

Jäätyminen lisää nurmikasvuston fosforihuuhtoumaa – kasvuston korjaaminen pienentää

Jaana Uusi-Kämpä

MTT, Kasvintuotannon tutkimus, Planta, 31600 Jokioinen, jaana.uusi-kamppa@mtt.fi

Tiivistelmä

Vesistöihin tulevasta fosforikuormasta arvioidaan 60 % olevan peräisin maataloudesta. Kuormitusta pyritään vähentämään mm. lisäämällä peltujen talviaikaista kasvipeitteisyyttä. Tällä tavalla voidaankin vähentää maa-ainekseen sitoutuneen fosforin määrää. Sen sijaan liuenneen fosforin osuus saattaa jopa kasvaa luonnonhoitopeltujen, viherkesantojen ja suojavyöhykkeiden lannoittamattomilta nurmilta. Nimenomaan liennut fosfori aiheuttaa vesistöissä rehevöitymistä ja sinileväkukintoja

Lintupajun kentällä Jokioisissa on tutkittu vuodesta 1991 lähtien eroosion ja ravinnekuormituksen vähentämistä suojavyöhykkeillä. Samalla on tutkittu liuenneen fosforin kuormitusta lannoittamattomasta nurmesta. Koeruuduilta on otettu ravinneanalyysiin pintavaluma-, pintamaa- ja kasvinäytteitä. Lisäksi kerättiin maan päällistä biomassaa ja kasvipeitteisiä maalieriöitä, joita huuhdeltiin tai sadetettiin sekä ennen että jälkeen jäätyminen ja sulamisen. Laboratorio-olosuhteissa toteutetulla jäätymisellä ja sulamisella jäljiteltiin luonnon tapahtumia keväällä. Huuhteluvesi tai sadetuksen aikana kertynyt pintavalumavesi kerättiin analyysiin, joissa mitattiin liuenneen fosforin (suodattimen huokoskoko 0,2 µm) ja kokonaisfosforin pitoisuudet.

Pintavalumanäytteissä liuenneen fosforin pitoisuus ja määrä olivat suuria keväällä. Suurimmat pitoisuudet mitattiin silloin, kun suojavyöhykkeiden yläpuolisella pellolla kasvoi laidunnurmi. Pellon ollessa kynöksellä liuenneen fosforin pitoisuudet olivat niittämättömiltä luonnonkasvi- ja suojavyöhykeruuduilta suuremmat kuin niitetyiltä nurmivyöhykeruuduilta tai ilman suojavyöhykettä viljellyiltä ruuduilta. Fosforia kertyi suojavyöhykkeillä maan pintakerrokseen (0–2 cm), suurimpien pitoisuuksien ollessa luonnonvaraisia kasveja kasvavalla vyöhykkeellä (16 mg l⁻¹). Myös niitetyillä tai laidunnetulla suojavyöhykkeellä fosforipitoisuus (7 mg l⁻¹) oli maan pinnassa lähes kaksinkertainen kuin sen alapuolella olevassa kerroksessa (2–5 cm). Kasvisolujen jäätyminen ja sulaminen ilmeisesti rikkoi niitä, jolloin fosforipitoisia yhdisteitä pääsi vapautumaan. Kasvit pumppasivat syvemmältä maasta fosforia, joka rikastui maan pintaan kuolleista kasvisoluista. Niittämättömästä suojavyöhykenurmesta arvioitiin vapautuvan jopa 3 kg ha⁻¹ kokonaisfosforia, josta suurin osa oli liuenneessa muodossa. Sadetuskokeessa vastaavasti liuenneen fosforin pitoisuus niitetyn nurmikaistan pintavalunnassa kasvoi jopa 14-kertaiseksi jäätyminen ja sulamisen ansiosta.

Tulosten perusteella voidaan päätellä, että lannoittamattomilta nurmilta voi vapautua runsaasti liuennutta fosforia, joka sitoutuu maan pintaan tai kulkeutuu veden mukana. Valumavesi huuhtoo fosforia maan pinnasta ja kasvisoluista kuljettaen sitä vesistöihin. Vaikka niittäminen poistaa maanpäällistä biomassaa ja vähentää fosforin määrää lannoittamattomilla nurmimailla, odelmassa saattaa olla runsaasti huuhtoutumiselle altista fosforia. Sen takia tulee selvittää, paljonko huuhtoutumiselle altista fosforia on jäljellä syksyllä eri aikoina niitetyissä nurmikasvustoissa ja milloin on huuhtoutumisen vähentämisen kannalta optimaalinen niittoajankohta.

Asiasanat: fosfori, nurmi, jäätyminen, sulaminen, pintavalunta, suojavyöhykkeet, niitto

Johdanto

Tiheä nurmi estää tehokkaasti peltomaan eroosiota ja siten vähentää maa-ainekseen sitoutuneen fosforin kulkeutumista vesistöön. Useissa tutkimuksissa viljellyn nurmen kokonaisfosforikuormitus on saattanut olla suuri sen takia, että nurmen pintaan on levitetty fosforilannoitetta. Myös liuenneen fosforin määrä kevään pintavalunnassa saattaa olla suuri lannoittamattomilta nurmilta. Tällaisia nurmia ovat mm. pellon reunaan perustetut suojavyöhykkeet (7400 ha vuonna 2010), luonnonhoitopellot (163 000 ha) sekä viherkesannot (44 000 ha). Esimerkiksi Lintupajun suojavyöhykekentällä Jokioisissa liuennutta fosforia kulkeutui $0,3 \text{ kg ha}^{-1}$ kevään pintavalumavesien mukana (Uusi-Kämpä 2005). Bechmann ym. (2005) totesivat 8 kertaa toistetun jäätymis-sulamis-tapahtuman jälkeen vesiliukoisen fosforipitoisuuden valumavedessä olevan suurempi kerääjäkasveja kasvavalla pellolla ($9,7 \text{ mg l}^{-1}$) kuin kasvipeitteettömällä maalla ($0,14 \text{ mg l}^{-1}$). Aikaisempien tutkimusten (esim. Timmons ym. 1970, Sturite ym. 2007) mukaan liuennut fosfori on peräisin pakkasen rikkomista kasvisoluista, joista vapautuu fosforia ja tyypeä sisältäviä yhdisteitä. Liuenneen fosforin määrää valumavesissä tulee tarkkailla, sillä sen tiedetään aiheuttavan vesien rehevöitymistä ja leväkukintoja.

Koekenttä ja -järjestelyt

Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksessa (MTT) on tutkittu vuodesta 1991 lähtien Lintupajun koekentällä (0,7 ha) suojavyöhykkeiden kykyä vähentää pellon pintavalunnasta eroosioainesta ja ravinteita kuten fosforia (Uusi-Kämpä ja Jauhiainen 2010). Lintupajussa on kaksi erilaista suojavyöhykekoeruutua (10 m leveä niitetty kylvönurmivyöhyke ja 10 m leveä hoitamaton luonnonkasvivyöhyke, jossa kasvaa luonnonvaraisia heiniä, pensaita ja lehtipuita). Niiden tuloksia verrataan ilman suojavyöhykettä viljeltyyn ruutuun (70 m pitkä 18 m leveä). Koekentältä on otettu erilaisia näytteitä myös liuenneen fosforin määrittämisä varten. Pintavalumanäytteitä on kerätty jatkuvasti maan pinnasta 30 cm:n syvyyteen asti. Näytteistä on määritetty mm. kokonaisfosfori ja liuennut fosfori. Pintamaanäytteitä on otettu eri kerroksista 0–2, 2–5 ja 5–10 cm keväällä ja syksyllä, ja niistä on määritetty kasveille käyttökelpoisen fosforin pitoisuudet ammoniumasetaattimenetelmällä (P_{Ac}).

Lisäksi on tehty yksittäisiä kokeita, joissa on pyritty selvittämään liuenneen fosforin alkuperää ja vähentämään sen kulkeutumista pintavalunnan mukana. Vuonna 1998 eri kasvuvaiheessa olevista suojavyöhykekasveista määritettiin niiden kuiva-ainesato ja fosforipitoisuus. Lokakuussa 2003 kerättiin kasvustonäytteitä, joita vuoroin jäädytettiin, sulatettiin ja huuhdeltiin vedellä. Huljutteluvesi, joka kuvasi kevään pintavalumavettä, kerättiin laboratorioanalyysiin kokonaisfosforin ja liuenneen fosforin määrittämisä varten. Marraskuussa 2008 Jokioisten (Lintupaju) ja Pöytyän niitetyiltä suojavyöhykeiltä otettiin 6 cm paksuja kasvipeitteisiä maaliერიöitä, joita vuoroin jäädytettiin, sulatettiin ja sadetettiin laboratoriossa. Jäädyttäminen ja sulaminen vastasivat luonnossa kevättälvella tapahtuvia jäätyksiä ja sulamisia. Sadetuksen aikana lieriöiden pinnalta valunut vesi kerättiin fosforianalyysiin. Lieriöiden pintaan lisättiin Ca- tai Fe-pitoisia yhdisteitä, joiden tarkoituksena oli sitoa fosforia (Uusi-Kämpä ym. 2011).

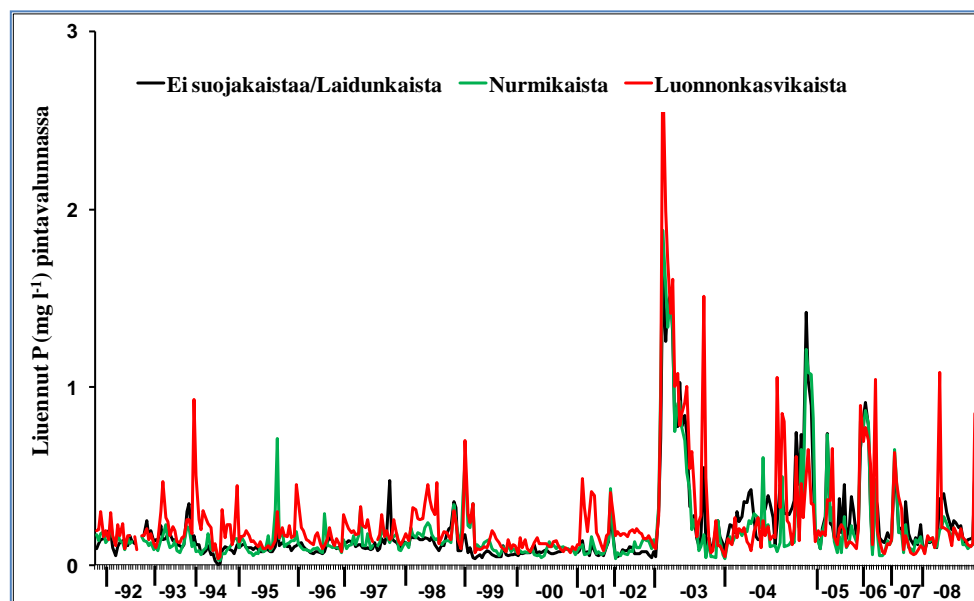
Vesinäytteistä määritettiin kokonaisfosfori ja liuennut fosfori SFS-standardeja 3026 ja 3025 hyväksikäyttäen. Liuennut fosfori määritettiin suodatetuista vesinäytteistä (suodatimen huokoskoko $0,2 \mu\text{m}$). Kokonaisfosforin pitoisuus mitattiin näytteestä, joka oli hapetettu autoklaavissa peroksidisulfaatin avulla. Maan viljavuusfosfori määritettiin Vuorisen ja Mäkitien vuonna 1955 kehittämää hapanta ammoniumasetaattimenetelmää hyväksikäyttäen. Märkäpoltetuista kasvinäytteistä määritettiin fosforipitoisuudet plasmaemissiospektrofotometrin avulla (Huang ja Schulte 1985).

Tulokset ja tulostentarkastelu

Koekentän valumavedet

Lintupajun suojakaistakentällä liuenneen fosforin pitoisuus pintavalunnassa oli suurin kevätvalunnan aikana (Uusi-Kämpä ja Jauhiainen 2010). Kuormitus oli suurimmillaan vuosina 2003–2006, kun suojavyöhykkeiden yläpuolella oleva pelto oli nurmella. Laidunnurmea ei lannoitettu fosforilannoitteilla yhtä poikkeusta lukuun ottamatta. Erityisen suuria liuenneen fosforin pitoisuuksia mitattiin keväällä 2003 (Kuva 1). Kentälle oli edellisenä vuonna kylvetty nurmensiemen suojaviljan kanssa. Maata ei ollut kynnetty, mutta ensimmäisen vuoden nurmi oli jäänyt harvaksi vähäsateisen kasvukauden takia. Lämmin sää oli jatkunut pitkälle syyskuuhun. Lokakuun alussa maahan tuli pysyvä lumipeite, vaikka puissa oli vielä lehdet. Syksyn pienellä sademäärällä sekä nopealla talventulolla saattoi olla oma osuutensa seuraavan kevään suuriin liuenneen fosforin päästöihin. Liuennutta fosforia oli paljon

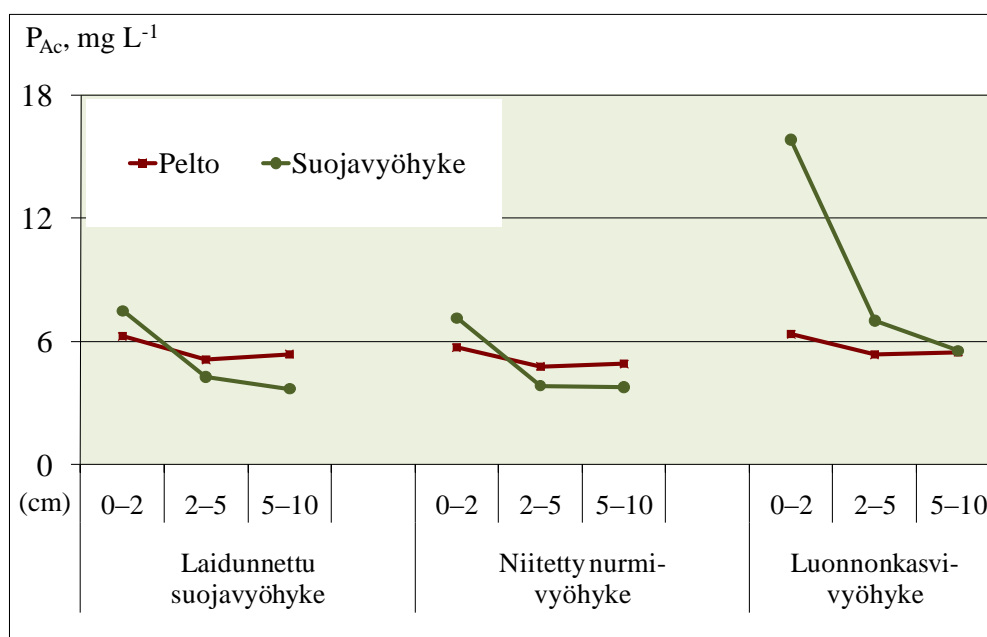
myös keväällä 2007, kun koekentän nurmi oli edellisenä syksynä tuhottu glyfosaattiruiskutuksella. Ruotsissa vastaavia tuloksia glyfosaatin käytön jälkeen olivat saaneet Ulén ja Kalisky (2005).



Kuva 1. Lienen fosforin pitoisuuksia Lintupajun suojavyöhykekentän pintavalunnassa (vuosina 1991–2002 syyskyntö, 2003–2006 laidun ja 2007–2008 suorakylvö).

Pintamaan fosforipitoisuudet

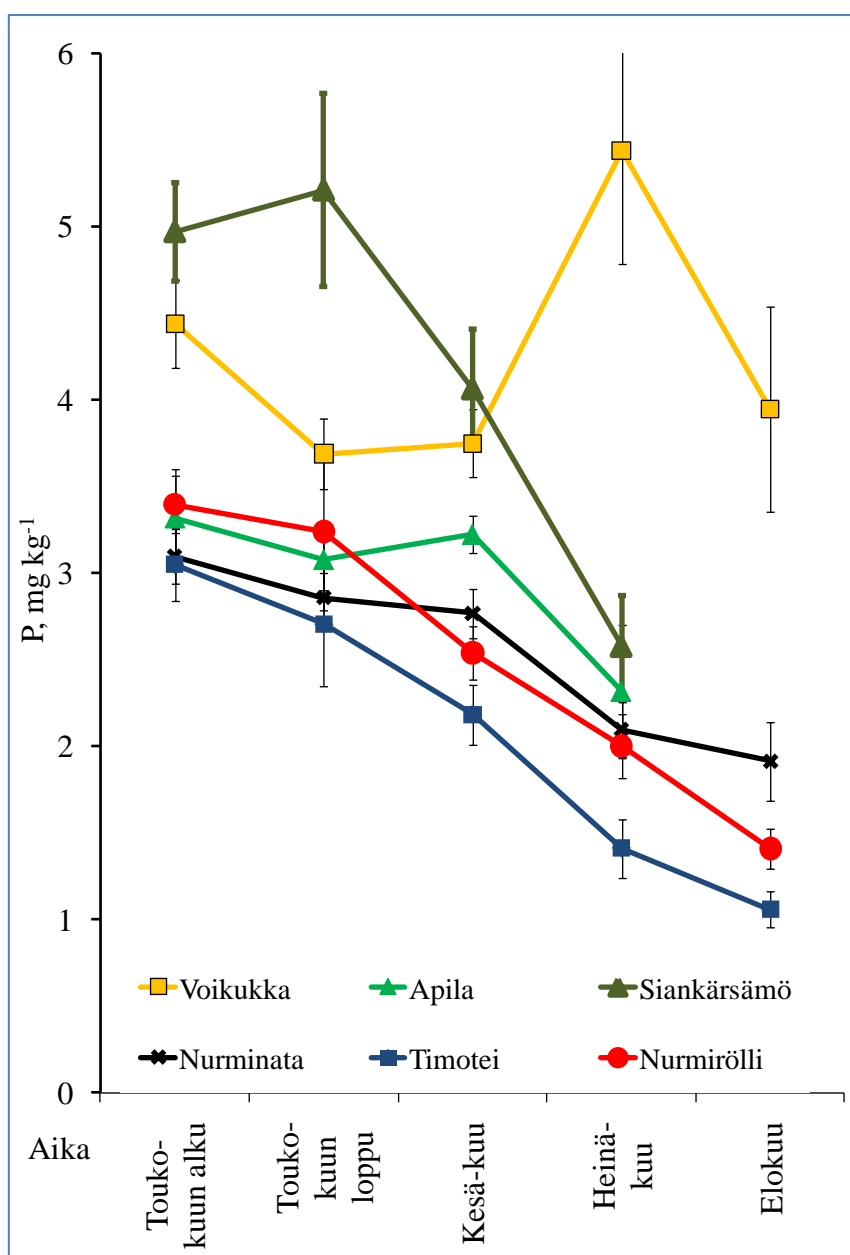
Suurimmat maan viljavuusfosforin pitoisuudet (18 mg l^{-1}) olivat luonnonvaraisia kasveja kasvavilla suojavyöhykkeillä, joilta kasvustoa ei ollut korjattu (Uusi-Kämpä & Jauhiainen 2010). Alemmissa maakerroksissa pitoisuudet olivat pienempiä kuin pintamaassa. Luonnonkasvivyöhykkeillä 2 cm:n pintamaakerroksessa oli jopa 2,5-kertaisia fosforipitoisuuksia verrattuna alempiin maakerroksiin (Kuva 2). Niitetyillä nurmea kasvavilla suojavyöhykkeillä pitoisuudet eivät olleet yhtä suuret kuin luonnonkasvivyöhykkeillä, mutta niissäkin suurimmat pitoisuudet mitattiin maan pintakerroksesta. Jos pintamaassa on runsaasti fosforia, osa siitä voi huuhtoutua kevään valumavesien mukana. Useissa tutkimuksissa (esim. Sharpley ym. 1977, Turtola ym. 1999) on todettu, että pintamaan suuri fosforipitoisuus ennustaa suurta liuenneen fosforin pitoisuutta pintavalunnassa.



Kuva 2. Viljavuusfosforin (P_{Ac}) pitoisuus pintamaan eri kerroksissa (0–2, 2–5 ja 5–10 cm) pellolla sekä laidunnetulla, niitetyllä ja luonnonvaraisella suojavyöhykkeellä.

Kasvien fosforipitoisuudet

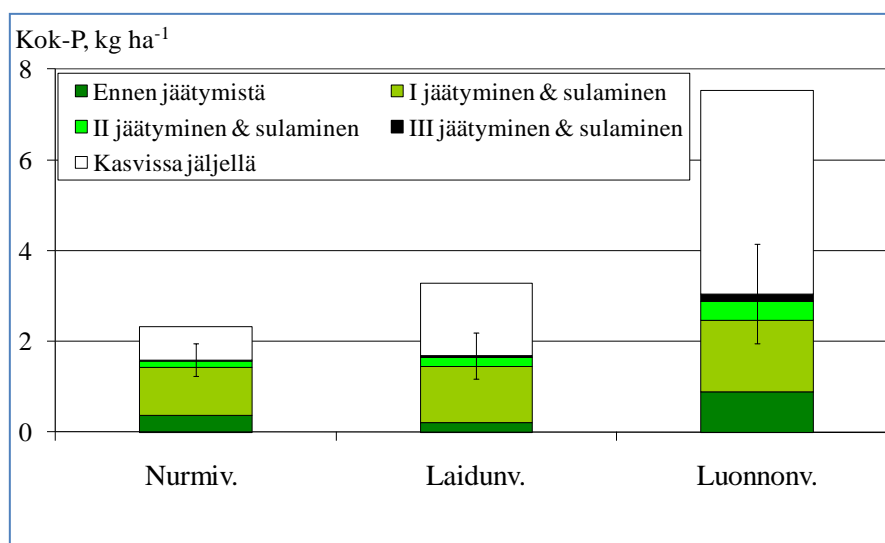
Fosforipitoisuudet vaihtelevat kasvien maanpäällisissä osissa kasvukauden aikana (Uusi-Kämpä ja Kilpinen 2000). Suurimmat pitoisuudet ($3,1\text{--}5,0\text{ mg g}^{-1}$) määritettiin suojavyöhykkeen kasveista kasvukauden alussa, kun biomassan määrä oli vielä pieni (Kuva 3). Biomassan määrä kasvoi kasvukaudella ja oli suurimmillaan kukinnan ja siementen muodostumisen aikana, jolloin myös mitattiin suurimmat fosforimäärät sadossa. Vähitellen fosforipitoisuudet laskivat ollen alimmillaan kasvukauden päättyessä ($1,1\text{--}4,0\text{ mg g}^{-1}$). Jos nurmimaan fosforilukua halutaan laskea poistamalla mahdollisimman paljon fosforia korjatun kasvuston mukana, paras korjuuajankohta on kesä-heinäkuun vaihteessa. Fosforipitoisuudet vaihtelivat myös kasvilajeittain. Voikukalla ja siankärsämöllä ($2,5\text{--}5,5\text{ mg g}^{-1}$) oli suuremmat pitoisuudet kuin heinäkasveilla ja valkoapilalla ($1,3\text{--}3,5\text{ mg g}^{-1}$). Säädösten mukaan viherkesannot tulisi niittää ennen elokuun loppua ja suojavyöhykekasvustot vasta elokuusta lähtien. Siten viherkesantomaiden fosforilukua on mahdollista pienentää valitsemalla sopivan niittoajankohdan. Sen sijaan suojavyöhykkeillä, joihin kertyy fosforia pellon valumavesistä, optimaalisen niittoajankohdan valinta ei ole mahdollista.



Kuva 3. Kasvien fosforipitoisuudet kasvukauden eri aikoina vuonna 1998 (Uusi-Kämpä ja Kilpinen 2000).

Kasveista vapautunut fosfori

Suojavyöhykkeiltä kerätystä maanpäällisestä biomassasta vapautui jäätyminen ja sulamisen seurauksena fosforia 1,6–3,1 kg ha⁻¹ (Kuva 4). Eniten fosforia vapautui kasvustosta, jota ei ollut niitetty. Runsaasti fosforia vapautui myös kasveista, jotka olivat kasvaneet lehmän virtsa- ja lantalaikuissa.



Kuva 4. Suojavyöhykkeikasveista veteen vapautuneen kokonaisfosforin määrä sekä ennen että jälkeen jäätyminen ja sulamisen.

Rädyn ym. (2010) tulosten mukaan suojavyöhykkeikasvien maanpäällisistä osista hävisi ensimmäisten pakkasten jälkeen 6,1 kg fosforia ja 10 kg typpeä hehtaaria kohden. Osa fosforista todennäköisesti siirtyi juuriin, mutta osa siitä saattoi myös vapautua ympäristöön, sitoutua maaperään tai huuhtoutua. Ruotsissa tehdyissä kokeissa Liu ym. (2011) esittivät, että kasvin maanpäällisten osien lisäksi myös juurista vapautuu fosforia jäätyminen ja sulamisen seurauksena. Osa juurista vapautuneesta fosforista todennäköisesti sitoutuu maahan, joten juurista vapautunut fosfori ei huuhtoudu yhtä helposti kuin maan päällisistä kasvinosista vapautunut fosfori.

Sadetuskokeen pintavaluma

Monoliittien sadetuskokeessa selvisi, että ennen jäätymistä ja sulamista liuenneen fosforin pitoisuudet monoliittien pintavalunnassa olivat keskimäärin 0,19 mg l⁻¹ (Jokioisten näytteet) ja 0,46 mg l⁻¹ (Pöytyän näytteet). Jäätymis-sulamis-käsittelyn jälkeen pitoisuudet kasvoivat jopa 14-kertaiseksi olleen 2,63–3,67 mg l⁻¹ (Uusi-Kämpä ym. 2011). Sen sijaan partikkelifosforin pitoisuus, joka oli huomattavasti pienempi kuin liuenneen fosforin pitoisuus, laski jäätyminen seurauksena arvosta 0,44–0,94 mg l⁻¹ kolmanteen osaan (0,16–0,34 mg l⁻¹). Liuenneen fosforin pitoisuus pieneni 57–80 %, kun suojavyöhykkeen pintaan lisättiin rautapitoista yhdistettä kuten rautakipsiä (6 tn ha⁻¹) tai vedenpuhdistuslaitoksella käytössä olevaa kemikaalia Ferix-3 (0,7 tn ha⁻¹).

Johtopäätökset

Vaikka kasvipeite estääkin tehokkaasti eroosioaineksen ja siihen sitoutuneiden ravinteiden kulkeutumista pellolta vesistöön, niin jäätyneen maan kasvipeitteestä voi huuhtoutua runsaasti liuennutta fosforia pintavalunnan mukana. Fosforin määrä pintavalunnassa on pienempi, kun nurmikasvusto on niitetty ja korjattu pois. Myös niittoajankohta saattaa vaikuttaa siihen, paljonko kasveihin on talventuloon mennessä kertynyt huuhtoutumiselle altista fosforia; eri-ikäisten kasvien fosforipitoisuus vaihtelee. Tämän takia on selvítettävä huuhtoutumisen estämisen kannalta edullisin niittoajankohta nurmille. MTT:ssä on meneillään kokeita mm. luonnonhoitopeltojen niittoajankohdan vaikutuksesta ravinnekuormitukseen.

Kirjallisuus

Bechmann, M.E., Kleinman, P.J.A., Sharpley, A.N. & Saporito, L.S. 2005. Freeze-thaw effects on phosphorus loss in runoff from manured and catch-cropped soils. *J. Environ. Qual.* 34: 2301–2309.

- Huang, C.-Y.L. & Schulte, E.E.** 1985. Digestion of plant tissue for analysis by ICP emission spectroscopy. *Commun. Soil. Sci. Plant Anal.* 16: 943–958.
- Liu, J., Khalaf, R. & Ulén, B.** 2011. Potential of phosphorus (P) release from eight catch crops. In: Realistic expectations for improving European waters. Final conference of COST Action 869. Mitigation Options for Nutrient Reduction in Surface Water and Groundwaters. Keszthely, Hungary, 12–14 October 2011. Abstracts. s. 43.
- SFS 3025.** Veden fosfaatin määrittäminen. 1986. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 10 s.
- SFS 3026.** Veden kokonaisfosforin määrittäminen. Hajotus peroksidisulfaattilla. 1986. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 11 s.
- Räty, M., Uusi-Kämppä, J., Yli-Halla, M., Rasa, K. & Pietola, L.** 2010. Phosphorus and nitrogen cycles in the vegetation of differently managed buffer zones. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 86: 121–132. DOI 10.1007/s10705-009-9277-4
- Sharpley, A.N., Tillman, R.W. & Syers J.K.** 1977. Use of laboratory extraction data to predict losses of dissolved inorganic phosphate in surface runoff and tile drainage. *J. Environ. Qual.* 6: 33–35.
- Sturite, I., Henriksen, T.M. & Breland, T.A.** 2007. Winter losses of nitrogen and phosphorus from Italian ryegrass, meadow fescue and white clover in a northern temperate climate. *Agric. Ecosyst. Environ.* 120: 280–290.
- Timmons, D.R., Holt, R.F. & Latterell, J.J.** 1970. Leaching of crop residue as a source of nutrients in surface runoff water. *Water Resour. Res.* 5:1367–1375.
- Turtola, E. & Yli-Halla, M.** 1999. Fate of phosphorus applied in slurry and mineral fertilizer: accumulation in soil and release into surface runoff water. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 55: 165–174.
- Ulén, B. & Kalisky, T.** 2005. Water erosion and phosphorus problems in agricultural catchments—need for natural research for implementation of the EU Water Framework Directive. *Environ. Sci. Policy* 8: 477–484.
- Uusi-Kämppä, J.** 2005. Phosphorus purification in buffer zones in cold climates. *Ecol. Eng.* 24:491–502.
- Uusi-Kämppä, J. & Jauhiainen, L.** 2010. Long-term monitoring of buffer zone efficiency under different cultivation techniques in boreal conditions. *Agr. Ecosyst. Environ.* 137:75–85.
- Uusi-Kämppä, J. & Kilpinen, M.** 2000. Suojakaistat ravinnekuorituksen vähentäjänä. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 83.
- Uusi-Kämppä, Turtola, E., Närvänen, A., Jauhiainen, L. & Uusitalo, R.** 2011. Phosphorus mitigation during springtime runoff by amendments applied to grass. *J. Environ. Qual.* 40: x–x. doi:10.2134/jeq2010.0441. Painossa.
- Vuorinen, J. & Mäkitie, O.** 1955. The method of soil testing in use in Finland. *Agrogeol. Publ.* 63: 1–44.