

KIERRÄTYSLANNOITTEIDEN VAIKUTUS HÄRKÄPAVUN (*VICIA FABA L.*) SATOON
JA SATOKOMPONENTTEIHIN UDELLAMAALLA

Kai Granqvist
Maisterin tutkielma
Maataloustieteet
Agroekologia
Helsingin yliopisto
Maataloustieteiden osasto
Kevät 2019

HELSINGIN YLIOPISTO  HELSINGFORS UNIVERSITET  UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty		Laitos/Institution– Department	
Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Maataloustieteiden osasto	
Tekijä/Författare – Author			
Granqvist Kai Martin			
Työn nimi / Arbetets titel – Title			
Kierrätyslannoitteiden vaikutus härkäpavun (<i>Vicia Faba</i> L.) satoon ja satokomponentteihin Uudellamaalla			
Oppiaine /Läroämne – Subject			
Maataloustieteet			
Työn laji/Arbetets art – Level	Aika/Datum – Month and year	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages	
Maisterintutkielma	Kevät 2019	45 s.	
Tiivistelmä/Referat – Abstract			
<p>Vesistöjen rehevöityminen on globaali ongelma, jolta Suomi ei ole säästynyt. Itämeren kohdalla ongelma on ilmeinen ja myös julkisuudessa laajasti käsitelty asia. Vesistöjen rehevöitymisen merkittäväksi syyksi tunnustetaan yleisesti maatalouden aiheuttamat ravinnepäästöt, erityisesti typpi ja fosfori. Suomi on muiden Itämeren valuma-alueen valtioiden kanssa solminut HELCOM-sopimuksen, jossa sovitaan Itämeren ravinnepäästöjä vähentävistä toimista. Eräs ravinnepäästöjen vähentämiseen pyrkivä toimenpide on ravinteiden kierrätys. Ravinteiden kierrätyksen tehostaminen on myös ollut pääministeri Juha Sipilän hallituskaudella eräs kärkihankkeiden teemoista. Tämä tutkielma on osa hallituksen <i>Kiertotalouden läpimurto - puhtaat ratkaisut käyttöön</i>-kärkihanketta ja siihen kuuluvaa HYKERRYYS – Hyvän Sadon kierrätyslannoitus- hanketta.</p> <p>Ravinteiden kierrätyksen tehostaminen mahdollistaa uudistuotettujen kasvinravinteiden käytön vähentämisen, joka siten vähentää myös lannoitustuotteiden valmistuksesta aiheutuvia ympäristöongelmia kuten ravinne- ja hiilidioksidipäästöjä. Kierrätyslannoitteiden suosio on kuitenkin perinteisesti tuotettuihin lannoitteisiin nähden vähäistä, sillä esimerkiksi typpilannoitteiden osalta kierrätyslannoitteilla on kotimaassa vain noin 1,75 % markkinaosuus mikäli karjanlantaa ei huomioida. Tämän tutkielman tarkoitus on lisätä tietoutta kierrätyslannoitteista ja niiden soveltuvuudesta korvata perinteisiä väkilannoitteita kotimaisessa kontekstissa.</p> <p>Tutkimuksessa selvitettiin osittain satunnaistettujen täydellisten lohkojen järjestelyn avulla, miten kierrätyslannoitteet vertautuvat nollakontrolliin ja tavanomaiseen väkilannoitteeseen a) sadon, b) satokomponenttien ja c) taloudellisuuden suhteen härkäpavulla (<i>Vicia faba</i> cv. 'Louhi'). Kokeessa oli mukana neljä eri kierrätyslannoitevalmistajaa kahdeksalla eri lannoitekäsittelyllä, yksi väkilannoitevalmiste, kolme eri typpiporrasta sekä nollakontrolli, jota ei lannoitettu lainkaan. Lannoitevalmisteiden lannoitesisällöt erosivat toisistaan siten, että kierrätyslannoitteiden ravinnepitoisuudet olivat pääosin väkilannoiteverrokkiin nähden vähäisempiä. Kierrätyslannoitekäsittelyjen hehtaarialannoitusmäärät vaihtelivat 50 kg/ha ja 6560 kg/ha välillä, kun viljelysuositusten mukaista tavanomaista mineraalilannoitetta käytettiin 364 kg/ha. Koekenttänä toimi peltolohko Haltialan tilalla Helsingissä. Koe järjestettiin hankkeen käynnistymistä seuraavana vuonna, kasvukaudella 2017. Koevuotta edelsi tavanomaisesti lannoitettu ohra. Viljelystä näyteaineistosta otettiin oleelliset tunnusluvut sekä kuivapainot satokomponentteja sekä sadon määrittämistä varten. Tämän jälkeen aineistosta saatu numeerinen data käsiteltiin Microsoft Excel-taulukkokirjalla sekä IBM SPSS-tilastointiohjelmalla käyttäen merkitseväksi rajana $p=0.05$. Taloudellinen kannattavuus laskettiin vertailemalla kierrätyslannoitekäsittelyjen ja nollakontrollin hankinta- sekä levityskustannusten rajakustannuksia saatuaan sadonlisään nähden.</p> <p>Härkäpapaaineistosta ei löytynyt merkitseviä eroja eri käsittelyjen kesken sadon tai satokomponenttien suhteen. Edes nollakontrolli ei erottunut aineistosta tilastollisesti merkitsevästi. Koska merkitseviä eroja ei löytynyt, ei taloudellisen mielekkyyden vertailu sinänsä ole tarpeellista. Erojen löytymättömyys saattaa johtua esimerkiksi uuden lajikkeen ominaisuuksista tai peltolohkon aiemman viljelyn kerryttämästä ravinnepitoisuudesta maaperässä. Kokeen ulottaminen monivuotiseksi voisi tuoda eroavaisuuksia sadon tekijöihin ja on siten suositeltava jatkotutkimusehdotus.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords			
kierrätyslannoitteet, härkäpapu, <i>Vicia faba</i> , rehevöityminen, Itämeri			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited			
Maataloustieteiden laitos ja Viikin kampuskirjasto			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			
Työtä ohjasivat Juha Helenius ja Priit Tammeorg.			

HELSINGIN YLIOPISTO  HELSINGFORS UNIVERSITET  UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty		Laitos/Institution– Department	
Faculty of forestry and agriculture		Department of agriculture	
Tekijä/Författare – Author			
Kai Granqvist			
Työn nimi / Arbetets titel – Title			
The effect of recycled nutrients on the yield and yield components of Faba bean on Uusimaa, Finland			
Oppiaine /Läroämne – Subject			
Agricultural sciences			
Työn laji/Arbetets art – Level	Aika/Datum – Month and year	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages	
Masters' thesis	Spring 2019	45 p.	
Tiivistelmä/Referat – Abstract			
<p>Eutrophication of water bodies is a global problem of which Finland has had its share. Regarding Baltic Sea, the problem is apparent and a largely debated issue among the great public. The leaching of nutrients, especially nitrogen and phosphorus, from agriculture has been widely accepted as a major cause of the eutrophication. Finland and other countries from the basin of the Baltic Sea have signed the HELCOM-agreement that dictates means to reduce emissions from agriculture to the Baltic Sea. One of these actions is the recycling of nutrients. Enhancing nutrient recycling has been in the center of government attention during Prime Minister Sipiläs' season. This thesis is a part of the government's top project <i>Breakthrough of Circular Economy – introduction of clean solutions</i> and its subproject HYKERRYYS – Recycling nutrients for a good yield.</p> <p>Intensifying nutrient recycling enables a reduction in use of new chemical fertilizers for agriculture, thus decreasing the environmental issues, like nutrient leaching and greenhouse gas emissions, caused by the use and manufacture of chemical fertilizers. However, the popularity of recycled nutrients still remains low compared to chemical fertilizers: in the case of nitrogen fertilizers, recycled sources only count for 1,75 % of the total market share when manure is excluded. The purpose of this thesis is to increase the knowledge about recycled nutrients and their suitability to replace widely used chemical fertilizers in the Finnish context.</p> <p>Using a four replicate partially randomized complete block design, the study concluded how well recycled fertilizers compare to chemical fertilizers considering a) yield, b) yield components and c) economic feasibility with a novel cultivar 'Louhi' of Faba bean (<i>Vicia faba</i> cv. 'Louhi'). The study included four different recycled fertilizers manufacturers with eight different treatments, one chemical fertilizer control subject, three different nitrogen level controls per hectare (30 kg/N, 60 kg/N and 90 kg/N) and a control subject with no fertilizing at all. Recycled nutrients had generally lower nutrition contents than the chemical control. Recycled nutrients were generally applied in higher amounts than the chemical control. The study was concluded during the growing season of 2017 on a field at Haltiala, Helsinki, Finland. The faba bean was preceded by mineral fertilized barley (<i>Hordeum vulgare</i>). Faba bean was sowed 19.5.2017 and treshed 30.9.2019. Samples from the faba bean vegetation were taken from each subplot (fertilizer treatment) 28.-29.9., placed in paper bags and dried in an oven. The seeds, pods, stalks and leaves were then separated from the samples, weighted and registered. The numerical data was then handled with Microsoft Excel and IBM SPSS-statistical tools for statistical analyses with significance level $p=0,05$. The economic feasibility was measured by comparing the marginal cost of the use of the recycled fertilizers against the control with no fertilization.</p> <p>No statistical significance was found between the participants or the fertilizer treatments. Even the control with no fertilization did not emerge from the data. The cause of no statistical difference may be related to the fact that the novel cultivar is so prolific or that the site was so heavily fertilized before the study was began. Extending the study to subsequent years might reveal a statistically viable data. Notwithstanding, the study of recycled nutrients should continue in order to find a way to increase agricultural production in a sustainable manner.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords			
recycled nutrients, eutrophication, Baltic Sea, Vicia faba			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited			
Department of Agricultural Sciences and Viikki Campus Library			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			
Supervised by Juha Helenius and Prit Tammeorg.			

Sisällys

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO	5
2 KASVINRAVITSEMUKSEN TOTEUTUMINEN SUOMALAISESSA MAATALOUSTUOTANNOSSA	8
2.1 Väkilannoitteet	8
2.1.1 Epäorgaanisen typen, fosforin ja kaliumin tuotanto lannoiteteollisuudessa....	8
2.1.2 Väkilannoitteiden tuotannon ja käytön kestävyys tarkastelua.....	9
2.2 Kiertotalous ja kierrätyslannoitteet.....	11
2.2.1 Kiertotalous osana suomalaista maataloutta.....	11
2.2.2 Kierrätyslannoitteet suomalaisessa maataloudessa.....	12
2.3 Härkäpapu Suomessa	14
2.3.1 Härkäpavun viljelyn historia ja nykytilanne Suomessa	14
2.3.2 Härkäpavun satokomponentit.....	15
2.3.3 Härkäpavun kasvinravitsemukselliset ja -suojelulliset vaatimukset.....	16
3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA TUTKIMUSKYSYMYKSET	17
4 AINEISTO JA MENETELMÄT	18
4.1 Koealue ja maaperän ominaisuudet.....	18
4.2 Kokeen aikaiset sääolosuhteet.....	19
4.4 Käytetyt lannoitteet, levitystapa ja ravinne määrät.....	20
4.5 Näyteaineiston keruu ja käsittely	25
4.6 Näyteaineiston tilastollinen tarkastelu.....	27
5 TULOKSET	27
5.1 Kierrätyslannoitteiden vaikutus satoon	29
5.2. Kierrätyslannoitteiden vaikutus satokomponentteihin	31
5.3 Lannoitevalmisteiden taloudellisuus.....	34
6 TULOSTEN TARKASTELU	36
7 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	38
KIITOKSET.....	39
LÄHTEET	40
LIITE 1. Näyteaineistodata	45

1 JOHDANTO

Lannoitevalmisteilla taataan viljeltävälle satokasville sen tarvitsemat ravinteet. Lannoitevalmisteiden käyttöön liittyy kuitenkin ympäristöllisiä haasteita, sillä peltoviljelyssä käytettävät ravinteet vain harvoin päätyvät täysimääräisinä satokasvin käyttöön (Chien ym. 2009). Kasvustolle päätyvän osa saattaa esimerkiksi haihtua peltomaasta ilmakehään tai huuhtoutua pintavesiin aiheuttaen vesistöjen rehevöitymistä. Rehevöitymisellä tarkoitetaan yhteyttämistä edistävän ravinnekuorman (erityisesti typpi ja fosfori) kasvamista vesistöissä (Schindler 2006). Yhdistyneiden kansakuntien elintarvike- ja maatalousjärjestö FAO:n tutkijoiden mukaan maatalouden päästöistä johtuva rehevöityminen on suurin sisävesien ja rannikkoalueiden vesimassojen laadun pilaaja (Mateo-Sagasta ym. 2017, Mateo-Sagasta & Burke 2010). Rehevöitymistä pidetään haitallisena ilmiönä, sillä se muun muassa saattaa johtaa muutoksiin vesiekosysteemeissä, lisätä vesistöjen syanobakteeri- eli sinileväkantoja ja siten heikentää vesistöjen virkistyskäyttöä (Menesguen & Lacroix 2017). Ilmiö on maailmanlaajuinen, mutta kesän 2018 massiiviset sinileväkukinnot Itämerellä herättivät myös Suomessa laajaa huomiota mediassa. Itämeri on kuitenkin juuri se vesimassa, jonka rehevöitymiseen Suomessa tehtävillä toimenpiteillä voidaan vaikuttaa suoraan (Uusitalo ym. 2007).

Itämeri on pinta-alallaan 420 000 km² maailman suurimpiin kuuluvia murtovesialtaita. Sen valuma-alueella asuu noin 85 miljoonaa ihmistä (HELMCOM 2018). Suuruudestaan huolimatta Itämeri on keskimäärin vain 30 metriä syvä, joten sen vesimäärä on pinta-alaan nähden pieni. Itämeren yhdistää Atlantin valtameriin vain kapea Kattegatin salmi Tanskan ja Ruotsin välissä. Salmesta johtuen Itämeren vesimassalla kestää noin 30 vuotta vaihtua kokonaan. Vesimäärän vähäisyys ja veden vaihtumisen pitkä sykli yhdessä tekevät Itämerestä ekologisesti erityisen haavoittuvasen ulkoiselle eli ihmisen aiheuttamalle ravinnepainelle (HELCOM 2018). Itämeren ekologinen tila onkin huono, ja erityisesti maataloudesta johtuvia ravinnepäästöjä pidetään merkittävänä ulkosyntyisenä myötävaikuttajana Itämeren huonoon ekologiseen tilaan (Uusitalo ym. 2007, HELCOM 2018).

Itämeren tilan parantamiseksi on kuitenkin perustettu kansainvälisiä yhteistyöelimiä, kuten Itämeren alueen merellisen ympäristön suojelua koskeva yleissopimus HELCOM (engl. Helsinki Commission). Tähän liittyen myös pääministeri Juha Sipilän ensimmäisellä

hallituskaudella toteutetaan hallitusohjelmassa *Kiertotalouden läpimurto - puhtaat ratkaisut käyttöön*-kärkihanketta, jonka yhtenä tavoitteena on Itämeren tilan parantaminen kiertotalouden keinoin (Valtioneuvosto 2018). Osana tätä kärkihanketta ja pääosin Euroopan Unionin maatalouden kehittämisen maaseuturahastosta saatavin varoin toimii myös Hyvän sadon kierrätyslannoitus eli HYKERRYYS-hanke, jonka osa tämä pro gradu-tutkielma on. HYKERRYYS-hanke on yksi monista ravinteiden kierrätykseen liittyvistä hankkeista osana hallituksen kärkihankeohjelmaa.

Kiertotalouden määritelmänä yksinkertaisimmillaan voidaan pitää laajasti käytettyä, Ellen McArthur Foundationin (2018) määritelmää talousjärjestelmästä, jossa jätettä ei ole, vaan kaikelle aineelle on kierrätyksen kautta yhä uudelleen käyttöä. Kiertotalous ei sinänsä ole kovinkaan uusi asia kotimaisessa maataloudessa. Esimerkiksi nautaeläinten suosio maataloudessa lisääntyi jo pronssikaudella peltoviljelyyn siirryttäessä niiden tuottaman lannan vuoksi, jonka arvo maanparannusaineena kasvoi yhä suuremmaksi (Rasila ym. 2003). 1900-luvun puolivälissä tapahtuneen vihreän vallankumouksen johdosta kemiallisten lannoitteiden käyttö kuitenkin lisääntyi merkittävästi (Foley ym. 2011, Garg & Geentajali 2006). Juuri tällöin alkoi Itämeren ihmistoiminnasta peräisin olevan ravinnekuorman kasvu, saavuttaen huippunsa 1980-luvun lopulla (Uusitalo ym. 2007). Vaikka teolliset lannoitteet ovat mahdollistaneet maatalouden korkeamman tuotannon tason (Liu ym. 2015), on niiden käyttö johtanut useisiin ympäristöongelmiin ympäri maailman (Foley ym. 2011). Lannoitevalmisteiden tuotantoa käsitellään tarkemmin kappaleessa 2.

Maataloussektorilla on Suomessa tapahtunut paitsi voimakasta tilakoon kasvua, myös maantieteellistä eriytymistä kasvintuotannon ja eläintuotannon välillä (Voutilainen ym. 2012). Eriytymisen johdosta eläintiloilla syntyvän lannan määrä voi olla paikallinen ongelma, kun taas kasvintuotantotiloilla kärsitään maan orgaanisen aineksen ja maaperän ravinnepitoisuuksien vähenemisestä, jossa eläintilojen tuottamalla lannalla olisi myönteisiä vaikutuksia (Ylivainio ym. 2014). Maatalouden tuotantosuuntien eriytyminen siis vaikeuttaa perinteisen kierrätyslannoitteen, lannan, hyötykäyttöä. Lannan kuljettaminen pitkiä matkoja ei tällä hetkellä ole taloudellisesti kannattavaa (Ylivainio ym. 2014), joten ratkaisua ravinteiden kierrätyksen lisäämiseksi on syytä etsiä muista sivuvirroista niin kotitalouksista, teollisuudesta kuin elintarviketeollisuudestakin.

Kiertotalouden mallin mukaisesti tuotetuista lannoitevalmisteista voidaan käyttää termiä kierrätyslannoitteet. Kierrätyslannoitteet ovat osa kokonaisuutta, jossa pyritään luomaan kestävämpiä menetelmiä maataloustuotantoon. Kierrätyslannoitteita tuotetaan muun muassa niistä elintarvike- ja metsätalouden sivuvirroista, joita on perinteisesti pidetty joko jätteinä tai korkeintaan osittain kierrätettävänä. Myös esimerkiksi ihmisvirtsan ja ulosteen hyödyntämistä peltolannoitteena on tutkittu (mm. BIOUREA-hanke, Pradhan ym. 2010, Venkiteshwaran ym. 2018). Kierrätyslannoitteiden osuus maatalouden lannoitekäytöstä on silti edelleen pieni, noin 7 % mikäli karjanlantaa ei huomioida (Marttinen ym. 2017), joten kierrätyslannoitteita koskevan julkisen tutkimustiedon ja positiivisten kokemusten lisääminen niiden käytöstä on tärkeää kierrätyslannoitteiden suosion ja siten maatalouden tuotantopanoksiin liittyvän kestävyuden lisäämiseksi.

HYKERRYYS-hankkeessa tutkitaan kierrätyslannoitteiden toimivuutta ja käyttökelpoisuutta sekä vertaillaan tuloksia tavanomaisiin lannoitevalmisteisiin. Hanke koostuu eri kierrätyslannoitekäsitteilyjen tutkimuksesta eri peltoviljelykasveilla, kuten ohralla, rukiilla ja härkäpavulla. Tähän tutkimukseen otettiin tarkkailtavaksi härkäpapu, jolla on ainakin 1400 vuotinen historia maanviljelyssä Suomessa (Stoddard ym. 2009). Henkilökohtaisesti härkäpavusta kiintoisan tutkimuksen kohteen tekee sen huimasti lisääntynyt kysyntä kotimaan markkinoilla muun muassa uusien kasviproteiiniinvalmisteiden tuotannon ja rehuomavaraisuustavoitteen myötä. Pääministeri Sipilän ensimmäisen hallituksen visio Suomesta ravinteiden kierrätyksen mallimaana kuitenkin edellyttää perusteellista ymmärrystä kiertotaloudesta ja kierrätysravinteiden hyödyllisyydestä sekä taloudellisen kannattavuuden hahmottamista juuri kotimaisessa kontekstissa. Tämä tutkielma pyrkii lisäämään juuri näihin teemoihin liittyvää ymmärrystä.

2 KASVINRAVITSEMUKSEN TOTEUTUMINEN SUOMALAISESSA MAATALOUSTUOTANNOSSA

2.1 Väkilannoitteet

Lannoitteella tarkoitetaan "aineita ja valmisteita, jotka on tarkoitettu edistämään kasvien kasvua tai parantamaan sadon laatua ja joiden vaikutus perustuu kasvinravinteisiin" (lannoitevalmistelaki 539/2006). Lannoitealan toimintaa ohjaa Suomessa lannoitevalmistelaki 539/2006 sekä EU:n lannoiteasetus. Lannoitteeksi hyväksyttävän tuotteen on lain mukaan oltava tasalaatuinen, turvallinen ja käyttötarkoitukseensa sopiva. Laki ei tarkemmin määrää lannoitteen valmistusprosessia, kunhan lannoite täyttää muut laissa ja asetuksissa edellytetyt vaatimukset esimerkiksi laadun, käytön ja varastointinsa suhteen.

Lannoitteet ja lannoitevalmisteet sisältävät pääasiassa merkittävimpinä pidettyjä makroravinteina toimivia aineita: typpeä (N), fosforia (P) ja kaliumia (K). Makroravinteisiin lasketaan toisaalta kuuluvaksi myös kalsium (Ca), magnesium (Mg) ja rikki (S) (Maathuis 2009). Mikroravinteiksi luetaan boori (B), kupari (Cu), rauta (Fe), mangaani (Mn), molybdeeni (Mo) ja sinkki (Zn) (Fageria ym. 2002). Makroravinteet erottuvat mikroravinteista määränsä perusteella: makroravinteiden tarve kasveilla on mikroravinteisiin nähden 10-100-kertainen (White & Brown 2010), mutta kaikki luetellut aineet ovat kasvin kannalta välttämättömiä.

Useat lannoitevalmistajat kuvaavat tuotteensa kasvinravitsemuksellisia ominaisuuksia tärkeimpinä pidettyjen typen, fosforin ja kaliumin prosentuaalisella pitoisuudella valmisteessa eli NPK-luvulla. Yleensä lannoitevalmisteet kuitenkin sisältävät myös muita makro- ja mikroravinteita. Epäorgaaniset lannoitteet eli niin kutsutut väkilannoitteet eivät saa sisältää eläin- tai kasviperäisiä orgaanisia ravinteita (Maa- ja metsätalousministeriö 2011), joten ne tuotetaan uudisvalmisteina joko kaivannaisina (fosfori ja kalium) tai kemiallisten prosessien (typpi) kautta.

2.1.1 Epäorgaanisen typen, fosforin ja kaliumin tuotanto lannoiteteollisuudessa

Maataloudessa käytettävien epäorgaanisten typpilannoitteiden osalta tuotanto tapahtuu pääosin ilmakehän typestä Fritz Haberin ja Curt Boschin vuonna 1909 kehittämällä niin

kutsutulla Haber-Bosch–menetelmällä (Jenkinson 2001). Haber-Bosch–menetelmä perustuu lähinnä metaania sisältävän maakaasun hajottamiseen höyryreformointiprosessissa. Höyryreformointiprosessi vaatii runsaasti energiaa ja on metaanista johtuen jo sellaisenaan hyvin hiilivaltainen, joten Haber-Bosch–menetelmä tuottaa nykyisessä mittakaavassaan ilmakehään valtavia määriä kasvihuonekaasuna toimivaa hiilidioksidia (Licht ym. 2014).

Fosfori on uusiutumaton luonnonvara, jota louhitaan fosforimalmista (Cordell ym. 2009). Nykyisten arvioiden mukaan kaupallistettavissa olevat fosforivarat tulevat ehtymään 50–100 vuoden kuluessa. Cordellin ym. (2009) mukaan fosforiesiintymien keskittyminen lähinnä Kiinan, Marokon ja Yhdysvaltojen maaperälle altistaa fosforin hinnan rajuille vaihteluille arvaamattoman poliittisen ilmapiirin vuoksi. Kiina on jo kotimaiseen kysyntään vastatakseen alkanut säännöstellä fosforin vientiä. Näistä syistä voidaan odottaa kaivannaisen fosfaattilannoitteen hinnassa nousua tulevina vuosikymmeninä, vaikka fosfaatin suhteen välitöntä pulaa ei ole nähtävissä (US Geological Survey 2018).

Kalium tuotetaan fosforin tapaan kaivannaisena (Prakash & Verma 2016, Manning 2010). Prakashin ja Verman (2016) mukaan kaliumin tuotannosta ei tällä hetkellä aiheudu merkityksellisiä ympäristö- tai terveysriskejä, joskin Manningin (2010) mukaan kaliumravinteiden raaka-aineiden hinta on viime aikoina ollut kasvussa, mikä aiheuttanee muutoksia myös maataloustuottajien lannoitekustannuksissa.

2.1.2 Väkilannoitteiden tuotannon ja käytön kestävyuden tarkastelua

Suomi tavoittelee merkittäviä kansallisia päästövähennyksiä Pariisin ilmastopimuksen mukaisesti vuoteen 2050 mennessä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017). Yhtenä osana Työ- ja elinkeinoministeriön (2017) julkaisemaa kansallista ilmasto- ja energiastrategiaa on fossiilisten polttoaineiden vähentäminen. Haber-Bosch–menetelmällä tuotettu typpilannoitetonni tuottaa noin puolitoista tonnia hiilidioksidipäästöjä (Bicer ym. 2016). Voidaan siis perustellusti todeta, ettei Haber-Bosch–menetelmään perustuva typpilannoitteen tuotanto ole kansallisen energia- ja ilmastostrategian hengen mukaista, ja on haasteellinen Valtioneuvoston hiilineutraaliustavoitteen kannalta. Kasvihuonekaasupäästöjä tarkastellessa erityisesti typpilannoitteen tuotannon suorat hiilidioksidipäästöt tulee ottaa huomioon maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisyrityksissä jo pikaisella aikataululla.

Fosfori- sekä kaliumlannoitteiden valmistuksessa käytetyt fosfaatti- ja kaliummalmit kaivetaan maaperästä niiden tuotannolle omistetuilla kaivoksilla, eikä niiden tuotannosta siten synny Haber-Bosch–menetelmän kaltaisia suoria kasvihuonekaasupäästöjä (UNEP 2001), joskin kaivosteollisuudessa käytettävien koneiden ja traktoreiden sekä malmin rahtaamisen merkitykset päästölähteinä on huomioitava. Kaivannaisten mineraalilannoitteiden tuotantoon liittyy kaivosten läheiseen ympäristöön liittyviä haasteita, kuten pinta- ja pohjavesien saastumista sekä muutoksia paikallisissa vesiresurssissa (UNEP 2001). Suomessa ympäristöongelmiensa vuoksi julkisuudessa on ollut esimerkiksi Soklin fosfaattikaivos.

Edellä mainittujen kasvinravinteiden tuotannon aiheuttamien haasteiden lisäksi niiden käyttöön liittyy lukuisia ongelmia (Foley ym. 2011). Foley ym. (2011) mukaan maatalouden tehostaminen väkilannoitteiden avulla on aiheuttanut maailmanlaajuisesti vesistöjen pilaantumista, lisääntynyttä fossiilisen polttoaineen käyttöä sekä maatalouden päästöjen laajaa leviämistä. Itämeren rehevöitymisen katsotaan yleisesti johtuvan lähinnä maatalouden päästöistä (Uusitalo ym. 2007), eritoten tpestä ja fosforista johtuen. Uusitalon ym. (2007) mukaan Suomen ravinnepäästöjen rajoittamisella ei ole suurta merkitystä koko Itämeren tilaan, mutta Suomen kansallisten vesialueiden tila riippuu pitkälti Suomen omista päästöistä ja toimenpiteistä päästöjen vähentämiseksi. Ravinteiden tuotannosta syntyvät kasvihuonekaasupäästöt ovat kuitenkin globaaleja, eikä niiden vaikutusta voi rajata yhdelle maantieteelliselle alueelle. Ongelman torjumisessa korostuu siis myös globaali vastuu.

Kasvi kuitenkin tarvitsee ravinteensa sille käyttökelpoisessa, liukoisessa muodossa (Karkanis ym. 2018), joten kasvinravitseminen on turvattava myös jatkossa. Kasvin kannalta ei kuitenkaan ole merkitystä, mistä lähteestä lannoitevalmiste on tuotettu. Kierrätysmahdollisuuksia on siten etsittävä aiemmin hyödyntämättömistä sivuvirroista, taloudelliset edellytykset huomioiden. Kasvinravinteina toimivien aineiden kierrätyksen lisääminen on myös aiemmin tässä tutkielmassa esiteltyjen kiertotalouteen liittyvien kärkihankkeiden keskiössä. Yhtenä merkittävänä keinona tavoitteeseen pääsemiseksi esitetään kierrätyslannoitteiden käyttö (Valtioneuvosto 2018), jonka tarkoituksena on paitsi vähentää uudistuotannon tarvetta, ja siitä syntyviä suoria sekä epäsuoria ympäristöongelmia, myös lisätä maatalouden omavaraisuutta ja kustannustehokkuutta tilakohtaisen ja paikallisen kierrätyksen lisääntyessä.

2.2 Kiertotalous ja kierrätyslannoitteet

2.2.1 Kiertotalous osana suomalaista maataloutta

Foleyn ym. (2011) mukaan viimeisen 50 vuoden aikana esimerkiksi kemiallisen typpilannoitteen käyttö on lisääntynyt globaalisti jopa 800 %. Tuotantopanosten, kuten väkilannoitteiden, käytön dramaattinen kasvu on johtanut moniin paikallisiin sekä globaaleihin ympäristöongelmiin, ja myös Foley ym. (2011) esittää kierrätyksen lisäämistä ravinteiden aiheuttaman saastumisen vähentämiseksi. Kierrätystä ja kiertotaloutta maatalouden toimintaympäristössä onkin tutkittu runsaasti (mm. Jun & Xiang 2011, Vollaro ym. 2016). Perinteistä kierrätyslannoitetta, karjanlanta, on käytetty suomalaisessa maanviljelyssä maanparannusaineena jo pronssikaudelta (Rasila ym. 2003), ja sitä käytetään edelleen yleisesti: noin kaksi kolmasosaa maataloudessa käytettävästä fosforista ja noin kolmasosa typestä on peräisin karjanlannasta (Marttinen ym. 2017).

Karjanlannan käyttö sellaisenaan saattaa kuitenkin olla paikoin hankalaa tai kannattamatonta, mikäli tilalla tai muilla lähialueiden tiloilla ei ole karjanlanta tuottavaa kotieläintuotantoa. Suomessa tuotetaan vuosittain noin 85 miljoonaa kiloa naudanlihaa ja tästä 35 miljoonaa kiloa eli yli 40 % tuotetaan Etelä-Pohjanmaan, Pohjanmaan ja Pohjois-Pohjanmaan maakunnissa (Luonnonvarakeskuksen tilastotietokanta 2017). Kotieläintuotanto on siis Suomessa voimakkaan keskittyntä maantieteellisesti. Tämä johtaa tilanteeseen, jossa vahvoilla maidon ja naudanlihan tuotantoalueilla on ylimäärin tarjontaa karjanlannasta sekä alueita, jossa sitä ei ole hyödynnettäväksi lainkaan (Ylivainio ym. 2014).

Maatalouden keskittyminen johtuu mittakaavaedusta (Duffy 2009) sekä suurta maatilakokoa suosivasta maataloustukijärjestelmästä, mutta näiden tarkastelu ulottuu tämän tutkielman rajauksen ulkopuolelle. Maataloudessa on nykyisen järjestelmän vallitessa etsittävä kierrätyslähteitä myös eläintuotannon ulkopuolelta, jotta kierrätystä voidaan lisätä lähempänä sen tarvetta. Tällä hetkellä maa- ja metsätalouden ravinteet kiertävät lannan lisäksi pääosin ylijäämänurmien, puhdistamo- ja metsäteollisuuslietteiden, biojätteen sekä elintarviketeollisuuden sivuvirtojen muodossa (Marttinen ym. 2017).

Kasvintuotannon ylijäämänurmia ei taloudellisista syistä tällä hetkellä juuri prosessoida kierrätyslannoitteiksi, vaan ne jätetään pelloille joko sellaisenaan tai kompostoinnin jälkeen (Marttinen ym. 2017). Ihmisperäisen puhdistamolietteen käytöstä on tehty jokseenkin lupaavia tutkimuksia (mm. Fjäder 2016, Mihelcic ym. 2011, Pradhan ym. 2007) sekä hankkeita (mm. BIOUREA-hanke), mutta puhdistamolietteestä valmistettujen lannoitevalmisteiden maatalouskäytöstä kotimaassa ei ole juuri tilastoitua tietoa (Marttinen ym. 2017). Biojäte mädätetään biokaasulaitoksissa, jonka jälkeen komposti käytetään joko maanrakennuksessa tai mullan raaka-aineena (HSY 2018). Elintarviketeollisuuden sivuvirrat hyödynnetään melko hyvin, ja noin kaksi kolmasosaa hyödynnetään joko suoraan maataloudessa tai päätyvät rehukäyttöön (Marttinen ym. 2017). Metsäteollisuuden lietteet pääsääntöisesti joko kompostoidaan tai poltetaan, lietteistä päätyy lannoitekäyttöön noin 14 % (Marttinen ym. 2017). Jo olemassa olevissa kierrätyslannoitelähteissä on siis runsaasti tehostamisen varaa. Tässä tutkielmassa käytetyt lannoitteet esitellään tarkemmin kappaleessa 4.3, mutta yleisesti markkinoilla olevia valmisteita käsitellään seuraavassa kappaleessa.

2.2.2 Kierrätyslannoitteet suomalaisessa maataloudessa

Kierrätyslannoitteilla ei ole lainsäädännön lisäksi erityisvaatimuksia tai erottavia tekijöitä muista lannoitteista, joten kierrätyslannoitteista ei kerätä omaa valmistajaluetteloaan. Kierrätyslannoitteiden valmistajissa on myös tavanomaisten, epäorgaanisten lannoitevalmisteiden tuottajia. Kierrätyslannoitteiden markkinaosuus koko lannoitemarkkinasta on kuitenkin pieni (taulukko 1). Varsinaisista kierrätyslannoitevalmisteista, karjanlanta pois lukien, käytetään typen osalta 1,75 % ja fosforin osalta 5,26 % kattamaan maatalouden kokonaiskäyttöä.

Taulukko 1. Lannoitevalmisteiden käyttömäärät Suomessa vuonna 2016. Luvut tonnia vuodessa. Marttisen ym. (2017) grafiikasta muokattu taulukko.

Lannoitevalmisteen alkuperä	Typpi	Fosfori
Epäorgaaniset lannoitteet	148 000	11 300
Orgaaniset lannoitteet	80 000	21 000
Karjanlanta	76 000	19 300
Kierrätysravinteita sisältävät lannoitevalmisteet	4 000	1 700
	Yhteensä, t/v	32 300
	Kierrätyslannoitteiden osuus ilman karjanlantaa, %	5,26

Useiden eri kierrätyslannoitelähteiden on katsottu asiallisesti käsiteltyinä soveltuvan maatalouteen lannoitteiksi paitsi käyttökelpoisuutensa (Kivelä ym. 2015, Singh & Agrawal 2008), myös hygieenisen laatunsa puolesta, vaikka haitallisia orgaanisia yhdisteitä päätyy kierrätyslannoitteisiin niin lannan, puhdistamolietteiden, biojätteen kuin elintarviketeollisuudenkin sivuvirroista (Marttinen ym. 2017). Tietyt viljanostajat ovat tästä huolimatta kieltäytyneet vastaanottamasta puhdistamolietteistä valmistetuilla kierrätyslannoitteilla viljeltyä viljaa, juuri elintarviketurvallisuuteen vedoten. Perusteettomat pelot elintarviketeollisuuden puolelta kierrätyslannoitteisiin liittyen saattavat siis hidastaa kierrätyslannoitteiden laajempaa käyttöönottoa, mutta myös kierrätyslannoitteiden käyttökelpoisuuteen, kuten ravinteiden liukoisuuteen, kohdistuu kritiikkiä.

Kierrätyslannoitteiden käyttöön liittyy samanlaisia haasteita kuin muihin orgaanista alkuperää oleviin lannoitteisiin, kuten karjanlantaan, yleensä: ravinteiden käyttökelpoisuus eli liukoisuus ei välttämättä toteudu kasveille otollisimpaan ajankohtaan kasvukaudella ja lannoite-erissä saattaa olla sisällöllisiä poikkeamia saman tuotteen sisällä (Riiko 2018). Erityisesti typen vapautumiseen lannoitevalmisteesta vaikuttaa hiili/typpi-suhde (C:N). Mikäli hiiltä on valmisteessa liikaa eli C:N-suhde on liian korkea (>25), typpi ei mineralisoidu tehokkaasti liukoiseen muotoon (Palojärvi ym. 2002), joten valmisteen lannoitevaikutus jää typen osalta vähäiseksi. Orgaanisen hiilen tuottamaa hyötyä maaperälle ei tule väheksyä, mutta lannoitevalmistajien on välttämätöntä pyrkiä tuottamaan kierrätyslannoitteita, joiden hiili/typpi-suhde on valmisteelle tarkoituksenmukainen. Seppäsen ym. (2018) mukaan biokaasulaitosten tuottaman mädätysjäännöksen märkyys voi myös tehdä kierrätyslannoitteen käytöstä epätaloudellista, mikäli valmistetta pitää kuljettaa, levittää tai varastoida suuria määriä. Kierrätyslannoitteiden jatkojalostusta toteutetaan nykyisellään kuitenkin vain vähän

(Seppänen ym. 2018). Kierrätyslannoitteiden käyttökelpoisuutta voidaan kuitenkin yrittää parantaa monipuolistamalla lannoitevalmistetta yhdistämällä siihen myös muita tuotteita, kuten monet tässä tutkielmassa käsitellyt kierrätyslannoitevalmistajat ovat tehneet.

2.3 Härkäpapu Suomessa

2.3.1 Härkäpavun viljelyn historia ja nykytilanne Suomessa

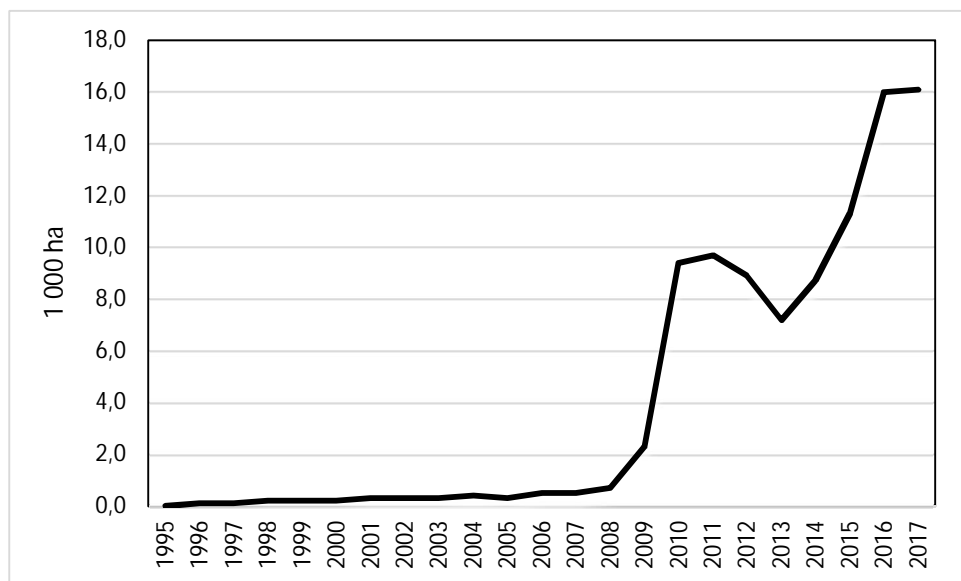
Härkäpapu (*Vicia faba* L.) on viileän ilmaston palkoviljakasvi, jota käytetään rehuksi, ihmisravinnoksi ja typensitojakasvina (Flores ym. 2013). Typensidonta tapahtuu symbioottisessa suhteessa typensitojamikrobi *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* kanssa. Biologisessa typensidonnassa maaperämikrobit sitovat ilmakehän typpeä kasveille käyttökelpoiseen muotoon, ja saavat kasvilta energiaa omaan aineenvaihduntaansa (Postgate 1982). Tämän ansiosta härkäpavun typpilannoitus ei ole välttämätöntä (Karkanis ym. 2018). Palkokasvien biologinen typensidonta on oleellinen osa nykyaikaista maataloutta esimerkiksi luomutuotannossa (Nissinen 2003). Palkokasvien lannoitevaikutusta typen osalta arvellaan vastaavan jopa 30-80 väkilannoitekiloa hehtaarilla (Zahran 1999).

Härkäpavun alkuperämaaksi on useita ehdotuksia, mutta Lähi-itää ja Kiinaa pidetään todennäköisimpinä (Karkanis ym. 2018, Tanno & Willcox 2006). Näissä se kuuluu kiinteästi myös paikallisiin ruokakulttuureihin, muun muassa falafel-pyöryköiden muodossa. Suomessa härkäpapua on viljelty ainakin jo vuoden 600 j.Kr. tienoilla Laitilan ja Hattulan seuduilla (Stoddard ym. 2009). Härkäpapua on viljelty seoskasvustona Suomessa kauran kanssa jo ainakin 1800-luvun alusta (Stoddard ym. 2009) ja härkäpavun seosviljely viljojen, rypsin ja juurikkaiden kanssa on nykyisinkin yleisin tuotantomuoto Pohjois-Euroopassa, erityisesti tilanteissa, joissa seosviljelystä saatu sato on tarkoitus käyttää tilalla (Jensen ym. 2010).

Kotieläintiloilla härkäpavun suosio perustuu paitsi biologisen typensidonnan arvoon, myös sen korkeaan valkuaispitoisuuteen eläinten – lähinnä yksimahaisten – ruokinnassa (Jensen ym. 2010), sillä kuivapainosta jopa 30 % on valkuaista (Li-juan ym. 1993). Globaalisti palkokasvien viljely, soijapapua (*Glycine max* L.) lukuun ottamatta, on kuitenkin vähentynyt viime vuosikymmeninä (Jensen ym. 2010). Palkokasvien laajempi käyttö kuitenkin vähentäisi väkilannoitetypen tarvetta ja siten myös maatalouden

kasvihuonekaasupäästöjä. Härkäpavun suosio ja siten viljelyala Suomessa on kuitenkin viime vuosina kasvanut voimakkaasti (kuva 1). Härkäpavun viljely keskittyy nykyisin pääosin Varsinais-Suomen, Uudenmaan sekä Hämeen maakuntiin (Luonnonvarakeskuksen Satotilasto 2017), jotka vastaavat 12 300 hehtaaria eli yli 75 % koko Suomen 16 100 puidusta hehtaaria. Varsinais-Suomen, Uudenmaan sekä Hämeen maakunnissa härkäpavusta saatu hehtaarisato oli 1950–2330 kg/ha (Luonnonvarakeskuksen Satotilasto 2017).

Kuva 1. Härkäpavun viljelypinta-alan kehitys Suomessa vuodesta 1995 vuoteen 2017 (Luonnonvarakeskuksen Satotilasto-tietokannasta muokattu grafiikka).



Härkäpavun suosiota viljelykasvina selittää paitsi arvo typensitojakasvina, myös lisääntynyt kysyntä kotimaiseksi valkuaisrehuksi (Laine 2017, Suomen Rehu 2017) sekä parantuneet viljelytukehdot (Laine 2017). Uusien markkinoille tulleiden kasviproteiinivalmisteiden (esim. Härkis©) suosiota kuluttajamarkkinoilla ei myöskään tule väheksyä, vaikkakin niiden osuus härkäpavun käytöstä lienee toistaiseksi vähäistä.

2.3.2 Härkäpavun satokomponentit

Viljelykasvin sadonmuodostus voidaan jakaa satokomponentteihin, joiden avulla voidaan tarkastella sadonmuodostusta eri osatekijöissä. Härkäpavun satokomponentit ovat kasvuston tiheys (kasveja pinta-alalla), palkoja tekevien hankojen määrä per kasvi, palkojen määrä per kasvi, siementen määrä per palko ja siemenen keskipaino (López-Bellido ym. 2005). Satokomponentit siis ikään kuin kuvaavat sadon muodostumista ajan

funktiossa dynaamisesti; tiheä kylvö tuottaa paljon kasviyksilöitä pinta-alalle, mutta liian tiheä kylvö voi laskea palkojen määrää kasviyksilössä. Satokomponenttien tutkimus on usein kasvinjalostajien mielenkiinnon kohde, sillä sadon määrää voidaan yrittää kasvattaa esimerkiksi jalostamalla kasveja tuottamaan enemmän palkoja tai suurempia siemeniä (Piepho 1995). Piephon (1995) mukaan satokomponenteilla on myös kyky kompensoida toisiaan. Lopéz-Bellido ym. (2005) esittää tutkimusten keskinäisen vertailun kannalta tärkeimmiksi satokomponenteiksi siemeniä per palko ja siementen keskipaino, sillä nämä kuvaavat parhaiten kokeen olosuhteita, eivätkä ole erityisen herkkiä ihmisen aiheuttamille muutoksille kokeen teknisessä toteutuksessa, kuten kylvötiheydelle. Tässä tutkielmassa käytetään satokomponentteina kasvien määrää pinta-alalla, palkojen määrää kasvissa, siementen määrää palossa ja siemenen keskipainoa.

2.3.3 Härkäpavun kasvinravitsemukselliset ja -suojelulliset vaatimukset

Härkäpapu menestyy yleisesti ottaen parhaiten neutraaleilla ja alkalisilla (pH >7) mailla, joten maan liiallinen happamuus tulee tarvittaessa korjata (Redden ym. 2018). Härkäpavun typpilannoitus ei ole välttämätöntä (Karkanis ym. 2018), mutta kasvi hyötyy erityisesti kivennäismailla niin kutsutusta 15-30 kg/ha starttitypestä eli kylvön yhteydessä annettavasta alkupanoksesta (Vilja-alan yhteistyöryhmä 2018). Liiallinen typpilannoitus paitsi haittaa kasvin omaa typensidontaa, saattaa myös johtaa tuleentumisen viivästymiseen (Vilja-alan yhteistyöryhmä 2018).

Härkäpavun muuhun lannoitukseen vaikuttaa erityisesti maan multavuus ja ravinnetila (Vilja-alan yhteistyöryhmä 2018). Fosforin ja kaliumin kohdalla voidaan käyttää yleisiä viljasuosituksia (Vilja-alan yhteistyöryhmä 2018), mutta erityisesti fosforin, sinkin, koboltin ja molybdeenin riittävään saatavuuteen tulee kiinnittää huomiota typensidonnan varmistamiseksi (Redden ym. 2018). Boorin osalta kyse on lähinnä härkäpavun sietokyvystä (Redden ym. 2018, Barbafieri & Giorgetti 2016, Choi ym. 2006), sillä korkeat booripitoisuudet heikentävät kasvua, ja jo 2,4 mg/kg pitoisuus pintamaassa voi aiheuttaa satomenetyksiä (Choi ym. 2006). Boorilannoitukseksi suositellaankin lehtilannoitusta vähäisillä määrillä, 25-50 ppm liuoksella (Shaaban ym. 2006). Mangaanin osalta tilanne on boorin kanssa samankaltainen, sillä liika mangaani on härkäpavulle myrkyllistä (Arya & Roy 2011), mutta lehtilannoituksen hyödyllisyydestä ei ole varmuutta (El-Baz ym. 1990).

Kasvintuhoojista härkäpapua vaivaavat erityisesti sienitaudit, kuten *Sclerotinia sclerotiorum*-sienen aiheuttama pahkahome sekä *Botrytis fabae*-sienen aiheuttama suklaalaikku (Redden ym. 2018). Reddenin ym. (2018) mukaan kasvinjalostuksella pyritään jalostamaan tautipainetta paremmin sietäviä lajikkeita, mutta toistaiseksi kasvinsuojelu tavanomaisessa tuotannossa tapahtuu pääasiallisesti erilaisten fungisiditorjunta-aineiden avulla.

3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

Tutkimuksen tarkoituksena on vertailla kierrätyslannoitteita kaupalliseen väkilannoitteeseen ja typpilannoitusportaisiin kotimaisessa härkäpavun viljelyssä. Tavoitteena tässä tutkielmassa on tarkastella kierrätyslannoitteiden soveltuvuutta korvata tavanomaisesti tuotettuja uudislannoitteita, sillä kemiallisten lannoitteiden käyttöön on odotettavissa rajoituksia. Kierrätyslannoitteiden suoriutumista nimenomaisesti härkäpavulla ei myöskään ole juuri tutkittu, joten tällä tutkielmalla on tarkoitus lisätä tietoa myös kierrätyslannoitteiden käyttöpotentiaalista biologiseen typensidontaan kykenevällä kasvilla.

Tutkimuskysymyksinä on;

- 1) eroaako kasvustosta mitattu sato (sato/ha) kierrätyslannoite-, typpitaso- tai väkilannoitekäsittelyissä? Tutkielmassa verrataan nollakontrollia sekä väkilannoitetta, nollakontrollia sekä typpiportaita, kunkin toimijan valmisteita keskenään, mikäli niitä oli useampia, sekä kunkin valmistajan parasta valmistetta väkilannoitteeseen.
- 2) eroavatko kasvustosta mitatut satokomponentit kierrätyslannoite-, typpilannoitustaso- tai väkilannoitekäsittelyissä? Tutkielmassa verrataan eri lannoitekäsittelyjä samalla tavalla kuin ensimmäisessä tutkimuskysymyksessä.
- 3) onko kierrätyslannoitteiden käyttö väkilannoitteisiin nähden taloudellisesti kannattavaa? Tutkielmassa selvitetään kunkin lannoitevalmisteen lannoite- sekä levityskustannus ja verrataan rajakustannuksia nollakontrollin keskiarvoiseen satoon.

4 AINEISTO JA MENETELMÄT

4.1 Koealue ja maaperän ominaisuudet

Tässä tutkielmassa käytetty aineisto viljeltiin Hykerrys-hankkeelle myönnetyllä koekentällä Helsingin Haltialassa (60.272° N, 24.953° E, 12 metriä merenpinnan yläpuolella). Pellon maalaji oli runsasmultainen hietasavi. Ennen Hykerrystä Haltialan pelloilta toteutettiin hyvin viljapitoista viljelykiertoa tukemaan Haltialan tilan kotieläintuotantoa. Esikasvina kenttäkokeelle oli ohra.

Maaperän ominaisuuksien osalta Haltialan tilan pelloilta kerättiin pintamaa- ja pohjamaa-näytteitä Mikko-kairalla viikolla 26/2016. Pohjamaanäytteiksi kerättiin kaikilta neljältä härkäpukerranteelta kolme kappaletta näytteitä (yhteensä 12 näytettä) poistamalla tavallisella pistolapiolla muokkauskerros (25 cm), jonka jälkeen kairanäyte otettiin. Mikäli pohjamaakairanäytteeseen jäi pintamaata, pintamaan osa poistettiin. Näytteet muokkauskerroksesta sekoitettiin ja yhdistettiin yhdeksi pohjamaanäytteeksi. Pintamaanäytteitä kerättiin kokeen jokaiselta pääruudulta 8 kappaletta, sekoittaen näytteet yhdeksi näytteeksi kutakin pääruutua kohden. Mikäli pintamaanäytteisiin tuli pohjamaata mukaan, se poistettiin näytteestä. Pintamaanäytteitä kerättiin yhteensä 60 kappaletta. Näytteet pakattiin 200 ml vetoisiin Ahma-muovirasioihin.

Näytteistä teetettiin viljavuusanalyysi Suomen ympäristöpalvelu Oy:ssä. Ravinteiden osalta viljavuusanalyysissä tutkittiin kalsium (Ca), fosfori (P), kalium (K), magnesium (Mg), kupari (Cu), boori (B), mangaani (Mn), sinkki (Zn) ja rikki (S). Kalsium-, magnesium- ja kaliumpitoisuudet olivat viljavuusluokassa hyvä, rikkipitoisuudet tyydyttävät, fosforipitoisuudet korkeat, kupari- ja sinkkipitoisuudet hyvät, korkeat tai jopa arveluttavan korkeat, booripitoisuudet pääosin välttäviä, mutta mangaanin osalta pitoisuudet olivat välttäviä, jopa huononlaisia. Happamuus näytteissä vaihteli pH 5.7–6.8 välillä, joskin pääsääntöisesti oli noin 6 (taulukko 2). Koealueen pintamaan pH vastaa kohtalaisen hyvin myös härkäpavun vaatimusta maan happamuudesta, joten happamuuden muokkaamista kalkitsemalla ei siten toteutettu.

Taulukko 2. Viljavuusanalyysin tulokset muokattuna Markku Ylihallaan (2016) taulukosta.

Kohde	Tulosten keskiarvo	Keskiarvon viljavuusluokka	Uudenmaan keskiarvo 2011-15
pH	6,08	tydyttävä	6,1
Ca, mg/l	3243	hyvä	2451
Mg, mg/l	438	hyvä	498
K, mg/l	349	hyvä	237
P, mg/l	20,9	korkea	7,99
S, mg/l	15,4	hyvä	10,7
Cu, mg/l	24,5	arveluttavan korkea	5,4
Zn, mg/l	21,95	korkea	2,3
Mn	8,5	huononlainen	28,3
B, mg/l	0,73	välttävä	0,81

Viljavuusanalyysin perusteella maaperä oli ravinteidensa puolesta mangaania ja booria lukuun ottamatta melko rikasta, ja että Haltialan pellot vastasivat melko hyvin Uusimaalaista keskiarvoa.

4.2 Kokeen aikaiset sääolosuhteet

Koe suoritettiin 19.5.2017–30.9.2017 eli kasvu tapahtui vuoden 2017 termisen kasvukauden aikana. Kasvukausi 2017 oli pääsääntöisesti kylmempi kuin pitkäaikainen keskiarvo (taulukko 3). Kasvukauden aikaisen sademäärän osalta vuosi 2017 oli melko tavanomainen, sadesumma kasvukuukausina vuonna 2017 oli 287 mm, pitkäaikaisten keskiarvojen ollessa 293 mm. Voidaan siis todeta, ettei ainakaan sadannan tuottama vesimäärä ollut satoa rajoittava tekijä.

Taulukko 3. Kokeenaikaiset keskilämpötilat ja sademäärät Helsingissä pitkäaikaisiin keskiarvoihin nähden (Ilmatieteen laitos 2017).

	Keskilämpötila, °C		Sademäärä, mm	
	Helsinki - Kaisaniemi		Helsinki - Kaisaniemi	
	2017	1981-2010	2017	1981-2010
toukokuu	9,5	10,2	14	37
kesäkuu	13,7	14,6	81	57
heinäkuu	16	17,8	35	63
elokuu	16,2	16,3	89	80
syyskuu	12,1	11,5	68	56

Kasvukausi 2017 oli siis tavanomaista viileämpi, mutta hieman tavanomaista kuivempi erityisesti heinäkuussa. Viljelijöiden subjektiivinen kokemus kasvukaudesta oli tosin huono, ja kasvukauden viivästymisiä raportoitiin (Maaseudun Tulevaisuus 27.6.2017, Yle Uutiset 7.11.2017). Luonnonvarakeskuksen Satotilasto-palvelusta tarkastettuna härkäpavun hehtaarisato laski edellisvuodesta noin 16 %, toisaalta vehnällä hehtaarisato

nousi noin 8 % vaikka laadullisen sadon osuus laskikin. Viljellyimmällä lajilla ohralla sato jopa kasvoi paitsi määrällisesti, myös laadullisesti mallasohran osalta (Luonnonvarakeskuksen Satotilasto 2017).

4.4 Käytetyt lannoitteet, levitystapa ja ravinnemäärät

Tutkimuksessa oli neljä eri kierto-lannoitevalmistajaa lannoite-käsittelyineen sekä Helsingin yliopiston ruudut, jotka edustivat eri typpiannosteluja, väkilannoite-käsittelyä sekä nollakontrolleja (taulukko 4). Kierto-lannoitevalmistajat valittiin kokeeseen HYKERRYYS-hankkeen lähettämien avoimien sähköpostikutsuin, joista neljä toimijaa ilmoittautui kenttäkokeeseen mukaan. Hankekumppanit saivat päättää oman pääruutunsa osaruutujen eli kierto-lannoitevalmisteiden lajin, laadun sekä määrän.

Taulukko 4. Tutkimuksessa mukana olleet toimijat ja niiden valmisteet.

Toimija	Lannoite-käsittely	Lisäyspäivämäärä
Helsingin seudun		
ympäristöpalvelut HSY	Ammoniumsulfaatti	18.5.2017
Ecolan	Patenttikali + NP-liuos	18.–19.5.2017
	Seleeni-Agra + NP-liuos	18.–19.5.2017
	Agra	18.5.2017
	Seleeni-Agra	18.5.2017
Soilfood	Ravinneliete	7.6.2017
TuhalaBio	PlantPower-liuos	16.5.2017
	PlantPower-komposti + PlantPower-liuos	16.5.2017
Helsingin yliopisto	Nollaruutu (ei lann.)	-
	HeVI3	7.6.2017
	30 kg N	6.-7.6.2017
	60 kg N	6.-7.6.2017
	90 kg N	6.-7.6.2017

TuhalaBio oli mukana kokeessa kahdella tuotteella ja kahdella käsittelyllä: PlantPower-komposti ja PlantPower-liuos. Valmisteet käytettiin ruuduissa siten, että toiseen lisättiin vain PlantPower-liuosta ja toiseen liuoksen lisäksi myös PlantPower-kompostia. Lähtöaineena molemmissa valmisteissa on sama, matokomposti. TuhalaBion PlantPower-kompostivalmistetta lisättiin pintamaahan käsin ämpäreitä apuna käyttäen 40 litraa per

osaruutu 16.5.2017. PlantPower-liuos lisättiin 4 % vesilaimennoksena kastelukannun avulla TuhalaBion PlantPower-komposti + PlantPower-liuos-ruuduille niin ikään 16.5.2017. Hehtaarlannoitus PlantPower-kompostilla oli 4000 kg/ha sekä Plant-Power-liuoksella lisäksi 50 l/ha.

Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY:ltä mukana oli vain yksi tuote, sivuvirtana nikkelin jalostuksessa syntyvä ammoniumsulfaatti. HSY:n ruutujen ammoniumsulfaatti laimennettiin veteen 15 % liuokseksi ja lisättiin kastelukannuilla pintamaahan 18.5.2017. Hehtaarlannoitus ammoniumsulfaatilla oli 190 kg/ha.

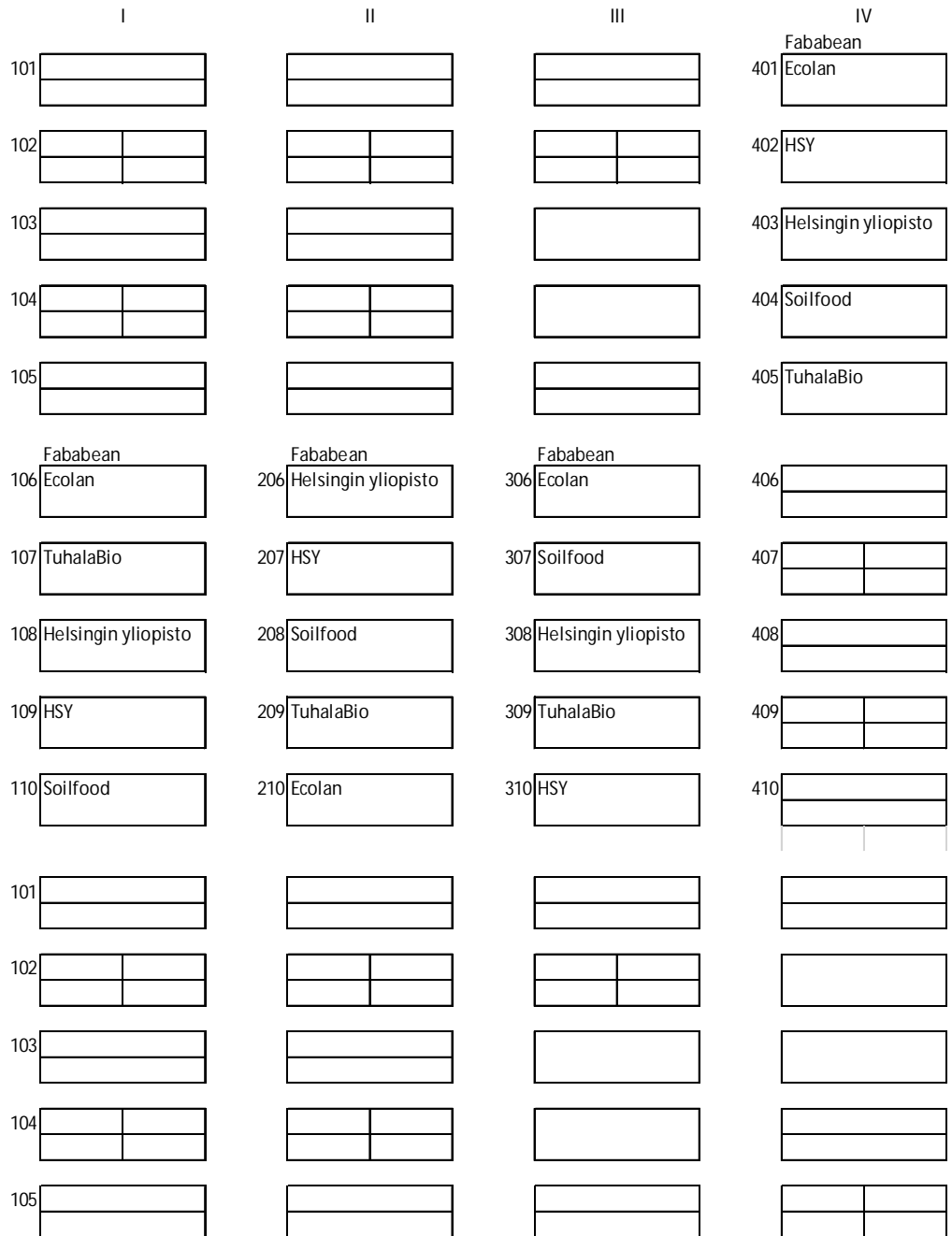
Ecolan oli mukana kokeessa kolmella valmisteella: Agra, Seleeni-Agra ja Patenttikali. Seleeni-Agralla oli kuitenkin myös toinen käsittely, jossa kasvusto käsiteltiin Seleeni-Agran lisäksi NP-mikrobivalmisteella. Ecolanin Agra-valmisteet ovat lihaluujuuho-pohjaisia. Kaikki Ecolanin ruuduilla käytetyt siemenet myös peitattiin Bactoboost-valmisteella, jonka tarkoitus on kiihdyttää kasveille edullisten maaperämikrobien toimintaa. Ecolanin valmisteet Seleeni-Agra, Agra ja Patenttikali lisättiin pintamaahan käsin ämpäreistä 18.5.2017. Ecolanin Bactoboost-peittäusaine sekä NP-liuos lisättiin pintamaahan ruuduille juuri ennen kylvöä 19.5.2017 vesiliuoksena (5 ml Bactoboost ja 5 ml NP-liuos / 5 l vettä eli 2,5 kg/ha) kastelukannulla. Hehtaarlannoitus Agralla oli 300 kg, Seleeni-Agralla 315 kg ja Patenttikalilla 240 kg/ha.

Soilfoodilta oli mukana yksi valmiste, biokaasumädätejäännös Kaakon ravinneliete. Ravinneliete lisättiin 7.6.2017 pintamaahan kastelukannuin. Ravinnelietteen hehtaarlannoitus oli 6560 kg/ha.

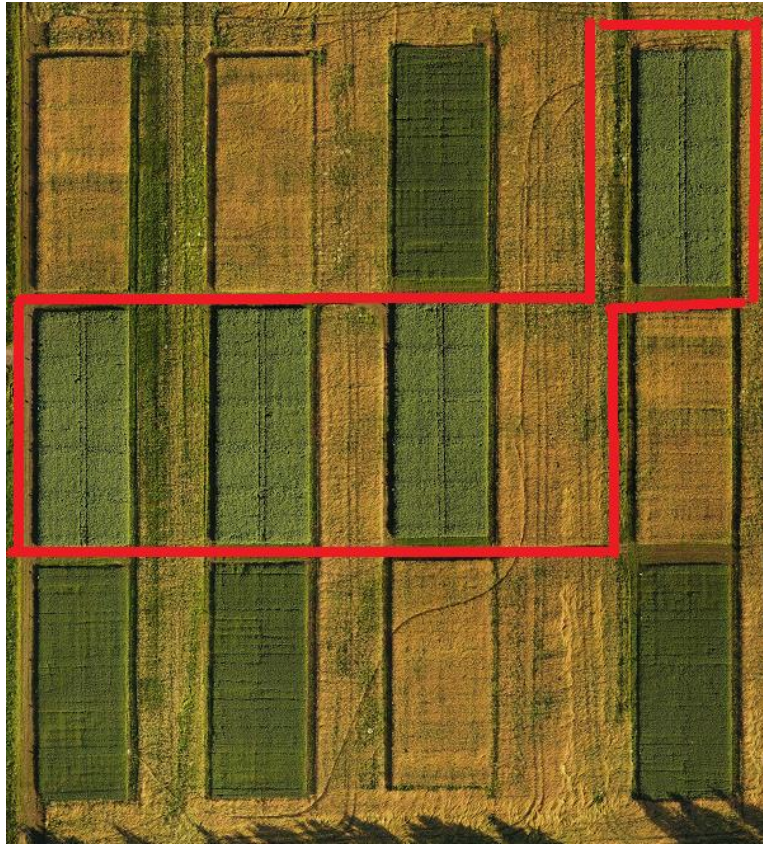
Helsingin yliopiston pääruuduille levitettiin kolme eri typpilannoitustasoa, täysin lannoittamaton nollakontrolli sekä yleislannoite YaraMila HeVi3. Kokeellisina typpiportaina olivat 30 kg/ha, 60 kg/ha ja 90 kg/ha sekä nollalannoitusruutu. Typpiportaiden tarkoituksena oli selvittää härkäpavun typpilannoitusvaste. Typpilannoitteena käytettiin raemuotoista YaraBela Suomensalpietaria. Tavanomaista viljelysuositusten mukaista lannoitusta edustava Yaran väkilannoitevalmiste HeVi3 ja typpilannoiteportaat lisättiin pintamaahan käsin. Valmisteiden ravinnesisällöt ja käytetyt määrät ovat koottuna taulukkoon 5.

Kenttäkokeen järjestely toteutettiin osittain satunnaistettujen täydellisten lohkojen järjestelyinä. Lohkoja eli kerranteita oli neljä lannoitevalmistajille sekä Helsingin yliopistolle. Pääruudut, joita oli viisi, arvottiin yksi kullekin. Kullakin valmistajalla sekä Helsingin yliopistolla oli siten yksi pääruutu jokaisessa kerranteessa. Pääruudun koko oli 8 m x 20 m, jotka jakautuivat kahteen tai neljään osaruutuun (lannoitekäsittely). Kukin valmistaja jakoi siten oman pääruutunsa edelleen pitkittäin kahteen 4 m x 20 m osaan tai enintään neljään 4 m x 10 m osaan, sen mukaan montako lannoitevalmistetta tai lannoiteyhdistelmää kyseinen valmistaja päätti testata. Helsingin yliopiston pääruutu oli jaettu viiteen osaan. Tavanomainen mineraalilannoite oli käsittely, joka toteutettiin kahdella 4 m x 20 m ruudulla ja nollakontrolleilla sekä typpiportailla kolmella eli typpilannoitemäärät toteutettiin jäljelle jääneinä 2 m x 10 m ruudukoina. Koeruudut ovat esitetty kuvissa 2 ja 3.

Kuva 2. Kaavakuva härkäpavun koejärjestelystä, kerranteista (I-IV) sekä valmistajien ruuduista. Kaaviosta poistettu kenttäkokeen muiden kasvilajien ruutukohtaiset tiedot.



Kuva 3. Ilmakuva koekentästä, härkäpapuruudut korostettu. Kuva otettu 4.8.2017. Kuva: Eetu Virtanen.



Härkäpavun kylvö tapahtui 19.5.2017. Härkäpapu kylvettiin kahden metrin Juko-kylvölannoittimella viiden senttimetrin syvyyteen rivivälillä 12,5 cm ja tavoitetiheydellä 70 kpl/m².

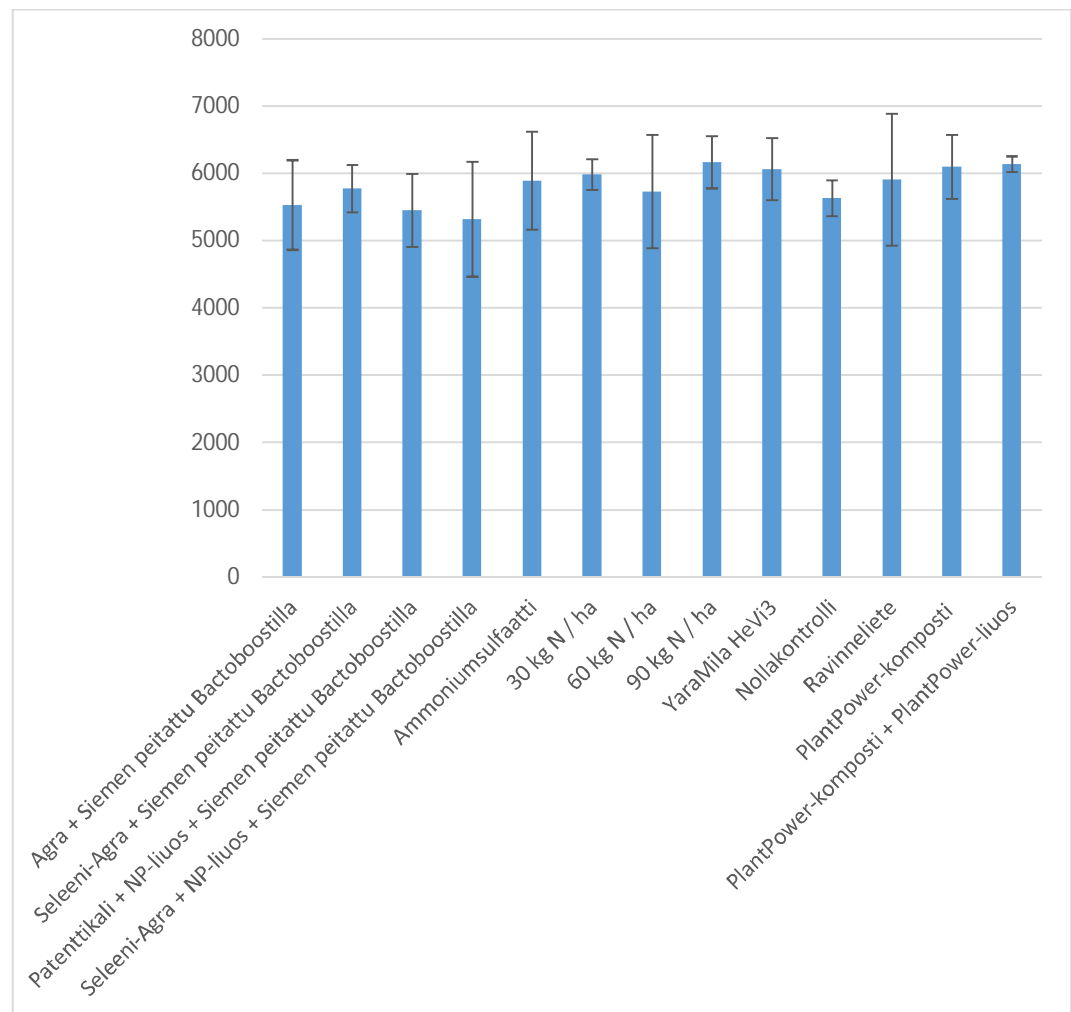
Kasvinsuojelu toteutettiin 10.6. ja 17.6.2017. Aikaisella kasvuasteella ollut kasvusto ruiskutettiin 10.6. rikkakasvien torjumiseksi bentatsoni-tehoainetta sisältävällä Basagran SG:llä 1,5 kg/ha sekä kvitsalofoppi-P-etyyli-tehoainetta sisältävällä Super Targalla 2,5 l/ha. 17.6. ruiskutettiin sienitautien torjuntaan syprodiiniili- ja fludioksoniili-tehoaineita sisältävää Switch 62.5 WG 1 kg/ha sekä atsoksisstrobiini-tehoainetta sisältävää Amistaria 0,8 l/ha.

4.5 Näyteaineiston keruu ja käsittely

Koeruuduilta kerättiin yhteensä 52 kasvustonäytettä siten, että kaikilta osaruuduilta kerättiin näytteeksi kolme 50 cm:n riviä härkäpapua. Näyteruudun laskennallinen koko oli siten 0,1875 m². Keruu tapahtui käsin nostamalla kasvit juurineen maasta rikkakasveineen

BBCH-kasvuasteella 87 (myöhäinen tuleentumisvaihe: 70 % paloista tuleentuneita). Kasvustonäytteet kerättiin kahdessa erässä. Kerranteet 1 ja 2 28.9. sekä 3 ja 4 29.9. Kukin näyte pakattiin kolmin kerroin paperipussiin ja kuivatettiin uunissa (72 tuntia, 60°C) kuivapainojen selvittämiseksi. Härkäpapukenttä puitiin lopuksi koneellisesti 30.9.2017. Koneellisesti puitu sato keskihajontoineen on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Koneellisesti puidun härkäpapukasvuston sadot keskihajontoineen eri lannoitevalmistekäsittelyissä. Sadot esitetty kerranteiden keskiarvoina.



Yleisimmät esiintyneet rikkakasvilajit olivat peltokorte (*Equisetum arvense*), kiertotatar (*Fallopia convolvulus*) sekä eri pillikkeet (*Galeopsis* sp.). Rikkakasvien erottelun jälkeen härkäpapumateriaalista otettiin kasviyksilöt erilleen omalle tarjottimelleen. Tämän jälkeen yksilöistä poistettiin lehdet ja palot omille tarjottimilleen. Jäljelle jääneistä kasveista poistettiin juuret noin 1 cm juurenniskan yläpuolelta. Näytteistä laskettiin

varsien määrä, palkojen määrä ja siementen määrä. Tämän jälkeen punnittiin varret, lehdet sekä palot ja punnitsemistulokset kirjattiin taulukkoon.

Punnituksen ja painojen kirjaamisen jälkeen varret ja lehdet asetettiin jatkotarvetta varten takaisin samoihin näytepusseihin, joissa ne olivat olleetkin. Siemenille otettiin omat paperipussit. Siementen luotettavan määrän ja painon laskemiseksi tuli siemenet puhdistaa irtoliasta. Puhdistus suoritettiin 2 mm silmäkoon omaavalla seulalla. Siementen puhdistuksen jälkeen niiden määrä laskettiin Pfeuffer Contador® (Pfeuffer GmbH, Kitzingen, Saksa)-siemenlaskurilla ja punnittiin milligrammaväällä. Näytteistä saatu perusdata ja niiden pohjalta lasketut luvut ovat tämän tutkielman liitteenä (liite 1).

4.6 Näyteaineiston tilastollinen tarkastelu

Näyteaineiston dataa tulkittiin Microsoft Excel 2016 (Microsoft Corp., Redmond, USA)-taulukko-ohjelmalla ja IBM SPSS v 25.0 (SPSS Corp., Chicago, USA) -tilastotyökalulla. Koska osaruutukäsittelyt olivat kullakin valmistajalla ja yliopistolla ainutlaatuisia, ei koe edustanut faktoriaalista osaruutumallia, jossa kukin yksittäinen käsittely olisi täysin satunnaisesti sijoitettu kussakin kerranteessa, eikä siten sallinut kaikkien käsittelyjen ja niiden yhdysvaikutusten sisällyttämistä yhteen lineaariseen malliin.

Lannoitekäsittelyn vaikutukset tutkittiin yksisuuntaisen varianssianalyysin (analysis of variance, ANOVA) avulla, joissa päämuuttujina olivat lannoitevalmiste sekä kerranne. Merkitsevyytensä tutkimuksissa pidettiin 5 %, eli mikäli p-arvo oli yli 0.05, nollahypoteesi jäi voimaan eikä vertailtavien muuttujien välillä todettu tilastollisesti merkitsevää eroa.

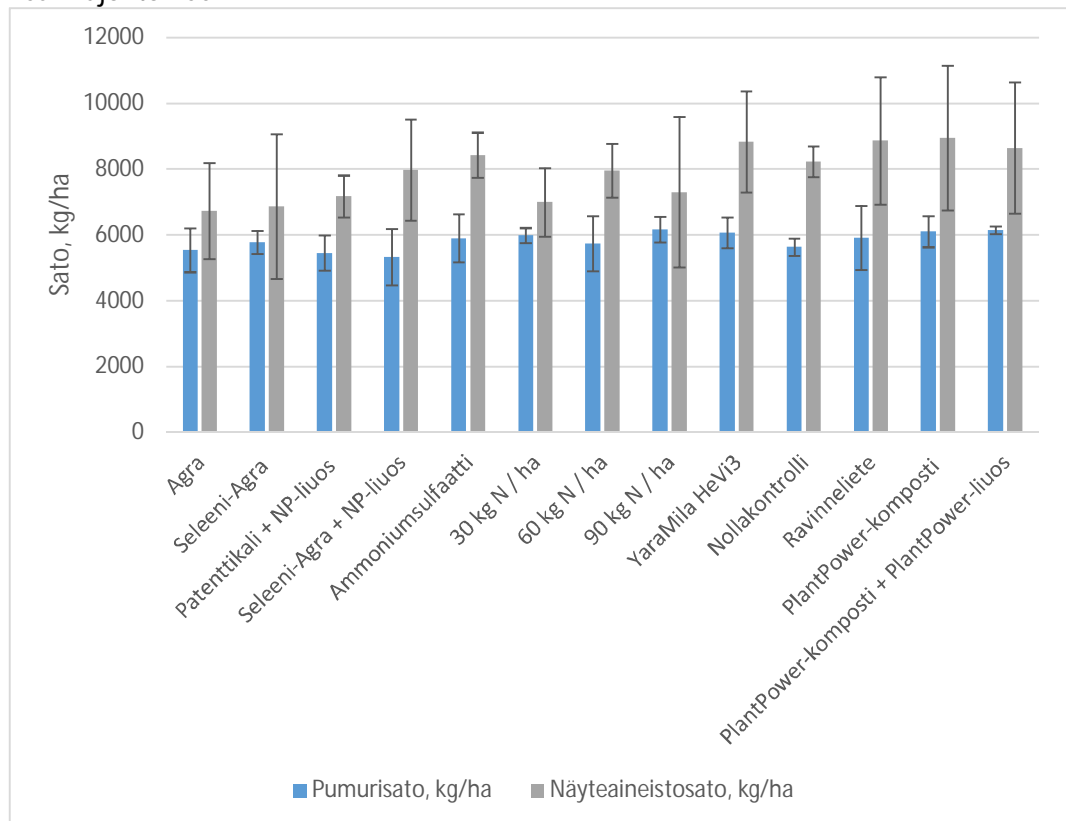
5 TULOKSET

Härkäpapukasvusto oli kasvukauden viileydestä johtuen myöhässä eikä kasvuston täyttä tuleentumista uskottu enää tapahtuvan syyskuussa 2017. Kasvustonäytteet päädyttiin keräämään 28.–29.9. ja koekenttä puimaan 30.9.2017 osittain tuleentumattomana, BBCH-kasvustoasteella 87 (korjuukypsän härkäpavun BBCH-aste 89). Kasvun keskeneräisyydestä huolimatta härkäpapusato onnistui poikkeuksellisen hyvin. Näyteaineistosta saatu laskennallinen sato oli jopa moninkertainen härkäpavun tavanomaisiin satotasoihin Uudellamaalla nähden. Myös ruutujen keskiarvoinen

puumurisato (5819 kg/ha) oli korkea. Luonnonvarakeskuksen Satotilasto-verkkopalvelun (2017) mukaan härkäpavun keskisato hehtaarilla vuonna 2017 oli Uudellamaalla 1950 kg, koko Suomessa 2090 kg. Tämän tutkimuksen kasvustonäyteaineistosta kerätty keskisato oli lähes 8000 kg eli noin nelinkertainen alueen keskisatoon nähden. Myös puimurisato oli lähes kolminkertainen.

Tilastollisia menetelmiä käyttäen aineistosta ei kuitenkaan löytynyt merkitseviä eroja eri lannoitekäsittelyjen väliltä. Koska eroja aineistosta ei löytynyt edes nollakontrolliin verrattuna, on selvää, ettei tutkimuksesta voida tehdä tulkintaa minkään yksittäisen lannoitevalmisteen eduksi. Puimurisasiosta ei ole käytettävissä kerranekohtaisia keskisatoja, joten puimurisasiosten tilastollinen vertailu ei ole mahdollista. Kuvassa 4 on esitetty sekä puimurisasiot että näyteaineistosta saadut keskiarvot eri lannoitekäsittelyssä keskihajontoineen.

Kuva 4. Puimurisasiot sekä kasvustonäytesadot eri lannoitekäsittelyssä keskihajontoineen.



5.1 Kierrätyslannoitteiden vaikutus satoon

Kasvustonäytteistä sadon määrä (t/ha) laskettiin suhteuttamalla näytealan siementen paino grammoina siementen painoon tonneina hehtaarilla seuraavan kaavan mukaisesti:

$$\text{Siementen paino, g} * (10\,000 \text{ m}^2 / 0,1875 \text{ m}^2) / 1\,000\,000 = \text{sato tonnia/ha}$$

Kasvustonäytteistä lasketun sadon määrä kullakin lannoitekäsittelyllä esitetään taulukossa 6.

Taulukko 6. Härkäpavun kasvustonäytteiden keskisadot (tonnia hehtaarilla) keskivirheineen eri lannoitekäsittelyissä.

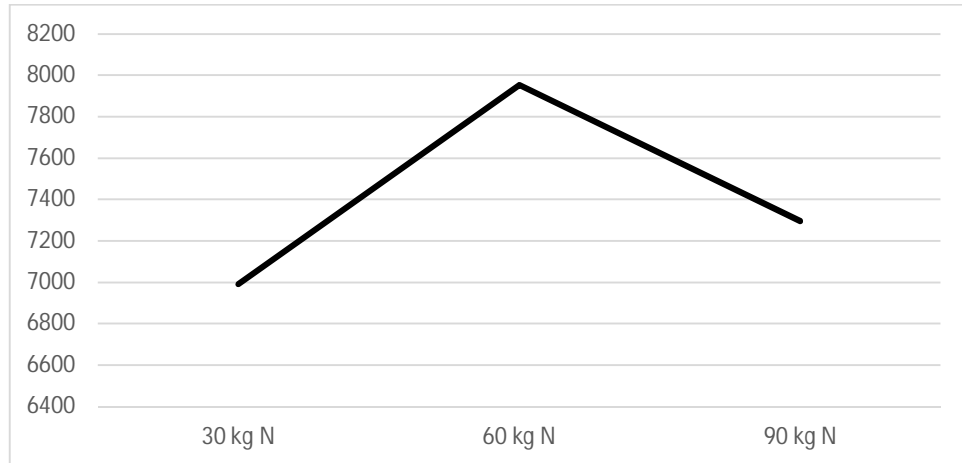
Käsittely	Sato, t/ha	Keskivirhe
Ravinneliete	8,859	0,970
30 kg N	6,991	0,522
60 kg N	7,953	0,411
Nollakontrolli	8,226	0,232
90 kg N	7,295	1,146
PlantPower-liuos	8,936	1,100
PlantPower liuos + komposti	8,640	0,994
Agra	6,715	0,730
Patenttikali + NP-liuos	7,166	0,319
Seleeni-Agra	6,855	1,099
Seleeni-Agra + NP-liuos	7,971	0,769
Ammoniumsulfaatti	8,426	0,341
HeVi3	8,827	0,772

Aineistosta haluttiin ensin selvittää koekentän väkilannoitevaste. Tämä tehtiin vertaamalla nollakontrolliruutuja väkilannoiteruutuihin yksisuuntaisella varianssianalyysillä. Tarkastelussa erotettiin nämä käsittelyt (n=8) kaikista muista käsittelyistä. Nollahypoteesina testissä oli "väkilannoite ei lisää sadon määrää nollakontrolliin nähden". Varianssianalyysin perusteella nollakontrollin ja väkilannoitteen välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää ($p < 0,05$) eroa, joten nollahypoteesi jää voimaan eikä voida osoittaa nollakontrolliruutujen eroavan väkilannoiteruuduista satotasonsa perusteella.

Samalla yksisuuntaisella varianssianalyysillä testattiin typpiporras-aineiston eroavaisuuksia, jotta voitaisiin selvittää koekasvuston typpivaste. Aineisto testattiin vertailemalla nollakontrollia ja typpiportaita (30, 60 ja 90 kg N/ha) keskenään.

Nollahypoteesina testissä oli "eri typpikäsittelyt eivät eroa toisistaan tai nollakontrollista merkitsevästi". Varianssianalyysi eri paljastanut näidenkään käsittelyjen (n=16) väliltä tilastollisesti merkitsevää ($p < 0,05$) eroa. Typpivaste ei myöskään ollut lineaarisesti kasvava (kuva 5).

Kuva 5. Härkäpapukasvuston satotasot eri typpiportailta kerranteista muodostettujen keskisatojen perusteella.



Ecolan osallistui kokeeseen neljällä ja Tuhala Bio kahdella eri lannoitekäsittelyllä. Näiden toimijoiden lannoitevalmisteita verrattiin paitsi keskenään myös nollakontrolliin sekä väkilannoitteeseen. Tilastollisesti merkitseviä ($p < 0,05$) eroja ei löytynyt millään keskinäisellä vertailulla eikä edellä mainittuihin referenssiruutuihin nähden.

Lopuksi vertailtiin toimijoiden parhaita valmisteita nollakontrolliin sekä väkilannoitteeseen. Koska tilastollisia eroja ei näyteaineiston satotasosta löytynyt, käytettiin vertailussa kunkin valmistajan korkeimman keskisadon tuottanutta lannoitekäsittelyä, silloin kun niitä oli useampi kuin yksi (taulukko 7).

Taulukko 7. Toimijoiden korkeimmat sadot tuottaneet lannoitekäsittelyt.

Toimijaja	Lannoitekäsittely	Keskisato, t/ha
Ecolan	Seleen-Agra + NP-liuos	7,9714
Tuhala Bio	PlantPower-liuos	8,9359
Soilfood	Ravinneliete	8,8593
HSY	Ammoniumsulfaatti	8,4258
Helsingin Yliopisto	Hevi3	8,8269
Helsingin Yliopisto	Nollakontrolli	8,2261

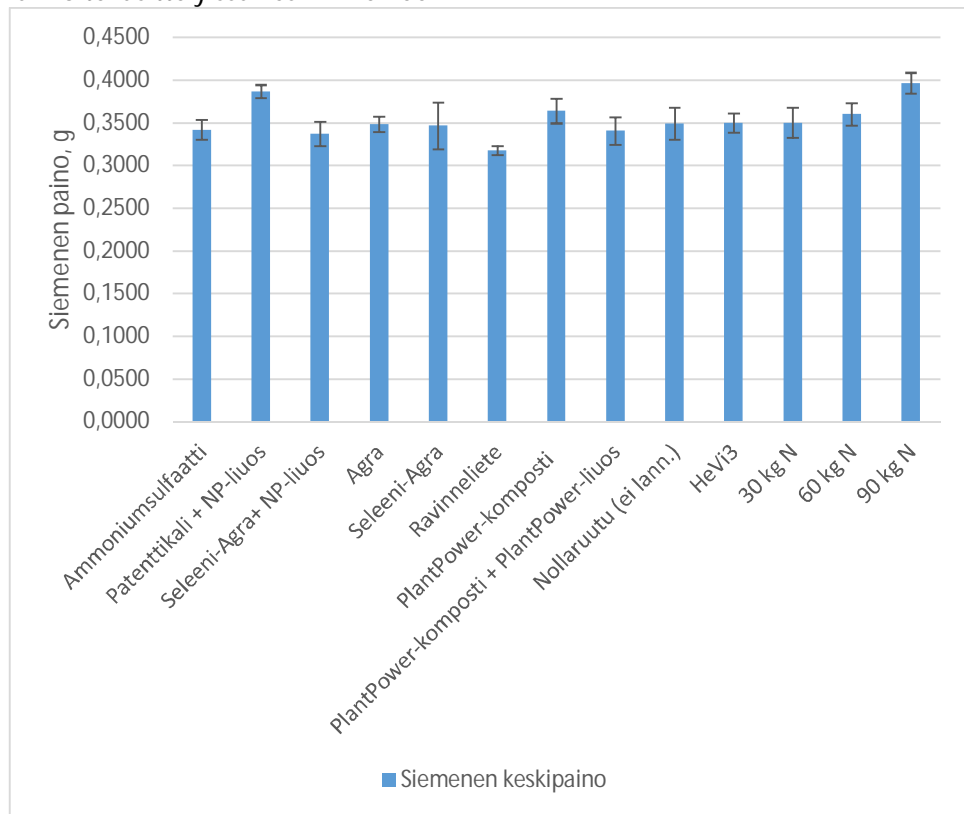
Kierrätyslannoitevalmistajien parhaistakaan lannoitekäsittelyistä mikään ei tuottanut tilastollisesti merkitsevää ($p < 0,05$) eroa väkilannoitteeseen tai nollakontrolliin nähden.

Tutkimuksessa ennen puintia otettujen näytealojen perusteella lasketun härkäpapukasvuston satotasot eri käsittelyissä olivat alueen tavanomaiseen satotasoon (1950 kg/ha) nähden erittäin korkeita. Tilastollisesti tarkastellen eri käsittelyjen välillä ei kuitenkaan ollut merkitsevää ($p < 0,05$) eroa. Näytekasvustosta muodostettu laskennallinen sato ja puimurisato eroavat käsittelyltään toisistaan eikä puimurisoista ollut kerrannekohtaisia tietoja käytettävissä, joten niitä ei voitu verrata toisiinsa samalla tilastollisella menetelmällä. Sen sijaan eri lannoitekäsittelyjen puimurisoista tehtiin Kruskal-Willisin ei-parametrinen testi. Tällä menetelmällä ei puimurisoistakaan löytynyt tilastollisesti merkitsevää ($p < 0,05$) eroa. Satotasoja ei siis voida sanoa eronneen millään lannoitekäsittelyllä toisistaan, edes nollakontrolliin nähden.

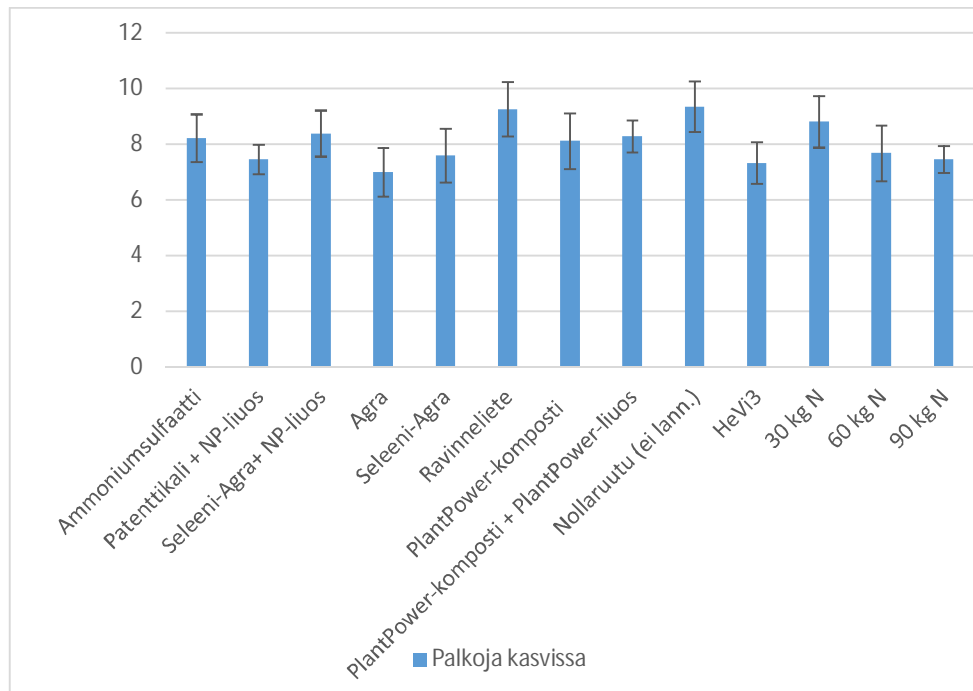
5.2. Kierrätyslannoitteiden vaikutus satokomponentteihin

Toisena tutkimuskysymyksenä oli selvittää, ilmeneekö eri lannoitekäsittelyillä eroja näyteaineistosta mitattuihin satokomponentteihin (kasveja pinta-alalla, palkoja per kasvi, siemeniä per palko ja siemenen keskipaino). Näytedatasta ei paljastunut tilastollisesti merkitseviä ($p < 0,05$) eroja lannoitevalmisteiden kesken myöskään satokomponenteissa (kuvat 6-9).

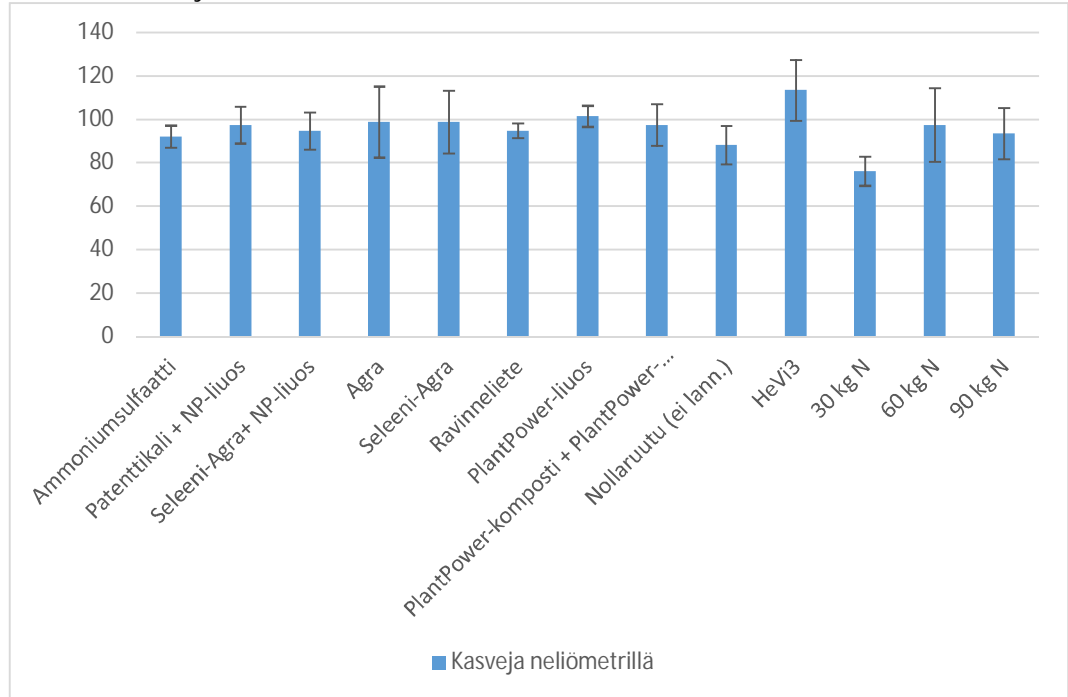
Kuva 6. Siemenen keskipaino kerranteista muodostettujen keskiarvojen mukaan eri lannoitekäsittelyissä keskivirheineen.



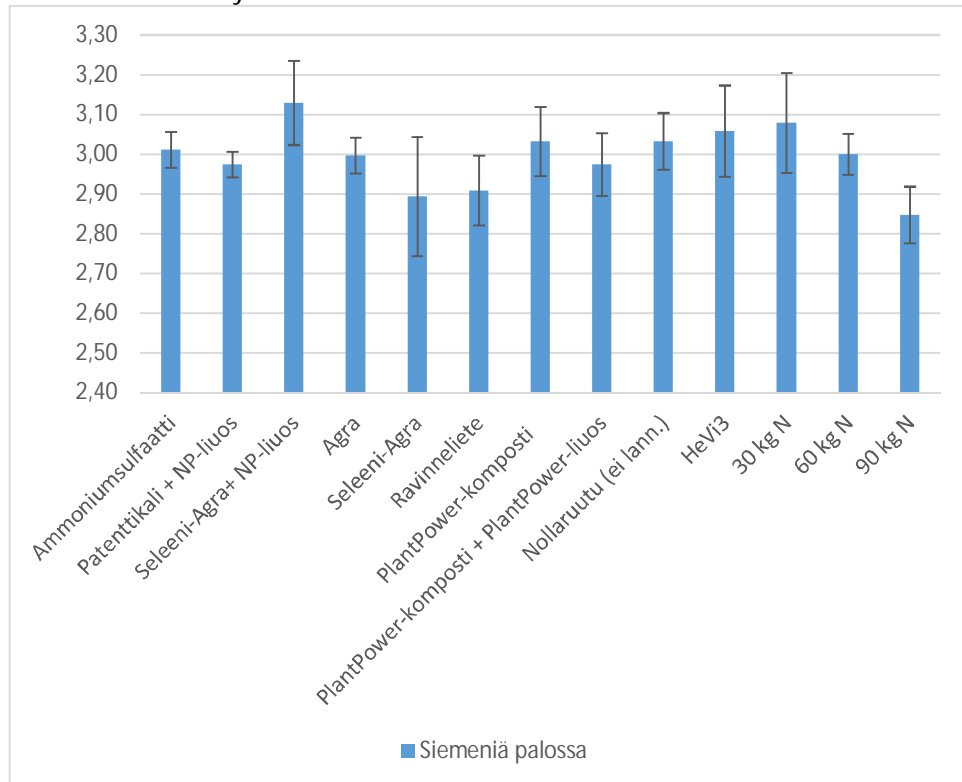
Kuva 7. Palkojen määrä versossa kerranteista muodostettujen keskiarvojen mukaan eri lannoitekäsittelyissä keskivirheineen.



Kuva 8. Kasveja neliometrillä kerranteista muodostettujen keskiarvojen mukaan eri lannoitekäsittelyissä keskivirheineen.



Kuva 9. Siementen lukumäärä palossa kerranteista muodostettujen keskiarvojen mukaan eri lannoitekäsittelyissä keskivirheineen.



Boorin osalta viljelyanalyysin tulos oli välttävä, joskin tyyppillinen Uudellamaalla. Korkein booripitoisuus oli Ecolanin Seleenii-Agralla (0,17 kg B/ha), joka oli saanut myös NP-liuoskäsittelyn. Tälläkään käsittelyllä ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta satokomponentteihin ($p > 0,05$). Toisaalta suurina määrinä pintamaassa boori on härkäpavulla kasvua haittaava tekijä (Choi ym. 2006), joten booriin liittyviä puutostiloja ei myöskään odotettu. Mangaanin kohdalla tilanne oli samanlainen, sillä viljavuusluokka mangaanin osalta oli huononlainen. Helsingin yliopiston maataloustieteiden laitoksen professori Markku Ylihalla kirjoitti hankkeen koordinoitua varten myös julkaisemattoman tulkinnan viljavuusanalyysin tuloksista. Ylihalla (2016) mukaan hankkeen pelloilla mangaanin puutoksiin on syytä varautua, toisaalta kirjallisuus varoittaa mangaaniin liiallisten pitoisuuksien haitallisuudesta (Arya & Roy 2011). Korkein mangaanipitoisuus oli Helsingin Yliopiston väkilannoiteruudun HeVi3:lla (0,9 kg Mn/ha). Koska tilastollisesti nämä käsittelyt eivät eronneet muista käsittelyistä, ei boorin tai mangaanin osalta voida osoittaa kasvuston kärsineen sen enempää puutos- kuin myrkytystiloistakaan.

5.3 Lannoitevalmisteiden taloudellisuus

Kolmantena tutkimuskysymyksenä oli tarkastella kierrätyslannoitteiden taloudellista kannattavuutta vertailemalla kierrätyslannoitteiden käytöstä syntyneitä kustannuksia tavanomaisen lannoitteen kustannuksiin. Lannoituksen taloudellista mielekkyyttä tarkastellessa on syytä vertailla käytettyjen aineiden rajakustannushyötyjä (Kelly 2005). Kokeen kierrätyslannoitevalmistajat suosittelevat tuotteilleen tavanomaisia lannoitteen levitystapoja, esimerkiksi lietevaunun avulla, lannoitteen faasi (kiinteä/liuos) huomioiden. Näin ollen lannoitteiden levityskustannukset eivät pääsääntöisesti eroa tavanomaisten valmisteiden levityskustannuksista. Taloudellisessa tarkastelussa otetaan huomioon lannoitteen käytöstä aiheutuneet kiinteät hehtaarikustannukset, sadon muutos nollakontrolliin nähden sekä lannoitevalmisteen käytön rajakustannus, jolla tarkoitetaan nollakontrollista eroavan sadon kustannusta. Laskelma esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Eri lannoitevalmisteiden lannoitekustannukset, toteutuneet keskisadon aineistossa, lannoitevalmisteen vaikutus nollakontrolliin verrattuna sekä rajakustannus nollakontrolliin nähden. Lannoitekustannus pitää sisällään tuotteen valmistajan ilmoittaman hinnan sekä Työteho-seuran (2017) julkaiseman koneurakointihinnaston mukaisen vuoden 2016 toteutuneen keskimääräisen levityskustannuksen.

Toimija	Lannoitekäsitteily	Lannoitekustannus, €/ha	Keskisato, kg/ha	Sadon muutos (kg/ha) nollakontrolliin nähden	Rajakustannus, €/kg
HSY	Ammoniumsulfaatti	14,82	8426	199,81	0,07
Ecolan	Patenttikali*	273,60	7166	-1059,91	-0,25
	Seleeni-Agra*	202,85	7971	-254,58	-0,79
	Agra	138,90	6715	-1511,24	-0,09
	Seleeni-Agra	142,85	6855	-1371,38	-0,10
	NP-liuos (täydentävä valmiste)	60,00	-	-	-
	Bactoboost-liuos (täydentävä valmiste)	60,00	-	-	-
Soilfood	Ravinneliete	65,60	8859	633,28	0,10
Tuhala Bio	PlantPower-liuos	36,50	8936	709,94	0,05
	PlantPower-komposti	2840,00	8640	414,21	6,85
Helsingin Yliopisto	30 kg N	25,53	6991	-1235,24	-0,02
	60 kg N	51,06	7953	-272,58	-0,18
	90 kg N	76,59	7295	-930,58	-0,08
	HeVI3	133,22	8827	600,88	0,22
	Nollakontrolli	-	8226	-	-

* Kokeessa valmiste sisälsi myös NP- ja Bactoboost-liuokset

Tutkimukseen osallistuneiden toimijoiden lannoitevalmisteiden vaikutus oli toisaalta tilastollisesti merkityksetön, toisaalta myös heterogeeninen. Kokeen valmisteista puolet tuotti negatiivisen, puolet positiivisen lannoitevaikutuksen. Kokeesta saadun aineiston perusteella ei voida osoittaa minkään lannoitekäsitteilyn olleen muita taloudellisesti mielekkäämpi. Rajakustannusta olisi voinut kierrätyslannoitteiden osalta verrata myös väkilannoitteeseen, tosin kun tilastollista eroa ei kokeessa ilmennyt, ei tämäkään vertailu ole tarpeellista.

6 TULOSTEN TARKASTELU

Kokeessa ei muodostunut tilastollisesti osoitettavaa eroa minkään lannoitekäsitteilyn osalta. Tulosten tarkastelun kohdalla tulee lähinnä etsiä syitä sille, miksi eroja ei koekentän kasvustojen välillä esiintynyt.

Vaikka härkäpapua käytetään yhä enenevässä määrin ihmisravinnoksi, härkäpapua käytetään laajasti myös rehuksi (Stoddard ym. 2009). Rehuksi menevän sadonosan laadulliset vaatimukset ovat yleisesti alhaisemmat kuin ihmiskäyttöön tarkoitetun elintarvikelaadun. Sadonkäytön rehuvaltaisuus yhdistettynä härkäpavun vaatimattomuuteen viljelykasvina herättää ajatuksen, että härkäpavun viljelyssä ei saavuteta täyttä satopotentiaalia. Tämän tutkimuksen kasvustoihin saatettiin panostaa huomattavasti taloudellista kannattavuutta enemmän, joka saattaa selittää korkeaa satotasoa. Aineisto kerättiin ja käsiteltiin käsin, joka myös vähentää koneellisessa puinnissa tapahtuvaa hävikkiä. Puimalla saadut sadot olivatkin huomattavasti alemmat kuin näytekasvustosta laskennallisesti muodostetut sadot, vaikkakin nekin olivat tavanomaiseen nähden lähes kolminkertaiset.

Maatalousekosysteemeitä tarkastellessa täytyy ymmärtää lähtökohta, jossa yhden vuoden tarkastelujakso on erittäin lyhyt (Meyer ym. 2016). Tämä koe suoritettiin hankkeen käynnistymisvuonna peltolohkolla, joka oli ollut viljavaltaisessa viljelykierrossa tavanomaisen tuotannon puolella. Näin ollen ei voida poissulkea lohkon aiheuttamaa taustapainetta ravinteiden suhteen eli tilannetta, jossa maahan edeltävinä vuosina varastoituneet ravinteet paikkaavat kokeessa käytettyjen kierrätyslannoitevalmisteiden mahdollisia puutteellisuuksia. Tämän puolesta puhuu esimerkiksi viljavuusanalyysin korkea fosforiluokka sekä kasvustosta saatu poikkeuksellisen korkea satotaso.

Moni lannoitevalmiste sisälsi tarpeeseen nähden korkeahkon määrän typpeä. Härkäpavun ollessa typensitojakasvi, typpilannoitteen käytön voidaan katsoa starttityppeä lukuun ottamatta olevan jokseenkin turhaa. Kirjallisuuden (Karkanis ym. 2018) mukaan muun kuin starttitypen käyttö härkäpavun viljelyssä voi olla jopa haitallista kasvin oman typensidonnann kannalta ja siten sadon onnistumiselle. Starttitypen määräksi suositellaan 15-30 kg typpeä hehtaarille (Vilja-alan yhteistyöryhmä 2017, Karkanis ym. 2018). Kokeen kierrätyslannoitevalmisteet lisättiin kasvustolle jo ennen kylvöä ja typpiportaat 7.6.2017 eli melko pian itämisajan, 10-14 vuorokautta (Vilja-alan yhteistyöryhmä 2017), jälkeen. Osa lannoitekäsittelyistä vastasikin melko hyvin starttityppisuositusta ajallisuutensa ja typpipitoisuuksiensa puolesta, mutta tilastollisesti ei voida todistaa kasvuston hyötynneen starttitypestä sadon tai satokomponenttien suhteen.

Koekentältä saatu satotaso oli paitsi kasvustonäytteistä muodostetun laskennallisen sadon, myös puimurisatojen osalta poikkeuksellisen korkea. Lajikkeena käytettyä Louhi-härkäpapua jalostaja kuvaa erittäin satoisaksi, joskin jalostajan kokeissa Louhi on saavuttanut vain noin 10 % suuremman sadon toiseen suosittuun härkäpapulajikkeeseen ('Kontu') nähden, eikä siten yksinään selitä tässä kokeessa toteutuneita poikkeuksellisen korkeita satoja. Sääolosuhteidensa puolesta kasvukausi oli myös haasteellinen, sillä kesän lämpötilat jäivät keskimääräistä alhaisemmiksi, toisaalta ilmastolliset olosuhteet olivat viljelylle otolliset, "mantereen parhaat". Karkanis ym. (2018) esittää kasvukaudella olevan kasvupaikkaa suurempi merkitys satovaihteluissa. Kokeen härkäpapukasvusto onnistui kuitenkin erinomaisesti, paremmin kuin muut hankkeessa samana vuonna viljellyt koekasvustot muilla kasvilajeilla. Tässä tutkielmassa käytettyjen lannoitekäsittelyjen vaikutus satoon ja satokomponentteihin tulee kuitenkin tulkita satunnaiseksi. Sadon ollessa tilastollisesti sama kaikissa koejäsenissä, satokomponenttien kompensatiosta tai lannoitekäsittelyjen taloudellisuudesta ei voida myöskään tehdä johtopäätöksiä eri valmisteiden osalta. Kokeen tuloksista on tulkittava, että koevuonna kasvusto ei taloudellisuutta ajatellen olisi kannattanut lannoittaa lainkaan. Yhteenkään tutkimuskysymykseen ei siten saatu tilastollisesti merkitsevää vastausta. Toisaalta tämän tutkimuksen perusteella kierrätyslannoitteiden ei myöskään voida osoittaa laskevan härkäpapusatoa suotuisana vuonna Uudellamaalla, joten tutkimuksen voidaan katsoa olevan kierrätyslannoitteiden käyttökelpoisuuteen liittyen vähintäänkin rohkaiseva.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän tutkielman aineistosta ei voida tilastollisesti todistaa lannoitevalmisteiden eroavaisuuksia, vaikka monissa kierrätyslannoitteilla tehdyissä tutkimuksissa osoitetaan kierrätyslannoitteet väkilannoitteiden veroisiksi. Huolimatta siitä, ettei tässä tutkielmassa eroja eri lannoitekäsittelyjen välillä pystytty osoittamaan, on tutkimusta kiertotalouden ja kasvinravinteina toimivien aineiden parissa jatkettava. Vaikka viimeisen kahden kymmenen vuoden aikana ihmistoiminnan aiheuttamat ravinnepäästöt Itämereen ovatkin vähentyneet, Itämeren vesimassan pitkstä viipymästä johtuen typen ja fosforin konsentraatiot eivät ole juurikaan vähentyneet. Maatalouden tulee siis jatkossakin tehostaa ravinteiden kierrätyksen toteutumista omalta osaltaan. Useat tutkijat suosittavatkin keinoja edelleen rajoittaa maataloudesta Itämereen johtuvia päästöjä, muun muassa lannoitteiden käyttöön liittyvien kiristyksien. Neitseellisten ravinteiden tuominen maatalousekosysteemiin nykyisten ravinnekiertojen lisäksi väistämättä lisää maatalouden ravinnepäästöjä. Kierrätyslannoitevalmisteiden käytöllä ei voida välttää ravinnealumiinia vesistöihin, mutta niiden avulla on mahdollista vähentää neitseellisten ravinteiden käyttöä.

Kierrätyslannoitteiden laajamittainen käyttöönotto on paitsi välttämätöntä, lähinnä ajan kysymys, jonka puolesta pääministeri Sipilän I hallituksen käynnistämät kärkihankkeet puhuvat. Aihe on toisaalta poliittinen myös monien kierrätyslannoitteisiin liittyvien tabujen vuoksi, esimerkiksi ihmisperäisten ravinteiden osalta. Ilmastonmuutoksen ja vesistöjen rehevöitymisen kaltaisten globaalien haasteiden ollessa kyseessä, perusteettomat ennakkoluulot eivät kuitenkaan saa olla tutkitun tiedon yläpuolella. Kiertotalouden toteuttamiseksi kierrätyslannoitteiden tulee kuitenkin globaalisti soveltua osaksi paikallista ruokajärjestelmää, ja olla myös taloudellisesti kannattavia käyttäviä. Tutkimusta tarvitaan siis lisää paitsi kierrätyslannoitteista yleensä, myös paikallisten ruokajärjestelmien tuottamista kierrätysmahdollisuuksista.

Koska tämä tutkielma ei onnistunut osoittamaan eroja eri kierrätyslannoitevalmisteiden välille, jatkotutkimuksena olisi mielenkiintoista seurata koko viisivuotisen viljelykierron ajan kierrätyslannoitteiden suoriutumista kaupalliseen valmisteeseen ja nollakontrolliin nähden. Toisaalta myös kierrätyslannoitteiden yhdistäminen eri lähteistä tasapainoisemman ja kasvinravitsemukseen paremmin soveltuvan tuotteen saamiseksi olisi mielenkiintoinen tutkimuksen kohde. Nykyisen lineaarisuuden purkaminen

vallitsevasta ruokajärjestelmästä on kuitenkin suuri ponnistus, ja siksi myös uusien vielä hyödyntämättömien ravinnelähteiden tutkimus lienee antoisaa.

KIITOKSET

Haluan sydämellisesti kiittää tämän tutkielman ohjaajia Juha Heleniusta sekä Priit Tammeorgia paitsi suuresta avusta tämän tutkielman synnyssä, myös agroekologian korkeatasoisesta opetuksesta opiskeluaikanani Helsingin yliopistossa. Tämän lisäksi kiitän nöyrimmin HYKERRYYS-hankekumppaneita tämän tutkielman mahdollistamisesta sekä gradukollegojani Mari Unnbomia ja Ossi Kinnusta lukemattomiin sähköpostitiedusteluihin annetuista kärsivällisistä vastauksista. Kiitän myös VTM Juhani Saarta minulle niin haastavien tilastollisten käsitteiden avaamisesta ja neuvonnasta.

Suurimman kiitoksen haluan kuitenkin esittää perheelleni avusta ja tuesta paitsi tämän tutkielman kirjoitusprosessissa, myös koko opintojeni ajan. Äidilleni, jolta olen saanut sen kannustavan rohkaisun, jonka avulla uskalsin haastaa itseäni akateemisessa maailmassa. Siskoilleni, joiden kanssa käytyt keskustelut ovat avanneet silmäni asioiden kriittiselle sekä monipuoliselle tarkastelulle. Isälleni, jolta olen saanut periksi antamattoman ja kiivaan luonteen edistää minulle tärkeitä asioita.

LÄHTEET

- Barbafieri, M. & Giorgetti, L. 2016. Contaminant bioavailability in soil and phytotoxicity/genotoxicity tests in *Vicia faba* L.: a case study of boron contamination. *Environmental Science and Pollution Research* 23 (23): 24327–24336.
- Bicer, Y., Dincera, I., Zamfirescu, C., Vezina, G. ja Rasob, F. 2016. Comparative life cycle assessment of various ammonia production methods. *Journal of Cleaner Production*. Volume 135, ss. 1379-1395.
- BIOUREA-hanke. 2017. Loppuraportti: Erilliskerätyn virtsan lannoitepotentiaali, kokeelliset tutkimukset ja elinkaaritarkastelu. Käymäläseura Huussi ry. Verkkodokumentti. <www.huussi.net/wp-content/uploads/2017/01/Huussi_loppuraportti_net_VALMIS.pdf>.
- Chien S., Prochnow L., Cantarella H. & Donald L. 2009. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. *Advances in Agronomy* 102: 268–322.
- Choi, E-Y., McNeill, A. , Coventry, D. ja Stangoulis, J. 2006. Whole plant response of crop and weed species to high subsoil boron. *Australian Journal of Agricultural Research* 57(7): 761-770.
- Cordell, D., Drangert, J-O. & White, S. 2009. The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environmental Change* 2009. Volume 19, Issue 2: 292-305.
- Duffy, M. 2009. Economies of Size in Production Agriculture. *Journal of Hunger & Environmental Nutrition*, 4: 375–392.
- El-Baz, F., Maier, P. , Wissemeier, A. ja Horst, W. 1990. Uptake and distribution of manganese applied to leaves of *Vicia faba* (cv. Herzfeya) and *Zea mays* (cv. Regent) plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 153: 279-282.
- Ellen McArthur Foundation. Circular economy Concept: What is a circular economy? Verkkodokumentti. Saatavilla: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept>>. Luettu 23.10.2018.
- Fageria, N., Baligar, V. & Clark, R. 2002. Micronutrients in Crop Production. *Advances in Agronomy* 77: 185-268.
- Fjäder, P. 2016. Yhdyskuntajätevesilietteiden maatalouskäytön ja viherrakentamisen riskit – RUSSOA I-III Loppuraportti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 43/2016. 70 s.
- Flores, F., Hybl, M., Knudsen, J.C., Marget, P., Muel, F., Nadal, S., Narits, L., Raffiot, B., Sass, O., Solis, I., Winkler, J., Stoddard, F.L. ja Rubiales D. 2013. Adaptation of spring faba bean types across European climates. *Field Crops Research* 145: 1–9.
- Foley, J., Ramankutty, N., Brauman, K., Cassidy, E., Gerber, J., Johnston, M., Mueller, N., O’Connell, C., Ray, D., West, P., Balzer, C., Bennett, E., Carpenter, S., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J. Siebert, S., Tilman, D. & Zaks, D. 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478: 337 – 342.

- Garg, N. & Geentajali. 2006. Symbiotic nitrogen fixation in legume nodules: process and signaling. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 27: 59-68.
- HELCOM. 2011. The Fifth Baltic Sea Pollution Load Compilation (PLC-5) Baltic Sea Environment Protection Commission No. 128.
- HELCOM. 2018. State of the Baltic Sea – Second HELCOM holistic assessment 2011-2016. *Baltic Sea Environment Proceedings* 155.
- HSY. 2018. Biojäte. Verkkodokumentti. Saatavilla: <<https://www.hsy.fi/fi/asukkaalle/lajittelujakierratys/lajitteluohjeet/biojate/Sivut/default.aspx>>. Luettu 21.11.2018.
- Jenkinson, D. S. 2001. The impact of humans on the nitrogen cycle, with focus on temperate arable agriculture. *Plant and Soil* (2001) 228: 3.
- Jensen, E., Peoples, M. ja Hauggaard-Nielsen, H. 2010. Faba bean in cropping systems. *Field Crops Research* 115 (2010): 203–216.
- Jun, H. & Xiang, H. 2011. Development of Circular Economy Is A Fundamental Way to Achieve Agriculture Sustainable Development in China. *Energy Procedia* 5: 1530–1534.
- Karkanis, A., Ntatsi, G., Lepse, L., Fernández, J.A., Vågen, I.M., Rewald, B., Alsina, I., Kronberga, A., Balliu, A., Olle, M., Bodner, G., Dubova, L., Rosa, E. ja Savvas, D. 2018. Faba bean cultivation – Revealing novel managing practices for more sustainable and competitive european cropping systems. *Frontiers in Plant Science* 9: 1115.
- Kelly, V. 2005. Factors Affecting Demand for Fertilizer in Sub-Saharan Africa. *Agriculture and Rural Development Discussion Paper 23*. World Bank. Washington, USA.
- Kivelä, J., Chen, L., Muurinen, S., Kivijärvi, P., Hintikainen, V., & Helenius, J. 2015. Effects of meat bone meal as fertilizer on yield and quality of sugar beet and carrot. *Agricultural and Food Science* 24(2): 68-83.
- Laine, A. 2017. Härkäpavun viljely. *FutureCrops – Uusia kasvilajeja tuotantoon, tietoa ja elämyksiä kysynnän ja liiketoiminnan tueksi*. Verkkodokumentti. <<https://www.luke.fi/futurecrops/fi/viljely/harkapavun-viljely/>>. Luettu 22.1.2019.
- Licht, S., Cui, B., Wang, B., Li, F-F., Lau, J. ja Liu, S. 2014. Ammonia synthesis by N₂ and steam electrolysis in molten hydroxide suspensions of nanoscale Fe₂O₃. *Science*. Vol. 345, Issue 6197: 637-640.
- Liu, Y., Pan, X. & Li, J. 2015. A 1961–2010 record of fertilizer use, pesticide application and cereal yields: a review. *Agronomy for sustainable development*. (2015) 35: 83–93.
- Maa- ja metsätalousministeriö. 2011. Asetus nro 24/11. Diaarinro 1784/14/2011.
- Maaseudun Tulevaisuus 27.06.2017. Kasvukausi kaksi viikkoa jäljessä. Verkkodokumentti. <<https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/kasvukausi-kaksi-viikkoa-j%C3%A4ljess%C3%A4-1.196081>>. Luettu 6.2.2019.
- Maathuis, F. 2009. Physiological functions of mineral macronutrients. *Current Opinion in Plant Biology*. 2009. Volume 12, Issue 3: 250-258.

- Manning, D. 2010. Mineral sources of potassium for plant nutrition. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 30 (2010): 281–294.
- Marttinen, S., Venelampi, O., Iho, A., Koikkalainen, K., Lehtonen, E., Luostarinen, S., Rasa, K., Sarvi, M., Tampio, E., Turtola, E., Ylivainio, K., Grönroos, J., Kauppila, J., Koskiaho, J., Valve, H., Laine-Ylijoki, J., Lantto, R., Oasmaa, A. ja zu Castell-Rüdenhausen, M. 2017. Kohti ravinteiden kierrätyksen läpimurtoa – Nykytila ja suositukset ohjauskeinojen kehittämiseksi Suomessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 45/2017. Luonnonvarakeskus. Helsinki, 2017.
- Mateo-Sagasta, J. & Burke, J. 2010. Agriculture and water quality interactions: a global overview. SOLAW Background Thematic Report - TR08. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rooma, Italia.
- Mateo-Sagasta, J., Zadeh, S. & Turrall, H. 2017. Water pollution from agriculture: a global review. Executive summary. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rooma, Italia.
- Menesguen, A. & Lacroix, G. 2017. Modelling the marine eutrophication: A review. *Science of The Total Environment*. Volume 636: 339-354.
- Meyer, S. T., Ebeling, A., Eisenhauer, N., Hertzog, L., Hillebrand, H., Milcu, A., Pompe, S., Abbas, M., Bessler, H., Buchmann, N., De Luca, S., Engels, C., Fischer, M., Gleixner, G., Hudewenz, A., Klein, A.-M., de Kroon, H., Leimer, S., Loranger, H., Mommer, L., Oelmann, Y., Ravenek, J., Roscher, C., Rottstock, T., Scherber, C., Scherer-Lorenzen, M., Scheu, S., Schmid, B., Schulze, E.-D., Staudler, A., Strecker, T., Temperton, V., Tschardt, T., Vogel, A., Voigt, W., Weigelt, A., Wilcke, W. ja Weisser, W. 2016. Effects of biodiversity strengthen over time as ecosystem functioning declines at low and increases at high biodiversity. *Ecosphere* 7(12).
- Mihelcic, J., Fry, L. & Shaw, R. 2011. Global potential of phosphorus recovery from human urine and feces. *Chemosphere* 2011 (84): 832-839.
- Nissinen, A. 2003. Viljelykierron tehtävät ja haasteet luomuvihannesviljelyssä. Teoksessa Luomuvihannesten viljelykiertojen hallinta. MTT:n selvityksiä 47. MTT Tietopalvelut, 31600 Jokioinen.
- Palojärvi, A., Alakukku, L., Martikainen, E., Niemi, M., Vanhala, P., Jørgensen, K. ja Esala, M. 2002. Luonnonmukaisen ja tavanomaisen viljelyn vaikutukset maaperään. Maa- ja elintarviketalous 2. 88 s. MTT Tietopalvelut, 31600 Jokioinen.
- Pradhan, S., Nerg, A.-M., Sjöblom, A., Holopainen, J. & Heinonen-Tanski, H. Use of Human Urine Fertilizer in Cultivation of Cabbage (*Brassica oleracea*)—Impacts on Chemical, Microbial, and Flavor Quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2007, 55 (21): 8657–8663.
- Prakash, S. & Verma, J. P. 2016. Global Perspective of Potash for Fertilizer Production. Global Perspective of Potash for Fertilizer Production. Teoksessa: Meena V., Maurya B., Verma J., Meena R. (toim.) Potassium Solubilizing Microorganisms for Sustainable Agriculture. Springer, New Delhi.

- Li-juan, L., Zhao-hai, Y., Zheng, Z., Xu, M. ja Ying, H. 1993. Faba Bean in China: State-of-the-art Review. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA). Aleppo, Syria.
- Lopéz-Bellido F., Lopéz-Bellido L. ja Lopéz-Bellido, R. 2005. Competition, growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *European Journal of Agronomy*: Volume 23, Issue 4: 359-378.
- Piepho, H-P. 1995. A simple procedure for yield component analysis. *Euphytica* 84: ss. 43-48.
- Postgate, J. 1982. Biological nitrogen fixation: fundamentals. *Teoksessa Philosophical Transactions of the Royal Society* 296 (1082): 375-385.
- Pradhan ym. 2010. Human Urine and Wood Ash as Plant Nutrients for Red Beet (*Beta vulgaris*) Cultivation: Impacts on Yield Quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2010, 58: 2034–2039.
- Rasila, V., Jutikkala, E. & Mäkelä-Alitalo, A. 2003. Suomen maatalouden historia 1 - Perinteisen maatalouden aika – Esihistoriasta 1870-luvulle. Suomalaisen kirjallisuuden seura SKS. Helsinki.
- Riiko, K. 2018. Järkilannoite-hanke – Loppuraportti. Baltic Sea Action Group ja Ammattiopisto Livia. 2018. Verkkodokumentti. <www.ym.fi/download/noname/%7B80114AA1-2CFD-4FEB-9054.../138944>. Luettu 16.1.2019.
- Redden, R., Zong, X., Norton, R., Stoddard, F., Maalouf, F., Ahmed, S., El Bouhssini, M., Tao, Y., Rong, L. ja Ling, L. 2018. Efficient and sustainable production of faba bean. Achieving sustainable cultivation of grain legumes: Volume 2: Improving cultivation of particular grain legumes, Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, UK, 2018.
- Satotilasto. 2017. Viljelykasvien sato: härkäpapu. Luonnonvarakeskuksen tilastotietokanta. Verkkopalvelu. Saatavilla: <http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__02%20Maatalous__04%20Tuotanto__14%20Satotilasto/01_Viljelykasvien_sato.px/table/tableViewLayout1/?rxid=83cc2ffd-a406-4b8c-8ebe-fde338bc3096>. Luettu 13.10.2018.
- Schindler, D. 2006. Recent advances in the understanding and management of eutrophication. *Limnology and Oceanography* 51(1): 356-363.
- Shaaban, M., El-Sayed, F., El-Nour, A., El-Zanaty, A. M. A. and El-Saady, A. K. M. 2006. Boron/Nitrogen interaction effects on growth and yield of faba bean plants grown under sand soil conditions, *International Journal of Agricultural Research* 1: 322–330.
- Singh, R. & Agrawal, M. 2008. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Management* 28(2): 347-358.
- Stoddard, F.L., Hovinen, S., Kontturi, M., Lindstrom, K. ja Nykanen, A. 2009. Legumes in Finnish agriculture: history, present status and future prospects. *Agricultural and Food Science*. Vo. 18 (2009): 191-205.
- Suomen Rehu. 2017. Nautarehublogi Pirjo Hissa 15.3.2017: Vastuullista nautojen valkuaisrehuruokintaa. <<http://www.suomenrehu.fi/fi/blogi/artikkeli/vastuullista-nautojen-valkuaisrehuruokintaa/>>. Luettu 17.1.2019.
- Tanno, K. & Willcox, G. 2006. *Veget Hist Archaeobot* (2006) 15: 197. <https://doi.org/10.1007/s00334-005-0027-5>.

- Työ- ja elinkeinoministeriö 2017. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Verkkodokumentti.
<<http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/79189>>. Luettu 19.4.2019.
- Työtehoseura. 2017. Konetyön kustannukset ja tilastolliset urakointihinnat. Työtehoseuran tutkimustiedotteita 4/2017.
<https://www.tts.fi/tutkimus_kehitys/hankkeet/maataloushankkeet/koneurakointi/urakointihintakysely>. Luettu 15.4.2019.
- U.S. Geological Survey. 2018. Mineral commodity summaries 2018: U.S. Geological Survey, 200 p.
- UNEP. 2001. Environmental Aspects of Phosphate and Potash Mining. United Nations Environment Programme ja International Fertilizer Industry Association. Pariisi, joulukuu 2001.
- Uusitalo, R., Ekholm, P., Turtola, E., Pitkänen, H., Lehtonen, H., Granlund, K., Bäck, S., Puustinen, M., Räike, A., Lehtoranta, J., Rekolainen, S., Walls, M. ja Kauppila, P. 2007. Maatalous Itämeren rehevöittäjänä. Maa- ja elintarviketalous: 96. 34 s. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT, Jokioinen.
- Valtioneuvosto. 2018. Ratkaisujen Suomi: Hallituksen toimintasuunnitelma vuosille 2018–2019. Valtioneuvoston julkaisusarja 27/2018. 68 s. Valtioneuvoston kanslia.
- Venkiteswaran, K., McNamara, P. & Mayer, B. 2018. Meta-analysis of non-reactive phosphorus in water, wastewater, and sludge, and strategies to convert it for enhanced phosphorus removal and recovery. Science of The Total Environment 2018, 644: 661-674.
- Vilja-alan yhteistyöryhmä. 2018. Härkäpavun huoneentaulu. Verkkodokumentti.
<<https://www.vyr.fi/fin/ajankohtaista/uutiset/2018/01/harkapavun-viljelijan-huoneentaulu-on-ilmestynyt/>>. Luettu 22.1.2019.
- Vollaro, M., Galioto, F. ja Viaggi, D. 2016. The circular economy and agriculture: new opportunities for re-using Phosphorus as fertilizer. Bio-based and Applied Economics 5(3): 267-285.
- Voutilainen, O., Wuori, O. & Muilu, T. 2012. Eriytyvät alue- ja maatalouden rakenteet Suomessa maaseutunäkökulmasta. MTT raportti 64. 87 s.
- Yle Uutiset. 7.11.2017. Kasvukaudesta yli sadan miljoonan tappiot viljelijöille. Verkkodokumentti.
<<https://yle.fi/uutiset/3-9919572>>. Luettu 6.2.2019.
- Ylihalla, M. 2016. Kierrätyslannoitekokeen viljavuusanalyysi. Julkaisematon lähde.
- Ylivainio, K., Sarvi, M., Lemola, R., Uusitalo, R. ja Turtola, E. 2014. Regional P stocks in soil and in animal manure as compared to P requirement of plants in Finland: Baltic Forum for Innovative Technologies for Sustainable Manure Management. WP4 Standardisation of manure types with focus on phosphorus. MTT Raportti 124. 35 s. MTT, 31600 Jokioinen.
- Zahran, H. 1999. Rhizobium-Legume Symbiosis and Nitrogen Fixation under Severe Conditions and in an Arid Climate. Microbiology and Molecular Biology Reviews, joulukuu 1999, 63 (4): 968-989.

