

# Kyntösyvyyden vaikutus muokkauskerroksen helppoliukoisen fosforin pitoisuuteen

Mari Rätty, Kirsi Järvenranta, Perttu Virkajärvi ja Maarit Hyrkäs

*MTT, Kotieläintuotannon tutkimus, Halolantie 31 A, 71750 Maaninka, etunimi.sukunimi(at)mtt.fi*

## Tiivistelmä

Viljelymaille on tyypillistä, että fosforipitoisuus on suurempi maan muokkauskerroksessa kuin sen alapuolella pohjamaassa. Nurmenviljelyssä pintaan levitetty lannoitefosfori ja lietelanta kasvattavat helppoliukoisen fosforin määrää maan pintakerroksessa ja lisäävät niiden kuormituspotentiaalia. MTT Maaningalla testattiin "Ravinnehävikit euroiksi" RAE -hankkeessa voidaanko kyntösyvyyttä lisäämällä sekoittaa fosforiköyhää pohjamaata pintamaahan ja siten pienentää helppoliukoisen fosforin pitoisuutta maan pintakerroksessa.

Tutkimus toteutettiin peltolohkolla, jonka muokkauskerroksen maalaji vaihtui hietamoreenista (HtMr) karkeaan hietaan (KHt) ja fosforitila oli korkeahko (44 ja 21 mg P/l maata; fosforin viljavuusluokat korkea ja hyvä). Nurmivuosien jälkeen koelohko kynnettiin syksyllä 2011 ja se kylvettiin keväällä 2012 ohralle. Kokeessa oli kaksi kyntösyvyyttä, tavanomainen noin 23 cm ja syvennetty noin 35 cm. Syksyllä 2011 kyntö toteutettiin 4-siipisellä 14 tuuman auralla. Syksyllä 2012 kyntö toistettiin ja se toteutettiin tavanomaiseen kyntösyvyyteen 3-siipisellä 14 tuuman auralla ja tavanomaista syvempään 3-siipisellä 18 tuuman auralla. Koelohkolle perustettiin kaksi näytteenottoaluetta (HtMr ja KHt) ja alkutilannetta kuvaavat maanäytteet otettiin jokaiselta ruudulta 6 syvyydestä (0–2, 2–20, 20–25, 25–30, 30–35 ja 40–50 cm) kokoomanäyteinä siten, että näyte koostui noin 8 kairallisesta, minkä jälkeen maa-aines homogenisoitiin osanäytteet sekoittamalla. Seurantanäytteet otettiin keväällä äestytksen jälkeen samoin kuin edellä (joustopiikkiäes, äestyssyvyys noin 7 cm). Maanäytteistä määritettiin pH, johtoluku, hehketushäviö sekä ammoniumasetaattiuuttaisen (pH 4,65) fosforin, kalsiumin, kaliumin, magnesiumin ja rikin pitoisuudet.

Maaprofiilissa oli pääsääntöisesti selvä gradientti maan helppoliukoisen fosforipitoisuuden suhteen ja sen pitoisuudet pienenevät syvyyden kasvaessa, mutta näytteenottopisteiden välinen hajonta oli suurehko. Muokkaus pienensi selvästi maan helppoliukoisen fosforin pitoisuutta maan pintakerroksessa (0–2 cm) molemmilla kyntösyvyyksillä ja molemmilla näytteenottoalueilla. Korkean fosforitilan maalla fosforipitoisuuden lasku oli kuitenkin suurempaa, kun kyntösyvyyttä lisättiin tavanomaisesta noin 23 cm:stä 35 cm:n. Tässä kokeessa kyntö toteutettiin tavanomaisilla auroilla ilman erityiskalustoa kuten syväkyntöauroja.

## Asiasanat

Fosfori, rikastuminen pintakerrokseen, huuhtoutumisriski, kyntösyvyys

## Johdanto

Pitkällä aikavälillä kasvien ravinteiden otto muuttaa etenkin fosforin, kaliumin, typen ja orgaanisen hiilen jakautumaa maaprofiilissa (Jobbágy ja Jackson 2001). Ravinteita kulkeutuu juuriston kautta maanpäällisiin kasvinosiin, ja niitä poistuu viljelysmaasta sadon mukana ja huuhtoutumalla pinta- ja pohjavesiin, ja palautuu maahan kasvinjäänteiden ja kasvustojätteiden hajotessa. Kun luonnontilainen maa on otettu viljelykäyttöön, on sen lannoittaminen kerryttänyt fosforireservejä maan pintakerrokseen.

Suomalaisella happamalla kivennäismaalla on suuri fosforinpidätyskyky, ja lisätty fosfori pyrkii sitoutumaan tehokkaasti Al- ja Fe-oksihydroksidien pinnoille (Kaila 1963, Hartikainen 1979), mikä vähentää fosforin kulkeutumista maaprofiilissa alaspäin liikkuvan vajoveden mukana. Viljelymaille onkin tyypillistä, että fosforipitoisuus on suurempi maan muokkauskerroksessa kuin sen alapuolella olevassa pohjamaassa eli jankossa. Pitkään jatkuneessa suorakylvössä, nurmenviljelyssä tai laidun-urmella lannoitteista, kasvinjäänteistä sekä sonnasta peräisin olevaa helpoliukoista fosforia voi kertyä maan ohueen pintakerrokseen (Saarijärvi ym. 2006, Muukkonen ym. 2007, Saarela ja Vuorinen 2010), mikä lisää niiden kuormituspotentiaalia, koska korkean fosforitason omaavan pintamaan on osoitettu nostavan valumaveden fosforipitoisuutta (Sharpley 1995, Turtola ja Yli-Halla 1999). Valumaveden kanssa reagoivan pintamaakerroksen paksuus vaihtelee muutamista millimetreistä mutamiin senttimetreihin, ja riippuu mm. sateen intensiteetistä ja maan rakenteesta sekä maanpinnan kaltevuudesta ja kasvipeitteisyydestä (Sharpley 1985).

Fosforilannoituksen vähentäminen alentaa peltomaan fosforitilaa, mutta muutokset maan fosforipitoisuuksissa ja pelloilta pintavesiin huuhtoutuvissa fosforimäärissä ovat varsin hitaita (Ekholm ym. 2005, Pietola ja Virkajärvi 2010). Fosforirikkaan pintamaakerroksen sekoittamista muokkaamalla vähemmän fosforia sisältävään maakerrokseen on esitetty nopeaksi keinoksi lisätä pintamaan fosforin-sitomiskapasiteettia, ja vähentää fosforin liukoisuutta (Peltovuori 2002, Sharpley 2003). Peltovuori (2002) havaitsi, että pohjamaan sekoittaminen muokkauskerrokseen pienensi fosforin desorptio-sorptioisotermien (Q/I-kuvaajien) avulla laskettua fosforin tasapainopitoisuutta, joka kuvastaa ns. fosforinvaihdon nollapistettä. Tasapainopitoisuuden ollessa alhainen fosforia voi suuremmalla todennäköisyydellä sitoutua valumavedestä maa-ainekseen ja päinvastaisessa tilanteessa sitä vapautuisi maasta valumaveteen. Huuhtoumariskin pienemisen lisäksi maan fosforitilan alenemisella olisi viljelijälle tietyissä rajapitoisuuksissa käytännön merkitys lietteen käyttörajoitusten kannalta.

MTT Maaningalla testattiin "Ravinnehävikit euroiksi" RAE -hankkeessa, voidaanko tavanomaisilla auroilla ilman erityiskalustoa sekoittaa vähemmän fosforia sisältävää pohjamaata pintamaahan ja alentaa maan helpoliukoisen fosforin pitoisuutta, ja siten pienentää sen kuormituspotentiaalia.

## Aineisto ja menetelmät

Tutkimus toteutettiin MTT Maaningalla noin 230 m × 50 m kokoisella peltolohkolla, jonka muokkauskerroksen lajitekoostumuksen ja fosforipitoisuuden tiedettiin vaihtuvan lohkon pituussuunnassa. Kokeen alussa alueella oli vanha nurmi, joka sai keväällä 2011 ensimmäiselle sadolle NK 2 -lannoituksen (430 kg ha<sup>-1</sup>; 95 kg N ha<sup>-1</sup>, 0 kg P ha<sup>-1</sup>, 52 kg K ha<sup>-1</sup>, 13 kg S ha<sup>-1</sup>). Kuivaheinän korjuun jälkeen vanha nurmi lopetettiin Roundup -käsittelyllä, ja koelohko kynnettiin ensimmäisen kerran syksyllä 2011. Keväällä 2012 alueelle kylvettiin ohra (Volmari), joka lannoitettiin lietteellä (30 tn ha<sup>-1</sup>; 87 kg N ha<sup>-1</sup>, 10 kg P ha<sup>-1</sup>, 84 kg K ha<sup>-1</sup>). Syksyllä 2012 alue kynnettiin toisen kerran.

Kokeessa oli kaksi kyntösyvyyttä, tavanomainen kyntösyvyys (noin 23 cm) ja syvennetty kyntösyvyys (noin 35 cm). Ensimmäinen kyntö toteutettiin 27.11.2011 nostolaitekiinnitteisellä 4-siipisellä 14 tuuman kääntöauralla (viilun leveys 36 cm; ojasväli 142 cm). Aura säädettiin erikseen sekä 23 cm:n että 35 cm:n kyntöä varten. Seuraavana syksynä kyntö toistettiin 6.11.2012 ja se toteutettiin tavanomaiseen kyntösyvyyteen 3-siipisellä 14 tuuman kääntöauralla (viilun leveys 36 cm; ojasväli 107 cm) ja tavanomaista syvempään 3-siipisellä 18 tuuman sarka-auralla (viilun leveys 46 cm; ojasväli 137 cm). Kyntö suoritettiin lohkon pituussuunnassa, ja kumpaakin kyntösyvyyttä toistettiin neljä kertaa siten, että syvyedet vuorottelivat lohkolla sen pidemmän sivun suuntaisesti. Tiettyä kyntösyvyyttä edustavan alueen leveys oli kaksi ojasväliä syksyllä 2011 ja syksyllä 2012 kaksi tai kolme ojasväliä siten, että näytteenottoruudut pysyivät samoina.



Kuva 1. a) Maanäytteenotto traktorikairalla, b) kyntötulos ja näytteenottolinja ja c) kyntöjäljestä paljastuva pohjamaa. Kuvat: MTT/Mari Rätty.

Koelohkolle perustettiin kaksi näytteenottoaluetta lohkon eri päihin (alueet 1 ja 2), sillä alueiden tiedettiin olevan kemiallisilta ja fysikaalisilta ominaisuuksiltaan erilaisia. Näytteenotto toteutettiin kummallakin alueella linjanäytteenottona. Näytteenottolinjat sijoitettiin lohkon keskiosan ja reunan puoleen väliin, noin 50–60 m:n päähän lohkon lyhyemmistä sivuista. Lähtötilannetta kuvaavat maanäytteenotettiin syksyllä 25.–26.11.2011 kokoomanäytteinä jokaiselta ruudulta kuudesta eri syvyydestä: 0–2 cm, 2–20 cm, 20–25 cm, 25–30 cm, 30–35 cm ja 40–50 cm. Yksi kokoomanäyte koostui noin kahdeksasta näytteenottoruudulta (noin 2 m<sup>2</sup>) otetusta kairallisesta, minkä jälkeen maa-aines homogenisoitiin sekoittamalla osanäytteet. Näytteet otettiin traktorikairalla (Kuva 1) lukuun ottamatta aivan maan pintakerrosta (0–2 cm), josta näytteet otettiin sipulikairalla. Viljavuusanalyysissä maanäytteistä määritettiin Viljavuuspalvelu Oy:ssä happamaan ammoniumasetattiin (pH 4,65) uuttuvan helppoliukoisin fosforin (viljavuus-P; P<sub>AAC</sub>), kaliumin, kalsiumin, magnesiumin ja rikin pitoisuudet (Vuorinen ja Mäkitie 1955). Maalajin ja multavuuden määrittäminen tapahtui aistinvaraisesti, maan pH ja johtoluku määritettiin maa-vesi -suspensiosta (v/v 1:2,5). Hehkutushäviö määritettiin punnitsemalla 2 g maata posliiniupokkaaseen ja hehkuttamalla sitä 4 h 550 °C:n lämpötilassa. Seurantänäytteet otettiin keväisin ruuduittain (9.5. ja 14.5.2012; 16.5.2013) äestyksen jälkeen (joustopiikkiäes; äestysyvyys n. 7 cm), ja niistä tehtiin samat määritykset kuin edellä.

Tulokset analysoitiin tilastollisesti käyttäen SAS 9.2-ohjelmiston *Mixed*-proseduuria. Alueet 1 ja 2 käsiteltiin erikseen. Alueen 1 kerranne 4 poikkesi muista niin paljon, että se poistettiin analyysistä. Alueelta 2 puuttui yksi havainto vuodelta 2012 ja toinen poistettiin poikkeavana. Kiinteinä tekijöinä mallissa olivat kyntösyvyys (normaali tai syvennetty), näytteenottosyvyys ja näiden yhdysvaikutus. Satunnaisina tekijöinä olivat kerranne ja kerranne\*näytteenottosyvyys-yhdysvaikutus. Näytteenottosyvyys oli toistotekijä *Compound symmetry*-kovarianssi-rakenteella.

Koska koealue osoittautui maan ominaisuuksiltaan lähtötilanteessa vaihtelevaksi, muokkauksen vaikutuksia maan helppoliukoisin fosforin pitoisuuksiin eri syvyyksissä tarkasteltiin tapahtuneiden muutosten avulla. Muutoksia tutkittiin vertaamalla ensimmäisen muokkauskerran jälkeistä tilannetta lähtötilanteeseen, toisen muokkauskerran jälkeistä tilannetta ensimmäisen muokkauskerran jälkeiseen tilanteeseen ja toisen muokkauskerran jälkeistä tilannetta lähtötilanteeseen.

### Tulokset ja tulosten tarkastelu

Näytteenottoalueella 1 muokkauskerroksen (2–20 cm) maalaji oli multava (m) hietamoreeni (HtMr) ja näytteenottoalueella 2 multava karkea hieta (KHt). Taulukossa 1 on esitetty alkutilannetta kuvaavista maanäytteistä viljavuusanalyysissä määritettyjä tuloksia. Viljavuusanalyysin tulosten tulkinnan mukaan alueella 1 muokkauskerroksen fosforiluku oli viljavuusluokassa korkea ja kalsiumin (2160 mg l<sup>-1</sup> maata) luokassa hyvä, kaliumin ja magnesiumin (151 mg l<sup>-1</sup> maata) suhteen se oli tyydyttävä. Alueella 2 muokkauskerroksen fosforiluku vastasi viljavuusluokkaa hyvä, ja kaliumin, kalsiumin (1580 mg l<sup>-1</sup> maata) ja magnesiumin (141 mg l<sup>-1</sup> maata) osalta tyydyttävää luokkaa. Molemmilla alueilla pH (7,0–7,1) oli viljavuusluokassa arveluttavan korkea ja rikki välttävä (6,2 mg l<sup>-1</sup> maata) (Viljavuuspalvelu Oy 2008).

Nurmivuosien jälkeen maaprofiileissa oli havaittavissa selvä gradientti helppoliukoisin fosforin suhteen (viljavuus-P, P<sub>AAC</sub>, mg l<sup>-1</sup> maata), ja sen pitoisuudet pienenevät syvyyden kasvaessa, mutta näytteenottopisteiden välinen hajonta oli varsin suuri (Taulukko 1, Kuva 2). Näytteenottoalueilla fosforia oli kertynyt aivan maan pintakerrokseen (0–2 cm) ja sen alapuolella muokkaus oli tasoittanut fosforipitoisuuksia 2–25 cm:n syvyydeltä, minkä jälkeen ne pienenevät jyrkästi muokkauskerroksen

varsin korkeista pitoisuuksista. Alueella 1 oli lähtötilanteessa selvästi enemmän helppoliukoista fosforia kuin alueella 2. Koska alueella 1 kerranteen 4 fosforipitoisuudet poikkesivat selvästi muista kerranteista (kerranteilla 1–3 maaprofiilissa keskimäärin 26 mg P<sub>AAc</sub> l<sup>-1</sup> maata, kerranteella 4 keskimäärin 55 mg P<sub>AAc</sub> l<sup>-1</sup> maata), se jätettiin pois tilastotilastoanalyyseistä. Alueella 2 lohkon toisessa päässä vastaavaa ei havaittu.

Taulukko 1. Lähtötilannetta edustavien maanäytteiden pH (H<sub>2</sub>O), hehikutushäviö (%) sekä helppoliukoisien fosforin (viljavuus-P; P<sub>AAc</sub>) ja kaliumin (K<sub>AAc</sub>) pitoisuudet (mg l<sup>-1</sup> maata) (sisältää kaikki näytteenotuspisteet n = 8; keskiarvo±keskihajonta).

Syvyys (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)		Hehikutushäviö %		P <sub>AAc</sub> mg l <sup>-1</sup> maata		K <sub>AAc</sub> mg l <sup>-1</sup> maata	
	Alue 1	Alue 2	Alue 1	Alue 2	Alue 1	Alue 2	Alue 1	Alue 2
0–2	7,2±0,1	7,0±0,3	4,7±0,4	4,1±0,4	52±9,0	27±5,6	176±22	173±25
2–20	7,1±0,1	7,0±0,1	3,6±0,4	3,1±0,2	44±12	21±5,0	145±17	123±15
20–25	7,0±0,2	7,0±0,1	3,1±0,2	2,4±0,2	42±10	17±3,9	140±19	119±12
25–30	6,9±0,1	7,0±0,1	2,1±0,4	1,5±0,2	29±17	6,3±3,2	121±22	99±14
30–35	7,0±0,1	7,0±0,1	1,4±0,3	1,2±0,2	19±25	2,3±0,7	100±24	88±14
40–50	6,9±0,2	7,0±0,1	1,2±0,2	1,1±0,2	12±17	1,8±0,6	88±16	73±8,5

Maan muokkauksen oletettiin tasoittavan helppoliukoisien fosforin pitoisuuksia kyntösyvyydeltä eli vähentävän fosforin pitoisuutta maan pintakerroksissa ja vastaavasti lisäävän sitä syvemmissä kerroksissa, joihin kyntö ulottui. Muokkauksen vaikutusta maasta uuttuvan helppoliukoisien fosforin pitoisuuteen on simuloitu laboratoriokokeilla, joissa fosforipitoisuuksiltaan erilaisia maakerroksia on inkuboitu eri seossuhteilla. Peltovuori (2002) ja Sharpley (2003) havaitsivat, että maanäyteosoksen helppoliukoisien fosforin pitoisuus (P<sub>AAc</sub>, Mechlich-3 P) laskee lähes lineaarisesti, kun vähemmän fosforia sisältävän maakerroksen osuus kasvoi seoksessa. Tämän perusteella muokkauksen vaikutus maan helppoliukoisien fosforin pitoisuuteen on mahdollista ennustaa, kun tunnetaan ennen muokkausta eri syvyyksiltä otettujen pinta- ja pohjamaanäytekertojen fosforipitoisuudet. Olettaen, että maakerros sekoittuisi tasaisesti koko kyntösyvyydeltä, muokkaaminen tavanomaiseen kyntösyvyyteen (noin 0–23 cm) laskisi muokkauskerroksen fosforitilan alueella 1 tasolle 39 mg P<sub>AAc</sub> l<sup>-1</sup> maata (kun kerrannetta 4 ei huomioida), alueella 2 se laskisi tasolle 20 mg P<sub>AAc</sub> l<sup>-1</sup> maata. Muokkausta noin 10 cm syventämällä (noin 0–35 cm) alueella 1 fosforipitoisuus laskisi tasolle 35 mg P<sub>AAc</sub> l<sup>-1</sup> maata ja alueella 2 vastaavasti tasolle 16 mg P<sub>AAc</sub> l<sup>-1</sup> maata. Kun tarkastellaan maan pintakerrosta, muokkaustulos tavanomaiseen kyntösyvyyteen vastasi hyvin laskennallista fosforipitoisuutta, kun taas kyntöä syventämällä ei aivan saavutettu laskennallista fosforitilaa (Kuva 2). Viulun leveyden lisääminen 18 tuumasta mahdollisesti tehostaisi maan kääntymistä ja vähemmän fosforia sisältävän pohjamaan sekoittumista muokattuun maakerrokseen.

Näytteenotto- ja kyntösyvyyden vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä (p<0,001) molemmilla alueilla, kun verrattiin ensimmäisen ja toisen muokkauksen jälkeistä tilannetta lähtötilanteeseen (Taulukko 2). Ensimmäisen ja toisen muokkauksen jälkeisillä tilanteilla ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa näytteenotto- ja kyntösyvyyksien välillä, joten muutos tapahtui pääosin jo ensimmäisessä muokkauksessa. Näytteenotto- ja kyntösyvyyksien välillä oli maan muokkaamisen lisäksi kokonainen kasvukausi lietteen levityksineen ja ohrakasvustoineen, mikä osaltaan sekä lisäsi että vähensi helppoliukoisien fosforin pitoisuutta maassa. Hajonta oli myös suurempaa kuin ensimmäisen muokkauksen jälkeisen ja lähtötilanteen välillä.

Tarkastelussa kiinnostavinta on kyntömenetelmän ja näytteenotto- ja kyntösyvyyden yhdysvaikutus, joka odotetusti oli selvempi korkean fosforiluokan alueella (alue 1; p=0,003) kuin hyvän fosforiluokan alueella (alue 2; p=0,086). Ensimmäisen muokkauksen jälkeen helppoliukoisien fosforin pitoisuus väheni odotetusti eniten aivan maan pintakerroksessa (0–2 cm). Muokkausta syventämällä fosforipitoisuus aleni korkean fosforiluokan alueella (alue 1) pinta- ja muokkauskerroksessa enemmän kuin tavanomaisella kyntösyvyydellä, mutta hyvän fosforiluokan alueella (alue 2) ero oli käytännössä merkityksetön. Syvennetyllä kynnöllä fosforipitoisuus lisääntyi selvästi 25–30 cm:n syvyydessä molemmilla alueilla, ja tavanomaisella kyntösyvyydellä pitoisuus nousi 2–20 cm:n syvyydessä alueella 1.

Ensimmäisen ja toisen muokkauksen jälkeen otettujen näytteiden välisissä muutoksissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. Syvennetyllä kynnöllä muutoksia ei numeroarvoisestikaan tapahtu-

nut. Muokattaessa maa toistamiseen tavanomaiseen kyntösyvyyteen, helppoliukaisen fosforin pitoisuudet nousivat etenkin 25–30 cm:n syvyydessä, mutta tämä nousu ei ollut tilastollisesti merkitsevä. On mahdollista, että maan muokkaaminen syksyllä 2011 on huokoistanut maan rakennetta ja lisännyt vedenläpäisevyyttä, minkä takia lietelannasta peräisin olevaa fosforia on saattanut kulkeutua maaprofiilissa alaspäin. Lisäksi maan muokkaaminen syksyllä 2012 on kääntänyt lietelantaa saaneen pinta- maakerroksen syvemmälle.

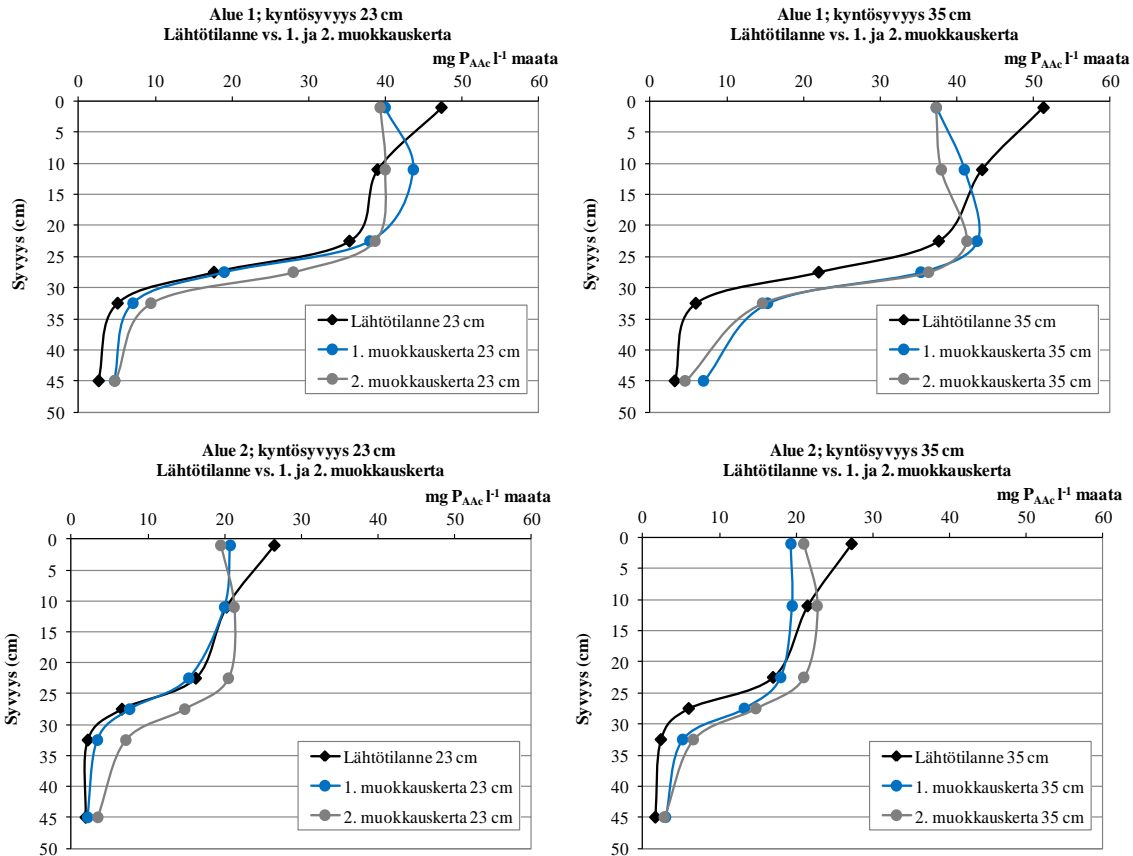
Toisen muokkauksen jälkeisen ja lähtötilanteen vertailu on kolmesta muutostarkastelusta vähiten mielenkiintoisin, koska kaksi peräkkäistä muokkaukset sekoittavat toistensa vaikutusta. Ensimmäisen muokkauksen aiheuttamat muutokset eri syvyyksien välillä näkyvät näissäkin tuloksissa, mutta vaimeammin.

Taulukko 2. Tavanomaisen ja syvennetyn kynnön seurauksena maassa tapahtunut helppoliukaisen fosforipitoisuuden ( $\text{mg P}_{\text{AAC}} \text{ l}^{-1}$  maata) muutos eri syvyyksissä ensimmäisen muokkauksen jälkeen verrattuna lähtötilanteeseen (2012–2011), toisen ja ensimmäisen muokkauksen jälkeen (2013–2012) ja toisen muokkauksen jälkeen verrattuna lähtötilanteeseen (2013–2011). Alue 1 = korkean fosforitilan maa, alue 2 = hyvän fosforitilan maa.

Kyntömenetelmä	Syvyys (cm)	Alue 1†			Alue 2		
		2012–2011	2013–2012	2013–2011	2012–2011	2013–2012	2013–2011
Tavanomainen	0–2	-7,3	-0,7	-8,0	-5,8	-1,3	-7,0
Tavanomainen	2–20	4,7	-3,7	1,0	-0,3	1,3	1,0
Tavanomainen	20–25	2,7	0,7	3,3	-1,1	5,4	4,3
Tavanomainen	25–30	1,3	9,0	10,3	1,0	7,2	8,2
Tavanomainen	30–35	2,0	2,3	4,3	1,3	3,7	5,0
Tavanomainen	40–50	2,1	0,0	2,1	0,3	1,3	1,6
Syvennetty	0–2	-14,0	0,0	-14,0	-8,8	1,0	-6,3
Syvennetty	2–20	-2,3	-3,0	-5,3	-2,0	3,3	1,3
Syvennetty	20–25	5,0	-1,3	3,7	1,0	3,0	4,0
Syvennetty	25–30	13,3	1,0	14,3	7,3	1,5	8,8
Syvennetty	30–35	9,4	-0,7	8,7	2,8	1,4	4,2
Syvennetty	40–50	3,7	-2,4	1,3	1,3	-0,2	1,2
SEM		1,96	2,93	2,67	1,59	2,50	1,95
p-arvot	Kyntömenetelmä				***		
	Syvyys	***		***	***		***
	Kyntömen.*syvyys	**			o		

\*\*\* (P<0,001), \*\* (P<0,01), \* (P<0,05), o (P<0,10)  
† Kerranne 4 poistettu analyysistä.

Maan pH laski ensimmäisen muokkauksen ja lähtötilanteen välillä hieman maan pintakerroksissa, mutta ei syvemmällä. Syvyyden vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä, mutta kyntösyvyyksien välillä ei ollut eroa. Muokkauksen syventäminen ei alentanut orgaanisen aineksen pitoisuutta muokkaukskerroksessa (tuloksia ei ole esitetty).



Kuva 2. Maan helppoliukaisen fosforin keskimääräiset pitoisuudet (viljavuus-P; P<sub>AAc</sub>, mg l<sup>-1</sup> maata) eri syvyyksissä. Pitoisuudet on määritetty näytteenottoalueiden 1 ja 2 lähtötilannetta kuvaavista maanäytteistä sekä seuranta-äytteistä, jotka on otettu syksyllä 2011 (1. muokkauskerta) ja syksyllä 2012 (2. muokkauskerta) noin 23 cm:n ja noin 35 cm:n syvyyteen kynnetyltä lohkolta. Alue 1 = korkean fosforiluokan maa, alue 2 = hyvän fosforiluokan maa. (Alueelta 1 kerranne 4 on poistettu analyysistä.)

### Johtopäätökset

Maan muokkaaminen tavanomaiseen ja syvennettyyn kyntösyvyyteen pienensivät selvästi maan helppoliukaisen fosforin pitoisuutta (viljavuus-P, P<sub>AAc</sub>) maan pintakerroksessa (0–2 cm) molemmilla näytteenottoalueilla, mutta korkean fosforiluokan maalla syvennetty kyntö pienensi fosforipitoisuutta myös 2–20 cm:n syvyudessa. Korkean fosforiluokan alueella fosforipitoisuuden lasku maan pintakerroksessa oli suurempaa, kun kyntösyvyyttä lisättiin tavanomaisesta noin 23 cm:stä 35 cm:n. Ensimmäisellä muokkauskerralla muutoksen suuruus pintamaakerroksessa vastasi varsin hyvin laskennallisesti arvioitua vaikutusta. Maan muokkaaminen 10 cm tavanomaista kyntösyvyyttä syvemältä ei juuri vaikuttanut muokkauskerroksen pH-arvoon tai orgaanisen aineksen pitoisuuteen. Koe oli kuitenkin lyhytaikainen ja se rajoittui vain kahdentyyppisille karkeille kivennäismaille, minkä takia sen tuloksia voidaan pitää suuntaa-antavina. Lisäksi maan heterogeenisuus ja lietalannan käyttö hankaloittivat tulosten tulkintaa.

Kynnön syventäminen on nopea toimenpide, jolla pellon pintamaakerroksen ja mahdollisesti myös muokkauskerroksen fosforitilaa voidaan alentaa tavanomaisella maatalan kalustolla. Usein toistuva voimakas muokkaus voi kuitenkin huonontaa maan rakennetta, ja etenkin hienojakoisilla savi- ja liemillä lisätä eroosiota, ja siten myös maa-ainekseen sitoutuneen partikkelifosforin kuormitusta.

Menetelmänä kynnön syventäminen soveltuu sellaisille karkeille kivennäismaille, joiden pintamaakerroksen fosforitila on korkea tai joilla voidaan olettaa olevan muutoin tavanomaista suurempi fosforin vesistökuormituspotentiaali. Näitä lohkoja esiintyy nautakarja-alueilla suhteellisen vähän. Viljavuuspalvelu Oy:n tilastojen (2006–2010) perusteella voidaan arvioida, että vain noin 4 %:a Pohjois-Savon viljelysmaista on fosforiluvultaan viljavuusluokassa korkea tai arveluttava korkea. Menetelmällä saavutettava fosforitilan alenema suurenee, kun pintamaakerroksen ja sen alapuolella olevien maakerrosten väliset erot fosforipitoisuuksissa kasvavat; fosforipitoisuuden aletessa maaprofiilissa

jyrkästi syvyyden suhteen. Koska muokkaustulos voidaan ennustaa eri syvyyksistä otettujen maanäytteen helpoliukaisen fosforin pitoisuuksien perusteella, on ennen toimenpidettä hyvä selvittää maaperän ominaisuudet (muokkauskerroksen ja jankon fosforitila, kivisyys ja pH).

Kun kynnön syventäminen yhdistetään fosforilannoituksen vähentämiseen, tarjoaa se menetelmänä nopean keinon alentaa pintamaan helpoliukaisen fosforin pitoisuutta, ja siten pienentää sen kuormituspotentiaalia. Huuhtoumariskin pienenemisen lisäksi tällä voi olla viljelijän kannalta tietyissä rajapitoisuuksissa huomattava käytännön merkitys lietteen käyttörajoitusten kannalta, jos muokkauskerroksen viljavuusluokka alenee muokkauksen seurauksena. Fosforirikkailla lohkoilla maan muokkaamista tavanomaista syvempään ei kuitenkaan voi suositella usein toistettavaksi, koska se voi nostaa maan fosforitilaa koko muokkaussyvyydeltä.

## Kirjallisuus

**Ekhholm, P., Turtola, E., Grönroos, J., Seuri, P. & Ylivainio, K.** 2005. Phosphorus loss from different farming systems estimated from soil surface phosphorus balance. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 110: 266–278.

**Hartikainen, H.** 1979. Phosphorus and its reactions in terrestrial soils and lake sediments. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 51:537–624.

**Jobbágy, E.G. & Jackson, R. B.** 2001. The distribution of soil nutrients with depth: Global patterns and the imprint of plants. *Biogeochemistry* 53:51–77.

**Kaila, A.** 1963. Dependence of the phosphate sorption capacity on the aluminium and iron in Finnish Soils. *The Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 35:165–177.

**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 Finnish clay soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 120: 299–306.

**Peltovuori, T.** 2002. Phosphorus extractability in surface soil samples as affected by mixing with subsoil. *Agricultural and Food Science in Finland* 11: 371–379.

**Pietola, L. & Virkajärvi, P.** 2010. Laadukkaan nurmen fosforitalous ja -lannoitus ympäristöä hoitaen. Teoksessa: Hopponen, A. (toim.). *Maataloustieteen Päivät*, 12.–13.2010. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 26: 6 s

**Saarela, I. & Vuorinen, M.** 2010. Stratification of soil phosphorus, pH, and macro-cations under intensively cropped grass ley. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 86: 367–381.

**Saarijärvi, K., Karpainen, M., Uusi-Kämpä, J., Turtola, E. & Virkajärvi, P.** 2006. Laitumen fosforitalous ja vesistökuormituksen hallinta. s. 23–33. Teoksessa: Alakukku, L. (toim.). *Maaperän prosessit – pellon kunnan ja ympäristönhoidon perusta*. Maa- ja elintarviketalous 82. 128 s.

**Sharpley, A.N.** 1985. Depth of surface soil-runoff interaction as affected by rainfall, soil slope, and management. *Soil Science Society of America Journal* 49: 1010–1015.

**Sharpley, A.N.** 1995. Dependence of runoff phosphorus on extractable soil phosphorus. *Journal of Environmental Quality* 24: 920–926.

**Sharpley, A.N.** 2003. Soil mixing to decrease surface stratification of phosphorus in manured soils. *Journal of Environmental Quality* 32: 1375–1384.

**Turtola, E. & Yli-Halla, M.** 1999. Fate of phosphorus applied in slurry and mineral fertilizer: accumulation in soil and release into surface runoff water. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 55: 165–174.

**Viljavuuspalvelu Oy.** 2008. Viljavuustutkimuksen tulkinta peltoviljelyssä. 8 s. <http://www.viljavuuspalvelu.fi/sites/default/files/sites/default/files/oppaat/2008%20Viljavuustutkimuksen%20tulkinta%20peltoviljelyss%C3%83%C2%A4.pdf>

**Vuorinen, J. & Mäkitie, O.** 1955. The method of soil testing in use in Finland. *Agrogeological Publications* 63: 1–44.