

Syksyllä maahan lisätyn kuitulietteen ja ravinnekuidun vaikutus nitraatin huuhtoutumiseen

Risto Korpinen¹ ja Petri Kapuinen²

¹Luonnonvarakeskus, Tuotantojärjestelmät, Biojalostusteknologiat ja -tuotteet, Tietotie 2, 02150 Espoo

²Luonnonvarakeskus, Tuotantojärjestelmät, Biojalostusteknologiat ja -tuotteet, Itäinen Pitkätie 4 A, 20520 Turku
e-mail: risto.korpinen@luke.fi

Nitraatin (NO_3^-) huuhtoutumista tutkittiin maamonoliittikokeessa. Niiden pinnalta kuorittiin 10 cm:n kerros pois, johon lisättiin Lielahden pohjasta nostettua kuitulietettä (nollakuitua) tai kalkkistabiloitua ravinnekuitua ja laitettiin takaisin. Kuitujen nimelliset levitysmäärät olivat 0, 1, 2, 4, 8 ja 16 t org. C ha⁻¹. Monoliitteja kasteltiin vastaten sadantaa 2 mm vrk⁻¹ 3 krt viikko. Niiden läpi valunut huuhtouma otettiin talteen, punnittiin ja ravinteet analysoitiin. Syys- ja kevätisimulaation välillä monoliitit pakastettiin ja säilytettiin -5 °C:ssa kuvaten talvea. NO_3^- -typen osuus liukoista kokonaistypistä oli niin merkittävä, että sen sijaan tuloksissa raportoidaan vain NO_3^- -N-huuhtouma. Määritetyistä pitoisuuksista laskettiin huuhtouma valuman monoliitin pinta-ala perusteella. Ravinnekuitu näyttää vähentävän syksyllä huuhtoutuvan NO_3^- -N määrää jo pieninä annoksina. Kuitulietteellä NO_3^- -N huuhtoutuminen väheni lähes suoraviivaisesti kuituannoksen kasvaessa, mutta ravinnekuidulla huuhtoutuminen väheni rajusti jo pienillä (1–2 t org. C ha⁻¹) annoksilla ja kasvoi uudelleen kuituannoksen kasvaessa. Ravinnekuidulla NO_3^- -N huuhtoutuminen painottui syysisimulaatiossa 1. kuukauteen, minkä jälkeen se lähes loppui. Kuitulietekäsittelyssä NO_3^- -typen huuhtoutuminen ei vähentynyt yhtä jyrkästi. Kuiduttomasta käsittelystä NO_3^- -huuhtoutuminen jatkui lähes yhtä suurena kuin alussa vielä 2 kk:n kuluttua simulaation alusta. Voidaan olettaa, että se jatkuisi lähes yhtä suurena vielä ainakin kuukauden. Syksyn pituudella onkin suuri merkitys kuiduttomasta käsittelystä huuhtoutuvan NO_3^- :n määrän kannalta. Kuiduista on eniten hyötyä syksyn ollessa pitkä. Enimmillään 2 kuukauden simulaation aikana voitiin nitraatin huuhtoutumista vähentää määrästä 21.1 kg ha⁻¹ määrään 3.0 kg ha⁻¹ eli 14%:iin kuitulieteanneksen ollessa 8 t ha⁻¹. Ravinnekuidulla lähes yhtä suuri NO_3^- :n huuhtoutumisen väheneminen saavutettiin jo annoksella 1 t ha⁻¹. Kun jo pienet määrät ravinnekuitua vähensivät syksyllä huuhtoutuvan NO_3^- :n määrää rajusti, kevään huuhtoutuma väheni vasta suuremmilla annoksilla. Keväällä huuhtoutuva NO_3^- :n määrä oli lähes 1.5-kertainen syksyllä huuhtoutuvan NO_3^- :n määrään nähden 2 kk:n kuluessa, joten sen merkitys oli suurempi kokonaisuuden kannalta. Pienimmän ravinnekuituannoksen (1 t ha⁻¹) vaikutus ei riittänyt kevääseen saakka, vaan siitä huuhtoutui NO_3^- :a yhtä lailla kuin kuiduttomasta käsittelystä. Anneksen kasvattaminen 2 t ha⁻¹ vähensi NO_3^- :n huuhtoutumista keväällä oleellisesti, mutta täysi vaikutus saatiin vasta selvästi suuremmilla annoksilla (8 t ha⁻¹). Näillä ei kuitenkaan saatu yhtä suurta NO_3^- :n huuhtoutumisen vähenemistä syksyllä. Niinpä kuitumäärällä on syytä hakea kompromissi syksyn ja kevään huuhtoutumisen kannalta pitäen mielessä se, että suuri kuituannos johtaa seuraavana kasvukautena sadonalennukseen.

Avainsanat: maamonoliitti, metsäteollisuus, sivuvirta, ravinteet, simulointi

Johdanto

Metsäteollisuus käsittää massa- ja paperiteollisuuden ja puutuoteteollisuuden, joista massa- ja paperiteollisuus käyttää n. 60% raakapuusta ja loput n. 40% käyttää puutuoteteollisuus. Massa- ja paperiteollisuuteen kuuluvat kemiallisen (sellun), puolikemiallisen ja mekaanisen massan valmistus sekä paperin ja kartongin valmistus, joiden sivutuotteita voidaan hyödyntää lannoitevalmisteena. Massa- ja paperiteollisuudessa muodostuu erilaisia kuitupitoisia lietteitä, mutta niitä on myös kertyneenä vesistöjen pohjissa ajalta, jolloin niitä laskettiin suoraan vesistöihin. Tällaisia paikkoja ovat mm. Lielahden pohja ja useat kohteet Päijänteellä.

Metsäteollisuuden lietteiden määrä vuonna 2012 oli 518000 t ka (Apilagroup 2013). Lisäksi Lielahden pohjaan arvioidaan kertyneen yli 1 miljoonaa m³ käsittelemätöntä puukuululietettä eli nollakuitua 90 hehtaarin alueelle vastaten yli 100000 tonnia kuiva-ainetta. Sedimenttikerroksen paksuus on enimmillään 11 metriä jopa 500–700 metrin etäisyydelle lietealtaan padosta (Salo ja Huttunen 2015) ja sedimentin kuiva-ainepitoisuus nostettaessa on n. 10% (Kapuinen ym. 2020). Vain 7.5% (vuonna 2012) mahdollisesti lannoitekäyttöön soveltuvista metsäteollisuuden sivuvirroista päätyi lannoitevalmistemarkkinoille (Taulukko 1) (Apilagroup 2013). Lohiniva ym. (2001) arvioivat, että yli 70% metsäteollisuuden puhdistamolietteestä hyödynnetään energiana.

Kuitulietteen (kuituliete- ja pastaliete) määrä oli 2012 noin 128000 tonnia ja ravinnekuitujen raaka-aineeksi sopivien sivuvirtojen (bio-, jvp ja sekalietteen) noin 627000 tonnia. Kuiva-aineena kuitulietteen määrä oli noin 64 000 tonnia ja ravinnekuidun raaka-aineen noin 204000 tonnia. Näistä jälkimmäinen on siten merkittävämpi. Kummankin lannoitevalmisteen käyttösuutta voitaisiin lisätä huomattavasti. Näistä kuituliete soveltuu nimenomaisesti

ravinteiden, erityisesti typen sitomiseen. Sekaliete koostuu kuitulietteestä ja prosessivesien biologisesta puhdistuksesta erotettavasta bakteerimassasta. Sekalietteissä itsessään on merkittävä määrä ravinteita, ja ne soveltuvat maanparannusaineiden raaka-aineeksi yleisessä mielessä.

Taulukko 1. Massa- ja paperitehtaiden sivuvirtojen määrät märkätonneina ja lannoitevalmistekäyttö vuonna 2012 (Apilagroup 2013)

	Kosteus *	Kaikki	Lannoituskäyttö	
	%		t	t
Kuorijäte, kuorihiekka		8457	0	0%
Soodasakka	57–68	87696	0	0%
Meesa, kalkkijätteet	44	32072	3861	12%
Kuitu- ja pastaliete	45–55	127935	6978	5%
Pasta		104830	0	0%
Bio-, jvp- ja sekaliete	60–75	627308	53934	9%
Siistausliete, kuitusavi	45–55	274882	0	0%
Tuhka	0–10	225049	46589	21%
Yhteensä		1488230	111361	7.50%

* Tyypillisiä kosteuspitoisuuksia; tietoa ei toimitettu kaikkien erien osalta

Maanparannuskäyttö on ympäristöystävällinen ja kustannustehokas jätehierarkian mukainen vaihtoehto lietteiden polttamiselle. Siinä lietteiden orgaaninen aines ja ravinteet tulevat hyötykäyttöön. Orgaanisen aineksen lisäyksen avulla voidaan parantaa maan kemiallisia, biologisia ja fysikaalisia ominaisuuksia, vähentää ravinteiden huuhtoutumista, eroosiota, parantaa maan muokkautuvuutta ja sadontuottokykyä, tallentaa hiiltä maahan ja hidastaa ilmaston lämpenemistä (Phillips ym. 1997, Rantala ym. 1999, Kirchmann ja Bergström 2003, Lehtonen ym. 2003, Muukkonen ym. 2009). Hovi (2013) ei kuitenkaan havainnut puukuitulisäyksellä saavutettavan yksiselitteisiä vaikutuksia maan mururakenteeseen eikä maan hiilipitoisuuteen.

Materiaali ja menetelmät

Maamonoliittikokeissa käytettiin Lielahden pohjasta nostettua kuitulietettä (selluteollisuudessa yleisesti käytetty termi on nollakuitu) ja Soilfoodin markkinoimaa sekalietteestä valmistettua ravinnekuitua. Lannoitevalmisteena ravinnekuidun tyyppinimi on kalkkistabiloitu puhdistamoliete. Maamonoliitit otettiin syksyllä 2018 Ypäjän kenttäkokeen (Karrimäentie 263, 60°47'38.0"N 23°19'37.7"E) kerranessaumassa olleista koeruuduista (rm HsS, hieta ja karkeammat jakeet 13%, hiesu 39%, saves 45% ja hehkutushäviö 10.1%), joilla tutkittiin syksyllä levitettyjen kuitujen vaikutusta seuraavan kasvukauden keväthehätään. Monoliittien halkaisija oli 29.5 cm ja korkeus n. 35 cm. Monoliittien otto on esitetty Kuvassa 1.



Kuva 1. Monoliitin otto Ypäjän kenttäkokeesta

Maamonoliittikoe perustettiin 14.–17. tammikuuta 2019. Maamonoliiteista kuorittiin 10 cm:n kerros pois, ja siihen lisättiin Lielahden pohjasta nostettua valutettua kuitulietettä (nollakuitua) tai kalkkistabiloitua ravinnekuitua.

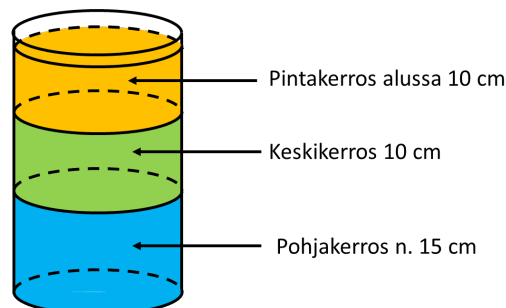
Kuitujen nimelliset levitysmäärät olivat 0, 1, 2, 4, 8 ja 16 tonnia orgaanista hiiltä per hehtaari. Kokeen perustamisen jälkeen orgaanisen hiilen pitoisuudet määritettiin kenttäkokeen levitysten yhteydessä otetuista näytteistä. Samaa materiaalia käytettiin monoliittikokeissa. Tästä syystä kuitulietettä lisättiin 92% ja ravinnekuitua 80% tavoitearvoista. Monoliitteja oli yhteensä 11. Kuitu sekoitettiin kuorittuun pintakerrokseen ja laitettiin takaisin asianomaisen monoliitin päälle. Sekoituksella imitoitiin pellolla tehtävää kuitujen multausta kultivaattorilla. Monoliitit altistettiin syys-, kevät- ja kesäsimulaatioille. Monoliitteja kasteltiin vastaten sadantaa 2 mm vrk⁻¹ kolmesti viikosta. Monoliittien läpi valunut huuhtouma otettiin talteen ja punnittiin. Lisäksi huuhtoumasta analysoitiin ravinteet ja niistä määritettiin sameus, sähkönjohtavuus ja pH-arvo. Syys- ja kevät- ja kesäsimulaation välillä monoliitit pakastettiin ja säilytettiin -5 °C:ssa kuvaten talvea. Talvisimulaatio alkoi 21. maaliskuuta 2019. Pakastettujen monoliittien päälle laitettiin 8 litraa jäätä, joka sulatettiin kevät- ja kesäsimulaation alussa nostamalla ympäristön lämpötila vähitellen +5 °C:seen. Vuodenaikasilmaolosuhteiden olosuhteet on esitetty Taulukossa 2.

Taulukko 2. Maamonoliittikokeiden huuhtoumanäytteiden oton ja muiden toimenpiteiden aikataulu ja ympäristön lämpötila

Syksy																	
Päivä simuloinnin alusta	1 ^{a)}	7	11	18	25	32	39	46	53	60							
Huuhtoumanäyte		x	x	x	x	x	x	x	x	x							
Lämpötila, °C	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5							
Kevät																	
Päivä simuloinnin alusta	1 ^{b)}	4	11	23	30	37	44	51	58	65							
Huuhtoumanäyte		x*	x*	x*	x	x	x	x	x	x							
Lämpötila, °C	1.8	2.2	2.5	4.8	4.9	4.9	4.7	5	5	5							
Kesä																	
Päivä simuloinnin alusta	1 ^{c)}	3	10	17	20	25	31	33	34	48	55	63	73	80	91	101	112
Huuhtoumanäyte		x	x	x			x										
Kylvö					x												
Lannoitus								x**				x**					
Niitto									x	x	x	x	x	x	x	x	x
Lämpötila, °C	n/a	n/a	13.7	16.5	19.7	17.2	18.0	19.2	14.6	16.0	15.9	15.2	17.2	16.2	15.6	15.2	14.4

*) Näyte sulamisveden valunnasta; **) Typpilannoitus 308 kg ha⁻¹ kerta; a) aloitus 21.1.2019; b) aloitus 15.7.2019; c) aloitus 20.9.2019

Kevät- ja kesäsimulaation jälkeen monoliitit siirrettiin kasvihuoneeseen 20. syyskuuta 2019, ja niihin kylvettiin italian-raiheinää. Monoliitit lannoitettiin kaksi kertaa. Raiheinä niitettiin noin kerran viikossa, ja niistä määritettiin raiheinän sato. Purun yhteydessä 5.–7. helmikuuta 2020 monoliitit jaettiin kolmeen osaan: ylimpään pintakerrokseen, n. 10 cm, johon kuitulietteenä oli sekoitettu, keskikerrokseen, 10 cm, ja loppu pohjakerrokseen n. 15 cm (Kuva 3). Ylimmän kerroksen alapinta oli sama kuin kuituja lisätessä. Se painui kasaan kevät- ja kesäsimulaation alussa sulaessaan eri määrän monoliitista riippuen. Monoliittien kerrokset punnittiin, ja niiden ravinne- ja kuiva-ainepitoisuudet määritettiin. Lisäksi monoliittien pinnankorkeuden muutokset mitattiin ennen kevät- ja kesäsimulaation alkua ja kesäsimulaation jälkeen purun yhteydessä.



Kuva 3. Monoliittien kerrosrakenne



Kuva 2. Maamonoliittikoejärjestely syys- ja kevät simulaatioiden aikana (vasen) ja kesäsimulaation aikana (oikea)

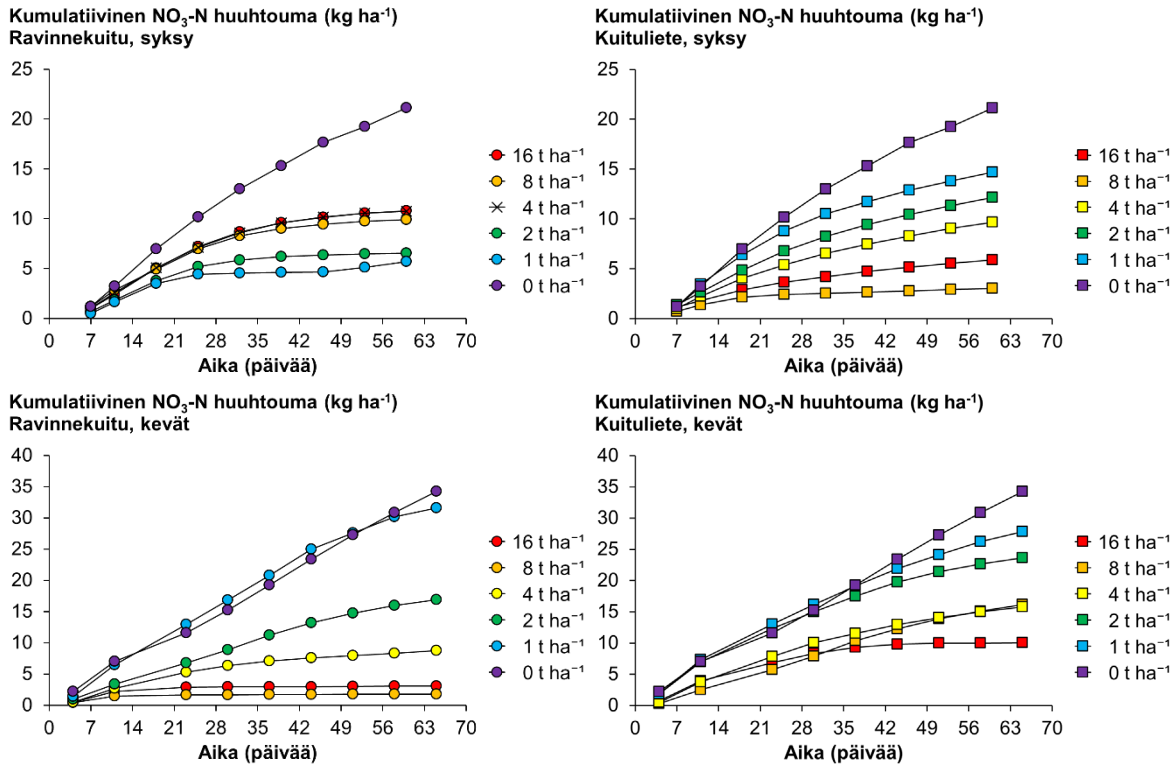
Nitraattitypen osuus liukoisesta kokonaistypestä oli niin merkittävä, että liukoisen kokonaistypen sijaan tuloksissa raportoidaan vain nitraattitypen huuhtouma ja ammoniumtyppi on vertailuna mukana liukoisen typen eri komponenttien merkittävän eron havainnollistamiseksi. Huomioitavaa on, että kesäsimulaatiosta saatiin vain sen alussa muutama huuhtoumanäyte suuren kokonaishaidunnan takia. Huuhtouman ravinnepitoisuudet olivat hyvin pienet jo toisen näytteenoton jälkeen, eikä niitä raportoida. Valumanäytteiden ja maamonoliittinäytteiden kemialliset analyysit ovat Taulukossa 3. Määritetyistä pitoisuuksista laskettiin huuhtouma valuman monoliitin pinta-alan perusteella.

Taulukko 3. Valumavesien ja maamonoliittinäytteiden analyysimenetelmät

Matriisi	Analyysi	Menetelmä	Viite
Vesi	Ammoniumtyppi		SFS 3032 ja Skalar SAN++ Method for ammonia
Vesi	Nitraattityppi		SFS 3030 ja Skalar SAN++ Method for nitrate and nitrite
Vesi	Liukoinen kokonaistyyppi	Peroksidisulfaatti-hapetus	SFS 3031
Vesi	Sähkönjohtokyky		SFS-EN 27888
Vesi	Sameus		SFS-EN ISO 7027
Vesi	pH		
Maa	Ammoniumtyppi		SFS 3032 ja Skalar SAN++ Method for ammonia
Maa	Nitraattityppi	Esala 1991, 1993 Uutto 2 M KCl	SFS 3030 ja Skalar SAN++ Method for nitrate and nitrite
Maa	Kokonaistyyppi		SFS 3031

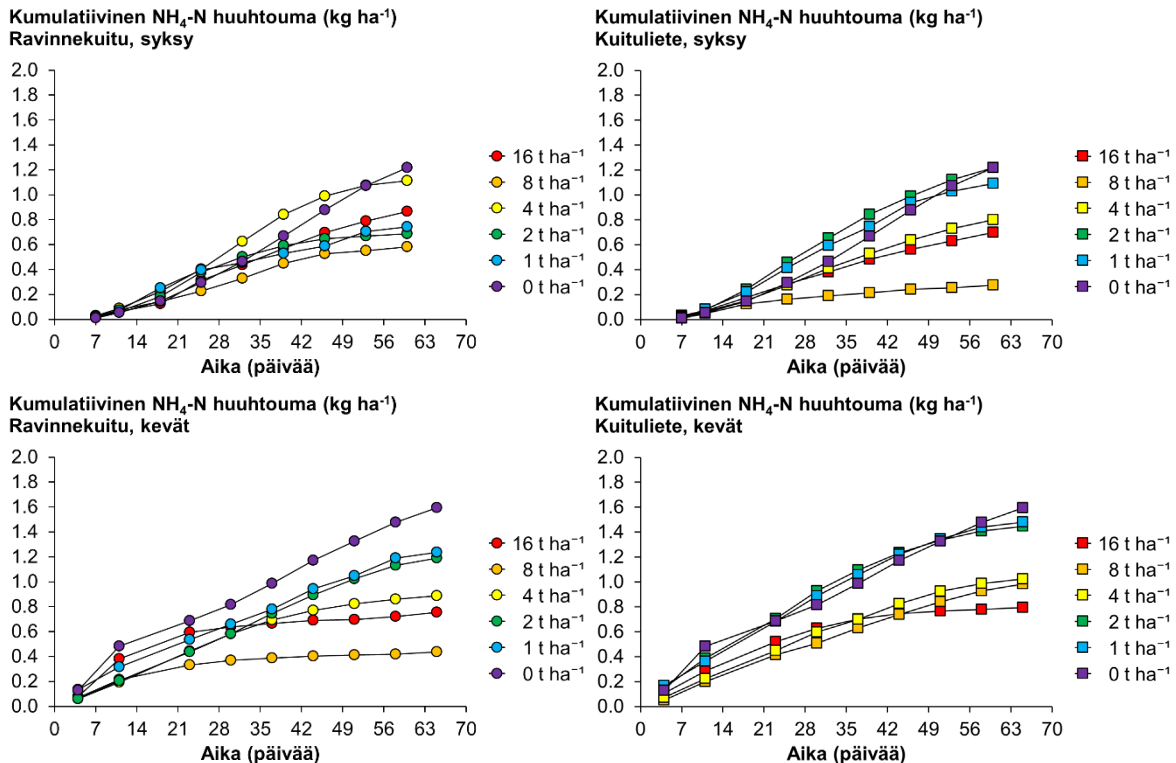
Tulokset

Ravinnekuitu näyttää vähentävän syksyllä huuhtoutuvan nitraatin määrää jo pieninä annoksina. Tulosten perusteella huuhtoutuma ei kuitenkaan vähentynyt aivan suoraviivaisesti kuituannoksen kasvaessa. Tähän saattoi vaikuttaa monoliittien ominaisuuksien välinen satunnaisvaihtelu. Kuitulietteellä nitraatin huuhtoutuminen väheni lähes suoraviivaisesti kuituannoksen kasvaessa, mutta ravinnekuidulla huuhtoutuminen väheni rajusti jo pienillä (1–2 t org. C ha⁻¹) annoksilla ja kasvoi uudelleen kuituannoksen kasvaessa (Kuva 4).



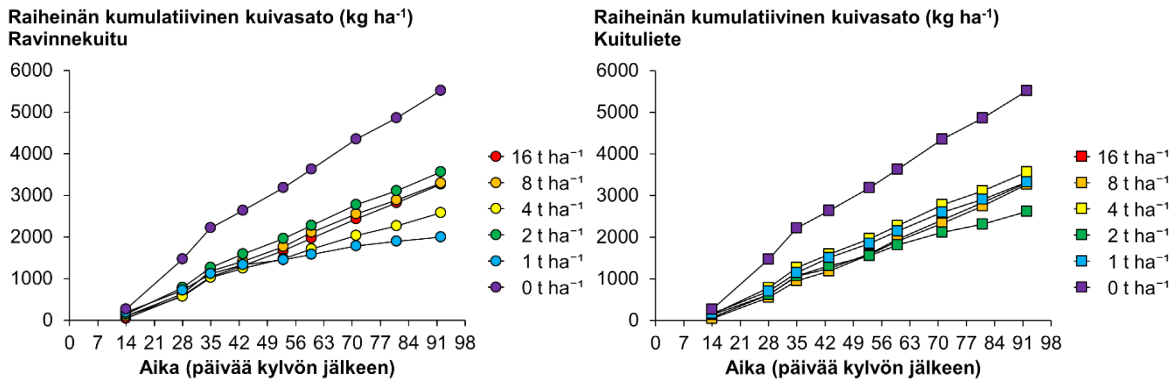
Kuva 4. Orgaanisen hiilen (t ha⁻¹) lisäyksen vaikutus nitraattitypen kumulatiiviseen huuhtoumaan syys- ja kevätisimulaatioiden aikana. Ravinnekuitu (vasen), Lielahden kuituliete (oikea). Kuitulietettä lisättiin 92% ja ravinnekuitua 80% laskennallisista t C_{org} ha⁻¹ arvoista.

Typen huuhtoutumisessa nitraatin osuus oli hallitseva. Ammoniumtypen osuus typen huuhtoumasta on luokkaa 5% (Kuva 5). Kuitujen vaikutus oli nähtävissä, mutta sen suuruuteen vaikutti monoliittien ominaisuuksien väliset satunnaiset erot niin paljon, että annosten vaikutukset ammoniumtypen huuhtoutumiseen eivät olleet kovin suoraviivaiset.



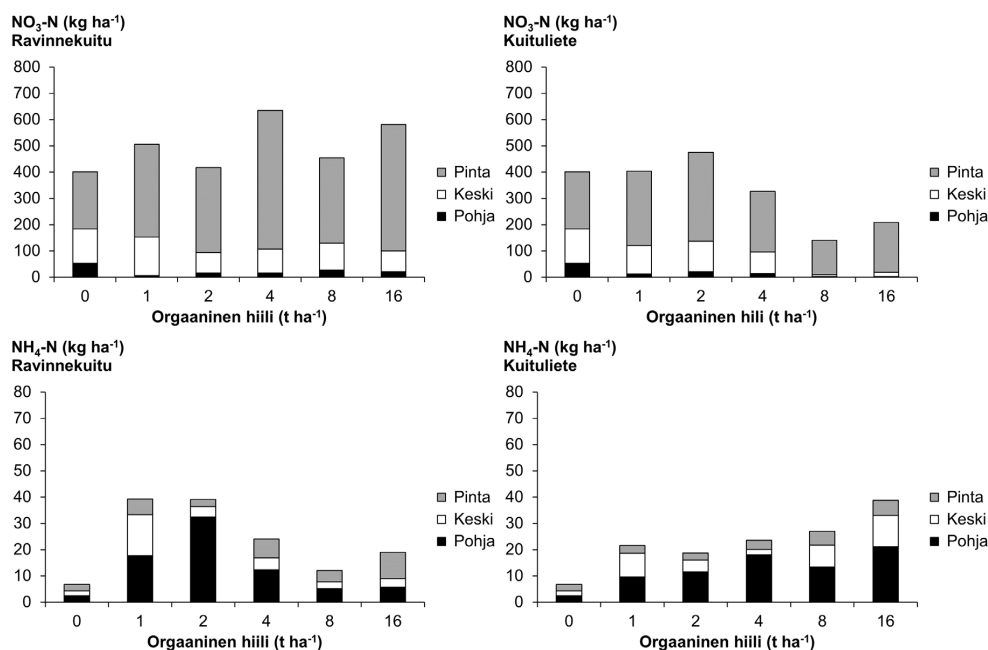
Kuva 5. Orgaanisen hiilen (t ha⁻¹) lisäyksen vaikutus ammoniumtypen kumulatiiviseen huuhtoumaan syys- ja kevätisimulaatioiden aikana. Ravinnekuitu (vasen), Lielahden kuituliete (oikea). Kuitulietettä lisättiin 92% ja ravinnekuitua 80% laskennallisista t C_{org} ha⁻¹ arvoista.

Raiheinän kokonaissadot olivat suhteellisen pienet tiheän niittorytmin takia (Kuva 6). Se kasvoi nopeasti korkeaksi suhteessa monoliittien halkaisijaan, jolloin hoitotoimenpiteet tulivat vaikeiksi. Kasvustot leikattiin viikon puolen-toista välein. Kuitujen käyttö noin puolitti sadon jo pieninä annoksia. Kuitujen välillä ei ole eroa ja niiden annosten vaikutus satoon ei ole suoraviivainen. Mahdolliset erot vaikutuksissa peittyivät monoliittien ominaisuuksissa oleviin satunnaisiin eroihin. Näyttäisi siltä, että pienikin kuitumäärä alentaa oleellisesti satoa eikä se vähene annoksen kasvaessa oleellisesti. Sadonalennuksen arvo vuonna 2020 olisi ollut käytännön viljelyssä noin 100 € ha⁻¹. Karkearehulle, kuten italianraiheinälle ei ole varsinaista markkinahintaa, mutta sen voidaan olettaa olevan samaa suuruusluokkaa kuin viljassa, joka oli vuonna 2020 130–150 € t⁻¹ (14% RH). Maaliskuussa 2022 hintataso on jo kaksinkertainen verrattuna vuoden 2020 tasoon.



Kuva 6. Orgaanisen hiilen (t ha⁻¹) lisäyksen vaikutus italianraiheinän kumulatiiviseen satoon kesäsimulaation aikana. Ravinnekuitu (vasen), Lielahden kuituliete (oikea).

Ravinnekuitumonoliiteissa nitraattityypin määrä vaihteli simulaatioiden lopussa jonkin verran orgaanisen hiilen annoksen mukaan. Keskimäärin nitraattityppipitoisuus kasvoi lisätyn kuitumateriaalin funktiona, ja nitraattityppi painottui pintakerrokseen. Nitraattityypin määrä monoliiteissa hehtaaria kohti oli suuri johtuen raiheinän suuresta lannoituksesta. Se kuitenkin jostain syystä tarvitsi runsaan typpilannoituksen. Vaikka jo ensimmäisen lannoituksen typpiannos oli suuri, kasvusto kärsi myöhemmin typenpuutetta, ja se lannoitettiin uudelleen. Kummallakin kerralla käytetty lannoite oli Ducanit 15.5 % N (14.4% NO₃-N, 1.1% NH₄-N, CaO 26.3%) 13.5 g per monoliitti. Sen mukana tuli typpeä 308 kg ha⁻¹ kerta. Tarkoitus oli laittaa 80 kg N ha⁻¹. Lisälannoitusta jouduttiin kuitenkin toistamaan kasvuston kellastuessa, joten vahingossa annettu suurempi määrä ei ollut ainakaan haitaksi. Joka tapauksessa monoliiteissa oli purettaessa huomattavasti yli taustatason nitraattityppeä. Taustataso voisi olla noin 20 kg ha⁻¹ kahdessa ylimässä kerroksessa yhteensä. Pintakerroksen nitraattipitoisuus oli linjassa lannoituksen kanssa.



Kuva 7. Maamonoliittikerrosten nitraattityppimäärä (ylemmät kuvat) ja ammoniumtyppimäärä (alemmat kuvat). Ravinnekuitu (vasen), Lielahden kuituliete (oikea). Kuitulietettä lisättiin 92% ja ravinnekuitua 80% laskennallisista t C_{org} ha⁻¹ arvoista. Huomioi, että ammoniumtyppimäärän x-akseli on 10 kertaa pienempi kuin nitraattimäärän.

Kuitulietemonoliiteissa nitraattitypen määrä hehtaaria kohti väheni annoksen kasvaessa määrään 8 t org. C ha⁻¹ ja yli erityisesti keskikerroksessa (Kuva 7). Suuri kuitumäärä pintakerroksessa oli sitonut sitä niin, että nitraattityppeä ei kulkeutunut syvemmälle. Se lienee sitoutunut pintakerroksessa maan orgaaniseksi aineeksi.

Huomionarvoista on, että ammoniumtypen määrä kasvaa kuituannoksen kasvaessa, mutta sen jakautumisessa eri kerroksiin ei ole selvää tendenssiä (Kuva 7). Ammoniumtypen määrä oli suurimmillaan ravinnekuidun orgaanisen hiilen annoksen ollessa 1–2 t ha⁻¹. Tämä liittyy analyysien epätarkkuuteen. Keskikerroksen osuus oli suurimmillaan annoksen ollessa 1 t ha⁻¹. Pohjakerroksen osuus tästä oli suurimmillaan annoksen ollessa 2 t ha⁻¹. Pintakerroksen osuus ammoniumtypestä vaihteli satunnaisesti ilmeisesti monoliittien alkuperäisen ammoniumtyppipitoisuuden mukaan. Nitraatin määrä eri kerroksissa näyttää vaihdelleen satunnaisesti, mutta se keskittyi pintakerrokseen. Oleelliselta osalta maan liukoinen tyyppi oli pintakerroksessa.

Tulosten tarkastelu

Ravinnekuidulla nitraatin huuhtoutuminen painottui syyssimulaatiossa ensimmäiseen kuukauteen, minkä jälkeen se lähes loppui. Kuitulietekäsittelyissä nitraatin huuhtoutuminen ei vähentynyt yhtä jyrkästi. Kuiduttomasta käsittelystä nitraatin huuhtoutuminen jatkui lähes yhtä suurena kuin alussa vielä kahden kuukauden kuluttua simulaation alusta. Voidaan olettaa, että se jatkuisi lähes yhtä suurena vielä ainakin kuukauden. Syksyn pituudella onkin suuri merkitys kuiduttomasta käsittelystä huuhtoutuvan nitraatin määrän kannalta. Kuiduista on eniten hyötyä syksyn ollessa pitkä. Jotta kuitulietteellä saavutettaisiin merkittävä nitraatin huuhtoutumisen aleneminen, sen annosten pitää olla niin suuria, että ne johtavat potentiaalisesti merkittäviin sadonalennuksiin seuravana kasvukautena. Enimmillään kahden kuukauden simulaation aikana voitiin nitraatin huuhtoutumista vähentää määrästä 21.1 kg ha⁻¹ määrään 3.0 kg ha⁻¹ eli 14%:iin kuitulieteanneksen ollessa 8 t ha⁻¹. Ravinnekuidulla lähes yhtä suuri nitraatin huuhtoutumisen väheneminen saavutettiin jo annoksella 1 t ha⁻¹.

Talvella maan ollessa jäässä salaojavaluntaa ei ole, mutta simuloinnissa kevään alkamisen jälkeen eli monoliittien lämpötilan nostamisen +5 asteeseen jälkeen valunta alkoi uudelleen ja sen mukana nitraatin huuhtoutuminen. Kun jo pienet määrät ravinnekuitua vähensivät syksyllä huuhtoutuvan nitraatin määrää rajusti, kevään huuhtoutuma väheni vasta suuremmilla annoksilla. Keväällä huuhtoutuva nitraatin määrä oli lähes 1.5-kertainen syksyllä huuhtoutuvan nitraatin määrään nähden kahden kuukauden kuluessa, joten sen merkitys oli suurempi kokonaisuuden kannalta. Pienimmän ravinnekuituannoksen (1 t ha⁻¹) vaikutus ei riittänyt kevääseen saakka, vaan siitä huuhtoutui nitraattia yhtä lailla kuin kuiduttomasta käsittelystä. Annoksen kasvattaminen 2 t ha⁻¹ vähensi nitraatin huuhtoutumista keväällä oleellisesti, mutta täysi vaikutus saatiin vasta selvästi suuremmilla annoksilla (8 t ha⁻¹). Näillä ei kuitenkaan saatu yhtä suurta nitraatin huuhtoutumisen vähenemistä syksyllä. Niinpä kuitumäärällä on syytä hakea kompromissi syksyn ja kevään huuhtoutumisen kannalta pitäen mielessä se, että suuri kuituannos johtaa seuraavana kasvukautena sadonalennukseen.

Kesäsimuloinnissa nitraatin huuhtoutuminen syntyi aivan sen alussa kummallakin kuidulla ja sen määrä väheni suoraan kuituannoksen kasvaessa. Huuhtoutuminen loppui, kun monoliitteihin kylvetty italianraihin käytti sekä typen että veden. Lisäksi valumaa vähensi haihtuminen maan pinnasta. Kevään ja syksyn raja on hieman maakuasia. Tässä se asetettiin monoliittien siirtoon kasvihuoneeseen ja lämpötilan nostoon, mutta yhtä hyvin raja voisi olla hieman myöhemmin, jolloin kesän huuhtoutuminen olisi ollut käytännössä nolla.

Kun tarkastellaan syksyn, kevään ja kesän aikana syntyneitä nitraatin huuhtoutumaa, voidaan todeta, että ravinnekuitu vähensi samalla orgaanisen hiilen annoksella nitraatin huuhtoutumista enemmän kuin kuituliete. Ravinnekuidulla saavutettiin sama nitraatin huuhtoutumisen väheneminen pienemmällä orgaanisen hiilen annoksella kuin kuitulietteellä. Ravinnekuitu vähentää erityisen tehokkaasti syksyllä tapahtuvaa nitraatin huuhtoutumista jo pieninä annoksina, mutta kevään huuhtoutumisen tehokkaaseen vähentämiseen tarvitaan enemmän kuitua.

Johtopäätökset

Metsäteollisuudesta saatavilla kuitulietteillä voidaan vaikuttaa merkittävästi valumavesien typen huuhtoutumaan, josta suurin osa on nitraattityppeä. Maamonoliittikokeiden perusteella kuitukäsittely aiheuttaa kuitenkin merkittävää raiheinän satotappiota jo pienillä määrillä. Maamonoliiteissa nitraattityppi rikastuu pintakerrokseen ja ammoniumtyppi pohjakerrokseen, koska pintakerroksen kuidut sitovat nitraattitypen tehokkaasti. Kuituja käytettäessä pitää ottaa niiden sisältämät haitta-aineet huomioon. Ravinnekuitu sisälsi kadmiumia, jota saa levittää korkeintaan 1.5 g ha⁻¹ vuodessa tai 7.5 g ha⁻¹ viiden vuoden välein. Lisäksi Lielahden nollakuitu sisälsi elohopeaa.

Kiitokset

Rahoitus saatiin Ympäristöministeriön Ravinteiden kierrätyksen edistämistä ja Saaristomeren tilan parantamista koskevasta -ohjelmasta (Raki). Partnereina olivat Luken lisäksi Tampereen kaupunki ja Ammattiopisto Livia.

Kirjallisuusviitteet

Apilagroup 2013. Metsäteollisuuden ravinteet. Metsäteollisuuden sivuvirtojen hyödyntäminen lannoiteval-misteina. Apila Group Oy Ab. 40 s. 1 liite.

Esala, M. 1991. Split application of nitrogen: Effects on the protein in spring wheat and fate of ¹⁵N-labelled nitrogen in the soil-plant system. *Annales Agriculturae Fenniae* 30: 219–309.

Esala, M. 1995. Changes in the extractable ammonium- and nitrate-nitrogen contents of soil samples during freezing and thawing. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 26: 61–68. <https://doi.org/10.1080/00103629509369280>

Hovi, J. 2013. Puukuitulisäyksen ja talviaikaisen kasvipeitteisyyden vaikutus maan eroosioherkkyyteen. RaHa-hanke. Raportti. 21 s.

Kapuinen, P., Korpinen, R., Palojarvi, A. & Niemeläinen, O. 2020. Kuitulietettä peltoon ravinteiden välittäjäksi syksystä seuraavalle kasvukaudelle (Peltokuitu). Raki-hanke. Loppuraportti. 106 s. + 4 liitettä. https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/546901/Raki_Luke_Peltokuitu_Loppuraportti_311220.pdf

Kirchmann, H. & Bergström, L. 2003. Use of paper-mill wastes on agricultural soils: Is this a way to reduce nitrate leaching? *Acta agriculturae scandinavica. Section B, Soil and plant science* 53: 8. <https://doi.org/10.1080/09064710310003925>

Lehtonen, K., Tontti, T. & Kuisma, M. 2003. Biojäte- ja lietekompostien käyttömahdollisuudet kasvintuotannossa. Maa- ja elintarviketalous 28. www.mtt.fi/met/pdf/met28.pdf

Lohiniva, E., Mäkinen, T. & Sipilä, K. 2001. Lietteiden käsittely, Uudet ja käytössä olevat tekniikat. Espoo. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2001/T2081.pdf>

Muukkonen, P., Hartikainen, H. & Alakukku, L. 2009. Boardmill sludge reduces phosphorus losses from conservation-tilled clay soil. *Soil and Tillage Research* 104: 285–291. <https://doi.org/10.1016/j.still.2009.03.003>

Phillips, V.R., Kirkpatrick, N., Scotford, I.M., White, R.P. & Burton, R.G.O. 1997. The use of paper-mill sludges on agricultural land. *Bioresource technology* 60: 73–80. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(97\)00006-0](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(97)00006-0)

Rantala, P., Vaajasaari, K., Juvonen, R., Schultz, E., Joutti, A. & Mäkelä-Kurtto, R. 1999. Composting of forest industry waste-water sludges for agricultural use. *Water Science and Technology* 40: 187–194. <https://doi.org/10.2166/wst.1999.0711>

Salo, E. & Huttunen, M. 2015. Tampere Hietaranta kaavamuutoshanke - Arkeologinen vedenalaisinvestointi. Pintafilmi Oy. 23 s. +1 liite.