

Metsäteollisuuden kuitulietteiden peltoviljelykäyttö karkeilla kivennäismailla

Maarit Termonen¹, Riikka Keskinen², Johanna Nikama², Kirsi Järvenranta¹, Helena Soinne³, Mikko Järvinen¹, Kimmo Rasa², Jaana Uusi-Kämppe², Harri Auvinen⁴, Reijo Lappalainen⁵ ja Mari Rätty¹

¹Luonnonvarakeskus (Luke), Halolantie 31 A, 71750 Maaninka,

²Luonnonvarakeskus (Luke), Tietotie 4, 31600 Jokioinen

³Luonnonvarakeskus (Luke), Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

⁴Savonia-ammattikorkeakoulu, Microkatu 1, 70210 Kuopio

⁵Itä-Suomen yliopisto, Yliopistonranta 1 F, 70211 Kuopio

e-mail: maarit.termonen@luke.fi

Viimeaikaiset tulokset massa- ja paperiteollisuuden sivuvirroista ja tehtaan jätevesien puhdistusprosesseista syntyvien kuitulietteiden käytöstä maanparannusaineina hienojakoisilla viljelymailla ovat olleet lupaavia. Kuitulietteiden sato-, hiilisyöte- ja maanparannusvaikutusten selvittämiseksi karkeilla kivennäismailla (KHt) perustettiin Biosfääri-hankkeessa (Biosfääri Pohjois-Savo; Biomassan ja biojalostusteknologioiden hyödyntäminen liiketoiminnan kasvatamisessa) Luke Maaningalle kaksivuotinen, lohkoittain satunnaistettu ja neljänä kerranteena toteutettu kenttäkoe. Timotei-nurminatanurmi perustettiin kesäkuussa 2020 suojaviljan alle. Ennen kylvöä kuitulietteet levitettiin maan pintaan (21–28 tuore-t ha⁻¹, liukoinen-N n. 15 kg ha⁻¹, kokonais-P n. 26 kg ha⁻¹) ja äestettiin noin 7 cm:n syvyyteen. Toinen metsäteollisuuden kuitulietteistä oli tyyppinimeltään kalkkistabiloitu puhdistamoliete (kalkkikuitu Kuopio; Fortum Waste Solution Oy; jatkossa maanparannuskuitu A), kun taas toinen oli hygienisoimaton ja tuotteistamaton (Stora Enso Oyj, Varkaus; jatkossa maanparannuskuitu B). Kuitulietteistä otetuissa näytteissä ei todettu *salmonella*-bakteereita ja *Escherichia coli* -pitoisuudet (<10 pmy g⁻¹) alittivat raja-arvot. Ennakkotietojen perusteella levitysmäärät suunniteltiin siten, että keskimääräinen kadmiumin enimmäiskuormitus ei ylittyisi ja lisätty hiilimäärä olisi samansuuruinen kuitukoejäsenen kesken (toteuma n. 3100 kg C ha⁻¹). Molemmilla kuitulietteillä oli mukana kaksi mineraalityppilannoitustasoa (40 ja 80 kg N ha⁻¹, lisänä n. 40 kg K ha⁻¹). Mukana oli myös mineraalityppiportaati (0, 40, 80, 120 kg N ha⁻¹, lisänä 10 kg P ha⁻¹, n. 40 kg K ha⁻¹). Tässä raportissa tuloksia esitetään karsitusti seuraaville koejäsenille: 1) tyyppilannoittamaton 0 kg N ha⁻¹ (jatkossa 0 N), 2) mineraalityppiportas 80 kg N ha⁻¹ (jatkossa 80 N), 3) maanparannuskuitu A + 80 N ja 4) maanparannuskuitu B + 80 N. Nurmivuonna 2021 tarkasteltiin kuitulevitysten jälkivaikutusta. Mineraalityypen lannoitustasot säilytettiin samanlaisina kuin vuonna 2020 (lisänä 1. niitossa: 20 kg P ha⁻¹, n. 25 kg K ha⁻¹; 2. niitossa: 0 kg P ha⁻¹, n. 25 kg K ha⁻¹). Ensimmäisenä koevuonna puimalla korjatun ohran sato (15% kosteus) oli kuitukoejäsenillä 80 kg N ha⁻¹-lisäyktasolla keskimäärin 3840 kg ha⁻¹, eikä poikennut tilastollisesti merkitsevästi koejäsenestä 80 N. Vuonna 2021 kuitukoejäsenet tuottivat keskimäärin 980 kg ka ha⁻¹ suuremman nurmen kokonaiskuiva-ainesadon verrattuna 80 N -koejäseneseen. Tämä satoero oli tilastollisesti merkitsevä molemmilla maanparannuskuiduilla ja selittyi todennäköisesti kuitujen sisältämän typen mineralisoitumisella.

Avainsanat: hiili, nurmi, ohra, satovaikutus, tyyppi

Johdanto

Metsäteollisuudessa yhden merkittävimmistä sivuvirroista muodostavat orgaanista ainesta ja ravinteita sisältävät lietteet (kuiva-aineprosentti 25–65), jotka voidaan luokitella kuorimo-, pasta-, primääri-, sekundääri- ja siistauslietteiksi (Matilainen ym. 2013). Suomessa massa- ja paperiteollisuuden lietteitä muodostuu vuosittain lähes 580 000 t ka, ja ne sisältävät n. 230 t fosforia (P) ja 1160 t typpeä (N), josta liukoisen N:n osuus on 30 t (Marttinen ym. 2017). Teknisenä käsitteenä kuituliete sisältää kaikki metsäteollisuudessa syntyvät kuitupitoiset sivuvirrat. Nollakuitua saadaan paperin- ja kartonginvalmistuksen sivuvirtana, eikä siinä ole juuri lainkaan ravinteita. Ravinnepitoisia kuitulietteitä (kuituja) voidaan kutsua ravinnekuiduiksi ja kaikkia kuitulietteitä yhteisnimityksellä maanparannuskuiduiksi. Liete-nimestään huolimatta koostumus ei ole lietemäistä, vaan kuitulietteiden levitys onnistuu esimerkiksi kuivallannan levitykseen soveltuvalla kalustolla.

Vuosittain muodostuvasta lietemäärästä valtaosa (66%) poltetaan tuotantolaitosten omissa laitoksissa lämmön- ja sähkön tuottamiseksi, lietteistä 32% käsitellään kompostoimalla ja 2% muilla tavoin esim. kemiallisesti happo- ja hapetus käsittelyllä (Kemicond-menetelmä) tai kalkkistabiloinnilla (Matilainen ym. 2013, Marttinen ym. 2017). Metsäteollisuudessa on aktiivisesti kehitetty erilaisten sivuvirtojen hyödyntämistä. Lannoitus- tai maanparannuskäyttöön soveltuvien sivuvirtajakeiden käytön ja jatkojalostuksen kehittämällä edistetään sekä ravinteiden kierrätyksen että hiilensidonnann tavoitteita.

Maanparannuskäytössä erilaisia kuituliettteitä voidaan käyttää sellaisenaan, kompostoituna tai kalkkistabiloituna. Käsittely vaikuttaa lopputuotteen laatuun ja jokaisesta erästä toimitetaan erillinen tuoteseloste, josta selviää mm. orgaanisen hiilen (C), N:n, P:n, kaliumin (K), rikin (S), magnesiumin (Mg) ja kalsiumin (Ca) pitoisuus sekä pH (Ajosenpää ym. 2021). Kaikki kuituliettteet sisältävät runsaasti hiiltä. Levitysmäärän ollessa 40 t ha⁻¹ pellolle tulee hiiltä 6–7 t ha⁻¹. Kuitulietteen hiili on mikrobien ruokaa maassa. Mikrobit erittävät kuitua hajottaessaan liima-aineita, jotka yhdessä maahan muodostuvan sienirihmaston kanssa parantavat maamurujen kestävyttä (Ajosenpää ym. 2021). Kuitulietteilillä on todettu olevan ensisijaisesti vaikutuksia vesistökuormituksen vähenemiseen, kun eroosio ja maa-aineksen mukana kulkeutuva fosforikuormitus ovat pienentyneet kuitulietekäsittelyn saaneilla pelloilla (Valkama ja Luodeslampi 2020, Rasa ym. 2021).

Suuren levitysmäärän ja kasvavien kuljetuskustannusten takia kuitulietteen käyttö on edullisinta lähellä lietteen syntypaikkoja Keski- ja Itä-Suomessa. Kuitulietteen käytölle on saanut tukea maatalouden ympäristökorvauksen kautta (ravinteiden ja orgaanisten aineiden kierrättämisen tuki). Lisäksi on mahdollista saada korvausta myös hiilinielun päästökompensaatiokaupan kautta. Levitys tulee toteuttaa 1. huhtikuuta ja 31. lokakuuta välisenä aikana, ja liete tulee mullata kevyesti 24 tunnin sisällä levityksestä (Finlex 2014). Kuitulietteen sisältämä P ja liukoinen N tulee huomioida lannoituksessa. Vuonna 2021 maanparannuskuituja levitettiin yli 2500 peltohehtaarille. Erilaisien orgaanisten lietteiden ja sivuvirtojen peltoviljelykäytön hyödyntämisen lainsäädännöllisiä edellytyksiä, niiden tuomia mahdollisuuksia ja haasteita on tarkasteltu viimeaikaisissa raporteissa ja selvitystyöissä (esim. Kapuinen ym. 2020, Kinnunen ja Pirkkamaa 2020).

Biosfääri Pohjois-Savo-hankkeessa toteutetussa kenttäkokeessa tutkittiin kahden erilaisen metsäteollisuudesta peräisin olevan kuitulietteen (kalkkistabiloitu puhdistamoliete sekä tuotteistamaton kuituliete) sato-, hiilisyöte- ja maanparannusvaikutuksia Maaningan karkeilla kivennäismailla. Tässä raportissa tarkastellaan kuitulietteen vaikutusta levitysvuonna ohrakasvustoon (sato, Nsato, raakavalkuainen (rv), P, K, S, tuhannen jyvän paino (tjp) ja hehtolitraino (hlp)) ja seuraavana vuotena nurmikasvustoon (sato, Nsato, rv, P, K ja S) sekä vaikutuksia maan muokkauskerroksen ominaisuuksiin (N, C, P, K, S).

Materiaali ja menetelmät

Tutkimus toteutettiin ruutukokeena Luonnonvarakeskuksen Kuopio Maaningan toimipaikassa vuosina 2020–2021. Koeruutujen kokona oli 22.5 m² (1.5 m x 15 m) ja kokeen koasetelmana käytettiin lohkoittain satunnaistettua koetta neljänä kerranteena. Koekentällä oli samanaikaisesti käynnissä ”Orgaanista voimaa peltoon ja parteen (OrVo)”-hankkeen tutkimus, jossa testattiin orgaanisten lannoitteiden lannoitusarvoa. Hankkeiden koejäsenet oli arvottu samalle koealueelle, ja hankkeilla oli osittain mahdollisuus hyödyntää samoja mineraalityypikoekäseniä, mutta kokeiden tulokset laskettiin ja raportoititiin erikseen. Kevätkosteuden haihtumisen minimoimiseksi ohran sadonkorjuun jälkeen syksyllä 2019 muokattu koekenttä tasattiin lanaamalla, jonka jälkeen otettiin alkumaanäytteet (28.5.2020) kokoomanäytteinä (n=8, kerranne jaettuna kahteen lohkoon). Koealueella oli maaperän ominaisuuksissa vaihtelua, jota esiintyi etenkin kerranteiden välillä, mutta vähäisemmässä määrin kerranteen sisällä olevien kahden lohkon välillä. Koemaan maannos sai World Reference Base for Soil Resources (IUSS Working Group WRB 2015) -järjestelmän mukaan nimen Dystric Arenosol (Stagnic) ja osin koekentän reuna-alueella nimen Stagnic Cambisol. Muokkauskerroksen (0–20 cm) maalaji oli multava karkea hieta (mKHt), jonka pH (H₂O) oli keskimäärin 6.0, kokonaishiilen pitoisuus 1.8% ja kokonaistypen pitoisuus 0.13%. Muokkauskerroksen keskimääräinen P-luku (14 mg l⁻¹ maata) oli viljavuusluokassa tyydyttävä ja K:n (77 mg l⁻¹ maata), S:n (7.4 mg l⁻¹ maata), Ca:n (1140 mg l⁻¹ maata) ja Mg:n (95 mg l⁻¹ maata) osalta koealueen maa oli välttävissä luokassa. Keskimääräiset ravinnereservit olivat P:n, K:n ja Mg:n suhteen viljavuusluokassa hyvä.

Kenttäkokeessa oli mukana kaksi ravinnepitoista metsäteollisuuden kuitulietettä, jotka on jatkossa nimetty maanparannuskuitu A ja B (Kuva 1, Taulukko 1). Maanparannuskuitu A oli tyyppinimeltään kalkkistabiloitu puhdistamoliete (kauppanimi: kalkkikuitu Kuopio; Fortum Waste Solution Oy), kun taas maanparannuskuitu B oli hygienisoimaton ja tuotteistamaton (Stora Enso Oyj, Varkaus). Tutkituissa näytteissä ei todettu *salmonellabakteereita* ja *Escherichia coli* -pitoisuudet (<10 pmy g⁻¹) alittivat raja-arvon (MMM_a 24/11; <1000 pmy g⁻¹). Maanparannuskuitujen levitysmäärät pyrittiin suunnittelemaan ennakkotietojen avulla siten, että keskimääräinen kadmiumin (Cd) enimmäiskuormitus ei ylittyisi ja lisätyt hiilimäärät olisivat vertailukelpoisia koejäsenten kesken. Molemmilla maanparannuskuiduilla oli mukana kaksi mineraalityypilannoitustasoa (40 ja 80 kg N ha⁻¹). Mukana oli myös mineraalityypiportaat (0, 40, 80, 120 kg N ha⁻¹). Tässä raportissa esitetään kenttäkokeen tuloksia karsitusti seuraaville koejäsenille: 1) tyyppilannoittamaton 0 kg N ha⁻¹ (jatkossa 0 N), 2) mineraalityypiporras 80 kg N ha⁻¹ (jatkossa 80 N), 3) maanparannuskuitu A + 80 N ja 4) maanparannuskuitu B + 80 N.



Kuva 1. Vasemmanpuoleisissa kuvissa maanparannuskuitu A ja oikeanpuoleisissa maanparannuskuitu B

Taulukko 1. Maanparannuskuitujen (A ja B) pH sekä kokonaistypen (Kok-N), liukoisen typen (Liuk-N), fosforin (P), kaliumin (K), rikin (S), hiilen (C) ja kadmiumin (Cd) pitoisuudet ja niiden toteutuneet levitysmäärät vuonna 2020

Pitoisuudet		Kok-N	Liuk-N	P	K	S	C	Cd
Koejäsen	pH	g kg ⁻¹ ka						
Maanparannuskuitu A ¹	9.4	14.7	1.3	3.0	1.1	2.3	298	0.6
Maanparannuskuitu B ²	6.9	15.0	1.7	2.5	0.9	10.2	348	2.1
Levitysmäärät		Kok-N ³	Liuk-N ⁴	P ⁵	K	S	C	Cd
Koejäsen	t ha ⁻¹	kg t ⁻¹						
Maanparannuskuitu A	28	148	13	30	11.0	22	2940	5.5
Maanparannuskuitu B	21	145	16	23	8.6	97	3290	19.0

¹Kuiva-aine 35%, tilavuuspaino 1113 kg m⁻³; ²Kuiva-aine 45%, tilavuuspaino 667 kg m⁻³; ³Nitraattiasetuksen tuotantoeläinten lannalle ja orgaanisille lannoitevalmisteille asetettu kokonais-N:n enimmäisraja 170 kg ha⁻¹ v⁻¹ koskee myös maanparannuskuitutuotteita siinä tapauksessa, jos ne sisältävät lantaa. ⁴Nitraattiasetuksen mukaisesti maanparannuskuitujen liukoinen N huomioidaan kokonaisuudessaan, ja lannoitus määräytyy kasvin, multavuuden ja satotason perusteella. Syksyllä levitettävän liukoisen N:n määrä saa enimmillään olla 35 kg ha⁻¹ ja se on huomioitava seuraavan viljelykasvin lannoituksessa (MMMa 1250/2014). ⁵Ympäristökorvauksen piirissä maanparannuskäytössä olevien kuitutuotteiden kokonais-P:sta otetaan huomioon 60%.

Muovikontteihin varastoituja maanparannuskuituja sekoitettiin pressujen päällä ja niistä punnittiin saaveihin ruutukohtaisesti levitettävät erät, jotka levitettiin 1.6.2020 lapiolla maan pintaan mahdollisemman tasaiseksi kerrokseksi. Levityksen yhteydessä kuiduista otettiin osanäytteitä ja niistä koostettiin sankoihin kolme rinnakkaisnäytettä laboratorioanalyysijä varten. Mineraalilannoitteet levitettiin samana päivänä, jonka jälkeen koealue äestettiin noin 7 cm:n syvyyteen. Timotei-nurminatanurmi (Trygve 15 kg ha⁻¹, Minto 6 kg ha⁻¹) perustettiin suojaviljan (Brage-ohra 188 kg ha⁻¹) alle kesäkuussa 2020 (kylvö 2.6.), jonka jälkeen koealue jyrättiin. Suojavilja korjattiin puimalla 14.9., ja sadonkorjuun yhteydessä määritettiin ruutusato (jyväsato 15% kosteudessa ja kuiva-ainesato) sekä otettiin jyvänäytteet analyysijä varten. Jyvänäytteistä määritettiin rv, hlp, tjp sekä P:n, K:n ja S:n pitoisuudet. Lisäksi jyvänäytteistä määritettiin valikoiduilta koejäseniltä Cd-pitoisuudet. Nurmivuonna mineraalityypen lannoitustasot säilytettiin samanlaisina (Taulukko 2). Nurmelta korjattiin kaksi satoa (15.6. ja 4.8.2021) ja määritettiin ruutusadot (kuiva-ainesato) sekä otettiin analyysinäytteet (rv, P, K ja S). Ravinnetaset laskettiin N:lle ja P:lle annettujen ravinteiden kokonaismäärien ja sadossa poistuneiden ravinteiden erotuksena. Syksyisin sadonkorjuun jälkeen otettiin seurantamaanäytteet (0–20 cm ja 20–40 cm) perustutkimusta (hapan ammoniumasetaattiutto; Vuorinen ja Mäkitie 1955), KCl-uttolaisen (2 M) liukoisen epäorgaanisen typen (mineraalityppi: ammonium NH₄-N-

ja nitraattityppi $\text{NO}_3\text{-N}$) ja orgaanisen typen (SON; laskettiin KCl-uuttoisen kokonais-N:n ja epäorgaanisen N:n erotuksena) sekä kokonaishiili- ja typpipitoisuuksien määrittämiseksi varten (kuivapoltto, Dumas-menetelmä). Maan hiilipitoisuuksia määritettiin myös valikoiduilta koejäseniltä otetuista viipaloituista kerrosmaanäytteistä (0–10 cm).

Tulokset analysoitiin SAS 9.4. -ohjelmiston *Mixed*-proseduurilla siten, että koejäsen oli mallissa kiinteänä ja kerros satunnaisena tekijänä. Parivertailut tehtiin Tukey-Kramerin testillä. Vuodet, niitot ja maaprofiilien syvyydet analysoitiin erikseen.

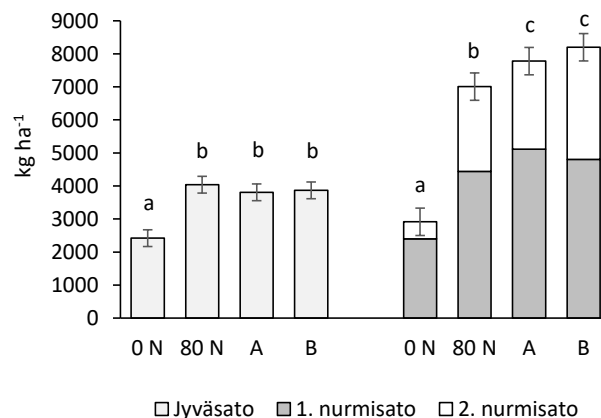
Taulukko 2. Mineraalilannoitteiden mukana koejäsenille annetut liukoisen typen (Liuk-N), fosforin (P), kaliumin (K) ja rikin (S) määrät. Vuosi 2020 oli viljavuosi (puitu ohra) ja 2021 nurmivuosi. 0 N = typpilannoittamaton koejäsen, 80 N = mineraalityppiporras 80 kg N ha⁻¹. Mineraalilannoitukset annettiin YaraBela Suomensalpietarina, superfosfaattina ja kaliumsuolana.

Koevuosi	Koejäsen	Liuk-N	P	kg ha ⁻¹	
				K	S
2020	0 N	0	10	40	0
	80 N	80	10	43	12
	Maanparannuskuitu A	80	0	43	12
	Maanparannuskuitu B	80	0	43	12
2021	0 N	0	20	25	0
	1. sato 80 N	80	20	28	12
	Maanparannuskuitu A	80	20	28	12
	Maanparannuskuitu B	80	20	28	12
2021	0 N	0	0	25	0
	2. sato 80 N	80	0	28	12
	Maanparannuskuitu A	80	0	28	12
	Maanparannuskuitu B	80	0	28	12

Tulokset

Sato ja kasvustonäytteiden ominaisuudet

Ohran jyväsato oli kuitukoejäsenillä yhtä suuri kuin 80 N -koejäsenellä (Kuva 2). Hehtolitraino oli keskimäärin 61.3 kg ja tuhannen jyvän paino (tjp) 36.6 g. 0 N -koejäsenen tjp oli suurempi kuin maanparannuskuitu B:n (38.4 g vs. 35.0 g), hehtolitrainoissa ei ollut eroja. Maanparannuskuitu B:n rv-pitoisuus oli pienempi kuin 80 N -koejäsenen, mutta N-sadossa ei ollut eroja 0 N -koejäsentä lukuun ottamatta (Taulukko 3). Jyvien P-, K- ja S-pitoisuuksissa ei ollut eroja koejäsenten välillä.



Kuva 2. Ohran jyväsato (15% kosteus) vuonna 2020 ja nurmisato (kg ka ha⁻¹) vuonna 2021. A = maanparannuskuitu A + 80 N, B = maanparannuskuitu B + 80 N. Virhepalkit ovat keskiarvon keskivirheet.

Taulukko 3. Ohran jyväsadon raakavalkuaispitoisuus (rv), N-sato sekä P-, K- ja S-pitoisuudet vuonna 2020

	rv	Nsato	P	K	S
Koejäsen	g kg ⁻¹ ka	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹ ka	g kg ⁻¹ ka	g kg ⁻¹ ka
0 N	97 ab	32 a	4.7 a	4.8 a	1.4 a
80 N	102 b	56 b	4.5 a	4.9 a	1.4 a
Maanparannuskuitu A + 80 N	99 ab	51 b	4.8 a	5.0 a	1.4 a
Maanparannuskuitu B + 80 N	95 a	50 b	4.5 a	4.9 a	1.4 a
Keskiarvo	98	47	4.6	4.9	1.4
Keskiarvon keskivirhe	2.9	4.4	0.08	0.07	0.03
P-arvo	*	***	*		

*** (P<0.001), ** (P<0.01), *(P<0.05), (P<0.10)

Nurmen ensimmäisessä sadossa vain 0 N -koejäsen poikkesi muista matalammalla satotasolla. 80 N -koejäsen tuotti 0 N -koejäsentä suuremman rv-pitoisuuden, mutta kuitukoejäsenet eivät eronneet kummastakaan kuiduttomasta käsittelystä (Taulukko 4). Kuitukoejäsenen N-sato oli samaa tasoa 80 N -koejäsenen kanssa. 0 N -koejäsenen K- ja S-pitoisuus oli muita koejäseniä pienempi ja P-pitoisuus maanparannuskuitu A:ta pienempi. Toisessa sadossa 0 N -koejäsenen sato oli erittäin matala poiketen kaikista muista. Lisäksi maanparannuskuitu B tuotti korkeamman sadon kuin 80 N -koejäsen. Rv-pitoisuuksissa ei ollut eroja, ja 0 N -koejäsenen N-sato jäi muita selvästi heikommaksi (Taulukko 5). Kuitukoejäsenen P-pitoisuus oli 80 N -koejäsentä suurempi, ja maanparannuskuitu A:n K-pitoisuus oli 80 N -koejäsentä suurempi. S-pitoisuuksissa ei ollut eroja 0 N -koejäsenen muita suurempaa pitoisuutta lukuun ottamatta. Jyvien Cd-pitoisuudet jäivät kaikissa jyvänäytteissä alle määrittäysrajan (<0.03 mg kg⁻¹ ka).

Taulukko 4. Nurmen 1. sadon raakavalkuaispitoisuus (rv), N-sato sekä P-, K- ja S-pitoisuudet vuonna 2021

2021 1. sato	rv	Nsato ¹	P	K	S
Koejäsen	g kg ⁻¹ ka	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹ ka	g kg ⁻¹ ka	g kg ⁻¹ ka
0 N	84 a	31 a	2.6 a	25 a	1.1 a
80 N	118 b	83 b	3.2 ab	29 b	2.0 b
Maanparannuskuitu A + 80 N	106 ab	86 b	3.3 b	30 b	2.0 b
Maanparannuskuitu B + 80 N	110 ab	84 b	3.2 ab	29 b	2.1 b
Keskiarvo	104	71	3.1	28	1.8
Keskiarvon keskivirhe	6.9		0.18	1.0	0.06
P-arvo	*	***	*	*	***

*** (P<0.001), ** (P<0.01), *(P<0.05), 0 (P<0.10); ¹Käytetty logaritimuunnosta, keskivirhettä ei esitetä.

Taulukko 5. Nurmen 2. sadon raakavalkuaispitoisuus (rv), N-sato sekä P-, K- ja S-pitoisuudet vuonna 2021

2021 2. sato	rv	Nsato	P	K	S
Koejäsen	g kg ⁻¹ ka	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹ ka	g kg ⁻¹ ka	g kg ⁻¹ ka
0 N	100 a	8 a	2.7 c	19 ab	2.2 b
80 N	105 a	43 b	1.8 a	18 a	1.7 a
Maanparannuskuitu A + 80 N	103 a	44 b	2.4 bc	21 b	1.7 a
Maanparannuskuitu B + 80 N	98 a	53 b	2.2 b	20 ab	1.7 a
Keskiarvo	101	37	2.3	19	1.8
Keskiarvon keskivirhe	4.5	6.8	0.08	0.5	0.09
P-arvo		***	***	**	***

*** (P<0.001), ** (P<0.01), *(P<0.05), 0 (P<0.10)

Kokonais-N:n taseet olivat käsittelyvuonna 2020 kuitukoejäsenillä voimakkaan positiivisia ja vastaavasti typpilannoittamattomalla 0 N -koejäsenellä N:n taseet olivat negatiivisia molempina koevuosina (Taulukko 6). Maanparannuskuiduilla myös P-taseet jäivät ohravuonna selvästi positiivisiksi ja maanparannuskuitu A:n P-tase oli kuitu B:tä korkeampi. Nurmen vuositasen osalta P-taseet muuttuivat kuitukoejäsenillä positiivisista negatiivisiksi. 80 N -koejäsenen P-tase oli vuonna 2020 negatiivinen ja vuonna 2021 niukasti positiivinen. Nurmen kokonaissadossa 0 N -koejäsen poikkesi muista koejäsenistä pienemmällä N-taseella ja suuremmalla P-taseella.

Taulukko 6. Typpi- ja fosforitaseet jyväsadossa v. 2020 sekä nurmen kokonaissadossa v. 2021

	2020			2021	
	LiukNtase	KokNtase	Ptase	Ntase	Ptase
Koejäsen	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
0 N	-32 a	-32 a	0 b	-40 a	12 c
80 N	24 b	24 b	-5 a	33 b	1 b
Maanparannuskuitu A + 80 N	42 c	179 c	15 d	29 b	-3 a
Maanparannuskuitu B + 80 N	46 c	173 c	8 c	23 b	-2 a
Keskiarvo	20	86	5	11	2
Keskiarvon keskivirhe	4.4	4.4	1.0	10.3	1.2
P-arvo	***	***	***	***	***

*** (P<0.001), ** (P<0.01), *(P<0.05), 0 (P<0.10)

Maan ominaisuudet

Kalkkistabiloitu maanparannuskuitu A nosti kyntökerroksen pH:ta vuonna 2020 0.7 yksikköä 80 N koejäsenen verrattuna. Vuonna 2021 maan pH oli maanparannuskuitu A käsittelyssä edelleen 0.6 yksikköä 80 N koejäsenestä suurempi. Vaikutukset muokkauskerroksen P- ja K-pitoisuuteen olivat vähäiset (Taulukko 7). Maanparannuskuitu B nosti vuonna 2020 muokkauskerroksen S-pitoisuutta 80 N ja 0 N -koejäseniä suuremmaksi ja vuonna 2021 maanparannuskuitu A ja 0 N -koejäseniä suuremmaksi. Vaikutus näkyi vielä suurempana muokkauskerroksen alapuolella (20–40 cm), jossa maanparannuskuitu B:n S-pitoisuus oli suurempi kuin muilla koejäsenillä v. 2020 (10 mg l⁻¹ vs. 6 mg l⁻¹). Myös vuonna 2021 korkein S-pitoisuus muokkauskerroksen alapuolella oli maanparannuskuitu B:llä (10 mg l⁻¹), toiseksi korkein maanparannuskuitu A:lla (9 mg l⁻¹) ja matalin 0 N -koejäsenellä (6 mg l⁻¹). 80 N koejäsenen ominaisuuksia muokkauskerroksen alapuolella ei määritetty vuonna 2021.

Maanparannuskuitujen lisäys pintakerrokseen ei näkynyt merkitsevänä muokkauskerroksen C-pitoisuuden nousuna kumpanakaan koevuonna (Taulukko 7), mutta levitystä seuraavana syksynä maan C-pitoisuus pintakerroksessa (0–10 cm) oli kuitukoejäsenillä 0.2%-yksikköä korkeampi mineraaliportaaseen verrattuna. Kokonaistypen määrässä muokkauskerroksessa ei ollut eroja koejäsenten välillä (Taulukko 7).

Taulukko 7. Maan hiilipitoisuus (C) pintakerroksessa (0–10 cm) ja hiilen, typen (N), fosforin (P), kaliumin (K) ja rikin (S) pitoisuudet kyntökerroksessa (0–20 cm) syksyllä 2020 ja 2021. Samassa sarakkeessa eri kirjaimilla merkityt luvut eroavat tilastollisesti merkitsevästi.

2020	0–10 cm		0–20 cm			
	C	C	N	P	K	S
Koejäsen	%	%	%	mg l ⁻¹	mg l ⁻¹	mg l ⁻¹
0 N		1.72 a	0.14 a	11 ab	79 a	6 a
Min. 80 N	1.74 a	1.63 a	0.13 a	9 a	78 a	6 ab
Maanparannuskuitu A + 80 N	1.95 b	1.85 a	0.15 a	12 b	85 a	9 bc
Maanparannuskuitu B + 80 N	1.94 b	1.82 a	0.14 a	10 ab	84 a	9 c
Keskiarvo	1.88	1.76	0.14	10	81	7
Keskiarvon keskivirhe	0.141	0.14	0.012	1.4	6.8	0.7
P-arvo	*	0		*		**
2021	0–10 cm		0–20 cm			
Koejäsen	C	C	N	P	K	S
Koejäsen	%	%	%	mg l ⁻¹	mg l ⁻¹	mg l ⁻¹
0 N		1.88 a	0.14 a	10 a	75 b	7 a
Min. 80 N	1.88 a	1.89 a	0.15 a	11 a	63 a	11 b
Maanparannuskuitu A + 80 N	1.94 a	1.92 a	0.15 a	11 a	67 ab	8 a
Maanparannuskuitu B + 80 N	1.99 a	1.94 a	0.15 a	12 a	68 ab	10 b
Keskiarvo	1.94	1.90	0.15	11	68	9
Keskiarvon keskivirhe	0.157	0.18	0.015	1.2	4.8	0.8
P-arvo			0		*	***

*** (P<0.001), ** (P<0.01), *(P<0.05), 0 (P<0.10)

Syksyllä 2020 nitraattityppeä oli muokkauskerroksessa noin 1.1 kg ha^{-1} ja epäorgaanista typpeä ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$) noin 4.1 kg ha^{-1} . Koejäsenten välillä ei ollut eroja epäorgaanisten tyyppijakeiden osalta. Vuonna 2021 vastaavat keskiarvot olivat samat 1.1 ja 4.1 kg ha^{-1} . 80 N -mineraalityyppiportaalla oli enemmän nitraattityppeä kuin 0 N - ja maanparannuskuitu B-koejäsenillä (1.3 vs. 0.9 kg ha^{-1}). Liukoisen orgaanisen typen (SON) pitoisuus oli vuonna 2020 noin 23-kertainen ja vuonna 2021 noin 27-kertainen nitraattityypen pitoisuuteen verrattuna (9.90 vs. 0.43 mg kg^{-1} ja 11.09 vs. 0.40 mg kg^{-1}).

Tulosten tarkastelu

Tässä tutkimuksessa kuitulevytykset tapahtuivat keväällä juuri ennen nurmen perustamista suojaviljaan. Kuitukäsittelyillä ei kuitenkaan ollut vaikutusta ohran jyväsatoon tai sen tyyppisatoon, kun kuitujen liukoinen tyyppi täydennettiin mineraalityypilannoituksella, jonka taso oli mielekäs niin käytännön viljelyn kuin sato-odotustenkin kannalta. Aiemmassa Jokioisten kenttäkokeessa (2015–2019) kompostoidun kuitulietteen, kalkkistabiloidun kuitulietteen ja nollakuidun levytykset toteutettiin syksyllä tätä koetta selvästi suuremmilla levitysmäärillä ($51\text{--}72 \text{ tuore-t ha}^{-1}$) (Rasa ym. 2021). Jokioisten kokeessa nollakuitu vähensi syyslevityksen jälkeisen kesän vehnäsatoa 14% :lla, kun taas toisella satokaudella kalkkistabiloitu kuituliete lisäsi kaurasatoa 500 kg ha^{-1} . Korkean hiili-typpi -suhteen omaavan orgaanisen aineksen, kuten ravinneköyhän nollakuidun, hajotuksessa mineraalityppeä sitoutuu mikrobeihin (immobilisaatio), mikä voi näkyä sadonalennuksena etenkin, jos kylvö tapahtuu pian levityksen jälkeen. Tämän takia kuitulevitysten ja kylvön väliin suositellaan vähintään kahden viikon varoaikaa (Ajosenpää ym. 2021).

Mineralisaatio voi vastaavasti näkyä satohyötynä, kun kuitujen orgaanista typpeä vapautuu mineraalimuotoon ja kasvien käyttöön. Myös Maaningalla toteutetussa kenttäkokeessa havaittiin toisella satokaudella kuitujen tuoma $770\text{--}1190 \text{ kg ha}^{-1}$ sadonlisä nurmen kokonaiskuiva-ainesadossa, mikä todennäköisesti selittyi mineralisaatiolla ja/tai kuitujen maanparannusvaikutuksella. Kinnulan ym. (2020) Viikin koepelloilla toteuttama koe antoi myös viitteitä, että osa kevätiljojen tyyppilannoituksesta voitaisiin mahdollisesti korvata syksyllä levitetyn kuitulietteen (liukoisella) tyypellä. Kuitulietteen (liuk-N keskimäärin 22 kg ha^{-1} + mineraali-N 50 kg ha^{-1}) ja mineraalilannoitteen (80 kg N ha^{-1}) tyypellä ei ollut vaikutusta keväthevän satoon tai laatuun (tjp, hlp), mutta kokeessa sadonmuodostusta saattoivat rajoittaa muutkin tekijät kuin typen saataavuus.

Suomalaisten peltomaiden pintakerroksen hiilivaraston on arvioitu olevan kivennäismailla 117 Tg , joka hehtaarisatasolla vastaa keskimääräistä hiilivarastoa $41\text{--}67 \text{ t ha}^{-1}$. Viimeisten vuosikymmenien (1974–2009) aikana suomalaisten peltomaiden ($0\text{--}15 \text{ cm}$) hiilipitoisuus on kuitenkin ollut laskusuunnassa, ja kivennäismailla hiilivaraston vähenemän on vuositasolla todettu olevan keskimäärin 0.4% , mikä vastaa noin 220 kg ha^{-1} (Heikkinen ym. 2013). Metsäteollisuuden orgaanisten sivuvirtojen peltoviljelykäytöllä on mahdollista kierrättää ja palauttaa puiden sitomaa hiiltä maaperään, ja maanparannuskuitujen on havaittu hajoavan maaperässä hitaammin verrattuna etenkin tuoreeseen kasvimateriaaliin tai nautan lietelantaan (Heikkinen ym. 2021). Yksittäisillä käsittelyillä aikaansaadut muutokset maaperän hiilivarastossa ovat usein hyvin pieniä verrattuna maan luontaiseen hiilivarastoon, ja siten ne ovat maanäytteenotoilla ja -analyysillä vaikeasti todennettavissa. Tässä tutkimuksessa maanparannuskuidut (C-lisäys keskimäärin 3115 kg ha^{-1}) kasvattivat hiilipitoisuutta maan pintakerroksessa, ja trendiomaisesti lisäys oli havaittavissa myös muokkauskerroksessa verrattuna mineraalityppi 80 N ja 0 N -koejäseniin. Jokioisten savimaalla maanparannuskuiduilla toteutetussa kenttäkokeessa hiilen lisäysmäärä oli keskimäärin $8400 \text{ kg C ha}^{-1}$. Kuitutuotteiden hajoamisesta huolimatta neljän vuoden jälkeen oli vielä havaittavissa käsittelyjen tuoma pieni lisäys ($0.02\text{--}0.18\%$) muokkauskerroksen hiilipitoisuuksissa (Rasa ym. 2021). Orgaanisen aineksen lisäämisellä voi olla positiivinen vaikutus myös vesistöille maan rakenteellisten ominaisuuksien paranemisen kautta. Jokioisen kenttäkokeelta nostetuilla maamonoliiteilla toteutetuissa sadetuskokeissa kuitukäsittelyt vähensivät ensimmäisenä vuonna läpivaluntaveden kiintoaineksen ja siihen sitoutuneen partikkelifosforin pitoisuuksia yli 60% ja neljäntenä koevuonna vielä yli 25% (Rasa ym. 2021).

Suomalaisen peltomaan kadmiumin kokonaispitoisuus on muokkauskerroksessa keskimäärin 0.18 mg kg^{-1} kuivaa maata ($n=338$; vaihteluväli $0.02\text{--}0.75 \text{ mg kg}^{-1}$ ka), ja luonnostaan suurimmat pitoisuudet löytyvät eloperäisiltä ja hienojakoisilta mailta ja vastaavasti pienimmät pitoisuudet karkeilta kivennäismailla (Mäkelä-Kurtto ym. 2007). Kadmium on peltoekosysteemissä ja elintarvikeketjussa haitallinen raskasmetalli, joka on helposti kasvien saattavilla ja altis huuhtoutumiselle. Lannoitevalmisteiden käytöstä aiheutuva kadmiumin enimmäiskuormitus ei saa viiden vuoden aikana ylittää 7.5 g ha^{-1} (tai $1.5 \text{ g ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$). Kenttäkokeessa käytetyn tuoreen, tuotteistamattoman maanparannuskuitu B:n kadmiumpitoisuus oli esitietoja ja maanparannuskuitua A selvästi korkeampi, ja ylitti myös lannoitevalmisteille sallitun enimmäismäärän (MMM 24/11; $1.5 \text{ mg Cd kg}^{-1}$ ka). Kenttäkokeella käytetty kuituerä ja levitysmäärä johtivat kuitu B:n osalta kadmiumin enimmäiskuormituksen ylittymiseen. Maanparannuskuituja

saaneilta koeruuduilta puitujen ohran jyvien kadmiumpitoisuuksissa ei kuitenkaan ollut havaittavissa eroja verrattuna vain mineraalityyppä saaneeseen 80 N -koejäseneseen (eroja ei havaittu myöskään läpivaluntakokeessa vesinäytteiden Cd-pitoisuuksien osalta). Tässä tutkimuksessa ei koeruuduilta määritetty maan kadmiumpitoisuuksia, mutta Rasan ym. (2021) mukaan maanparannuskuitujen levitys ei Jokioisen hienojakoisella koekentällä muuttanut maaperän kadmiumpitoisuuksia kontrollikoejäseneseen verrattuna (keskimäärin 0.16 mg Cd kg⁻¹ ka). Maanparannuskuitujen mukana tulevan kadmiumin määrä sekä uuden kuituerän seuraava mahdollinen levitysajankohta ilmoitetaan tuoteselosteessa. Tuoteselosteeseen on hyvä tutustua ja käyttö suunnitella jo ennen kuin hankkii tuotteita, sillä kuitulevityksestä saattaa seurata viljelykasvirajoituksia seuraavina vuosina.

Johtopäätökset

Tulosten perusteella maanparannuskuitujen levitys juuri ennen nurmen perustamista suojaviljaan ei aiheuttanut samalla kasvukaudella typen immobilisaatiosta johtuvaa ohran sadonalennusta, kun kylvölannoitus liukaisen typen osalta oli suunniteltu vastaamaan tavanomaisia viljelykäytäntöjä. Kuidut tuottivat toisella satokaudella sadonlisäystä nurmen kokonaiskuiva-ainesadossa. Kun käytettävissä on vähäadmiumisia maanparannuskuituja, on levitysmäärää mahdollista kasvattaa ravinteiden käyttörajojen puitteissa maan orgaanisen aineksen pitoisuuden ja maanparannusvaikutusten lisäämiseksi.

Kenttäkokeen lisäksi hankkeessa toteutettiin inkubointikokeita, joissa tarkasteltiin maanparannuskuitujen vaikutusta karkeiden viljelysmaiden rakenteeseen, maan mikrobiaktiivisuuteen, lisätyn hiilen stabiilisuuteen sekä hajotuksen vaikutusta helppoliukaisen epäorgaanisen typen määrään. Laboratoriokokeiden ja kenttäkokeen kaikki tulokset raportoidaan myöhemmin erillisjulkaisuina. Satovaikutusten lisäksi ravinnepitoisten ja -köyhien maanparannuskuitujen vaikutusta karkeiden maiden rakenteellisiin ominaisuuksiin ja lisätyn hiilen pysyvyyteen olisi hyvä tarkastella myös pitkäaikaiskokeen ja toistuvien kuitulisäysten avulla. Nurmenviljelyssä jatkotutkimuskysymyksenä olisi esim. tarkastella tilannetta, jossa maanparannuskuidut levitetään nurmen perustamisvaiheessa ja satovuosina tapahtuu muun orgaanisen lannoitteen, kuten lietelannan tai orgaanisten kierrätyslannoitteiden letku- tai sijoituslevitys hiilisyötteen ylläpitämiseksi.

Kiitokset

Tämä tutkimus on toteutettu ”Biosfaari Pohjois-Savo; Biomassan ja biojalostusteknologioiden hyödyntäminen liiketoiminnan kasvattamisessa (No. A75980)” -hankkeessa, jonka päärahoitus on saatu Euroopan aluekehitysrahastosta (EAKR) Pohjois-Savon liiton kautta. Kiitos hankkeen päärahoittajalle, kuntarahoittajille ja yksityisille rahoittajille sekä koetoimintaan biomateriaaleja toimittaneille yrityskumppaneille (<https://biosfaari.fi/>). Kiitokset Luke Maaningan tutkimusmestareille kenttäkokeen toteuttamisesta sekä Luken ja kaupallisten (SeiLab Oy, Valio Oy) laboratorioiden henkilöstölle näytteiden kemiallisista analyyseistä.

Kirjallisuus

- Ajosempää, T., Anttila, L., Ekholm, P., Heikkinen, J., Jaakkola, J., Kaseva, A., Kämäri, M., Kääriä, J., Luodeslampi, P., Malmilehto, S., Muurinen, S., Rasa, K., Soinne, H., Talola, S., Uusi-Kämppeä, J. & Uusitalo, R. 2021. Kipsi, kuitu ja rakennekalkki - opas viljelijöille. ProAgrian hankejulkaisut 10. 52 s. <https://www.proagria.fi/kipsikuiturakennekalkki>
- Finlex 2014. Valtioneuvoston asetus eräiden maa- ja puutarhataloudesta peräisin olevien päästöjen rajoittamisesta 18.12.2014/1250.
- Heikkinen, J., Ketoja, E., Nuutinen, V. & Regina, K. 2013. Declining trend of carbon in Finnish cropland soils in 1974–2009. *Global Change Biology* 19: 1456–1469. <https://doi.org/10.1111/gcb.12137>
- Heikkinen, J., Ketoja, E., Seppänen, L., Luostarinen, S., Fritze, H., Pennanen, T., Peltoniemi, K., Velmala, S., Hanajik, P. & Regina, K. 2021. Chemical composition controls the decomposition of organic amendments and influences the microbial community structure in agricultural soils. *Carbon Management* 12: 359–376. <https://doi.org/10.1080/17583004.2021.1947386>
- IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome. 192 p.
- Kapuinen, P., Korpinen, R., Palojärvi, A. & Niemeläinen, O. 2020. Kuitulietettä peltoon ravinteiden välittäjäksi syksystä seuraavalle kasvukaudelle (Peltokuitu). Loppuraportti. Luonnonvarakeskus (Luke), Tampereen kaupunki, Ammattiopisto Livia. 106 s. + liitteet. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202101071205>
- Kinnula, S., Toivonen, M., Soinne, H., Joona, J. & Kivelä, J. 2020. Effects of mixed pulp mill sludges on crop yields and quality. *Agricultural and Food Science* 29: 276–286. <https://doi.org/10.23986/afsci.95600>
- Kinnunen, R. & Pirkkamaa, J. 2020. Lainsäädäntö ja rahoitus orgaanisten jätteiden, lietteiden ja sivutuotteiden peltokäytön hyödyntämisessä -selvitys. Winto Better World Oy, Forssa. 97 s. https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2020/10/Raportti-2.10.2020_FINAL.pdf

Matilainen, M., Sanni, P., Rinnepelto, P. & Kinnunen, N. 2013. Metsäteollisuuden ravinteet. Metsäteollisuuden sivuvirtojen hyödyntäminen lannoitevalmisteita. Apila Group Oy Ab, Joensuu. 40 s. + 1 liitesivu.

Marttinen, S., Venelampi, O., Iho, A., Koikkalainen, K., Lehtonen, E., Luostarinen, S., Rasa, K., Sarvi M., Tampio, E., Turtola, E., Ylivainio, K., Grönroos, J., Kauppila, J., Koskiaho, J., Valve, H., Laine-Ylijoki, J., Lantto, R., Oasmaa, A. & zu Castell-Rüdenhausen, M. 2017. Kohti ravinteiden kierrätyksen läpimurtoa. Nykytila ja suositukset ohjaukeinojen kehittämiseksi Suomessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 45/2017. Luonnonvarakeskus, Helsinki. 45 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-437-3>

Mäkelä-Kurtto, R., Eurola, M. & Laitonen, A. 2007. Monitoring programme of Finnish arable land. Aqua regia extractable trace elements in cultivated soils in 1998. Agrifood Research Reports 104. 61 s.

Rasa, K., Pennanen, T., Peltoniemi, K., Velmala, S., Fritze, H., Kaseva, J., Jooa, J. & Uusitalo, R. 2021. Pulp and paper mill sludges decrease soil erodibility. *Journal of Environmental Quality* 50: 172–184. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20170>

Valkama, P. & Luodeslampi, P. 2020. Rakennekalkki ja ravinnekuitu - vaikutukset maatalouden vesiensuojelutoimina. RAKUVE-hankkeen loppuraportti. Raportti 21/2020. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry.

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