



# Kipsikokeilu TEHO-hankkeessa

Maria Yli-Renko ja Kimmo Rasa

16.12.2010





## Sisältö

1. Johdanto.....	2
2. Aineisto ja menetelmät .....	3
2.1 Kokeilulohkot ja käsittelyt.....	3
2.2 Maanäytteistä tehdyt analyysit ja kasvustonäytteet.....	5
2.3 Tilastolliset analyysit .....	6
3. Tulokset ja niiden tarkastelu.....	7
3.1 Kipsin levitys .....	7
3.2 Vesiuttolinen fosfori .....	8
3.3 Viljavuusfosfori .....	8
3.4 Johtoluku.....	9
3.5 Rikki.....	10
3.6 Kalsium .....	12
3.1 Maaperän pH.....	13
3.1 Kalium ja magnesium .....	13
3.2 Kipsin vaikutus eroosioon.....	15
3.3 Sato ja sadon laatutekijät.....	16
4. Johtopäätökset .....	18
Lähteet.....	20

## 1. Johdanto

Maatalouden vesiensuojelua koskevilla keskusteluilla puhutaan yleisellä tasolla vesistöjä rehevöittävästä ravinteista, typeistä ja fosforista. Pohdittaessa tarkemmin ravinteita ja niiden käyttäytymistä maaperässä ja vesistöissä, on huomiota kiinnitettävä kokonaismäärien lisäksi myös siihen, missä muodossa kyseinen ravinne esiintyy luonnossa. Maassa tapahtuvat prosessit vaikuttavat fosforin biologiseen käyttökelpoisuuteen, joka määräytyy viime kädessä sitoutumislujuuden tai orgaanisten yhdisteiden liukoisuuden ja hajoamiskyvyn mukaan. Biosaatavuuden perusteella fosforireservit voidaan jakaa kolmeen pääluokkaan: 1) aktiivinen eli liukoinen fosfori, 2) labiili eli helposti vapautuva fosfori sekä 3) stabiili eli erittäin huonosti käytettävissä oleva fosfori (Hartikainen 2009). Karkeasti ottaen voidaan puhua kiintoaineeseen sitoutuneesta ja sen mukana kulkevasta partikkelifosforista sekä liukoisesta fosfaattifosforista. Vesistökuormituksen kannalta ero on olennainen, sillä liukoinen fosfori on välittömästi leville ja kasveille käyttökelpoista, kun taas partikkelifosforin käyttökelpoisuuteen vaikuttavat monet lähtöaineen ja vastaanottavan vesistön ominaisuudet.

Fosforin puute rajoittaa luontaisesti perustuotantoa vesistöissä ja fosforimäärän lisääntyminen vesistöissä aiheuttaa niiden rehevöitymistä (Hartikainen 2009). Maatalous on merkittävä vesistöjen kuormittaja eri lähteiden ja laskentatapojen perusteella. Erityistä ongelmaa aiheuttavat saviset eroosioalltiit pellot sekä korkean fosforipitoisuuden pellot. Rehevöitymiskiirteen katkaiseminen vesistöissä on vaikeaa. Vesiensuojelun kannalta onkin olennaista rajoittaa fosforin pääsyä vesistöihin ja kohdistaa ennalta ehkäisevät toimenpiteet valuma-alueelle. (Hartikainen 2009). Esimerkiksi kasvipeitteisyyden lisääminen ja suojavyöhykkeet ovat hyviä keinoja vähentää eroosiota ja samalla partikkelifosforin kulkeutumista vesistöön.

Aktiiviseksi fosforikuormituksen vähentämiskeinoksi on viime aikoina esitetty kipsin (kalsiumsulfaatti,  $\text{CaSO}_4$ ) levittämistä peltolohkoille. Yksi menetelmän eduista on se, että loholla voi jatkaa viljelyä entiseen malliin. Kipsin käyttöä voidaan ajatella ns. ratkaisukeskeisenä lähestymistapana, jossa toimenpide suoritetaan kohdennetusti eniten kuormittavilla pelloilla. Menetelmä perustuu maaperätieteen hyvin tuntemiin prosesseihin (Ekholm 2009). Kipsi sisältää kalsiumia, joka on kaksiarvoinen kationi. Kalsium muuttaa maan rakennetta "sitomalla" maapartikkeleja yhteen. Tämä parantaa maan mururakenteen kestävyyttä, jolloin maa kestää paremmin eroosiota (Aura ym. 2006). Samalla vähenee myös hienojakoisen maa-aineksen mukana kulkeutuvan partikkelifosforin liikkuminen valumavesien mukana vesistöön. Lisäksi kipsin liuetessa veteen veden ionivahvuus kohoaa, mikä muuttaa maan sähköisiä ominaisuuksia siten, että liukoisen fosfaattifosforin pidätyminen tehostuu. Maanesteeseen liuennut kipsi siis ikään kuin sitoo liuennutta fosforia maahiukkasten pintaan (Aura ym. 2006). Sidos on kuitenkin niin löyhä, että vaikka fosforin huuhtoutumisriski pienenee, se säilyy kasveille käyttökelpoisena (Pietola & Kulokoski 2009). Lisäksi kalsium ja fosfaattifosfori voivat muodostaa emäksisissä olosuhteissa keskenään niukkaliukoisia yhdisteitä.

Pietolan (2008) tekemissä laboratoriotutkimuksissa saadut tulokset ovat antaneet lupaavia tuloksia kipsin toimivuudesta fosforin pidättäjänä. Kipsikäsittelet vähensivät erityisesti eroosiota, mutta myös liukoisen fosforin huuhtoutumista. Varsinkin hienojakoisilla savimailla kipsipohjaisilla tuotteilla näyttäisi olevan eroosiota hillitsevä vaikutus. Valumavesien kirkastuessa myös liunneen fosforin konsentraatio selkeästi väheni, mikä todettiin ensin laboratorioolosuhteissa. Viljavuusluvun noustessa valumaveden fosforipitoisuus kasvaa, mutta kipsilisäys puolitti pitoisuuden ja vaikutti määrällisesti eniten korkeilla fosforiluvuilla (Pietola & Kulokoski 2010). Laboratoriosta saatujen tulosten perusteella kipsin käyttöä on tutkittu myös kenttäkokein TraP-hankkeessa (Yara Suomi, SYKE, MTT, TTS tutkimus ja Luode Consulting). Hankkeen tulosten mukaan kipsikäsittelet vähensi fosforikuormaa vesistöön jopa 60 % tutkimuk-

sen aikana. Kipsi paransi savimaiden eroosiokestävyyttä erityisesti niissä tapauksissa, missä maata muokattiin joko kyntäen tai kultivaattorilla (Palva & Alasuutari 2009). Kipsi sisältää lisäksi kasveille käyttökelpoista rikkiä ja kalsiumia (Mustonen 2008). Kipsi ei kuitenkaan poista pellosto fosforia. Pysyvän vesiensuojelullisen tuloksen saavuttamiseksi lohkojen fosforitilaa on edelleen tarpeen alentaa poistamalla ravinteita pitkäjänteisesti sadon mukana.

Kipsin soveltuvuudesta fosforin huuhtoutumisen vähentäjänä Suomen ilmasto-olosuhteissa ja maala-jeilla on saatavissa vielä kuitenkin niukalti tietoa, ja siksi lisäselvitykset ovat tarpeellisia. TEHO-hankkeessa tehdyn kokeilun tarkoituksena oli tuoda lisävalaistusta asiaan tilatason mittakaavassa. On kuitenkin huomioitava, että TEHO:ssa tehty kipsikokeilu perustui lähinnä maaperän kemiallisen tilan seurantaan eikä se täytä tutkimukselle koejärjestelyiltään asetettuja vaatimuksia.

## 2. Aineisto ja menetelmät

### 2.1 Kokeilulohkot ja käsittelyt

Yara Suomi Oy:n Siilinjärven kaivokselta peräisin olevaa kipsiä ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) levitettiin TEHO-hankkeen kokeilussa kuudelle Lounais-Suomessa sijaitsevalle peltolohkolle (taulukko 1). Kipsiä syntyy fosforihapon valmistuksen sivutuotteena, kun fosforia erotetaan apatiitista rikkihapolla (Pietola & Kulokoski 2009). Siilinjärven kipsi soveltuu peltokäyttöön, sillä se ei sisällä haitallisia määriä esimerkiksi raskasmetalleja eikä radioaktiivisuutta (Pietola & Kulokoski 2009, Fertilizer International 2000). Peltolohkoille levitettiin kipsiä joko noin 4 tn/ha (kalkinlevityskalusto) tai noin 16 tn/ha (lannanlevitysvaunu). Kipsiä levitettiin syksyllä 2008 sekä sulan maan aikaan että maan ollessa jäässä. Peltolohkoille levitetty kipsi sisältää itsessään fosforia vajaan 0,15 %, jolloin sitä tulee kipsin mukana (4 tn) peltoon noin 5 kg/ha.

Kokeilussa jokainen peltolohko jaettiin kahteen osaan, josta toiselle tehtiin kipsikäsittely (kipsikaista) ja toiselle ei (verrannekaista). Peltolohkon kipsi- ja verrannekaistalla noudatettiin samoja viljelytoimenpiteitä. Kipsin vaikutusta maan kemiallisiin ominaisuuksiin seurattiin eri ajankohtina otettujen maanäytteiden avulla. Syksyllä 2008 kokeilulohkoilta otettiin maanäytteet ennen kipsin levitystä. Lohkot olivat multavia ja runsasmultaisia hieta- tai hiuesavia (taustanäytteet, taulukko 1). Koelohkolta 3 taustanäyte otettiin vasta kipsinlevitystä seuraavana päivänä. Tällöin maan pintakerros kuitenkin pyrittiin puhdistamaan kipsistä mahdollisimman hyvin, joskin kipsin vaikutusta taustanäytteisiin ei voida täysin sulkea pois. Kaikilta lohkoilta otettiin maanäytteet keväällä ja syksyllä 2009, keväällä 2010 sekä koelohkoilta 4 - 6 syksyllä 2010 kipsin vaikutuksen arvioimiseksi. Lisäksi kolmelta lohkolta (koelohkot 1 - 3) otettiin näytteet myöhäissyksyllä 2008 ennen maan jäätymistä (jatkossa talvi 2008). Muruanalyysiä varten maanäytteitä otettiin viideltä lohkolta (koelohkot 1 - 2 ja 4 - 6).

Taulukko 1. Taustanäytteistä analysoidut tiedot

Lohko	Fosfori (P)	Kalium (K)	Kalsium (Ca)	Magnesium (Mg)	Rikki (S)	Johtoluku	Maalaji	Multavuus
	mg/l maata					10xms/cm		
Lohko 1	15	307	2328	673	9	1	HtS	rm
Lohko 2	15	196	2869	692	7	1	HtS	m
Lohko 3	14	276	4662	168	59	2	HtS	rm
Lohko 4	79	182	2231	158	6	1	HeS	m
Lohko 5	17	194	1743	72	7	1	HeS	m
Lohko 6	74	241	3232	120	11	2	HeS	m
<b>MEDIAANI</b>	16	219	2598	163	8	1		

\*mediaani = suurusjärjestykseen asetetuista muuttujan arvoista keskimäinen

Viljelytoimenpiteet kokeilulohkoilla noudattivat tilan normaaleja käytäntöjä kipsikokeilun ajan (taulukko 2). Viljelykasveina oli kauraa, syysvehnää, ohraa, sokerijuurikasta ja mallasohraa. Samoillakin lohkoilla viljelykasvit vaihtelivat kokeilun aikana. Koelohkoilla muokkausmenetelminä olivat suorakylvö ja kyntö. Lannoituskäytännöt vaihtelivat koelohkoilla vuosittain.

Näytteenottopisteiden määrät vaihtelivat lohkosta ja käsittelystä riippuen (1 - 4 näytettä/käsittely). Maanäytteet otettiin kahdelta syvyydeltä, lastalla 0 - 5 cm syvyydeltä ja maanäytekairalla 0 - 20 cm. Näytteenottosyvyys 0 - 20 cm valittiin, jotta voidaan tarkastella, miten kipsin levitys vaikuttaa maan kemiallisiin ominaisuuksiin suorittaessa näytteenotto ympäristötuen tarkoittamalla tavalla. Maanäytteet otettiin myös syvyydeltä 0 - 5 cm, koska mukana oli suorakylvölohkoja, joiden pintamaahan saattaa tutkimusten mukaan kertyä fosforia (Muukkonen ym. 2009). Kynnetyllä koelohko 3:lla näyte otettiin vain 0 - 20 cm syvyydeltä. Myös syksyn 2010 maanäytteet otettiin ainoastaan 0 - 20 cm syvyydestä ja näistä huomioitiin tuloksissa ainoastaan rikki ja johtoluku. Pisteet tallennettiin GPS-laitteella ja seuraavan näytteenottokerralla näytteet otettiin samoilta paikoilta. Yksi näyte koostui viidestä osanäytteestä, jotka otettiin GPS:llä tallennetusta pisteestä (1 kpl) ja 5 metrin säteellä keskipisteestä neljään ilmansuuntaan (4 kpl). Osanäytteet yhdistettiin yhdeksi kokoomanäytteeksi ja sekoitettiin tasalaatuiseksi. Lohkoilta otettiin lisäksi lastalla sekoittamattomat näytteet muruanalyysijä varten 0 - 5 cm syvyydestä.

Taulukko 2. Koelohkojen viljelytoimenpiteet

	2008	2009	2010
<b>Lohko 1</b>	Viljelykasvi: syysvehnä Muokkaus: lautasäes Lannoitus: sianliete	Viljelykasvi: syysvehnä Muokkaus: lautasäes Lannoitus: typpi, hivenravinteet	Viljelykasvi: syysvehnä Muokkaus: kyntö Lannoitus: sianliete
<b>Lohko 2</b>	Viljelykasvi: syysvehnä Muokkaus: lautasäes Lannoitus: Suomensalpietari	Viljelykasvi: ohra Muokkaus: lautasäes Lannoitus: sianliete, typpi, hivenravinteet	Viljelykasvi: syysvehnä Muokkaus: kyntö Lannoitus: sianliete
<b>Lohko 3</b>	Viljelykasvi: kevätvehnä Muokkaus: kyntö Lannoitus: Pellon Y4, Suomen- salpietari	Viljelykasvi: kaura Muokkaus: kyntö, joustopiikkiäes Lannoitus: Suomensalpietari, sianliete	Viljelykasvi: kevättrypsi Muokkaus: kyntö, joustopiikki- kiäes Lannoitus: Suomensalpietari, naudan kuivikelanta
<b>Lohko 4</b>	Viljelykasvi: sokerijuurikas Muokkaus: suorakylvö Lannoitus: sianliete	Viljelykasvi: mallasohra Muokkaus: suorakylvö Lannoitus: urea- ammoniumnitraatti	Viljelykasvi: sokerijuurikas, viherlannoitusnurmi Muokkaus: suorakylvö Lannoitus: typpi, sianliete
<b>Lohko 5</b>	Viljelykasvi: mallasohra Muokkaus: suorakylvö Lannoitus: typpi	Viljelykasvi: mallasohra Muokkaus: suorakylvö Lannoitus: kalsium- ammoniumnitraatti	Viljelykasvi: rypsi Muokkaus: suorakylvö Lannoitus: typpi
<b>Lohko 6</b>	Viljelykasvi: Mallasohra Muokkaus: suorakylvö Lannoitus: naudan ja broilerin kuivalanta	Viljelykasvi: sokerijuurikas Muokkaus: suorakylvö Lannoitus: kalsium- ammoniumnitraatti	Viljelykasvi: sokerijuurikas, viherlannoitusnurmi Muokkaus: suorakylvö Lannoitus: typpi, sianliete

## 2.2 Maanäytteistä tehtyt analysit ja kasvustonäytteet

Näytteistä tehtiin viljavuusanalyysin perustutkimus, jossa uuttonesteenä käytetään hapanta ammoniumasetatiliuosta (pH 4,65). Ravinteista määritettiin viljavuusfosfori, kalsium, kalium, magnesium sekä rikki. Lisäksi määritettiin maan pH, johtoluku, aistinvarainen maalaji sekä multavuus. Analysit teetettiin viljavuusanalyysijä tekevässä kotimaisessa kaupallisessa laboratoriossa. Osasta näytteitä määritettiin myös vesiuuttainen fosfori (uuttosuhde 1:60) Yara Suomen laboratoriossa.

Kipsikäsittelyn vaikutusta maaperän mururakenteen kestävyteen testattiin Yara Suomen laboratoriossa märkaseulonnan avulla. Menetelmässä simuloidaan maan murujen altistumista märille olosuhteille ja veden liikkeelle eli eroosiota aiheuttaville olosuhteille. Saadut murut jaetaan heikkoihin ja kestäviin muruihin. Heikot murut hajoavat testin vesikäsittelyn aikana, kun taas kestävät murut hajoavat vasta natriumhydroksidiliuoksessa. Mitä suurempi prosenttiosuus näytteestä on heikkoja muruja, sitä heikompi maaperän mururakenne on. Heikon mururakenteen omaava maa on alttiimpi liettymiselle, kuorettumiselle ja eroosiolle. Murujen kestävyttä tutkittiin myös toisella menetelmällä, jossa murujen annettiin olla seisovassa vedessä yön yli (15 g maanäytettä ja 30 ml vettä). Muruista irtoavan maan aineksen määrää mitattiin sameuden perusteella, jolloin suuri sameus indikoi eroosioherkkää murua (Pietola & Kulokoski 2011, tulossa).

Kasvukauden 2009 aikana viideltä lohkolta otettiin kasvustonäytteet, ja oraiden ravinnepitoisuudet analysoitiin kaupallisessa laboratoriossa. Analysoidut alkuaineet olivat N, Ca, K, Mg, P, S, Fe, B, Cu, Mn ja Zn. Näytteiden esikäsittely tehtiin perkloorihappotyypihappo-märkäpoltolla ja mittaus ICP-OES-plasmaemissiospektrometrillä. Typpi analysoitiin Kjeldahlin menetelmällä. Sadonkorjuun aikaan kipsi- ja verrannekaistoilta otettiin satonäytteet (3 x 1 m<sup>2</sup>, leikkuu saksilla). Satonäytteet puitiin ja analysoitiin MTT:n Piikkiön toimipisteessä. Sadon määrä määritettiin kolmesta rinnakkaisnäytteestä. Tämän jälkeen näytteet yhdistettiin yhdeksi kokoomanäytteeksi ja siitä määritettiin kosteus ja valkuaisainepitoisuus kuiva-aineesta sekä hehtolitraino ja sakoluku.

## 2.3 Tilastolliset analysit

Tilastollisilla analyyseillä tutkittiin käsittelyiden välisiä eroja saaduista viljavuusanalyysien tuloksista. Analyyseissä ei ole otettu koelohko kolmelta saatuja tuloksia mukaan, koska levitetyn kipsin määrä (16 tonnia/ha) poikkesi huomattavasti muiden lohkojen kipsimäärästä. Eri maakerroksista otettuja näytteitä ei voitu pitää täysin riippumattomina toisistaan, koska syvemmältä otettu näyte sisälsi myös pinta-maannäytteen. Tämän vuoksi analysit tehtiin erikseen molemmille näytteenottoosyyyksille (0 - 5 cm ja 0 - 20 cm). Malleissa otettiin myös huomioon aineiston toistomittausluonne, koska jokaisella näytteenottokerralla maanäyte oli otettu samasta peltolohkon kohdasta. Aineisto analysoitiin pääasiassa käyttäen yleisiä lineaarisia malleja. Joissain tilanteissa käytettiin myös yleistettyjä lineaarisia malleja, koska yleisten lineaaristen mallien normaalisuusoletukset ja/tai varianssien yhtäsuuruusoletukset eivät täytyneet. Malleissa käytettiin selittävinä muuttujina näytteenottoaikaa, näytteenottoaikkaa (lohko), käsittelyä (kipsi/verranne) sekä näiden välisiä interaktioita eli yhdysvaikutuksia. Näytteenottoaikan voidaan ajatella sisältävän vaihtelun kaikissa pellon ominaisuuksissa kuten esimerkiksi kasvilajin, muokkauksen ja maalajin. Lisäksi mallissa käytettiin kovariaattina vuonna 2008 syksyllä saatuja maanäytetuloksia, jolloin koealueille ei ollut levitetty kipsiä. Näin ollen alkuaineiden lähtötaso peltolohkoilla on otettu analyyseissä huomioon. Tuloksissa on esitetty mitattujen aineiden keskiarvot. Virhemarginaalit kuvaavat näiden keskihajontaa, jolla tarkoitetaan havaintoarvojen poikkeamaa keskiarvosta. Mitä pienempi on keskihajonta, sitä tiiviimmin havaintoaineisto on keskittynyt keskiarvon ympärille.

Muruanalyyseistä saatu aineisto analysoitiin käyttämällä yleistettyjä lineaarisia malleja, koska selitettävien muuttujien normaalisuusoletukset eivät täytyneet. Analyyseissä selittävinä muuttujina käytettiin käsittelyä (kipsi/verranne), näytteenottoaikkaa (lohko) sekä aikaa. Tuloksissa on esitetty keskiarvot selitettäville muuttujille (heikkojen ja vedenkestävien murujen prosenttiosuudet sekä sameus). Virhemarginaalit kuvaavat näiden keskihajontaa.

Satoaineisto analysoitiin käyttämällä yleistettyjä lineaarisia malleja, koska vastemuuttujan (sadon määrä) normaalisuusoletus ei täytynyt. Analyyseissä selittävinä muuttujina käytettiin käsittelyä (kipsi/verranne) sekä näytteenottoaikkaa (lohko). Tuloksissa on esitetty sadon keskiarvot. Virhemarginaalit kuvaavat keskihajontaa.



### 3. Tulokset ja niiden tarkastelu

#### 3.1 Kipsin levitys

Kipsin levitys onnistui parhaiten kalkinlevityskalustolla kipsin ollessa kuivaa. Levitysjälki oli tasaista ja levitysmäärä pystyttiin säätämään hyvin lähelle haluttua määrää (4 tn/ha). Kipsi kostui, paakkuuntui ja jäättyi, kun sitä varastoitiin syksyllä pellon laidalla ilman peitettä. Tämän seurauksena kipsikasan pintakerros jouduttiin hajottamaan traktorin kauhalla. Kipsikokkareet säilyivät muokkaamattoman pellon pinnassa kevääseen 2009 (kuva 1, oikea), ja joitakin paakkuja näkyi lohkolla vielä syksyn 2009 näytteenoton yhteydessä. Vaikka kipsi pääosin levisikin kokeilulohkoille tasaisesti, ovat hitaasti sulaneet kipsikokkareet saattaneet osin vaikuttaa tuloksien suureen hajontaan. Kipsi tulisikin pitää kuivana levitysajankohtaan asti peittämällä kipsikasa pressulla, mikäli sitä ei voida levittää välittömästi kuljetuksen jälkeen. Vastoin aiempaa Suomessa tehtyä kipsin levitykseen soveltuvaa kalustoa koskevaa tutkimusta (Palva & Alasuutari 2009), TEHO:n kokeilussa käytetty lannanlevityskalusto (yleisperävaunu neljällä pystytelalla) ei soveltunut kipsinlevitykseen. Ongelmaksi muodostui se, että levitysmäärää ei yrityksistä huolimatta saatu riittävän alhaiselle tasolle (4 tn/ha). Palvan ja Alasuutarin tutkimuksessa käytettiin kuivalannan tarkkuuslevittämiä.

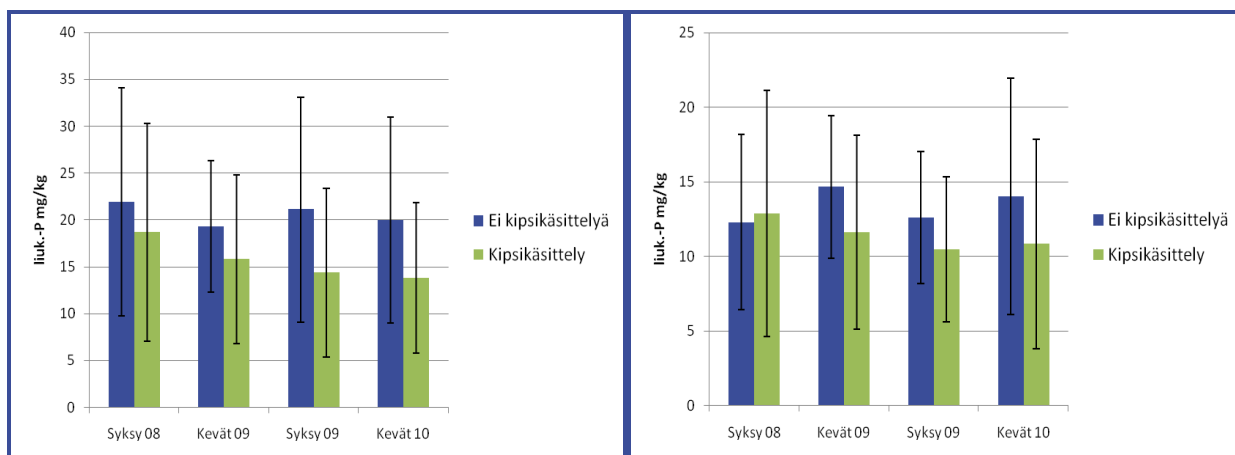
Kipsin hyötyjä arvioitaessa on otettava huomioon myös levityksestä aiheutuvat haitat maan rakenteelle etenkin, jos levitys joudutaan toistamaan usein. Levityksessä joudutaan käyttämään raskasta levityskalustoa, jolloin maa altistuu tiivistymiselle. Maan tiivistymisriskiä voidaan vähentää ajoittamalla levitys kuiviin olosuhteisiin. Käytännössä tämä tuo kuitenkin omat haasteensa kipsin kuljetuslogistiikalle, sillä kipsi olisi levitettävä välittömästi kuljetuksen jälkeen tai varastoitava kuivissa olosuhteissa paakkuuntumisen estämiseksi. Maan rakenteen kannalta kipsi olisi edullista levittää routaiseen maahan, mutta toisaalta routaiselta maalta kipsi voi huuhtoutua suoraan ojiin sulamiskauden aikana.



Kuva1. Kipsiä sängellä, johon on levitetty sian lietelantaa sijoittavalla kalustolla (vasen). Sulanut kipsikokkare keväällä 2009 (oikea). Mittakaavana kuvassa on kolikko.

## 3.2 Vesiuttoinen fosfori

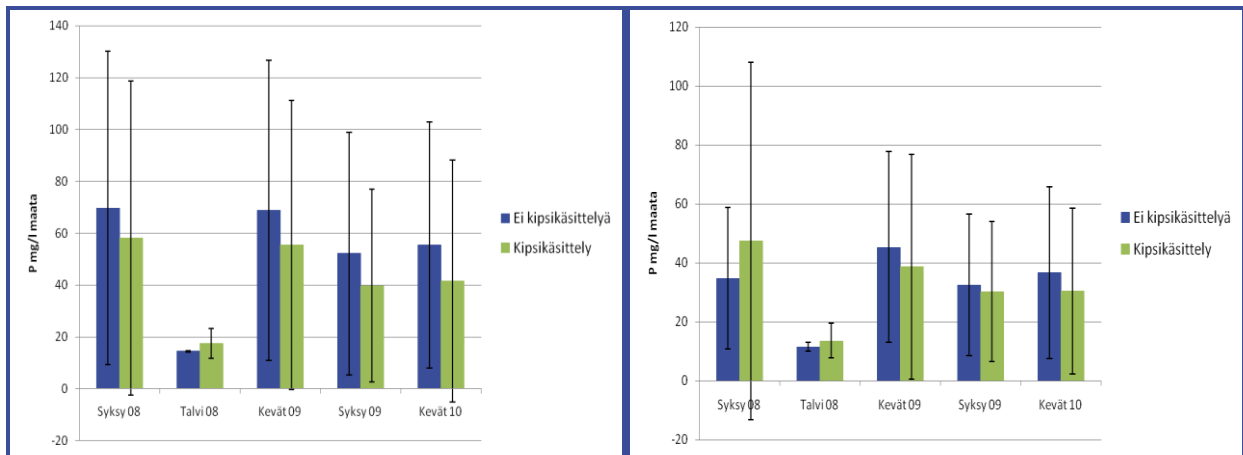
Fosforin vesiutto kuvastaa hyvin maan suolavahvuudesta ja happamuudesta aiheutuvia muutoksia fosforin liukoisuudessa ja soveltuu siksi hyvin kipsikäsittelyn vaikutusten tarkasteluun (Soinne 2009). Kipsikäsittelyllä on tarkoitus nostaa maaperässä olevan veden ionivahvuutta. Tämä muuttaa maan sähköisiä ominaisuuksia siten, että liukoisin fosfaattifosforin pidättyminen tehostuu. Kipsikäsittely vähensi vesiuttoisen fosforin pitoisuuksia maaperässä molemmissa maanäytesyvyyksissä (kuva 2).



Kuva 2. Keskimääräiset vesiuttoisen fosforin (liuk.-P) pitoisuudet peltolohkoilla eri näytteenotto-kerroilla 0 - 5 cm (vasen) ja 0 - 20 cm (oikea) maanäytteissä. Syksyn 2008 arvot kuvaavat tilannetta, jossa kipsiä ei ole levitetty peltolohkoille.

## 3.3 Viljavuusfosfori

Viljavuusfosforilla tarkoitetaan fosforia, joka tutkitaan viljavuustutkimuksen yhteydessä ja jonka perusteella määräytyy pellon fosforin viljavuusluokka. Se on maaperään ajan mittaan kertynyttä fosforia, jonka määrä ei juuri riipu vuotuislannoituksesta. Kipsikäsittelyllä ei ollut vaikutusta viljavuusfosforiin kummassakaan maanäytesyvyudessa (kuva 3). Viljavuusanalyysin uuttomenetelmän voidaan katsoa olevan niin voimakas, ettei kipsin mahdollisia vaikutuksia maan fosforiin oletetakaan havaittavan ko. menetelmällä. Tulosten perusteella voidaan kuitenkin todeta, ettei kipsikäsittelyllä ole vaikutusta lohkojen fosforilukuun eikä esimerkiksi siihen perustuvaan lannoitusohjeistukseen.

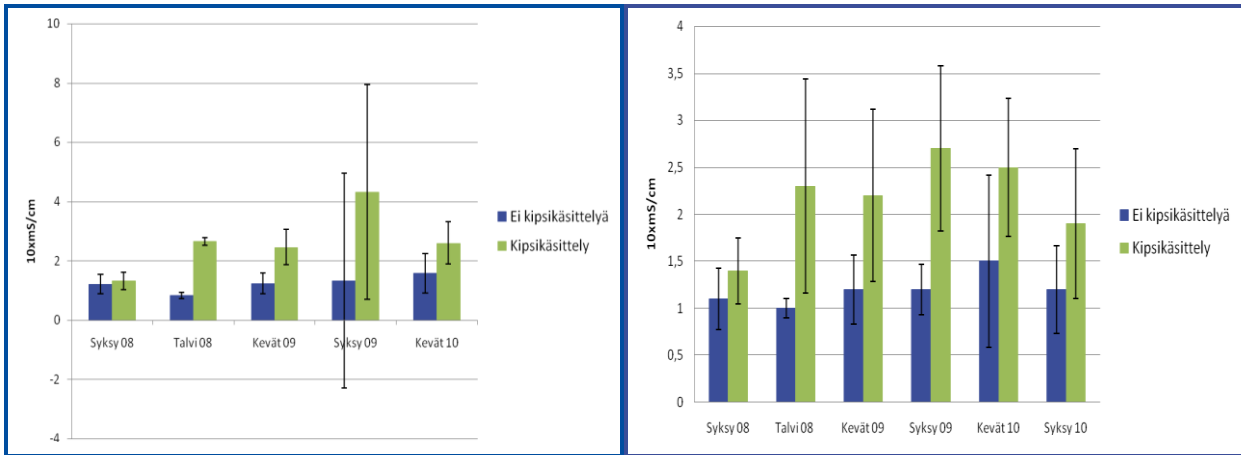


Kuva 3. Keskimääräiset viljavuusfosforipitoisuudet (P) peltolohkoilla eri näytteenottokerroilla 0 - 5 (vasen) cm ja 0 - 20 cm (oikea) maanäytteissä. Syksyn 2008 arvot kuvaavat tilannetta, jossa kipsiä ei ole levitetty peltolohkoille.

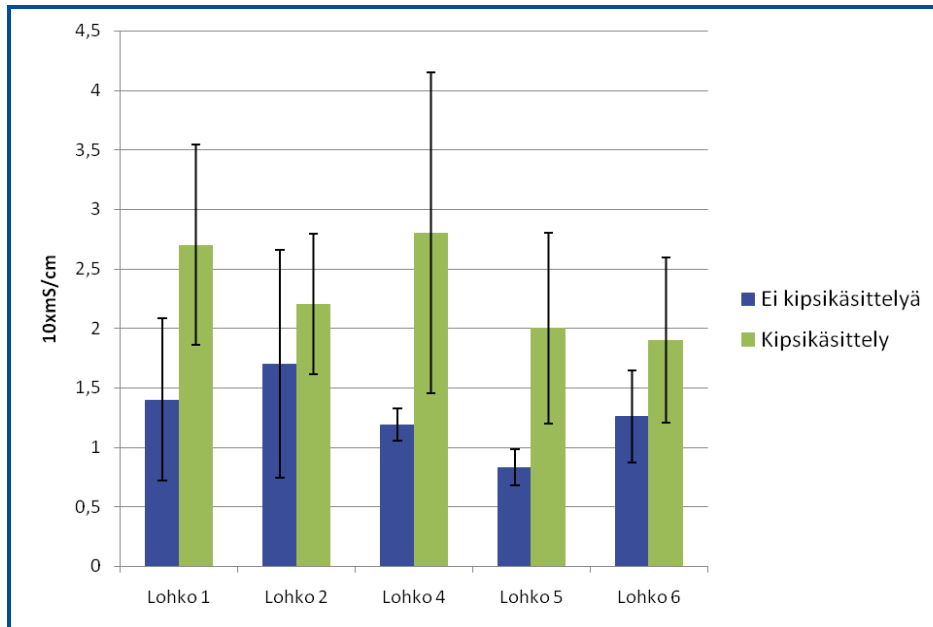
### 3.4 Johtoluku

Johtoluku kuvaa maan vesiliukoisten suolojen pitoisuutta. Mitä korkeampi on maan johtoluku, sitä korkeampi on maan vesiliukoisten suolojen pitoisuus. Tavallisin johtoluku peltomaissa on alle 2,5 (Viljavuuspalvelu 2008). Taustanäytteissä sähkönjohtavuus ennen kipsikäsittelyä oli 0 - 5 cm maanäytteissä 1,2 ja 0 - 20 cm maanäytteissä 1,3. Kipsikäsittelyn tarkoituksena on nostaa maaperän johtolukua, mikä johtuu kipsin sisältämän sulfaatin liukenemisestä veteen. Tämän seurauksena veden ionivahvuus kohoaa, joka muuttaa maan sähköisiä ominaisuuksia siten, että liukoisen fosfaattifosforin pidättyminen tehostuu. Johtoluvun pysyessä tasolla 2 - 3 kiintoaineen ja sen mukana kulkevan fosforin pitoisuus vedessä on vähäinen (TraP-hankkeen loppuseminaari, 23.11.2010). Kipsikäsittely nosti maan johtolukua molemmissa näytteenottosyvyyksissä (kuva 4). Kuvasta neljä voidaan havaita tilastanalyseissä merkitseväksi tullut käsittelyn ja ajan välinen yhdysvaikutus: käsittelyn vaikutus johtolukuun on voimakkaampaa tiettyinä näytteenottokertoina. Kipsikäsitteltyjen peltolohkojen keskimääräiset johtoluvut olivat korkeimmillaan syksyn 2009 näytteissä, jolloin 0 - 5 cm maanäytteissä sähkönjohtavuuden keskiarvo nousi yli 4:n ja 0 - 20 cm maanäytteissä yli 2,5:n. Keskihajonnat olivat kuitenkin suuria. Oletettavasti syksyllä 2009 (vuosi levityksen jälkeen) valtaosa kipsistä on sulanut maahan. Syvyydeltä 0 - 20 cm otetuissa maanäytteissä käsittely vaikutti johtolukuun eri lailla eri lohkoilla (käsittelyn ja paikan välinen yhdysvaikutus), mikä saattaa olla seurausta pellon ominaisuuksien vaihtelusta tai kipsin levityksen tasaisuudesta (kuva 5).

Kipsikäsittelyn uusimistarvetta voidaan arvioida johtoluvun perusteella. Johtoluvun laskiessa lähelle alkuperäistä, tulee pohtia käsittelyn uusimista. TraP-hankkeen loppuseminaarissa esitettyjen tulosten perusteella kipsikäsittelyn vaikutus on voimakas levityksen jälkeisenä vuotena, mutta heikkenee jo toisena vuotena. Myös TEHO-hankkeen kokeilun tulokset viittaavat siihen, että kipsin vaikutus on havaittavissa vielä toisena syksynä levityksen jälkeen. TEHO:n kipsikokeilun seuranta tulisi jatkaa ainakin vuoden 2011 ajan, jotta voitaisiin seurata kipsikäsittelyn vaikutusta pidemmällä aikavälillä. Tämä on olennainen tieto, kun pohditaan kipsikäsittelyn uusintatarvetta.



Kuva 4. Keskimääräiset johtoluvut peltolohkoilla eri näytteenottokerroilla 0 - 5 cm (vasen) ja 0 - 20 cm (oikea) maanäytteissä. Syksyn 2008 arvot kuvaavat tilannetta, jossa kipsiä ei ole levitetty peltolohkoille.



Kuva 5. Keskimääräiset johtoluvut eri peltolohkoilla 0 - 20 cm maanäytteissä

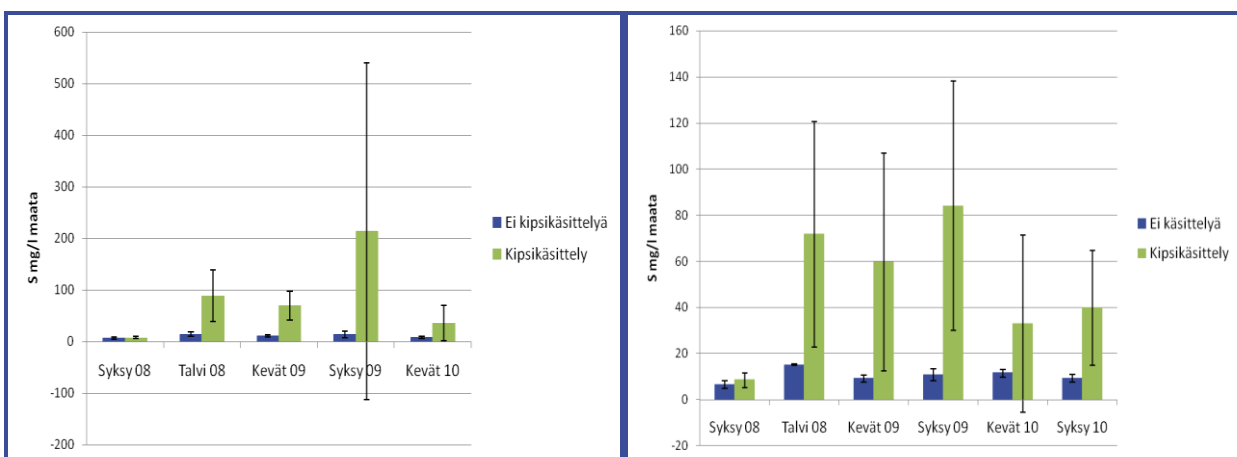
### 3.5 Rikki

Rikki on kasveille tärkeä ravinne, koska se toimii valkuaisaineiden ainesosana. Kasvit ottavat rikin maasta sulfaattina. Maaperän keskimääräiset rikkipitoisuudet nousivat selkeästi sekä 0 - 5 cm että 0 - 20 cm kerroksessa kipsin levityksen jälkeen (kuva 6). Suuret hajonnat kipsikäsitellyillä peltolohkoilla osoittavat kuitenkin, että rikin jakautuminen on hyvin epätasaista. Esimerkiksi koelohko 4:llä rikkipitoisuudet vaihtelivat kipsikäsitelyssä (0 - 5 cm) näytepisteiden välillä 32-1300 mg/l maata (n=12) keskiarvon ollessa 208 mg/l maata (arveluttavan korkean raja 150 mg/l maata). Korkeat luvut rikkipitoisuudessa saattavat johtua siitä, että maassa on edelleen ollut liukenemattomia kipsikokkareita, jotka kokoomänäytteeseen joutuessa kohottavat pitoisuuksia huomattavasti. 0 - 20 cm maanäytteissä myös paikan ja käsittelyn välinen yhdysvaikutus oli tilastollisesti merkitsevä, joten käsittelyn vaikutus rikkipi-

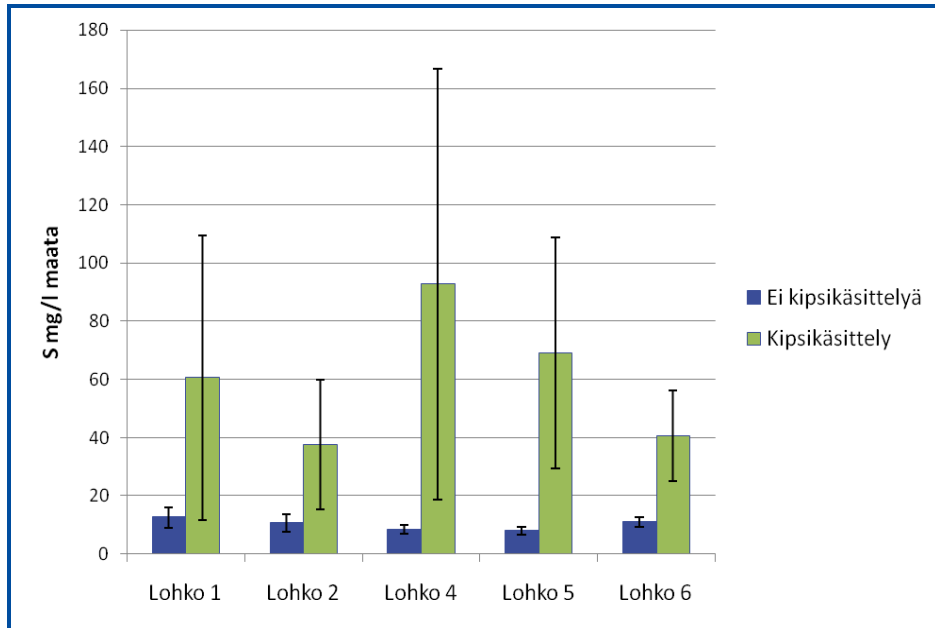
toisuuteen on erilainen eri paikoissa. Tämä viittaa siihen, että pellon ominaisuuksilla tai kipsikäsittelyn tasaisuudella on vaikutusta siihen, miten kipsikäsittely vaikuttaa maaperän rikkipitoisuuteen. Käytännössä tämä näkyy siinä, että kipsikäsittely nostaa joillakin lohkoilla rikkipitoisuuksia voimakkaammin kuin toisilla (kuva 7). Rikkipitoisuuden keskiarvojen huiput kipsikäsitellyillä kaistoilla olivat vuoden 2009 syksyllä molemmissa näytteenottoesityksissä.

Yleensä rikki ei ole kasveille myrkyllistä suurinakaan määrinä, mutta on kuitenkin muistettava, että minkä tahansa ravinteiden liika saanti voi aiheuttaa ravinnesuhteiden vinoumia, jotka näkyvät puolestaan huonona tai hitaana kasvuna. Seleenin sitoutuminen ja biosaatavuus suomalaisissa maissa -hankkeen kokeissa on esimerkiksi todettu, että seleenin otto vähenee rikin lisäyksen seurauksena, koska rikki ja seleeni (sulfaatti ja selenatti) kilpailevat keskenään (Seleenin sitoutuminen ja biosaatavuus suomalaisissa maissa -hankkeen loppuraportti 2009). Toisaalta esimerkiksi rypsilä esiintyi samaisessa tutkimuksessa selviä rikinpuutosoireita ilman rikkilannoitusta, joten kipsi voisi tällaisissa tapauksissa toimia rikkilannoitteena. Myös TraP-hankkeessa saaduissa tuloksissa kipsin lisäyksellä näytti olevan vaikutusta kasvien seleenin ottoon.

TraP-hankkeessa saatujen tulosten mukaan valumavesien mukana saattaa kulkeutua huomattava osa kipsin sisältämästä sulfaattista vesistöihin. Sulfaatin vesistövaikutuksista ei kuitenkaan ole olemassa riittävästi tietoa. Merivedessä sulfaatti-ioni on yksi suolaisuuden muodostavista pääioneista, joten siellä sitä esiintyy luonnostaankin runsaasti. Sisävesissä (järvet ja joet) sulfaattien lisääntyminen puolestaan saattaa vaikuttaa veden kemiallisiin ominaisuuksiin, jolla voi olla vaikutuksia vesistön eliöihin. Varsinkin eliöiden nuoruusvaiheet ovat usein herkempiä epäedullisille olosuhteille (Ilmavirta 1990). Teoriassa sulfaatti voi aiheuttaa myös järvien rehevöitymistä heikentämällä pohjasedimentin kykyä sitoa fosforia. Tätä asiaa selvitetään tutkimuksin (Valkama ym. 2010). Kipsin ympäristövaikutuksista järvien ja jokien valuma-alueella tarvitaan tietoa ennen kuin peltojen kipsikäsittelyä voidaan suositella näillä alueilla, koska esimerkiksi EU:n vesipolitiikan puitedirektiivi (2000/60/EY) edellyttää pintavesien hyvää ekologista tilaa hyvän kemiallisen tilan lisäksi vuoteen 2015 mennessä. Erinomaiseksi tai hyväksi luokiteltujen vesistöjen tilaa ei saa myöskään heikentää. Kipsin levittämisessä tulee myös huomioida pohjavesialueet. Mikäli levitys nostaa maaperän sulfaattipitoisuudet kovin korkeaksi, saattaa sulfaattia kulkeutua vajoavan veden mukana kohti pohjavettä.



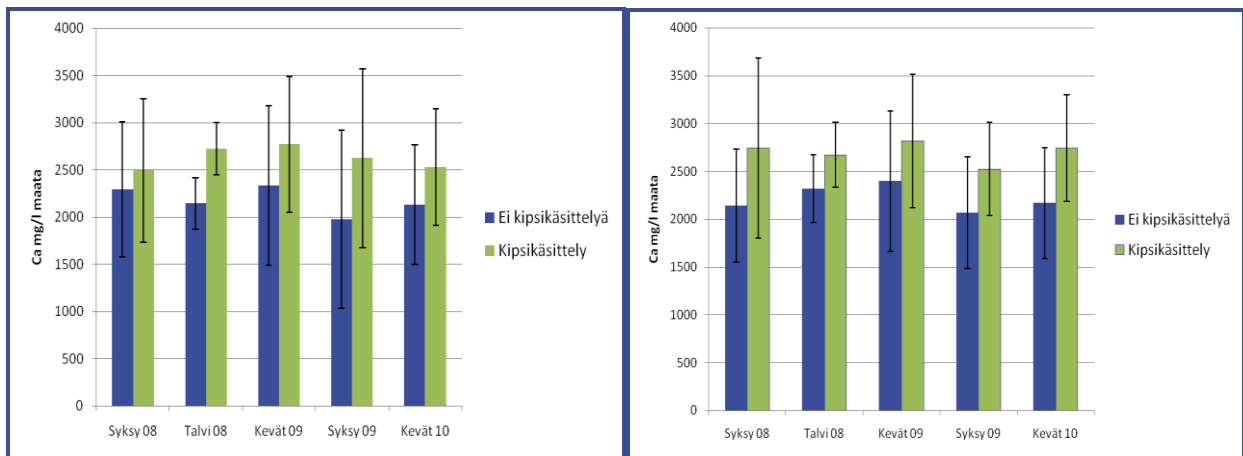
Kuva 6. Keskimääräiset rikkipitoisuudet (S) peltolohkoilla eri näytteenottokerroilla 0 - 5 cm (vasen) ja 0 - 20 cm (oikea) maanäytteissä. Syksyn 2008 arvot kuvaavat tilannetta, jossa kipsiä ei ole levitetty peltolohkoille.



Kuva 7. Keskimääräiset rikkipitoisuudet eri peltolohkoilla 0 - 20 cm maanäytteissä

### 3.6 Kalsium

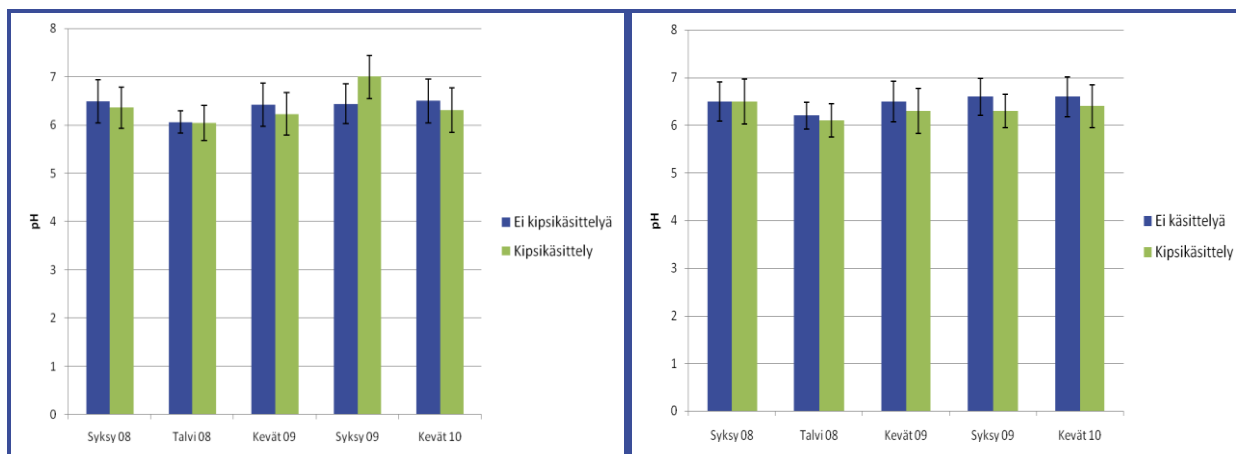
Kalsium on yksi kasvin tarvitsemista makroravinteista. Kalsium on kasvin soluseinämien rakennusaine ja eräiden entsyymien rakenneosia. Se säätelee solukalvon läpäisykykyä ja osallistuu solun osmoottisen paineen säätelyyn. Kalsiumia tarvitsee harvoin käyttää lannoitteena sellaisenaan. Jos kalkitus tehdään säännöllisesti, maahan saadaan samalla kalsiumvaraston täydennys (Kleemola 2009). Vaikka kipsi ( $\text{CaSO}_4$ ) sisältääkin kalsiumia, ei kipsikäsitely nostanut kalsiumpitoisuuksia merkittävästi kummissakaan näytteenottoesityydydessä (kuva 8).



Kuva 8. Keskimääräiset kalsiumpitoisuudet (Ca) peltolohkoilla eri näytteenottokerroilla 0 - 5 cm (vasen) ja 0 - 20 cm (oikea) maanäytteissä. Syksyn 2008 arvot kuvaavat tilannetta, jossa kipsiä ei ole levitetty peltolohkoille.

### 3.1 Maaperän pH

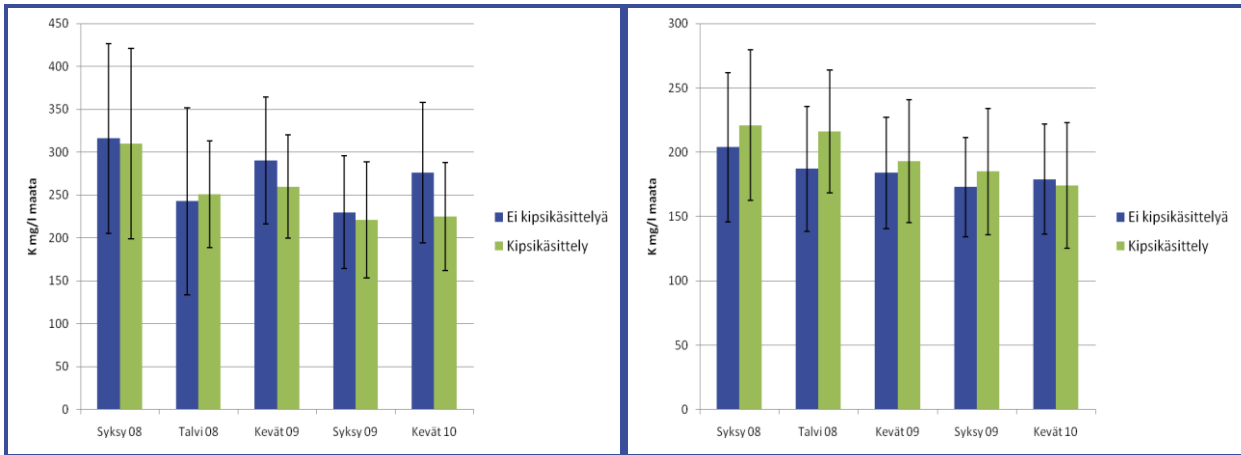
Maan happamuutta kuvataan pH-luvulla. Maaperän happamuus vaikuttaa maassa olevien ravinteiden ja siihen lisättävien ravinteiden käyttökelpoisuuteen. Kun maan pH on 6,0 - 6,5, ovat eri ravinteet parhaiten kasvien käytettävissä (Viljavuuspalvelu 2008). Kipsikäsitellyllä ei ollut vaikutusta maaperän happamuuteen kummassakaan maanäytesyvydessä (kuva 9). Tämä oli odotettavissakin oleva tulos, koska kipsikäsitellyllä ei ole tarkoitus vaikuttaa maaperän happamuuteen.



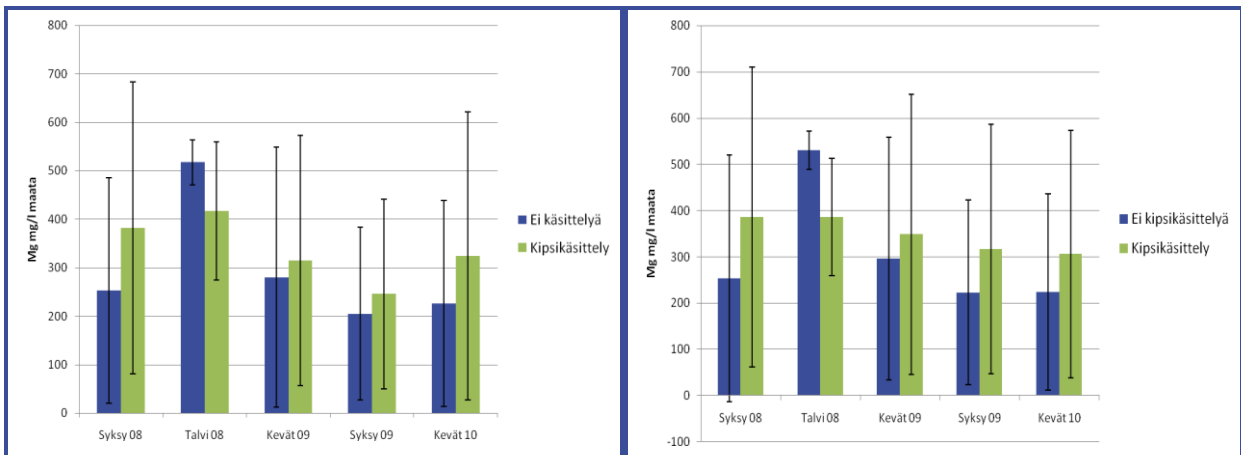
Kuva 9. Maaperän keskimääräinen pH peltolohkoilla eri näytteenottokerroilla 0 - 5 cm (vasen) ja 0 - 20 cm (oikea) maanäytteissä. Syksyn 2008 arvot kuvaavat tilannetta, jossa kipsiä ei ole levitetty peltolohkoille.

### 3.1 Kalium ja magnesium

Kaliumin ja magnesiumin pitoisuudet maaperässä selvitettiin, koska haluttiin tietää, vaihtaako kipsin sisältämä kalsium maasta muita kationeja. Kalium ja magnesium ovat molemmat kasvien tarvitsemia makroravinteita. Kipsikäsitely ei vaikuttanut merkittävästi maaperän kalium- ja magnesiumpitoisuuksiin kummassakaan maanäytesyvydessä (kuvat 10 ja 11). Toistuvien kipsilisäysten vaikutusta maan ravinnetasapainoon tulee kuitenkin seurata, koska Trap-hankkeen kipsikokeiluissa kipsin havaittiin lisäävän kaliumin ja magnesiumin huuhtoutumista sadetuskokeissa.



Kuva 10. Maaperän keskimääräinen kaliumpitoisuus (K) peltolohkoilla eri näytteenottokerroilla 0 - 5 cm (vasen) ja 0 - 20 cm (oikea) maanäytteissä. Syksyn 2008 arvot kuvaavat tilannetta, jossa kipsiä ei ole levitetty peltolohkoille.



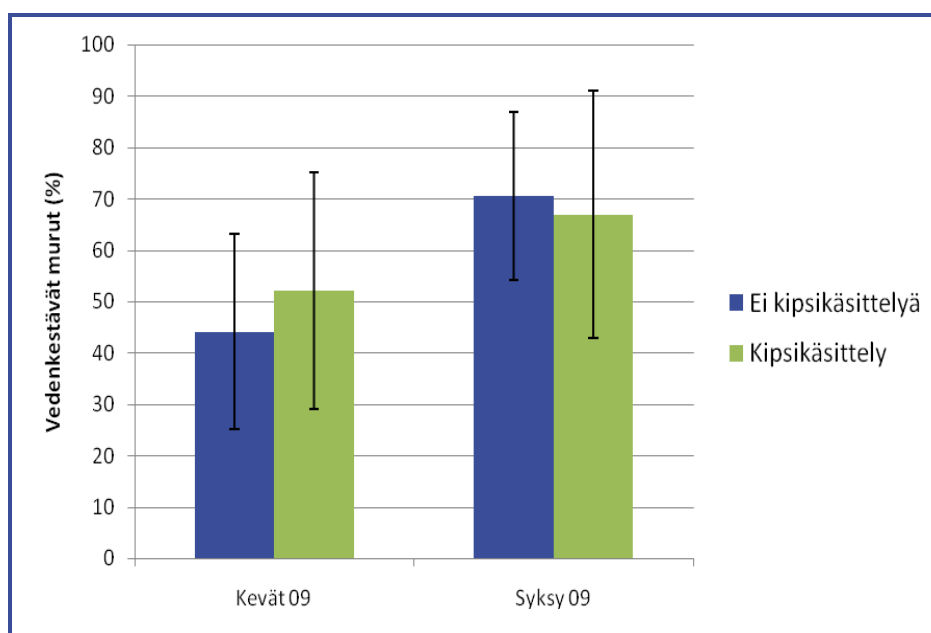
Kuva 11. Maaperän keskimääräinen magnesiumipitoisuus (Mg) peltolohkoilla eri näytteenottokerroilla 0 - 5 cm (vasen) ja 0 - 20 cm (oikea) maanäytteissä. Syksyn 2008 arvot kuvaavat tilannetta, jossa kipsiä ei ole levitetty peltolohkoille.



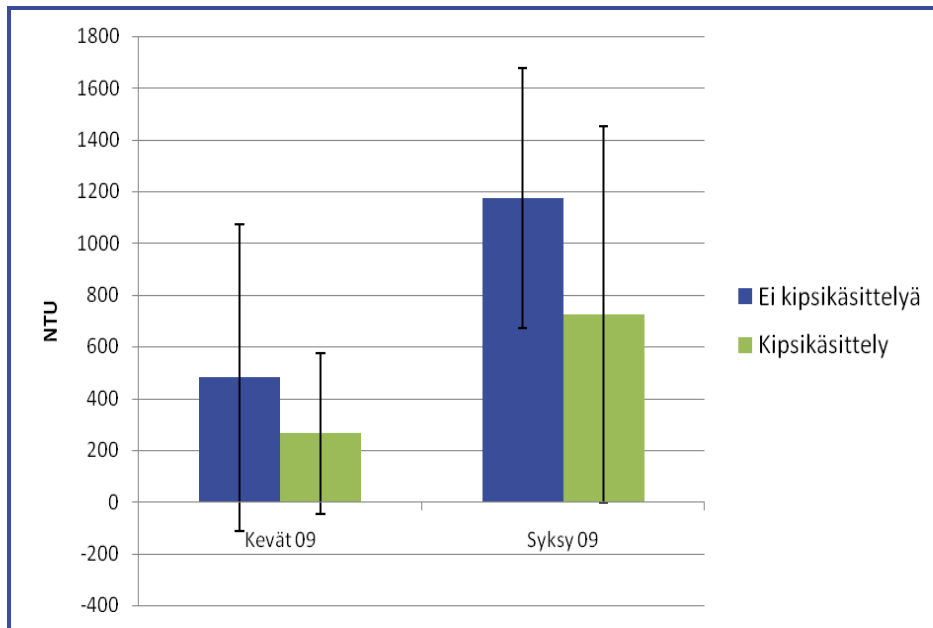
## 3.2 Kipsin vaikutus eroosioon

Maan murujen eroosionkestävyyttä tutkittiin kahdella eri laboratoriomenetelmällä eli märkäseulonnalla ja sameusmittaukseen perustuvalla menetelmällä, jossa murua seisotetaan vedessä ilman liike-energian vaikutusta. Märkäseulonnan perusteella kipsikäsittely ei vaikuttanut maaperän mururakenteeseen (kuva 12). Kun muruista irtoavan maa-aineksen määrää mitattiin sameuden perusteella, kipsikäsittely paransi murujen kestävyyttä (kuva 14).

Kipsin vaikutuksesta maan mururakenteen kestävyyteen ei kokeilun tulosten perusteella voida vetää yksiselitteistä johtopäätöstä, sillä käytetty menetelmä vaikutti tuloksiin. Märkäseulonnassa maahan kohdistuu liike-energiaa (seulonnassa maata liikutetaan vedessä), joka edesauttaa murun hajoamista. Märkäseulonnassa käsittely on siten voimakkaampaa kuin seisotettaessa murua vedessä yön yli. Lisäksi murusta erkaantuneen maa-aineksen määrää mitattiin eri menetelmin. Märkäseulonnan masaan perustuva menetelmä huomioi kaiken kokoiset maahiukkaset. Sameuteen perustuvassa menetelmässä puolestaan suurimmat murusta irronneet maahiukkaset sedimentoituvat seisotusastian pohjalle eivätkä ne siten lisää vesifaasin sameutta. Sitä kumpi menetelmistä kuvastaa paremmin murujen kestävyyttä ja niiden eroosioherkkyyttä ei voida arvioida kokeilun tulosten perusteella. Suomen olosuhteisiin hyvin soveltuvan laboratoriomittakaavan eroosioherkkyys-/muruanalyysitestin löytämiseksi vaadittaisiinkin tieteelliseen tutkimukseen perustuvaa selvitystä. Lisäselvyyttä murujen eroosionkestävyyttutkimukseen odotetaan Pietolan ja Kulokosken (2011, tulossa) tutkimuksista.



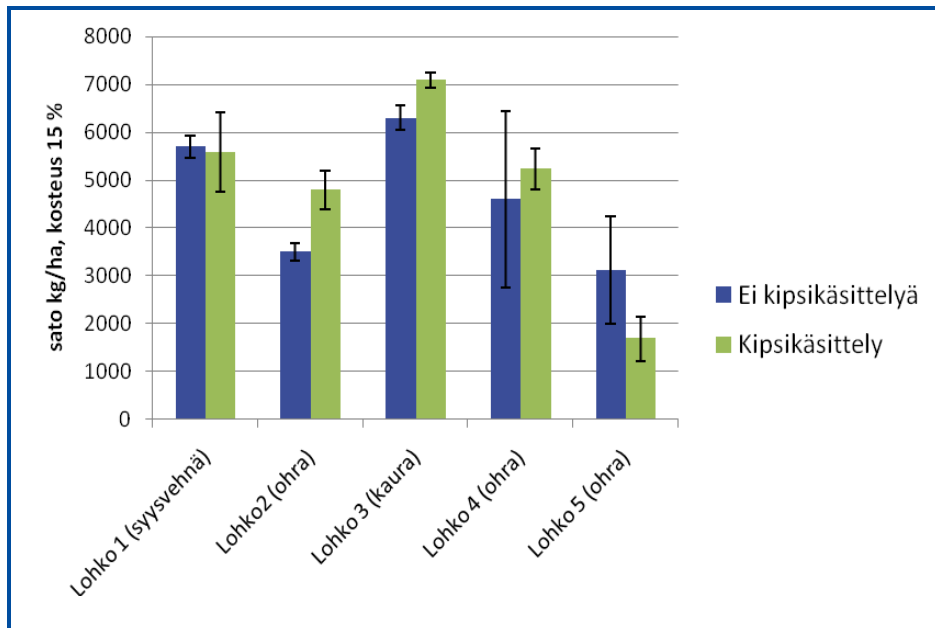
Kuva 12. Kipsikäsittelyn vaikutus maaperän mururakenteeseen (0 - 5 cm märkäseulonta). Mitä suurempi on vedenkestävien murujen prosenttiosuus, sitä kestävämpi on maaperän mururakenne.



Kuva 13. Kipsikäsittelyn vaikutus veteen liuotetun maanäytteen sameuteen. Suuri sameus indikoi eroosioherkkää murua. Sameutta kuvataan NTU-yksikön avulla (nephelometric turbidity units). Mitä korkeampi NTU-luku on, sitä sameampaa vesi on.

### 3.3 Sato ja sadon laatutekijät

Kasvukauden 2009 satotulokset on esitetty kuvassa 14. Koelohkolla kolme kasvoi kauraa, koelohkolla yksi syysvehnää ja muilla lohkoilla ohraa. Kipsikäsittely ei vaikuttanut keskimääräiseen sadon määrään vuonna 2009 (taulukko 3). Paikan ja käsittelyn välinen interaktio tuli kuitenkin tilastoanalyseissä merkitseväksi, joten käsittelyn vaikutus satoon on erilainen eri paikoissa. Tämä voidaan havaita kuvasta 14: joillain lohkoilla kipsikäsittelyjen peltokaistojen sadon suuruus on suurempi verrattuna verran-kaistaan ja joillain pienempi. Tämä tulos ei selity viljelykasvilla, koska kipsikäsittely vaikutti eri tavoin koelohkoilla 2, 4 ja 5 vaikka näillä kaikilla kasvoi ohraa. Näiden tulosten perusteella näyttää siltä, ettei kipsillä ole vaikutusta satotasoon. Kipsikäsittelyllä ei ollut vaikutusta myöskään sadon laatuun (taulukko 3). On kuitenkin huomioitava, että aineisto on hyvin pieni ja kipsikäsittelyn satovaikutusten selvittäminen vaatisi laajempia tutkimuksia. Sadon laatutekijöitä arvioitaessa, täytyy huomiota kiinnittää myös kasvien seleenipitoisuuteen, koska runsas rikkilannoitus voi vähentää kasvien seleeninottoa. Esimerkiksi TraP-hankkeessa saatujen tulosten mukaan kipsikäsittely vähensi kasvien seleeninottoa voimakkaasti ensimmäisenä vuotena kipsinlisäyksestä. Toisena vuotena kipsikäsittelystä sadon seleenipitoisuus oli vielä jonkin verran alhaisempi kuin kontrollikäsittelyn sadoissa. Kasvien seleeninotto näyttää siis palautuvan asteittain kipsinlisäystä edeltävälle tasolle. Kuitenkin on huomioitava, että mikäli kipsi lisätään 3 - 4 vuoden välein peltoon, ei sadon seleenipitoisuus välttämättä ehdi palautua ennen kipsinlisäystä olevalle tasolle, jos peltoja käsitellään kipsillä useita vuosia.



Kuva 14. Vuoden 2009 satotulokset

Taulukko 3. Vuoden 2009 satotulokset ja sadon laatutekijät

Lohko	osanäytteiden sadon keskiarvo (kg/ha), kosteus 15%		valkuaispitoisuus % kuiva-aineesta		hehtolitraino (kg)	
	ei kipsikäsittelyä	kipsikäsittely	ei kipsikäsittelyä	kipsikäsittely	ei kipsikäsittelyä	kipsikäsittely
Lohko 1	5689	5586	9,3	9,6	78,4	78,8
Lohko 2	3488	4790	9,3	9,9	63,8	65,4
Lohko 3	6294	7091	12,6	12,8	51,3	50,7
Lohko 4	4591	5231	11,2	13,3	66,9	64,2
Lohko 5	3118	1683	10,8	9,6	63,6	67,3

## 4. Johtopäätökset

TEHO-hankkeen kipsikokeilussa oli tarkoituksena testata kipsin levitystä maatiloilla sekä tuottaa käytännön olosuhteissa tietoa siitä, miten kipsi vaikuttaa maaperän kemiallisiin ominaisuuksiin. Tämä toteutettiin lohkomittakaavan kokeiluna, jossa kipsiä levitettiin yhteensä kuudelle Lounais-Suomessa sijaitsevalle peltolohkolle. Kipsin vaikutusta maaperän kemiallisiin ominaisuuksiin seurattiin eri aikoina otetuin maanäyttein. Kokeilussa havaittiin, että **kipsin levitys onnistui parhaiten kalkinlevityskalustolla** kipsin ollessa kuivaa. Kipsin **säilytykseen tulee siten kiinnittää huomiota**. Aiemmissä tutkimuksissa on todettu kipsinlevityksen onnistuvan myös lannanlevityskalustolla, mutta kokeilumme perusteella tällöin tulee pitäytyä tarkkuuslevittimissä, joilla saavutetaan riittävän alhainen hehtaarikohtainen levitysmäärä.

Kipsi vaikutti maaperän kemiallisiin ominaisuuksiin pääosin odotetulla tavalla: maaperän rikkipitoisuus ja johtoluku nousivat, eikä maan pH tai viljavuusfosfori muuttunut käsittelyn seurauksena. **Vesiuuttoisen fosforin määrä näytti kuitenkin vähentyneen kipsikäsitteilyn seurauksena**. Kipsillä oli myös melko vähäinen vaikutus koelohkojen kalsiumpitoisuuksiin.

Kipsin teho fosforin pidättäjänä perustuu osin maan mururakenteen kestävyden parantamiseen, mikä vähentää maan eroosioalttiutta. **TEHO:n kokeilussa käytetyt laboratoriomenetelmät tuottivat ristiriitaisia tuloksia kipsin vaikutuksesta murujen kestävyteen**. Tuloksista ei voida vetää yksiselitteistä johtopäätöstä kipsin vaikutuksesta maan rakenteeseen ja siten kipsin kykyyn alentaa eroosiota. Murujen kestävyttä kuvaavien laboratoriomittakaavan menetelmien valinta vaatisikin perusteellista tutkimusta, jotta pystyttäisiin varmuudella pureutumaan kipsin todellisiin vaikutuksiin maan rakenteen muokkaajana. **Koska valumavesistä ei kokeilussa otettu vesinäytteitä, on varsinaisen vesistökuormituksen muutoksen toteaminen näiden tulosten perusteella hankalaa**.

TraP-hankkeen tulosten mukaan kipsin vaikutus pellossa on selkeä ainakin kahden vuoden ajan kipsilisäyksestä, ja tehon oletetaan loppuvan noin 3 - 4 vuoden kuluessa. Myös **TEHO-hankkeen kokeilussa kipsikäsitteilyn vaikutus näkyi peltolohkoilla selvästi vielä kahden vuoden jälkeen**. Lienee selvää, että kipsin vaikutusten seuranta on jatkettava, jotta voidaan arvioida käsittelyn vaikutuksia myös kolmantena ja neljäntenä vuotena levityksen jälkeen. **Lisätietoa tarvitaan mahdollisen uusintakäsittelyn vaikutuksista maan kemiallisiin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin**. TraP-hankkeessa tehtyjen laskelmien mukaan kipsin levitys pelloille maksaa noin 71 e/ha/vuosi. Mikäli kipsikäsitteilyä suunnitellaan osaksi ympäristötukijärjestelmää, tulee kipsin saatavuus viljelijöille taata. Lisäksi hinnan on pysyttävä kohtuullisena, mikäli kipsiä joudutaan levittämään pellolle esimerkiksi kaksi kertaa yhden sopimuskauden aikana.

Kipsikäsitteilyllä **ei ollut vaikutusta sadon määrään eikä laatuun** niiden muuttujien osalta, joita tässä kokeilussa mitattiin. **Kasvien seleenipitoisuuksiin tulee kuitenkin jatkossa kiinnittää huomiota**, koska runsas rikin lisäksi maahan saattaa alentaa kasvien seleenin ottoa.

Kipsikäsitteilyssä maahan lisätään runsaasti sulfaatteja, josta osa huuhtoutuu vesistöön. Sulfaatilla saattaa olla kemiallisia ja biologisia vaikutuksia sisävesissä (järvet ja joet), joissa sulfaatteja ei esiinny luontaisesti kuten merivedessä. Tämän vuoksi **tarvitaan lisäselvityksiä kipsikäsitteilyn vaikutuksista sisävesien valuma-alueiden veden laadulle**. Sulfaatti-ioninen kulkeutumista maaprofiilissa tulee selvittää etenkin pohjavesialueilla pohjaveden laadun turvaamiseksi.

Kipsin käytölle fosforin pidättäjänä on vahva teoreettinen tausta, ja kentällä tehdyt kokeet ovat antaneet lupaavia tuloksia kipsin toimivuudesta kahtena kipsin levitystä seuraavana vuotena. Ennen kipsin laajamittaista käyttöönottoa tarvitaan kuitenkin lisäselvityksiä. Kipsikäsittelyä ei myöskään voida ajatella toimenpiteenä kaikille pelloille, vaan toimenpide tulee kohdentaa parhaiten tähän soveltuville lohkoille. Tämänhetkisen tiedon valossa näitä voisivat olla korkean fosforiluvun omaavat savipellot valuma-alueilla, joilta vedet päätyvät melko suoraan mereen. Lisäksi on syytä korostaa, että **pysyvän vesiensuojelullisen tuloksen saavuttamiseksi lohkojen fosforitilaa on tarpeen alentaa poistamalla maasta ravinteita pitkäjänteisesti sadon mukana**. Kipsin hyötyjä arvioitaessa täytyy myös huomioida kipsin kuljetuksesta aiheutuvat taloudelliset kustannukset sekä ympäristöhaitat.

## Lähteet

- Aura, E., Saarela, K., & Rätty, M. 2006. Savimaiden eroosio. Jokioinen, MTT. MTT:n selvityksiä 118. 32 s.
- Ekholm, P. 2009. Kipsin vaikutuksia valumaveden laatuun seurataan Nurmijärvellä. Leipä leveämmäksi 4/2009: 34-35.
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/60/EY.
- Hartikainen, H. 2009. Aineiden käyttäytyminen maaperässä: Fosfori. Teoksessa: Paasonen-Kivekäs, M., Peltomaa, R. & Vakkilainen, H. (toim.). Maan vesi- ja ravinnetalous. Ojitus, kastelu ja ympäristö. Helsinki, Salaojajhdistys ry. s. 166 - 174.
- Ilmavirta, V. 1990. Järvien kunnostuksen ja hoidon perusteet. Helsinki, Yliopistopaino. 479 s.
- Kleemola, J. 2009. Ravinnelähteet: mineraalilannoitteet. Teoksessa: Peltonen, J. & Harmoinen, T. (toim.). Ravinteet kasvintuotannossa. Vantaa, ProAgria Keskusten Liitto. Tieto tuottamaan 127. s. 40-45.
- Muukkonen, P., Hartikainen, H., Lahti, K., Särkelä, A., Puustinen, M. & Alakukku, L. 2007. Influence of no-tillage on the distribution and lability of phosphorus in clay soils. Agriculture, Ecosystems & Environment 120: 299-306.
- Palva, R. & Alasuutari, S. 2009. Levityskoneet kipsin peltolevitykseen. TTS tutkimuksen tiedote, Luonnonvara-ala: Maatalous 6/2009 (615). 6 s.
- Pietola, L. & Kulokoski, U. 2009. Phosphogypsum –based products for farm-scale phosphorus trapping. More Sustainability in Agriculture: New Fertilization & Fertilization management - 18th International Symposium of CIEC (International Scientific Centre for Fertilizers) Proceedings: 109-115.
- Pietola, L. & Kulokoski, U. 2010. Gypsum effects on percolated water characteristics at various soil P. Teoksessa: Turtola, E., Ekkholm, P. & Chardon, W. (toim.). Novel methods for reducing agricultural nutrient loading and eutrophication. Jokioinen, MTT. MTT Science 10. s. 48.
- Pietola, L. & Kulokoski, U. 2011. Kipsikäsitellyn peltomaan mururakenteen muutokset ja ilmiön mittaaminen. Maaperätieteiden päivien abstraktit. Pro Terra, tulossa.
- Pietola, L. 2008. Gypsum-based management practices to prevent phosphorus transportation. NJF 401 Proceedings on Phosphorus management in Nordic-Baltic agriculture – reconciling productivity and environmental protection. NJF Report 4: 79-83.
- Seleenin sitoutuminen ja biosaatavuus suomalaisissa maissa -hankkeen loppuraportti 2009. Hankkeen Dnro MMM 4822/501/2005. 40 s.
- Soinne, H. 2009. Extraction methods in soil phosphorus characterization – Limitations and applications. Pro Terra, No. 47. 49 s.
- TraP-hankkeen loppuseminaari 23.11.2010, Nurmijärvi.
- Valkama, P., Vahtera, H. & Lahti, K. 2010. Kipsillä ja kasveilla ravinteet kuriin. Aquarius 1/2010: 12-13.
- Viljavuuspalvelu 2008. Viljavuustutkimuksen tulkinta peltoviljelyssä. Mikkeli, Viljavuuspalvelu. 7 s.