



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 84/2024

Viljava vihannesmaa – kestävän tuotannon perusta

**Terhi Suojala-Ahlfors, Riikka Keskinen, Tapio Salo, Kimmo Rasa,
Juha Hyvönen ja Tuukka Huhdanmäki**

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 84/2024

Viljava vihannesmaa – kestävän tuotannon perusta

**Terhi Suojala-Ahlfors, Riikka Keskinen, Tapio Salo, Kimmo Rasa,
Juha Hyvönen ja Tuukka Huhdanmäki**

Apetit



Maa- ja metsätalousministeriö

Viittausohje:

Suojala-Ahlfors, T., Keskinen, R., Salo, T., Rasa, K., Hyvönen, J. & Huhdanmäki, T. 2024. Viljava vihannesmaa – kestävän tuotannon perusta. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 84/2024. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 44 s.

Terhi Suojala-Ahlfors ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0001-7543-870X>

**Luke**

ISBN 978-952-380-975-8 (Verkojulkaisu)

ISSN 2342-7639 (Verkojulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-975-8>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Terhi Suojala-Ahlfors, Riikka Keskinen, Tapio Salo, Kimmo Rasa, Juha Hyvönen ja Tuukka Huhdanmäki

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2024

Julkaisuvuosi: 2024

Kannen kuva: Terhi Suojala-Ahlfors

Tiivistelmä

Terhi Suojala-Ahlfors¹, Riikka Keskinen², Tapio Salo², Kimmo Rasa², Juha Hyvönen³ ja Tuukka Huhdanmäki⁴

¹ Luonnonvarakeskus, Toivonlinnantie 518, 21500 Piikkiö

² Luonnonvarakeskus, Tietotie 4, 31600 Jokioinen

³ Luonnonvarakeskus, Ounasjoentie 6, 96200 Rovaniemi

⁴ Apetit Ruoka Oy, Maakunnantie 4, 27801 Säkyä

Kasvisten kulutusta ja tuotantoa olisi tarpeen lisätä sekä ravitsemuksen että ruoantuotannon kestävyysnäkökulmista. Avomaanvihannesten tuotannon hiilijalanjälki tuotekiloa kohti on pieni, mutta intensiivisen tuotannon haasteita ovat mm. maan kasvukunnon heikkeneminen, orgaanisen aineksen väheneminen, voimakas riippuvuus mineraalilannoitteista ja joillain kasveilla runsas kasvinuojeluaineiden käyttö. Maa- ja metsätalousministeriön rahoittaman Viljava vihannesmaa – kestävä tuotanto -hankkeen tavoitteena oli tutkia ja kehittää menetelmiä, joilla voidaan parantaa vihannesviljelyssä olevien peltöjen kasvukuntoa ja ravinnehuollon kestävyttä. Erityisesti tavoitteena oli selvittää vihannesviljelyyn soveltuvien maanparannusainesten ja viherlannoituksen vaikutuksia maan fysikaalisiin ominaisuuksiin, ravinnehuuhtoumiin ja sadontuottoon sekä tunnistaa haasteet ja kehittämiskohteet menetelmien laajamittaiselle käyttöönotolle.

Hankkeessa toteutettiin kaksi kolmivuotista kenttäkoetta, joissa tutkittiin maanparannuskuidun ja viherlannoituksen vaikutuksia peltomaan fysikaalisiin ominaisuuksiin, vihannesten sadon tuottoon ja typen käyttöön sekä ravinnehuuhtoumiin. Kokeet tehtiin Luken koetointi- ja apetit-tiloilla Piikkiössä ja Apetit Ruoka Oy:n Räpin koetilalla Köyliössä. Maanparannustoimet ajoittuivat ensimmäiseen koevuoteen 2021, ja seuraavina vuosina koealueilla viljeltiin vihanneksia.

Kenttäkokeiden tulosten mukaan yhden vuoden maanparannuskäsittely ei vaikuttanut merkittävästi peltomaan vedenpidätyskykyyn, hiilipitoisuuteen tai ravinnekuormitukseen. Maanparannustoimia onkin tarpeen tehdä viljelykierron säännöllisesti mitattavien vaikutusten saamiseksi, ja niiden todentaminen vaatii pidempiaikaista seuranta. Yksivuotinen viherlannoitus lisäsi peltomaan liukoisen typen määrää kasvukauden lopulla ja seuraavana kasvukautena, mikä edisti viherlannoitusta seuranneen vihanneskasvin typen saantia. Vaikutus ei näkynyt enää tätä seuranneen kasvin typpitaloudessa. Typpilannoitustasojen vertailu kenttäkokeiden vihannesvuosina antoi viitteitä siitä, että lannoitetypen käytön tehokkuutta olisi mahdollista parantaa sadontuoton kärsimättä. Hankkeen tulosten perusteella maanparannuskäsittelyiden tuominen osaksi vihannestuotannon viljelykiertoa on hyvin suunniteltuna ja toteutettuna mahdollista.

Tämän raportin pääviestit ovat:

- Vihannestuotannon taloudellinen arvo ja sadontuottopotentiali on korkea, joten vihannesmaiden kasvukunnon ylläpitoon tulee kiinnittää entistä enemmän huomiota ilmastonmuutoksen edetessä.
- Maanparannusaineiden ja viherlannoituksen käyttö on mahdollista integroida osaksi vihannestuotantoa ilman satotappioiden riskiä.
- Kertaluontoiset maanparannuskäsittelyt eivät kokeissa tuottaneet merkittäviä vaikutuksia maan kasvukuntoon, vaan maanparannustoimia tarvitaan säännöllisesti. Jatkossa vaaditaan sekä pitkäjänteistä tutkimusta että käytännön toimintamallien kehittämistä vihannesmaiden tuotantokyyntä ylläpitämiseksi.

Asiasanat: vihannesviljely, maaperä, maanparannusaineet, viherlannoitus, typpilannoitus, ravinnekuormitus

Sisällys

1. Johdanto	6
2. Maanparannusmenetelmät vihannestuotannossa	8
2.1. Maanparannusaineet.....	8
2.2. Viherlannoitus.....	9
2.2.1. Viherlannoitus ravinnetalouden näkökulmasta.....	10
2.2.2. Viherlannoitus maan parantajana	11
2.2.3. Vaihtoehtoja viherlannoitukseen vihannestuotannossa.....	11
3. Kenttäkokeet vuosina 2021–2023	13
3.1. Toteutus	13
3.1.1. Koejärjestelyt	13
3.1.2. Havainnot ja mittaukset kenttäkokeista.....	16
3.1.3. Maanäytteiden analyysit	18
3.1.4. Sadetuskoe	19
3.1.5. Tilastollinen analyysi	19
3.2. Tulokset	19
3.2.1. Kasvu ja typen otto vuonna 2021	19
3.2.2. Vihannesten sato ja typen otto vuosina 2022–2023.....	21
3.2.3. Maaperän tyyppi.....	27
3.2.4. Maaperän hiili.....	29
3.2.5. Maan vedenpidätyskyky	30
3.2.6. Sadetuskokeet.....	32
3.3. Tulosten tarkastelu.....	34
3.3.1. Maanparannuskäsittelyiden maaperä- ja satovaikutukset	34
3.3.2. Vaikutukset ravinnekuormitukseen.....	36
4. Maanparannusmenetelmien hyödyntämisen edellytykset ja haasteet	38
4.1. Orgaanisten maanparannusaineiden hyödyntämismahdollisuudet vihannetiljelyssä	40
4.2. Viherlannoitus.....	40
5. Johtopäätökset.....	42
Viitteet.....	43

1. Johdanto

Kasvisten tuotannolla on positiiviset tulevaisuuden näkymät, sillä sekä ravitsemuksen että tuotannon ympäristövaikutusten takia kasvisten kulutusta suositellaan lisättäväksi. Vaikka avomaanvihannesten tuotannon hiilijalanjälki tuotekiloa kohti on pieni, liittyy intensiiviseen tuotantoon haasteita ympäristövaikutusten hallinnan ja maan kasvukunnon ylläpidon kannalta. Viljelyn kipukohtia ovat muun muassa maan orgaanisen aineksen väheneminen, intensiiviset viljelykierrot, runsas maan muokkaus, viljelymaiden korkeat P-luvut sekä voimakas riippuvuus mineraalilannoitteista. Ilmastonmuutos lisää osaltaan tarvetta parantaa maan kasvukuntoa, sillä hyvinvoivassa maassa sekä maaperä että kasvit pystyvät paremmin selviytymään muun muassa sään ääri-ilmiöistä, kuten pitkistä kuivuusjaksoista tai rankkasateista.

Vihannesviljelyyn käytettävien maiden kasvukunnon ylläpito on globaali haaste, etenkin kun kasvisten kulutusta ja tarjontaa olisi samaan aikaan tarpeen lisätä. Norris ja Congreves (2018) tarkastelivat meta-analyyssissään julkaistuja tutkimuksia erilaisten viljelytoimien vaikutuksesta vihannesviljelyssä olevien peltomaiden laatua kuvaaviin indikaattoreihin. Tulosten mukaan kestävä vihannesten viljelyjärjestelmät, joiden tavoitteena on myös ylläpitää hyviä satotasoja, hyödyntävät monipuolisesti vaihtoehtoisia menetelmiä kasvukunnon ylläpitoon. Esimerkiksi maanparannusaineilla voidaan parantaa maaperän hiilen ja typen kiertoa. Maanpeite/kerääjäkasveilla voidaan tehostaa typen kiertoa, parantaa maaperän hiilivarastoja ja pitää kurissa rikkakasveja. Maanmuokkauksen vähentäminen on yhä haaste vihannestuotannossa (Norris & Congreves 2018).

Viljelymenetelmien kehittäminen kestävämpään suuntaan vaatii siten monia toimia ja niiden vaikutusten tarkastelua eri näkökulmista. Maaperän kasvukunnon ylläpito ja parantaminen on kestävä tuotannon perusta. Vihannesviljelyyn käytettävät maat ovat usein maalajiltaan karkeita ja sisältävät vähän orgaanista ainetta, ja niillä tarvitaan uusia maan kasvukuntoa parantavia toimia. Maanparannustoimiin liittyy kuitenkin avoimia käytännön kysymyksiä ja huolia muun muassa tuoteturvallisuuden ja kasvinterveyden suhteen. Sadon arvon ollessa korkea on varmennettava, ettei toimilla ole haitallisia vaikutuksia sadon määrään, laatuun tai kasvintuhoojien esiintymiseen. Suuria lisäysmääriä käytettäessä maanparannusaineet vaikuttavat maan ravinnetasapainoon ja mikrobiaktiivisuuteen, joten haitalliset vaikutukset satokasveihin on pyrittävä minimoimaan mm. käyttämällä aineita oikeassa vaiheessa viljelykiertoa.

Vihannestuotannossa käytetään usein myös runsasta lannoitusta ja pellot ovat talvisin ilman kasvipeitettä, mikä aiheuttaa korkean riskin ravinteiden huuhtoutumiselle. Ravinnekuormituksen hallintaa maanparannusaineiden avulla tutkitaan Suomessa useilla savivaltaisilla viljan viljelyyn keskittyneillä valuma-alueilla. Orgaanisten maanparannusaineiden on osoitettu savi- mailla vähentävän merkittävästi ravinnehuuhtoutumia parantuneen maan rakenteen ansiosta (Rasa ym. 2021). Myös karkeammilla maalajeilla, joita vihannesviljelyssä laajasti käytetään, on maanparannuskuituja lisäämällä saatu positiivisia vaikutuksia maan fysikaalisiin ominaisuuksiin laboratoriomittakaavan kokeissa (Räty ym. 2023).

Maanparannusaineiden ohella peltomaan kuntoon voidaan vaikuttaa viljelykierron kasvivalinnoilla. Esimerkiksi viherlannoitusta voidaan hyödyntää paitsi ravinnetalouden näkökulmasta, myös maan kasvukunnon parantamiseksi. Viherlannoitus lisää maahan juurikäytäviä, orgaanista ainetta sekä maaperäeliöstön määrää, mikä parantaa maan ilmavuutta, mururakennetta

ja ravinteiden ja veden pidätyskykyä. Viherlannoituksen tyypivaikutuksista on saatavilla tutkimustietoa, mutta sen vaikutuksia maan rakenteeseen on tutkittu selvästi vähemmän.

Viljava vihannesmaa – kestävä tuotanto -hankkeen tavoitteena oli tutkia ja kehittää menetelmiä, joilla voidaan parantaa vihannesviljelyssä olevien peltojen kasvukuntoa ja ravinnehuollon kestävyttä. Erityisesti tavoitteena oli:

- selvittää vihannesviljelyyn soveltuvien maanparannusaineiden ja viherlannoituksen vaikutuksia maan fysikaalisiin ominaisuuksiin, ravinnehuuhtoumiin ja sadontuottoon
- koota käytännön kokemuksia ja esittää uusia toimintatapoja orgaanis pohjaisten tuotteiden hyödyntämiseksi
- tunnistaa haasteet ja kehittämiskohteet menetelmien laajamittaiselle käyttöönotolle.

Hypoteesina oli, että maanparannusaineilla ja viherlannoituksella voidaan parantaa peltolohkojen tuottokykyä, mikä edistää viljelykasvien mahdollisuuksia hyödyntää ravinteita ja siten vähentää mineraalilannoitteiden käyttöä ja ravinteiden huuhtoutumista.

Tutkimushanketta rahoitti vuosina 2021–2024 Maatilatalouden kehittämisrahasto (Makera). Hankkeen toteuttivat Luonnonvarakeskus ja Apetit Ruoka Oy. Kiitämme hyvästä yhteistyöstä Apetitin henkilökuntaa, joka mahdollisti kokeen toteutuksen Räpin koetilalla. Lämpimät kiitokset tutkija Pirjo Kivijärvelle, joka osallistui tärkeällä panoksella hankkeen suunnitteluun ja alkuvaiheen toteutukseen. Kiitämme myös Soilfood Oy:tä ja Humuspehtoori Oy:tä, jotka toimittivat maanparannusaineet kenttäkokeisiin, sekä hankkeen ohjausryhmää kannustavasta työstä hankkeen aikana.

2. Maanparannusmenetelmät vihannestuotannossa

2.1. Maanparannusaineet

Suomalaisessa lannoitelainsäädännössä maanparannusaineilla tarkoitetaan aineita tai valmisteita, jotka parantavat maan kemiallista tai fysikaalista laatua, rakennetta tai biologista aktiivisuutta. Ne voivat sisältää ravinteita, mutta pääasiallisen vaikutusmekanismin tulee olla muu kuin lannoitusvaikutus. Maanparannusaineissa on sekä orgaanisia että epäorgaanisia, varta vasten tuotteistettuja tai sellaisenaan käytettäviä sivuvirtoja. Siten termi kattaa laajan valikoiman erilaisia mahdollisia aineita. Maanparannusaineiden laatuvaatimuksia ja käytön rajoituksia määritetään lannoitelaisissa (711/2022) ja sen asetuksissa (964/2023, 965/2023). Lisäksi on otettava huomioon fosforilannoitusta ohjaava fosforiasetus (64/2023) ja lantaa sisältävien maanparannusaineiden tyyppirajat nitraattiasetuksessa (1250/2014).

Viime aikoina kotimainen tutkimus ja keskustelu on keskittynyt erityisesti kolmeen maanparannusaineeseen: maanparannuskuituihin, rakennekalkkiin ja kipsiin. Kyseisiä aineita on tutkittu laboratorio-, kenttäkoe- ja valuma-aluemittakaavassa (esim. Ollikainen ym. 2020, Rasa ym. 2021, Rätty ym. 2023, Yli-Halla ym. 2023). Tutkimustuloksia on jo olemassa runsaasti, hankkeita aiheen tiimoilta käynnissä ja viljelijöiden käytännön kokemukset karttuvat jatkuvasti. Eri maanparannusaineiden valinnasta ja käytöstä on julkaistu kattava opas, johon aiheesta kiinnostuneen kannattaa perehtyä huolellisesti (viljelijäopas ja lisämateriaalia: <https://www.proagria.fi/hankkeet/kipsikuiturakennekalkki>).

Maanparannusaineiden tutkimuksessa on ollut vahva painotus vesiensuojeluun, koska erityisesti savivaltaisilla mailla niiden on osoitettu vähentävän merkittävästi eroosiota ja siten maan aineksen mukana kulkeutuvan fosforin kuormitusta. Vaikka vesiensuojelunäkökulma on merkittävä, ovat maanparannusaineiden agronomiset hyödyt vähintään yhtä tärkeitä. Agronomisesta näkökulmasta katsottuna maanparannusaineiden laaja kirjo tarkoittaa sitä, että useimmalle tuotantosuunnalle ja maalajille on mahdollista löytää soveltuva ratkaisu, mutta toisaalta oikean toimintatavan löytäminen ja vaikutusten yksiselitteinen todentaminen on haasteellista. Tässä hankkeessa pureuduttiin vain yhden maanparannusaineen käytön tutkimiseen kahdella maalajilla ja kolmella eri satokasvilla. Vihannesviljelyssä sadon ostajien vaatimukset, riskien hallinta sekä erityiset tuotanto-olosuhteet rajoittavat mahdollisesti käytettävien maanparannusaineiden valikoimaa esimerkiksi viljan viljelyyn verrattuna. Siitä huolimatta tiedon ja kokemuksen kartuttaminen tulee jatkossa tarvitsemaan tutkimuksen ohella erilaisia tilakokeiluja parhaiden käytäntöjen löytämiseksi.

Maanparannusaineiden käytön motiivina vihannesviljelyssä on lähinnä maan orgaanisen aineksen lisääminen, jotta orgaanisen aineksen hyödylliset ominaisuudet lisäävät viljelyvarmuutta. Orgaanisen aineen lisääjänä on perinteisesti käytetty kuivikelantaa, jota on levitetty maahan viljelykierron muille kasveille kuin vihanneksille. Samalla kun kuivikelannan saatavuus on vähentynyt, myös nurmikasvien osuus Etelä- ja Lounais-Suomen viljelykiirroissa on laskenut.

Vihannespelloille soveltuvia orgaanisia lannoitteita ja maanparannusaineita voidaan tarkastella myös luomutuotantoon soveltuvien lannoitevalmisteiden listalta (www.ruokavirasto.fi). Huomionarvoisia lannoitevalmisteita ovat lannan ja maanparannuskuitujen seokset, lantakompostit, mädätysjännösten kuivaosat, nolla- ja ravinnekuidut. Vaikka lannoitevalmiste

soveltuisikin luomutuotantoon, on hyvä selvittää tuotteen riskit mm. muovien ja rikkakasvien siementen osalta. Monien lannoitevalmisteiden osalta rajoittava tekijä on kuljetusetäisyys vihannestuotannon alueille, koska rahtikustannukset nousevat helposti suhteessa liian korkeiksi.

2.2. Viherlannoitus

Viherlannoitusnurmella tarkoitetaan kasvustoa, jolla pyritään parantamaan maan kasvukuntoa sadon tuottamisen sijaan yhden tai useamman kasvukauden ajan (Kleemola 2013). Viherlannoitusnurmi lopetetaan muokkaamalla kasvusto maahan vihreänä ennen talvea tai keväällä ennen seuraavan viljelykasvin kylvöä.

Vihannesviljelyssä viherlannoitusta käytetään yleisimmin luomutuotannossa, jossa sillä on keskeinen rooli ravinnehuollossa ja maan kasvukunnon ylläpidossa. Muussa vihannestuotannossa viljellään yleisimmin viljoja ja muita pelto-/vihanneskasveja välikasveina vihannesvuosien välillä. Niin sanottuja saneerauskasveja hyödynnetään puutarhatiloilla jonkin verran, tavoitteena vähentää kasvintuhoojien esiintymistä ja parantaa maan kasvukuntoa. Etenkin varhaisvihannesten viljelyssä hyödynnetään myös satokasvin jälkeen kylvettäviä kerääjäkasveja, joiden kasvuaika jää kuitenkin muutaman kuukauden mittaiseksi.

Viherlannoituksella olisi huomattavaa potentiaalia vähentää mineraalityypilannoitteiden käytötarvetta, lisätä viljely-ympäristön monimuotoisuutta ja parantaa maaperän kasvukuntoa. Etenkin monivuotisten viherlannoitusnurmien avulla voitaneen myös hillitä hiilen vapautumista maaperästä. Tämä olisi erityisen tarpeen vihannesviljelylohkoilla, joiden peltomaasta hiiltä vapautuu ilmakehään mallinnusten mukaan enemmän kuin nurmi- tai viljakasvien viljelyssä olevilta lohkoilta (mm. Saarinen ym. 2019). Hiilikadon torjunta on tarpeen paitsi ilmastoyhteyksistä, myös pellon sadontuottokyvyn kannalta. Parhaat vaikutukset saadaan, kun viherlannoitusta käytetään useita kertoja viljelykierrossa pitkällä aikavälillä.

Viherlannoituksella on saavutettavissa myös taloudellisia hyötyjä. Ne syntyvät palkokasvipitoisen kasvuston sitomasta tyypestä, jonka avulla voidaan vähentää mineraalityypilannoitteiden käyttöä, sekä maan kasvukunnon paranemisesta, joka parantaa ja varmentaa seuraavien viljelykasvien satoa. Jälkimmäistä hyötyä on vaikea todentaa taloudellisena arvona, mutta varsinkin säännöllisesti viherlannoitusta ja hyvää viljelykiertoa käytettäessä pellon viljelyvarmuus paranee. Kustannuksia syntyy kylvösiemenistä, vaihtoehtoisen viljelykasvin (esimerkiksi viljan) satovuoden menetyksestä ja viljelytöistä. TEHO Plus -hankkeen Viherlannoitusoppaassa (Kleemola 2013) on arvioitu, että yksivuotisen viherlannoitusnurmen kustannukset ovat tuottoja suuremmat, mutta jos kustannukset lasketaan viljelykierron ajalle ja otetaan huomioon viherlannoituksen tuottamat satoedut seuraaville viljelykasveille, kannattavuus paranee selvästi.

Viherlannoituksen käytöstä on olemassa suomenkielisiä oppaita, mm. ProAgrarian (Känkänen 2014) ja TEHO Plus -hankkeen julkaisemat (Kleemola 2013) Viherlannoitusoppaat. Viherlannoituksesta on paljon tietoa myös luomutuotannon suomalaisessa perusteoksessa, Jukka Rajalan toimittamassa Luonnonmukainen maatalous -kirjassa (Rajala 2006). Vihannesviljelyn näkökulmasta kerättyä tietoutta viherlannoitus- ja kerääjäkasveista on julkaistu Luken tuottamassa tietokortissa (Kivijärvi ym. 2019).

Ulkomainen tutkimus viherlannoituksen käytöstä vihannestuotannossa liittyy paljolti luomuviljelyyn. Ulkomaisen tutkimuksen (esim. Willumsen & Thorup-Kristensen 2001, Haas ym.

2007, Stein ym. 2023) sovellettavuus Suomeen ei myöskään ole suoraviivaista kasvukauden pituuden sekä kasvukauden ja talven aikaisten olosuhteiden vuoksi, mitkä vaikuttavat eri kasvilajien menestymiseen, massan tuottoon, talvehtimiseen ja typen vapautumiseen maahan muokkauksen jälkeen. Leutotalvisissa maissa viherlannoituskasvustoja voidaan käyttää myös talvehtivinä väli-/kerääjäkasveina (esim. Thorup-Kristensen 2006, Stein ym. 2023). Viherlannoituksen hyödyntämistä "cut and carry" -menetelmällä, siirtäen typpipitoista viherlannoitusmassaa esimerkiksi kuivauksen ja pelletöinnin jälkeen tai säilörehun tapaan säilöttynä saman tien vihanneslohkolle, on myös tutkittu hyvällä menestyksellä luomuviljelyn näkökulmasta (Van der Burdt ym. 2013, Lyngge ym. 2022).

Tavoiteltaessa erityisesti typpilannoitushyötyä olisi oleellista löytää sopivat viherlannoituskasvit/-seokset kunkin vihanneslajin tarpeisiin ja sovittaa viherlannoituskasvuston perustamis- ja maahan muokkaamisajankohdat siten, että typen vapautuminen ajoittuisi sopivasti viljelykasvin tarpeeseen nähden ja typen huuhtoumilta vältyttäisiin. Viherlannoitusvuosi tai -vuodet voidaan sijoittaa viljelykierrossa myös vihannesvuosien jälkeen, jolloin tavoitteena on pitää maata "levossa" vihannesten jälkeen ja kartuttaa orgaanisen aineen määrää pitkäjänteisesti kierron aikana.

2.2.1. Viherlannoitus ravinnetalouden näkökulmasta

Viherlannoituksen suurin hyöty ravinnetalouden kannalta syntyy käytettäessä symbionttiseen typensidontaan pystyviä kasvilajeja eli palkokasveja viherlannoituskasvustoissa. Toisaalta monilla kasveilla on sienijuurisymbioosi, jossa juurissa elävät keräsienet edistävät etenkin kasvien fosforin ottoa ja usein myös kasvien typen saantia. Sienijuurisymbioosin merkitys on kuitenkin pieni, jos pellolla käytetään runsaasti mineraalilannoitteita ja tautitorjunta-aineita, tai maata muokataan voimakkaasti (Vestberg & Kahiluoto 2018).

Suomessa on arvioitu, että typensitojakasveja laajasti hyödyntämällä olisi mahdollista vähentää teollisesti valmistetun typen tarvetta maataloudessa jopa 60 % (Känkänen ym. 2013). Puutarhatuotannossa tämän suuruinen vähennys ei liene mahdollinen, koska hyvän satotason ja tuotelaadun turvaaminen vaatii tarkkuutta ravinnehuoltoon. Viherlannoituskasvuston typpilannoitustehon tarkka arviointi on usein vaikeaa, sillä siihen vaikuttaa mm. kasvuston massa, typpipitoisuus, maahan muokkauksen ajankohta, maan lämpö- ja kosteusolosuhteet muokkauksen jälkeen ja maaperän biologinen aktiivisuus. Usein arvioidaan, että seuraavan vuoden viljelykasvin typpilannoitusta voidaan vähentää 50–70 kg/ha hyvää viherlannoituskasvustoa seuraavana vuonna ja monivuotisen viherlannoituksen jälkeen toisena vuonna vielä 20 kg/ha (Känkänen ym. 2013, Känkänen 2014). Hyödyntämällä viherlannoitusta säännöllisesti vihannestilan viljelykiirroissa voidaan vähitellen kartuttaa peltomaan multavuutta ja vähentää näin viljelykierron aikana tarvittavan mineraalityppilannoituksen määrää. Samalla voidaan vähentää myös viljelykierrossa käytettävien kasvinsuojeluaineiden määrää, jos viherlannoituksella korvataan viljavuusia, joissa kemiallista kasvinsuojelua yleensä käytetään.

Monivuotisiin viherlannoitusnurmiin liittyy myös kasvintuhoojariskejä, joiden takia vihannestuotannossa suositellaan enintään kaksivuotisia nurmia ja viherlannoituskasvustojen lajivalintaan on kiinnitettävä huomiota (Kivijärvi ym. 2019). Viherlannoituksen hyödyntäminen antaa kuitenkin runsaasti mahdollisuuksia typpilannoituksen hyötysuhteen parantamiseen ja maaperän puskurointikyvyn edistämiseen. Toisaalta on muistettava, että myös viherlannoituksen käyttöön liittyy riski typen huuhtoutumisesta, etenkin jos käytetään palkokasvivaltaisia kasvustoja, jotka päätetään väärään aikaan kasvukaudesta.

Palkokasvien typensidontaa voidaan tehostaa ymppäämällä siemeniä typpibakteereilla. Näitä bakteereita on luonnostaan peltomaassa, mutta jos niiden määrä on vähäinen tai niiden typensidontateho heikko, ymppeäys voi lisätä satoa. Usein palkokasvien siemenet myydään jo valmiiksi ympättyinä.

2.2.2. Viherlannoitus maan parantajana

Viherlannoituksen merkitystä maan parantajana on tutkittu huomattavasti vähemmän kuin sen vaikutusta ravinnetalouteen. Maanparannushyöty perustuu fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin vaikutuksiin (Känkänen 2014). Parhaat vaikutukset maan rakenteeseen saadaan monivuotisilla viherkesannoilla, joissa on mukana syväjuurisia kasveja. Juuristo syvenee ja laajenee, kun kasvuaika pitenee ja monivuotisessa kasvustossa etenkin toisen vuoden aikana, jos kasvit talvehtivat hyvin.

Kasvilajivalinnoilla voidaan vaikuttaa viherlannoituksen maanparannustehoon. Tehokkaasti maata parantavassa kasvustossa on syvälle ulottuvia juuria ja runsas juurimassa matalammissa kerroksissa (Känkänen 2014). Syvät juurikanavat helpottavat veden nopeaan imeytymistä maahan sateiden jälkeen, ja maahan jäävät kanavat helpottavat tulevien satokasvien juurten kasvua. Runsa juuristo murustaa ja kuohkeuttaa maata ja lisää orgaanisen aineksen pitoisuutta. Lisääntynyt multavuus lisää maan ravinnevarastoja, parantaa sen vesitaloutta ja mururakennetta ja helpottaa muokkausta.

Viherlannoitus, etenkin monilajiset kasvustot, edistävät pieneliöstön toimintaa maassa. Vaikutus perustuu erityisesti eri kasvilajien tuottamiin juurieritteisiin, jotka vilkastuttavat mikrobitoimintaa. Mikrobien tuottamat liima-aineet edistävät myös maan murustumista. Monilajinen kasvusto lisää myös maanpäällistä monimuotoisuutta (Rajala 2006).

Viherlannoituskasvusto tuottaa maahan myös orgaanista ainesta ja hiiltä. Palkokasveja sisältävän kasvuston hiili-/typpisuhde on kuitenkin alhainen, joten se hajoaa melko nopeasti ja pysyvää vaikutusta orgaaniseen aineen määrään ei helposti saavuteta. Orgaanisen aineksen lisääminen lisää kuitenkin pieneliötoimintaa maassa.

2.2.3. Vaihtoehtoja viherlannoitukseen vihannestuotannossa

Luomupuutarha-hankkeessa tehtiin v. 2014 kysely luomuvihannesviljelijöille seikoista, jotka vaikuttavat viherlannoituskasvien valintaan (Kivijärvi & Iivonen 2017). Vastaajien mukaan tärkeimpiä asioita olivat maanparannusvaikutus, hyvä biomassan tuotto, liukoisen typen kerääminen sekä kasvinsuojelulliset näkökulmat (sis. rikkakasvien varjostus).

Yksivuotinen viherlannoituskasvusto, esim. virnoja tai vihantahernettä sisältävät seokset, voi tuottaa suuren biomassan ja runsaan typpisadon, etenkin jos kasvuston annetaan kasvaa kasvukauden lopulle asti. Yksivuotisilla kasveilla juuristomassa jää kuitenkin pienemmäksi kuin monivuotisissa viherlannoituskasvustoissa ja maanparannusvaikutus näin ollen vähäisemmäksi. Monivuotiset viherlannoitusnurmetyöt ovat tehokkaimpia maan rakenteen ja hiilivarannon ylläpitäjiä, mutta yli kaksivuotisia (etenkin apilapitoisia) nurmia ei yleensä suositella vihannesviljelyn kiertoihin lisääntyvän sepäntoukka- ja pahkahomeriskin vuoksi (Kivijärvi & Suojala-Ahlfors 2023).

Viljelyvarmuuden lisäämiseksi on hyvä suosia usean kasvilajin seoksia, jossa voi olla esimerkiksi 50 % eri heinälajeja, 25 % typensitojakasveja ja 25 % muita kukkivia kasveja (Kivijärvi &

Suojala-Ahlfors 2023). Tärkeää on käyttää myös riittävää siemenmäärää, jotta kasvustosta tulee riittävän tiheä ja rikkakasvillisuus pysyy kurissa. Esimerkkejä luomuvihannestiloilla käytetyistä seoksista ja siemenmääristä löytyy Kivijärven ym. (2019) julkaisemasta tietokortista. Viime vuosina tarjolle on tullut myös monenlaisia valmiita viherlannoitus- ja maanparannusseoksia, joiden sopivuutta omaan viljelykiertoon kannattaa puntaroida viljelyssä olevien sato- kasvien tarpeiden mukaan.

Erityistä huomiota kannattaa kiinnittää seoksissa olevien kasvien tautiriskeihin etenkin, jos viljelyssä on varastointiin tarkoitettuja vihanneksia, jotka ovat alttiita varastotaudeille. Tautiriskejä aiheuttavia viherlannoituskasveja, kuten apiloita, ei kannata tällöin käyttää ainakaan juuri varastovihannesten viljelyä edeltävänä kasvukautena. Ristikukkaiset kasvit, kuten retikat ja sinapit, ovat nopeakasvuisia ja syväjuurisia kasveja, mutta möhöjuuri- ja tuholaisriskien takia niitä kannattaa käyttää harkiten, mikäli viljelykierrossa on ristikukkaisia satokasveja. Lisää tietoja viherlannoituskasvien tautiriskeistä löytyy Kivijärven ym. (2019) tietokortista.

Edellä mainittujen tauti- ja tuholaisriskien lisäksi viherlannoituksen käyttöön voi liittyä haasteita mm. typen hyväksikäytön suhteen. Typpipitoisen kasvimassan murskaamisen ja maahan muokkauksen jälkeen on tärkeää pyrkiä hillitsemään sekä typen huuhtoutumista että kaasumaisia päästöjä. Usein on suositeltavaa hyödyntää kerääjäkasveja typen talteen ottamiseksi viherlannoituskasvustoa päätettäessä. Kasvukauden ja sitä seuraavan syys- ja talvikauden sääolot vaikuttavat paljolti siihen, miten suureksi typpipäästöjen riski muodostuu viherlannoituskasvustoa päätettäessä (mm. Känkänen 2019).

Viherlannoituksen typpilannoitusvaikutusta seuraaville kasveille on myös hankala arvioida, sillä siihen vaikuttaa paitsi kasvuston biomassa, typpipitoisuus ja hiili-/typpisuhde, myös sääolot viherlannoituksen lopettamisen jälkeen ja seuraavan viljelykasvin kylvön/istutuksen jälkeen. Kivijärven ym. (2019) tietokortissa annetaan ohjeistus, miten voi laskennallisesti arvioida viherlannoituskasvustosta seuraavalle kasville käyttöön tulevaa typpimäärää, mutta laskelma on luonnollisesti vain arvio.

Viherlannoituskasvuston ajoittaminen vihannestilan viljelykierrossa tarjoaa paljon mahdollisuuksia. Luomutuotannossa viherlannoituksella tähdätään yleensä erityisesti pääsatokasvien typen saannin turvaamiseen. Muussa kuin luomutuotannossa viherlannoituksen tavoitteena voi olla esimerkiksi maan rakenteen parantaminen ja mineraalilannoitteiden käytön vähentäminen koko viljelykierrossa, joten viherlannoitusseoksia voidaan käyttää myös esimerkiksi vihannesten satovuotta seuraavana vuonna.

3. Kenttäkokeet vuosina 2021–2023

3.1. Toteutus

Viljava vihannesmaa – kestävä tuotanto -hankkeessa toteutettiin kaksi kolmivuotista kenttäkoetta, joissa tutkittiin maanparannuskuidun ja viherlannoituksen vaikutuksia peltomaan fyysikaalisiin ominaisuuksiin, vihannesten sadon tuottoon ja typen käyttöön sekä ravinnehuuhtoumiin. Kokeet tehtiin Luken koetoiminta-asetilla Piikkiössä ja Apetit Ruoka Oy:n Räpin koetilalla Köyliössä. Koealueiden maalaji oli Piikkiössä runsasmultainen karkea hietä ja Räpillä multava hietamoreeni/hiue (Taulukko 1). Maanparannustoimet ajoittuivat ensimmäiseen koevuoteen 2021, ja seuraavina vuosina koealueilla viljeltiin vihanneksia.

Taulukko 1. Koepaikkojen maan ravinnetila ja lajitekoostumus keväällä 2021 ennen kokeen alkua.

Koe- paikka	Maalaji	Multavuus	Johtoluku	pH	Ravinteiden pitoisuudet (mg/l)								Kationinvaihtokapasiteetti
					10 mS/cm	Ca	P	K	Mg	S	Cu	Mn	
Piikkiö	KHt	rm	1,2	6,8	1 600	35	100	150	5	9	15	3	11
Räpi	HtMr/He	m	2,4	7,2	3 325	66	135	130	10	13	40	3	19

Koepaikka	Lajitekoostumus (%)						
	Karkea hiekka	Hieno hiekka	Karkea hietä	Hieno hietä	Karkea hiesu	Hieno hiesu	Saves
Piikkiö	1	21	59	6	2	1	10
Räpi	1	2	12	34	22	9	19

3.1.1. Koejärjestelyt

Maanparannuskäsittelyt v. 2021

Vuonna 2021 kokeissa tehtiin maanparannuskäsittelyt, jotka olivat joko maanparannuskuitujen lisäys tai viherlannoitusnurmen viljely kauran sijaan (Taulukko 2). Käytetty kuitu oli Soilfood Oy:n toimittamaa ravinneköyhää nollakuitua, jota levitettiin 40 tonnia hehtaarille (kuivaainetta noin 10 000 kg/ha). Maanparannuskuitu oli peräisin Stora Enson Imatran tehtaalta. Piikkiön kokeessa käytettiin myös Humuspehtoori Oy:n toimittamaa Pehtoorin Ehta -tuotetta, joka sisältää nollakuidun lisäksi kananlantaa. Nollakuidun mukana peltoon lisättiin hiiltä Piikkiön kokeessa 4 500 kg/ha ja Räpin kokeessa 4 930 kg/ha sekä Pehtoorin Ehta -käsittelyssä Piikkiössä 4 120 kg/ha. Maanparannusaineiden ominaisuuksia on kuvattu taulukossa 3.

Käytetty viherlannoitusseos oli Naturcom Oy:n toimittama Ebena-voimavirnameos, joka sisälsi rehuvirnaa (30 % siementen painosta), ruisvirnaa (10 %), kevätruisvehnää (15 %), kauraa (15 %), kevätruisvehnää (10 %), ohraa (10 %), syysruista (5 %) ja italianraiheinää (5 %).

Niukkaravinteisen nollakuidun aikaansaamaa typen immobilisaatiota kompensoitiin lisäämällä nollakuidun levityksen yhteydessä suomensalpietaria typpimäärällä 30 kg/ha. Viljelykasvien

kylvön yhteydessä kauralle annettiin typpeä 80 kg/ha, paitsi Pehtoorin Ehta -käsittelyssä 50 kg/ha. Viherlannoitusruutuihin lisättiin kylvön yhteydessä typpeä 30 kg/ha. Lannoitteena käytettiin Yara Mila NK2-lannoitetta. Kylvöt tehtiin Piikkiössä 1.6.2021 ja Räpillä 2.6.2021.

Kaura puitiin koeruuduista 31.8.–1.9.2021. Viherlannoituskasvustot murskattiin seuraavina päivinä. Koalue jätettiin syksyllä muokkaamatta, ja se kynnettiin seuraavana keväänä.

Taulukko 2. Kenttäkokeiden käsittelyt vuonna 2021. Käsittely 3 vain Piikkiön kokeessa.

Käsittely	Viljelykasvi	Maanparannusaine	Käyttömäärä, kuiva-ainetta, t/ha	Levityspäivä	N-lannoitus kuitua levitettäessä, kg/ha	N-lannoitus kylvöpäivänä, kg/ha
1	kaura	-				80
2	kaura	nollakuitu	10,2	29.4.2021 (Piikkiö)/ 20.5.2021 (Räpi)	30	80
3	kaura	nollakuitu + kananlanta	10,8	31.5.2021		50
4	viherlannoitus	-				30
5	viherlannoitus	nollakuitu	10,2	29.4.2021 (Piikkiö)/ 20.5.2021 (Räpi)	30	30

Taulukko 3. Maanparannusaineiden ominaisuuksia

Ominaisuus	Nollakuitu	Pehtoorin Ehta
Kosteus (%)	74	73
Tuhka (% kuiva-aineesta)	7,2	31
pH	7,5	7,1
Johtoluku mS/cm)	87	1 157
C (% kuiva-aineesta)	44	38
N (% kuiva-aineesta)	0,04	1,0
vesiliukoinen N (% kokonaistypestä)	24	22
P (g/kg kuiva-ainetta)	0,02	2,0
K (g/kg kuiva-ainetta)	0,15	4,9
Mg (g/kg kuiva-ainetta)	0,38	2,3
Cd (µg/kg kuiva-ainetta)	7	31

Vuoden 2021 koeruudut olivat Piikkiön kokeessa kooltaan 7,5 m x 8 m ja Räpin kokeessa 13 m x 12 m. Kenttäkokeet toteutettiin satunnaistettujen täydellisten lohkojen kokeena, jossa oli neljä lohkoa. Piikkiön kokeessa viisi käsittelyä satunnaistettiin jokaiseen lohkoon. Räpin kokeessa viljelykasvi oli pääruututekijä, jonka ruutuihin arvottiin kuitukäsittelyruudut osaruutuina.



Kuva 1. Maanparannusaineet sekoitettiin maahan kultivoimalla, jonka jälkeen koeruudut äestettiin. Kuva: Terhi Suojala-Ahlfors, Luke.

Vihannesviljelyvuodet 2022 ja 2023

Vuosina 2022 ja 2023 koeruuduilla viljeltiin vihanneksia. Piikkiön kokeessa kasvit olivat peräkäisinä vuosina sipuli ('Setton') ja keräkaali ('Lennox'), Räpin kokeessa pinaatti ('Novico') ja lanttu ('Globus'). Vihannesvuosina jaettiin v. 2021 koeruudut kolmeen typpilannoitusruutuun (Taulukko 4), jotka Piikkiön kokeessa olivat osaruutuja ja Räpin kokeessa osa-osaruutuja. Typpilannoituskäsittelyt satunnaistettiin erikseen jokaisen pääruudun ja Räpin kokeessa osaruudun sisällä.

Piikkiön kokeessa vihannesruutujen koko oli 2,5 m x 8 m ja Räpin kokeessa 3,7 m x 12 m. Sipuli viljeltiin istukkaista ja keräkaali taimista. Pinaattikokeessa viljeltiin kaksi kasvustoa, eli kevät- ja syyspinaatti, peräkkäin samoilla ruuduilla normaalin viljelykäytännön mukaisesti. Lanttukoe perustettiin kylvämällä. Keräkaali viljeltiin hyönteisverkon alla tuholaisvioletusten välttämiseksi.

Typpilannoituskäsittelyissä alin taso ei saanut lainkaan typpeä, paitsi keräkaalikokeessa alimmalle typpitasolle annettiin 50 kg/ha kaalin runsaan typen tarpeen vuoksi. Keskimmäisen tason typpimäärä annettiin kokonaan kevätlevityksen yhteydessä, paitsi keräkaalilla annettiin osa tyypestä kesäkuussa. Korkeimman typpitason käsittelyssä typpilannoitus jaettiin kevätlevitykseen ja 1–2 lisälannoituskertaan. Muita ravinteita kuin typpeä annettiin samat määrät kaikissa käsittelyissä. Piikkiön kokeessa fosforia annettiin 10 kg/ha molemmille vihanneksille. Kaliumia lisättiin sipulille 123 kg/ha ja keräkaalille 200 kg/ha, ja muita ravinteita viljavuusanalyysin osoittaman tarpeen mukaan. Räpin kokeessa lisättiin typen ohella vain kaliumia, pinaatille 50 kg/ha ja lantulle 55 kg/ha.

Taulukko 4. Vihanneslajit, niiden typpilannoitus ja viljelypäivät vuosien 2022 ja 2023 kokeissa (P=Piikkiö ja R=Räpi).

Vuosi	Viljelykasvi	N-lannoitustasot, kg/ha	Kylvö-/istutuspäivä	Sadonkorjuupäivä
2022	Sipuli (P)	0, 50 ja 100	17.–19.5	17.8.
	Pinaatti (R)	0, 40 ja 80 (kevätpinaatti) 0, 20 ja 40 (syyspinaatti)	16.5. 12.7.	30.6. (kevätpinaatti) 29.8. (syyspinaatti)
2023	Keräkaali (P)	50, 125 ja 200	15.–16.5.	18.9.
	Lanttu (R)	0, 65 ja 130	23.5.	2.10.

Maanparannuskäsittelyiden uusinta v. 2024

Piikkiön kokeen maanparannuskäsittelyt päätettiin uusia vielä hankkeen päätösvuonna 2024, jotta tulevaisuudessa on mahdollista seurata viljelykierrossa toistuvien kuitu- tai viherlannoituskäsittelyiden vaikutusta. Käsittelyt toteutettiin samoissa koeruuduissa kuin vuonna 2021, poikkeuksena se, että aiemman kauran sijaan koeruuduille kylvettiin ohraa (lajike Feedway) (Taulukko 5). Viherlannoitusseoksena oli Naturcom Oy:n toimittama Ebena-voimavirna-seos kuten vuonna 2021. Maanparannusaineita, Soilfoodin toimittamaa nollakuitua ja Humuspehtoorin toimittamaa Pehtoorin Ehtaa, levitettiin jälleen 40 000 kg/ha tuorepainona, mikä sisälsi kuiva-ainetta nollakuituruuduissa 11 640 kg/ha ja Ehta-ruuduissa 11 100 kg/ha. Nollakuitu levitettiin 8.5., jolloin kuituruutuihin annettiin tyyppiä 30 kg/ha, kuten v. 2021. Ehta levitettiin 21.5., jolloin myös ohra kylvettiin. Viherlannoitusseos kylvettiin 22.5. Typpilannoitusmäärä oli ohralle 90 kg/ha ja viherlannoitusseokselle 30 kg/ha.

Taulukko 5. Maanparannuskäsittelyt vuonna 2024

Käsittely	Viljelykasvi	Maanparannusaine	Käyttömäärä, kuiva-ainetta, t/ha	Levityspäivä	N-lannoitus kuitua levitettäessä, kg/ha	N-lannoitus kylvöpäivänä, kg/ha
1	ohra	-				90
2	ohra	nollakuitu	11,6	8.5.2024	30	90
3	ohra	nollakuitu + kananlanta	11,1	21.5.2024		50
4	viherlannoitus	-				30
5	viherlannoitus	nollakuitu	11,6	8.5.2024	30	30

3.1.2. Havainnot ja mittaukset kenttäkokeista

Kasvinäytteet

Kasvien kasvua seurattiin ottamalla 2–3 kasvustonäytettä viljelyn aikana sekä mittaamalla satoa. Vuonna 2021 kasvukauden aikaiset näytteet otettiin jokaisesta koeruudusta kahdesta kohtaa kehikonäytteinä (0,5 m x 0,5 m). Näytteiden tuore- ja kuivapainot punnittiin, ja elokuun näytteistä lajiteltiin eri kasvien biomassaosuudet tuorepainosta. Kaurasadon valmistutua se korjattiin koeruutupuimurilla, kuivattiin ja puhdistettiin. Viherlannoituskasvustosta otettiin "satonäyte" kehikonäytteinä, kuten aiemmin kasvukaudella. Jokaisen analyysikerran

näytteet toimitetaan typpianalyysiin Luken Jokioisten laboratorioon, jossa niistä analysoitiin typpipitoisuus Kjeldahl-menetelmällä.

Vihannesvuosina kasvustonäytteitä otettiin kerran (pinaatti), kaksi kertaa (sipuli ja lanttu) tai kolme kertaa (keräkaali) kasvukauden kuluessa ja satonäytteet otettiin sadon valmistuessa. Näytteistä punnittiin tuore- ja kuivapainot ja toimitettiin osanäytteet typpianalyysiin. Sato-osan alkaessa muodostua näytteet otettiin erikseen sato-osasta (sipuliosa, kerä tai mukula) ja muista maanpäällisistä kasvinosista. Kasvinäytteen ala vaihteli 0,45 ja 0,72 m²:n välillä kasvialojin mukaan ja satoruudun pinta-ala 3,6 ja 6 m²:n välillä.

Vuonna 2024 ohra- ja viherlannoitusruuduista otettiin jälleen näytteet kasvukauden aikana kehikönäytteinä (25.6. ja 22.7.). Ohra puitiin 23.8. ja viherlannoituskasvustojen viimeiset näytteet otettiin 28.8.

Maanäytteet

Koeruuduista otettiin maanäytteitä joka kevät ja syksy. Ennen kokeiden perustamista keväällä 2021 näytteet otettiin koealueilta lohkoittain, syksyllä 2021 ja keväällä 2022 maanparannusvuoden koeruutujen mukaisesti erikseen kerroksista 0–20 cm ja 20–40 cm. Syksystä 2022 alkaen näytteet otettiin typpilannoitusruuduittain syvyydestä 0–20 cm ja lisäksi keskimmäisen typpilannoitustason ruudusta syvyydestä 20–40 cm.

Syksyllä 2021 ja 2022 otettiin myös erilliset lieriönäytteet (4 näytettä/ruutu, lieriön tilavuus n. 200 cm³) 2,5–7,5 cm:n syvyydestä vedenpidätyskäyrän määrittämistä varten. Syksyn 2022 näytteet otettiin keskimmäisen typpitason ruuduista.

Sadetusnäytteet

Räpin koekentän pääruuduista otettiin traktorikairalla häiriintymättömät maamonoliittinäytteet syyskuussa 2021 ja 2022 (Kuva 2). Näytelieriön korkeus oli 40 cm ja halkaisija 30 cm. Ennen sadetusta monoliitit säilytettiin kylmähuoneessa +5 °C lämpötilassa.



Kuva 2. Maamonoliittinäytteiden ottoa Räpin koekentällä syksyllä 2022. Kuva: Kimmo Rasa, Luke.



Kuva 3. Sadetuskokeessa maamonoliittejä sadetettiin kahtena peräkkäisenä päivänä. Mono-liitin läpi valuvasta vedestä otettiin näytteitä, joista analysoitiin ravinne- ja hiilipitoisuudet, pH ja sähkönjohtavuus. Kuvat: Johanna Nikama ja Helena Merkkiniemi, Luke.

3.1.3. Maanäytteiden analyysit

Syksyisin ja keväisin otetuista maanäytteistä analysoitiin Luken laboratoriossa nitraattitypen pitoisuudet kaliumkloridiuutteesta kolorimetrisesti Skalar-autoanalysaattorilla. Nitraattitypen määrä muunnettiin kilogrammoiksi hehtaaria kohti kertomalla mitattu pitoisuus kivennäismaille tyypillisen $1,2 \text{ kg/dm}^3$ irtotiheyden avulla.

Syksyllä 2023 analysoitiin 0–20 cm:n kerroksesta otetuista näytteistä myös partikkelimaisen ja mineraaliainekseen sitoutuneen orgaanisen hiilen määrät koko- ja tiheysfraktioinnin jälkeen Keskinen ym. (2024) käyttämillä menetelmillä.

Syksyinä 2021 ja 2022 otetuista rakenteeltaan häiriintymättömistä maanäytteistä mitattiin maan vedenpidätyskyky tasapainottamalla näytteitä perättäin kasvavassa alipaineessa. Menetelmä on kuvattu yksityiskohtaisesti Rätyn ym. (2023) julkaisussa.

3.1.4. Sadetuskoe

Sadetuskokeessa tutkittiin Rätyn koekentältä otetuista maamonoliiteistä ravinnekuormitusta. Monoliittejä sadetettiin neljän kappaleen ryhmissä 5 mm/h intensiteetillä kahtena peräkkäisenä päivänä (Kuva 3). Monoliitin läpi valuneesta vedestä kerättiin viisi näytettä: (i) esikostutuksen jälkeen suurten huokosten tyhjentymisen yön yli tullut vesi, (ii) ensimmäisen sadetuspäivän aikana tullut vesi, (iii) kahden sadetuspäivän välisenä yönä tullut vesi, (iv) toisen sadetuspäivän aikana tullut vesi, sekä (v) toisen sadetuksen jälkeisenä yönä maan läpi tullut vesi. Vesinäytteistä analysoitiin ravinne- ja hiilipitoisuudet, pH ja sähkönjohtavuus.

3.1.5. Tilastollinen analyysi

Jokaisen vuoden ja kahden koepaikan tulokset analysoitiin erikseen hyödyntäen tilastollisia sekamalleja, jossa koekentän lohko oli satunnaistekijä. Koemalli oli Piikkiössä vuonna 2021 täydellisesti satunnaistettujen lohkojen koe ja seuraavana vuonna osaruutukoe. Rätyn koekokeessa maanparannuskäsittelyt toteutettiin osaruutukoemallilla, jossa viljelykasvi oli pääruututekijä ja kuitukäsittely osaruututekijä. Seuraavien vuosien kokeessa typpilannoitustaso oli Piikkiön kokeessa osaruututekijä ja Rätyn kokeessa osa-osaruututekijä. Käsittelyiden välisiä vertailuja tehtiin Bonferroni-menetelmällä. Analyysit toteutettiin SAS-ohjelmistolla.

3.2. Tulokset

3.2.1. Kasvu ja typen otto vuonna 2021

Kasvukausi 2021 oli kuiva, etenkin Piikkiössä, jossa kaura kasvoi heikosti ja jyväsato oli vain noin 1 020–1 330 kg/ha eri käsittelyissä (Taulukko 6). Rätyn kokeessa kaurasato oli noin 3 700 kg/ha (Kuva 4). Kummallakaan koepaikalla kuitulisäys ei vaikuttanut viljan satoon, vaikka kasvukauden alkupuolella kuitu vaikutti silmävaraisen arvion mukaan hieman hidastaneen viljan alkukasvua. Tämä kuidun kasvua hidastanut vaikutus ei kuitenkaan ilmennyt kasvukauden aikana otetuissa kasvustonäytteissä muuten kuin Rätyn kokeen ensimmäisessä näytteessä, joka otettiin 22.6. Tässä näytteessä viljan kuiva-ainemassa oli 23 % pienempi ja typpisisältö 28 % pienempi kuitukäsittelyssä kuin ilman kuitua viljellyissä ruuduissa. Myöhemmissä näytteissä ei enää havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja käsittelyiden välillä. Kasvukauden lopulla kaurakasvuston typpisisältö oli hieman pienempi kuitukäsittelyssä verrattuna ilman kuitua viljeltyihin ruutuihin (Taulukko 6), mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevää. Puintiaikaan elokuun lopulla kaurakasvusto oli jo varsin ränsistynyt ja osa lehdistä varissut. Noin kaksi viikkoa ennen puintia otetuissa näytteissä maanpäällisen kasvuston typpisisältö oli viljaruuduissa Piikkiön kokeessa 88–103 kg/ha ja Rätyn kokeessa 113–129 kg/ha, eli noin 10–35 kg/ha suurempi kuin taulukossa 6 esitetyt typpisisällöt. Kuitukäsittelyillä ei kuitenkaan ollut tuolloinkaan tilastollisesti merkitsevää vaikutusta.

Virnavaltainen viherlannoitusseos pystyi hyödyntämään elokuun sateet ja kasvatti lopulta rehevän kasvuston molemmilla koepaikoilla (Kuva 5). Piikkiön kokeessa kasvuston kuiva-ainemassa ja typpisisältö oli elokuun lopun näytteenotossa pienempi kuitukäsittelyn saaneissa

ruuduissa verrattuna muihin viherlannoitusruutuihin (Taulukko 6) ja ero oli tilastollisesti merkitsevä. Sen sijaan Räpin kokeessa tulos oli päinvastainen: kuitukäsittelyn saaneissa viherlannoitusruuduissa typpisisältö oli suurempi kuin kontrolliruuduissa, mutta kuiva-ainemassoihin kuitulisäyksellä ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta. Kasvustojen lajikoostumus oli jonkin verran erilainen eri koepaikoilla: Piikkiön kokeessa virnojen osuus kuiva-ainemassasta oli elokuun puolivälissä keskimäärin 61 % ja Räpin kokeessa 39 %. Muu osa massasta oli viljoja ja rikkakasveja.

Nollakuidun kevätlevitys ei kuivana kasvukautena 2021 aiheuttanut siis merkittävää haittaa kauran tai viherlannoituskasvuston kehitykselle, kun nollakuidun aiheuttamaa typen immobilisaatiota kompensoitiin lisätyppilannoituksella kuidun levityksen yhteydessä.



Kuva 4. Räpin koekentällä kaura ja viherlannoitusseos menestyivät hyvin kuivanakin kasvukautena 2021. Viherlannoitusseoksessa kasvoi rehu- ja ruisvirnan lisäksi eri viljalajeja. Kuva 21.7.2021, Terhi Suojala-Ahlfors, Luke.



Kuva 5. Piikkiön kokeessa kaurakasvusto jäi harvaksi ja heikoksi, mutta viherlannoitusseos pystyi hyödyntämään elokuun sateet ja tuotti hyvän kasvuston. Kuva 10.8.2021, Terhi Suojala-Ahlfors, Luke.

Taulukko 6. Kauran ja viherlannoituksen tuottama sato ja maanpäällisten kasvinosien typpisisältö elokuun lopussa 2021. Kaura+kuitu+kananlanta -käsittely oli vain Piikkiön kokeessa. Luokarvojen perässä sarakeittain näkyvät pienaakkoset osoittavat tilastollisesti merkitseviä eroja ($p < 0,05$): samalla aakkosella merkityt käsittelyt eivät eroa tilastollisesti merkitsevästi toisistaan.

Käsittely	Piikkiö			Räpi		
	Jyväsato (kg/ha)	Kuivamassa (kg/ha)	Typpisisältö (kg/ha)	Jyväsato (kg/ha)	Kuivamassa (kg/ha)	Typpisisältö (kg/ha)
Kaura	1 018 a		66 c	3 747 a		117 c
Kaura + kuitu	1 121 a		65 c	3 754 a		109 c
Kaura + kuitu + kananlanta	1 331 a		62 c			
Viherlannoitus		6 873 a	201 a		7 650 a	167 b
Viherlannoitus + kuitu		5 647 b	165 b		8 133 a	217 a

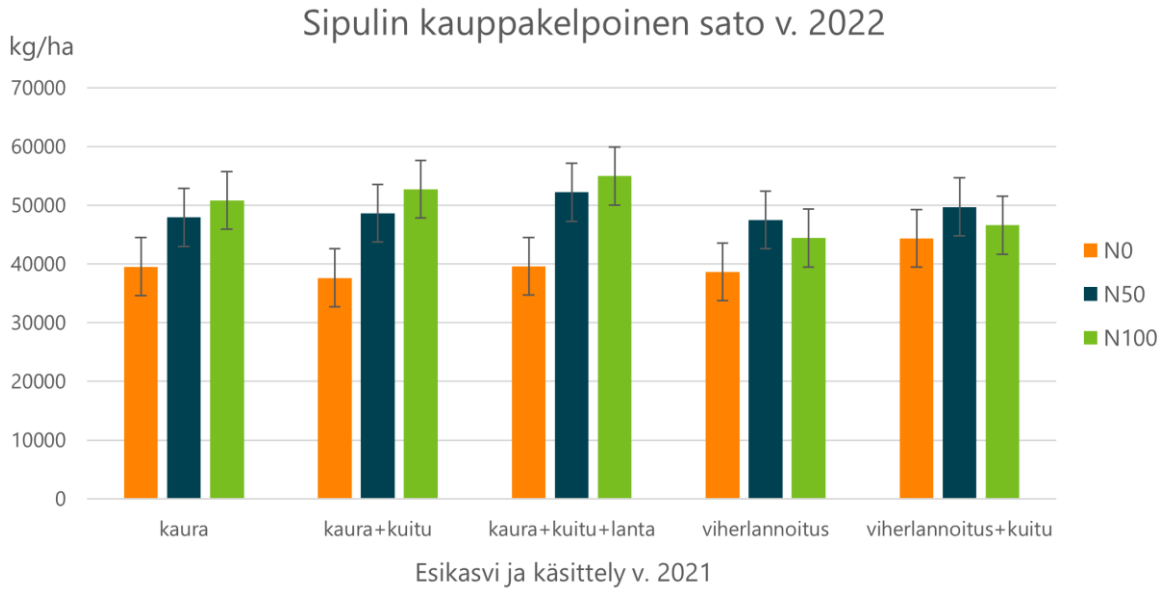
3.2.2. Vihannesten sato ja typen otto vuosina 2022–2023

Piikkiön koe, sipuli ja keräkaali

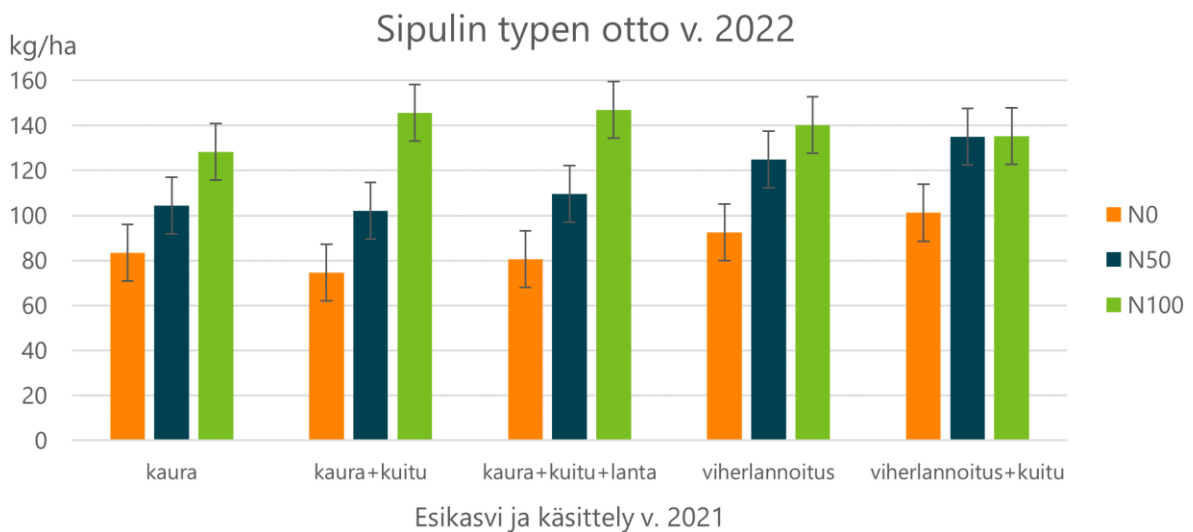
Maanparannuskäsittelyt vaikuttivat jonkin verran seuraavan vuoden sipulik kasvuston kasvuun ja satoon. Edellisen vuoden viherlannoitus edisti sipulin typen saantia, sillä vuotuisen mineraalityypilannoituksen vaikutus sipulin satoon oli pienempi viherlannoitusruuduissa kuin käsittelyissä, joissa esikasvina oli kaura (Kuva 6). Maaperän liukoisen typen mittaukset koeruduilla osoittivatkin, että viherlannoitusruuduissa oli enemmän liukoista typpeä sekä syksyllä 2021 että keväällä 2022 ennen sipulin istutusta (katso luku 3.2.3.). Runsaampi typen saatavuus viherlannoitusruuduissa vaikutti myös sipulin kehitysrytmiin, sillä viherlannoitusruuduissa

sipulien tuleentuminen eteni hieman nopeammin kuin viljan ollessa esikasvina. Samoin typpilannoituksen lisääntyessä tuleentuminen nopeutui.

Typpilannoituksen vaikutus satoon oli selvä, kun verrattiin kokonaan ilman typpeä viljeltyjä ruutuja (N0) keskimmäisen typpitason (N50) ruutuihin. Sen sijaan satoero jäi vähäiseksi typpimäärien 50 ja 100 kg/ha välillä. Sipulien typpipitoisuus ja typen kokonaisotto oli kuitenkin N100-käsittelyssä selvästi suuremmat kuin N50- tai N0-käsittelyissä, joten kasvien typen otto voimistui enemmän kuin sadon tuotto typpilannoituksen lisääntyessä (Kuva 7).



Kuva 6. Sipulin kauppakelpoinen sato vuonna 2022. Virhepalkit esittävät 95 % luottamusvälin.



Kuva 7. Sipulin typen otto Piikkiön kokeessa v. 2022. Virhepalkit esittävät 95 % luottamusvälin.



Kuva 8. Sipulikokeessa hyvä kasvu varmistettiin sadettamalla. Kuva: Terhi Suojala-Ahlfors, Luke.

Räpin koe 2022, pinaatti

Pinaattikokeissa kasvusto oli jonkin verran aukkoinen epätasaisen taimettumisen ja melko runsaan rikkakasvullisuuden takia, ja kevät-pinaatti alkoi muodostaa kukkavarsia odotettua aiemmin hellejakson takia (Kuva 9). Kokeessa maanparannuskäsittelyiden vaikutus kasvuun ja typen ottoon jäi varsin vähäiseksi (Taulukko 7). Kevät-pinaatissa edellisvuoden kuitukäsittely nosti sadon kuiva-ainepitoisuutta ja laski typpipitoisuutta tilastollisesti merkitsevästi, mutta sillä ei ollut vaikutusta satoon tai kuiva-ainemassaan. Myös sadon nitraattipitoisuus oli hie-man alempi kuituruuduissa, mutta käsittelyn vaikutus ei ollut tilastollisesti merkitsevää. Esikasvilla (viherlannoitus/vilja) ei ollut vaikutusta mitattuihin muuttujiin.

Maanparannuskäsittelyitä isompi vaikutus oli pinaatille annetulla typpilannoitusmäärällä, jos-kin sen vaikutus sadon määrään oli vähäisempi kuin kasvuston typen ottoon. Tällä peltoloh-kolla pinaatti kasvoi hyvin jopa ilman typpilannoitusta esikasvista riippumatta. Keskimmaisella typpitasolla saavutettiin suurin sato, joten typpilannoituksen lisääminen 40 kilosta 80 kiloon hehtaarilla ei tuottanut satohyötyä. Runsas typpilannoitus sen sijaan lisäsi kasvuston typpipi-toisuutta ja erityisesti sen nitraattipitoisuutta, joka kuitenkin oli isoimmalla typpitasollakin sel-västi alle pinaatille sallitun nitraatin enimmäismäärän (tuoreessa pinaatissa 3 500 mg/kg ja pakastetussa pinaatissa 2 000 mg/kg, EU-asetus 2023/915).



Kuva 9. Kevätpinaatin satonäytteet kerättiin 30.6. helteisen sääjakson aikana, mikä oli aiheuttanut ennenaikaista kukkavarsien muodostumista kasveihin. Kuva: Terhi Suojala-Ahlfors, Luke.

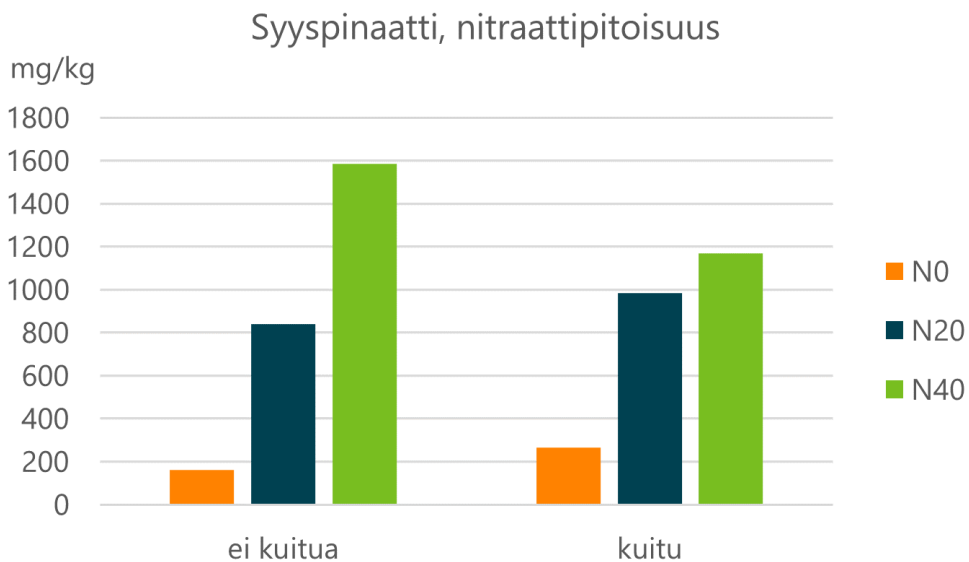
Taulukko 7. Kevätpinaatin sato, typen käyttö ja nitraattipitoisuus vuonna 2022 Räpin koekentällä. Tuloksissa on esitetty erikseen kuitukäsittelyn, esikasvin ja typpilannoituksen vaikutukset, sillä näiden muuttujien välillä ei ollut merkitseviä yhdysvaikutuksia. Lukuarvojen perässä sarakkeittain näkyvät pienaakkoset osoittavat tilastollisesti merkitseviä eroja ($p < 0,05$): eri kirjaimella merkityt keskiarvot poikkeavat toisistaan.

Käsittely	Sato (kg/ha)	Sadon N-pitoisuus (%)	N-otto (kg/ha)	Nitraattipitoisuus (mg/kg)
Kuitukäsittely				
kuitu	11 187	3,16 b	37,8	357
ei kuitua	11 519	3,34 a	37,3	419
Esikasvi				
vilja	12 298	3,18	39,7	330
viherlannoitus	10 408	3,32	35,4	446
Typpilannoitus				
N0	9 816 b	2,64 c	27,9 b	51 c
N40	12 763 a	3,37 b	43,3 a	346 b
N80	11 480 ab	3,73 a	41,5 a	767 a

Syyspinaattikasvustossa näkyi edelleen, että edellisen vuoden nollakuitulisäys vähensi hieman kasvuston typen ottoa ja sadon määrää verrattuna ilman kuitulisäystä olleisiin ruutuihin (Taulukko 8). Kuitukäsittelyn vaikutus sadon typpi- tai nitraattipitoisuuteen ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä. Typpilannoituksen noustessa erityisesti nitraattipitoisuus nousi huomattavasti, mutta sadon määrä ei juuri kasvanut. Näin ollen korkein typpilannoitustaso oli tarpeettoman suuri tälle kasvustolle. Kuitukäsittely hillitsi jonkin verran nitraattipitoisuuden nousua typpilannoituksen lisääntyessä, sillä kuitukäsittelyllä ja typpilannoituksella havaittiin tilastollisesti merkitsevä yhdysvaikutus ($p=0,045$, kuva 10).

Taulukko 8. Syyspinaatin sato, typen käyttö ja nitraattipitoisuus vuonna 2022 Rärpin koekentällä. Tuloksissa on esitetty erikseen kuitukäsittelyn, esikasvin ja typpilannoituksen vaikutukset, sillä näiden muuttujien välillä ei ollut merkitseviä yhdysvaikutuksia (poikkeuksena nitraattipitoisuus, Kuva 10). Lukuarvojen perässä sarakeittain näkyvät pienaakkoset osoittavat tilastollisesti merkitseviä eroja ($p < 0,05$): eri kirjaimella merkityt keskiarvot poikkeavat toisistaan.

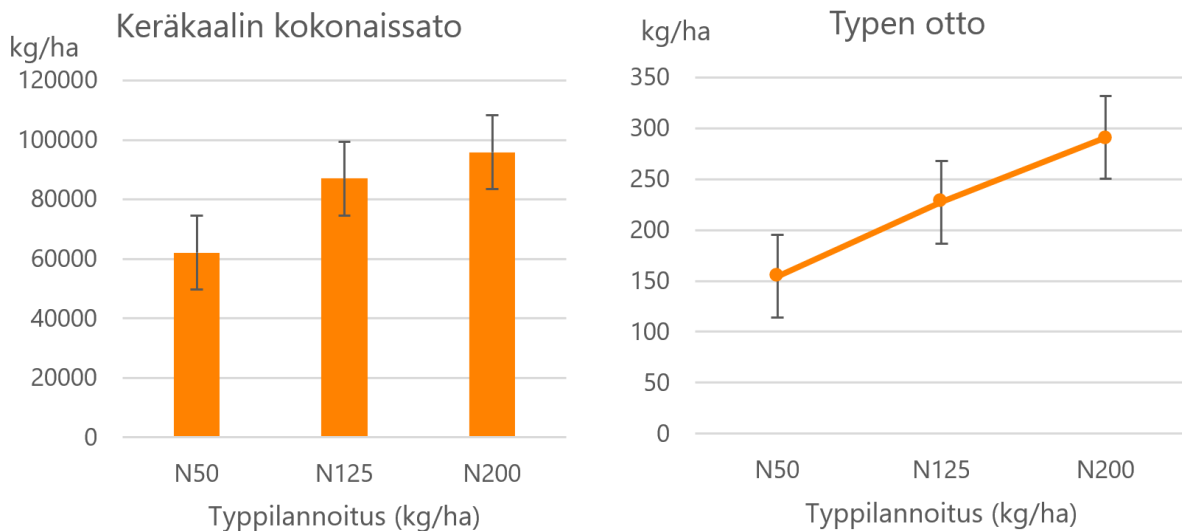
Käsittely	Sato (kg/ha)	Sadon N-pitoisuus (%)	N-otto (kg/ha)	Nitraattipitoisuus (mg/kg)
Kuitukäsittely				
kuitu	9 378 b	4,58	35,0 b	807
ei kuitua	10 750 a	4,62	39,9 a	862
Esikasvi				
vilja	10 152	4,52	37,3	755
viherlannoitus	9 976	4,68	37,5	914
Typpilannoitus				
N0	9 274	3,95 b	31,2 b	214 c
N20	10 644	4,83 a	41,2 a	911 b
N40	10 273	5,02 a	39,9 a	1 378 a



Kuva 10. Kuitulisäyksen ja typpilannoituksen (N 0, 20 ja 40 kg/ha) vaikutus syyspinaatin nitraattipitoisuuteen Rärpin kokeessa vuonna 2022.

Piikkiö 2023, keräkaali

Vuoden 2023 kokeessa, jolloin maanparannuskäsittelyistä oli kulunut kaksi vuotta, keräkaalin kasvuun ja typen käyttöön vaikutti vain saman vuoden typpilannoitus. Pienimmälläkin typpitasolla (N50 kg/ha) syväjuurinen keräkaali tuotti jopa 60 tonnin hehtaarisadon, jonka kuiva-ainepitoisuus oli selvästi korkeampi ja typpipitoisuus matalampi kuin korkeammilla typpitasoilla (N125 ja N200 kg/ha, Kuva 11). Typpitasojen N125 ja N200 kg/ha välillä kokonaissato nousi noin 9 000 kg/ha ja kauppakelpoinen sato noin 7 000 kg/ha. Maanpäällisen kasvuston typpisisältö nousi melko suoraviivaisesti typpilannoituksen lisääntyessä.



Kuva 11. Keräkaalin sato ja typen otto maanpäällisiin kasvinosiin eri typpilannoitusmäärillä vuonna 2023. Vaihtelujanat kuvaavat 95 % luottamusväliä.

Räpi 2023, lanttu

Lanttukoe kärsi epätasaisesta taimettumisesta ja runsaasta rikkakasvillisuudesta, minkä takia tuloksia ei voi pitää luotettavina eikä niitä esitetä tässä raportissa.

Piikkiö 2024, ohra ja viherlannoitus

Vuonna 2024, jolloin maanparannuskäsittelyt toistettiin samoilla ruuduilla kuin kolme vuotta aiemmin, nollakuitu ja kuitu+kananlanta-seos aiheuttivat epätasaisesta kasvua ohraruuduissa (Kuva 12). Pelkkää nollakuitua saaneiden ruutujen tuottama jyväsato oli noin 8 % pienempi kuin kontrolliruutujen tuottama sato, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä (Taulukko 9). Sen sijaan kuitu-+kananlanta-käsittelyssä sato jäi noin 30 % pienemmäksi kuin kontrollikäsittelyssä. Viherlannoituskasvuston massassa ei havaittu eroja kuitukäsittelyn ja kontrollin välillä elokuun lopulla, vaikka alkuvaiheessa kuitukäsittelyssä kasvu vaikutti olleen hitaampaa kuin ilman kuitukäsittelyä viljellyissä ruuduissa.



Kuva 12. Kasvukaudella 2024 sääolot olivat pääsääntöisesti suotuisat ja sekä viherlannoitusseos että ohra kasvoivat hyvin. Erityisesti kuituruuduissa viljan kasvussa oli epätasaisuutta, jonka syynä oli mahdollisesti kuidun epätasainen sekoittuminen maahan.

Taulukko 9. Ohran ja viherlannoituskasvuston sato vuonna 2024 Piikkiön kokeessa. Jyväsato on puitu 23.8.2024 ja viherlannoituskasvuston massa määritetty 28.8.2024. Lukuarvojen perässä sarakkeittain näkyvät pienaakkoset osoittavat tilastollisesti merkitseviä eroja ($p < 0,05$): eri kirjaimella merkityt keskiarvot poikkeavat toisistaan.

Käsittely	Jyväsato (kg/ha)	Kuivamassa (kg/ha)
Ohra	5 073 a	
Ohra + kuitu	4 664 a	
Ohra + kuitu + kananlanta	3 447 b	
Viherlannoitus		12 360
Viherlannoitus + kuitu		11 548

3.2.3. Maaperän tyyppi

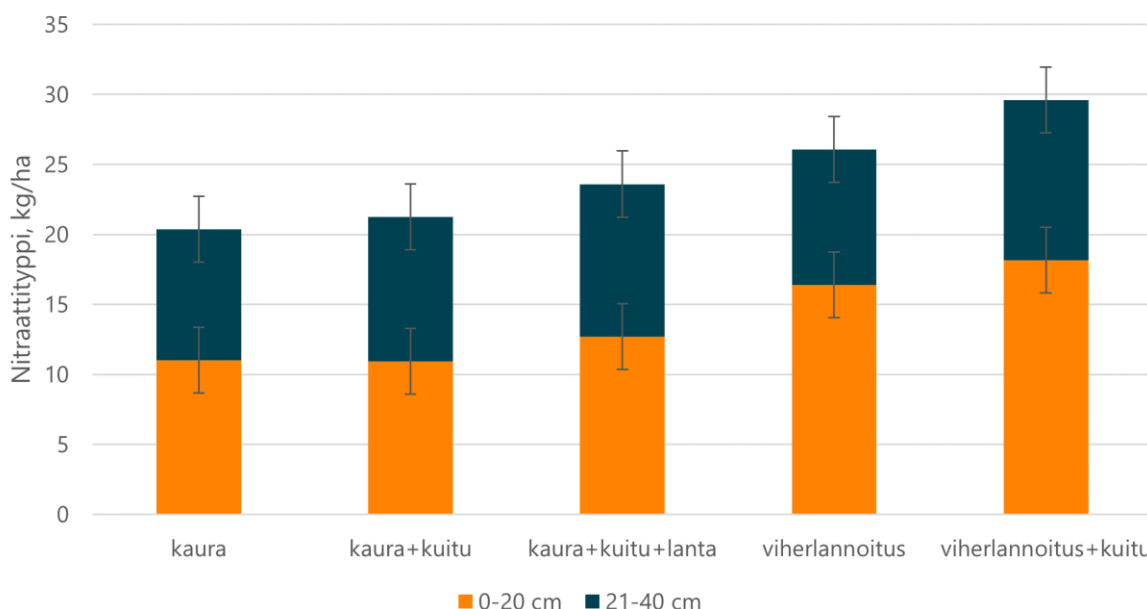
Piikkiö

Ensimmäisen koevuoden 2021 syyskuun alussa maaperän nitraattitypen määrä oli viherlannoitusruuduissa (25 kg/ha) suurempi kuin viljaruuduissa (8 kg/ha) 0–20 cm maakerroksessa. 21–40 cm kerroksessa nitraattitypeä oli keskimäärin 9 kg/ha eikä käsittelyiden välillä havaittu eroja. Viherlannoitusruuduista otettiin vielä uudet maanäytteet lokakuussa, joista voitiin havaita, että nitraattia oli siirtynyt muokkauskerroksesta 21–40 cm:n syvyyteen ja todennäköisesti myös huuhtoutunut syvempiin kerroksiin.

Keväällä 2022 viherlannoitusruuduista otetuissa näytteissä oli yhä muita ruutuja suurempi nitraattitypen pitoisuus muokkauskerroksen näytteissä. Ero oli kuitenkin määrältään pieni, koska viherlannoitetuissa ruuduissa nitraattitypeä oli 17 kg/ha ja muissa ruuduissa 12 kg/ha 0–20 cm syvyydessä (Kuva 13). Syksyllä 2022 sipulin jälkeen viherlannoitusruutujen nitraattitypen

määrät olivat edelleen hieman korkeammat kuin viljaruutujen määrät, esimerkiksi 0–20 cm kerroksessa oli viherlannoituskäsittelyissä 26–30 kg/ha nitraattityppeä ja viljakäsittelyissä vastaavasti 14–21 kg/ha. Myöhemmillä näytteenottokerroilla eli keväällä ja syksyllä 2023 maanparannuskäsittelyiden vaikutus ei näkynyt enää maan nitraattipitoisuuksissa. Keväällä 2023 nitraattityppeä oli molemmissa maakerroksissa keskimäärin 6 kg/ha, ja syksyllä 2023 keräkaalin jälkeen nitraattityppeä oli maassa vain muutamia kiloja hehtaaria kohti.

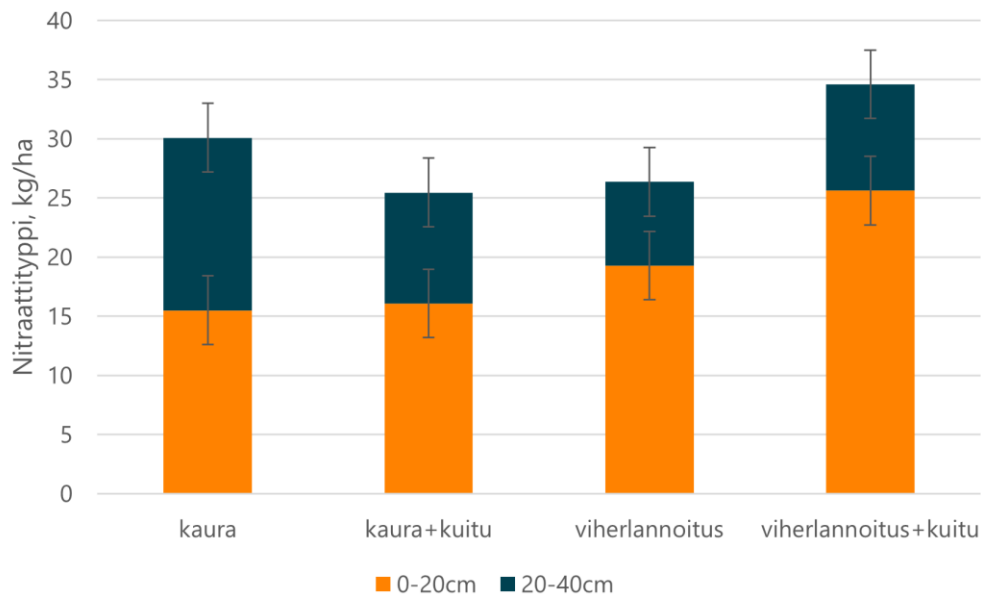
Vuotuisen typpilannoitustason vaikutusta maaperän nitraattitypen määrään seurattiin vain 0–20 cm:n syvyydestä otetuissa näytteissä. Sipuli- ja kaalikokeiden sadonkorjuun jälkeen otetuissa näytteissä nitraattia oli jonkin verran enemmän suurimman typpilannoituksen saaneissa ruuduissa syksyllä 2022. Korkein sipulin typpilannoitus jätti maahan 19 kg/ha nitraattityppeä, kun 0 ja 50 kg/ha typpilannoitukset jättivät 11 ja 13 kg/ha. Keräkaalin jälkeen syksyllä 2023 typpilannoitus ei vaikuttanut maahan jääneen nitraattitypen määrään.



Kuva 13. Maan nitraattitypen määrä Piikkiössä keväällä 2022. Virhepalkit esittävät 95 % luottamusvälin.

Räpi

Räpin kokeessa syksyn 2021 tilanne oli päinvastainen kuin Piikkiön kokeessa, eli viljaruuduissa nitraattitypen kokonaismäärä oli korkeampi kuin viherlannoitusruuduissa. Kuitulisäyksen myötä nitraattityppeä oli viljan jälkeen 30 kg/ha 0–40 cm maakerroksessa ja vastaavasti ilman kuitulisäystä 54 kg/ha. Viherlannoituksessa kuitulisäys ei vaikuttanut nitraattitypen määrään syksyn 2022 maanäytteissä. Sen sijaan kevään 2022 maanäytteissä kuidun lisäys viherlannoituksessa piti maan nitraattityppipitoisuuden 0–20 cm kerroksessa korkeammalla (26 kg/ha) kuin ilman kuitua (19 kg/ha) (Kuva 14). Syksyn 2022 näytteissä, jotka otettiin pinaatin sadonkorjuun jälkeen, näytteiden nitraattitypen pitoisuudet olivat varsin korkeita. Nitraattitypen määrä oli suurempi ruuduissa, joissa viherlannoitus oli ollut esikasvina, verrattuna viljaan esikasvina. Viherlannoitetusta maasta oli vapautunut kasvukauden aikana typpeä noin 30 kg/ha enemmän kuin viljan ollessa esikasvina. Erityisen selvästi näkyi vuotuisen typpilannoituksen vaikutus nitraattitypen määrään: korkeimman typpilannoitustason ruuduissa liukoisen typen määrät olivat 72 kg/ha, mikä kertoo lannoitetypen jääneen osin käyttämättä.



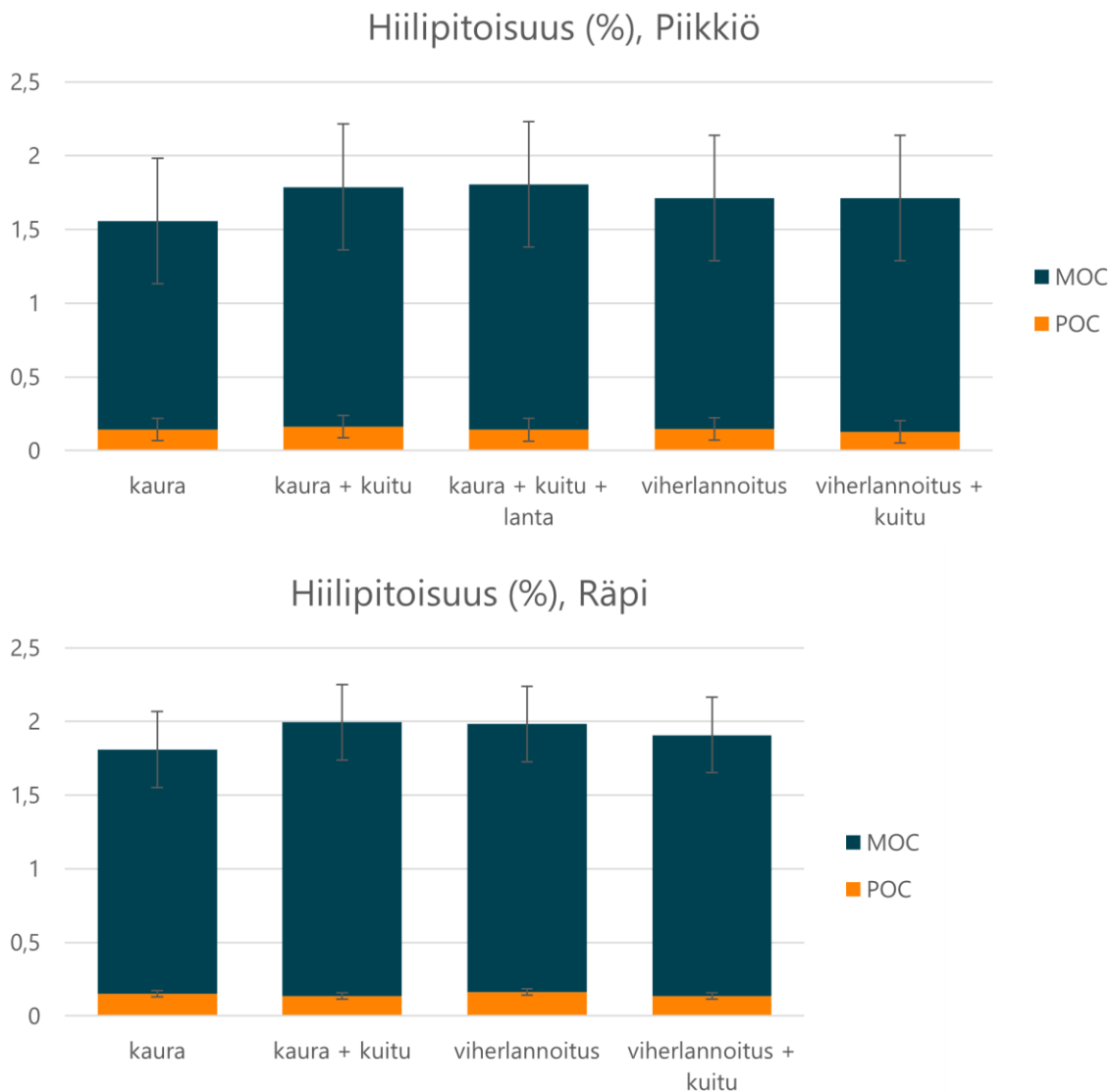
Kuva 14. Maan nitraattitypen määrä Rääpiässä keväällä 2022. Virhepalkit esittävät 95 % luottamusvälin.

Keväeseen 2023 mennessä käsittelyiden nitraattitypen määrät olivat pienentyneet alle 20 kg/ha 0–20 cm kerroksessa, mutta edellisen kesän typpilannoitukset nostivat vielä hieman maan nitraattipitoisuuksia. Kun viherlannoitus oli ollut esikasvina, maassa oli 0–40 cm kerroksessa 30 kg/ha nitraattityppeä ja viljan ollessa esikasvina vastaavasti 20 kg/ha.

Syksyn 2023 maanäytteissä nitraattityppeä oli vain muutamia kiloja hehtaaria kohti. Korkeimman lantun typpilannoituksen jälkeen nitraattityppeä oli hieman enemmän 0–20 cm kerroksessa.

3.2.4. Maaperän hiili

Maaperän orgaanisen hiilen määrää ja sen jakautumista partikkelimuotoiseen (POC) ja mineraalipinnoille pidäytyneeseen hiileen (MOC) analysoitiin syksyn 2023 näytteistä, jotka oli otettu syvyydestä 0–20 cm. Vaikka molemmilla koepaikoilla hiilipitoisuus oli hieman korkeampi kaikissa muissa kuin kontrollikäsittelyiden ruuduissa, erot olivat pieniä eivätkä tilastollisesti merkitseviä (Kuva 15).



Kuva 15. Maaperänäytteiden hiilipitoisuus ja sen jakautuminen partikkelimuotoiseen (POC) ja mineraalipinnoille pidäytyneeseen hiileen (MOC) syksyllä 2023. Virhepalkki kuvaa 95 % luottamusväliä.

3.2.5. Maan vedenpidätyskyky

Maan huokoisuutta ja vedenpidätyskyvyn muutoksia kuvaavat muuttujat mitattiin ensimmäisen ja toisen kasvukauden jälkeen. Käsittelyjen välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja kummallakaan koepaikalla (Taulukot 10 ja 11). Maan huokoisuus vaihteli Piikkiön kokeessa 49 ja 55 % välillä ja Räpin kokeessa 51 ja 55 % välillä, jälkimmäisenä vuotena kokonaishuokoisuuden ollessa hieman korkeampi. Kasveille käyttökelpoisen veden määrä oli Piikkiössä noin 20 %, josta noin puolet oli löyhemmin pidättynyttä kasveille helposti saatavilla olevaa vettä. Räpin koekentällä kasveille käyttökelpoisen veden määrä oli lähes 30 tilavuus-%, mutta kasveille helposti saatavilla olevan veden määrä oli noin kolmannes. Maan suurempien huokosten osuutta heijasteleva painovoimaisesti poistuvan veden määrä oli Piikkiössä 23–31 tilavuusprosenttia, toisen vuoden arvojen ollessa jälleen korkeampia. Vuosien väliset erot eivät kuitenkaan johdu koekäsittelyistä. Räpin kokeessa painovoimaisesti poistuvan veden määrä oli 11–15 tilavuusprosenttia.

Taulukko 10. Kasvukausien 2021 ja 2022 jälkeen mitattu maan kokonaishuokoisuus sekä kasveille käyttökelpoisen (KKV), kasveille helposti käyttökelpoisen (KHKV) ja painovoimaisesti kuivuvan veden (PKV) määrät tilavuusprosentteina neljän koeruudun keskiarvona Piikkiön kokeessa. SEM = keskiarvon keskivirhe.

Vuosi	Käsittely	Huokoisuus	KKV	KHKV	PKV
		Tilavuus-%			
2021	kaura	49,0	20,7	9,2	23,2
	kaura + kuitu	51,4	20,9	9,1	24,7
	kaura + kuitu + lanta	51,7	22,6	9,1	23,3
	viherlannoitus	50,0	21,6	10,3	23,6
	viherlannoitus + kuitu	51,6	21,9	9,2	25,4
2022	kaura	53,2	20,2	9,6	29,8
	kaura + kuitu	53,9	20,8	9,6	29,6
	kaura + kuitu + lanta	54,8	20,0	9,3	31,4
	viherlannoitus	53,9	19,9	9,9	30,7
	viherlannoitus + kuitu	53,3	20,6	9,8	29,2
	SEM	0,9	0,8	0,5	1,4

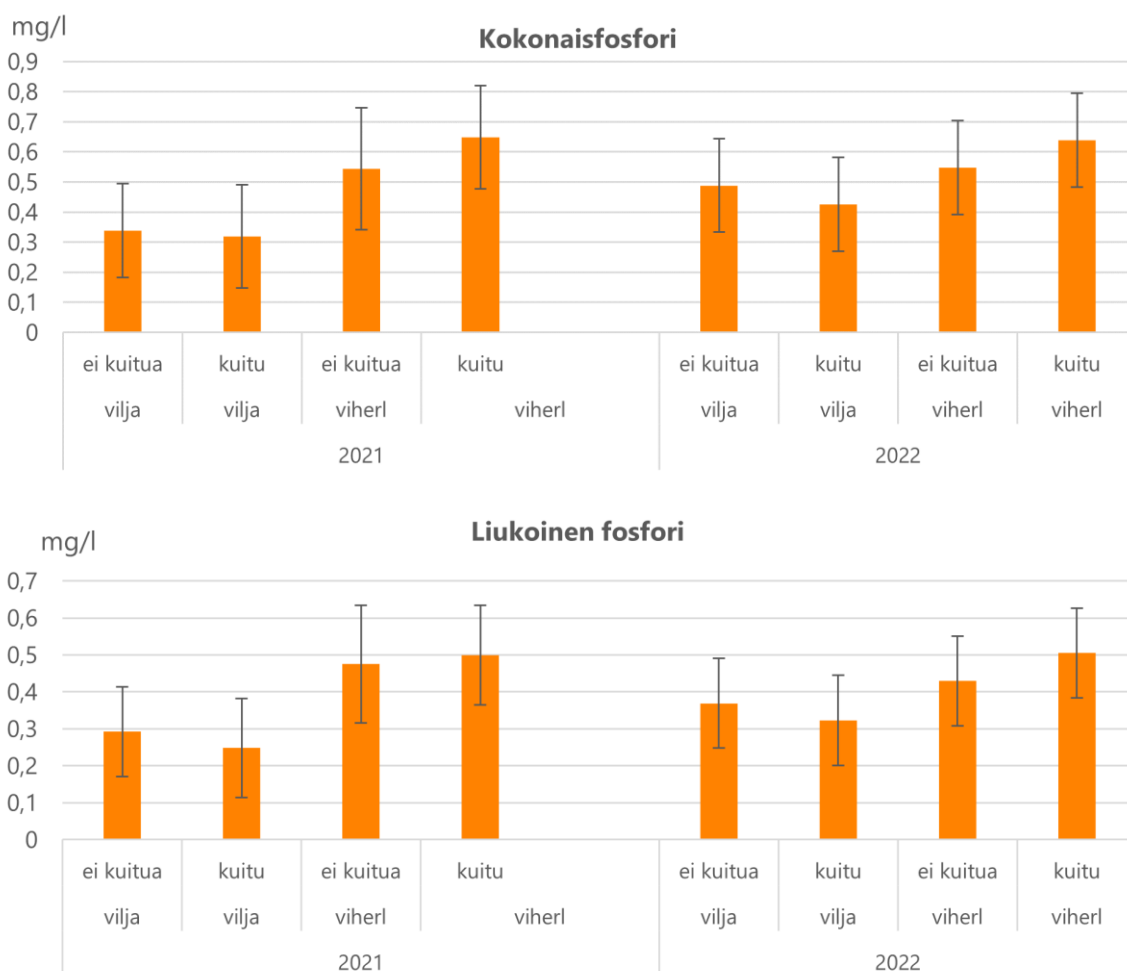
Taulukko 11. Kasvukausien 2021 ja 2022 jälkeen mitattu maan kokonaishuokoisuus sekä kasveille käyttökelpoisen (KKV), kasveille helposti käyttökelpoisen (KHKV) ja painovoimaisesti kuivuvan veden (PKV) määrät tilavuusprosentteina neljän koeruudun keskiarvona Räpin kokeessa. SEM = keskiarvon keskivirhe.

Vuosi	Käsittely	Huokoisuus	KKV	KHKV	PKV
		Tilavuus-%			
2021	kaura	52,8	29,5	8,8	14,2
	kaura + kuitu	54,4	29,5	7,3	14,8
	viherlannoitus	51,5	31,2	9,3	11,3
	viherlannoitus + kuitu	51,4	30,8	7,7	12,1
2022	kaura	54,1	28,8	9,3	14,7
	kaura + kuitu	53,9	28,9	9,7	15,0
	viherlannoitus	53,1	29,1	9,6	14,2
	viherlannoitus + kuitu	54,5	28,9	10,9	15,4
	SEM	0,95	0,35	0,82	1,3

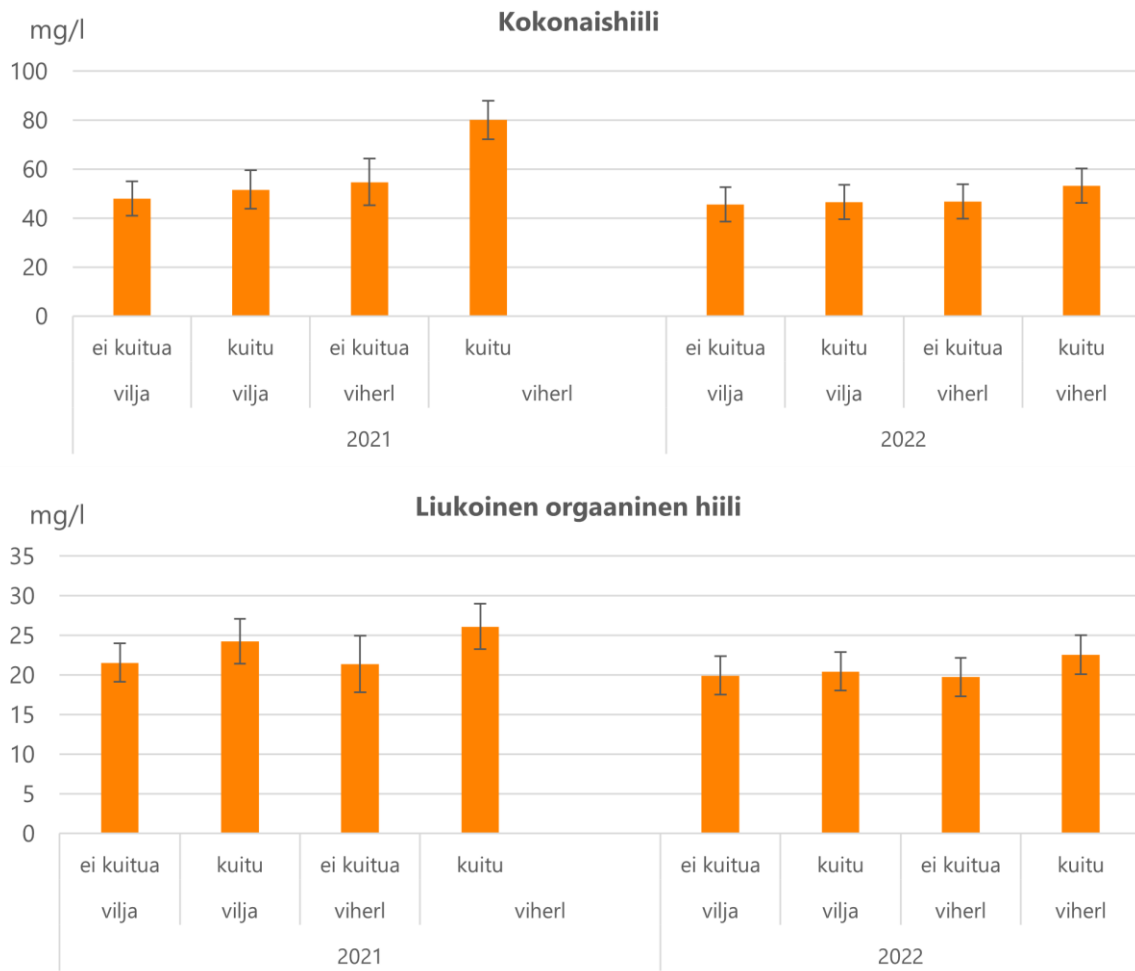
3.2.6. Sadetuskokeet

Sadetuskokeet tehtiin Räpin koekentältä syksyllä 2021 ja 2022 otetuille maamonoliiteille. Nollakuitu ei vähentänyt tilastollisesti merkitsevästi eroosioaineksen tai fosforin kulkeutumista maapatsaan läpi. Tarkasteltaessa tuloksia kahden koevuoden yhteenvetona valumavesien kiintoainepitoisuudet olivat alle 50 mg l^{-1} (sameus 1,2 NTU). Kokonaisfosforin pitoisuudet vaihtelivat $0,64$ ja $0,37 \text{ mg l}^{-1}$ välillä (Kuva 16). Liukoisen reaktiivisen fosforin osuus kokonaisfosforin pitoisuudesta oli noin 80 %. Viherlannoitusruuduista otetuissa näytteissä valumaveden liukoisen fosforin pitoisuus oli tilastollisesti merkitsevästi suurempi kuin viljaruutujen näytteissä.

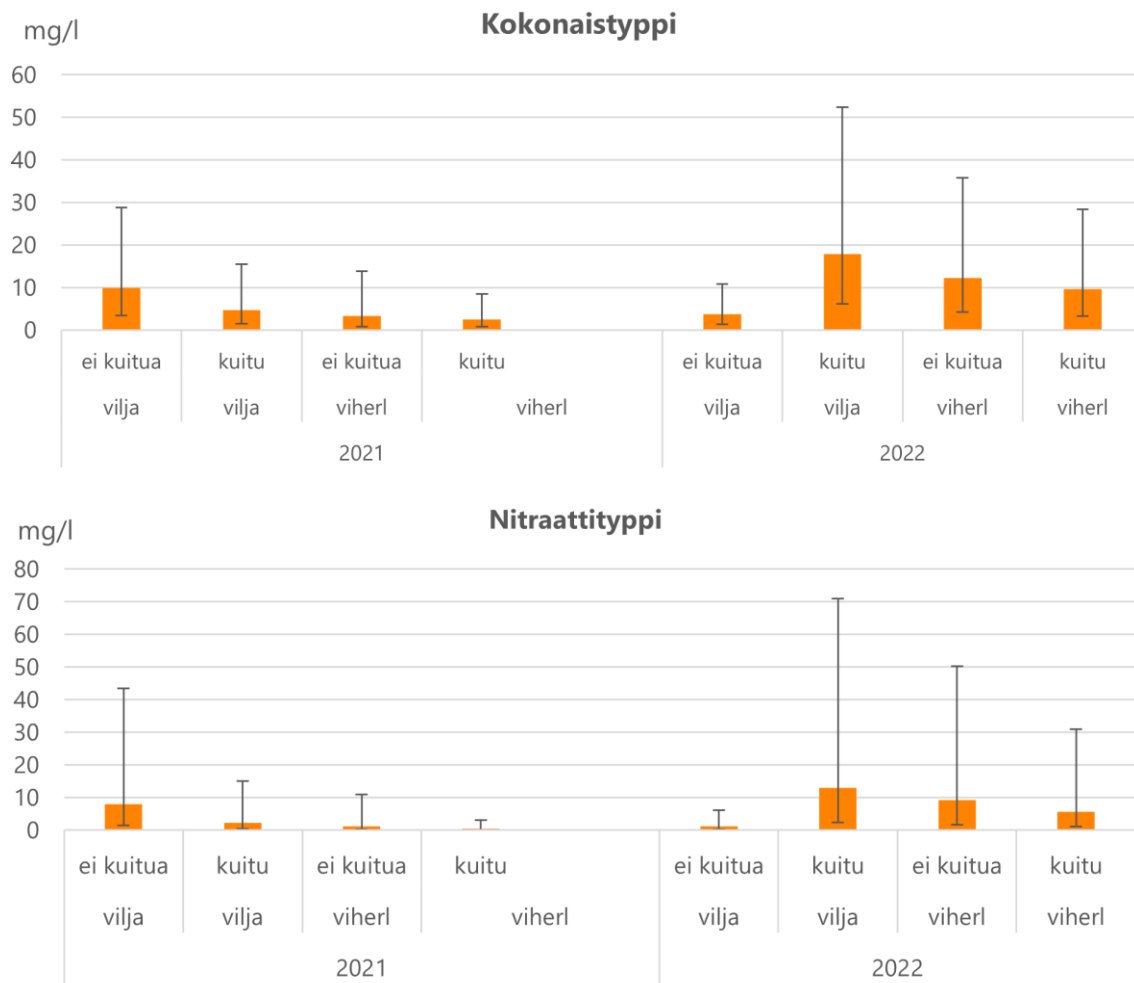
Valumavesien sähkönjohtavuus vaihteli välillä $518\text{--}766 \mu\text{S/cm}$ ja pH välillä $8,4\text{--}8,5$. Kuitukäsittely lisäsi jonkin verran hiilen kokonaismäärää ja etenkin liukoisen orgaanisen hiilen määrää valumavedessä (Kuva 17). Valumaveden kokonaistyyppipitoisuus oli välillä $3,4\text{--}17,8 \text{ mg l}^{-1}$, mutta suuren hajonnan takia käsittelyjen välillä ei ollut eroja (Kuva 18). Huuhtoutuva tyyppi oli pääosin nitraattimuotoista ja orgaanista tyyppiä, ja ammoniumtyypen osuus oli enimmillään kahden prosentin luokkaa.



Kuva 16. Kokonaisfosforin ja liukoisen fosforin pitoisuudet sadetuskokeiden valumavesissä eri vuosina ja eri maanparannuskäsittelyistä otetuissa näytteissä. Virhepalkit kuvaavat 95 % luottamusväliä.



Kuva 17. Hiilen kokonaispitoisuudet ja liukoisen orgaanisen hiilen pitoisuudet valumavesissä eri vuosina ja eri maanparannuskäsittelyistä otetuissa näytteissä. Virhepalkit kuvaavat 95 % luottamusväliä.



Kuva 18. Kokonaistypen ja nitraattitypen pitoisuudet sadetuskokeen valumavesissä eri vuosina ja eri maanparannuskäsittelyistä otetuissa näytteissä. Virhepalkit kuvaavat 95 % luottamusväliä.

3.3. Tulosten tarkastelu

3.3.1. Maanparannuskäsittelyiden maaperä- ja satovaikutukset

Kenttäkokeet aloitettiin keväällä 2021 maanparannuskuidun levityksellä. Ravinneköyhän nollakuidun kevätlevitystä ei yleensä suositella, koska hyvin hiilipitoisen aineksen alkaessa hajota maassa tyypeä sitoutuu hajottajamikrobeihin ja viljelykasvit saattavat kärsiä typen puutteesta. Näissä kokeissa typen immobilisaatiota kompensoitiin antamalla lisätyppilannoitus 30 kg/ha levityksen yhteydessä. Kuivana kasvukautena 2021 kuidun hajoaminen saattoi olla tavallista hitaampaa, eikä viljelykasvien kasvu kärsinyt merkittävästi kuitulisäyksestä, vaikka alkukesän näytteissä kuituruuduissa kasvien massa oli jonkin verran pienempi kuin verranneruuduissa.

Sen sijaan vuonna 2024, jolloin kuitukäsittelyt uusittiin Piikkiön koekentällä, kuituruuduissa kasvu oli silmin nähden heikompaa kuin verranneruuduissa. Kaikkein heikoimman sadon tuottivat kuitu+kananlanta-tuotetta saaneet koeruudut, joissa ohra oli kylvetty heti maanparannusaineen levityksen jälkeen. Syynä saattoi olla ylipäättään runsas orgaanisen aineksen lisäys juuri kylvön edellä. Pelkkää nollakuitua saaneessa käsittelyssä ohrasato oli lähes

samansuuruinen kuin verranneruuduissa, eli alkukauden kasvun hidastuminen ei näkynyt enää sadonkorjuuvaiheessa. Myöskään viherlannoitusruuduissa nollakuitulisäyksen vaikutus ei erottunut elokuussa mitatussa kuiva-ainemassan määrässä.

Maanparannusaineiden ja viherlannoituksen vaikutukset maan vedenpidätysominaisuuksiin ja hiilen määrään jäivät tehtyjen mittausten mukaan vähäisiksi, mikä vastaa aiemmissa peltokokeissa saatuja tuloksia. Laboratoriokokeissa (esim. Rätty ym. 2023) kuitulisäyksen todettiin karkealla mineraalimaalla lisänneen kasveille käyttökelpoisen veden määrää 7–33 % verrattuna käsittelemättömään maahan, mutta kenttäkokeessa ei samaa vaikutusta havaittu (Rätty ym. 2024). Ulkomaisessa tutkimuksessa on todettu, että vasta toistuvilla käsittelyillä on saatu vaikutuksia hiekkamaan vedenpidätysominaisuuksiin (Foley & Cooperband 2002).

Maanparannusaineiden mukana lisättiin maahan hiiltä 4 500–5 000 kg/ha. Laboratoriossa tehdyissä kokeissa havaittiin, että noin 30 % kuidun sisältämästä hiilestä hajosi kahden kuukauden aikana (Rätty ym. 2023). Myös pelto-oloissa hajotus lienee nopeinta alkuvaiheessa, jonka jälkeen hajoaminen jatkuu, mutta hitaammin. Pienten hiilipitoisuudessa tapahtuneiden muutosten todentaminen ei myöskään ole helppoa näytteiden välisen hajonnan vuoksi. Joki-oisten savimaalla tehdyssä kuitukokeessa ei havaittu eroja maaperän hiilipitoisuudessa neljä vuotta kuitulisäyksen jälkeen (Rasa ym. 2021), joskin tarkempi hiilifraktioiden analysointi osoitti myöhemmin, että partikkelimuotoisen orgaanisen hiilen määrä oli suurempi kuituruuduissa (Keskinen ym. 2024). Kun kuitukäsittelyt toistettiin, havaittiin myös tilastollisesti merkitsevä nousu kokonaishiilen määrässä (Keskinen ym. 2024). Näiden tulosten pohjalta voi odottaa, että toistamalla maanparannustoimia säännöllisesti viljelykierron aikana voidaan vähitellen saavuttaa positiivisia vaikutuksia maan fysikaalisiin ominaisuuksiin ja hiilivarastoihin.

Myös viherlannoituksen mukana maahan lisätään runsaasti orgaanista ainesta, joka korkeamman typpipitoisuuden takia hajoaa oletettavasti vielä nopeammin kuin kuidun sisältämä orgaaninen aines. Viherlannoituskasvuston sisältämien typpivarantojen tehokas hyödyntäminen on haaste, sillä kasvuston hajotessa vapautuva typpi on alttiina huuhtoutumiselle, mikäli se vapautuu aikana, jolloin pellolla ei ole riittävää kasvustoa keräämään talteen vapautuvaa typpeä. Tämän hankkeen kokeissa vuoden 2021 viherlannoituskasvustojen maanpäällisessä osassa oli typpeä keskimäärin 180–190 kg/ha, ja kasvukauden lopulla ja seuraavan kasvukauden alussa viherlannoituksen jäljiltä kasveille käyttökelpoisen typen määrä oli korkeampi kuin viljakasvuston jälkeen. Maaperän typen määrää mitattiin 40 cm:n syvyyteen asti, mutta typpeä lienee huuhtoutunut jonkin verran myös syvempiin kerroksiin, vaikka viherlannoituskasvuston syyskuun alun murskauksen jälkeen seoksessa kasvanut raiheinä jäi kasvuun loppusyksyn ajaksi. Viherlannoituskasvuston jälkeen koealoilla viljeltiin sipulia ja pinaattia, jotka eivät matalajuurisina kasveina pystyneet ottamaan talteen mahdollisesti syvempiin kerroksiin karanutta typpeä.

Nollakuidun ja viherlannoituskäsittelyn yhdistelmä voisi toimia hyvänä vaihtoehtona viherlannoituskasvustosta vapautuvan typen talteenotossa. Kapuisen ym. (2020) tutkimuksessa todettiin, että syksyllä levitetty kuitu vähensi tehokkaasti nitraattitypen huuhtoutumista mutta suurina annoksina saattoi vähentää seuraavana viljellyn viljan satoa. Myös tässä tutkimuksessa havaittiin pientä viitettä siitä, että viherlannoitus+kuitu-käsittelyssä kuitu olisi edistänyt typen siirtymistä seuraavalle viljelykasville, mutta vaikutus jäi varsin vähäiseksi. Parempi ajoitus nollakuidun lisäykselle voisikin olla viherlannoituksen päättämisen aika, eikä viherlannoituksen kylvöä edeltävä ajankohta, kuten meidän tutkimuksessamme.

Vaikka kuitukäsittelystä ei tässä tutkimuksessa saatu välittömiä, mitattavissa olevia hyötyjä, siitä ei ollut myöskään haittaa maan ravinnetaloudelle tai sadon muodostukselle. Koska nollakuitu lisää ainakin lyhytaikaisesti maan orgaanisen aineen määrää, se myös oletettavasti parantaa maaperäeläimien ja -mikrobien elinolosuhteita, mitä ei tässä tutkimuksessa tarkasteltu. Savimaalla maanparannuskuitujen suotuisa vaikutus mikrobilajistoon havaittiin vielä neljä vuotta käsittelyn jälkeen (Rasa ym. 2021). Lisäksi vielä julkaisemattomat tulokset viittaavat siihen, että maaperäeläimistä ainakin änkyrimatojen määrä lisääntyy, kun maanparannuskuitujen käsittely on toistettu (viisi vuotta ensimmäisestä käsittelykerrasta).

Maanparannusaineiden käyttöä tukevaa tutkimusta vihannesmailla tulisi jatkaa ja syventää. Intensiivisesti viljeltyjen vihannesmaiden kohdalla orgaanisten maanparannusaineiden pitkäaikaisella ja säännöllisellä käytöllä voisi olla suotuisia vaikutuksia myös moniin muihin maaperän terveyttä edistäviin tekijöihin, joita tässä kokeessa ei tarkasteltu. Näistä esimerkkeinä mainittakoon kasvinuojeluaineiden jäämien hajoaminen ja huuhtoutuminen sekä vaikutukset maaperämikrobien ja -eläinten diversiteettiin. Lisäksi käytännön tasolla tulisi selvittää parhaat käytännöt integroida sekä maanparannusaineiden että orgaanisten kierrätyslannoitevalmisteiden käyttö erilaisissa vihannesviljelyn olosuhteissa, esimerkiksi eri satokasveilla ja maala-jeilla.

3.3.2. Vaikutukset ravinnekuormitukseen

Ravinteiden huuhtoutumista mitattiin vain Räpin koekentältä otetuista maanäytteistä, joissa savespitoisuus oli noin 20 % ja fosforiluku ja sähkönjohtavuus korkeita. Tässä tilanteessa valtaosa sadetuskokeissa mitatusta huuhtoumasta oli leville välittömästi käyttökelpoisessa muodossa olevaa liukoista fosforia. Valumavedet olivat kirkkaita ja niiden kiintoainespitoisuus oli pieni. Melko vähäinen savespitoisuus osaltaan alentaa maaperän herkkyyttä eroosiolle. Voimaperäisen lannoitushistorian vuoksi maan ja siten myös valumaveden sähkönjohtavuus oli korkea, mikä edesauttaa maaperän saveshiukkasten yhteenliittymistä ja ehkäisee edelleen eroosiota (Uusitalo ym. 2012). Maan korkea fosforiluku pitää yllä korkeata maaveden fosforipitoisuutta tasapainoreaktioiden mukaisesti. Maan fosforivarannot yhdessä vallitsevan korkean pH:n kanssa auttavat ylläpitämään satokasvien fosforin saantia, mutta toisaalta sadetapahtumien yhteydessä maasta vapautuu runsaasti liukoista fosforia vesistöihin.

Viherlannoitus näyttäisi entisestään lisäävän liukoisen reaktiivisen fosforin pitoisuutta valumavedessä, erityisesti silloin, kun maa oli lisäksi käsitelty nollakuidulla. Mekanismi voi mahdollisesti liittyä nollakuidun taipumukseen nostaa maan pH:ta (Rasa ym. 2021) tai hetkellisesti korkeaan orgaanisen aineen määrään (viherlannoitusmassa ja nollakuitu).

Maanparannusaineiden vaikutus typen huuhtoutumiseen ei myöskään ollut tilastollisesti merkitsevä. Ensimmäisenä koevuotena huuhtoumat pysyivät maltillisena, mutta toisena vuotena pinaatin ollessa satokasvina tuloksissa oli suurta hajontaa. Erityisesti kuituruuduissa mitattiin yksittäisiä korkeita kokonais- ja nitraattitypen pitoisuuksia, mikä mahdollisesti viittaa siihen, että tyypeä vapautuu edelleen maanparannusaineilla käsitellystä maasta. Toisaalta pinaattikasvusto oli hyvin epätasainen, mikä voi osaltaan selittää suurta vaihtelua huuhtoutuvan typen määrässä.

Maanparannuskuidun käyttö ei tuottanut kyseisellä koemaalla samanlaisia selkeitä vesiensuojeluhyötyjä kuin savimailla on havaittu fosforikuormituksen hallinnassa. Savimailla vesiensuojeluhyödyt saavutetaan pääosin eroosioaineksen mukana kulkeutuvan partikkelimuotoisen

fosforikuormituksen vähentyessä maanparannuskuitujen levityksen jälkeen (Rasa ym. 2021). Tässä hankkeessa tutkitulla maalla pitäisi pystyä leikkaamaan liukoisen reaktiivisen fosforin aiheuttamaa kuormitusta eroosion vähentämisen sijaan. Peltolohkon ominaisuudet kuitenkin tekevät kyseenalaiseksi muiden yleisesti käytettävien maanparannusaineiden, kuten kipsi ja rakennekalkki, hyödyntämisen. Ennestään korkea maan pH ja verrattain alhainen savespitoisuus eivät puolla rakennekalkin käyttöä. Kipsin vesiensuojeluvaikutus taas perustuu pääosin savimaan sähkönjohtavuuden nostamiseen, jolloin maahiukkasten liittyminen toisiinsa tehostuu ja eroosio vähenee. Kipsin on todettu myös vähentävän liukoisen reaktiivisen fosforin kuormitusta maan sähkönjohtavuuden nousun seurauksena. On kuitenkin epävarmaa, miten tämä mekanismi toimisi jo valmiiksi korkean sähkönjohtavuuden omaavalla karkeahkolla maalajilla. Peltomaan johtoluvun ollessa jo valmiiksi korkea ei maan suolavahvuuden lisääminen kipsikäsitteilyllä ole enää suositeltavaa.

4. Maanparannusmenetelmien hyödyntämisen edellytykset ja haasteet

Vihannesviljelyssä olevien peltomaiden kasvukunnon hoidosta keskusteltiin hankkeen järjestämässä viljelijätyöpajassa maaliskuussa 2023 Säskylässä. Työpajaan osallistui 28 henkilöä, joista noin puolet oli viljelijöitä. Muut osallistujat toimivat kasvisalan yrityksissä tai muissa asiantuntija-/tutkimustehtävissä. Keskustelun kooste on esitetty alla.

Viljelymaan kunto nousuun vihannestiloilla

Vihannesmaidan viljavuuden parantaminen oli teemana VIIVI- ja MURU-hankkeiden järjestämässä työpajassa Säskylässä 9.3.2023. Ryhmäkeskusteluissa vaihdettiin kokemuksia jo käytetyistä maanparannustoimista ja katsottiin tulevaisuuteen: millaiset ratkaisut kiinnostavat, mikä kannustaa kokeilemaan ja mitä tietoa tarvitaan lisää.

Maanparannustoimia käytössä monipuolisesti

Osallistujilla oli monipuolista kokemusta maanparannuksesta. Pellon **peruskunnostus** – salaojitus ja kalkitus – tulisi olla tehtynä ajoissa ennen vihannesten viljelyä, mikä voi olla joskus haastavaa vuokralohkoilla. Peltojen ravinnetilan peruskunnostusta biotiitin avulla oli käyttänyt muutama viljelijä. Peltojen pinnan tasauksella on pyritty tasoittamaan kasvuoloja peltolohkon sisällä.

Maanmuokkauksessa osa viljelijöistä oli siirtynyt suorakylvöön viljavuosina, ja myös (syys)kyntöä oli pyritty välttämään, joskin keskustelua herätti, mitkä ovat kevennetyn muokkauksen pitkän aikavälin vaikutukset ja viljelytoimien oikea ajoitus. Maahan syntyneitä tiivistymiä oli useampi viljelijä pyrkinyt poistamaan jankkuroimalla, jonka koettiin parantaneen pellon vesitaloutta. Haasteeksi todettiin sopivan jankkurointiajankohdan löytäminen ja kivien nouseminen pintakerrokseen.

Viljelykiertojen monipuolistaminen sekä maanparannus- ja kerääjäkasvien viljely olivat yleisesti kokeiltuja ja hyviksi havaittuja maanparannuksen keinoja. Nurmet tuovat viljelykiertoon paljon hyviä vaikutuksia, mutta vaikutukset kasvitauteihin ja tuholaisiin (sepän toukat) mietityttävät. Ylipäänsä todettiin, että viljelykierto on välttämätöntä, mutta joillain tiloilla kasvilajivalikoiman monipuolistaminen voi olla hankalaa ja seurauksena voi olla se, että erikoiskasveille käytössä oleva viljelyala pienenee.

Koko kesän **saneeraus- tai maanparannuskasveja** (mm. retikat, valkosinappi) oli kokeilut useampi viljelijä. Näiden kasvien avulla pyritään hallitsemaan tauteja ja rikkakasveja ja lisäämään monimuotoisuutta. Syväjuurisot kasvit rikkovat myös maahan syntyneitä tiivistymiä. Haasteina on löytää viljelykiertoon sopivia lajeja, ja myös satokasvien viljelyalan pieneneminen voi pohdituttaa.

Satokasvin jälkeen kylvettävistä tai viljan aluskasvina käytettävistä **kerääjäkasveista** oli monella kokemuksia. Vihannesten jälkeen oli kokeiltu mm. italianraiheinää, kevätviljoja ja hunajakukkaa, joiden koettiin kuohkeuttavan maata, lisäävän pieneliöstötoimintaa ja pitävän rikkakasveja ja ravinnehuuhtoumia kurissa. Toisaalta pitkän kasvuajan vihannesten jälkeen kerääjäkasvien kylvö on mahdotonta. Syksyn märkyys voi haitata kerääjäkasvien kylvöä tai kerääjäkasvuston lopetusta. Jos kerääjäkasvien käytölle haetaan tukea, tukiehdot ovat melko kankeat. Myös muita syyskylvöisiä kasveja (ruis, syysohra) on hyödynnetty vihannesten jälkeen.

Muutama viljelijä oli kokeillut **kipsin** käyttöä pellolla, mutta sen vaikutuksista ei ollut vielä paljon kokemusta eikä se sovi järvalueille. Myös **rakennekalkki** kiinnostaa maanparannusaineena, mutta kokemukset siitäkin ovat vielä vähäisiä. Jotkut viljelijät olivat käyttäneet **sienimö- ja kasvijätekompostia**. **Karjanlannan** käyttö on vähäistä, sillä sitä ei ole tärkeimmillä vihannesviljelyalueilla helposti saatavissa ja sen käyttöön vihannestuotannossa liittyy rajoituksia peltojen usein korkeiden fosforilukujen ja sopimustuotannon ehtojen myötä.

Maanparannuksesta apua sään ääri-ilmiöihin varautumiseen

Näiden monipuolisten, jo kokeiltujen vaihtoehtojen lisäksi pohdittiin tulevia ratkaisuja vihannesmaiden kasvukunnon hoitoon. **Maanparannusaineet**, etenkin puupohjaiset materiaalit, kiinnostavat, mutta niiden pitkäaikaisvaikutuksia pohditaan. Samoin mietitään hyötyjä suhteessa mahdollisiin haittoihin. Tietoa maanparannusaineiden vaikutuksista ja käytötavoista tarvitaan siis lisää.

Ylipäänsä keskustelijat totesivat, että **vihannespeltojen syyshoitoon** sadonkorjuun jälkeen on syytä panostaa entistä enemmän. On myös tärkeää varautua sään ääri-ilmiöihin, mm. parantaa veden varastointimahdollisuuksia niin viljelymaassa kuin kastelualtaiden ym. avulla. Maanparannukseen kannustaakin tarve varautua sään ääri-ilmiöihin, jotka aiheuttavat ongelmia erityisesti huonorakenteisilla pelloilla. Tärkeää olisi rakenneongelmien ennalta ehkäisy. Maanparannukseen voidaan havahtua myös tilanteessa, jossa on jo todettu satotasojen laskeneen. Rikkakasvien hallitsemiseksi (mm. saunakukka) on myös tarpeen tehdä muutoksia viljelykäytännöissä.

Tietoa tarvitaan lisää

Uutta tietoa viljelyn suunnittelun tueksi tarvitaan mm. **hyvistä kasviyhdistelmistä ja viljelykierroista**: mitkä kasvit sopivat mihinkin tilanteeseen. **Kasvipeitteisyyden lisääminen** on vihannestuotannossa usein haastavaa, ja uusia keinoja tähän tarvitaan. Myös Suomessa uusien kasvilajien ja -lajikkeiden ominaisuuksista ja viljelystä kaivataan lisää tietoa. Vihannesviljelyssä on käytössä paljon vuokramaita – mitkä keinot olisivat parhaita vuokralohkojen kasvukunnon varmistamiseen?

Työpajan osallistujat olivat yleisesti sitä mieltä, että vihannestiloilla on tarpeen panostaa entistä enemmän viljelymaan hoitoon, etenkin sääolojen muuttuessa yhä haastavammiksi. Keinoja tarvitaan monipuolisesti pellon peruskunnostuksesta maanparannusaineiden käyttöön asti. Yleinen tuntuma oli se, **että viljelykiertojen monipuolistaminen, kasvipeitteisyyden lisääminen ja maanparannus- ja kerääjäkasvien käyttö** kiinnostivat osallistujia eniten. Näistä kuitenkin tarvitaan lisää kokemusta ja tutkimustietoa. **Maanparannusaineiden** käyttöä rajoittaa usein mm. peltojen korkea fosforiluku, ja toisaalta käyttökokemuksia ja tutkimustietoa erilaisista maanparannusaineista on vielä vähän.

4.1. Orgaanisten maanparannusaineiden hyödyntämismahdollisuudet vihannesviljelyssä

Vihannesviljelyssä maanparannusaineiden käyttö on toistaiseksi ollut maltillista ja kotimaista kirjallisuutta aiheesta on melko vähän. Kansainvälisessä tutkimuksessa tyypillisiä maanparannusaineita vihannesviljelykokeissa ovat olleet erilaiset kompostit, lannat ja biohiili (Norris & Congreves 2018). Yleisimmät tavoitteet näiden maanparannusaineiden käytössä ovat maan orgaanisen aineksen ja mikrobien monimuotoisuuden lisääminen sekä sadonkorjuun jälkeen tapahtuvien typen hävikkien vähentäminen. Tutkimuskoosteessa (Norris & Congreves 2018) todettiin, että edellä mainittuja maanparannusaineita käytettäessä maaperän fysikaaliset ominaisuudet kehittyivät paremmiksi ja ravinteiden pitoisuudet nousivat tyypeä lukuun ottamatta.

Käytännön vihannesviljelyssä ollaan kuitenkin tilanteessa, jossa hyvin kalkituille, ravinnerikaille vihannesmaille soveltuvia maanparannusaineita on saatavilla rajallisesti, sillä lainsäädännön lisäksi myös vihannesten ostajaryitykset asettavat omia rajoitteitaan käytettävissä oleville materiaaleille. Orgaanisista maanparannusaineista ravinneriköyhä nollakuitu soveltuu erityisen hyvin vihannesmaille hygieenisyytensä ja alhaisen ravinnepitoisuuden takia, sillä sen käytölle ei ole varsinaisia rajoituksia. Nollakuitua on käytetty jonkin verran maanparannusaineena puutarhatiloilla erityisesti sen syntypaikkojen läheisyydessä, sillä isojen levitysmääriä tarvittaessa kuljetuskustannukset ovat suuret ja vähentävät kiinnostusta tuotteen käyttöön etenkin, kun selviä hyötyjä ei ole toistaiseksi pystytty osoittamaan. Kapuisen ym. (2020) raportin mukaan myös kuitulietteilte potentiaalisia käyttökohteita (etenkin typen huuhtoutumisen vähentämiseksi) olisi selvästi enemmän kuin kuituja syntyy, joten käytön yleistyessä rajallinen saatavuus voi olla haasteena. Ympäristökorvauksen toimenpiteestä "Kiertotalouden edistäminen" on mahdollista tällä hetkellä saada tukea 37 €/ha orgaanisten lannoitteiden tai orgaanisten maanparannusaineiden sekä kuivalannan lisäämiseen peltolohkelle. Hehtaarituen merkitys vihannestuotannossa lienee kuitenkin vähäinen, ja muut tekijät ratkaisevat orgaanisen aineksen mahdollisen lisäämisen lohkolle.

4.2. Viherlannoitus

Toisin kuin maanparannusaineiden käyttöä, viherlannoituksen hyödyntämistä ei rajoita materiaalien saatavuus eikä sijainti. Viherlannoituskasvien kokeilun voi aloittaa halutessaan pienillä aloilla, jolloin kustannukset eivätkä riskit muodostu suuriksi. Viherlannoitusta on myös mahdollista hyödyntää lähes kaikilla peltolohkoilla, ja erilaisia kasvilajivaihtoehtoja on runsaasti.

Viherlannoituksen hyödyntämiseen ei kuitenkaan ole perinteitä eikä vahvaa osaamista luomutuotannon ulkopuolella. Vaikka monia viljelijöitä kiinnostaa erilaiset menetelmät maan kasvukunnon parantamiseen, uusien kasvien ottamiseen viljelykiertoon liittyy pohdintaa mm. kasvintuhojariskien ja sadon laadun näkökulmista. Tiloilla pyritään usein myös pitämään vihannesten ja muiden pääkasvien viljelyalat ennallaan esimerkiksi vakiintuneiden myyntikanavien ja määrien säilyttämiseksi, jolloin peltoalan kohdentaminen viherlannoituskäyttöön voi tuntua taloudellisesti vaikealta ratkaisulta. Siirtyminen viherlannoituksen käyttöön vaatiikin osittain ajattelutavan muutosta: on nähtävä sen tuottamat mahdolliset hyödyt suhteessa kustannuksiin. Toisaalta viljelykiertojen suunnittelu ei ole useinkaan mahdollista pitkäjänteisesti, sillä iso osa vihannesviljelymaista on erimittaisilla sopimuksilla hankittua vuokrapeltoa.

Viljelyn ympäristökestävyyden näkökulmasta viherlannoitus tuo hyötyjä mm. ravinnetalou-
teen, erityisesti typensitojakasveja käytettäessä, edistää monimuotoisuutta ja varsinkin sään-
nöllisesti käytettynä parantaa maaperän laatua. Muuttuvan ilmaston myötä on kuitenkin tar-
peen kiinnittää entistä enemmän huomiota myös siihen, että viherlannoituskasvuston sisältä-
mät ravinteet tulevat mahdollisimman tehokkaasti seuraavien viljelykasvien käyttöön eikä
kasvustoja lopetettaessa aiheuteta ravinnekuormitusta vesistöihin eikä aiheuteta merkittävää
typen kaasumaisten päästöjen riskiä. Näiden haasteiden ratkaisemiseen tarvitaan lisää tutkit-
tua tietoa pohjoisista viljelyoloistamme, sillä kasvukauden pituus ja talvikauden olosuhteet
ovat edelleen selvästi erilaiset kuin eteläisemmissä maissa. Vihannesviljelyssä olevien lajien
runsas määrä ja kasvilajien erot mm. ravinnetarpeen ja sen ajoittumisen sekä juuristosyvyyden
suhteen aiheuttavat myös haasteita viherlannoituksen optimoinnin suhteen.

5. Johtopäätökset

Tämän hankkeen keskeisimmät tulokset ovat:

1. Yhden vuoden maanparannuskäsittely (kuitu tai viherlannoitus) ei vaikuttanut merkittävästi peltomaan vedenpidätyskykyyn tai hiilipitoisuuteen. Maanparannustoimia on tarpeen tehdä viljelykierrossa säännöllisesti mitattavien vaikutusten saamiseksi. Maanparannusaineiden pitkäaikaisvaikutusten todentaminen vaatii toistuvia käsittelyitä ja pidempiaikaista seurantaa ja tutkimusta.
2. Nollakuidun lisäys maahan ei sadetuskokeen tulosten perusteella vähentänyt fosforikuormitusta tutkitusta hieuemaasta, jonka fosforiluku ja sähkönjohtavuus olivat korkeita. Sen sijaan viherlannoitus lisäsi liukoisen fosforin määrää valumavedessä. Typen huuhtoumaan kuitulisäyksellä ei havaittu selkeitä vaikutuksia. Erityisesti fosforikuormituksen vähentämisen keskeisenä lähtökohtana tulisi olla maan fosforiluvun alentaminen. Tarve vihannestuotannon ravinnekuormituksen hallintaan korostuu ilmastonmuutoksen edetessä.
3. Yksivuotinen viherlannoitusseos lisäsi peltomaan liukoisen typen määrää kasvukauden lopulla ja seuraavana kasvukautena, mikä edisti viherlannoitusta seuranneen vihanniskasvin typen saantia. Vaikutus ei näkynyt enää tätä seuranneen kasvin typpitaloudessa.
4. Typpilannoitustasojen vertailu kenttäkokeiden vihannesvuosina antoi viitteitä siitä, että lannoitetypen käytön tehokkuutta olisi mahdollista parantaa sadontuoton kärsimättä. Myös typen lähteitä on tarpeen monipuolistaa, ja viherlannoituksen entistä laajempi hyödyntäminen on tähän yksi mahdollisuus.
5. Viljelijöitä kannustaa maanparannustoimiin erityisesti tarve varautua sään ääri-ilmiöihin ja parantaa satovarmuutta. Maanparannusaineiden käyttöä rajoittaa vihannestuotantoon soveltuvien tuotteiden rajallinen valikoima, saatavuus, vähäinen tieto niiden käytön pitkäaikaisvaikutuksista sekä hyödyistä suhteessa mahdollisiin haittoihin. Kysynnän lisääntyessä on toivottavaa, että vihannesviljelyyn soveltuvien maanparannusaineiden tarjonta monipuolistuu ja kasvaa.
6. Maanparannustoimien laajamittainen käyttöönotto vihannestuotannon arvoketjussa vaatii sekä tutkimustietoa vaikuttavimpien menetelmien valitsemiseksi ja todentamiseksi että käytännön toimijoiden kokempohjaista osaamisen vahvistamista. Lisää tietoa tarvitaan mm. toimien vaikutuksesta maaperäeliöihin, mikrobeihin ja kasvintuhojiin sekä vaikutuksista kasvinsuojeluaineiden hajoamiseen/sitoutumiseen maassa.

Viitteet

- Foley, B.J. & Cooperband, L.R. 2002. Paper mill residuals and compost effects on soil carbon and physical properties. *Journal of Environmental Quality* 31: 2086–2095. <https://doi.org/10.2134/jeq2002.2086>
- Haas, G., Brand, H. & Puente de la Vega, M. 2007. Nitrogen from hairy vetch (*Vicia villosa* Roth) as winter green manure for white cabbage in organic horticulture. *Biological Agriculture & Horticulture* 25: 37–53. <https://doi.org/10.1080/01448765.2007.10823207>
- Kapuniin, P., Korpinen, R., Palojärvi, A. & Niemeläinen, O. 2020. Kuitulietettä peltoon ravinteiden välittäjäksi syksystä seuraavalle kasvukaudelle (Peltokuitu): Loppuraportti. 106 s. + liitteet. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202101071205>
- Keskinen, R., Nikama, J., Kostensalo, J., Rätty, M., Rasa, K. & Soenne, H. 2024. Methodological choices in size and density fractionation of soil carbon reserves – A case study on wood fiber sludge amended soils. *Heliyon* 10: e24450. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24450>
- Kivijärvi, P. & Iivonen, S. 2017. Tuoretta tietoa viherlannoitus- ja kerääjäkasvien käytöstä vihannesviljelyssä. Avomaan vihannesviljelyn maan kasvukunto teemapäivä. Varkaus, Navitas 16.3.2017. <https://www.slideshare.net/LukeFinland/tuoretta-tietoa-viherlannoitus-ja-kerjikasvien-kytst-vihannesviljelyss>
- Kivijärvi, P., Iivonen, S., Hannukkala, A. & Suojala-Ahlfors, T. 2019. Viherlannoitus ja kerääjäkasvit avomaavihannestuotannossa. Luke Tietokortti. 15 s. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201703011903>
- Kivijärvi, P. & Suojala-Ahlfors, T. 2023. Kasvipeitteisyyden lisääminen avomaavihannestuotannossa. Luke Tietokortti. 4 s. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202301245350>
- Kleemola, J. 2013. Viherlannoitusopas. TEHO Plus -hankkeen julkaisu 2/2013. 24 s. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-257-880-8>
- Känkänen, H. 2014. Viherlannoitusopas. ProAgria Keskusten liitto. 22 s. https://www.proagria.fi/uploads/archive/attachment/viherlannoitusopas_2104_kevytsuojattu_1.pdf
- Känkänen, H. 2019. Viherlannoituksen tehoa lisäävät menetelmät : VIHETERHO-hanke. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 25/2019. 31 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-745-9>
- Känkänen, H., Suokannas, A., Tiilikkala, K. & Nykänen, A. 2013. Biologinen typensidonta fossiilisen energian säästäjänä: 2. korjattu painos. MTT Raportti 76: 60 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-444-1>
- Lynge, M., Kristensen, H.L., Grevsen, K. & Sorensen, J.N. 2023. Strategies for high nitrogen production and fertilizer value of plant-based fertilizers. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 186: 105–115. <https://doi.org/10.1002/jpln.202200031>
- Ollikainen, M., Kosenius, A.-K., Punntila, E., Ala-Harja, V., Puroila, S., Iho, A. & Ekholm, P. 2020. Gypsum amendment of arable fields as a water protection measure – farmers’ experience, phosphorus reduction potential and associated costs drawn from a large scale pilot. *Agricultural and Food Science* 29: 383–394. <https://doi.org/10.23986/afsci.88902>
- Norris, C.E. & Congreves, K.A. 2018. Alternative management practices improve soil health indices in intensive vegetable cropping systems: a review. *Frontiers in Environmental Science* 6: 50. <http://dx.doi.org/10.3389/fenvs.2018.00050>

- Rajala, J. (toim.) 2006. Luonnonmukainen maatalous. Helsingin yliopiston Maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus, julkaisu no 80. ISSN 0786-8367. 494 s. [urn:nbn:fi:uerfi-202209_00023873_7](https://nbn.fi/urn:urn:nbn:fi:uerfi-202209_00023873_7)
- Rasa, K., Pennanen, T., Peltoniemi, K., Velmala, S., Fritze, H., Kaseva, J., Joona, 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>
- Räty, M., Termonen, M., Soinne, H., Nikama, J., Rasa, K., Järvinen, M., Lappalainen, R., Auvinen, H. & Keskinen, R. 2023. Improving coarse-textured mineral soils with pulp and paper mill sludges: Functional considerations at laboratory scale. *Geoderma* 438: 116617. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116617>
- Räty, M., Termonen, K., Hyvönen, J., Uusi-Kämppe, J., Järvenranta, K., Soinne, H., Nikama, J., Rasa, K., Järvinen, M., Keskinen, R. 2024. The amendment value of pulp and paper mill sludges in Finnish coarse-textured soil. Lähetetty arvioitavaksi *Geoderma Regional* -sarjaan.
- Saarinen, M., Kaljonen, M., Niemi, J., Antikainen, R., Hakala, K., Hartikainen, H., Heikkinen, J., Joensuu, K., Lehtonen, H., Mattila, T., Nisonen, S., Ketoja, E., Knuutila, M., Regina, K., Rikkonen, P., Seppälä, J. & Varho V. 2019. Ruokavaliomuutoksen vaikutukset ja muutosta tukevat politiikkayhdistelmät. RuokaMinimi-hankkeen loppuraportti. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2019: 47. 157 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-773-4>
- Stein, S., Hartung, J., Perkons, U., Möller, K. & Zikeli, S. 2023. Plant and soil N of different winter cover crops as green manure for subsequent organic white cabbage. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 127: 285-298. <https://doi.org/10.1007/s10705-023-10306-9>
- Uusitalo, R., Ylivainio, K., Hyväluoma, J., Rasa, K., Kaseva, J., Nylund, P., Pietola, L., & Turtola, E. 2012. The effects of gypsum on the transfer of phosphorus and other nutrients through clay soil monoliths. *Agricultural and Food Science*, 21(3): 260–278. <https://doi.org/10.23986/afsci.4855>
- Van der Burgt, G.J.H.M., Van der Eekeren, N.J.M., Scholberg, J.M.S. & Koopmans, C.J. 2013. Lucerne (*Medicago sativa*) or grass-clover as cut and-carry fertilizers in organic agriculture. Teoksessa: Helgadottir, A. & Hopkins, A. (toim.). The role of grasslands in a green future: Threats and perspectives in less favoured areas. Proceedings of the 17th Symposium of the European Grassland Federation, Akureyri, Iceland, 23-26 June 2013. Borgarnes, Iceland. s. 123–125.
- Vestberg, M. & Kahiluoto, H. 2018. Keräsienijuurisymbioosin merkitys maataloudessa. Teoksessa Vestberg, M. & Timonen, S. Rihman kiertämät – Kasvien ja sienten erottamaton elämä. ForssaPrint. s. 277–289.
- Willumsen, J. & Thorup-Kristensen, K. 2001. Effects of green manure crops on soil mineral nitrogen available for organic production of onion and white cabbage in two contrasting years. *Biological Agriculture & Horticulture* 18: 365–384. <https://doi.org/10.1080/01448765.2001.9754898>
- Yli-Halla, M., Taskinen, A. & Ekholm, P. Gypsum amendment influences soil and plant chemical composition temporarily. *Agricultural and Food Science* 32: 195–206. <https://doi.org/10.23986/afsci.131550>



**Löydät meidät
verkosta**

luke.fi



Luonnonvarakeskus (Luke) Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki