (Uusitalon ym. 2007) sekä liuenneen reaktiivisen fosforin (DRP) että partikkeleihin sitoutuneen fosforin (PP) määrät olivat alhaisemmat perinteisellä aurauksella kuin matalalla maanmuokkauksella (Svanbäck ym. 2014, 125).

Yleisesti väitetään, että mitä vähemmän maanmuokkausta, sitä vähemmän fosforia pellolta huuhtoutuu eteenpäin. Aura ym. (2006, 22–23) laboratorionkokeiden mukaan kahden eri koepellon näytteissä kalkitus alensi veden kokonaisfosforin pitoisuutta kaikilla tutkituilla maanmuokkaustavoilla, myös suorakylvöllä.

Rakennekalkitus on saanut viime vuosina huomiota ja jonkin verran tutkimuksia on kesken sekä alkamassa. Suomen ympäristökeskuksen vetämässä Samassa Vedessä -hankkeessa tutkitaan kuinka rehevöittävä maatalouden fosforikuormitus todella on sekä tuotetaan konkreettista tietoa käytettäväksi vesiensuojelun kehittämisessä (Samassa Vedessä 2019). Turun ammattikorkeakoulu on saanut hankeapurahan ympäristöministeriöltä rakennekalkituksen tutkimukseen. Hankkeessa ovat mukana Suomen ympäristökeskus, Luonnonvarakeskus, Pyhäjärvi-instituutti, Sokerijuurikkaan tutkimuskeskus, Turun kaupunki, ProAgria Länsi-Suomi sekä pilottialueiden viljelijät. Hankkeen yhtenä tavoitteena on kirjoittaa viljelijöille opas rakennekalkituksesta tutkimuksen tulosten perusteella. (Turun ammattikorkeakoulu 2019.)

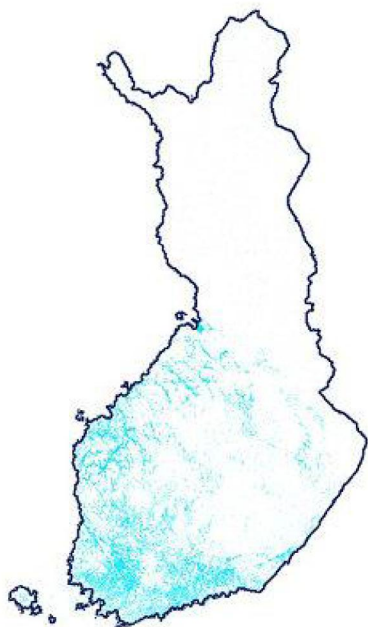
5 HELCOM JA FOSFORI

HELCOM:n vuonna 2013 tarkistetun Itämeren suojeluohjelman Suomelle laskettu fosforin vähennystavoite on 330(+26) tonnia fosforia vuodessa (HELCOM 2019c). Liitteen 5 taulukossa on kaikkien suojeluohjelman osapuolten vähennystavoitteet (HELCOM 2019c). Suomen vähennystavoite on kohdennettu Suomenlahdelle (Räike ym. 2015, 5). Varsinainen vähennystavoite 330 tonnia on Suomen maa-alueilta Suomen puolelta Itämereen laskeville joille ja Suomen lisävähennys 26 tonnia fosforia vuodessa on Suomen panos Neva-joen valuma-alueen (Vuoksen kautta) päästöihin (HELCOM 2019c). Neva laskee Suomenlahteen Pietarin kaupungin läpi. Tässä opinnäytetyössä käytetään HELCOM:n asettamana vähennystavoitteena 330 tonnia fosforia per vuosi.

Osa HELCOM:n asettamista tavoitteista on saavutettu, mutta vielä on vähennettävää jäljellä fosforin huuhtoumissa (HELCOM 2019d, 2019e). Vuodesta 1995 vuoteen 2014 kokonaisfosforin (TP) määrä koko Itämereen vuotta kohden on keskimäärin laskussa, mutta ei ole vielä saavuttanut suurinta sallittua fosforimäärää (Maximum Allowable Input) saati päässyt sen alle (HELCOM 2019f). Fosforimäärän referenssivuosisista (1997–2003) vuoteen 2016 verrattuna fosforin määrä on vähentynyt 25 % (HELCOM 2019e).

6 SUOMEN SAVIMAAT JA FOSFORI

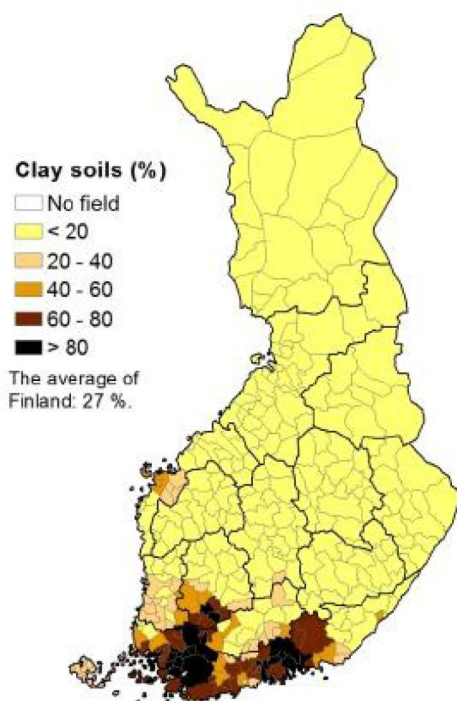
Savimaaksi luokitellaan maa, jonka kivennäisaineesta yli 30 % on savesta; noin kolmasosa Suomen pelloista luokitellaan savimaiksi (Aura ym. 2006, 6). Saves eli savi on hiukkasia, joiden läpimitta on alle 0,002 mm (Heinonen ym. 2001, 25). Etelä- ja Länsi-Suomen rannikkoalueilla on runsaasti savipitoisia maita, jotka ovat muodostuneet jääkauden jälkeen maan kohotessa (Hakala 2018). Kuvassa 2 näkyy savikkoalueiden sijoittuminen.



Kuva 2. Savikkoalueiden sijoittuminen (Hakala 2018).

Savimaan eroosio on helposti suurta, eikä se välttämättä ole silmin havaittavissa valumavesistä kiintoaineen (SS) hienojakoisuudesta johtuen (Aura ym. 2006, 6). Eroosiossa maan hiukkaset sekä niissä oleva partikkeleihin sitoutunut fosfori (PP) huuhtoutuvat pelloilta veden mukana eteenpäin, joko pintavaluntana tai salaojien kautta. Hapettomissa olosuhteissa esimerkiksi vesialueen pohjaan sedimentoitunut partikkeleihin sitoutunut fosfori (PP) muuttuu osittain leville käyttökelpoiseksi (Aura ym. 2006, 6).

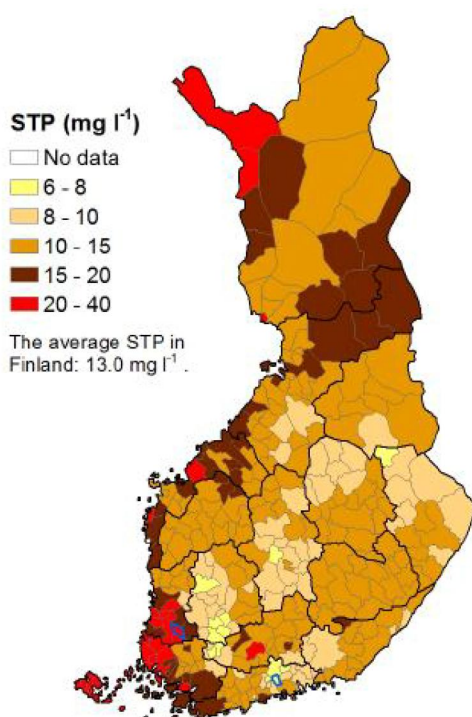
MTT:n mittauksiin perustuvan julkaisemattoman aineiston mukaan 100 % jäykkien savimaiden ojavesissä olevista hiukkasista kuuluu savifraktioon (Aura ym. 2006, 6). Näihin hiukkasiin on sitoutunut runsaasti fosforia (Aura ym. 2006, 6). Savimailta valuvan kiintoaineen (SS) vähentäminen on erinomainen tapa vähentää myös fosforin siirtymistä eteenpäin. Pintavalunta vähenee, kun salaojitus on toimiva, mutta savimailta voi silti huuhtoutua salaojien kautta huomattava määrä kiintoainetta (SS) ja sitä myöden fosforia eteenpäin (Aura ym. 2006, 7). Savimaan eroosio-ongelman poistamiseen ei riitäkään pelkkä toimiva salaojitus, vaan tarvitaan myös savimaan rakenteen parantamista (Aura ym. 2006, 7). Tällöin myös salaojien kautta kulkeutuu vähemmän kiintoainetta (SS). Lisäksi tulva eli seisova vesi eli liika vesi lisää fosforin vapautumista hiukkasista maaveteen (Hartikainen & Peltovuori 2002, 3), eli samalla kun maanparannustoimien jälkeen hiukkaset jäävät maahan eivätkä huuhtoudu eteenpäin, niistä ei myöskään vapaudu fosforia (P). Ruotsissa savimaalla suoritetun tutkimuksen tulosten mukaan pellon rakennekalkituksen jälkeen pellolta salaojien kautta kulkeutuvan kiintoaineen (SS) määrä väheni alle puoleen verrattaessa aikaan ennen rakennekalkitusta (Ulén ym. 2018, Table 2, S119) (liitteessä 3).



Kuva 3. Savimaiden osuus prosentteina kuntatasolla (kuva Ylivainio ym. 2014, figure 4, 14).

MTT:n raportti 124:aa varten tutkittiin viljavuusanalyysien tietoja koko Suomen alueelta ja koostettiin niistä kuntatasolla koko Suomen kattavia karttoja peltojen maalajeista, peltojen fosforiluvusta (STP) ja peltojen vasteesta fosforilannoitukseen (Ylivainio ym. 2014). Kuvassa 3 on savipeltojen osuus prosentteina kuntatasolla (Ylivainio ym. 2014, 14). Savipellot keskittyvät eteläisimpään osaan maata, josta on lyhyt matka Itämereen.

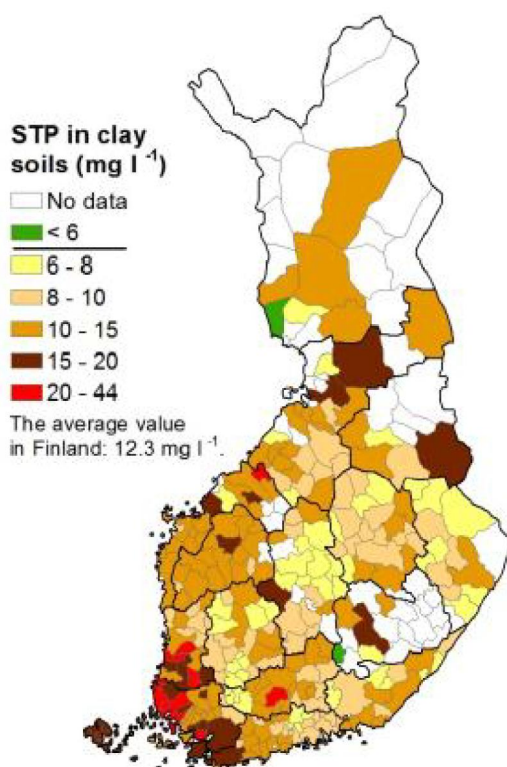
Keskimääräiset fosforiluvut (STP) kaikilla maatyypeillä koko suomessa ovat välillä 6,7–39,3 mg l⁻¹ koko maan keskiarvon ollessa 13,0 mg l⁻¹ (Ylivainio ym. 2014, 17). Kuvassa 4 on keskimääräiset fosforiluvut (STP) kuntatasolla (Ylivainio ym. 2014, 17).



Kuva 4. Keskimääräiset fosforiluvut (STP) pelloilla Suomessa. Korkein Köyliössä (39,3 mg l⁻¹) ja matalin Pornaisissa (6,7 mg l⁻¹) on ympyröity sinisellä (kuva Ylivainio ym. 2014, figure 5, 16).

Savipeltojen fosforiluvut (STP) ovat kuvassa 5 (Ylivainio ym. 2014, 17). Vihreä väri indikoi vastetta fosforilannoitukseen (Ylivainio ym. 2014, 17). Lähes puolessa tutkimuksen (Ylivainio ym. 2014) näytteistä fosfori ei ollut kasvin kasvua rajoittava tekijä, eli kyseisillä pelloilla fosforilannoitteesta ei ole hyötyä viljaa tai nurmea viljeltäessä (Ylivainio ym. 2014, 4). Maalajeittain tarkasteltuna koko maan savimaista 69 prosentilla ei

ollut satovastetta fosforille ja alueittain tarkasteltuna Varsinais-Suomen ELY-keskuksen alueella 73 prosentissa peltolohkoja ei ollut satovastetta fosforille (Ylivainio ym. 2014, 4). Nämä luvut kertovat, että fosforia on maassa ja erityisesti savimaassa runsaasti ja fosforilannoitteen käyttöä eritoten Varsinais-Suomessa tulisi harkita tarkkaan.



Kuva 5. Keskimääräiset fosforiluvut (STP) savipelloilla kuntatasolla. Vihreä väri indikoi vastetta fosforilannoitukseen (kuva Ylivainio ym. 2014, figure 6, 17).

Viljelymaiden lannoitus on menneinä vuosikymmeninä ollut, ilmeisesti tutkimustiedon puutteessa, ylilannoituksen puolella. Pelloille on levitetty fosforilannoitetta niin runsaasti yli tarpeen, että sitä on edelleen huomattavasti liikaa. Maatiloille myydyn lannoitefosforin määrä lannoitusvuonna 1980/81 oli 63 687 tonnia (Tilastokeskus 1990, 114) kun se lannoitusvuonna 2010/2011 oli enää 11 046 tonnia (Tilastokeskus 2012, 166). Lannoitusvuonna 1980/81 tämä tarkoitti 28 kg per viljelty pellohehtaari (Tilastokeskus 1990, 114) ja 6 kg per viljelty pellohehtaari lannoitusvuonna 2010/2011 (Tilastokeskus 2012, 166). Vuodesta 2008 eteenpäin vuoteen 2014 asti lannoitefosforin myyntimäärä näyttäisi vakiintuneen noin 11 000–12 000 tonniin vuodessa (Tilastokeskus 2015, 233).

Tämän jälkeen Tilastollisissa vuosikirjoissa ei ole mainintaa lannoitekäyttöön myydyin fosforin määrästä (Tilastokeskus 2016, Tilastokeskus 2017, Tilastokeskus 2018). Vuoden 1990 Suomen tilastollisessa vuosikirjassa taulukko “ Maatiloille myytyjen kasvira-vinteiden määrä” oli uusi taulukko (Tilastokeskus 1990, 7, 9), taulukon sisältäessä lan-noitusvuodet 1980/81–1988/89 (Tilastokeskus 1990, 114). Tätä aiempina vuosina myydyistä lannoitefosforimäärästä ei siis ole täysin vastaavaa tilastoa saatavilla. Ylivai-nio ym. (2014) mukaan fosforilannoitteen myyntimäärät nousivat vuosina 1945–1975 noin nolasta 34 kiloon fosforia hehtaarille (34 kg P ha^{-1}) samalla nostaen fosforin mää-rää maassa alle kuudesta yli kymmeneen milligrammaan litra (STP mg l^{-1}) (Ylivainio ym. 2014, figure 1, 6).

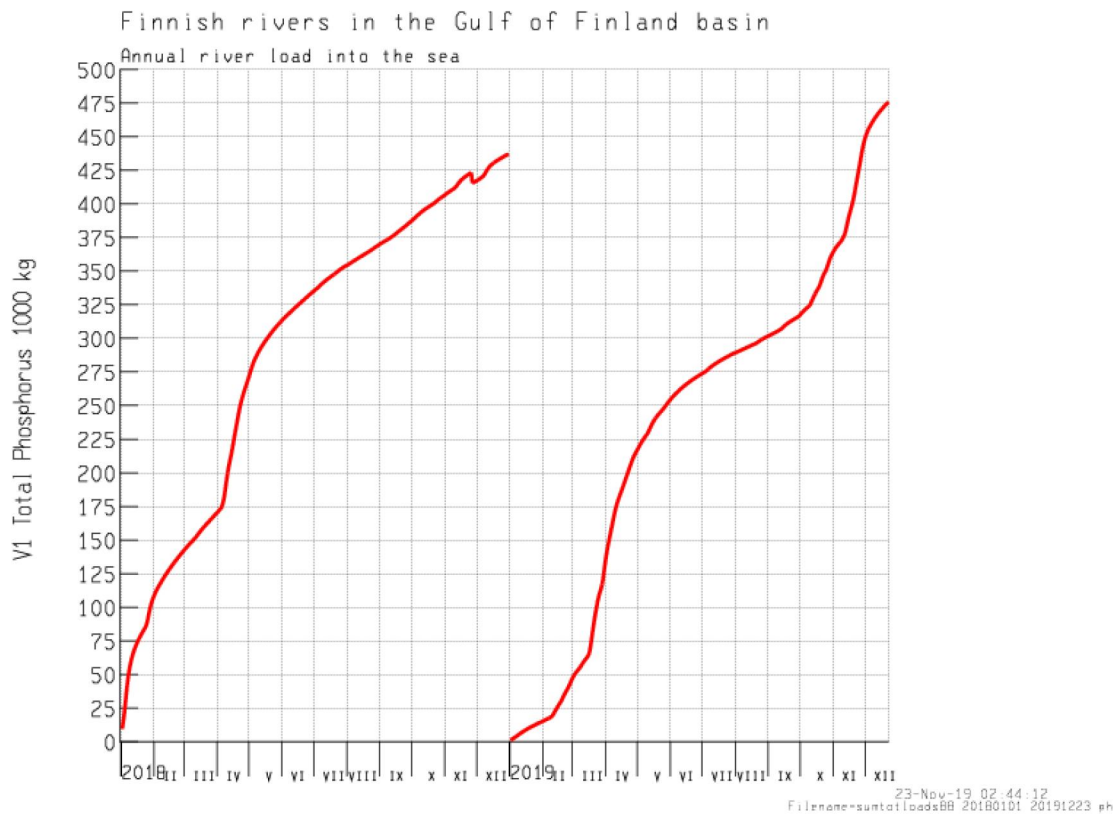
Maatalouden fosforihuuhtoumien pelloilta peräisin oleva fosfori on peräisin peltojen lannoituksesta eläinten lannalla ja mineraalilannoitteella ja menneiden vuosikymmen-ten lannoitus on lisännyt fosforin määrää pelloilla huomattavasti. Mineraalimuotoisena levitetyn lannoitteen määrän vähentyessä eläinten lannassa oleva fosfori fosforihuuhtoumien lähteenä on kasvanut. (Ylivainio ym. 2014, 6, 7.)

HELCOM:n asettaman vähennystavoitteen kohdistuessa Suomenlahdelle, käsittelen tästä eteenpäin Suomenlahteen päätyvää fosforimäärää. Suomenlahteen laskee Suo-men alueelta 19 jokea, joiden kautta fosfori siirtyy pelloilta, metsistä ja muista lähteistä Itämereen (ymparisto.fi 2019d).

Ihmistoiminnan koko fosforikuorma koko Itämereen vuosien 2008–2012 keskiarvona oli 2870 tonnia vuodessa. Kaikilla merialueilla suurin osa fosforista on ollut peräisin maa-taloudesta. Suomenlahden kuorma on ollut 678 tonnia, josta 60 % eli noin 407 tonnia maataloudesta. (ymparisto.fi 2019a.)

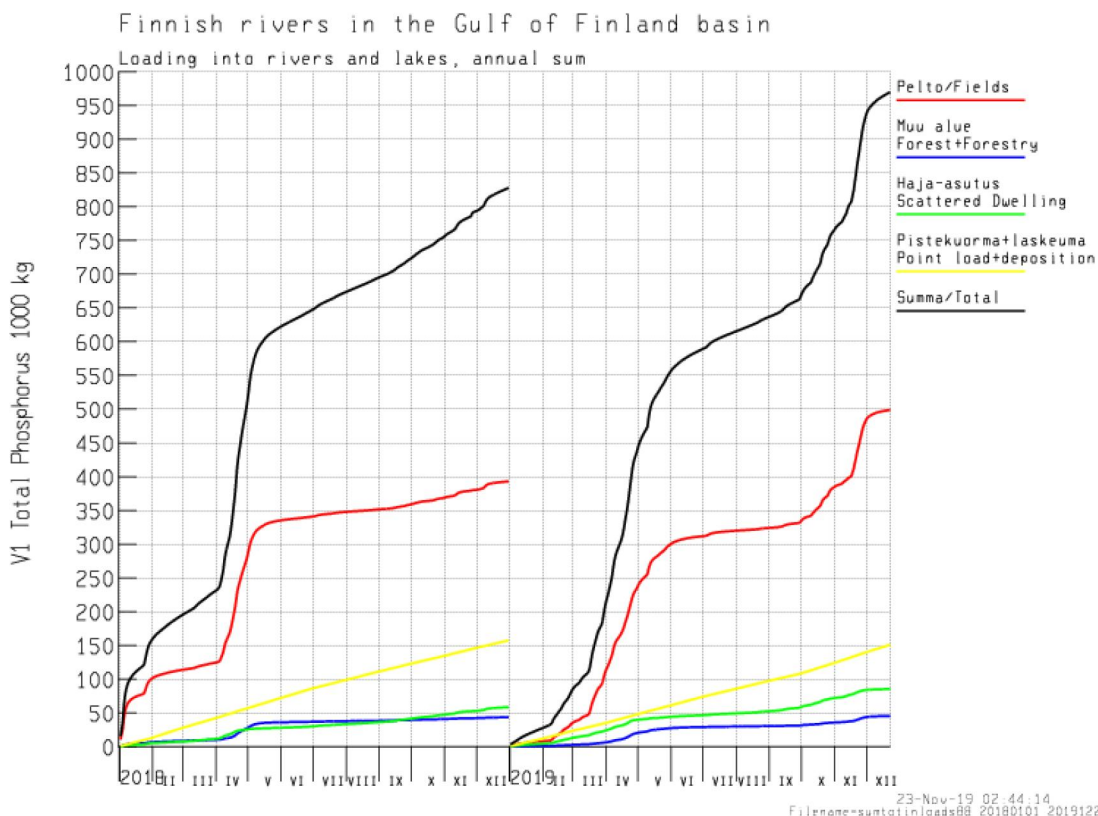
Vuonna 2018 Suomenlahteen laskevista joista huuhtoutui fosforia (P) Itämereen noin 440 tonnia. Vuonna 2019 määrä tulee olemaan enemmän, ennuste on noin 475 tonnia joulukuun loppuun mennessä. (kuvio 1, ymparisto.fi 2019e.) Tämä on selkeästi vä-hemmän, kuin vuosien 2008–2012 keskiarvo 678 tonnia vuodessa

Fosforin summakuorma Suomenlahteen laskeviin vesistöihin on vuonna 2018 ollut noin 825 tonnia (kuvio 2, ymparisto.fi 2019e), eli noin 385 tonnia enemmän, kuin mitä pää-tyy Itämereen asti. Vuonna 2019 fosforin summakuorma Suomenlahteen laskeviin ve-sistöihin on noin 975 tonnia (ennuste) (kuvio 2, ymparisto.fi 2019e), eli noin 500 tonnia enemmän, kuin mitä päätyy Itämereen asti.



Kuvio 1. Kokonaisfosforikuormitus: Suomenlahden alueelle Suomen vesistöistä - summa. Vesistöistä lähtevä fosforikuormasumma (kuvio ymparisto.fi 2019e 23.11.2019).

Kuvioiden 1 ja 2 (ymparisto.fi 2019e) perusteella fosforin summakuormasta vuonna 2018 Suomenlahteen laskeviin vesistöihin noin 53 prosenttia päätyi Itämereen asti ja vuonna 2019 noin 49 prosenttia (arvio). Pelloilta huuhtoutuvasta fosforista Itämereen asti päätyvän osan arviointi ei ole aivan yhtä suoraviivaista. Vuonna 2018 pelloilta vesistöihin päätyvän fosforin määrä on ollut noin 400 tonnia, ja vuonna 2019 se on noin 500 tonnia (ennuste) (kuvio 2, ymparisto.fi 2019e). Tämä pelloilta peräisin oleva fosforimäärä on se, johon rakennekalkituksella pystyttäisiin vaikuttamaan. Sitä osaa fosforihuuhtoumaa, joka on peräisin savipelloilta, on mahdollista pienentää jopa puolet, mikäli rakennekalkituksella päästäisiin lukemiin, joihin on päästy koekentillä ruotsalaisella savimaalla (taulukko 21, kokonaisfosfori TP, tutkimus Svanbäck ym. 2014).



Kuvio 2. Kokonaisfosforikuormitus: Suomenlahden alueelle Suomen vesistöistä - summa. Summakuorma vesistöihin pelloilta, muilta alueilta, haja-asutuksesta, pistekuormasta ja laskeumasta (kuvio ymparisto.fi 2019e 23.11.2019).

Suurin osa Suomenlahteen laskevien jokien valuma-alueista on Uudenmaan, Hämeen ja Kaakkois-Suomen ELY-keskusten alueilta. Näiden kolmen alueen savipeltojen hehtaanimäärät ovat noin 131766, noin 67309 ja noin 49147 hehtaaria, yhteensä noin 248222 hehtaaria (määrä laskettu Ylivainio ym. 2014, table 3, 15; liitteessä 6).

Yleisesti käytetty ominaiskuormitusluku fosforille on $1,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$ (Puustinen ym. 2019, 79), joskin luku voi vaihdella jopa $0,5\text{--}2,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$ (Tattari ym. 2015, 30). Nämä luvut kuvaavat kaikkia maalajeja, eivät yksin savesta. Oletus on että savimaan kuormitus on lähtökohtaisesti suurempi, savimaan eroosiotaipumuksen ja korkeiden fosforilukujen (STP) vuoksi. Lisäksi sääolosuhteet (mm. sadanta) sekä maanmuokkaus vaikuttavat suuresti vuosittaiseen huuhtoumaan kaikilla maalajeilla (Tattari ym. 2015, 30).

Käytettäessä ominaiskuormituslukua perustana huuhtoutuvan kokonaisfosforin (TP) määrän laskennassa Uudenmaan, Hämeen ja Kaakkois-Suomen ELY-keskusten alueiden savipelloilta huuhtoutuu eteenpäin $1,1 \text{ kg ha}^{-1}$ fosforia (P) vuodessa, joten yhteensä niiltä huuhtoutuu noin 273044 kg (273 tonnia) fosforia (P) vuodessa. Käytettäessä vaihteluväliä $0,5\text{--}2,5 \text{ kg ha}^{-1}$ vuosi⁻¹ saadaan huuhtoumaksi 123111–620555kg (123–621 tonnia) fosforia vuodessa.

Vuonna 2018 Suomenlahteen laskeviin vesistöihin päätyi pelloilta noin 400 tonnia fosforia ja vuonna 2019 lukema on noin 500 tonnia (arvio) (kuvio 2, ymparisto.fi 2019e); kun tätä verrataan edellä laskettuun fosforimäärään 273/123–621 tonnia fosforia vuodessa, nähdään että savipelloilta voidaan laskea huuhtoumamääräksi vähintään noin 123 tonnia ja enintään noin 300/400 tonnia, huomioiden vuosittaiset vaihtelut huuhtoumassa.

7 LASKELMAT

HELCOM:n Suomelle asetettu päästövähennystavoite 330 tonnia vuodessa on saavutettu osittain, mutta yli 50 % oli vielä saavuttamatta vuonna 2014 (HELCOM 2019g) ja HELCOM:n vähennystavoite on kohdennettu Suomenlahdelle (Räike ym. 2015, 5).

Lasken tavoitteesta jäljellä olevan määrän vähintään 50 prosentiksi ilmoitetusta 330 tonnin vähennystavoitteesta, eli yli 165 tonniksi vuodessa. Tämän verran pitää vielä per vuosi saada kokonaisfosforin huuhtouman määrä Suomesta Suomenlahden alueelle vähenemään.

Suomenlahteen laskevien jokien valuma-alueilla olevien savipeltojen laskennallinen fosforihuuhtouma on välillä 123–400 tonnia vuodessa. Tästä määrästä lopulta Itämereen päätyvän fosforin määrän arviointi on mahdotonta. Tässä laskelmassa oletan, että savimaiden laskennallisesta mahdollisesta vähenemästä koko mahdollinen vähenemä saavutetaan myös Itämeren tasolla, eli on suoraan vähennystä HELCOM:n vähennystavoitteeseen.

Kokonaisfosforin huuhtoumaa on mahdollista vähentää rakennekalkituksella jopa lähes puolet, mahdollisesti yli puolet. Ruotsalaisilla korkean (60 %) savipitoisuuden koepalstoilla tehdyissä tutkimuksissa saatiin 48 % merkitsevä vähennys kokonaisfosforiin, kun samalla muutettiin maanmuokkaustapaa paremmaksi, sekä 53 % vähennys, joka ei ollut merkitsevä. Vähenemä oli minimissään 23 %, joka ei ollut merkitsevä. Maanmuokkaustavan pitäminen samana tuotti minimi 25 % ja maksimi 30 % vähenemän, joista kumpikaan ei ollut merkitsevä. Matalan savipitoisuuden (alle 30 %) koepalstoilla fosforihuuhtouman vähenemä oli 57 % ja vähenemä oli merkitsevä. (Taulukko 21.)

Suomessa savimaaksi luokitellaan maa, jonka kivennäisaineesta yli 30 % on savesta (Aura ym. 2006, 6) ja kuvan 3 mukaan juuri näitä savimaita on runsaasti Etelä-Suomessa, joten käytän laskelmassa korkean savipitoisuuden tutkimustuloksia.

Näin ollen voidaan laskea, että mikäli Ruotsissa suoritettujen rakennekalkituskokeiden tuloksia voidaan edes jossain määrin soveltaa Suomen suunnilleen samoilla korkeusasteilla oleviin savimaihin, on mahdollista vähentää korkean savipitoisuuden savipellon kokonaisfosforin huuhtoumaa 23–53 %. Mahdollisen laskennallisen fosforihuuhtouman määrästä 123–400 tonnia vuodessa laskettuna tämä tarkoittaisi vähintään 28 tonnin kokonaisfosforin vähennystä (123 tonnia per vuosi, minimivähennyksellä 23 %) ja

enimmillään 212 tonnin kokonaisfosforin vähennystä (400 tonnia per vuosi, maksimivähennyksellä 53 %).

Tämä verrattuna HELCOM:n jäljellä olevan kokonaisfosforin vähennystavoitteeseen yli 165 tonnia vuodessa on vähintään 17 % ja enintään 128 %, mikäli kaikki Suomenlahteen laskevien jokien valuma-alueen savipellot rakennekalkitaisiin.

Tässä laskelmassa ei ole voitu huomioida sitä, että rakennekalkitus ei sovellu luomupelloilla käytettäväksi, eikä sitä, että osa savipelloista on jo saatettu käsitellä kipsillä (CaSO₄) tai rakennekalkita.

8 RAKENNEKALKITUKSEN JA RAKENNEKALKITUSTUTKIMUKSEN TULEVAISUUDESTA SUOMESSA

Suomesta puuttuvat sekä pitkäaikaiset seurantatutkimukset että monipuoliset tutkimukset rakennekalkituksen vaikutuksista eli tutkimuksia tarvitaan ylipäänsä lisää.

Rakennekalkitustutkimuksissa kalkittavan alueen seuranta ennen kalkitusta olisi erittäin tärkeää. Mielestäni tutkimuksissa pitäisi ehdottomasti käyttää kaksi, jopa kolme vuotta ennen rakennekalkin levitystä, jotta koealan tilaa “ennen” olisi mahdollista verrata saman koealan “jälkeen” tilaan. Vuodet eivät ole samanlaisia ja sademäärät vaikuttavat huomattavasti fosforihuuhtoumaan, mutta silti olen sitä mieltä että seuranta ennen rakennekalkitusta on olennainen osa rakennekalkitustutkimusta. Lisäksi sademäärän ja huuhtoutuvan fosforin suhteesta saa kaikella seurannalla arvokasta tietoa. Ulén ym. (2018) tutkimuksessa peltoaluetta (Oxelby field) seurattiin 3 vuotta ennen rakennekalkitusta ja 3 vuotta sen jälkeen ja keskiarvojen mukaan kiintoaineesta väheni yli puolet verrattaessa vuosia ennen ja jälkeen rakennekalkituksen (Ulén ym. 2018, S117, S119).

Myös Ulén & Etana (2014) tutkimuksessa Wiadin alueella koepalstoja seurattiin ennen rakennekalkitusta 3 vuotena sekä jälkeen 2 vuotena (Ulén & Etana 2014, 3). Tuloksissa ilmoitetaan sekä ennen rakennekalkitusta olleet fosforimäärät että kontrollitulokset, ja jopa niissä on jonkin verran eroa liuenneen reaktiivisen fosforin (DRP) osalta (Ulén & Etana 2014, table 2, 5).

Koepelloille sekä koepalstoille pitäisi levittää niin suositusten mukaisia kuin siitä hyvinkin poikkeavia määriä rakennekalkkia, jotta nähtäisiin miten kalkki ja savi käyttäytyvät. Lisäksi näitä koealoja pitäisi seurata useita vuosia, jopa vuosikymmeniä, jotta rakennekalkituksen vaikutuksista saataisiin lisää ajantasaista ja tarkkaa tietoa.

Tarvitaan tutkimuksia, joissa on koealueita eri savespitoisuuksilla, ja kaikilla eri pitoisuuksilla pitäisi kokeilla eri kalkkimäärillä. Tämä on ainoa tapa saada tietoa siitä, mikä on oikea kalkkimäärä. Nykyiset ohjeet perustunevat tutkimuksiin, mutta ovat hyvin ylimalkaisia. Jotenkin pitää tutkimuksissa saada löydettyä esiin se, mikä variantti on savimaan rakennekalkituksessa se kaikkein merkitsevin, jos ylipäänsä jokin on huomattavan paljon muita merkitsevempi. Onko oleellista saven määrä, saven laatu, maan pH,

fosforiluku (STP), pellon kaltevuus, etäisyys laskuojasta, vai mahdollisesti vielä joku muu mitattavissa oleva suure.

Rakennekalkin määristä pitäisi olla tarjolla enemmän yksikäsitteistä tietoa. Valmistajat eivät kerro paljonko reaktiivista kalkkia tuotteessa on (esim. Nordkalk 2019 a), joten kalkin levittäjä joutuu luottamaan valmistajaan siinä, että rakennekalkkia levitetään oikea määrä. Lisäksi rakennekalkin ohjemäärät ovat laveita eikä niille ole vielä saatavilla taulukoitua tietoa, että paljonko kalkin tarve riippuu savesmäärästä ja muista mahdollisista muuttujista.

Sekä koealueen että kontrollialueen valinnan onnistuminen on, varsinkin suurilla aloilla, erittäin tärkeää. Jopa saman peltoalueen eri osilla voi olla erilainen sadesaannos ja pellon muoto ja kaltevuus vaikuttavat myös virtaaviin vesimääriin huomattavasti.

Tutkimuksia tarvitaan myös siitä, mille syvyydelle kalkki muokataan maahan, ja onko eroa eri muokkaimilla. Ohjeissa ei ole perusteluja kalkin muokkaussyvyydelle, ja kolmesta ruotsalaisesta tutkimuksesta, jotka suoritettiin osin samalla koekentällä (Svanbäck ym. 2014, Ulén & Etana 2014, Ulén ym. 2018) vain yksi mainitsee koekentän rakennekalkin maahanmuokkauksen syvyyden, joka oli 15 cm koepalstoilla (Ulén ym. 2018, S116) ja 12 cm peltoalueella (Ulén ym. 2018, S117). Tämä on matala muokkaus, ja saadaan aikaan esimerkiksi kultivaattorilla. Esimerkiksi Jordbruksverketin mukaan rakennekalkki muokataan maahan kultivaattorilla vähintään kahteen suuntaan ajaen, siltä syvyydeltä kuin normaali maanmuokkaus yleensä suoritetaan (Börling ym. 2018, 92). Normaalin maanmuokkauksen voi sitten käsittää kuten kukin haluaa.

Rakennekalkituksesta annetuissa ohjeissa ei ole mainintaa siitä, miksi rakennekalkituksen ajankohta on juuri syksy. Maan on oltava sula ja kuiva, jotta rakennekalkin saa muokattua maahan oikein ja kemialliset reaktiot toimivat kuten niiden on tarkoitus toimia, mutta nämä olosuhteet ovat mahdollisia muinakin vuodenaikoina kuin syksyllä. Mahdollisesti kyse on siitä, että syksyisin maanviljelijöillä on puintien jälkeen mahdollisuus keskittyä maanparannustoimiin. Tähänkin tarvitaan mahdollisesti perusteluja kun asiaa, eli rakennekalkkia, aletaan voimakkaasti ajaa suomalaisille pelloille.

Rakennekalkituksesta tarvitaan tutkimuksia, joissa tutkitaan useamman erilaisen maanmuokkaustavan rakennekalkitusta yhdessä tutkimuksessa. Esimerkiksi Svanbäck ym. (2014) vertasi koepalstoilla kolmea erilaista maanmuokkaustapaa yhteensä 7 eri yhdistelmänä, joista vain yhdelle käytettiin rakennekalkitusta ja yksi oli lannoittamaton kesanto. Näilläkin saatiin aikaan selkeää eroa eri vaihtoehtojen fosforimäärissä (taulu-

kot 1–4), mutta vain yhden variaation kohdalla rakennekalkitun koepalstan fosforimääristä. Koepalstojen määrä lisääntyy toki huomattavasti, kun lisätään rakennekalkittuja koeyhdistelmiä.

Rakennekalkituksen vaikutus satomääriin on jossain määrin positiivinen (esim. Svanbäck ym. 2014, Table 5, 129). Rakennekalkituksen vaikutusta satomääriin on mahdollista tutkia myös ilman huuhtoumatutkimusta. Viljelijöillä on tietoa pellon sadosta ja pellon muokkauksista, ja mikäli mitään ei muuteta rakennekalkituksen yhteydessä, on mahdollista verrata rakennekalkituksen vaikutusta satoon. Joitakin perustutkimuksia pitää tehdä, joko vuosittain tai harvemmin, mutta satomääriin keskittyvässä tutkimuksessa ei tarvitse seurata itse fosforin huuhtoumaa tarkasti, mikä tarkoittaa että pysyviä näytteenottolaitteistoja ei tarvita. Tämä alentaa kustannuksia ja mahdollistaa pidempiä tutkimuksia

Yhdessä ruotsalaisessa tutkimuksessa sekä tehtiin testejä laboratoriossa, että seurattiin fosforimääriä valumavesissä koepalstoilta (Ulén & Etana 2014). Esille tuli, että laboratorio-olosuhteissa saadut tulokset poikkesivat huomattavasti koepalstojen tuloksista, vaikka ne olivat samoilta alueilta, ja käytetty kalkkimäärä oli sama molemmilla tavoilla (Ulén & Etana 2014, table 4, 5; table 5, 6); taulukot 8, 14 ja 15. Tällaisen tuloksen mahdollisuus on otettava huomioon myös uusissa tutkimuksissa, mielestäni ei voida luottaa siihen, että laboratoriossa saadaan pelto-olosuhteita vastaavat testiolosuhteet aikaan.

9 LOPUKSI

Rakennekalkitus on selkeästi monella eri tavalla hyvä vaihtoehto savimaiden rakenteen parantamiseen. Sitä on tutkittu vielä liian vähän, mutta koko ajan tietämys rakennekalkituksen vaikutuksista lisääntyy.

Pitkäaikaisia seurantatutkimuksia rakennekalkituksen vaikutuksista fosforihuuhtoumiin tarvitaan ehdottomasti, koska jopa samalla tutkimusalueella osittain samaan aikaan suoritettujen tutkimusten tulokset voivat olla ristiriidassa keskenään, kun kahdessa tutkimuksessa saadaan tulokseksi, että rakennekalkilla käsitellyiltä koepalstoilta huuhtoutuu merkittävästi vähemmän fosforia kuin rakennekalkitsemattomilta koepalstoilta (Svanbäck ym. 2014; Ulén & Etana 2014), ja kolmannessa taas lopputuloksena on, että erot eivät ole merkittäviä kun niitä tarkastellaan tiettyjen muuttujien kautta (Ulén ym. 2018).

Tutkimuksissa tuotiin myös voimakkaasti esille sitä, että tarvetta uusille tutkimuksille on hyvinkin paljon. Lähes jokainen tutkimus tuntui herättävän lisää kysymyksiä, samalla kun vastasi joihinkin.

Tässä opinnäytetyössä ei ollut mahdollista laskea tarkasti yhden tai useamman joen valuma-alueen savipeltojen määrää. Tällainen teoreettinen tarkastelu saattaisi olla hyödyllinen työkalu niin rakennekalkituksen kuin muidenkin maanparannusmetodien tutkimuksen pohjaksi.

Ruotsalaisten tutkimusten tuloksiin perustuva teoreettinen laskelma antoi hyvin laajan tuloksen. Laskelmien tuloksena saatu arvio fosforivähennyksen määrästä HELCOM:n vähennystavoitteisiin verrattuna on todennäköisimmin oikean suuntainen, mutta koska se on hyvin laaja, ei siitä ole suoraan hyötyä kuin osoittamaan, että käytännön tutkimuksia sekä teoreettista tarkastelua tarvitaan lisää. Toisaalta laskelma osoittaa, että samalla kun rakennekalkitus tuo viljelijälle muuta hyötyä esimerkiksi polttoainesäästöjen muodossa, se ehdottomasti hyödyttää Itämeren vähentämällä sinne asti päätyvää fosforia.

Huolimatta vielä vähäisestä suomalaisesta tutkimusmäärästä rakennekalkitus vaikuttaisi olevan erinomainen työkalu lisää viljelijöille, jotka haluavat parantaa savimaansa tuottavuutta yksinkertaisella toimenpiteellä.

LÄHTEET

Aura, E.; Saarela, K. & Rätty, M. 2006. Savimaiden eroosio. MTT:n selvityksiä 118. Saatavilla <http://urn.fi/URN:ISBN:952-487-039-8>.

Börling, K.; Hjelm, E.; Kvarmo, P.; Listh, U.; Malgeryd, J. & Stenberg, M. 2018. Jordbruksverket: Rekommendationer för gödning och kalkning 2019. Jordbruksinformation 18 – 2018. ISSN 1102-8025. JO18:18. Saatavilla: <https://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/jo1818.html>.

Hakala, A. 2018. <http://www.geologia.fi/index.php/2018/06/03/savi-ja-siltti/> luettu 18.8.2019.

Hartikainen, H. & Peltovuori, T. 2002. Fosforin reaktiot ja liikkuminen maaperässä. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote nro 18 (2002). Maataloustieteen päivät 2002. Saatavilla: <https://doi.org/10.33354/smst.76368>.

Heinonen, R.; Hartikainen, H.; Aura, E.; Jaakkola, A. & Kemppainen, E. 2001. Maa, viljely ja ympäristö. 1.-3. painos. WS Bookwell Oy. Porvoo 2001.

HELCOM 2019a. luettu 18.11.2019 <http://www.helcom.fi/about-us/convention/>

HELCOM 2019b. luettu 18.11.2019 <http://www.helcom.fi/baltic-sea-action-plan>

HELCOM 2019c. luettu 18.11.2019 <http://www.helcom.fi/baltic-sea-action-plan/nutrient-reduction-scheme/targets/>

HELCOM 2019d. luettu 19.11.2019 <http://www.helcom.fi/baltic-sea-action-plan/nutrient-reduction-scheme/progress-towards-maximum-allowable-inputs/>

HELCOM 2019e. HELCOM (2018) Inputs of nutrients to the sub-basins of the Baltic Sea. HELCOM core indicator report. Online. Luettu 22.11.2019 <http://www.helcom.fi/baltic-sea-trends/indicators/inputs-of-nutrients-to-the-subbasins>

HELCOM 2019f. luettu 22.11.2019 <http://www.helcom.fi/baltic-sea-trends/pollution-load-compilations/>

HELCOM 2019g. luettu 5.12.2019 <http://www.helcom.fi/baltic-sea-action-plan/nutrient-reduction-scheme/progress-towards-country-wise-allocated-reduction-targets/key-message/>.

Joona, J. 2012. Rakennekalkitus parantaa savimaan mururakennetta. Käytännön maamies 10/2012 56–58. Artikkelinä ladattavissa <http://tyynelantila.fi/wp-content/uploads/2012/09/rakennekalkitus.pdf>.

Komission asetus (EY) N:o 889/2008. Asetus luonnonmukaisesta tuotannosta ja luonnonmukaisesti tuotettujen tuotteiden merkinnöistä annetun neuvoston asetuksen (EY) N:o 834/2007 soveltamista koskevista yksityiskohtaisista säännöistä luonnonmukaisen tuotannon, merkintöjen ja valvonnan osalta. Saatavilla <http://data.europa.eu/eli/reg/2008/889/oj>.

Koskiaho, J., Kivisaari, S., Vermeulen, S., Kauppila, R., Kallio, K. & Puustinen, M., 2002. Reduced tillage: influence on erosion and nutrient losses in a clayey field in southern Finland. Agricultural and Food Science in Finland 11(1), 37–50. Saatavilla <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201604069162>.

Maa- ja metsätalousministeriön asetus maatalouden ympäristötuen erityistuesta 647/2000. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000647>.

Nordkalk 2019a. Nordkalk Fostop rakennekalkki -ratkaisu savimaiden rakenneongelmiin. Luettu 16.6.19; <http://www.nordkalk.fi/tuotteet/kalkkikivijauhe/nordkalk-fostop-rakennekalkki/>.

Nordkalk 2019b. Nordkalk Aito -maanparannuskalkit. Luettu 15.8.2019 <https://www.nordkalk.fi/tuotteet/kalkkikivijauhe/nordkalk-aito-maanparannuskalkit/>.

Puustinen, M.; Tattari, S.; Väisänen, S.; Virkajärvi, P.; Rätty, M.; Järvenranta, K.; Koskiahho, J.; Röman, E.; Sammalkorpi, I.; Uusitalo, R.; Lemola, R.; Uusi-Kämppe, J.; Lepistö, A.; Hjerppe, T.; Riihimäki, J. & Ruuhijärvi, J. 2019. Ravinteiden kierrätys alkutuotannossa ja sen vaikutukset vesien tilaan. Suomen Ympäristökeskuksen raportteja 22/2019: KiertoVesi-hankkeen loppuraportti. Saatavilla <http://hdl.handle.net/10138/304956>.

Räike, A.; Heiskanen, A-S.; Suomela, J.; Kauppila, P.; Knuutila, S.; Laamanen, M.; Laine, A.; Mäntykoski, A.; Paavilainen, P.; Pitkänen, H.; Puro-Tahvanainen, A.; Rintala, J.; Ruoho-Airola, T.; Törrönen, J. & Westberg, V. 2015. Merenhoitosuunnitelman toimenpideohjelman taustasiakirja: ravinnekuormituksen vähennystarpeet ja arvio toimenpiteiden riittävydestä. Luettu 12.11.2019 <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B00D50A4C-3FE4-4271-AF29-908B36A4836E%7D/114679> sivulla https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Meri/Merensuojelu_ja_hoito/Merenhoidon_suunnittelu_ja_yhteistyö.

Samassa Vedessä 2019. Mitä teemme. Luettu 20.11.2019 <http://www.samassavedessa.fi/fi-FI/>, http://www.samassavedessa.fi/fi-FI/Mita_teenme.

solunetti.fi-sivusto http://www.solunetti.fi/fi/solubiologia/typen_kierto/2/ luettu 27.5.2019.

Svanbäck, A.; Ulén, B. & Etana, A. 2014. Mitigation of phosphorus leaching losses via subsurface drains from a cracking marine clay soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 184, sivut 124–134. Saatavilla <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.11.017>.

Tattari, S.; Puustinen, M.; Koskiahho, J.; Röman, E. & Riihimäki, J. 2015. Vesistöjen ravinnekuormituksen lähteet ja vähentämismahdollisuudet. Suomen Ympäristökeskuksen raportteja 35/2015. Saatavilla <http://hdl.handle.net/10138/159464>.

Tilastokeskus, 1990. Suomen tilastollinen vuosikirja. Helsinki 1990. Saatavilla <https://www.doria.fi/handle/10024/88766>.

Tilastokeskus, 2012. Suomen tilastollinen vuosikirja. Helsinki 2012. Saatavilla <https://www.doria.fi/handle/10024/90074>.

Tilastokeskus, 2015. Suomen tilastollinen vuosikirja. Helsinki 2015. Saatavilla <https://www.doria.fi/handle/10024/130802>.

Tilastokeskus, 2016. Suomen tilastollinen vuosikirja. 2., korjattu painos. Helsinki 2016. Saatavilla <https://www.doria.fi/handle/10024/130803>.

Tilastokeskus, 2017. Suomen tilastollinen vuosikirja. Helsinki 2017. Saatavilla <https://www.doria.fi/handle/10024/149359>.

Tilastokeskus, 2018. Suomen tilastollinen vuosikirja. Helsinki 2018. Saatavilla <https://www.doria.fi/handle/10024/166749>.

Turun ammattikorkeakoulu 2019. Rakennekalkitusta tutkitaan uutena maatalouden vesiensuojelukeinona. Luettu 20.11.2019. <http://www.turkuamk.fi/fi/ajankohtaista/2248/rakennekalkitusta-tutkitaan-uutena-maatalouden-vesiensuojelukeinona>.

Ulén, B. & Etana, A. 2014. Phosphorus leaching from clay soils can be counteracted by structure liming. *Julkaistu Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*. Saatavilla <http://dx.doi.org/10.1080/09064710.2014.920043>.

Ulén, B.; Larsbo, M.; Koestel, J.; Hellner, Q.; Bolmberg, M. & Geranmayeh, P. 2018. Assessing strategies to mitigate phosphorus leaching from drained clay soils. *Ambio* 2018, 47(Suppl. 1):S114–S123. Saatavilla <http://dx.doi.org/10.1007/s13280-017-0991-x>.

Uusitalo, R., Turtola, E. & Lemola, R., 2007. Phosphorus losses from a subdrained clayey soil as affected by cultivation practices. *Agricultural and Food Science* 16(4), 352–365. Saatavilla <http://dx.doi.org/10.2137/145960607784125393>.

WaterChain 2019. Rakennekalkitus. Luettu 7.5.2019. Saatavilla: <http://waterchain.eu/wp-content/uploads/2018/08/Rakennekalkitus-1.pdf> Sivustolta: <http://waterchain.eu/fi/parhaat-kaytannot/ravinteet/>.

Weppling, K. 2018. Rakennekalkki, Ratkaisu savimaiden rakenneongelmiin. Esitys 22.1.2018. Nordkalk Oy Ab. Luettu 29.5.2019. Saatavilla https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/29320467/Rakennekalkki_Kjell+Weppling_Kankaanp%C3%A4%C3%A4%20%2022012018.pdf/6b0b3b98-9c1a-4f13-b177-15d251f3d1f1.

Ylivainio, K.; Sarvi, M.; Lemola, R.; Uusitalo, R. & Turtola, E. 2014. Regional P stocks in soil and in animal manure as compared to P requirement of plants in Finland : Baltic Forum for Innovative Technologies for Sustainable Manure Management. WP4 Standardisation of manure types with focus on phosphorus . MTT report 124. Saatavilla <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-505-9>.

ymparisto.fi 2019a luettu 14.11.2019 https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Meri/Mika_on_Itameren_tila/Itameren_fosforikuorma_Suomesta

ymparisto.fi 2019b luettu 14.11.2019 https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Meri/Mika_on_Itameren_tila/Rehevoityminen

ymparisto.fi 2019c luettu 14.11.2019 https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Meri/Mika_on_Itameren_tila/Planktonyhteisot

ymparisto.fi 2019d luettu 14.11.2019 <http://www2.ymparisto.fi/i2/96/88/fi.html>

ymparisto.fi 2019e luettu 23.11.2019 <http://www2.ymparisto.fi/i2/96/88/sumlyhytifi.html>.

Liite 1. Svanbäck ym. 2014.

Mitigation of phosphorus leaching losses via subsurface drains from a cracking marine clay soil - Annika Svanbäck, Barbro Ulén, Ararso Etana, 2014 (Svanbäck ym. 2014).

Taulukko 1. Table 9 (Svanbäck ym. 2014, 132).

Table 9

Leaching ($\text{kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) of total P (TotP), dissolved reactive P (DRP), particulate P (PP), total N (TotN), nitrate N ($\text{NO}_3\text{-N}$) and the ratio of total N/total P (N/P) for the different treatments. Mean values of yearly transport from four plots and six years are given with \pm standard deviation. Values with different letters within columns denote significant differences between treatments, which was tested for significance with log-transformed values in the mixed model analysis.

Treatment	TotP	PP	DRP	TotN	$\text{NO}_3\text{-N}$	N/P
A-Conv. plough.	0.79 ± 0.53	0.68 ± 0.49	0.13 ± 0.09	$27^c \pm 13$	$25^b \pm 11$	42 ± 21
B-Conv. plough. no P	$0.97^b \pm 0.66$	$0.82^b \pm 0.55$	0.15 ± 0.11	$29^c \pm 19$	$26^b \pm 17$	42 ± 28
C-Conv. plough. Lime	$0.59^a \pm 0.33$	$0.46^a \pm 0.29$	0.13 ± 0.06	$30^c \pm 13$	$27^b \pm 11$	59 ± 26
D-Shallow till.	0.96 ± 0.56	0.85 ± 0.51	0.11 ± 0.07	$18^b \pm 8.5$	$15^b \pm 7.1$	25 ± 15
E-Shallow till., broadc. P	$1.13^b \pm 0.51$	$0.94^b \pm 0.38$	0.20 ± 0.16	$27^{b,c} \pm 16$	$23^b \pm 14$	26 ± 17
F-Unfertilised fallow ^d	0.77 ± 0.42	0.60 ± 0.31	0.17 ± 0.16	$6.2^a \pm 3.3$	$3.3^a \pm 2.5$	8.6 ± 2.8
G-Adapted crop.	$0.84^b \pm 0.48$	0.68 ± 0.39	0.16 ± 0.23	$23^{b,c} \pm 13$	$19^b \pm 11$	31 ± 17

^d Period 2008–2013, excluding the year before the unfertilised fallow was established (2007/2008).

Liite 2. Ulén & Etana 2014.

Phosphorus leaching from clay soils can be counteracted by structure liming - Barbro Ulén & Ararso Etana, 2014 (Ulén & Etana 2014).

2 *B. Ulén and A. Etana*

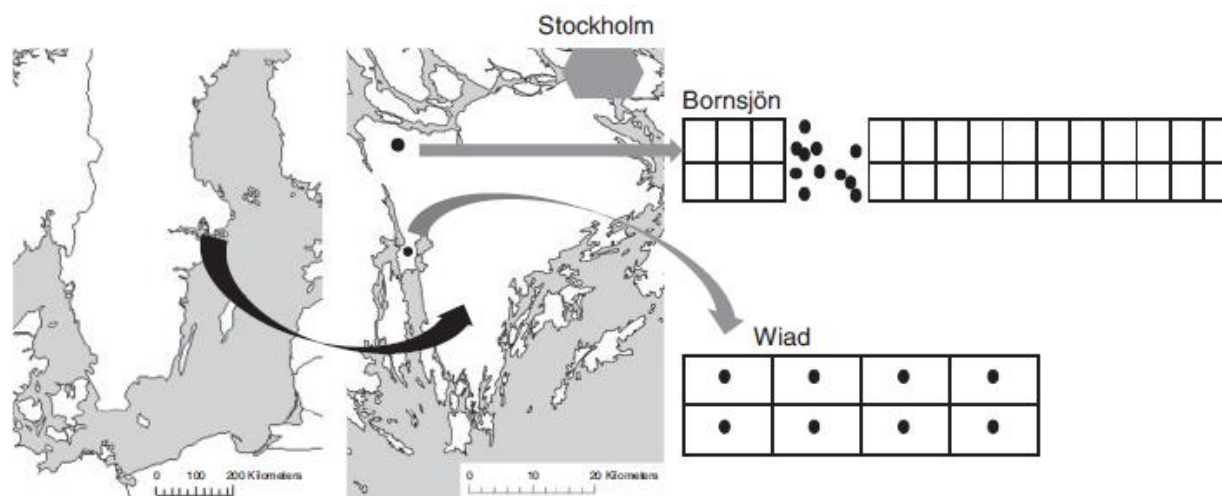


Figure 1. Map of Sweden and the coastal area south of Stockholm where the two experimental fields are situated. Sampling sites of topsoil lysimeters are indicated (dots) relative to the experimental plots (squares) to the right.

Kuva 1. Figure 1 (Ulén & Etana 2014, 2).

Taulukko 2. Table 4 (Ulén & Etana 2014, 5).

Table 4. Mean annual discharge, water pH and leaching losses of TP, PP, and DRP, total percentage of DRP/P total nitrogen (TN) and TN/TP ratio in the experimental plot experiments (four replicates).

Period Treatments	Bornsjön ^a			Wiad		
	2007/2013			2011/2013		2007/2009
	CaO	Control	Fallow	Ca(OH) ₂	Control	Pre-period
Discharge (mm yr ⁻¹)	505	546	460	137	142	140
pH in water	7.1	6.8	7.1	7.1	7.0	–
TP (kg ha ⁻¹ yr ⁻¹)	0.59*	0.97	0.77	0.13*	0.30	0.29
PP (kg ha ⁻¹ yr ⁻¹)	0.46*	0.82	0.60	0.07	0.14	0.14
DRP (kg ha ⁻¹ yr ⁻¹)	0.13	0.15	0.17	0.08*	0.15	0.11
DRP/TP (%)	20	15	20	55	55	40
TN (kg ha ⁻¹ yr ⁻¹)	30	29	6*	14	12	5
Ratio TN/TP	60	40	9	110	40	20

Note: Treatments were: at Bornsjön structure liming (CaO), a control (without liming and P fertilising) and unfertilised fallow (Fallow); at Wiad structure liming (Ca(OH)₂), a control (without liming) and a pre-period partly with fallow. All treatments without fallow were conventionally ploughed.

*Significantly lower leaching losses from four limed plots compared with four controls ($p_t > F < 0.002$).

^aFor more details, see Svanbäck et al. (2014).

Taulukko 3. Table 5 (Ulén & Etana 2014, 6).

Table 5. Mean topsoil lysimeter characteristics, discharge and leaching losses of TP, PP and DRP after simulated rainfall in the laboratory.

Treatments	Bornsjön laboratory lysimeters ^a			Wiad laboratory lysimeters	
	CaO	Ca(OH) ₂	Control	Ca(OH) ₂	Control
<i>Soil characteristics</i>					
Soil pH	9.5	8.8	5.9	7.5	6.5
P-AL (mg kg soil ⁻¹)	38	41	44	120	140
Al-AL (mmol kg soil ⁻¹)	16	17	15	7	6
Fe-AL (mmol kg soil ⁻¹)	6.6	6.8	4.8	6	7
DPS-AL (mole-based%)	6	9	5	30	37
<i>Lysimeter leaching</i>					
Discharge (mm)	68	68	66	175	179
Water pH	8.5	8.4	7.1	7.3	7.0
TP (kg ha ⁻¹)	0.03*	0.04*	0.15	0.11*	0.13
PP (kg ha ⁻¹)	0.02*	0.03*	0.13	0.03	0.03
DRP (kg ha ⁻¹)	0.01 ^a	0.01 ^b	0.02	0.08*	0.10
DRP/PP (%)	25	25	10	75	80

TP, total phosphorus; PP, particulate phosphorus; DRP, dissolved reactive phosphorus.

*Significantly ($p < 0.05$) lower leaching compared with unlimed control.

^aFor more details, see Ulén et al. (2012a).

^bEstimated values, since high pH disturbed DRP analysis.

Liite 3. Ulén ym. 2018.

Assessing strategies to mitigate phosphorus leaching from drained clay soils - Barbro Ulén, Mats Larsbo, Johannes Koestel, Qarin Hellner, Maria Blomberg, Pia Geranmayeh, 2018 (Ulén ym. 2018).

Taulukko 4. Table 2 (Ulén ym. 2018, S119).

Table 2 Mean precipitation (Prec), discharge (Q), Q/Prec ratio, yearly hourly based water flow index (FI_{hour}), yearly transport of suspended solids (SS) total phosphorus (TP) and dissolved reactive P (DRP) and yearly flow-weighted concentrations of TP in agrohydrological years from experimental drained plots representing shallow autumn tillage (ShT), unfertilised fallow (UF), conventional autumn tillage (CT) and structure liming in 2007, followed by conventional autumn tillage (SL-CT) over an eight-year period. The same parameters for Oxelby field (representing a crop rotation given in Table 1) in three years before and after combined measures. Last row refers to the factor distance 'to the valley centre' as a mean for plots with different treatments

Period	Experimental plots				Oxelby field	
	2007/2015				2010/2013	2013/2016
Treatments	ShT	UF	CT	SL-CT	Crop rotation	
Prec. (mm year ⁻¹)	680	680	680	680	691	640
Q (mm year ⁻¹)	511	449	421	501	368	315
Ratio Q/Prec	0.75	0.66	0.62	0.74	0.53	0.49
FI_{hour}	2.23	2.45	2.31	2.14	1.59	1.73
SS (kg ha ⁻¹ year ⁻¹)	–	–	–	–	650	302
TP (kg ha ⁻¹ year ⁻¹)	1.21 ^{ab}	0.84	0.81	0.57	1.00	0.45
DRP (kg ha ⁻¹ year ⁻¹)	0.18	0.15	0.13	0.13	0.20	0.13
TP (mg L ⁻¹)	0.24	0.19	0.19	0.11	0.28	0.15
Mean distance (m)	220	226	220	232	–	–

^{ab} ShT tended to be higher than SL-CT

^a With FI_{hour} as covariate, $Pr > F$ 0.084; adjusted $p = 0.060$ (Tukey–Kramer)

^b With distance as covariate, $Pr > F$ 0.057; adjusted $p = 0.009$ (Tukey–Kramer)

Liite 4. Suomalaisia tutkimuksia (savi)maista, fosforista sekä maan kasvukunnosta

Aura, E.; Saarela, K. & Rätty, M. 2006. Savimaiden eroosio. MTT:n selvityksiä 118. Saatavilla <http://urn.fi/URN:ISBN:952-487-039-8>

Koskiaho, J., Kivisaari, S., Vermeulen, S., Kauppila, R., Kallio, K. & Puustinen, M. 2002. Reduced tillage: influence on erosion and nutrient losses in a clayey field in southern Finland. *Agricultural and Food Science in Finland* 11(1), 37–50. Saatavilla <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201604069162>

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, Helsinki 2018. Saatavilla <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-558-5>

Ravander, J.; Mattila, T. & Rajala, J. 2019. MURUKESTÄVYYS MAAN KASVUKUNNON MITTARINA. Raportteja 191 Helsingin yliopisto, Ruralia-instituutti. Saatavilla <http://hdl.handle.net/10138/298966>

Uusitalo, R.; Turtola, E.; Kauppila, T. & Lilja, T. 2001. Particulate Phosphorus and Sediment in Surface Runoff and Drainflow from Clayey Soils. *J. Environ. Qual.* 30:589-595. Saatavilla <https://doi.org/10.2134/jeq2001.302589x>

Uusitalo, R., Turtola, E. & Lemola, R. 2007. Phosphorus losses from a subdrained clayey soil as affected by cultivation practices. *Agricultural and Food Science* 16(4), 352–365. Saatavilla <http://dx.doi.org/10.2137/145960607784125393>

Uusitalo, R.; Lemola, R. & Turtola, E. 2018. Surface and Subsurface Phosphorus Discharge from a Clay Soil in a Nine-Year Study Comparing No-Till and Plowing. *J. Environ. Qual.* 47:1478-1486. Saatavilla <https://doi.org/10.2134/jeq2018.06.0242>

Ylivainio, K.; Sarvi, M.; Lemola, R.; Uusitalo, R. & Turtola, E. 2014. Regional P stocks in soil and in animal manure as compared to P requirement of plants in Finland. MTT report 124. Saatavilla <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-505-9>

Liite 5. HELCOM

Taulukko 5. HELCOM:n Baltic Sea Action Plan maakohtaisesti kohdennetut fosforin ja typen vähennystavoitteet (HELCOM 2019c).

COUNTRY ALLOCATED REDUCTION TARGETS (CARTS)

for pollution from both land and air, in tonnes, agreed in 2013

	Nitrogen	Phosphorus
Denmark	2,890	38
Estonia	1,800	320
Finland	2,430 +600*	330 +26*
Germany	7,170 +500*	110 +60*
Latvia	1,670	220
Lithuania	8,970	1,470
Poland ¹	43,610	7,480
Russia	10,380*	3,790*
Sweden	9,240	530

The figures are rounded

¹At this point in time Poland accepts the Polish Country Allocated Reduction Targets as indicative due to the ongoing national consultations, and confirms their efforts to finalize these consultations as soon as possible.

* Reduction requirements stemming from

- German contribution to the river Odra inputs, based on ongoing modeling approaches with MONERIS;
- Finnish contribution to inputs from river Neva catchment (via Vuoksi river);
- these figures include Russian contribution to inputs through Daugava, Nemunas and Pregolya rivers

The figures for transboundary inputs originating in the Contracting Parties and discharged to the Baltic Sea through other Contracting Parties are preliminary and require further discussion within relevant transboundary water management bodies.

Liite 6. Ylivainio ym. 2014.

Regional P stocks in soil and in animal manure as compared to P requirement of plants in Finland - Kari Ylivainio, Minna Sarvi, Riitta Lemola, Risto Uusitalo, Eila Turtola, 2014 (Ylivainio ym. 2014).

Taulukko 6. Table 3 (Ylivainio ym. 2014,15).

Table 3. Average field (including fallows) and total land areas and proportion of soil textural classes and soil test P (STP) values (analyzed in 2005-2009) at the level of ELY Centres.

Centre for Economic Development, Transport and the Environment (ELY Centres)	Field area (ha)	Total land area (km ²)	Field area (%)	Soil textures			STP (mg l ⁻¹)			
				Clay soils (%)	Coarse textured mineral soils (%)	Organic soils (%)	All soil types	Clay soils	Coarse textured mineral soils	Organic soils
Central Finland (10)	97988	16704	5.9	3.9	83.6	12.6	10.0	8.6	10.3	8.4
Häme (04)	187490	10324	18.2	35.9	57.2	6.9	12.2	9.5	14.3	8.1
Kainuu (14)	31687	21501	1.5	1.2	76.2	22.6	11.2	11.5	10.8	12.6
Lapland (15)	43883	92662	0.5	0.7	66.2	33.1	14.1	10.7	14.3	13.6
North Karelia (09)	84843	17763	4.8	5.8	81.8	12.4	9.8	7.7	10.1	8.9
North Ostrobothnia (13)	223714	35507	6.3	2.1	69.5	28.4	13.1	11.5	14.1	10.7
North Savo (08)	147429	16768	8.8	9.3	79.6	11.1	10.4	8.7	10.9	8.3
Ostrobothnia (12)	194198	12769	15.2	12.3	69.4	18.2	16.4	14.1	18.1	11.3
Pirkanmaa (05)	161629	12446	13.0	36.8	56.0	7.2	9.2	8.6	10.0	6.5
Satakunta (03)	143413	7957	18.0	23.5	63.2	13.3	17.6	17.3	19.5	9.1
South Ostrobothnia (11)	246850	13444	18.4	5.4	75.8	18.8	12.6	12.4	13.5	9.1
South Savo (07)	72790	13977	5.2	0.4	87.8	11.8	11.9	11.6	12.2	9.7
Southeast Finland (06)	139621	10761	13.0	35.2	55.7	9.1	11.2	9.0	13.0	8.5
Southwest Finland (02)	290532	10661	27.3	76.6	20.2	3.1	17.2	15.9	23.3	10.5
Uusimaa (01)	181246	9096	19.9	72.7	23.4	3.8	11.2	10.3	14.4	7.5
Åland (20)	13806	1552	8.9	28.4	67.6	4.0	25.3	17.5	29.2	13.9
Whole country	2261116	303893	7.4	27.1	60.0	12.9	13.0	12.3	13.9	9.8

Taulukko 7. MTT124 taulukko 3. (Ylivainio ym. 2014,15). Suomennos M. Salonen.

MTT124 taulukko 3. Keskimääräiset peltoalat (sisältäen kesannot) ja kokonais-maa-alat ja maaperän osuudet tekstuuriluokissa ja maaperän viljavuusanalyysin fosforitiedot (STP, soil test P) tulokset (analysoitu 2005-2009) ELY-keskusten tasolla.

ELY-keskukset	Peltoala (ha)	Kokonais-maa-ala (km ²)	Peltoala (%)	Maan rakenne			Fosforiluku STP (mg l ⁻¹)			
				Savimaat (%)	Karkeat kivennäismaat (%)	Orgaaniset maat (%)	Kaikki maaperätyypit	Savimaat	Karkeat kivennäismaat	Orgaaniset maat
Keski-Suomi (10)	97988	16704	5.9	3.9	83.6	12.6	10.0	8.6	10.3	8.4
Häme (04)	187490	10324	18.2	35.9	57.2	6.9	12.2	9.5	14.3	8.1
Kainuu (14)	31687	21501	1.5	1.2	76.2	22.6	11.2	11.5	10.8	12.6
Lappi (15)	43883	92662	0.5	0.7	66.2	33.1	14.1	10.7	14.3	13.6
Pohjois-Karjala (09)	84843	17763	4.8	5.8	81.8	12.4	9.8	7.7	10.1	8.9
Pohjois-Pohjanmaa (13)	223714	35507	6.3	2.1	69.5	28.4	13.1	11.5	14.1	10.7
Pohjois-Savo (08)	147429	16768	8.8	9.3	79.6	11.1	10.4	8.7	10.9	8.3
Pohjanmaa (12)	194198	12769	15.2	12.3	69.4	18.2	16.4	14.1	18.1	11.3
Pirkanmaa (05)	161629	12446	13.0	36.8	56.0	7.2	9.2	8.6	10.0	6.5
Satakunta (03)	143413	7957	18.0	23.5	63.2	13.3	17.6	17.3	19.5	9.1
Etelä-Pohjanmaa (11)	246850	13444	18.4	5.4	75.8	18.8	12.6	12.4	13.5	9.1
Etelä-Savo (07)	72790	13977	5.2	0.4	87.8	11.8	11.9	11.6	12.2	9.7
Kaakkois-Suomi (06)	139621	10761	13.0	35.2	55.7	9.1	11.2	9.0	13.0	8.5
Lounais-Suomi (02)	290532	10661	27.3	76.6	20.2	3.1	17.2	15.9	23.3	10.5
Uusimaa (01)	181246	9096	19.9	72.7	23.4	3.8	11.2	10.3	14.4	7.5
Ahvenanmaa (20)	13806	1552	8.9	28.4	67.6	4.0	25.3	17.5	29.2	13.9
Koko maa	2261116	303893	7.4	27.1	60.0	12.9	13.0	12.3	13.9	9.8