

Loppuraportti:

Kipsilevyjätteen vaikutus kuusen ja männyn taimien kasvuun kasvihuonekokeessa

Juha Heiskanen

Luonnonvarakeskus, Suonenjoen yksikkö

28.2.2017

Kipsilevyjätteen vaikutus kuusen ja männyn taimien kasvuun kasvihuonekokeessa

Johdanto

Suomessa suuri osa rakentamisen kipsilevyjätteestä menee kaatopaikoille. Valtakunnallisen jätesuunnitelman ja alueellisen jätesuunnitelman tavoitteena on lisätä rakennusjätteiden hyödyntämistä. EU:n asettama rakennusjätteiden kierrätystavoite on 70 % vuoteen 2020 mennessä. Siten kipsilevyn ja siitä saatavan kipsisakan (kalsiumsulfaatti, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) hyödyntämissovellutusten tutkiminen ja kehittäminen on tärkeää, koska tälle jäteveron alaiselle jätejakeelle ei toistaiseksi ole olemassa maassamme selkeää liiketoimintaa, vaikka vuoden 2016 alusta alkaen mitään biohajoavaa materiaalia ei saa viedä kaatopaikoille. Myöskään tämän sinänsä halvan materiaalin kuljettaminen pitkiä matkoja pelkän jäteveron vuoksi ei ole ekologisesti järkevää, vaan kipsilevyn hyödyntämiselle on tarvetta kehittää paikallisia ratkaisuja. Jätekipsin käyttö maanparannusaineena on potentiaalinen käyttökohte.

Tämä raportti kuvaa kipsilevyjätteen vaikutuksia kasvualustan ominaisuuksiin ja männyn ja kuusen taimien kasvuun ruukkukokeiden avulla. Tämä selvitys on osa Euroopan aluekehitysrahaston (EAKR) rahoittamaa hanketta ”Jätteiden lajittelussa syntyvien jätejakeiden materiaali-tehokkaan hyödyntämisen edistäminen (LAJIJÄTE)”.

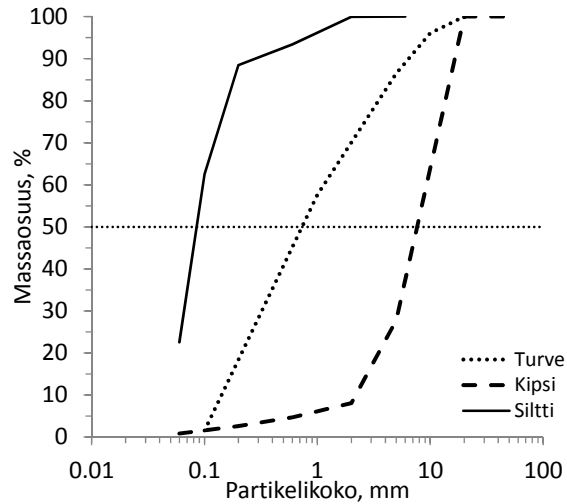
Raportin tavoite

- selvittää kuinka pintalevitetty kipsilevymurske vaikuttaa männyn ja kuusen taimien kasvuun
- selvittää kipsimurskeen vaikutusta kasvualustan vesiliukoiseihin ravinteisiin
- arvioida kipsikatteen maastokäytön potentiaalisia vaikutuksia metsien kasvuun ja huuhtoutuvien ravinteiden määrään
- antaa pohjatietoa ekologisen kipsijätetuotteen kehittelyyn lannoitteeksi, kalkitusaineeksi ja maanparannusaineeksi.

Aineisto ja menetelmät

Vertailukohteen kipsijätteen annostukselle tarjoaa kipsin levitys pelloille, joille levitysmäärät ovat noin 3-5 t/ha. Kipsiä käytetään vähentämään ennen kaikkea fosforin huuhtoutumista mutta myös orgaanisen aineksen hajoamista (esim. Pietola 2008, Ekholm et al. 2012, Ekholm 2013). Suometsissä puupohjaista tuhkaa levitetään lannoitteeksi ravinnepitoisuuksista riippuen samoin 3–5 t/ha, harvemmin jopa 7-10 t/ha (esim. Korpilahti 2004).

Taimikasvatuskoetta varten käytettiin 3.5 L taimiruukkuja (combipot.dk/container-pots), kasvuturvetta (Kekkilä professional FPM 420 W F6; www.kekkilaprofessional.fi/tuotteet/metsataimet) ja murskattua kipsilevyjätettä. Kipsilevymurske on karkeaa rakennusten purkujätettä, valtaosiltaan (72%) raekokoa 5-20 mm (Kuva 1). Murske sisälsi myös sepeliä, kivivillaa ja paperia arviolta alle 5% massasta.



Kuva 1. Materiaalien keskimääräinen partikkelikokojakauma kuivaseulonnalla. Summakäyrän 50% osuus kuvaa partikkelikoon mediaania. Siltti (karkea hietä) vertailukohtana kuvaa tyypillistä keskiraekoon mineraalimaata.



Kuva 2. Kuusen ja männyn taimet kokeen alussa Suonenjoella 8.11.2016. Puulajit kasvatettiin eri pöydillä. Ruukkujen (3.5 L) sijaintia vaihdettiin viikoittain (Kuva Luke/Juha Heiskanen).

Taimikasvatuskoetta varten ruukut pestiin, pohjalle asennettiin harso ja täytettiin sitten kasvaturpeella käyttäen vakiomassaa ja tiivistystä vakiopaineella. Kipsimursketta annosteltiin 0, 24 tai 120 g turpeen pinnalle ruukkuun, mikä vastaa käsittelyä 0, 10 ja 50 t/ha. Määrä 130 g vastaisi täysin pinnan peittävää kipsimurskekerrosta (54 t/ha). Kokeessa käytettiin 10 ruukkua x 2 puulajia (mänty ja kuusi) x 3 käsittelyä, eli yhteensä kasvatusruukkuja oli $6 \times 10 = 60$ kpl.

Ensimmäisen kesän kuusen ja männyn keskipaakkutaimia talveennutettiin ulkona Suonenjoen taimitarhalla lokakuun 2016 loppupuolelle asti. Sitten taimiarkit siirrettiin harsolla peitettynä stratifiointihuoneeseen (-3 °C) reilun viikon ajaksi. Noin 2 viikkoa ennen kasvatuksen alkua taimiarkit sulatettiin +5 °C lämpötilassa viikon ajan, minkä jälkeen ne siirrettiin huonelämpötilaan (21 °C) heikkoon valoon 3 päiväksi. Taimikasvatus aloitettiin kasvihuoneessa 8.11.2016. Männyn alkupituus oli kokeen alkaessa 12.9 cm (Sd 0.30) ja kuusen 14.4 cm (Sd 0.19).

Kokeessa käytettiin ruukkuihin istutettuja kaupallisesti tuotettuja 1 v. kuusen ja männyn paakkutaimia (Kuva 2). Suomessa Evira valvoo metsäpuiden siementen ja taimien kauppakelpoisuutta ja laatua (www.evira.fi/kasvit/viljely-ja-tuotanto/metsanviljely). Kasvihuoneessa käytettiin keinovaloa (195-300 µmol/cm/s) klo 5-23 (eli päivän pituus 18 h) ja lisäksi yhtä häirintävalolamppua klo 1-3 ennenaikaisen silmuuntumisen estämiseksi. Lämmitys säädettiin niin, että ilman lämpötila klo 5-23 oli 21.5-24.5 °C ja yöllä 16-17 °C. Kokeen loppuvaiheessa (27.12.2016 jälkeen) lämpötilaa kuitenkin alennettiin (päivä 19-21, yö 13-14 °C) ja häirintävalo poistettiin kuusen taimien silmuuntumisen varmistamiseksi. Ruukut kasteltiin kraanavedellä tavoitekosteuteen 2-4 x kk (vesipitoisuus kastelun jälkeen = 0.55 x huokostilavuus). Ennen kastelua tavoitekosteus oli 30-40 til.%. Erillistä lisälannoitusta ei kokeen aikana annettu (turve peruslannoitettu).

Kokeen alussa mitattiin taimen pituus ja tyviläpimitta sekä kokeen aikana kerran viikossa taimien pituus ja kunto. Koe purettiin 23.1.2017 (kesto 12 viikkoa), kun taimet olivat lähes silmuuntuneet, jolloin mitattiin taimien silmävarainen kunto, pituus, läpimitta, neulasväri (kloroottisuus) sekä verson ja turvepaakusta uloskasvaneiden juurten kuivamassa. Ruukun pohjalle kiertyneiden juurten osuus paakusta uloskasvaneiden juurten kuivamassasta määritettiin, koska tämä tunnus voi kuvata märkyden tai liiallisen ravinteikkuuden vaikutusta juuriin. Lisäksi mitattiin ruukkujen läpivaluntavedestä (kokoomanäyte/käsittely) johtokyky ja pH 3 kertaa kokeen aikana sekä purkuvaiheessa puristenesteen liukoiset ravinteet kokoomanäytteestä/käsittely. Lisäksi mitattiin pH ja johtokyky puhtaasta turpeesta ja kipsimurskeesta 1+5 lietoksesta. Koska liennut NO₃-N sisälsi myös NO₂-N, kokonaistypen Ntot määrästä (FIA-analyysi) voitiin arvioida orgaanisen typen määrä Norg = Ntot - NH₄ - NO₃. Taimien ja kasvualustamittausten sekä analyysimenetelmien tarkka kuvaus on esitetty aiemmin toisaalla (Heiskanen et al. 2017).

Tulokset

Tuoreen käyttämättömän kasvuturpeen pH oli selvästi alempi (5.05) kuin kipsilevymurskeen (7.38) (Taulukko 1). Samoin sähkönjohtavuus oli alempi turpeella (0.128 mS/cm) kuin kipsilevymurskeessa (2.37 mS/cm). Sen sijaan taimikasvatusruukuissa puristenesteen pH oli melko yhtenäinen kaikissa käsittelyissä kokeen kuluessa (4.1-5.0) ja lopussa (4.1-4.3) (Kuva 3 ja Taulukko 1). Sähkönjohtokyky oli pääpiirtein sitä korkeampi mitä suurempi oli ruukun kipsikäsitteily. Johtokyky pyrki nousemaan kokeen kuluessa (0.55-2.0 mS/cm), mutta oli kokeen lopussa melko yhtenäinen (1.5-2.1 mS/cm). Sekä pH ja johtokyky olivat pääpiirtein taimitarhakasvatuksen suositusten rajoissa.

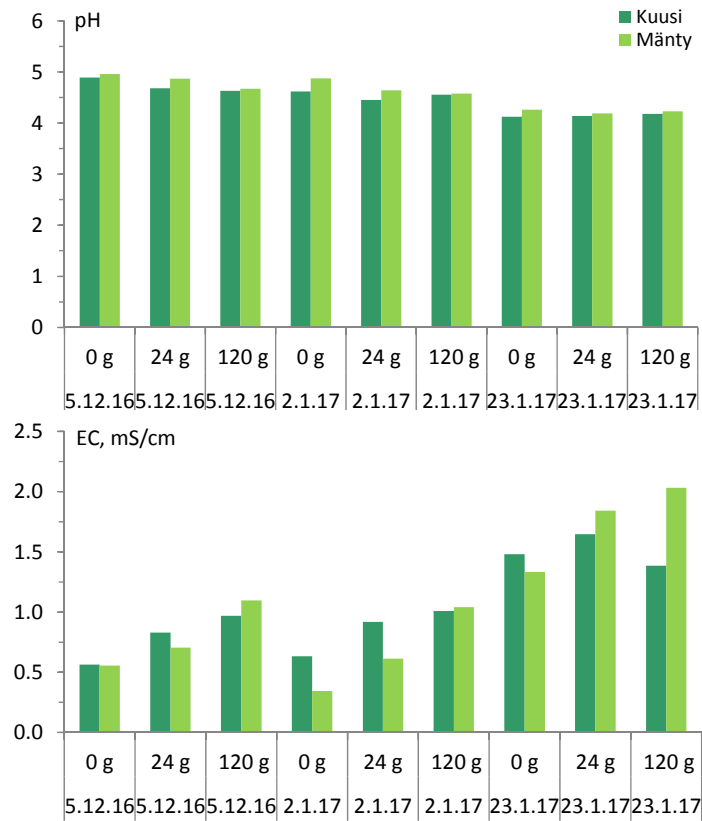
Kokeen lopussa määritetty puristenesteen ravinneanalyysi paljasti varsin korkean nitraattityypen osuuden (Taulukko 1). Nitraatti- ja kokonaistyyppi näytti kuitenkin olevan alhaisin suurimmalla kipsikäsittelymäärällä. Tyyppien kokonaismäärä oli taimitarhakasvatuksen suositusten alarajoilla (karastumisvaiheessa Ntot 40-80 mg/l). Rikin määrä ylitti tarhakasvatuksen suosituksen jonkin verran molemmilla käytetyillä kipsimäärillä. Myös kalsiumin määrä lisääntyi kipsikäsittelyn myötä, mutta ylitti suositukset jonkin verran kaikissa käsittelyissä. Fosforin määrä näytti alentuvan kipsikäsittelyn myötä, mutta oli silti suosituksen rajoissa. Muiden ravinteiden osalta ei esiintynyt merkittäviä vaihteluja tai poikkeamia suosituksiin.

Taimien pituuskasvu ei eronnut merkittävästi eri käsittelyjen välillä (Kuva 4 ja 5). Pituus ja tyviläpimitta sekä neulasten, rangan ja paakusta uloskasvaneiden juurten kuivamassat kokeen lopussa eivät näyttäneet poikkeavan käytetyn kipsikäsittelyn perusteella. Kuusella ruukun pohjalle kiertyneiden juurten osuus paakusta uloskasvaneiden juurten kuivamassasta ei myöskään näyttänyt eroavan käsittelyiden välillä. Männyn taimilla pohjajuurten osuus näytti hieman lisääntyneen kipsikäsittely myötä. Samoin kipsi näytti lisänneen männyn latvaverson jälkikasvua (lannoitevaikutus).

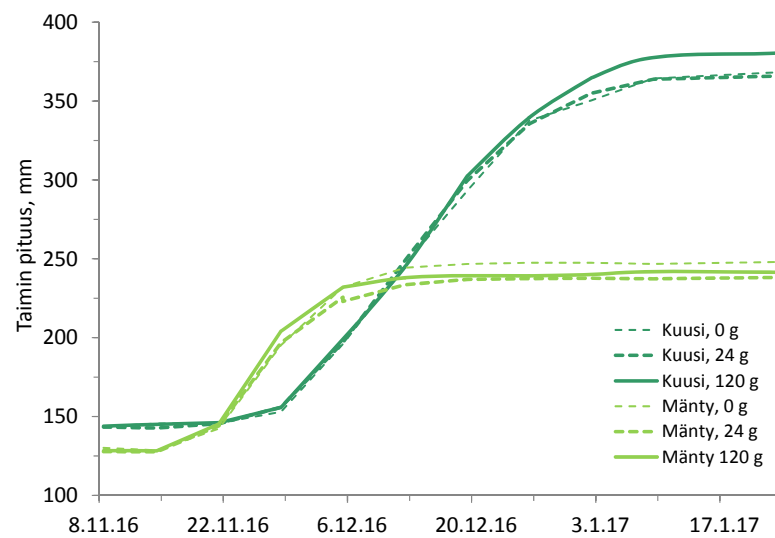
Taulukko 1. Puristenesteen kemiallinen analyysi kasvatuskokeen lopussa (n=1 yhdistetty näyte käsittelyittäin) sekä suositukset metsäpuiden taimille (Heiskanen ym. 1996). Vertailuna mukana myös analyysi tuoreen käyttämättömän kasvuturpeen ja kipsilevy murskeen vesilietokselle (1+5 menetelmä).

Tunnus	Yksikkö	Kuusi			Mänty			Suositus	Kipsi (1+5)	Turve (1+5)
		0 g	24 g	120 g	0 g	24 g	120 g			
pH	pH	4.20	4.16	4.24	4.29	4.20	4.27	4.3...5.5	7.38	5.05
EC	mS/cm	1.51	1.68	1.41	1.33	1.87	2.05	1...2	2.37	0.128
Al	mg/l	0.207	0.13	0.13	0.231	0.153	0.172	<5	0.033	0.043
B	mg/l	0.203	0.172	0.136	0.208	0.176	0.139	0.1...0.5	0.171	0.037
Ca	mg/l	93.3	122	124	72.5	152	228	20...100	563	1.200
Cd	mg/l	0.0008	0.0007	<0.0007	0.0007	0.0007	0.0008		<0.0007	<0.000
Cr	mg/l	0.002	0.0016	0.0014	0.0026	0.0016	0.002		0.0038	<0.001
Cu	mg/l	0.02	0.0165	0.01	0.0184	0.0136	0.0115	0.1...1	0.0152	0.0023
Fe	mg/l	2.49	1.23	0.77	2.64	1.6	0.769	1...5	0.027	0.248
K	mg/l	88.9	87.2	63.8	98.7	109	87.9	100..200	8.23	11.5
Mg	mg/l	48.8	53.2	44.1	38.7	60.7	62.1	20...500	2.60	0.570
Mn	mg/l	0.453	0.508	0.422	0.335	0.592	0.628	0.2...2	0.013	0.0063
Na	mg/l	17.3	17.7	13.9	17.9	22.2	19.3	<50	22.7	1.33
Ni	mg/l	0.0226	0.0126	0.0072	0.0215	0.019	0.0096		0.0083	<0.002
P	mg/l	61.1	28.0	19.0	71.0	37.5	20.3	20...50	0.132	6.06
Pb	mg/l	0.012	0.0087	0.0075	0.014	0.011	0.011		<0.005	<0.005
S	mg/l	31.9	80.4	117	37.8	135	217	10...50	457	3.53
Si	mg/l	13.0	11.1	9.83	12.3	9.18	10.1	5...50	5.42	0.926
Zn	mg/l	0.183	0.156	0.142	0.169	0.159	0.155	0.2...2	0.0063	0.0143
NH ₄	mg/l	1.43	0.998	0.880	10.5	4.09	2.50	0...200	0.256	6.58
NO ₂ +NO ₃	mg/l	118	108	46.4	61.9	87.8	70.0	0...200	1.96	5.17
Ntot	mg/l	103	104	56.3	88.9	96.0	76.5	100...200	3.66	12.4
Norg	mg/l	neg. *)	neg. *)	9.02	16.5	4.11	4.00		1.44	0.65

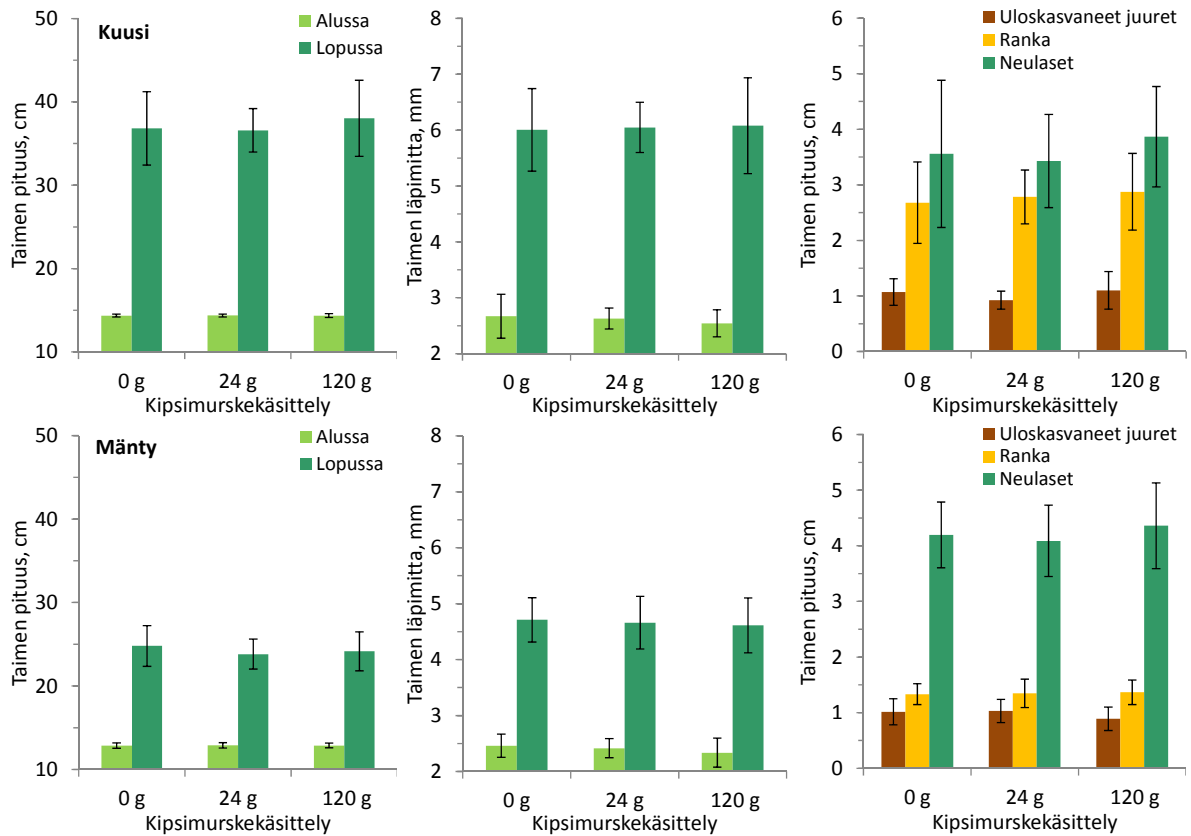
*) Näytteiden nitraattipitoisuudet olivat epätavallisen suuria, minkä vuoksi ne on jouduttu laimentamaan 20 kertaisiksi ennen mittausta. Tämä tuo lisäepävarmuutta analyysiin, mutta tulokset ovat mittausepävarmuuden rajoissa ±15%).



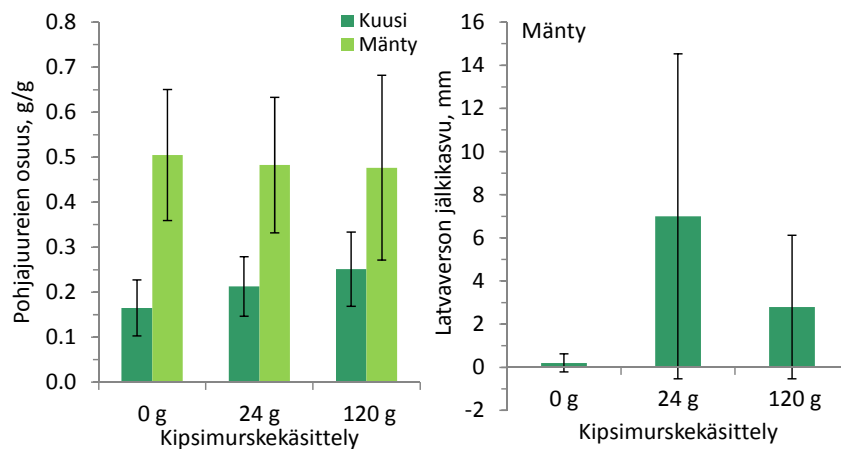
Kuva 3. Kuusen ja männyn taimien ruukuista läpivaluneen veden keskimääräinen pH ja johtokyky kokeen kuluessa (kokoomanäyte käsittelyittäin ruukuista).



Kuva 4. Kuusen ja männyn taimien keskimääräinen pituuskehitys kokeen aikana.



Kuva 5. Kuusen ja männyn taimien keskimääräinen (ka ± Sd) pituus ja tyviläpimitta sekä neulasten, rangan ja paakusta uloskasvaneiden juurten kuivamassat kokeen lopussa.



Kuva 6. Kuusen ja männyn taimien keskimääräinen (ka ± Sd) ruukun pohjalle kiertyneiden juurten osuus paakusta uloskasvaneiden juurten kuivamassasta sekä männyn latvaverson jälkikasvun pituus kokeen lopussa.

Tarkastelua

Käytetyt rakennuskipsilevyt voidaan kierrättää takaisin valmistukseen. Kipsin kierrätys on kuitenkin hankalaa ja aikaa vievää, joten kipsilevyjen pienet ylijäämät ja hukat on perinteisesti hävitetty sekajätteenä. Viime aikoina on kuitenkin kehitetty (mm. Gyproc) kipsilevyjen kierrätysjärjestelmiä lähinnä talotehtaille ja isoilla työmaille,

joilla käytetään erikseen tätä tarkoitusta varten kehitettyä kierrätyskeräintä (säkkiä). Kaivannaisteollisuuden ylijäämäkipsiä on toisaalta levitetty pelloille jo vuosia, missä sen on todettu vähentävän koetulosten mukaan P:n huuhtoutumista vesistöihin sekä parantavan maan mururakennetta ja hiilensitomiskykyä (esim. Pietola 2008, Ekholm ym. 2012, Ekholm 2013). Kipsi pidättää maassa olevaa vesiliukoista P:a maahiukkasten pinnoille kasveille käyttökelpoiseen muotoon. Maanparannuskipsi (esim. Yara) soveltuu Ca-lannoitteeksi nurmelle ja perunalle sekä S:n lähteeksi öljykasveille ja viljoille. Kipsi ei nosta maan pH arvoa, koska se sisältää runsaasti S:ä. Maanparannuskipsi ei pelloilla vaikuta maan happamuuteen tai juuri viljavuuteenkaan. Kipsiä voidaan kuitenkin käyttää hyötykasvien kuten viljojen, salaatin, rypsin, perunan ja kaalien viljelyssä Ca:n ja S:n puutosten poistamiseen. Koska kipsi sisältää Ca:a, se ei sovellu peltomaille, joilla Ca-pitoisuus suhteessa muihin maan kationeihin (eli Mg, K ja Na) on jo korkea.

Happamalla metsämaalla kipsilisäyksen on todettu voivan lisätä maan liukoisen Ca:n pitoisuutta sekä myös pH-arvoa pintamaassa. Kipsi voi vähentää myös maan Al-pitoisuutta sekä nitrifikaatiota, jolloin maaveden tyyppi on pääasiassa NH_4 -muodossa, kun taas kalkituksen seurauksena tyyppi on pääosin NO_3 -muodossa (Belkacem & Nys 1995, 1997, Bakker ym. 1998). Toisaalla kipsin ei ole havaittu juurikaan vaikuttaneen metsämaan tyyden mineralisaatioon (eli orgaanisen aineksen hajoaminen epäorgaaniseksi) (Klemmedson ym. 1989). Kipsiä on käytetty myös vesien P:n sitojana, vaikka toisaalta onkin pieni riski olemassa sulfaattien huuhtoutumiselle vähäsulfaattisten järvien alueilla (Salonen & Varjo 2000, Ekholm ym. 2011).

Eviran ohjeen mukaan kipsiä ei tule käyttää alueilla, joista vedet valuvat järviin, sillä järviluonnossa kipsistä vapautuva sulfaatti voi kiihdyttää rehevöitymistä. Suojaetäisyysvaatimusta ei ole määritelty. Kipsin S on helposti huuhtoutuva ja eikä se säily maassa kuin muutamia vuosia. S:n maahan pidättäytymistä auttaa, jos maassa on runsaasti eloperäistä ainetta. Toisaalta kipsi saattaa vähentää mm. glyfosaatin huuhtoutumista, koska glyfosaatti on myös anioni kuten P, jota kipsi pidättää maahiukkasiin.

Tässä tutkimuksessa käyttämättömän kipsilevymurskeen vesilietoksen pH (1+5 men.) todettiin selvästi korkeammaksi (7.38) kuin tuoreen kasvuturpeen (5.05), mikä johtuu kipsin sisältämästä Ca-pitoisuudesta. Samoin kipsilevymurskeen sisältämien runsaiden Ca-kationien ja SO_4 -anionien vuoksi sen vesilietoksen sähkönjohtavuus on korkeampi (2.37 mS/cm) kuin turpeen (0.128 mS/cm). Taimikasvatusruukuissa puristeneesteen pH oli kuitenkin melko yhtenäinen kaikissa käsittelyissä, koska turve on ilmeisesti kyennyt puskuroimaan itseensä kipsin ioneja (McNevin & Barford 2001). Lisäksi kipsin rikki on osaltaan hillinnyt pH:n nousua. Sähkönjohtokyky oli pääpiirtein sitä korkeampi mitä suurempi oli ruukun kipsikäsittely, mutta oli kokeen lopussa melko yhtenäinen kaikissa käsittelyissä (1.5-2.1 mS/cm).

Tässä tutkimuksessa sekä pH ja johtokyky olivat pääpiirtein taimitarhakasvatuksen suositusten rajoissa. Kokeen lopussa määritetyn puristeneesteen kasviraivanteissakaan ei esiintynyt merkittäviä vaihteluja tai poikkeamia suosituksiin. S-pitoisuus kuitenkin ylitti tarhakasvatuksen suosituksen jonkin verran molemmilla käytetyillä kipsimäärillä, koska kipsi sisältää S:a suhteellisen runsaasti. Myös Ca-pitoisuus lisääntyi puristeneesteessä kipsikäsittelyn myötä ja se ylitti suositukset jonkin verran kaikissa käsittelyissä (turpeen peruslannoite sisältää

dolomiittia). P-pitoisuus näytti alentuvan kipsikäsitteilyn myötä, mutta oli silti suosituksen rajoissa. NO₃-typen osuus Ntot:sta (kokonaistypestä) oli poikkeuksellisen korkea, mihin lienee osaltaan vaikuttanut se että käytetty kasvualusta oli turvetta ja kasvatusolosuhteet olivat kasvihuoneessa luontaista lämpimämmät. NO₃- ja Ntot näyttivät olevan alhaisimmat suurimmalla kipsikäsitteily määrällä, mihin on voinut vaikuttaa kipsin (Ca + S) lannoitevaikutus, minkä vuoksi taimet lienevät ottaneet enemmän myös N:ä ja P:a. N:n kokonaismäärä lienee kuitenkin ollut riittävä vaikkakin se oli taimitarhakasvatuksen suositusten alarajoilla (karastumisvaiheessa Ntot 40-80 mg/l).

Taimien pituuskasvu ei eronnut merkittävästi eri käsittelyjen välillä eikä pituus ja tyviläpimitta sekä neulasten, rangan ja paakusta uloskasvaneiden juurten kuivamassat kokeen lopussa poikenneet kipsikäsitteilyn perusteella. Kuitenkin männyn taimilla ruukun pohjalle kiertyneiden juurten osuus paakusta uloskasvaneiden juurten kuivamassasta näytti hieman lisääntyneen kipsikäsitteily myötä. Tämä voi indikoida märkyyden tai todennäköisemmin runsaan ravinteikkuuden vaikutusta. Kipsi näytti lisänneen männyn latvaverson jälkikasvua, mikä myös indikoi kipsin lannoitevaikutusta ja sen myötä heikentyntä talveentumista.

Päätelmiä

- *Tämän tutkimuksen mukaan kipsilevyjäte ei suhteellisen suurinakaan katemäärinä aiheuta riskiä männyn ja kuusen taimien kasvulle turvealustalla.
- *Kipsilevyjäte ei myöskään tämän kokeen perusteella aiheuta merkittävää riskiä ravinnehuuhtoutumille turvealustalla. Kivennäismailla voi kuitenkin olla kohonnut riski sulfaattien huuhtoutumiselle maan alhaisemman kationinvaihtokapasiteetin vuoksi.
- *Kipsilevyjäte on siten potentiaalinen lannoite taimien, taimikoiden ja varttuneiden metsien kasvatuslannoitukseen ja happamuuden vähentämiseen.
- *Tutkimuksen perusteella kipsilevyjäte voi myös soveltua P-huuhtoutumien vähentämiseen metsämaiden ja erityisesti suometsien ojitusalueiden ojissa, laskeutusaltaissa ja niiden reunavyöhykkeillä.
- *Tutkimuksen päätelmät on kuitenkin syytä verifioida maastokokein sekä turve- että kivennäismailla.

Viitteet

- Bakker M.R., Nys C. & Picard J.F. 1998. The effects on liming and gypsum applications on a sessile oak (*Quercus petraea* (M.) Liebl.) stand at Lacroix-Scaille (*French Ardennes*) I. Site characteristics, soil chemistry and aerial biomass. *Plant & Soil* 206: 99–108.
- Belkacem S. & Nys C. 1995 Consequences of liming and gypsum top-dressing on nitrogen and carbon dynamics in acid forest soils with different humus forms. *Plant & Soil* 173: 79–88.
- Belkacem S. & Nys C. 1997. Effects of liming and gypsum regimes on chemical characteristics of an acid forest soil and its leachates. *Annals of Forest Science* 54: 169-180.
- Ekholm P. 2013. Kipsi vähentää tehokkaasti fosforikuormitusta. *Yara Suomi/Leipä* leveämmäksi 3/2013: 18–19.
- Ekholm P., Valkama P., Jaakkola E., Kiirikki M., Lahti K. & Pietola L. 2012. Gypsum amendment of soils reduces phosphorus losses in an agricultural catchment. *Agricultural and Food Science* 21: 279-291.

- Ekholm P., Jaakkola E., Kiirikki M., Lahti K., Lehtoranta J., Mäkelä V., Näykki T., Pietola L., Tattari S., Valkama P., Vesikko L. & Väisänen S. 2011. The effect of gypsum on phosphorus losses at the catchment scale. *The Finnish Environment* 33: 1-47.
- Heiskanen J., Hänninen P., Koivunen M., Lindqvist M., Nieminen M., Rikala R., Seppälä J., Ylikoski M., Mäntylähti V. 1996. Viljavuustutkimuksen tulkinta metsätaimitarhoilla. Mikkeli: Viljavuuspalvelu Oy. 18 s.
- Heiskanen J., Uotila K. & Ruhanen H. 2017. Effect of wood ash mulch on growth of Scots pine seedlings after transplanting into peat soil: a bioassay in a greenhouse. *Scandinavian Journal of Forest Research*. In Press.
- McNevin D. & Barford J. 2001. Inter-relationship between adsorption and pH in peat biofilters in the context of a cation-exchange mechanism. *Water Research* 35: 736–744.
- Klemmedson J.O., Rehfues K.E., Makeschin F. & Rodenkirchen H. 1989. Nitrogen mineralization in lime and gypsum-amended substrates from ameliorated acid forest soil. *Soil Science* 147: 55-63.
- Korpilahti A. 2004. Tuhkan kuljetus ja levitys metsään. *Metsätehon raportti* 173. 28 s.
- 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.
- Salonen V.-P. & Varjo E. 2000. Gypsum treatment as a restoration method for sediments of eutrophied lakes - experiments from southern Finland. *Environmental Geology* 39: 353-359.