

Lannoitetypen huuhtoutumisen kinetiikasta ja määristä ruokohelvellä ja nurmella

Simo Jokinen¹, Christina Biasi¹, Hannu Nykänen², Mari Rätty³, Perttu Virkajärvi³, Pertti Martikainen¹

¹Itä-Suomen Yliopisto, Ympäristötieteen laitos, PL 1627, 70211 Kuopio, simo.jokinen@uef.fi / simo.jokinen@mtt.fi

¹Itä-Suomen Yliopisto, Ympäristötieteen laitos, PL 1627, 70211 Kuopio, christina.biasi@uef.fi

²Jyväskylän Yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos, PL 35, 40014 Jyväskylä, hannu.k.nykanen@jyu.fi

³Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MTT), Halolantie 31A, 71750 Maaninka, mari.raty@mtt.fi

³Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MTT), Halolantie 31A, 71750 Maaninka, perttu.virkajarvi@mtt.fi

¹Itä-Suomen Yliopisto, Ympäristötieteen laitos, PL 1627, 70211 Kuopio, pertti.martikainen@uef.fi

Tiivistelmä

Maatalous aiheuttaa noin 50 % Suomen vesistöjen typpikuormituksesta. Huuhtoumaan vaikuttaa mm. kasvilaji. Monivuotisten energiakasvien typpihuuhtoumia ei tunneta hyvin. Tässä työssä verrattiin Ruokohelven (*Phalaris arundinaceae*) ja nurmen typen huuhtoumia kivennäismaalla. Nurmiviljelyn tiedetään vähentävän typpihuuhtoumaa. Ruokohelvi on bioenergiakasvina osoittautunut tehokkaaksi hiilinieluksi eloperäisillä mailla, ja sen dityppioksidipäästöt eloperäisiltä mailta ovat olleet alhaiset. Tutkimuksessa sovellettiin isotooppi tekniikoita antamalla typpilannoitus typpi-15 rikastetulla (10 AT-%) ammoniumnitraattina ($^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$). Työssä määritettiin mikä on lannoitetypen huuhtouman osuus kokonaistyppihuuhtoumasta..

Ruokohelvi- ja nurmikoealat lannoitettiin noudattaen kasvikohtaisia käytäntöjä (ruokohelvi 80 kg N ha⁻¹, nurmi 2 * kertaan 100 kg N ha⁻¹). Vesinäytteet kerättiin typpianalyysiin maaperään 0,8 m syvyyteen esiasennetuista keraamisista imuputkista. Näytteistä määritettiin mineraalityypen (NH₄ ja NO₃) pitoisuudet sekä niiden typpi-isotooppi koostumukset. Näytteenottomenetelmä ei sallinut huuhtouman määrällistä arviointia, vaan enemmänkin laadullisen (15N/14N). Tutkimus toteutettiin Maaningalla kesäkuusta 2011 kesäkuuhun 2012 koealoilla, jotka oli perustettu keväällä 2009.

Kummallakin kasvilla nitraattityppipitoisuudet 0,8 m syvyydellä olivat keskimäärin 7 mg NO₃-N l⁻¹ heinäkuun loppuun asti, jonka jälkeen NO₃-N-pitoisuudet lähtivät laskuun, ruokohelvellä nopeammin. Lokakuun 2011 lopussa ruokohelviljelmän NO₃-N pitoisuus jäi alle 1 mg l⁻¹ kun se nurmella oli 3,5 mg l⁻¹.

Ensimmäisen lannoituksen jälkeen lannoitetypen prosentuaalinen osuus 0,8 m syvyyden nitraattitypestä oli kummallakin kasvilla alle 1 %. Ruokohelvellä lannoiteperäinen huuhtouma ei juuri muuttunut kasvukauden edetessä. Nurmelle annettu toinen lannoitus nosti lannoiteperäisen typen huuhtouman 34,5±19,2 %:iin. Suuri huuhtouma liittyi todennäköisesti toisen lannoituksen jälkeen tulleeseen rankkasateeseen, mikä huuhtoi pintamaahan kertynyttä lannoitetyypeä syvemmälle maaprofiiliin. Kohonnutta lannoitetypen huuhtoumaa ei kuitenkaan seurannut kohonnut NO₃-N kokonaispitoisuus.

Nurmelta huuhtoutuvan nitraattityypen kokonaispitoisuus ei poikennut merkittävästi ruokohelven vastaavasta, vaikka nurmea lannoitettiin enemmän. Sen sijaan toista lannoitusta seurannut lannoitetypen huuhtouma nurmelta oli huomattavan korkea.

Asiasanat: ruokohelvi, nurmi, typpihuuhtouma, typpi-15

Johdanto

Maatalous aiheuttaa Suomessa noin 50 % vesistöihin kohdistuvasta typpihuuhtoumasta (Valpasvuo-Jaatinen ym., 1997). Huuhtoumaan vaikuttavat mm. kasvilaji ja sen vaatima viljelykäytäntö sekä vallitsevat sääolot. Pohjois-Savo on voimakasta nautakarjatalousaluetta ja nurmenviljely kattaa noin 50 % peltopinta-alasta (TIKE, 2012). Tavanomaisten nurmikasvien typen hyväksikäyttö on nurmivuosina tehokasta. Koska nurmi pystyy hyödyntämään voimakkaankin typpilannoituksen, huuhtoumat ovat useimmiten vähäisiä (Salo ym., 2013). Sen sijaan monivuotisten energiakasvien typpihuuhtoumia ei tunneta hyvin ja suurin osa tiedoista on peräisin eloperäisiltä mailta (mm. Partala & Turtola, 2000). Tässä työssä verrattiin bioenergiaksi tuotetun ruokohelven (*Phalaris arundinaceae* L.) ja tyypillisen säilörehunurmen typen huuhtoumia kivennäismaalla. Ruokohelvi on bioenergiakasvina osoittautunut tehokkaaksi hiilinieluksi eloperäisillä mailloilla (Shurpali ym., 2009), ja sen dityppioksidipäästöt eloperäisiltä mailta ovat olleet alhaiset (Hyvönen ym., 2009), mikä liittyy tämän kasvin tehokkaaseen typen hyödyntämiseen. Yksi syy mataliin päästöihin eloperäisillä mailloilla on se, että keväisin korjattavalle ruokohelvelle annettava typpilannoitusmäärä on huomattavasti alhaisempi kuin säilörehutuotannossa.

Typpilannoituksen määrän lisäksi typen huuhtoutumiseen ja sen dynamiikkaan vaikuttavat myös muut viljely- ja säätekijät, kuten lannoituksen ajoitus ja kerta-annoksien suuruus sekä voimakkaiden sateiden ajoittuminen pian lannoituksen jälkeen (Whitehead, 1995). Myös sadonkorjuu heikentää hetkellisesti kasvien kykyä käyttää lannoitetyypeä (Richards, 1993). Lannoitetyypen oton ja huuhtoutumisen dynamiikan parempi tuntemus auttaisi kehittämään entistä parempia viljelykäytäntöjä ja vertailemaan erilaisten tuotantomuotojen vaikutusta typen huuhtoutumiseen.

Typpihuuhtouman dynamiikkaa selvittävä tutkimus on osa laajempaa kokonaisuutta, jossa vertaillaan kevätkorjattavan ruokohelven sekä kahdesti kesässä korjattavan säilörehunurmen maaperä- ja ilmastovaikutuksia kivennäismaalla. Kummankin viljelykasvin tuotannossa noudatettiin tyypillisiä kasvikohtaisia viljelykäytäntöjä (Mavi, 2013). Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli seurata lannoitetyypen (ammonium ja nitraatti) liikkumista maaprofiilissa eri syvyyksiin asennettujen vesikeräinten avulla. Tässä raportissa käsitellään vain 0,8 m syvyyden tuloksia. Koska tämä syvyys on nurmikasvien pääasiallisen juuristovyöhykkeen alapuolella (Salonen, 1949), voidaan vesinäytteistä löytyneen typen tulkita kuvaavan typen huuhtoutumisriskiä. Lannoitetyypenä käytettiin typpi-15-rikastettua ammoniumnitraattia, ja vesinäytteistä määritettiin typpikonsentraatiot sekä niiden lannoitetyypen osuus ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ -isotooppikoostumus) aikasarjana. Näiden tietojen avulla on mahdollista määrittää lannoitetyypen osuus kokonaistypestä ja arvioida huuhtoumariskiä mutta ei absoluuttista typen huuhtouman määrää.

Aineisto ja menetelmät

Tutkimus suoritettiin MTT:n Maaningan tutkimusasemalla, Pohjois-Savossa. Tutkimuksessa käytettiin 6.4 hehtaarin kivennäismaapeltoa (Taulukko 1), jolle kylvettiin kesällä 2009 ruokohelvi (lajike Palaton). Ruokohelpiviljelmää aloitettaessa rajattiin tutkimuspelloilta kolme 10 m * 20 m koealaa intensiivisiä mittauksia varten.

Timotei-nurminata-sekoitus [lajikkeet Tuure (timotei) ja Ilmarinen (nurminata)] valittiin ruokohelven verrokkikasviksi, koska ne ovat alueella paljon viljeltyjä nurmikasveja. Tutkimuspellon sijainnin valintaan vaikutti merkittävästi MTT Maaningalla sijaitseva lysimetrikenttä (Saarijärvi ym., 2007), jonka avulla on tarkoitus määrittää myöhemmin tutkimuspellon kokonaistyppihuuhtouma

Taulukossa 1 esitetään pintamaan ja huuhtoutumisvyöhykkeen ominaisuuksia, koska työssä keskityttiin 0,8 m syvyyteen. Taulukon 1 maaperäanalyysit tehtiin MTT Jokioisissa kesällä 2011. noudattaen Vuorinen & Mäkitien (1955) ja Elosen (1971) kuvaamia menetelmiä. Taulukossa esitetään tulokset koealakohtaisesti, sillä pitkästä peltohistoriasta huolimatta tuloksissa nähtiin suurta vaihtelua erityisesti syvemmällä maassa (ks. taulukko 2).

Taulukko 1. Tutkimuspellon maaperän ominaisuuksia koealoittain.

	0 – 28 cm			78 – 93 cm		
	Koeala 1	Koeala 2	Koeala 3	Koeala 1	Koeala 2	Koeala 3
Ca (mg l ⁻¹ maata)	1215,3	1354,3	1187,0	910,0	1132,0	1370,0
K (mg l ⁻¹ maata)	117,6	111,7	91,7	84,0	108,4	118,9
Mg (mg l ⁻¹ maata)	180,6	195,0	141,7	271,7	522,3	597,6
P (mg l ⁻¹ maata)	5,0	4,5	6,1	1,4	0,9	1,2
C (%)	2,4	3,1	3,4	0,2	0,2	0,2
pH (H ₂ O 1:2,5)	5,8	5,7	5,6	6,4	6,8	6,6
Mekaaninen maalaji						
Sa	22,1	31,8	21,8	13,9	31,2	57,2
Hs	44,0	30,9	24,4	27,0	52,1	37,2
HHt	19,6	16,5	23,9	41,4	15,1	4,7
KHt	9,7	15,8	24,9	16,5	1,1	0,6
Hk	4,7	5,0	5,2	1,4	0,7	0,4

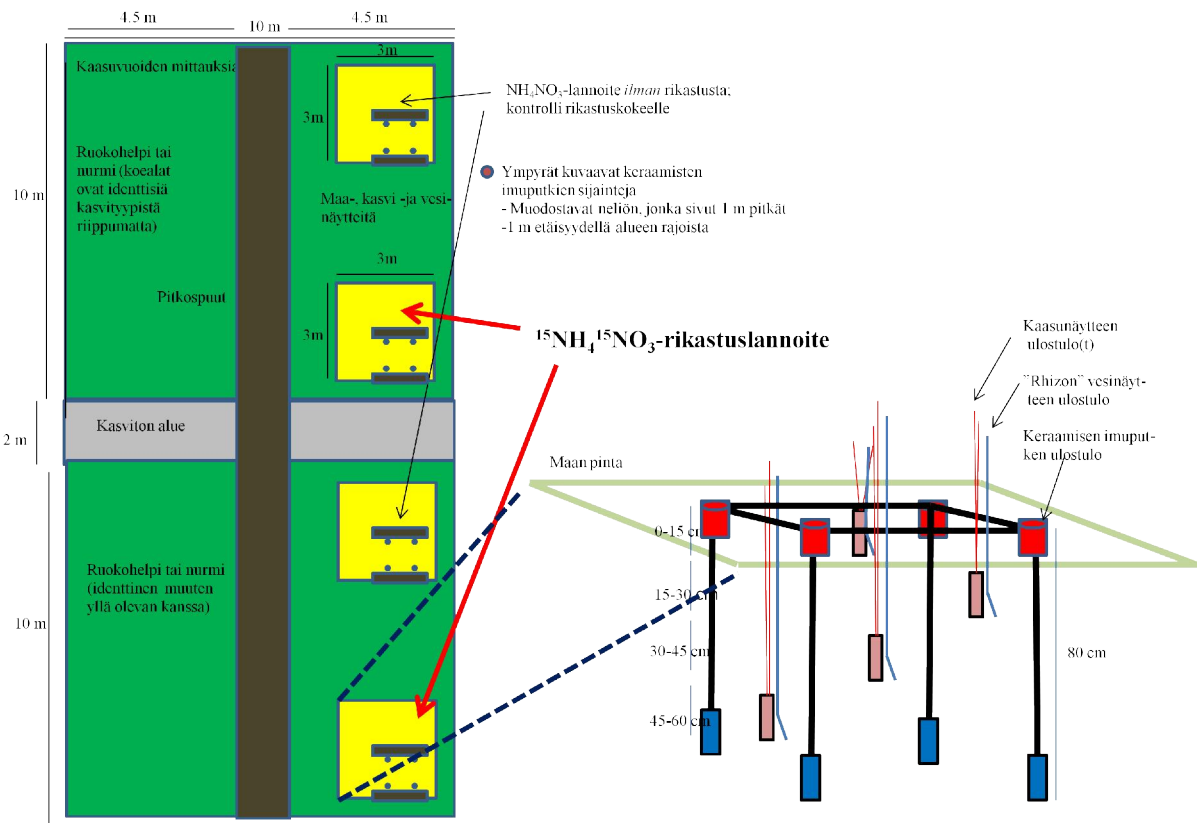
Koejärjestely, typpi-15-lannoituskoe ja näytteiden analyysit

Koepellolle rajatut kolme 200 m² koealaa jaettiin kolmeen osaan koostuen ruokohelpiviljelmästä, paljaasta maasta sekä nurmiviljelmästä (ks. kuva 1). Loppuvuodesta 2009 asennettiin näille alueille (ruokohelpi- ja nurmiviljelmät) keraamiset imuputket vesinäytteiden ottoa varten. Putkien kärkiosa on keraaminen ja siten vettä läpäisevä; kärkiosa upotettiin maahan 0,8 m syvyyteen poraamalla maahan putken halkaisijan kokoinen reikä (putken h = 71 cm, d = 2 cm ja V = 100 ml). Näytteenotot suoritettiin imemällä näytteenottoputkeen alipaine vuorokautta ennen näytteenottoa (käsipumpulla ~0.8 bar alipaine). Keraamisen kärjen ympäröimä maavesi syrjäyttää putken alipaineen kertymällä putkeen, josta vesinäyte imettiin imuputkeen sijoitetun silikoniletkun kautta steriiliin astiaan. Vastaavasti, jos maavettä ei ole keraamisen osan ympärillä, syrjäyttää ko. syvyyden ilma alipaineen, jolloin vesinäytettä ei saada. Näin ollen vesinäytteiden otto vaatii maalta riittävän vesipitoisuuden. Keraamisista imuputkista saadut vesinäytteet yhdistettiin koealakohtaisesti, jolloin näyte koostui neljän vesikeräimen vedestä. ¹⁵N-lannoite levitettiin mahdollisimman homogeenisesti määrääloille. Tästä syystä lannoite levitettiin vesiliuoksessa. Lannoitetyypiliuokset valmistettiin vastaamaan 0.1 mm sadetta. Typpiliuos levitettiin torjunta-aineiden levitykseen kehitetyllä työnnettävällä laitteistolla (työleveys 1.5 m) avulla (Esala & Kakkonen, 1998).

Lannoitetyypessä (ammonium-nitraatti; ¹⁵NH₄¹⁵NO₃) oli kumpikin typpi leimattu ¹⁵N:llä (10 AT-%, Campro Scientific, Cat. No. CS01-185-138). Kummallekin kasville annettiin alue- ja kasvikohtaisten suositusten mukaiset lannoitemäärät (ruokohelpi 75 kg N ha⁻¹, nurmi 100 kg N ha⁻¹). Lannoituskoe ¹⁵N:llä (rikastuskoe) aloitettiin 31.5.2011 – neljä päivää myöhemmin kuin määräälojen ”rikastamattomat” alueet, jonne lannoitus tehtiin koneellisesti.

Nurmen ensimmäinen niitto suoritettiin 22.6.2011. Noin kahden viikon kuluttua (7.7.2011) annettiin nurmelle uudestaan rikastuslannoitus (100 kg N ha⁻¹) yllä kuvatulla menetelmällä. Toinen niitto suoritettiin 5.9.2011. Tuotettaessa ruokohelpeä polttoon, se jätetään kuivumaan pellolle talven. Niitto tehtiin vasta keväällä 8.5.2012. Rikastettua lannoitetyypettä seurattiin 31.5.2012 asti.

Kerätyistä vesinäytteistä määritettiin epäorgaaniset typen t (NH₄ ja NO₃; tässä esitetään vain NO₃-tulokset) konsentraatiot ionikromatografilla (DX 120, Dionex Corporation, USA) ja spektrometrilla (Ultrospec 3000 pro, Biochrom, UK). Lisäksi vesinäytteistä määritettiin NH₄-N:n ja NO₃-N:n isotooppikoostumukset [Elemental Analyzer Isotope Ratio Mass Spectrometer (EA-IRMS); Thermo Scientific]. Vesinäytteiden epäorgaaniset typpifraktiot erotettiin näytevedestä ns. mikrodiffrusioimenetelmällä, jossa epäorgaaninen typpi kerättiin happoon suolaksi (kiinteä aine) (modifioitu menetelmä Stark & Hart, 1996), jonka isotooppikoostumus analysoitiin EA-IRMS:lla. Näytteiden esikäsittely ja laboratoriotyöt sekä analyysit suoritettiin Itä-Suomen Yliopistossa, Kuopion kampuksella.

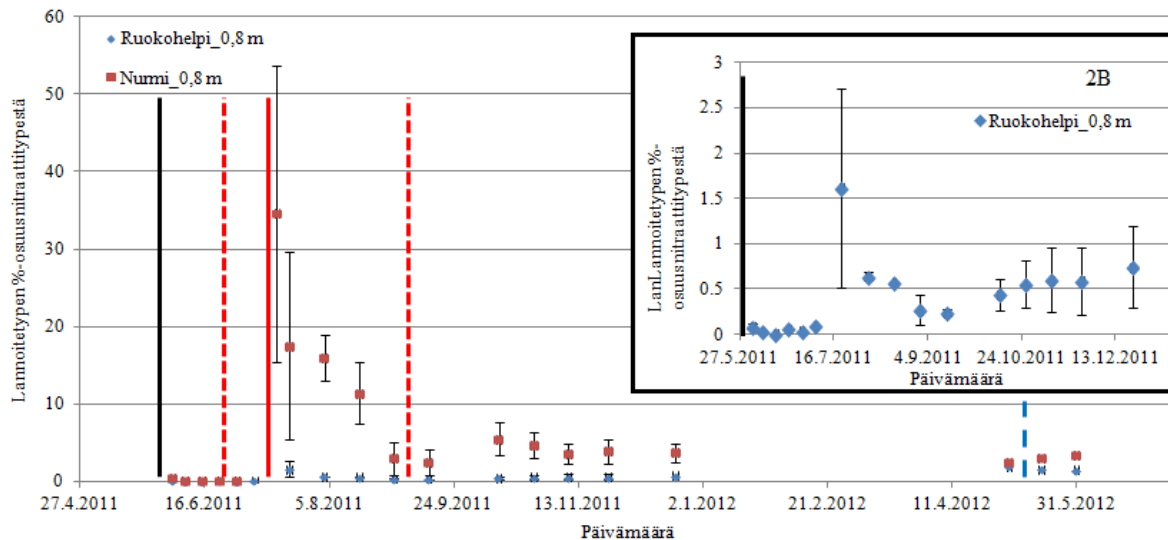


Kuva 1. Koejärjestely ja maahan asennettujen vesikeräinten kaaviokuva. Siniset suorakaiteet kuvastavat imuputkien keraamista osaa. Vastaavia koaloja oli tutkimuspellolla kolme kappaletta.

Tulokset ja tulosten tarkastelu

Ensimmäiset imukeräinvesinäytteet (0,8 m) otettiin kolme päivää ^{15}N -lannoituksen jälkeen. Tällöin lannoitetypen nitraatin osuus kokonaisnitraattihuuhtoumasta oli $0,09 \pm 0,03$ % (keskiarvo \pm SE) (ks. kuva 2 ja kuva 2B). Ruukohelven lannoitetyypiosuus pysytteli alle prosentin osuudessa 6.7.2011 asti. Kesäkuun 20. päivä lannoitetypen osuus nousi korkeimmilleen, $1,62 \pm 1,1$ %:iin. Lannoitetypen osuus laski tämän jälkeen tasaisesti 14.9.2011 asti neljännesprosenttiin. Loppuvuoden lannoitetypen osuus kasvoi tasaisesti ja jopa kolminkertaistui, mutta ollen kuitenkin 22.12.2011 vielä alle prosentin nitraattihuuhtouman kokonaismäärästä. Toukokuun 2012 alussa huuhtoutuvan lannoitetypen osuus oli $1,90 \pm 0,8$ %, ollen näin korkeimmillaan vuoden mittaisessa seurantajaksossa. Vuosi lannoitetypen lisäyksestä (31.5.2012) lannoiteperäinen nitraatti oli 1.5 % kokonaisnitraattihuuhtoumasta.

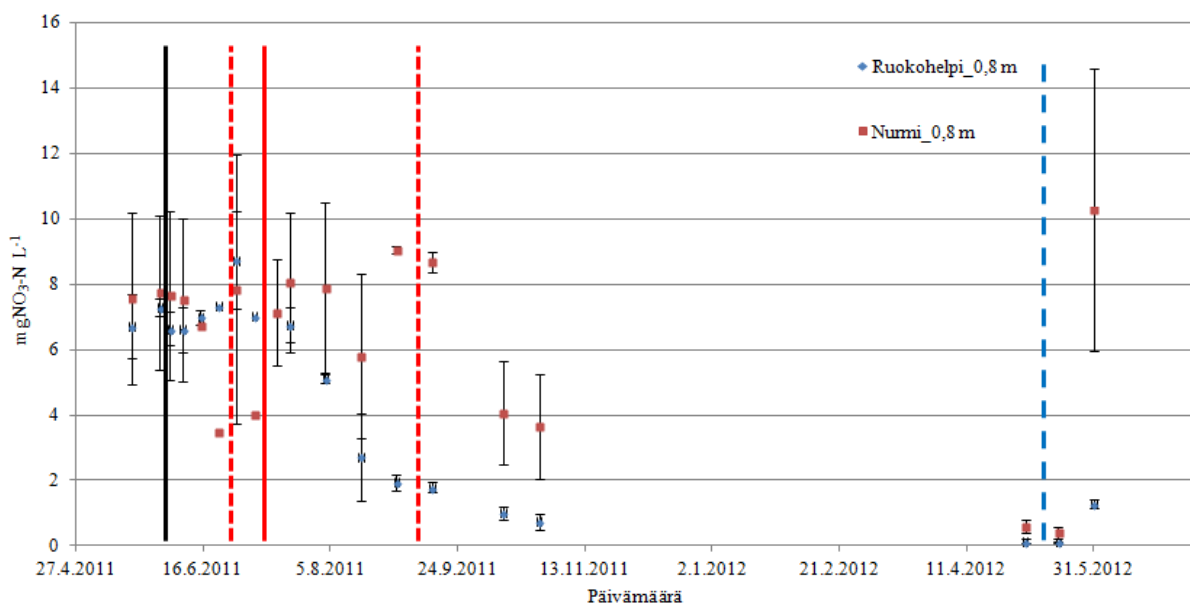
Nurmen ensimmäisen lannoituksen jälkeen nitraatin huuhtouma oli samankaltainen ruukohelven huuhtouman kanssa vaikka nurmi sai 25 % suuremman lannoitemäärään. Kolme päivää lannoituksesta lannoiteperäinen nitraatti oli $0,36 \pm 0,03$ % kokonaisnitraattihuuhtoumasta (ks. kuva 2). Lannoiteperäisen $\text{NO}_3\text{-N}$:nosuus laski tasaisesti kesäkuun loppua kohden. Toinen lannoitus, typpimäärältään ensimmäistä vastaava, suoritettiin 7.7.2011. Kahdeksan päivän kuluttua lannoituksesta todettiin lannoitetyppimaksimi ($34,5 \pm 19,2$ %) kokonaisnitraattihuuhtoumasta. Lannoitenitraatin osuus laski heinäkuun huippuarvosta aina 14.9.2011 asti, jolloin ko. osuus oli enää 2,5 %. Lannoitetypen osuus huuhtoumassa aleni näin yli 90 % kahdessa kuukaudessa. Tämän jälkeen huuhtoutuvan lannoite- $\text{NO}_3\text{-N}$:n osuus kaksinkertaistui 12.10.2011 mennessä. Loppuvuotta kohden lannoiteperäisen $\text{NO}_3\text{-N}$:n määrä laski hieman. Toukokuun 2012 alussa lannoite- $\text{NO}_3\text{-N}$:n osuus oli noin 2,5 %.



Kuva 2: Lannoitetyypin % -osuus 0,8 m syvyydeltä keraamisista imuputkista otetuissa vesinäytteissä (keskiarvo \pm keskiarvon keskivirhe). Musta viiva kuvastaa ensimmäisen lannoituksen ajankohtaa kummallekin kasville, punainen viiva nurmen toista lannoitusta, punaiset katkoviivat nurmen niittohetkiä ja sininen katkoviiva ruokohelven niittoa. Kuva 2B: Tarkennus ruokohelven lannoitetyypin % -osuuteen $\text{NO}_3\text{-N}$:sta.

Ruokohelvellä typpilannoitus ei lisännyt merkittävästi nitraattityypen huuhtoutumista 0,8 m syvyyteen. Nitraattityppikonsentraatio oli keskimäärin $7 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$ aikavälillä 19.5. – 22.6.2011 (ks. kuva 3). Kesäkuun lopussa $\text{NO}_3\text{-N}$ saavutti korkeimman pitoisuuden, jonka jälkeen $\text{NO}_3\text{-N}$ pitoisuus alkoi laskea tasaisesti loppuvuotta kohden. Alimmillaan $\text{NO}_3\text{-N}$ pitoisuus oli 26.10.2011 ($1,8 \pm 0,2 \text{ mg l}^{-1}$). Toukokuussa 2012 $\text{NO}_3\text{-N}$ pitoisuus vaihteli välillä $0,1 - 1,3 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$.

Nurmella nitraattityypen konsentraatio 0,8 m syvyydellä oli keskimäärin $8 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$ (aikavälillä 19.5. – 14.9.2011, ks. taulukko 2). Nurmella ensimmäinen ja toinen typpilannoitus ei aiheuttanut merkittävää nousua nitraattipitoisuuksissa 0,8 m syvyydestä. Lokakuussa $\text{NO}_3\text{-N}$ konsentraatio puolittui aiemmasta $8 \text{ mg NO}_3\text{-N l}^{-1}$ pitoisuudesta.. Toukokuussa 2012 $\text{NO}_3\text{-N}$ pitoisuus nousi arvosta $0,40 \pm 0,2 \text{ mg l}^{-1}$ arvoon $10,3 \pm 4,3 \text{ mg l}^{-1}$.



Kuva 3. Nitraattityppikonsentraatiot 0,8 m syvyydellä keraamisista imuputkista otetuissa vesinäytteissä (keskiarvo \pm keskiarvon keskivirhe). Musta viiva kuvastaa ensimmäisen lannoituksen ajankohtaa kummallekin kasville, punainen viiva nurmen toista lannoitusta, punaiset katkoviivat nurmen niittohetkiä ja sininen katkoviiva ruokohelven niittoa.

Ruokohelven nitraattityypipitoisuudet 0,8 m syvyydellä olivat yleisesti ottaen hieman matalammat kuin nurmen. Kummallakin kasvilla NO₃-N pysyi alkukesästä elokuun alkuun noin 7 mg l⁻¹ – pitoisuudessa, jonka jälkeen pitoisuudet vähintään puolittuivat kummallakin kasvilla. Ruokohelven nitraattihuuhtouma Maaningan ruokohelpikokeessa oli hieman korkeampi kuin mitä Curley ym. 2009) saivat Irlannissa norsuheinäviljelmälle (*Miscanthus x giganteus*) (lannoitustasot 60 ja 120 kg N ha⁻¹). Saarijärvi ym. (2004) raportoivat Maaningalla lysimetrikentällä viljellyn nurmen (timotei-nurminata; 220 kg N ha⁻¹) huuhtoumasta 0,5 – 4,5 mg NO₃-N l⁻¹, saaden tätä työtä hieman alhaisempia nitraattipitoisuuksia. Kevään 2012 nurmella kohonnut NO₃-N-pitoisuus viittaa keväthuuhtoumaan (mm. Cameron ym., 2013)

Taulukko 2. Kolmen näytteenottohetken tuloksia nitraattitypen kokonaispitoisuuksille ja lannoiteperäisen nitraatin osuuksille nitraatin kokonaismäärässä 0,8 m syvyydessä kolmelta koelalalta.

Päivämäärä	Parametri	Ruokohelvi			Nurmi		
		Koela 1	Koela 2	Koela 3	Koela 1	Koela 2	Koela 3
3.6.2011	Pitoisuus (mg NO ₃ -N l ⁻¹)	6,6	7,5	5,8	2,5	10,5	9,9
	Lannoitetypen % - osuus nitraattitypestä	0,2	0,0	0,1	1,0	0,1	0,0
20.7.2011	Pitoisuus (mg NO ₃ -N l ⁻¹)	6,2	7,3	-	4,0	11,2	9,0
	Lannoitetypen % - osuus nitraattitypestä	0,5	2,7	-	40,9	11,5	0,1
26.10.2011	Pitoisuus (mg NO ₃ -N l ⁻¹)	1,2	0,5	0,5	0,5	5,7	4,7
	Lannoitetypen % - osuus nitraattitypestä	1,1	0,3	0,2	6,7	5,9	1,3

Tuloksissa esiintyi voimakasta hajontaa erityisesti nurmella, johtuen todennäköisesti maaperän ominaisuuksista (ks. taulukot 1 ja 2). Koela 1 oli näytteenottosyvyydeltä (0,8 m) pääosin hienoa hietaa ja hiesua, kun taas koela 2 oli hiesua ja koela 3 savea. Ruokohelvellä NO₃-N-pitoisuudet olivat koelajojen kesken samankaltaisia näytteenottohetkestä riippumatta, kun taas nurmella koela 1 poikkesi systemaattisesti koelajoista 2 ja 3 antaen keskimäärin 20 % pienempiä NO₃-N-pitoisuuksia (taulukko 2). Ero näkyi myös lannoitetypenosuudessa kokonaisnitraatista. Konsentraatiotuloksista poiketen lannoitenitraatin osuus käyttäytyi päinvastoin: nurmella lannoitetypettä huuhtoutui koelalla 1 enemmän alempiin maakerroksiin kuin koelajoilla 2 ja 3. Todennäköisesti syvempien maakerrosten erot selittävät poikkeavuudet sillä koelajojen pintakerrokset olivat muita kerroksia homogeenisemmat.

Johtopäätökset

Erilaisista lannoituskäytännöistä huolimatta maaperän huokosveden nitraattipitoisuuksissa (0,8 m) ei tavattu merkittäviä eroja ruokohelven ja nurmen kesken. Kummallakin kasvilla ensimmäisestä tyypilannoituksesta huuhtoutui vain alle prosentti nitraattina. Nurmen toinen lannoitus lisäsi lannoitetypestä peräisin olevan nitraatin huuhtoutumista Sateella (määrä ja/tai ajoitus) oli todennäköisesti merkittävä osuus lisälannoituksen aiheuttamassa huuhtoutumisessa. Nurmen toistuvan lannoituksen aiheuttamasta huuhtoutumisriskistä olisi saatava tarkempaa tietoa. Myös maaperäkerrosten ominaisuudet vaikuttavat huuhtoutuvan nitraatin määrään.

Kirjallisuus

Cameron, K. C., Di, H. J. & Moir, J. L. 2013. Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. *Annals of Applied Biology*, no. 162, ss. 145 – 173.

Curley, E. M., O'Flynn, M. G. & McDonnell, K- P. 2009. Nitrate leaching losses from *Miscanthus x giganteus* impact on groundwater quality. *Journal of Agronomy*, no. 8, s. 107 – 112.

Elonen, P. 1971. Particle-size analysis of soil. *Acta Agralia Fennica* 122: 1–122.

- Esala, M. & Kakkonen, K.** 1998. A light-weight apparatus for applying ¹⁵N-labelled fertilizer to field micro-plots (Research Note). *Journal of Agricultural Engineering Research*, no. 69, s. 95 – 97.
- Hyvönen, N. P., Huttunen, J. T., Shurpali, N. J., Tavi, N. M., Repo, M.E. & Martikainen, P. J.** 2009. Fluxes of nitrous oxide and methane on an abandoned peat extraction site: Effect of reed canary grass cultivation. *Bioresource Technology*, no. 100, s. 4723 – 4730.
- Mavi.** 2013. Maaseutuvirasto. <http://www.mavi.fi/fi/oppaat-ja-lomakkeet/viljelijä/Documents/Opas%20ymp%C3%A4rist%C3%B6tuen%20ehtojen%20mukaiseen%20lannoitukseen%202007-2013.pdf>. Viitattu 23.12.2013.
- Partala, A. & Turtola, E.** 2000. Biomassanurmi estää tehokkaasti typen huuhtoutumista. *Koetoiminta ja käytäntö*, no. 57, s. 6.
- Richards, J.H.** 1993. Physiology of plants recovering from defoliation. *Proceedings of the XVII International Grassland Congress*, 8 – 21 Feb. 1993, Palmerston North, New Zealand. s. 85 - 94.
- Saarijärvi, K., Virkajärvi, P., Heinonen-Tanski, H. & Taipainen, I.** 2004. N and P leaching and microbial contamination from intensively managed pasture and cut sward on sandy soil in Finland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, no. 104, s. 621 – 630.
- Saarijärvi, K., Virkajärvi, P. & Heinonen-Tanski, H.** 2007. Nitrogen leaching and herbage production on intensively managed grass and grass-clover pastures on sandy soil in Finland. *European Journal of Soil Science*, no. 58, s.1382 – 1392.
- Salo, T., Turtola, E., Virkajärvi, P., Saarijärvi, K., Kuisma, P., Tuomisto, J., Muurinen, S. & Turakainen, M.** 2013. Nitrogen fertilizer rates, N balances, and related risk of N leaching in Finnish agriculture. *MTT Raportti 102*, s. 37.
- Salonen, M.** 1949. Tutkimuksia viljelykasvien juurten sijainnista Suomen maalajeissa. *Acta Agralia Fennica*, no. 70, s. 83.
- Shurpali, N. J., Hyvönen, P. J., Huttunen, J. T., Clement, R. J., Reichstein, M., Nykänen, H., Biasi, C. & Martikainen, P. J.** 2009. Cultivation of a perennial grass for bioenergy on a boreal organic soil – carbon sink or source? *Global Change Biology Bioenergy*, no. 1, s. 35 – 50.
- Stark, J. & Hart, S.** 1996 Diffusion technique for preparing salt solutions, Kjehldahl digests persulphate digests for nitrogen ¹⁵-analysis. *Soil Science Society of America*, no. 60, s. 1846 – 1855.
- TIKE.** 2012. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. *Maataloustilastollinen vuosikirja 2012*, s. 269.
- Valpasvuo-Jaatinen, P., Rekolainen, S. & Latostenmaa, H.** 1997. Finnish agriculture and its sustainability: environmental aspects. *Ambio* no. 26, s. 448 – 455.
- Vuorinen, J. & Mäkitie, O.** 1955. The method of soil testing in use in Finland. *Agrogeological Publications* no. 63, s. 44.
- Whitehead, D.C.** 1995. *Grassland nitrogen*. CAB international. 397 p.