



RAPORTTEJA 192

KIPSI MAANPARANNUSAINEENA – HYÖDYT JA HAITAT MAAN KASVUKUNNOLLE

TUOMAS J. MATTILA, VEERA MANKA JA JUKKA RAJALA



Pintamaan maalaji a)		HtS	HtS	HeS		HeS	HeS	HtS
Multavuus a)		rm	rm	m		m	rm	rm
Johtoluku	10xmS /cm	5,6	6,1	2,4	S	0,9	2,8	1,1
Happamuus	pH	█ 6,3	█ 6,5	█ 6,8		█ 6,6	█ 6,5	█ 6,8
Kalsium (Ca) a)	mg/l	█ 4500	█ 4300	█ 4000		3000	█ 3200	█ 3200
Fosfori (P) a)	mg/l	□ 8,6	□ 6,7	□ 13		○ 5,8	□ 9,0	█ 21
Kalium (K) a)	mg/l	□ 270	□ 250	□ 230		○ 190	○ 170	○ 180
Magnesium (Mg) a)	mg/l	█ 880	█ 960	█ 480		█ 940	█ 800	█ 540
Rikki (S) a)	mg/l	█ 249	█ 266?	█ 30,5		● 5,4	█ 116?	□ 10,2
Boori (B) a)	mg/l	█ 1,8	█ 1,3	□ 1,1		○ 0,7	□ 0,8	○ 0,8

KIPSI MAANPARANNUSAINEENA – HYÖDYT JA HAITAT MAAN KASVUKUNNOLLE

TUOMAS J. MATTILA, VEERA MANKA JA JUKKA RAJALA



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin



Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus

PRO
Agria



HELSINGIN YLIOPISTO
RURALIA-INSTITUUTTI

2019

OSMO - Osaamista ja työkaluja resurssitehokkaaseen maan kasvukunnan hoitoon yhteistyöllä -hanketta rahoittavat Varsinais-Suomen ELY-keskus / Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelma 2014-2020 / Vesiensuojelun ja ravinteiden kierrätyksen erillisahtaus, yritykset, viljelijät ja säätiöt.

Julkaisija Helsingin yliopisto
Ruralia-instituutti
www.helsinki.fi/fi/ruralia-instituutti

Kampusranta 9 C Lönnrotinkatu 7
60320 SEINÄJOKI 50100 MIKKELI

Sarja Raportteja 192

Kansikuva Otto Hyssälä. Kipsin levitystä OSMO-tilalla heinäkuussa 2016.

ISBN 978-951-51-3772-2 (pdf)

ISSN 1796-0630 (pdf)

ESIPUHE

Maatalouden tärkeimmät resurssit ovat viljelijän osaaminen ja peltomaan kasvukunto. Maan kasvukunto vaikuttaa ratkaisevasti saavutettuihin satotasoihin ja edelleen käytettävien tuotantopanosten hyötysuhteisiin, viljelyn kannattavuuteen ja ympäristövaikutuksiin. Peltomaa on monimutkainen järjestelmä, jonka kokonaisvaltainen hallinta vaatii uudenlaista osaamista sekä uusia työkaluja ja käytäntöjä. Viljelijöitä askarruttaa monen lohkon kohdalla, miksi tällä lohkolla sato jää huomattavasti pienemmäksi kuin muilla lohkoilla.

Kipsi on yksi vanhimpia kaupallisia lannoitteita ja sitä on käytetty ja tutkittu 250 vuotta. Pitkästä historiastaan huolimatta kipsin käytön sovelluksista ja vaikutuksista maaperään tulee jatkuvasti uutta tutkimustietoa. Tämän raportin tarkoitus on kerätä tutkimustuloksia yhteen ja tuottaa taustatietoa kipsin käytöstä maanparannukseen.

Kipsin teho perustuu sen sisältämään kalsiumiin ja rikkiin. Kalsium syrjäyttää maasta magnesiumia ja alumiinia ja rikki lisää niiden huuhtoutumista. Kipsin avulla voidaan tasapainottaa maan ravintesuhteita ja lisätä maan murustumista. Lisäksi hidasiukoinen kipsi toimii pitkävaikutteisena rikkilannoitteena. Korkeat kipsin käyttömäärät voivat kuitenkin aiheuttaa ravintesuhteiden vinoutumia ja häiritä maaperän biologiaa.

Tässä raportissa tarkastellaan kipsin käytön taustaa tieteellisen kirjallisuuden avulla ja lisäksi kuvataan OSMO koelohkoilla vuosien 2016–2018 välillä tehtyjä havaintoja kipsin vaikutuksista maan kasvukuntoon ja kasvien ravinteiden ottoon sekä soveltuvuudesta eri tyyppisten peltolohkojen maanparannusaineeksi.

Nyt julkaistava raportti *Kipsi maanparannusaineena – hyödyt ja haitat maan kasvukunnolle* on tuotettu osana *OSMO - Osaamista ja työkaluja resurssitehokkaaseen maan kasvukunnan hoitoon yhteistyöllä* -hanketta. Hankkeen tilatutkimusosiossa pyritään selvittämään monipuolisesti maan kasvukunnan tilaa kahdeksalla ongelmalohkolla Etelä-Pohjanmaalla, Satakunnassa ja Varsinais-Suomessa. Verranteina käytetään hyväkasvuisia lohkoja.

Tarkoituksena on myös kehittää tilatasolle soveltuvia maan kasvukunnan analysointi- ja havainnointimenetelmiä sekä selvittää millä toimenpiteillä ongelmalohkojen kasvukuntoa voidaan parantaa. Nyt julkaistavaan raporttiin on koottu keskeiset tulokset kipsin soveltuvuudesta maanparannusaineeksi.

OSMO - Osaamista ja työkaluja resurssitehokkaaseen maan kasvukunnan hoitoon yhteistyöllä -hanketta toteuttavat Helsingin yliopiston Ruralia-instituutti, ProAgria Etelä-Pohjanmaa ja ProAgria Länsi-Suomi.

Hanketta rahoittavat Varsinais-Suomen ELY-keskus Manner-Suomen maaseudun kehittämissuunnitelmasta 2014–2020, Vesiensuojelun ja ravinteiden kierrätyksen erillisrahoituksella, Eurofins Viljavuuspalvelu Oy, Soilfood Oy, Tyynelän Maanparannus Oy, Ecolan Oy, viljelijät sekä Luomusäätiö ja Rikalan Säätiö. Kiitämme rahoittajia tämän työn mahdollistamisesta.

Kiitämme OSMO-tilakokeen viljelijöitä koelohkojen antamisesta tutkimuksen käyttöön ja koelohkojen viljelytöiden suorittamisesta ja tutkimustulosten saamisesta. Raportin taitosta ja ulkoasusta kiitämme graafinen suunnittelija Jaana Huhtalaa.

Toivomme *Kipsi maanparannusaineena – Hyödyt ja haitat maan kasvukunnolle* -raportin palvelevan suomalaisia viljelijöitä maan kasvukunnan parantamisessa.

Mikkelissä maaliskuussa 2019

Tekijät

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	7
ABSTRACT	9
JOHDANTO	11
KIPSIN VAIKUTUKSET MAAPERÄN KEMIAAN JA FYSIIKKAAN	12
KIPSILISÄYKSEN VAIKUTUS MAAN ELIÖSTÖÖN	13
MITÄ KIPSI TEKEE MAASSA? HAVAINTOJA KOELOHKOILTA	14
Vaikutukset lohkojen viljavuuteen	14
Rikkipitoisuudet maassa ja kasveissa	14
Ylimääräisen magnesiumin poisto.....	17
Vaikutus kalsiumpitoisuuksiin maassa ja kasveissa.....	18
Vaikutus happamuuteen, emäskyllästysasteeseen ja muiden kationien määrään	19
Vaikutus kasvien ravinteidenottoon ja fosforin käyttökelpoisuuteen	20
Vaikutukset maan rakenteeseen	20
Vaikutukset maan mikrobiaktiivisuuteen ja monimuotoisuuteen	21
MITEN KIPSIA TULISI KÄYTTÄÄ MAANPARANNUSAINENA?	25
JOHTOPÄÄTÖKSET	27
KIRJALLISUUS	28

TIIVISTELMÄ

Kipsiä on käytetty lannoitteena ja maanparannusaineena vuosisatojen ajan. Kipsin vaikutus perustuu sen sisältämään kalsiumiin ja rikkiin. Lannoitusvaikutuksen lisäksi kipsiä voidaan käyttää vähentämään maaperän korkeita magnesium- ja alumiinipitoisuuksia ja kehittämään maan rakennetta. Syrjäyttäessään muita kationeja maaperästä kipsi lisää kuitenkin myös kaliumin ja magnesiumin huuhtoutumista, mikä voi pahentaa näiden puutosta. Korkeilla käyttömäärillä kipsi voi häiritä maan biologista toimintaa. Tässä raportissa käydään läpi kipsin tutkimuskirjallisuutta, OSMO koelohkojen tuloksia kipsilisäyksen vaikutuksista maan kasvukuntoon sekä arvioidaan kipsin soveltuvuutta 1068 lohkon viljavuusanalyysiaineiston perusteella. Tulosten perusteella kipsistä ei havaittu haittoja maaperän mikrobiaktiivisuudelle, maan ravin-

nesuhteille tai kasvien ravinteiden otolle, mikäli sitä käytetään maltillisia määriä savimailla, joissa magnesiumia on runsaasti. Kipsi toimi tulosten perusteella myös rikkilannoitteena ja nosti maaperän rikkitasoja useaksi vuodeksi. Ongelmia saattaa muodostua, jos kipsiä käytetään pelloilla, joissa on valmiiksi magnesiumin tai kaliumin puutetta. Tilakohtaisen tarkastelun perusteella kipsi soveltuu tilasta riippuen 0-50 % lohkoista ja siitä voi olla selvää haittaa 0-73 % lohkoista tilan peltojen tilanteesta riippuen. Kipsin hyötyjen maksimoimiseksi kipsikäsittely kannattaa kohdentaa korkean magnesiumpitoisuuden savipelloille, joissa on puutetta rikkistä.

Asiasanat: Maanparannus, kationinvaihtokapasiteetti, maan rakenne, viljavuusanalyysit, tilatutkimus

ABSTRACT

GYPSUM AS A SOIL AMENDMENT - EFFECTS ON SOIL HEALTH

Gypsum has been used as a fertilizer and soil amendment for centuries due to its calcium and sulfur content. In addition to the fertilizer effect, gypsum can be used to reduce high magnesium and aluminum concentrations in soil and to improve soil structure. However gypsum also increases the leaching of magnesium and potassium from soil which can increase nutrient deficiencies. With high use amounts phosphogypsum can disturb soil biological activity. This report reviews scientific literature on the effects of gypsum on soil. Experimental results on the effect of gypsum on soil health are presented from a series of tests on high magnesium clay soils with poor structure. In addition the overall applicability of gypsum to different soils is evaluated by using a set of 1068 soil test results from diffe-

rent parts of Finland. Based on the results gypsum did not present problems for soil microbiology, nutrient concentrations or plant nutrient uptake, when it was used with moderate amounts on clay soils with high magnesium concentrations. Gypsum also was found to work as a sulfur fertilizer, elevating the concentrations for several years after application. Gypsum may cause problems if it applied on soils with low magnesium or potassium levels. Based on the multi-farm assessment of soil tests, gypsum may be beneficial on 0-50% of each farms soils and may cause nutrient deficiencies on 0-73% of soils, depending on soil fertility. In order to maximize the benefits of gypsum, it should be targeted on high magnesium clay soils with low levels of sulfur.

JOHDANTO

Kipsi oli ensimmäisiä lannoitteita, joita ryhdyttiin tuottamaan kaupallisesti. Johann Friedrich Mayer tutki kipsin vaikutuksia ja kannusti viljelijöitä käyttämään sitä vuonna 1768 (Meyer 1768). Kipsin lisääntynyt käyttö herätti aikanaan vilkasta keskustelua kipsin vaikutusmekanismeista, hyödyistä ja haitoista. Teoriat kipsin hyödyistä vaihtelivat sen rikkilannoitusvaikutuksesta, maan happitilanteen parantamiseen ja orgaanisen aineen hajoamiseen. Kipsin käyttö levisi 1700-luvulla nopeasti, Benjamin Franklin mainosti kipsin käyttöä Yhdysvalloissa kirjoittamalla kipsillä nurmilohkelle: ”*land plaster used here*” (”tässä on käytetty peltorappausta”) (Wilder 1919). Teksti näkyi selvästi tummempana kasvuna seuraavana vuonna ja kun lohko oli valittu näkyvälle paikalle, ”peltorappaus” eli kipsikäsitteily sai runsaasti julkisuutta.

Lisääntynyt kiinnostus kipsiin lisäsi aiheen tutkimusta. 1917 todettiin kipsikäsitellyn säilyttävän lannan tyyppiä (Ames ja Richmond 1917). Pian sen jälkeen valmistuivat ensimmäiset laajat katsaukset kipsitutkimuksesta (Wilder 1919; Erdman 1922; Crocker 1922). Katsauksien laajuus ja tutkimuskysymykset olivat nykyaikanakin oleellisia: kipsin vaikutus kasvien kalsiumin ja rikin saatavuuteen, kipsi kasvunesteenä, vaikutus lannan hyötykäyttöön ja kasvien typenkäyttöön, kipsin käyttö ongelmappelloilla sekä kipsin ja kalkituksen suhde (Crocker 1922). Näiden lisäksi kipsin vaikutus sekä maaperän biologiaan (typensidonta, nitrifikaatio, rikin kierto, mikrobibiomassa) että eri kasvien kasvuun

herätti kiinnostusta ja sitä tutkittiin väitöskirjan verran (Erdman 1922).

Alkuaikojen jälkeen kipsin käyttö lisääntyi tasaisesti. Sitä käytetään kalsium- ja rikkilannoitteena, syrjäyttämään maasta haitallista alumiinia, parantamaan maan murustumista (natriumin tai magnesiumin poisto), vähentämään eroosiota ja pienentämään fosforivaluntoa (Chen ja Dick 2011; Zoca ja Penn 2017). Kipsiä käytetään myös magnesiumin syrjäyttämiseen maasta (Vyshpolsky ym. 2008). Vaikutus kestää noin 4-5 vuotta, mutta sadonlisät ovat olleet merkittäviä, jos magnesiumia on paljon maassa. Yhdysvalloissa kipsin käytöstä maanparannukseen ja lannoitukseen on useita kansallisia ohjeistuksia (Chen ja Dick 2011; NRCS 2015). Taloudellisissa arvioinneissa kipsin käyttö on todettu erittäin kannattavaksi investoinniksi (1,68 tuotos/panos-suhde, sadonlisät 4-10%) (Batte ja Forster 2015).

Kipsi on edennyt 250 vuoden aikana kokeellisesta lannoitteesta yleisesti käytetyksi maanparannusaineeksi ja fosforipäästöjen vähentämiskeinoksi. Sitä kuitenkin kutsutaan ”tärkeäksi työkaluksi ilman käyttöohjetta” (Zoca ja Penn 2017), sillä kipsin käyttöön ja sen vaikutuksiin maaperään liittyy monia epäselviä asioita. Tämän raportin tarkoituksena on toimia johdantona kipsin käyttöön maataloudessa. Raportissa yhdistetään tuloksia kansainvälisestä tutkimuskirjallisuudesta ja OS-MO-hankkeen tilakoetutkimuksista.

KIPSIN VAIKUTUKSET MAAPERÄN KEMIAAN JA FYSIIKKAAN

Kipsin lisääminen maaperään aiheuttaa joukon kemiallisia reaktioita: kipsi liukenee maaveteen, vaihtaa kationeja maan vaihtopinnoilta, vähentää alumiinin ja fosforin liukoisuutta, liottaa lisää alumiinia maaperästä ja sitoo rikkiä maaperän rauta- ja alumiinipinnoille (Zoca ja Penn 2017). Kipsin hyödyt kasveille ja maan rakenteelle ovat seurausta näistä kemiallisista reaktioista. Esimerkiksi kipsin liukeneminen maaveteen ohentaa savipartikkelien ympärillä olevaa kaksoiskehää ja mahdollistaa niiden liittymisen toisiinsa (flokkulaatio tai aggregaatio), mikä käynnistää murujen muodostumisen (Zoca ja Penn 2017; Uusitalo ym. 2012). Toisaalta kipsi syrjäyttää maasta magnesiumia ja kaliumia, mikä johtaa niiden huuhtoutumisen lisääntymiseen ja mahdollisiin ravinnepuutoksiin (Zoca ja Penn 2017; Uusitalo ym. 2012).

Kipsi on melko heikosti veteen liukenevaa, joten kipsilisäyksellä voidaan lisätä maaperän rikki- ja kalsiumpitoisuuksia pitkällä aikavälillä (Zoca ja Penn 2017). Kipsiä onkin käytetty rikkilannoitteena pitkään. Kipsin on todettu lisäävän rikkipitoisuutta, nurmen satoa ja apilan osuutta nurmesta ja noin 13-34 % rikistä saadaan hyödynnettyä lannoitteena (Jones ja Ruckman 1966). Liuettuaan kipsin rikki huuhtoutuu noin puolessa vuodessa ruokamultakerroksesta (Rhue ja Kamprath 1973), mutta hitaan liukoisuuden vuoksi kipsin lannoitusvaikutus kestää 2-3 vuotta (Jones ja Ruckman 1966). Kun kipsi kulkeutuu pohjamaahan, se parantaa pohjamaan edellytyksiä juurten kasvulle (Radcliffe, Clark, ja Sumner 1986). Kipsin vaikutus voi riippua myös kipsin laadusta. Teollisissa prosesseissa syntyvä kipsi liukenee nopeasti. Maaperästä louhittava kipsi sisältää vähemmän kalsiumsulfaattia ja se on koos-

tumuksesta johtuen hitaammin liukenevaa. Lisäksi jauhatusaste vaikuttaa liukenemisnopeuteen. (Zoca ja Penn 2017).

Kipsin on todettu lisäävän magnesiumin, kaliumin ja alumiinin huuhtoutumista (Zoca ja Penn 2017; Chen ja Dick 2011). Kalsium syrjäyttää kationeja kationinvaihtopinnoilta ja sulfaatti on liikkuva anioni, joka kuljettaa kationeja mukanaan syvemmälle maahan. Koska kipsikäsitteily pahentaa magnesiumin puutetta, kipsikäsitteily olisi hyvä yhdistää lisättyyn magnesiumlannoitukseen tai dolomiittikalkitukseen (Ritchey ja Snuffer 2002).

Kipsin on todistettu parantavan savimaiden mururakennetta. Toisin kuin kalkin vaikutus, kipsin maata murustava vaikutus ulottuu pohjamaahan asti. Cox ym. (2005) havaitsivat kipsikäsitteilyn parantavan märkäseulottujen murujen kestävyyttä aina 50 cm syvyyteen asti (Cox ym. 2005). Trooppisilla savimailla tehdyssä kokeessa havaittiin positiivisia vaikutuksia sekä pinta- että pohjamaiden murustumisessa, murujen koossa ja kestävyudessa, huokoston kehityksessä sekä maan läpäisevyyden lisääntymisessä (Carmeis Filho ym. 2016). Pitkäkestoisessa kokeessa maahan lisättiin kipsiä kolme kertaa ja lopulliset tulokset mitattiin 12 vuoden kuluttua kokeen perustamisesta. Mururakenteen paranemisen on todistettu liittyvän ainakin osin kalsiumin ja orgaanisen aineksen muodostamiin komplekseihin (Muneer ja Oades 1989).

Mururakenteen paranemisen lisäksi kirjallisuudessa on viitteitä siitä, että kipsikäsitteily parantaa savimaiden vedenläpäisykykyä, eroosionkestävyyttä ja kuoretumisherkkyyttä (Yu ym. 2003; Borselli ym. 1996; Ben-Hur ym. 1992).

KIPSILISÄYKSEN VAIKUTUS MAAN ELIÖSTÖÖN

Jo maltillinen kipsinlisäys ja käsitellyiltä lohkoilta vesistöihin kulkeutunut kipsi saattaa vaikuttaa herkimpiin peltoekosysteemin ja lähivesistöjen lajeihin kuten lieroihin ja vesikirppuihin. Neljällä lieroajalla (*D. willsi*, *L. mauritii*, *E. eugeniae* ja *G. tuberosus*) on kansainvälisissä tutkimuksissa todettu pigmenttimuutoksia sekä kudosproteiinien ja entsyymiaktiivisuuden muutoksia kipsinlisäyksen ollessa 50 g/kg maata (100 t/ha kipsiä, jos ruokamultakerroksen painoksi oletetaan 2000 tonnia/ha, toisaalta 1 cm pintakerroksessa määrä ylittyy jo 5 t/ha levitystasolla). Korkeammilla lisäysmäärillä havaittiin myös vakavampia kudosoireita kuten haavaumia ja kudosten turpoamista (Samal ym. 2017; Samal ym. 2019; Nayak ym. 2018). Akuuttien myrkytysoireiden lisäksi kipsi vaikuttaa myös lierojen lisääntymiseen. *E. andrein* jälkeläismäärä laski 93,6 % kipsin lisäyksen ollessa 4,9 % maan painosta (Hentati ym. 2015). Samassa tutkimuksessa havaittiin vesikirpun (*D. magna*) kärsivän akuuteista myrkytysoireista (liikkumattomuus) valumavesien kipsipitoisuuden noustessa 6,25 %:n.

Kipsikäsitelyn vaikutuksista maan mikrobiotoniin löytyy melko vähän tutkimuskirjallisuutta. Kirjallisuus antaa kuitenkin viitteitä siitä, että kipsi muuttaa maan mikrobiston lajisuhteita ja vaikuttaa lajiston monimuotoisuuteen sekä kasvien ja hyötymikrobien vuorovaikutukseen. Durumvehnän ja puuvillan sienijuuren muodostuksen on todettu häiriintyvän kipsin lisäyksen noustessa korkeiksi (Al-Karaki ja Al-Omouh 2002; Ibrahim 2016). Kipsin sekoittaminen kompostiin tehosti symbioosin kehittymistä, sienijuuren kasvua ja kasvien biomassan muodostumista. Entsyymiaktiivisuus (invertaasi, amylaasi, sellulaasi) ja bakteeri- ja sienikasvustojen kasvu oli vilkkaampaa matalilla kipsinlisäysoilla (< 15 %) (Nayak ym. 2011). Mikäli kipsin liukoisuutta saataisiin hidastettua (raekoko, luonnonkipsi, sitominen orgaaniseen aineeseen), se pienentäisi yksittäisiä kipsipulsseja.

Kipsin louhinta-alueilla sienijuurelajiston on todettu eroavan luonnontilaisten lähialueiden lajistosta ja lajien monimuotoisuuden olevan matalampi (Mergulhão ym. 2010). Kipsi vaikuttaa myös metallisten alkuaineiden kierrätykseen osallistuvien sienten (*A. niger* ja *S. himantioides*) lajisuhteisiin maassa (Gharieb ym. 1998). On kuitenkin epävarmaa, johtuuko kasvitautipaineen aleneminen sienipatogeeneille epäsuotuisista oloista kipsikäsitellyssä maassa vai kasvin saamasta rikkilannoituslisästä.

Kipsikäsitelyn ja kalsiumilisäyksen maahan on raportoitu myös tehostavan maan mikrobiotonia, vapaata typensidontaa, ammonifikaatiota ja nitrifikaatiota (Singh 1920). Kun kipsiä lisättiin yhdessä kalkin kanssa, vaikutus voimistui entisestään, mutta vähäisemmät määrät molempia yhdisteitä yhdessä riitti samantasoisien tai jopa hiukan suuremman vaikutuksen aikaansaamiseen.

Kipsin ja kalsiumin vaikutus mikrobiotomian aktiivisuuteen saattaa riippua maan pH:sta. Whittinghill ja Hobbie (2012) havaitsivat mikrobiaktiivisuutta mittaavan hiilidioksidituoton ja orgaanisen aineksen hajotuksen kasvavan maanäytteissä, joissa pH oli puskuroitu lähelle neutraalia (pH 6,5). Balaria (2011) raportoi mikrobiaktiivisuuden ja orgaanisen aineksen hajotuksen kiihtyneen myös happamassa maassa (pH 3,4-4,0). Emäksisillä mailla (pH 8) mikrobihengitys laskee kipsikäsitellyissä maanäytteissä (Han ja Tokunaga 2014), mikä voi johtua joko mikrobeille käyttökelpoisen orgaanisen aineksen määrän vähenemisestä sen sitoutuessa kalsiumiin tai osmoottisesta stressistä. Muissa tutkimuksissa on raportoitu vesiliukoisen orgaanisen aineen määrien laskevan kalsiumilisäyksen myötä, mutta tästä huolimatta mikrobihengityksen määrän nousevan (Whittinghill ja Hobbie 2012; Balaria 2011).

MITÄ KIPSI TEKEE MAASSA? HAVAINTOJA KOELOHKOILTA

Kipsin vaikutuksia maan kasvukuntoon tutkittiin seitsemällä OSMO hankkeen loholla. Lohkot valittiin 24 tutkitun lohkon joukosta kipsikäsiteltäviksi, sillä kyseisillä lohkoilla oli runsaasti magnesiumia (yli 20 % kationinvaihtokapasiteetista), kohtalainen pH ja ne olivat heikkorakenteisia savimaita. Yaran kipsiä käytettiin 4 t/ha ja laimeampaa luonnonkipsiä 6 t/ha, joka vastasi 3 t/ha Yaran kipsiä. Kirjallisuuden perusteella arvioitiin, että kipsilisäyksellä saataisiin syrjäytettyä ylimääräistä magnesiumia ja parannettua maan rakennetta. Muilla tutkituilla lohkoilla oli kasvukunnon ongelmia, joihin kipsillä ei arvioitu saatavan aikaan merkittävää hyötyä (Mattila ja Rajala 2017).

Koejärjestelyä ei alun perin tehty kipsin tutkimiseen, joten lohkoilla on tehty myös muita toimenpiteitä. Lisäksi kipsikäsitteily yhdistettiin maan syväkuohkeutukseen, millä pyrittiin korjaamaan maan rakennetta, poistamaan tiivistymiä ja mahdollistamaan ylimääräisen magnesiumin huuhtoutuminen. He lohkoilla koko lohko syväkuohkeutettiin, muilla ainoastaan kipsikäsitelty koejäsen. Ju lohkoilla kipsikäsiteltiin kaksi lohkoa, joista vain toinen syväkuohkeutettiin. Lohkoille myös lisättiin eloperäistä ainetta viljelemällä viherlannoituskasveja tai käyttämällä lantaa. Tämä vastasi myös

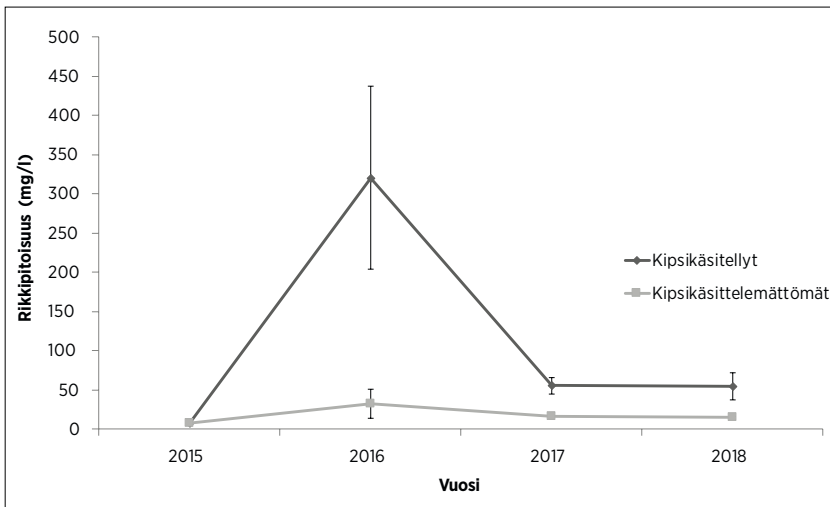
suosituksia kipsin käytölle maan rakenteen korjaamiseen (Hamza ja Anderson 2005; de Moura ym. 2018). Käytettävien kasvukunnon arviointimenetelmien ja maa-analyyysien kuvaukset löytyvät aiemmasta raportista, joka käsitteli lohkojen lähtötilanteen määrittämistä (Mattila ja Rajala 2017).

Tulosten tilastollisessa tarkastelussa käytettiin ei-parametrisiä testejä (Mann-Whitney U ja Kruskal-Wallis H) pienen otoskoon vuoksi. Mann-Whitney testeissä lohkot jaettiin kahteen ryhmään (kipsi, ei-kipsi) ja Kruskal-Wallis testissä kolmeen (ei-kipsiä, kipsi lisätty 2017, kipsi lisätty 2016).

VAIKUTUKSET LOHKOJEN VILJAVUUTEEN

RIKKIPITOISUUDET MAASSA JA KASVEISSA

Kipsiä on alun perin käytetty rikkilannoitteena ja kipsikäsitteilyn seurauksena maahan lisätään huomattavia määriä rikkiä. Koelohkoilla tämä johti rikkipitoisuuden nopeaan nousuun, mutta pitoisuus laski vuoden kuluessa lisäyksestä tasolle, joka oli kuitenkin korkeampi kuin lähtötilassa (Kuva 1).



Kuva 1. Kipsilisäys savimaan koelohkoille (n=5) vuonna 2016 lisäsi lyhytaikaista rikkipitoisuutta ruokamultakeroksessa huomattavasti (p=0,017, Kruskal-Wallis H). Verrokkilohkojen (n=4) rikkipitoisuus pysyi alhaisella tasolla. (Virhepalkit kuvaavat keskivirhettä.)

Vaihtelu lohkojen rikkipitoisuuden välillä oli huomattavaa. Osin tämä johtui siitä, että yhdellä lohkoista käytettiin hidasliukoisempaa luonnonkipsiä, joka nosti rikin pitoisuuksia vähitellen (Kuva 2). Hitaampi kipsin liukeneminen luonnonkipsillä näkyi myös johtoluvussa, joka oli luonnonkipsikäsitellyllä selvästi alempi (0,2-0,3 mS/cm) kuin puhdistetulla kipsillä (0,4-0,6 mS/cm). Molemmat luvut olivat kuitenkin selvästi alle herkille kasveille annettuja ohjeistuksia (2 mS/cm).

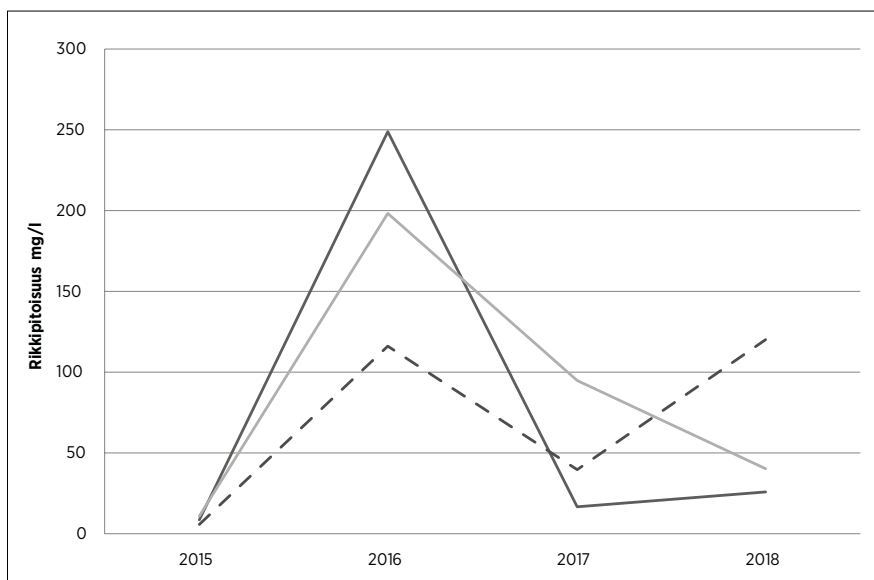
Vain pieni osa lisätystä rikistä oli löydettävissä pinta- tai pohjamaasta (Taulukko 1). Lisättyyn kipsiin verrattuna näytteistä löydetyn kipsin osuus vaihteli lohkoittain. Ju lohkoilla lisätystä rikistä löydettiin maanäytteissä 6 %, Hy lohkoilla 11-14 %, Sa lohkoilla 32-36 % ja He lohkoilla 32 %. Loput kipsistä huuhtoutui ilmeisesti syvempiin maakerroksiin tai valumaveden mukana. Eroja selittää osaltaan myös se, että Sa lohkolle kipsi levitettiin vuotta myöhemmin kuin muille lohkoille, ja He lohkolle levitettiin varsin karkeaksi jauhettua hitaammin liukenevaa luonnonkipsiä. On myös mahdollista, että rikki kiinnittyi rauta- ja alumiinihydroksideihin maaperässä niin voimakkaasti, että se ei irronnut uutossa. Kipsin kautta lisätyn rikin olomuodoista tarvittaisiin lisää tutkimusta.

Rikin osalta tehtiin myös menetelmävertailua sen varmistamiseksi, että suomalainen viljavuusanalyysi ei poikkea jotenkin merkittävällä tavalla kansainvälisesti käytetyistä rikin osalta. Tulosten perusteella suomalainen viljavuusanalyysi antaa

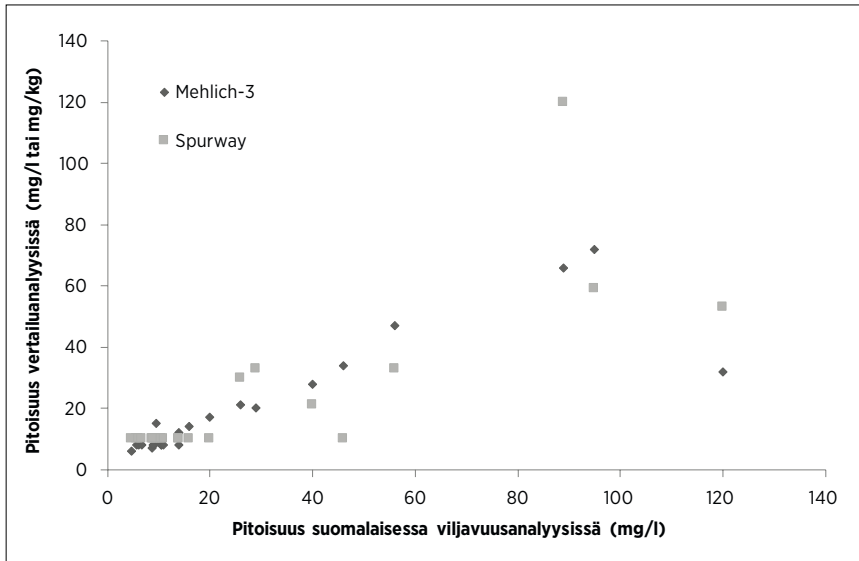
tuloksia, jotka vastaavat hyvin Mehlich-3 uuttoa, mutta mitatut pitoisuudet ovat hieman korkeampia (Kuva 3). Tulosten eri yksikkö (mg/l tai mg/kg) häiritsee tulkintaa jossain määrin. Rikkitaseita voidaan pitää melko luotettavina kasvin käyttökelpoisen rikin kuvaajina. Mehlich-3 ei kuitenkaan mitata maan orgaanisen rikin määrää (Kulhánek ym. 2018), joten osa lisätystä rikistä on voinut muuntua orgaaniseen varastomuotoon tai reagoida maan alumiinioksidien kanssa (Zoca ja Penn 2017).

Taulukko 1. Rikin määrien muutokset (kg/ha) pinta- ja pohjamaassa vuosien 2015 ja 2018 välillä kipsikäsitellyillä lohkoilla. Muutokset sekä pinta- ja pohjamaan rikkimäärissä kipsikäsitellyillä lohkoilla olivat suurempia kuin käsittelemättömillä lohkoilla $X^2(2)=6,346$, $p=0,042$ (Kruskal-Wallis H, sama p-arvo sekä pinta-että pohjamaassa). He-Ju lohkoille kipsi levitettiin vuonna 2016, Sa lohkolle vuonna 2017.

Lohko	Lisätty rikki	Pintamaa 0-17 cm	Pohjamaa 17-35 cm
He 0	660	171	34
Hy 1	941	44	55
Hy K	941	74	61
Ju 0	941	28	32
Ju 1	941	26	33
Sa 1	941	128	213
Sa K	941	119	180
Muutos käsitellyillä		84±56	87±76
Muutos käsittelemättömillä		18±20	14±35



Kuva 2. Rikkipitoisuudet kolmella Varsinais-Suomen koelohkolla, joihin lisättiin kipsiä. Katkoviivalla merkitylle lohkolle lisättiin luonnonkipsiä 6 t/ha, muille Yara-kipsiä 4 t/ha.

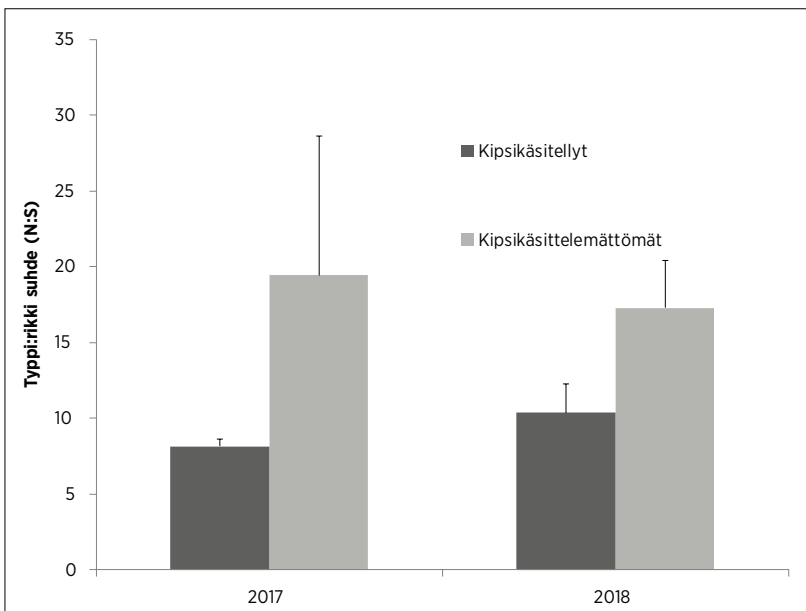


Kuva 3. Eri viljavuusanalyysitulokset (Suomalainen viljavuusanalyysi, Spurway, Mehlich-3) antoivat toisiaan vastaavia tuloksia kipsikäsitellyillä lohkoilla ja niiden verrokeilla (vuosien 2015 ja 2018 analyysitulokset).

Kipsi toimi rikkilannoitteena koesarjassa hyvin. Lisätty rikki päätyi kasveihin ja vähensi rikin puutosoireita. Koska koelohkoilla viljeltiin eri kasveja, rikin pitoisuudet suhteutettiin kasveista mitattuihin typpipitoisuuksiin. Typen ja rikin suhteen on todettu ennustavan hyvin rikin puutetta, yleisesti N:S suhdetta 15:1 pidetään merkinä rikin puutteesta. Tulosten perusteella kipsikäsittelemättömissä loh-

koissa rikin puute oli yleistä ja kipsikäsitellyissä sitä ei ollut lainkaan (Kuva 4). Vuonna 2017 kasvuston typen ja rikin suhde kipsikäsitellyillä lohkoilla erosi tilastollisesti merkittävästi käsittelemättömien lohkojen N:S-suhteesta $\chi^2(2)=6,9$, $p=0,03$. Vuonna 2018 ei $\chi^2(2)=4,9$, $p=0,09$.

Käsittelemättömien lohkojen kasvustojen rikkipitoisuuksissa oli selvää vaihtelua johtuen siitä,



Kuva 4. Kipsikäsitellyillä lohkoilla typen ja rikin suhde (N:S) oli selvästi alle 15, mitä pidetään rikin puutoksen raja-arvona.

että koasetelmaa ei tehty kontrolloimaan kipsin rikkivastetta. Lohkojen viljelyhistoria, rikin lähtöpiitoisuus, rikkipitoisten lannoitteiden käyttö ja viljelykasvit vaikuttivat tuloksiin. Ero kipsikäsiteltyjen ja käsittelemättömien välillä oli kuitenkin selvä.

Tulosten perusteella kipsilisäys aiheuttaa maahan huomattavan suuren rikkipitoisuuden kasvun, joka kuitenkin tasaantuu nopeasti lisäyksen jälkeen. Lisätty rikki kulkeutuu ruokamultakerroksesta pohjamaan yläosiin ja todennäköisesti myös syvempiin maakerroksiin. Tämän tutkimuksen perusteella ei voida arvioida, päätyykö lisätty rikki syvempiin maakerroksiin, varastoituuko se orgaanisiin rikkiyhdisteisiin vai huuhtoutuuko se kokonaan. Kertalisäys nostaa maan viljavuusanalyysin perusteella määritetyn rikin pitoisuutta ainakin kahdeksi vuodeksi lisäyksen jälkeen. Lisätty rikki päätyy kasveihin ja vähentää rikin puutetta. Tulokset vahvistavat aiempia tuloksia kipsin käytöstä rikkilannoitteena: kipsi on tehokas rikkilannoite, jota lisäämällä muutamana vuoden välein voidaan huolehtia kasvien rikkilannoituksesta.

Tutkimuksessa käytetyt rikkilannoitustasot olivat kuitenkin maanparannustarkoituksiin suunnattuja ja lannoitustasoihin nähden huomattavan korkeita (3-4 t/ha). Selvästi pienemmällä lisäysmäärällä on kansainvälisissä tutkimuksissa saatu samoja hyötyjä lannoituksen suhteen.

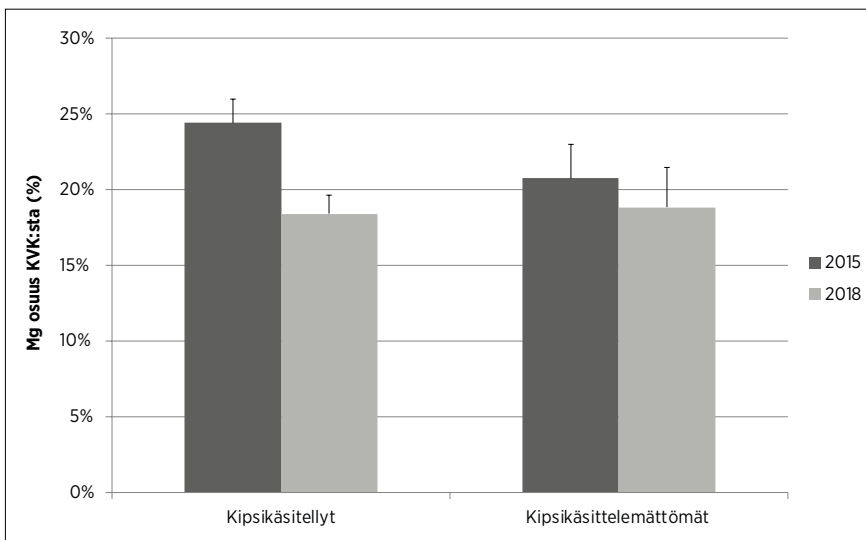
YLIMÄÄRÄISEN MAGNESIUMIN POISTO

Aiemmissä tutkimuksissa kipsilisäyksen on todettu lisäävän magnesiumin huuhtoutumista. Teoriassa kalsium syrjäyttää magnesiumin maaperän vaihtopinnoilta ja magnesium huuhtoutuu rikin mukana

syvemmlle maahan ja mahdollisesti pois lohkolta. Tässä peltojen kasvukunnan kehittämiskokeessa kipsiä käytettiin ensisijaisesti ylimääräisen magnesiumin poistamiseen maasta, mikä vastaa myös NRCS:n ensisijaista suositusta kipsin käytötarkoitukseen. Mutta poistiko kipsi ylimääräistä magnesiumia maasta? Ja onko suomalainen viljavuusanalyysi luotettava menetelmä magnesiumin vähentymisen mittaamiseen?

Liialliseksi magnesiumitasoksi määriteltiin yli 20 % kationinvaihtokapasiteetista (KVK). Tavoitetasona kipsikäsiteltyjen jälkeen on 10-13 % KVK:sta (NRCS 2015). Lähtötilanteessa lohkoilla oli magnesiumia 20-31 % suomalaisen viljavuusanalyysin perusteella laskettuna ja 19-29 % Mehlich-3 uuton perusteella. Kipsikäsiteltyjen jälkeen magnesiumin osuus väheni selvästi (Kuva 5). Kipsikäsittelemättömillä lohkoilla magnesium väheni hieman ja lisäksi kipsikäsittelemättömillä lohkoilla lähtötilanteessa magnesiumin osuus oli alhaisempi. Vuosien 2015 ja 2018 välillä tapahtuneet muutokset kipsilohkojen magnesiumtasossa erosivat käsittelemättömillä lohkoilla tapahtuneista muutoksista $X^2(2)=8,7$, $p=0,01$. $U=2,0$, $p=0,01$.

Keskimäärin kipsikäsiteltyjen lohkojen magnesiumipitoisuudet laskivat 120 mg/l (0-220 mg/l) ja kipsikäsittelemättömien lohkojen pitoisuudet nousivat 30 mg/l (-40-130 mg/l). Pohjamaassa magnesiumipitoisuudet laskivat 150 mg/l kipsikäsiteltyillä ja 46 mg/l kipsikäsittelemättömillä lohkoilla. Vaihdtelu pohjamaassa oli kuitenkin huomattavaa (-420 ±240 mg/l kipsilohkoilla, -210 ±90 mg/l kipsikäsittelemättömillä). Kipsi vaikutti poistavan tehokkaasti maaperästä ylimääräistä magnesiumia. Vaikutus oli kuitenkin erittäin vaihtelevaa, mikä oli toisaalta



Kuva 5. Kipsikäsitely vähensi magnesiumin osuutta kationinvaihtokapasiteetista alle 20% raja-arvon seitsemällä tutkitulla koelohkolla.

odotettavissa myös rikin vaihtelevan huuhtoutumisen perusteella (Taulukko 1).

Suurin osa kipsitutkimuksesta on tehty muilla uuttonesteillä kuin suomalaisella viljavuusanalyysimenetelmässä käytetyllä. Lisäksi eri uuttonesteet vaikuttavat kipsikäsittelyn vaikutusten arviointiin (Matula ja Pechová 2005). Sen johdosta varmistettiin, kuinka hyvin suomalaisen viljavuusanalyysin tulokset vastasivat laajemmin käytettyä Mehlich-3 uuttoa. Tulosten perusteella vastaavuus on erittäin hyvä (Kuva 6). Tämän johdosta tuloksia voidaan pitää pääosin luotettavina ja vertailtavissa kansainvälisessä kirjallisuudessa esitettyihin.

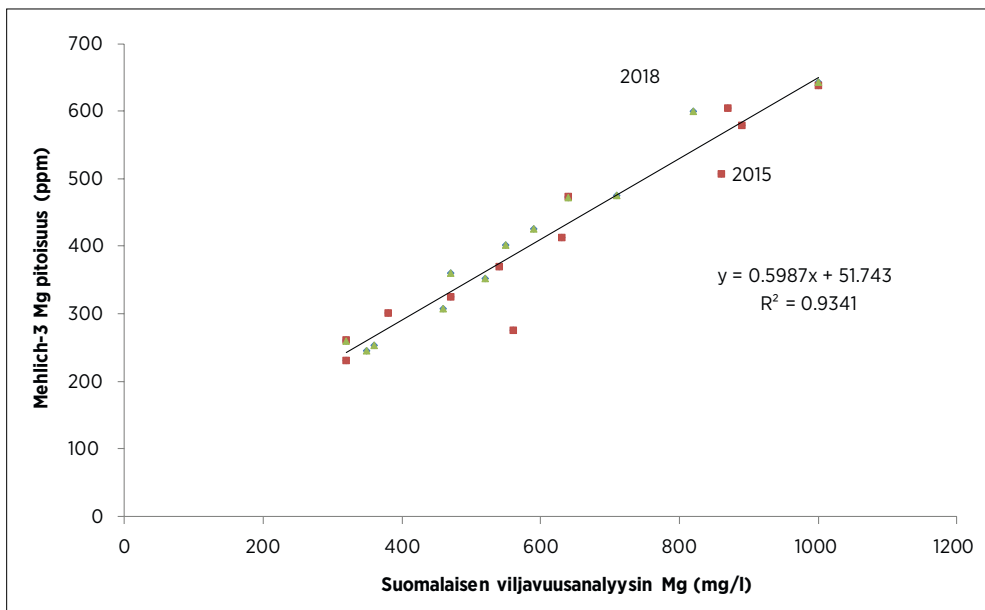
VAIKUTUS KALSIUMPITOISUUKSIIN MAASSA JA KASVEISSA

Kipsilisäys poistaa maasta magnesiumia. Teoriassa poistuminen on seurausta siitä, että kalsium syrjäyttää vaihtopinnoilta magnesiumia, joka huuhtoutuu rikin mukana syvempiin maakerroksiin. Tällöin kalsiumin pitoisuuden pitäisi vastaavasti nousta maassa. Koska magnesium on moolimassaltaan kevyempää, yhden magnesiumipainoyksikön syrjäyttämiseen tarvitaan 1,7 painoyksikköä kalsiumia.

Koelohkojen tulosten perusteella kipsi ei kuitenkaan lisää kalsiumin pitoisuutta enempää kuin mitä koelohkojen verrokeilla kalsiumin määrä lisääntyi (410 kg/ha vs. 480 kg/ha) (Taulukko 2). Kalsiumin pitoisuudet eivät nousseet myöskään pohjamaassa. Lisäksi eri analyysimenetelmien välillä on huomattavasti eroja kalsiumin muutoksissa. Heikko happouutto H₃A uuttonesteellä (Haney) näytti alenevia kalsiumin määriä kaikissa näytteissä. Mehlich-3 uutto vastasi joillain lohkoilla suomalaista viljavuusanalyysiä (He 0, Hy 1, Hy K, Sa K), mutta antoi toisilla täysin päinvastaisia tuloksia (Ju 0, Ju 1). Sekä Mehlich-3, suomalainen viljavuusanalyysi että varastoravinnemääritys näyttivät joillain lohkoilla laskevia kalsiumin määriä huolimatta kipsikäsittelystä. Myöskään erot käsiteltyjen ja käsittelemättömien lohkojen välillä eivät olleet merkittäviä.

Tulosten perusteella kipsi ei nosta maan vaihtuvan kalsiumin määrää, vaikka se syrjäyttää maasta magnesiumia. Mehlich-3 uuttoa on todettu uuttavan maasta kalsiumia tehokkaammin kuin suomalaisessa viljavuusanalyysissä käytetty ammoniumasettaatti (Matula ja Pechová 2005), joten analyysimenetelmän olisi pitänyt voida erottaa kipsin vaikutukset. Kipsin kalsium oli ilmeisesti huuhtoutunut koelohkoilta. Hy lohkoilla kalsiumin määrä oli kasvanut selvästi, mutta kasvu on todennäköisimmin peräisin vuonna 2018 levitetystä meesakalkista, jolla pyrittiin nostamaan maan pH:ta.

Vaikka kipsiä on käytetty kalsiumlannoitteena, tässä koesarjassa ei saatu esiin sen vaikutusta kalsiumin pitoisuuksiin kasveissa. Kalsiumin pitoisuudet vaihtelivat vuosittain (2016-2018), mutta ero kipsikäsiteltyjen ja kipsikäsittelemättömien koejäsenten välillä oli vähäistä ja usein kipsikäsittelemättömässä kasvustossa oli korkeampi kalsiumin pitoisuus.



Kuva 6. Suomalaisen viljavuusanalyysin ja Mehlich-3 analyysin Mg-pitoisuuksien vertailu vuoden 2015 (neliöt) ja 2018 (kolmiot) kipsikäsiteltylohkoilla sekä niiden verrokeilla.

Taulukko 2. Lohkoille kipsin myötä lisätty kalsium ja viljavuusanalyysitulosten perusteella arvioitu kalsiumin määrän lisääntyminen (kg/ha) vuosien 2015 ja 2018 välillä. Pitoisuudet muutettu massamääräksi kertomalla 1,5:llä. (* Hy lohkoilla lisätty lisäksi 4 t/ha meesakalkkia 36% Ca).

Lohko	Lisätty kalsium	Pintamaa 0-17 cm	Pohjamaa 17-35 cm	Haney	Mehlich-3	Varasto pintamaa	Varasto pohjamaa
He 0	830	-150	-300	-447	-140	-600	450
Hy 1	2600*	1650	300	-83	1767	1650	750
Hy K	2600*	1350	600	-822	1326	750	1650
Ju 0	1200	450	-750	-545	-488	450	600
Ju 1	1200	600	450	-516	-336	0	300
Sa 1	1200	750	450	-444	482	750	1200
Sa K	1200	-300	-300	-932	-204	-300	-450
Muutos käsitellyillä		410±480	40±340	-540±280	340±880	390±760	640±670
Muutos käsittelemättömillä		480±180	180±290	-460±310	360+-500	270±530	630±740

VAIKUTUS HAPPAMUUTEEN, EMÄSKYLLÄSTYSASTEeseen JA MUIDEN KATIONIEN MÄÄRÄÄN

Jos kipsi vähentää maan magnesiumpitoisuuksia, mutta ei lisää maan kalsiumpitoisuuksia, sen voisi olettaa alentavan emäskyllästysastetta ja lisäävän maan happamuutta.

Kipsikäsitelyjen lohkojen pH laski keskimäärin 0,3 pH yksikköä (0,2-0,8 vaihteluväli). Samaan aikaan kipsikäsittelemättömien lohkojen pH laski 0,1 yksikköä (0,1-0,3 vaihteluväli). Tämä näkyi myös siinä, että laskennallinen emäskyllästysaste laski tasosta 94 % tasoon 89 % kipsikäsitellyillä lohkoilla (Taulukko 3). Sen sijaan mitattu emäskyllästysaste nousi, sillä lohkoilta määritetty kationinvaihtokapasiteetti laski vuosien 2015 ja 2018 välillä.

Kipsin on tutkimuksissa todettu vähentävän maaperän vaihtuvaa alumiinia. Jos Mehlich-3 uuttolla määritettyä alumiinia käytetään vaihtuvan alumiinin mittaukseen, tässä aineistossa alumiinin

pitoisuudet eivät laskeneet merkittävästi. Keskimäärin kipsikäsitellyillä lohkoilla alumiinin määrä väheni noin 70+-180 mg/l ja kipsikäsittelemättömillä 110 +- 150 mg/l. Kipsin on todettu vähentävän alumiinin myrkyllisyyttä muuntamalla sitä vähemmän käyttökelpoiseksi alumiinisulfaatiksi, mutta toisaalta myös lisäävän alumiinin vapautumista maamineraleista (Zoca ja Penn 2017). Näiden lohkojen tapauksessa joko käytetty uuttoneeste uutti myös alumiinisulfaattia tai maaperästä vapautuva alumiini korvasi kipsin sitoman alumiinin.

Tulosten perusteella kipsi ei nosta maan pH:ta vaan pikemminkin laskee sitä. Huolimatta kipsin mukana maahan tulevasta kalsiumista, maan vaihtuvan kalsiumin määrät eivät nousseet, eikä kalsiumin osuus kationinvaihtopaikoista kasvanut. Sen sijaan magnesiumin osuus kationinvaihtopaikoista laski selvästi, mistä voi olla hyötyä maan rakenteelle.

Kaliumin osuudet KVK:sta eivät muuttuneet koelohkoilla. Kipsilisäys lisää yleensä kaliumin

Taulukko 3. Koelohkojen keskimääräinen ei-happamien kationien osuus laskennallisesta kationinvaihtokapasiteetista (laskennallinen "emäskyllästysaste"), sekä osuus mitatusta kationinvaihtokapasiteetista (mitattu "emäskyllästysaste")

		Ca	Mg	K	Na	Laskennallinen emäskyllästysaste	Mitattu emäskyllästysaste
Kipsikäsitellyt	2015	67 %	24 %	2 %	1 %	94 %	67%
	2018	68 %	18 %	2 %	0 %	89 %	76%
Ei kipsikäsitellyt	2015	70 %	21 %	2 %	1 %	94 %	67%
	2018	71 %	19 %	2 %	0 %	93 %	78%
NRCS suositus		70-80 %	10-13 %	2-5 %		90-99 %	

huuhtoutumista, mutta tässä koesarjassa siihen varauduttiin lisäämällä kaliumin lannoitusta (kannalanta, kaliumsulfaatti). Tuloksia ei sen johdosta voida yleistää koskemaan kaikkia lohkoja.

VAIKUTUS KASVIEN RAVINTEIDEN- OTTOON JA FOSFORIN KÄYTTÖ- KELPOISUUTEEN

Kipsin voidaan olettaa vähentävän maaperän fosforipitoisuutta muodostamalla kalsium-fosforiyhdisteitä (Zhang, Liu, ja Lal 2016). Tavoitteena on laskea maan fosforikyllästysastetta (PSR, *phosphorus saturation ratio*, fosforin suhde maan raudan ja alumiinin pitoisuuksiin) tasolle, jossa luikaisen fosforin huuhtouma vähenee (Dari ym. 2018). Toisaalta samalla alenevat pitoisuudet voisivat aiheuttaa kasvissa ravinnepuutteita. Kipsilannoituksen on myös todettu lisäävän magnesiumin, kaliumin ja boorin (Tariq ja Mott 2007) puutoksen riskiä.

Koelohkojen tulosten perusteella kipsilisäyksellä ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta maan helppoliukoiseen fosforiin. Spurway-uuttoinen fosfori $X^2(2)=5$, $p=0,08$ H₃A-uuttoliuoksella uutettu fosfori $X^2(2)=1,7$, $p=0,4$. Spurway-P $U=15$, $p=0,4$, Haney-P $U=14$, $p=0,6$.

Kasvianalyysin perusteella kasvien ravinnepitoisuudet vaihtelivat enemmän vuosien välillä kuin käsittelyjen välillä, joten kipsillä ei ollut selvää vaikutusta useimpien ravinteiden saatavuuteen. Etenkin kipsin lisäämisen jälkeen kasvuston fosforitaso vaikutti alemmalta kuin ennen kipsilisäystä, mutta vaikutusta ei havaittu kaikilla lohkoilla. Kirjallisuusarvoista poiketen tässä tutkituilla lohkoilla magnesiumia oli suhteessa liikaa kasvin tarpeeseen ja kipsikäsitteilyyn oli yhdistetty boorilannoitus, jonka vaikutus peitti alleen mahdollisen boorin saatavuuden aleneman.

VAIKUTUKSET MAAN RAKENTEeseen

Tutkituilla koelohkoilta määritettiin murukestävyys kahdella menetelmällä: märkäseulonnalla (Woodsend, 2018) ja yksittäisten murujen liettymiskestävyydellä (Beste 2003). Lisäksi mitattiin veden imeytymisnopeus (yksöis)rengasinfiltrometrillä (100 mm vesipatsas) ja seurattiin, kuinka syvälle vesi imeytyi. Näiden lisäksi maan rakenne pisteytettiin visuaalisesti VESS (*visual evaluation of soil structure*) menetelmällä (Ball ja Munkholm 2015). Määritykset tehtiin vuosina 2016 ennen kipsin levitystä ja vuonna 2018 kipsikäsitteilyiden jälkeen. Veden imeytymismääritys ja maan rakenne määritettiin kahdesta pisteestä jokaiselta lohkolta.

Veden imeytymisnopeus parani kipsilohkoilla selvästi, lisäys oli keskimäärin 84 % (100 mm/min tasosta 151 mm/min tasoon). Toisaalta mitattu veden imeytymisnopeus kasvoi vielä enemmän kipsikäsittelemättömillä lohkoilla (600 % kasvu, tasosta 90 mm/min tasoon 470 mm/min). Ero lohkojen välillä oli merkitsevää (Mann-Whitney, $p=0,048$), mutta veden imeytyminen oli nopeampaa käsittelemättömillä lohkoilla. Vaihtelu lohkojen välillä oli erittäin suurta ja vuoden 2018 kuivuuden aiheuttama halkeilu lisäsi oikovirtauksia ja lisäsi keinotekoisesti imeytymisnopeutta. Lisäksi joillain kipsikäsitellyillä lohkoilla veden imeytymisnopeus laski lähtötilanteesta (esim. Ju 0 ja Ju 1). Tämä johtui lähinnä maan rakenteen paranemisesta, sillä lähtötilanteessa vuonna 2016 tiivis savimaa imi veden nopeasti halkeamiinsa, mutta vuonna 2018 rakenne oli parempi ja vesi imeytyi tasaisemmin.

Veden imeytymisnopeuden lisäksi tarkasteltiin veden imeytymissyvyyttä imeytyskokeen jälkeen. Veden imeytymissyvyys parani käsittelyn seurauksena tasosta 11 cm tasoon 20 cm. Kipsikäsittelemättömillä lohkoilla imeytymissyvyys parani tasosta 14 cm tasoon 16 cm, mutta ero kipsikäsittelemättömien ja käsiteltyjen välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää. Useimmilla kipsikäsitellyillä lohkoilla kipsikäsitteily yhdistettiin maan syväkuohkeutukseen, mikä vaikutti osaltaan tuloksiin. Toisaalta myös yksittäisillä syväkuohkeuttamattomilla kipsikäsitellyillä lohkoilla veden imeytymissyvyys parani selvästi (Ju 0, imeytymissyvyys 9 cm vuonna 2016 ja 25 cm vuonna 2018).

Tulosten perusteella kansainvälisiä tuloksia kipsin vaikutuksesta veden imeytymiskykyyn ei voi yleistää suomalaisiin savimaihin. Savimaiden voimakas halkeilu kuivissa oloissa vaikuttaa veden imeytymiseen selvästi. Toisaalta halkeilu häiritsee mittauksen luotettavuutta ja luotettavamman määrittämisen saamiseksi määrittäminen olisi hyvä tehdä pellon ollessa kenttäkapasiteetissa (kevällä, sulamisvesien poistuttua).

Maan rakenteen laboratoriomääritykset eivät ole yhtä herkkiä sääolosuhteille kuin kenttähavainnot. Koelohkoilta määritetyn murukestävyyyden perusteella kipsi ei lisännyt murukestävyyttä. Lähtötilanteessa murukestävyys oli keskimäärin kipsilohkoilla 37 % (30-44%) ja se laski tasolle 35 % (27-36 %). Kipsikäsittelemättömien lohkojen murukestävyys säilyi tasolla 36 % (31-47%). Kumpikin taso oli luokituksestaan kohtalainen tai tyydyttävä (Woodsend, 2018). Yksittäisten murujen liettymiskestävyyyden perusteella murukestävyys parani enemmän kipsikäsittelemättömillä (49 % tasolta 60 % tasoon) kuin kipsikäsitellyillä (51 % tasosta 53 % tasoon) lohkoilla. Nämä olivat menetelmän tulkin-taohjeiden perusteella alhaisia arvoja.

Lohkojen maanäytteiden irtotiheys (tilavuuspaino) laski kipsikäsitellyillä lohkoilla 5 % (tasosta 1,03 kg/l tasoon 0,98 kg/l). Kipsikäsittelemättömillä lohkoilla muutos oli 1 %. Alentunut tilavuuspaino voi viitata maan parempaan murustumiseen ja suurempaan murukokoon. Näytteistä ei kuitenkaan tehty seulontaa murujakauman määrittämiseksi, joten tätä ei voitu varmentaa.

Käsiteltyjen lohkojen rakennepiisteet paranivat tasolta 3,5 tasolle 2,5 (yli 3,0 lukuarvot viittaavat heikentyneeseen rakenteeseen). Käsittelemättömiä lohkojen rakenne parani vähemmän (3,2 tasolta 3,0 tasolle). Koska lohkoilla tehtiin useampia toimenpiteitä samanaikaisesti rakenteen paranemista ei voi pelkistää kipsilisäykseen. Toisaalta esimerkiksi He lohkoilla molemmat lohkon puolet syväkuohkeutettiin, mutta vain kipsikäsitellyllä puolella rakenne parani selvästi (tasosta 3,9 tasoon 2,6). Samoin Ju lohkoilla molemmilla kipsikäsitellyillä lohkoilla rakenne parani, vaikka vain toinen puoli syväkuohkeutettiin. Rakenteen kohentuminen oli kuitenkin suurempaa syväkuohkeutetulla (tasosta 4,6 tasoon 2,8) kuin syväkuohkeuttamattomalla (tasosta 3,7 tasoon 3,0). Yksittäisillä lohkoilla rakenteen paraneminen näkyi selvästi (Kuva 7, Kuva 8).

Tulokset olivat jossain määrin ristiriidassa tutkimuskirjallisuuden kanssa, jossa kipsin on todettu lisäävän veden imeytymisnopeutta merkittävästi mm. sadesimulaattoritutkimuksissa (Yu ym. 2003). Toisaalta kenttämittaauksissa kipsin vaikutuksen on havaittu riippuvan mm. maan muokkauksesta (Baumhardt, Wendt, ja Moore 1992). Lisäksi tässä tehdyssä kokeessa vaihtelevat sääolot vuosien välillä lisäsivät tulosten vaihtelevuutta. Koesarjassa kipsin vaikutus murukestävytyteen ei ollut merkittävä, toisin kuin esimerkiksi laboratoriotutkimusten (Dontsova ja Norton 2002) perusteella voitiin odottaa. Mahdollisesti maaperän magnesiumtasojen muutos ei ollut riittävä merkittävien erojen aikaansaamiseksi.

Tulosten perusteella kipsillä on suotuisia vaikutuksia maan rakenteeseen korkean magnesiumin savimailla, etenkin mikäli sitä käytetään yhdessä maan (biologis-mekaanisen) syväkuohkeutuksen ja eloperäisen aineksen lisäyksen kanssa (Hamza ja Anderson 2005; de Moura ym. 2018). Vaikutukset maan murukestävytyteen ja veden imeytymisnopeuteen ovat heikompia ja riippuvat olosuhteista. Savimaiden voimakas halkeilu voi heikentää kipsillä saatavia hyötyjä veden imeytymisen suhteen.

VAIKUTUKSET MAAN MIKROBIAKTIIVISUUTEEN JA MONIMUOTOISUUTEEN

Kipsilisäys aiheuttaa maassa kalsiumin ja rikin pitoisuuksien nopean kasvun sekä johtoluvun nousun. Suurien kipsilisäysmäärien on todettu aiheuttavan haittavaikutuksia mm. lieroille, sienille ja kokonaismikrobiaktiivisuudelle. Kipsin vaikutuksia koelohkojen biologiaan tutkittiin kahden indikaattorin avulla: kokonaismikrobibiomassaa kuvaavan Solvita –hiilidioksiditestin (Woodsend, 2018) ja Biolog Ecoplate hiiliyhdisteiden hajotustestin avulla (Gryta ym. 2014). Vaikutuksia lierojen määrään ja lajirunsauteen ei saatu selvitettyä, koska näytteenottoaikaan vuonna 2018 oli niin kuivaa, että lieroja ei löytynyt ruokamultakerroksesta.

Mikrobiaktiivisuutta kuvaava Solvita-burst testi perustuu siihen, että kuivatun ja kastellun maanäytteen hiilidioksidin tuotto ensimmäisen vuorokauden aikana vastaa maaperän mikrobibiomassaa. Solvita tulokset kasvoivat vuosien 2015 ja 2018 välillä useimmilla lohkoilla riippumatta kipsikäsitelystä. Sa lohkoilla mikrobiaktiivisuus laski, sillä kokeen aikana ei käytetty muutoin lohkoilla käytettävää kananlantaa. Kipsikäsitellyillä lohkoilla hiilidioksidin tuotto kasvoi tasosta 87 ppm tasoon 130 ppm (60 %) ja kipsikäsittelemättömillä tasosta 89 ppm tasoon 161 ppm (94 %). Lohkojen välinen vaihtelu oli niin suurta (69–149 ppm vuonna 2015, 60–186 ppm vuonna 2018), että kipsikäsiteltyjen ja käsittelemättömien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa (Mann-Whitney $U=10,5$, $p=0,26$ Kruskal-Wallis $X^2(2)=2,9$, $p=0,23$), mutta eroa ei ollut myöskään hiilidioksidin tuoton muutoksessa tai suhteellisessa muutoksessa. Tulosten perusteella voidaan päätellä, että kipsilisäyksestä ei ollut merkittävää haittaa lohkojen mikrobiaktiivisuudelle.

Kokonaismikrobiaktiivisuuden lisäksi voitaisiin olettaa, että kipsi vaikuttaisi mikrobilajikoostumukseen esimerkiksi lisäämällä tai vähentämällä joidenkin mikrobiryhmien määrää. Tätä selvitettiin testaamalla, vaikuttko kipsilisäys peltojen mikrobisynteesin kykyyn käsitellä erilaisia hiiliyhdisteitä. Maanäytteet kuivattiin nopeasti huoneenlämmössä näytteenoton jälkeen. Kuivatuista näytteistä otettiin 2 gramman osanäyte 198 millilitraan vettä (1:100 laimennos) ja sekoitettiin hyvin. Näytteiden laskeuduttua tunnin ajan kirkkaasta nestekerroksesta pipetoitiin 200 µl jokaiseen Biolog Ecoplate näytekaivoon ja levyjä säilytettiin huoneenlämmössä 5 päivää. Levyt skannattiin ja niistä luokiteltiin värimuutokset kolmeen luokkaan (0 = ei muutosta,



Kuva 7. Kipsi korjasi savimaan rakennetta He lohkoilla (vasen käsittelemätön, oikea käsitelty). Kuvat: Jukka Rajala 3.7.2018



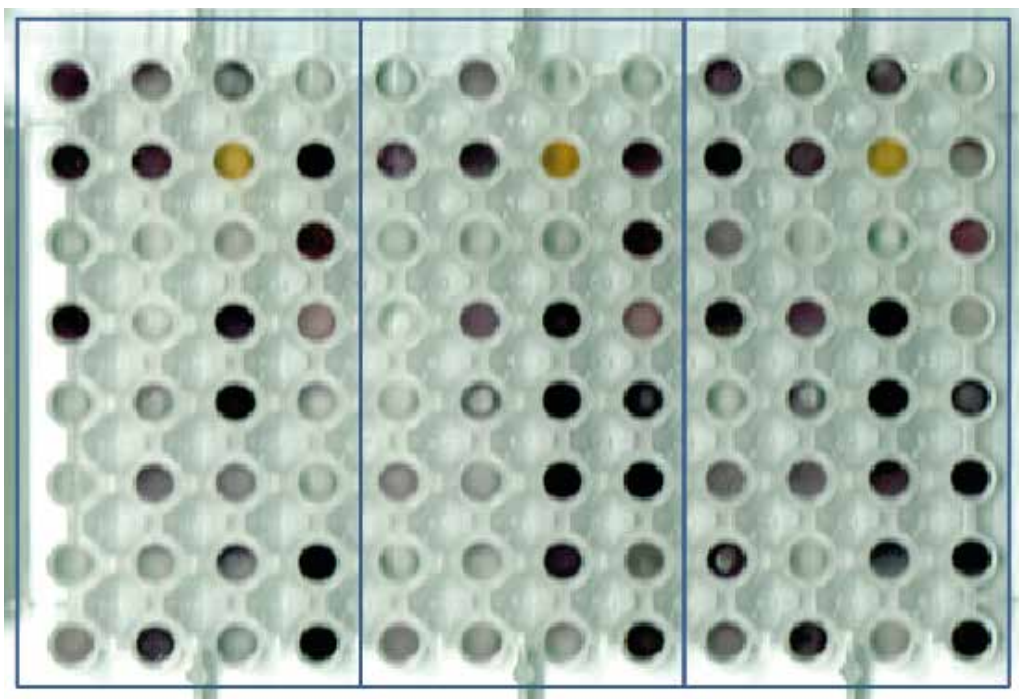
Kuva 8. Kipsin, syväjuuristen kasvien ja syväkuohkeutuksen yhdistelmä sai aikaan nopeita muutoksia Hy lohkojen maan rakenteessa (vasen käsittelemätön, oikea käsitelty). Kuvat: Jukka Rajala 4.7.2017.

0,5 = lievä värimuutos ja 1=selvä värimuutos). Jokainen levy sisälsi kolme rinnakkaista kerrannetta 32 hiiliyhdisteen hajotuksesta (Kuva 9). Tulokset kuvaavat mikrobiyhteisötason monimuotoisuutta toiminnallisella tasolla.

Tuloksista laskettiin eri hiiliyhdisteiden lukumäärä sekä hajotuksen diversiteettiä kuvaava Shannon-Wiener indeksi. Tulosten perusteella lohkojen kyky hajottaa erilaisia hiiliyhdisteitä ei muuttunut kipsikäsitellyn seurauksena (Kuva 10). Havaitut muutokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä hiiliyhdisteiden lukumäärän suhteen. Tilastollisesti merkitseviä eroja ei ollut myöskään yhdenkään yksittäisen hiiliyhdisteen osalta verrattaessa kipsikä-

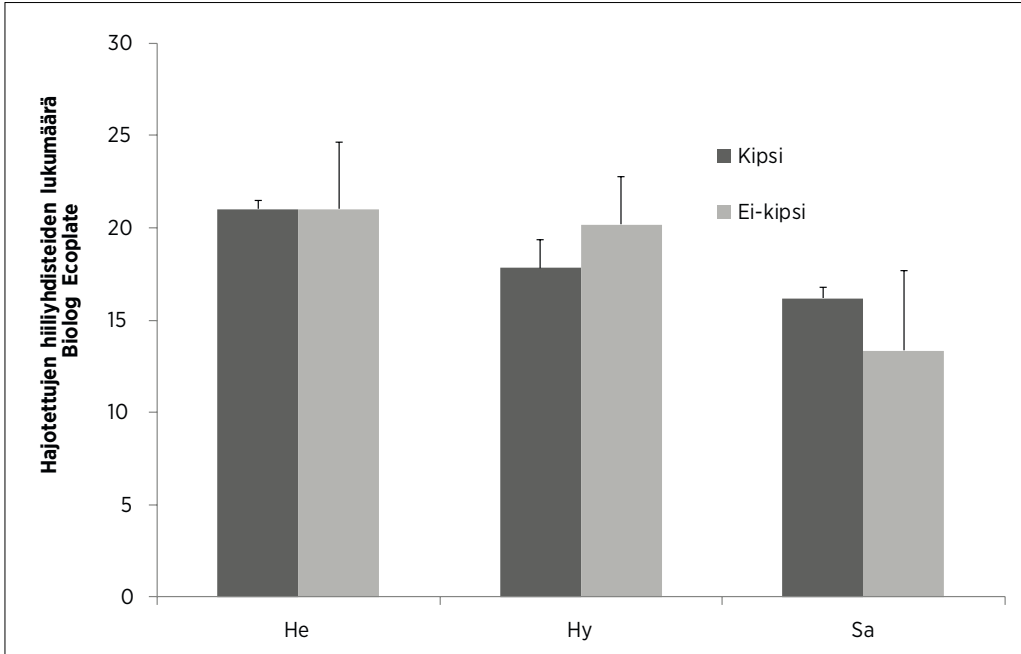
siteltyjä lohkoja kipsikäsittelemättömiin verrokkeihin (Chi square ja Fishers exact testit).

Shannon-Wiener diversiteettiä ei voitu laskea kerranteittain sillä se olisi vaatinut värimuutosten mittaamista spektrofotometrillä (Gryta ym. 2014). Sen sijaan kerranteet laskettiin yhteen, jotta saatiin vaihtelua eri yhdisteiden hajotuksen suhteen. Laskettujen Shannonin tasaisuusindeksien perusteella kipsikäsitellyllä ei vaikuttanut olevan ainakaan haittaa mikrobien toiminnalliselle diversiteetille (Kuva 11). Ainoastaan Hy-lohkokalla kipsikäsitellyn lohkon osan diversiteetti oli alhaisempi kuin kipsikäsittelemättömän, mutta vaihtelu lohkojen välillä oli erittäin suurta.

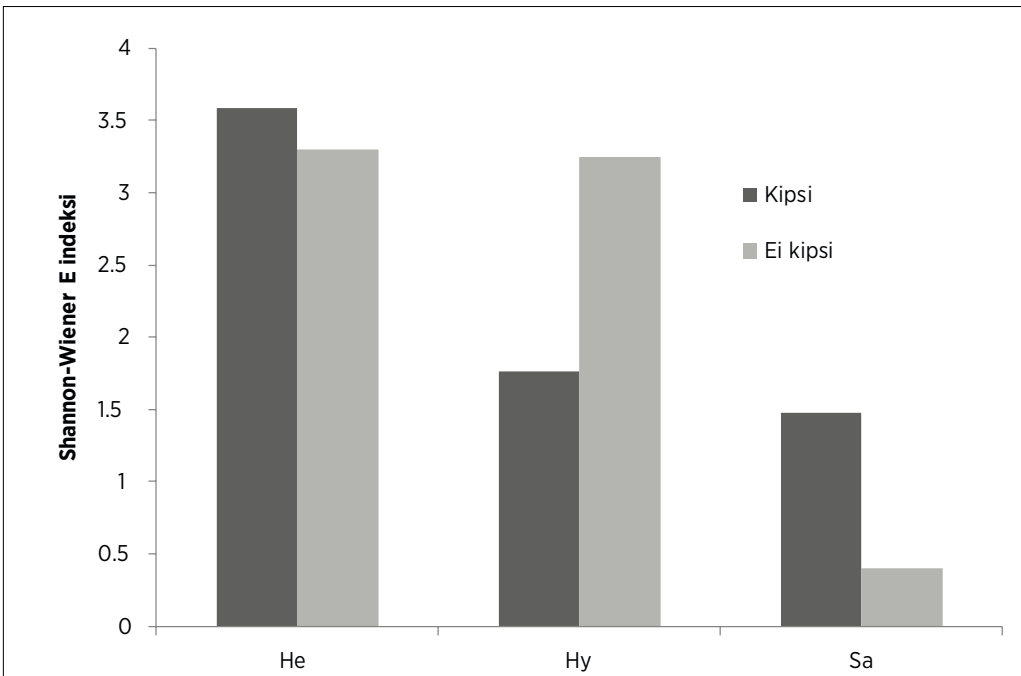


Kuva 9. Biolog Ecoplate sisältää kolme kerrannetta 32 eri hiiliyhdisteestä. Värimuutos näytekaivossa kuvastaa hiiliyhdisteen hajoamista. Kuva: Tuomas Mattila

24 KIPSI MAANPARANNUSAINEENA – HYÖDYT JA HAITAT MAAN KASVUKUNNOLLE
TUOMAS J. MATTILA, VEERA MANKA JA JUKKA RAJALA



Kuva 10. Maaperän mikrobiyhteisön kyky hajottaa erilaisia hiiliyhdisteitä kolmella lohkoparilla, joista toisessa käytettiin kipsiä. Näytteet vuoden 2018 syksyiltä.



Kuva 11. Mikrobiyhteisön toiminnallista diversiteettiä kuvaava Shannon –tasaisuus indeksi ei näyttänyt selviä eroja kipsikäsitellyn ja kipsikäsittelemättömän välillä, mutta lohkojen välillä oli selviä eroja. Arvot ovat yleensä 1,5-3,5 välillä. Näytteet vuoden 2018 syksyiltä.

MITEN KIPSIÄ TULISI KÄYTTÄÄ MAANPARANNUSAINEENA?

Kipsi on tehokas rikki- ja kalsiumlannoite, mutta molemmat ravinteet huuhtoutuvat helposti. Suurin hyöty saavutetaan säännöllisillä, pienillä lisäysmäärillä. Rikkilannoitustutkimuksissa käytetyt määrät ovat olleet 200-1000 kg/ha (Chen ja Dick 2011). Tämän lisäksi kipsiä voidaan käyttää poistamaan ylimääräistä magnesiumia maasta (NRCS 2015), mikä parantaa maan muokkautuvuutta ja voi vähentää eroosiota (Dontsova ja Norton 2002). Tällöin käytömäärät ovat lannoituskäyttöä suurempia (2-4 t/ha), mikä lisää kipsin haittavaikutuksia (Chen ja Dick 2011; Zoca ja Penn 2017). Jos maassa on valmiiksi puutetta magnesiumista tai kaliumista, kipsi lisää näiden huuhtoutumista ja pahentaa puutetta. Kaliumin ja magnesiumin puutoksen ehkäisemiseksi kipsikäsittely voidaan yhdistää magnesium- tai kaliumlannoitukseen (esimerkiksi dolomiittikalkki, karjanlanta). Savimailla varastokaliumin määrä saattaa olla riittävä turvaamaan kaliumin saanti tästä huolimatta. Kaliumin ja magnesiumin lisäksi kipsin on todettu heikentävän boorin saatavuutta, joten kipsikäsittelyyn voi olla mielekästä yhdistää boorilannoitus.

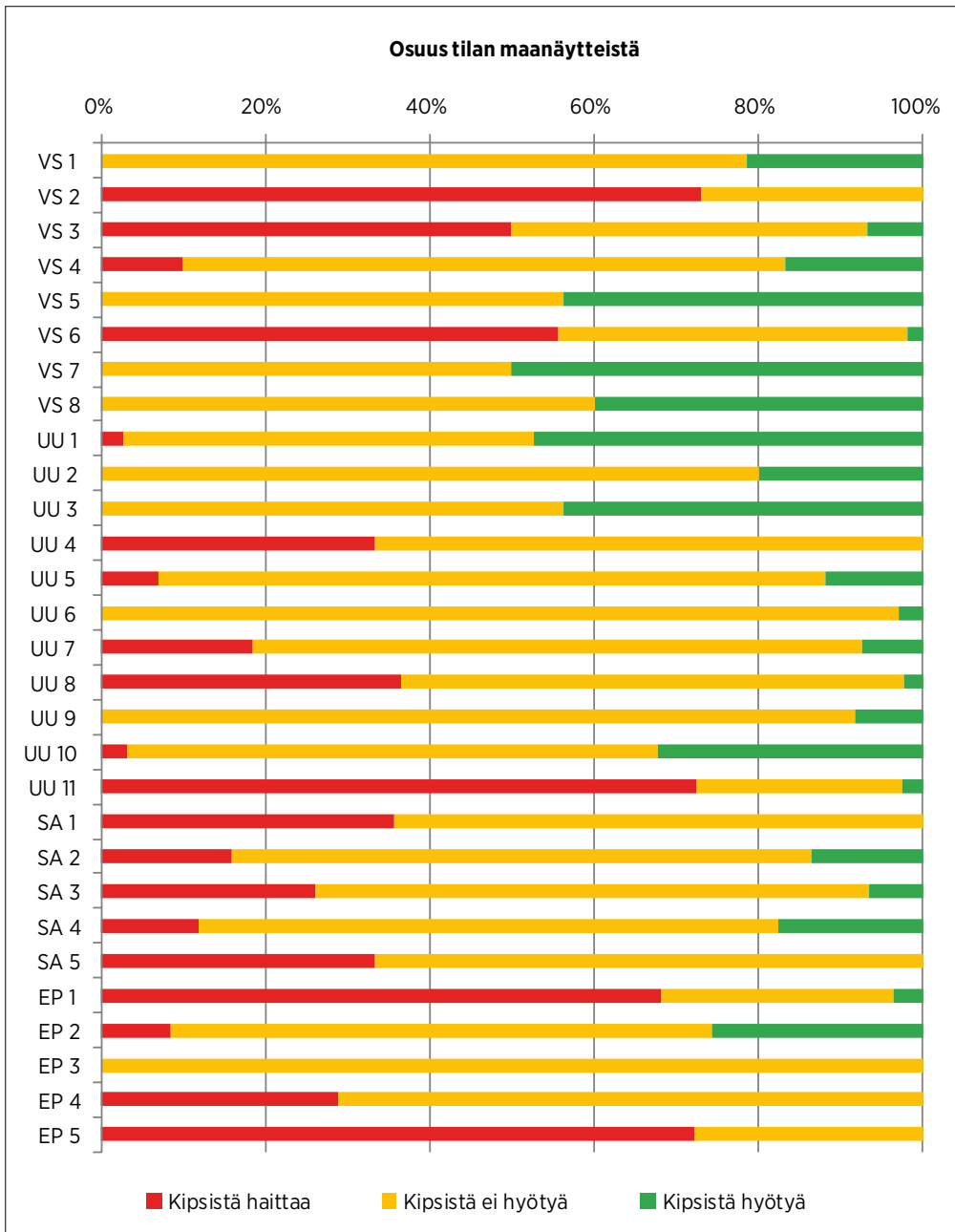
Tässä selvityksessä tarkastellut koelohkot olivat korkean magnesiumpitoisuuden savimaita, joissa oli runsaasti varastokaliumia ja suurehko kationinvaihtokapasiteetti. Kuinka edustavia lohkot olivat yleisemmän kipsin käytettävyyden kannalta? Tätä selvitettiin tekemällä otanta OSMO hankkeen osamiryhmien viljelijöiden maanäytteisiin ja luokittelemalla, olisiko kipsilisäyksestä viljelijälle hyötyä tai haittaa. Tarkasteltavia tiloja oli 29 kpl ja maanäytteitä 1068 kpl. Lohkot edustivat erilaisia maalajeja, alueita ja viljelytapoja.

Maanäytteet luokiteltiin sen mukaan, olisiko kipsin lisäyksestä selvästi hyötyä magnesiumin vähentämisen kautta vai olisiko kipsistä haittaa pahentuneen magnesiumin tai kaliumin puutteen kautta. Kipsistä hyötyvät lohkot luokiteltiin sellaisiksi, joissa Mg osuus kationinvaihtokapasiteetista oli yli 20 % ja kalsiumin ja magnesiumin yhteenlaskettu osuus oli yli 80 % (eli maassa on ylimääräisiä kationeja, joita voi huuhtoa maasta pois; ei kalkitustarvetta). Lohkot, joilla kipsikäsittely saattaisi

pahentaa magnesiumin ja kaliumin puutetta luokiteltiin sellaisiksi, joissa joko magnesiumin osuus KVK:sta oli alle 10 % tai kaliumin osuus on alle 2,5 % ja kokonaiskationinvaihtokapasiteetti on alle 13 cmol/l. Tavoitteena oli pitää viljavuusluokat tyydyttävällä tasolla. Kationinvaihtokapasiteettia käytettiin arvioimaan maan reservikaliumin määrää, sillä se korreloi voimakkaasti maan savipitoisuuden ja multavuuden kanssa. (Arviointitapa saattoi aliarvioida eloperäisten maiden sekä erittäin alhaisen kationinvaihtokapasiteetin lohkojen kipsikäsittelyn riskejä.)

Tulosten perusteella tilojen välillä on huomattavaa vaihtelua siinä, kuinka suurelle osuudelle lohkoja kipsi soveltuu (Kuva 12). Seitsemälle tarkastelluista tiloista kipsistä olisi pelkästään haittaa viljelyn kannalta. Kuudella tilalla kipsistä olisi haittaa yli puolella tarkastelluista maanäytteistä. Ainoastaan yhdellä tilalla yli puolella maanäytteistä kipsistä olisi hyötyä ylimääräisen magnesiumin poistamiseen. Vain seitsemällä tilalla kipsistä olisi hyötyä yli viidesosalla (20 %) lohkoista. Viljelyhyötyjen ja maan rakenteen parantamisen kannalta kipsiä kannattaa käyttää vain hyvin harvoilla lohkoilla. Nämä lohkot ovat yleensä savimaita tai savesta runsaasti sisältäviä maita, joissa on luonnostaan runsaasti magnesiumia tai lohkoja, joita on kalkittu runsailla määrillä dolomiittikalkkia.

Viljelyn näkökulmasta tarvitaan tilakohtaista tarkastelua kipsin hyödyistä ja haitoista lohkoitasolla. Samalla tilalla voi olla lohkoja, joissa kipsistä on hyötyä ja joissa kipsistä on haittaa. Viljavuusanalyysi on hyvä menetelmä lohkojen tunnistamiseen. Kipsikäsittelyn tulisi johtaa tasapainoiseen ravinnetilanteeseen maassa, eikä se saisi pahentaa ravinnepuutteita. NRCS (2015) suosittukset kipsin käyttöön, jotka huomioivat Ca, Mg, K ja Na osuudet maassa sekä mitoittavat kipsilisäyksen maan kationinvaihtokapasiteettiin ovat hyvä lähtökohta. Savimailla suuremmat 2-4 t/ha lisäysmäärät ovat perusteltuja, mutta kevyemmällä hietamailla alhaiset 0,5-1 t/ha lisäysmäärät ehkäisevät ravinnepuutosten syntyminen haittoja.



Kuva 12. Kipsin soveltuvuus 29 tilalle Varsinais-Suomessa (VS), Uudellamaalla (UU), Satakunnassa (SA) ja Etelä-Pohjanmaalla (EP).

JOHTOPÄÄTÖKSET

Kipsi on vanhin kaupallinen väkilannoite, jota on käytetty rikki- ja kalsiumlannoitteena vuosisatoja. Tulosten perusteella se toimii edelleen hyvin rikki- ja kalsiumlannoitteena. Lannoitushyötyjen lisäksi kipsi lisää magnesiumin, kaliumin ja alumiinin huuhtoutumista maasta. Korkean magnesiumpitoisuuden savimailla kipsin avulla voidaan vähentää ylimääräistä magnesiumia maasta ilman, että pH nousee tai ravinnesuhteet vinoutuvat. Alhaisen magnesiumin tai kaliumin pelloilla kipsilisäys voi kuitenkin lisätä ravinnepuutteita. Tutkimuksessa kipsikäsittely kohdennettiin lohkoille, joiden arvioi-

tiin hyötyvän eniten kipsikäsittelystä. Laajemmassa tarkastelussa kipsikäsittelyyn soveltuvien peltojen määrä vaihtelee maakunnittain ja tiloittain. Viljavuusanalyysin perusteella voidaan tunnistaa lohkot, joissa kipsilisäyksestä olisi todennäköisemmin hyötyä viljelylle ja toisaalta lohkot, joissa on riskinä kaliumin ja magnesiumin puutosoireiden paheneminen. Jotta kipsistä saadaan suurimmat hyödyt, sen käyttö kannattaa kohdentaa lohkoille, joissa on runsaasti magnesiumia ja käyttömäärä kannattaa suhteuttaa maan kationinvaihtokapasiteettiin.

KIRJALLISUUS

- Al-Karaki, Ghazi N., ja M. Al-Omouh. 2002. "Wheat Response to Phosphogypsum and Mycorrhizal Fungi in Alkaline Soil". *Journal of Plant Nutrition* 25 (4): 873–83. <https://doi.org/10.1081/PLN-120002966>.
- Ames, J. W., ja T. E. Richmond. 1917. "Fermentation of Manure Treated with Sulfur and Sulfates: Changes in Nitrogen and Phosphorus Content". *Soil Science* 4 (1): 79.
- Balaria, Ankit. 2011. "Effects Of Calcium Addition On Structure And Bioavailability Of Soil Organic Matter". *Civil and Environmental Engineering. Dissertations*. Paper 31. https://surface.syr.edu/cie_etd/31.
- Ball, Bruce C., ja Lars J. Munkholm. 2015. Visual Soil Evaluation: *Realizing Potential Crop Production with Minimum Environmental Impact*. CABI.
- Batte, Marvin T., ja Lynn D. Forster. 2015. "Old is New Again: The Economics of Agricultural Gypsum Use". *Journal of ASFMRA*: 56–74.
- Baumhardt, R. L., C. W. Wendt, ja J. Moore. 1992. "Infiltration in Response to Water Quality, Tillage, and Gypsum". *Soil Science Society of America Journal* 56 (1): 261–66. <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600010040x>.
- Ben-Hur, M., I. Shainberg, R. Stern, ja A. J. van der Merwe. 1992. "Slope and Gypsum Effects on Infiltration and Erodibility of Dispersive and Nondispersive Soils". *Soil Science Society of America Journal* 56 (5): 1571–76. <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600050039x>.
- Beste, Andrea. 2003. *Erweiterte Spatendiagnose: Weiterentwicklung einer Feldmethode zur Bodenbeurteilung*. 1., Aufl. Köster Berlin.
- Borselli, L., S. Carnicelli, G. A. Ferrari, M. Pagliai, ja G. Lucamante. 1996. "Effects of gypsum on hydrological, mechanical and porosity properties of a kaolinitic crusting soil". *Soil Technology* 9 (1): 39–54. [https://doi.org/10.1016/0933-3630\(95\)00034-8](https://doi.org/10.1016/0933-3630(95)00034-8).
- Buerkert, A., ja H. Marschner. 1992. "Calcium and Temperature Effects on Seedling Exudation and Root Rot Infection of Common Bean on an Acid Sandy Soil". *Plant and Soil* 147 (2): 293–303. <https://doi.org/10.1007/BF00029081>.
- Carmeis Filho, Antonio C. A., Carlos A. C. Crusciol, Tiara M. Guimarães, Juliano C. Calonego, ja Sacha J. Mooney. 2016. "Impact of Amendments on the Physical Properties of Soil under Tropical Long-Term No Till Conditions". *PloS One* 11 (12): e0167564. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167564>.
- Chen, Liming, ja Warren A. Dick. 2011. *Gypsum as an agricultural amendment: General use guidelines*. Ohio State University Extension.
- Cox, J. W., J. Varcoe, D. J. Chittleborough, ja J. van Leeuwen. 2005. "Using Gypsum to Reduce Phosphorus in Runoff from Subcatchments in South Australia". *Journal of Environmental Quality* 34 (6): 2118–28. <https://doi.org/10.2134/jeq2005.0013>.
- Crocker, William. 1922. *History of the use of agricultural gypsum*. Chicago: Gypsum Industries Association.
- Dari, Biswanath, Vimala D. Nair, Andrew N. Sharpley, Peter Kleinman, Dorcas Franklin, ja Willie G. Harris. 2018. "Consistency of the Threshold Phosphorus Saturation Ratio across a Wide Geographic Range of Acid Soils". *Agrosystems, Geosciences & Environment* 1 (1). <https://doi.org/10.2134/age2018.08.0028>.
- Dontsova, Katerina M., ja L. Darrell Norton. 2002. "Clay dispersion, infiltration, and erosion as influenced by exchangeable Ca and Mg". *Soil Science* 167 (3): 184–193.
- Erdman, Lewis. 1922. "The effect of gypsum on Iowa soils". *Retrospective Theses and Dissertations*. <https://doi.org/10.31274/rtd-180813-7374>.
- Gharieb, Mohammed M., Jacqueline A. Sayer, ja Geoffrey M. Gadd. 1998. "Solubilization of natural gypsum (CaSO₄·2H₂O) and the formation of calcium oxalate by *Aspergillus niger* and *Serpula himantioides*". *Mycological Research* 102 (7): 825–30. <https://doi.org/10.1017/S0953756297005510>.
- Gryta, Agata, Magdalena Fraç, ja Karolina Oszust. 2014. "The Application of the Biolog EcoPlate Approach in Ecotoxicological Evaluation of Dairy Sewage Sludge". *Applied Biochemistry and Biotechnology* 174 (4): 1434–43. <https://doi.org/10.1007/s12010-014-1131-8>.

- Hamza, M. A., ja W. K. Anderson. 2005. "Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions". *Soil and tillage research* 82 (2): 121–145.
- Han, Young-Soo, ja Tetsu K. Tokunaga. 2014. "Calculating carbon mass balance from unsaturated soil columns treated with CaSO₄-minerals: Test of soil carbon sequestration". *Chemosphere* 117: 87–93. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.05.084>.
- Hentati, Olfa, Nelson Abrantes, Ana Luísa Caetano, Sirine Bouguerra, Fernando Gonçalves, Jörg Römbke, ja Ruth Pereira. 2015. "Phosphogypsum as a soil fertilizer: Ecotoxicity of amended soil and elutriates to bacteria, invertebrates, algae and plants". *Journal of Hazardous Materials* 294: 80–89. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.03.034>.
- Ibrahim, M. 2016. "Arbuscular Mycorrhizal Isolate and Phosphogypsum Effects on Growth and Nutrients Acquisition of Cotton (*Gossypium Hirsutum* L.)". *Advances in Horticultural Science* 30 (3): 121–128–128. <https://doi.org/10.13128/ahs-20247>.
- Jamal, Arshad, Yong-Sun Moon, ja Malik Zainul Abidin. 2010. "Sulphur - a General Overview and Interaction with Nitrogen". *Australian Journal of Crop Science* 4 (7): 523–529.
- Jones, M. B., ja J. E. Ruckman. 1966. "Gypsum and Elemental Sulfur as Fertilizers on Annual Grassland 1". *Agronomy Journal* 58 (4): 409–12. <https://doi.org/10.2134/agronj1966.00021962005800040014x>.
- Kulhánek, Martin, Jindřich Černý, Jiří Balík, Ondřej Sedlár, ja Pavel Suran. 2018. "Potential of Mehlich 3 Method for Extracting Plant Available Sulfur in the Czech Agricultural Soils". *Plant, Soil and Environment* 64 (2018) (No. 9): 455–62. <https://doi.org/10.17221/372/2018-PSE>.
- Mattila, Tuomas J., ja Jukka Rajala. 2017. *Mistä ja miten tunnistaa maan hyvän kasvukunnon?* Helsingin yliopisto Ruralia-instituutti. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/229450>.
- Matula, J., ja M. Pechová. 2005. "Influence of gypsum treatment on extractability of nutrients from soils". *Plant Soil and Environment* 51 (8): 368–375.
- Mergulhão, Adália Cavalcanti do Espírito Santo, Hélio Almeida Burity, Bruno Tomio Goto, ja Leonor Costa Maia. 2010. "Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a gypsum mining impacted semiarid area". *Acta Botanica Brasiliica* 24 (4): 1052–61. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062010000400020>.
- Meyer, Johann Friedrich. 1768. *Die Lehre vom Gyps als einem vorzüglich guten Dung zu allen Erd-Gewächsen auf Aeckern und Wiesen, Hopfen- und Weinbergen*. Anspach: Posch.
- Moura, Emanuel de, Stefanny Portela, Vinicius Macedo, Virley Sena, Carlos Sousa, Alana Aguiar, Emanuel Gomes de Moura, ym. 2018. "Gypsum and Legume Residue as a Strategy to Improve Soil Conditions in Sustainability of Agrosystems of the Humid Tropics". *Sustainability* 10 (4): 1006. <https://doi.org/10.3390/su10041006>.
- Muneer, M., ja J. M. Oades. 1989. "The Role of Ca-Organic Interactions in Soil Aggregate Stability .III. Mechanisms and Models". *Soil Research* 27 (2): 411–23. <https://doi.org/10.1071/sr9890411>.
- Nayak, Soumya, C. S. K. Mishra, B. C. Guru, ja Monalisa Rath. 2011. "Effect of Phosphogypsum Amendment on Soil Physico-Chemical Properties, Microbial Load and Enzyme Activities". *Journal of Environmental Biology* 32 (5): 613–17.
- Nayak, Soumya, C. S. K. Mishra, B. C. Guru, ja Suryasikha Samal. 2018. "Histological Anomalies and Alterations in Enzyme Activities of the Earthworm *Glyphidrilus Tuberosus* Exposed to High Concentrations of Phosphogypsum". *Environmental Monitoring and Assessment* 190 (9): 529. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6933-7>.
- NRCS. 2015. "Amending soil properties with gypsum products". 333. Conservation Practice Standard. USDA.
- Radcliffe, D. E., R. L. Clark, ja M. E. Sumner. 1986. "Effect of Gypsum and Deep-Rooting Perennials on Subsoil Mechanical Impedance 1". *Soil Science Society of America Journal* 50 (6): 1566–70. <https://doi.org/10.2136/sssaj1986.03615995005000060036x>.
- Rhue, R. D., ja E. J. Kamprath. 1973. "Leaching Losses of Sulfur During Winter Months When Applied as Gypsum, Elemental S or Prilled S₁". *Agronomy Journal* 65 (4): 603–5. <https://doi.org/10.2134/agronj1973.0002196200650040022x>.
- Ritchey, K. Dale, ja J. Diane Snuffer. 2002. "Limestone, Gypsum, and Magnesium Oxide Influence Restoration of an Abandoned Appalachian Pasture". *Agronomy Journal* 94 (4): 830–39. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.8300>.

- Samal, Suryasikha, C. S. K. Mishra, ja Sunanda Sahoo. 2019. "Setal-Epidermal, Muscular and Enzymatic Anomalies Induced by Certain Agrochemicals in the Earthworm *Eudrilus Eugeniae* (Kinberg)". *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04204-3>.
- Samal, Suryasikha, Sunanda Sahoo, ja C. S. K. Mishra. 2017. "Morpho-histological and enzymatic alterations in earthworms *Drawida willsi* and *Lampito mauritii* exposed to urea, phosphogypsum and paper mill sludge". *Chemistry and Ecology* 33 (8): 762–76. <https://doi.org/10.1080/02757540.2017.1357700>.
- Singh, Thakur. 1920. "The effect of gypsum on bacterial activities in soils". *Retrospective Theses and Dissertations*. 14298. <https://doi.org/10.31274/rtd-180813-7383>.
- Tariq, M., ja C. J. B. Mott. 2007. "Effect of applied calcium-boron ratio on the accumulation of nutrient-elements by radish (*Raphanus sativa* L.)". *Journal of Agricultural and Biological Science* 2 (2): 4–13.
- Uusitalo, Risto, Kari Ylivainio, Jari Hyväluoma, Kimmo Rasa, Janne Kaseva, Pauliina Nylund, Liisa Pietola, ja Eila Turtola. 2012. "The effects of gypsum on the transfer of phosphorus and other nutrients through clay soil monoliths". *Agricultural and Food Science* 21 (3): 260–278.
- Vyshpolsky, F., M. Qadir, A. Karimov, K. Mukhamedjanov, U. Bekbaev, R. Paroda, A. Awq Hassan, ja F. Karajeh. 2008. "Enhancing the Productivity of High-Magnesium Soil and Water Resources in Central Asia through the Application of Phosphogypsum". *Land Degradation & Development* 19 (1): 45–56. <https://doi.org/10.1002/ldr.814>.
- Whittinghill, Kyle A., ja Sarah E. Hobbie. 2012. "Effects of PH and Calcium on Soil Organic Matter Dynamics in Alaskan Tundra". *Biogeochemistry* 111 (1–3): 569–81. <https://doi.org/10.1007/s10533-011-9688-6>.
- Wilder, Frank. 1919. "Gypsum: Its Occurrence, Origin, Technology and Uses (pp.47-245)". *Iowa Geological Survey Annual Report* 28 (1): 47–245. <https://doi.org/10.17077/2160-5270.1205>.
- Yu, Jian, T. Lei, I. Shainberg, A. I. Mamedov, ja G. J. Levy. 2003. "Infiltration and Erosion in Soils Treated with Dry PAM and Gypsum". *Soil Science Society of America Journal* 67 (2): 630–36. <https://doi.org/10.2136/sssaj2003.6300>.
- Zhang, Huiying, Ruiqiang Liu, ja Rattan Lal. 2016. "Optimal Sequestration of Carbon Dioxide and Phosphorus in Soils by Gypsum Amendment". *Environmental Chemistry Letters* 14 (4): 443–48. <https://doi.org/10.1007/s10311-016-0564-4>.
- Zoca, Samuel M., ja Chad Penn. 2017. "Chapter One - An Important Tool With No Instruction Manual: A Review of Gypsum Use in Agriculture". Teoksessa *Advances in Agronomy*, toimittanut Donald L. Sparks, 144:1–44. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.03.001>.

