

Maan rakenne osana perunamaan tuottavuutta ja ympäristönhoitoa

Kesto: 1.1.2013 – 31.3.2016

Rahoitus:	Kokonaiskustannukset	563 162,91 euroa
	MMM:ltä saatu kokonaisrahoitus	350 000,00 euroa
	Omarahoitusosuus	213 162,52 euroa

Vastuuorganisaatiot

Perunantutkimuslaitos (Petla)
Helsingin yliopisto (HY)
Luonnonvarakeskus (Luke)
Suomen Ympäristökeskus (Syke)

Hankkeen vastuullinen johtaja:

Jussi Tuomisto, johtaja. Perunantutkimuslaitos

Muut tutkijat:

Elina Virtanen, erikoistutkija. Luke, Oulu
Anna Sipilä, tutkija. Perunantutkimuslaitos
Asko Simojoki, yliopistonlehtori. Helsingin yliopisto
Anssi Karppinen, tutkija. Suomen ympäristökeskus
Sekä ostopalveluna:

Toivo Kuokkanen, dosentti, Oulun yliopisto
Matti Kuokkanen, dosentti, Oulun yliopisto
Ville Kuokkanen, tutkija, Oulun yliopisto

Tiivistelmä:

Perunantuotannossa maan käsittely on intensiivistä, joka yhdessä monokulttuurin kanssa aiheuttaa maan tiivistymistä ja sitä kautta ravinteiden huuhtoutumista ja sadon määrä- ja laatutappioita.

Noin 40 prosenttia Suomen perunantuotannosta sijaitsee alueilla, joissa on happamia sulfaattimaita. Sulfaattimailla on usein suuret luontaiset typpivarat, jonka johdosta peruna saa liian paljon typpeä maaperästä kasvukauden loppuvaiheessa, jolloin perunan tuleentuminen viivästyy, joka heikentää perunan laatua.

Tässä Maa- ja metsätalousministeriön (Makera) tutkimushankkeessa tutkittiin perunan kasvinvuorotuksen, maanmuokkausmenetelmien sekä metsä- ja puuteollisuuden sivutuotteina saatavan biohiilen, biotuhkan, kuitulietteen ja kuitusaven lisäämisen vaikutusta maan ravinnetilaan, vesitalouteen, tiivistymien estämiseen ja tiivistymien korjaamiseen sekä ravinteiden käyttökelpoisuuden parantamiseen. Toisena osiona tutkimushankkeessa tutkittiin menetelmiä eloperäisestä sulfaattimaasta mobilisoituvan typen sitomiseksi niin, ettei se viivästyttäisi perunan tuleentumista ja sitä kautta aiheuttaisi sadon laatutappioita.

Pellon tiivistymistä osoittavat maan vedenjohtavuusmittaukset tehtiin K_{sat} -menetelmällä (painegradientti vakio) ja vedenpidätysmittaukset ali- ja ylipainemenetelmillä jankosta 30 cm syvyydeltä otetuilla rakenteellisilla maanäytteillä. Lisäksi juuristonäytteet ja pohjamaan rakennenäytteet otettiin 22 cm:n halkaisijaltaan olevalla teräslieriöllä 70 cm:n syvyyteen saakka. Maan tiivistymiä mitattiin myös penetrometrillä kolme kertaa kasvukauden aikana. Penetrometrin mittaustulos vakioitiin maan kosteuden perusteella mittaamalla maan kosteus percometrillä kolmesta eri syvyydestä.

Maanparannusaineiden vaikutuksia maan ravinnepitoisuuteen tutkittiin sylinterikokeilla pellossa. Maalajiltaan ja olosuhteiltaan perunantuotantoon soveltuvilla pelloilla upotettiin maahan 50 cm:n halkaisijaltaan, pohjasta auki olevia lieriöitä, jonka pintamaahan sekoitettiin tutkittavana olevia maanparannusaineita. Kuhunkin lieriöön istutettiin kolme siemenmukulaa. Lieriössä kasvatettiin perunoita. Satomittauksen lisäksi ravinnemittauksia otettiin sekä mukulasadosta että maa-aineksesta.

Maanmuokkausmenetelmät ja pohjamaahan lisätyt metsä- ja puuteollisuuden sivutuotteet vähensivät tiivistymiä, mutta niiden vaikutus kesti vain kaksi vuotta. Sen sijaan vilja- ja nurmiviljelykierrolla saatiin tiivistymiä vähennettyä pitkäaikaisesti. Erittäin tiivistyneessä pohjamaassa perunantuotannon monokulttuuripelloilla ei tiivistymiä voitu millään muokkausmenetelmällä parantaa.

Kaikki suoritettut maanmuokkaustoimenpiteet vähensivät typen kulkeutumista pelolta valumaveden mukana. Jo pelkkä jankkurointi on vähentänyt typen huuhtoutumista, mutta maanparannusaineiden lisäykselläkin näyttäisi olleen lisäksi pieni typen huuhtoutumista vähentävä vaikutus.

Jankkurointi ja metsäteollisuuden sivutuotteiden lisääminen pohjamaahan ei vaikuttanut koeruutujen perunasatoon, mutta kahden vuoden viljanviljelykierto paransi perunasatoa keskimäärin 5 t/ha ja nurmiviljelykierto keskimäärin 12 t/ha. Tulokset olivat tilastollisesti merkitseviä.

Sylinterikokeen perusteella maanparannusaineiden vaikutukset maaperän ravinnetilaan eivät tässä tutkimuksessa olleet huomattavia, mutta selviä eroja käsittelyiden välillä kuitenkin oli. Kuituliete- ja kuitusavikäsittelyt nostivat maan pH-, P-, K-, Ca- ja Mg-pitoisuuksia eli ne vaikuttivat tehostavan ravinteiden liikkuvuutta, mutta oletettavasti korkean pH:n ja johtoluvun takia ravinteet eivät kulkeutuneet kasviin tai satoon.

Kun pohjamaa on typpirikasta hapanta sulfaattimaata ja muokkauskerros on multamaata, ei typen mobilisaation haittavaikutuksia kyetty tutkimuksessa estämään muokkauskerrokseen sekoitetulla oljella, sahajauholla, tai perunapenkkien välikasviksi kylvetyllä ”typpisieppari”-kasvilla. Peruna kykenee käyttämään tehokkaasti hyväkseen kaiken saatavilla olevan typen ja siksi myöhään kasvukaudella saatavilla oleva typpi aiheuttaa ongelmia kasvuston tuleentumisen viivästymisen kautta.

Hankkeen taloustutkimusosion mukaan ruokaperunantuotannossa yksivuotinen viljanviljelykierto kerran kolmessa vuodessa on juuri ja juuri kannattavaa, mutta erityisesti nurmiviljelykierto siten, että kolmannes perunantuotantoalasta nurmiviljelykierrossa, on hyvin kannattavaa. Tärkkelysperunantuotannossa, jossa kannattavuus perustuu enemmän suoraan hehtaarikohtaiseen tulotukeen kuin tuotteen myyntituloon, tarvitsisi viljelykiertoon kannustavan tuen.

Avainsanat: maanparannus, tiivistymät, jankkurointi, syvämuokkaus, maanparannusaineet, kasvinvuorotus, perunantuotanto, monokulttuuri.

1. TAUSTAA

Hyvälaatuinen maa luo perustan kannattavalle perunanviljelylle. Hyvälaatuisessa maassa sekä vesi että ilma pääsevät liikkumaan ja siellä on suotuisat kasvuolot kasvien juuristolle ja maan mikrobeille. Hyvärakenteisessa maassa juuret pääsevät ottamaan ravinteita laajalta alueelta ja ravinteita pidätty kationinvaihtopinnoille kasvin käyttöön niin, että ravinteiden huuhtoutuminen sekä ympäristökuormitus ovat mahdollisimman vähäistä.

Vaikka osa perunan juurista voi hyvälaatuisessa massa ulottua jopa metrin syvyyteen, pääosin peruna on matalajuurinen kasvi, jonka vedensaanti kuivana kautena edellyttää riittävän nopeaa kapillaarista vedennousua maan syvemmistä kerroksista pintamaahan. Muokkauskerroksen korkea humuspitoisuus parantaa maan rakennetta, lisää kationinvaihtokapasiteettia ja parantaa maan kykyä varastoida vettä. Kun maa on humuspitoista ja huokoista, juuret pääsevät kasvamaan maassa syvälle ja laajalle, mikä lisää niin veden kuin ravinteiden saantia.

Ammattimaisessa perunantuotannossa ongelmana on monokulttuuri. Esimerkiksi Suupohjan alueella jopa 52 prosenttia perunapelloista on jatkuvassa perunanviljelyssä ilman, että viljelykiertoa harjoitetaan lainkaan (Tuomisto & Huitu 2008). Perunantuotannossa maan käsittely on myös intensiivistä, mikä yhdessä monokulttuurin kanssa aiheuttaa maan tiivistymistä. Monokulttuuri kuluttaa maan humusta. Peruna on hentojuurinen, maata huonosti muokkaava kasvi, joka korjataan usein sateiden vaivaamasta maasta painavilla ja tärisevillä nostokoneilla syksyllä, jolloin pohjamaa on altis tiivistymään. Tiivistymät huonontavat maan vesitaloutta: vesi pääsee huonosti kulkemaan tiivistymän läpi kumpaankaan suuntaan, jolloin sateella maa on märkää ja kuivalla kaudella kuivaa. Sateella valumavedet huuhtovat ravinne- ja humusrikasta pintamaata vesistöihin eikä kuivalla jaksolla kasvin juuristo kykene käyttämään maan ravinteita hyväkseen. Tiiviissä maassa kasvin juuret eivät pääse riittävän syvälle: ravinteiden ja veden otto heikkenee ja juuristo on altis kuivumaan kuivana kautena (Van Loon et al. 1978; Boone 1978). Tiivistymät aiheuttavat maassa pelkistäviä olosuhteita, jolloin nitraattitypeä karkaa denitrifikaatiota aiheuttavien olosuhteiden vuoksi typen oksideina ilmaan. Typen oksidit ovat voimakkaita kasvihuonekaasuja. Humuksen kadotessa maan vedenpidätyskyky heikkenee, ravinteet ovat alttiita huuhtoutumaan ja kationinvaihtokapasiteetin pienenemisen takia kasvien ravinteiden käyttökyky heikkenee. Peltojen orgaanisen aineksen, ja samalla sen arvokkaimman osan eli humuksen hidastuminen, mutta selvä väheneminen on todettu mm viljavuustutkimuksissa viime vuosikymmenten aikana.

Elokuussa 2012 järjestettiin Vaasassa seitsemäs kansainvälinen happamien sulfaattimainen konferenssi (IASSC – 7th International Acid Sulfate Soil Conference), jossa myös PETLA oli yhtenä vierailukohteena, (<http://projects.gtk.fi/7iassc/>). Pohjanmaan perunanviljelyalueet sijaitsevat sulfaattimaa-alueilla, joissa maan muokkaus ja kuivatus aiheuttavat erityisen suuria haasteita.

Virtanen ym. 2012 on osoittanut, että happaman sulfaattimaan pohjamaassa hehtaaria kohti lasketut orgaanisen hiilen kokonaistypen ja mineraalitypen varannot ovat huomattavasti suuremmat kuin tavanomaisen peltomaan pohjakerroksessa. Myös pohjamaan mikrobiaktiivisuus oli happamassa sulfaattimaassa suurempi kuin tavanomaisessa maassa (Virtanen ym. 2012). Jos pohjamaan olosuhteet muuttuvat mikrobeille ja juurten kasvulle suotuisiksi, runsaita ravinnevarantoja voi mobilisoida kasvien käyttöön. Viljeltyjen happamien sulfaattimaiden ravinnetaloutta on tutkittu vasta vähän. Alustavat tulokset osoittavat, että lisätutkimuksille on tarvetta.

Peruna viljellään pääasiassa Suomen rannikkoseuduilla, jossa maalaji on karkeaa hietaa. Perunan viljely on keskittynyttä, eikä perunanviljelytiloilla harjoiteta riittävää viljelykiertoa. Osalla tiloista viljellään vain perunaa, toisilla tiloilla taas voi olla riittävästi peltoa viljelykierron toteuttamiseksi, mutta silti perunantuotanto on keskittynyttä samoille peltolohkoille. Syitä tähän ovat muun muassa se, että kaikki tilan pellot eivät ole maalajiltaan perunanviljelyyn soveltuvia (Tuomisto & Huitu 2008; Tuomisto 2011). Useat tutkimukset osoittavat, että intensiivinen tuotanto keskittyy maatilan talouskeskuksen ympärille (mm. Myyrä 2001). Perunan kuljetusmäärät ovat suuria ja sekä teknisten että taloudellisten syiden takia perunantuotanto keskittyy lähelle talouskeskusta (Tuomisto & Huitu 2008; Tuomisto 2011). Liitteen 1 kuviossa 1 on esitetty keskeiset perunanviljelyalueet Suomessa. Liitteen 1 taulukossa 1 on esitetty valitut seitsemän aleen kokonaispinta-ala, peltopinta-ala ja perunalat. Liitteen 1 kuvion 1 ruutujen alueella tuotetaan puolet koko Suomen perunantuotannosta. Liitteen 1 taulukossa 2 on esitetty monokulttuurin esiintyminen eri perunantuotantoalueilla.

Monokulttuurissa maan rakenne huononee ja pieneliötoiminta heikkenee (Lemola ym. 2000). Samalla maan ravinnetila vääristyy: fosfori lisääntyy ja kalium, magnesium sekä kalsium vähenevät. Tuomiston (2011) mukaan taloudelliset syyt ajavat perunantuotannon monokulttuuriin perunantuotantoalueilla. Ammattimaisilla perunantuottajilla on kehittynyt vuosikymmenten ammattitaito perunan tuotantoon ja jatkojalostukseen, koneet ja rakennukset hankittu vain perunantuotantoa varten ja perunamarkkinoiden sopimukset ja asema perunamarkkinoilla on vakiinnuttanut maatilojen tuotannon perunakeskeiseksi. Muiden viljelykasvien viljely on taloudellisesti vähemmän kannattavaa kuin perunantuotanto, siksi kasvinvuorotus ei ole ollut kannattavaa. Yhteiskunnan ja ympäristönhoidon kannalta voisi kuitenkin olla kannattavampaa, että perunanviljelijä harjoittaisi peltolohkoillaan viljelykiertoa. Samoin viljelykierto voisi perunanviljelijällekin olla kannattavaa pitkällä aikavälillä. Epätäydellinen informaatio usein ajaa perunanviljelijät tekemään lyhyen tähtäimen ratkaisuja (Tuomisto 2003).

Vuonna 2007 esitettiin peltojen kasvukunnon parantamista ympäristötuen lisätoimenpiteeksi. Yhtenä esimerkkinä oli tuolloin yksipuoliseen tuotantoon erikoistuneiden tilojen lisääntyminen. Näiden tuotantotilojen maiden rakenteiden ylläpitoon olisi oltava ohjausta ja keinoja. Vaikka mekaanisesti muokkaamalla saatu mururakenne onkin kasvinvuorotusta (luonnollisten prosessien muovaama

rakenne) heikompi vaihtoehto, se saattaa olla pahiten tiivistyneiden viljelymaiden toimenpiteenä mururakenteeseen nopeimmin vaikuttava.

Norjalaisten tutkimusten (Hansen 1996) mukaan maan tiivistäminen vähensi ilmahuokosten osuuden 12 prosentista 7 prosenttiin. Maan rakenteessa maahuukkasten ja maa-aggregaattien väliin jäävillä huokostiloilla on oleellinen rooli mm. veden ja ravinteiden saantiin. Kasveille käyttökelpoinen vesi on sitoutunut keskikokoisiin huokosiin, kun taas isoimmat huokokset (makrohuokokset) ovat ilman täyttämiä ja mahdollistavat kasvien juuriston kasvun. Kaikkein pienimpiin huokosiin pidättyntä vettä kasvit eivät edes pysty käyttämään. Jo tiivistyneiden maiden viljelykuntoon saattaminen luonnollisten prosessien (mikrobit, kasvien juuret, lierot, routiminen) avulla on ajallisesti pitkäkestoinen. Vaihtoehtona voisi olla maan mekaaninen käsittely ja jatkotoimenpiteenä muut maan rakennetta muokkaavat toimenpiteet. Taloudellisesti kannattavien, maan rakennetta parantavien maanmuokkausmenetelmien, vuoroviljelyn tai muiden maahan humusta tuottavien biomassojen käyttö, niiden tutkiminen ja tukipolitiikan mallintaminen olisi ensiarvoisen tärkeää.

Maahuokosten määrä ja koko ovat tärkeitä myös, kun tarkastellaan maan rakenteen vaikutusta veden liikkumiseen maassa. Kyllästetyssä tilassa huokokset ovat täynnä vettä. Maata kuivattaessa ensin tyhjenevät suuret huokokset, ja vasta sitten pienet huokokset. Yleensä ojituksen avulla pystymme ottamaan veden pois suurista huokosista. Pieniin huokosiin taas vesi pidättyy voimakkaasti, mutta veden liikkuvuus on heikko. Hietamaissa taas veden kapillaarinen nousu on voimakasta. Perunaa viljellään pääosin karkeilla mailla, jossa on paljon suuria huokosia. Karkea maa voi kuitenkin liettyä voimakkaasti, jopa niin voimakkaasti, että siitä ei pääse vesi läpi. Tämä johtuu siitä, että vaikka karkeissa maissa on paljon isoja huokosia, sieltä puuttuvat todella isot huokokset. Maan laadun huomioiminen on tunnistettava, jotta voidaan tehdä ratkaisut, mitä toimenpiteitä pitää tehdä ongelmien korjaamiseksi.

Maan rakennetta huonontavat erityisesti

- Ojituksen toimimattomuus, joka lisää tiivistymisriskiä ja heikentää biologista aktiivisuutta.
- Eloperäisen aineksen puute, joka heikentää maan biologista aktiivisuutta ja vedenpidätyskykyä.
- Voimakas tiivistäminen painavilla koneilla, joka rikkoo makrohuokosia,
- Voimakas muokkaus ja hiertäminen, jotka rikkovat luontaisen rakenteen ja altistaa liettymiselle sekä lisää eroosioriskiä.
- Alhainen pH, joka haittaa kasvien kasvua ja vaikuttaa maan biologiseen aktiivisuuteen

Useat tutkimukset osoittavat, että pelkkä pohjamaan muokkaaminen syvämuokkaustekniikkaa käyttäen ei auta pitkäaikaisesti maan tiivistymien poistamiseen. Lisäksi maahan pitää lisätä eloperäistä ainesta.

Maan rakennetta, tiivistymiä, vesitaloutta ja viljelykiertoa on tutkittu monissa kansainvälisissä ja suomalaisissa tutkimuksissa. Esimerkiksi Huotari (2012) on koonnut tutkimuskoosteen tuhkan käytöstä metsälannoitukseen ja Näsi (2004) on tutkinut tuhkalannoituksen vaikutusta maan ravinnetalouteen suomalla. Monet yritykset, kuten Apila Group OY Ab ja Humuspehtoori Sekä Tyynelän tila (Juuso Joonas) ja Tuomas Mattila ovat tehneet ja teettäneet kolmansilla osapuolilla selvityksiä metsäteollisuuden sivutuotteiden, kuten kuitusaven ja kuitulietteen sekä kasvinvuorotuksen käytöstä maanparannuksessa. Tässä tutkimuksessa kuitenkin keskitytään moniin sellaisiin asioihin, jotka ovat jääneet aikaisemmissa tutkimuksissa vähemmälle huomiolle: perunantuotannon monokulttuuria, syvämuokkausta, hiilipitoisen ja rakeistetun materiaalin käyttöä maanparannusaineena sekä pinta- että pohjamaassa ja kasvinvuorotusta sekä näiden yhdistelmiä perunantuotannossa.

2. TUTKIMUKSEN TAVOITE

Tämä tutkimushanke koostuu useasta erilaisesta, toisiaan täydentävistä, osahankkeesta. Niissä tutkitaan perunan kasvinvuorotuksen, maanmuokkausmenetelmien, sekä maanparannusaineiden lisäämisen vaikutusta maan humuksen ylläpitoon, maan vesitalouteen, tiivistymisen estämiseen ja tiivistymien korjaamiseen sekä ravinteiden käyttökelpoisuuden parantamiseen. Hankkeessa tutkitaan myös menetelmiä typen mobilisaatiosta aiheutuvien haittojen vähentämiseksi perunantuotannossa sulfaattimailla tai runsastyypisillä eloperäisillä mailla.

Hankkeessa tutkittiin erilaisia menetelmiä maanparannukseen perunantuotannossa sekä niiden ympäristöllisiä ja taloudellisia vaikutuksia. Tutkittavia asioita ovat:

1. Syvämuokkaus ja kevytmuokkaustekniikoiden käyttö maanparannusmenetelmänä
2. Eloperäisen aineksen lisääminen tai kerryttäminen maahan.
3. Biohiilen ja biotuhkan käsittely (rakeistaminen), levitys- ja sijoitusmenetelmät sekä niiden käyttö maanparannusaineena
4. Kuitulietteen käyttö maanparannusaineena
5. Kuitusaven käyttö maanparannusaineena
6. Kasvinvuorotus maanparannuksessa
7. Olkisilpun ja sahanjauhon käyttö maanparannuksessa ja osana typen mobilisaation hallintaa
8. Typen mobilisaation säätely alus- ja kaistakasveilla (kombiviljelyllä)

Tavoitteena on myös selvittää maanparannusaineiden lisäämisen mahdollisia vaikutuksia pelloilta lähtevän valumaveden laatuun sekä selvittää taloudelliset kannustimet maanparannukseen.

Hanke toteutetaan Perunantutkimuslaitoksen, Helsingin yliopiston, Luke Oulun ja Suomen ympäristökeskuksen kanssa. Maanparannusaineiden tuottaminen ja tutkimus on toteutettu alihankintana Oulun yliopiston kemian laitokselta.

Hankkeessa on toteutettu seuraavat työpaketit:

1. *Jankkuroinnin, maanparannusainelisäyksen ja kasvinvuorotuksen kenttäkoe*, jonka suoritti Petla. Kokeessa tehtiin laaja 18 koejäsenen kenttäkoe neljällä kerranteella. Tutkimuksessa selvitettiin, miten jankkurointi, maanparannusaineiden lisäys pohjamaahan, kyntökerroksen alle sekä viljelykierto vaikuttavat perunasadon määrään, laatuun sekä perunan juuriston kasvuun. Helsingin yliopiston vastuulla työpaketissa oli tutkia maan vedenpidätyskykyä ja vedenjohtavuutta pelloilta otetuilla näytteillä laboratoriossa. Suomen ympäristökeskuksen vastuulla oli tutkia ravinteiden valuntamittausta lieriömittauksella laboratoriossa.
2. *Maanparannusaineiden sylinterikoe*, jonka suoritti Luke Oulu yhteistyössä Oulun yliopiston kemian laboratorion kanssa. Kokeessa tehtiin laaja asiakoe, jossa tutkimuksella selvitettiin, voivatko maahan sekoitetut maanparannusaineet parantaa ravinteiden pidätyskykyä ja käyttökelpoisuutta kasveille.
3. *Maanmuokkauskoe tiivistyneellä perunantuotannon monokulttuurilohkolla*, jonka suoritti Petla. Tutkimuksessa selvitettiin, voidaanko erilaisilla muokkausmenetelmillä vähentää tiivistymiä ja vaikuttaa sadon määrään ja laatuun perunantuotannon monokulttuurilohkolla.
4. *Typen mobilisaation haittoja rajoittavien menetelmien kenttäkoe*, jonka suoritti Petla. Kokeessa selvitettiin, voidaanko maahan sekoitetulla oljella, sahajauholla tai perunapenkkiin väliin kylvetyllä typensitojakasvilla vähentää typen liiallisesta mobilisoitumisesta aiheutuvia haittoja perunantuotannossa.
5. *Maan vaihtuvien kationien mittausta ioninvaihtotikuilla*, jonka suoritti Helsingin yliopisto. Tavoitteena oli kationinvaihtotikkujen käyttökelpoisuuden testaaminen ravinteiden hyväksikäytön mittaamisessa.
6. *Taloustutkimus*. Petlan tehtävänä oli selvittää, mitkä hankkeessa tutkittavat maanparannusmenetelmät ovat hyödyllisiä sekä viljelijän talouden että ympäristön kannalta ja selvittää, miten tukipolitiikalla voidaan vaikuttaa maanparannuksen tavoitteiden toteutumiseen.

3. TUTKIMUSOSAPUOLET JA -YHTEISTYÖ

Hankkeen vastuullisena johtajana ja toteuttajana oli Perunantutkimuslaitos, joka vastasi hankkeen seuraavien osioiden toteuttamisesta:

1. Jankkuroinnin, maanparannusainelisäyksen ja kasvinvuorotuksen kenttäkokeen perustaminen, viljelytyöt, hoitotyöt, kasvustohavainnot, tiivistymämittaukset, kosteusmittaukset, näytteiden otto, sadonkorjuu ja sadon analysointi.
2. Maanmuokkauksoikeuden toteutus perunanviljelijän pellolla tiivistyneellä perunantuotannon monokulttuurilohkolla: kenttäkokeen perustaminen yhdessä viljelijän kanssa, tiivistymämittaukset, kosteusmittaukset, näytteiden otto, sadonkorjuu ja sadon analysointi
3. Typen mobilisaation haittoja rajoittavien menetelmien kenttäkoe: kenttäkokeen perustaminen, viljelytyöt, hoitotyöt, kasvustohavainnot näytteiden otto, sadonkorjuu ja sadon analysointi. Sadon typpimääritys tehtiin Seilabin laboratoriossa Seinäjoella.
4. Maan vaihtuvien kationien mittaaminen ioninvaihtotikuilla: kationinvaihtotikkujen asennus maahan eri perunapelloille. Tikut analysoitiin Western AG:n laboratoriossa Kanadassa.
5. Taloustutkimus. Taloustutkimusosiot tehtiin yhteistyössä Luke Taloustutkimuksen kanssa.

Helsingin yliopisto toteutti hankkeesta seuraavat toimenpiteet:

1. Jankkuroinnin, maanparannusainelisäyksen ja kasvinvuorotuksen kenttäkokeesta tehdyt kylläisen maan vedenjohtavuusmittaukset K_{sat} -menetelmällä (painegradientti vakio) ja vedenpidätysmittaukset ali- ja ylipainemenetelmillä (pF 0, 1, 2 ja 4.2) jankosta 30 cm syvyydeltä otetuilla rakenteellisilla maanäytteillä.
2. Hankkeen koekentiltä pintamaanäytteiden maa-analyysien kationinvaihtomittaukset.

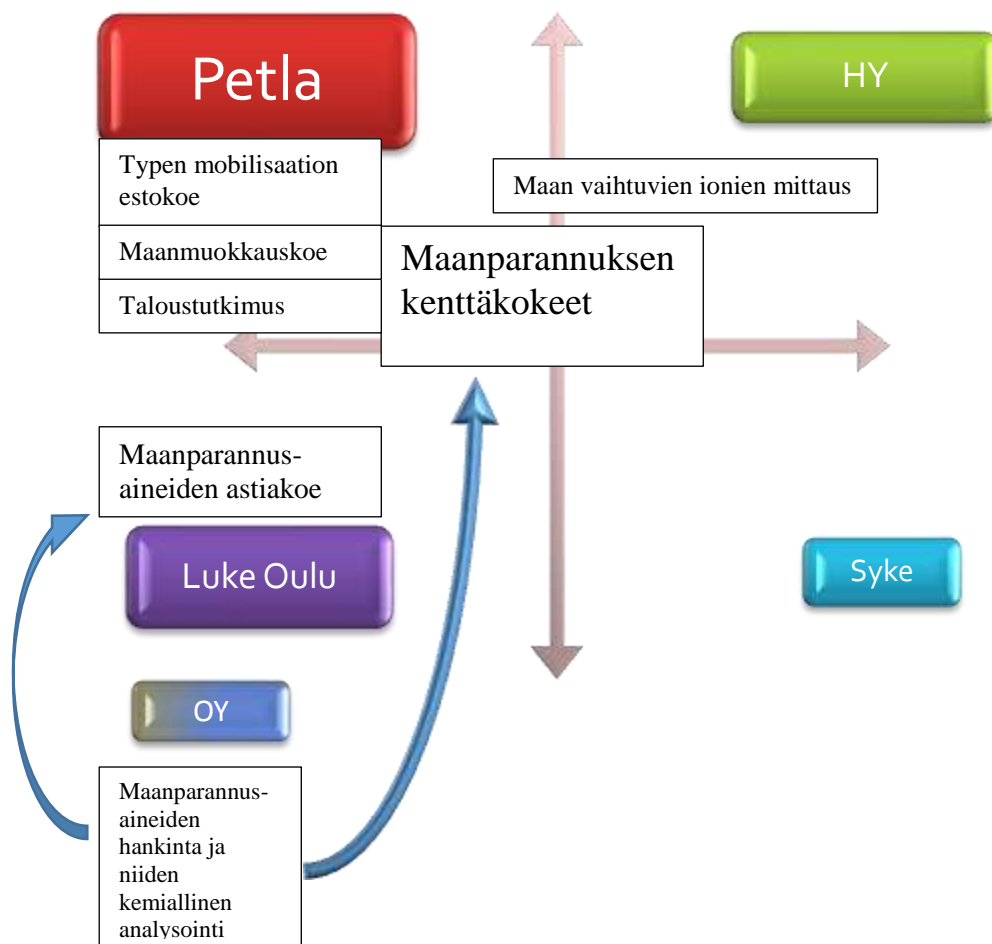
Luke Oulu suoritti hankkeen sylinterikokeen, jossa lieriökasvatuksessa testattiin erilaisten metsäteollisuuden sivutuotteiden maanparannusaineena silloin, kun maanparannusaine on sekoitettuna muokkauskerrokseen

Tutkimuksen alihankintatyönä Oulun yliopisto tuotti ja rakeisti tutkimuksessa käytettävät metsäteollisuuden sivutuotteet ja teki niistä kemialliset analyysit. Metsäteollisuuden sivutuotteita käytettiin tässä tutkimuksessa jankkuroinnin, maanparannusainelisäyksen ja kasvinvuorotuksen kenttäkokeessa ja Luke Oulun toteuttamassa lieriökasvatuskokeessa.

SYKE on selvittänyt yhteistyössä Luken kanssa maanparannusaineiden vaikutuksia sylinterikokeiden maa-aineksesta uuttamalla muodostetun valumaveden laatuun suorittamalla uuttokokeet ja uuttojen jälkeiset vedenlaatuanalyysit. Hankkeessa tehtiin myös yhteistyötä SYKEN ja Helsingin yliopiston välillä määrittäessä maanparannusaineiden lisäyksen ja jankkuroinnin vaikutuksia maaperän

vedenjohtavuuteen. Petlan henkilöstö avusti SYKEN tutkijoita koejärjestelyn suunnittelussa ja käytännön toteutuksessa.

Kuvassa 1 on esitetty eri tutkimusosapuolten osuus ja työpaketit koko hankkeesta. Kuvan neliömatriisissa on esitetty hankkeiden toteuttajat ja eri työpakettien osuudet tekijäkohtaisesti.



Kuva 1. Maanparannushankkeen työpaketit ja toteuttajat. (Kaaviossa olevan laatikon ja tekstin koko kertoo työpakettien ja toteuttajien suhteelliset osuudet koko hankkeesta)

4. TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

4.1. Tutkimuksessa käytettävien maanparannusaineiden kemiallinen analyysi

Perunantutkimuslaitoksen toteuttamassa jankkuroinnin, maanparannusainelisäyksen ja kasvinvuorotuksen kenttäkokeessa sekä Luke Oulun toteuttamassa maanparannusaineiden sylinterikokeessa käytettiin maanparannusaineina biohiiltä, biotuhkaa, kuitusavea ja kuitulietettä. Tässä kappaleessa esitetään, mitä nämä maanparannusaineet ovat ja mitkä ovat niiden kemialliset ominaisuudet.

Maanparannusaineiden hankinnan tutkimukseen ja niiden kemiallisen analyysin teki Oulun yliopiston kemian laboratorio. Oulu yliopisto on tehnyt tästä asiasta myös erillisen loppuraportin.

4.1.1. Tutkimuksessa käytetyt maanparannusaineet

1. Biohiili

Biohiili on termisesti käsitelty biomassapohjainen tuote. Biohiiltä muodostuu biomassan kaasutuksessa ja pyrolyysipolttoainetuotannon sivutuotteena. Biohiilen eri teollisiin sovellutuksiin liittyvää laajaa tutkimusta tehdään parhaillaan mm. Oulun yliopiston vetämässä Bioreducer-hankkeessa.

Musta, huokoinen biohiili on kuivatislauksen kiinteä jäännös, jossa alkuainehiiltä on yleensä 85–90 prosenttia (Helenius 2010; Kilpimaa ym. 2011) Biohiilen huokoisuudesta johtuen sillä on suuri pinta-ala, jolloin sen ravinteiden pidätyskyky ja kationinvaihtokapasiteetti ovat hyviä (Vilppo 2012; Kilpimaa 2011). Biohiilen lisääminen maahan on myös ilmastonsuojellisesti kannattavaa. Yksi tonni biohiiltä vastaa noin 3–3,5 tonnin hiilidioksidipäästöjä (Preto 2008). Menetelmä parantaa huomattavasti maatalouden kasvihuonekaasutasetta, sekä edesauttaa N₂O- ja CH₄-päästöjen vähentymistä. Maan viljavuuden ja viljelykasvien sadon nousu, lannoitustarpeen pienentyminen, vesitalouden parantuminen ja maan kationinvaihtokapasiteetin lisääntyminen voivat parantaa satoja huomattavastikin. (Preto 2008; Starck 2010; Helenius 2010). biohiilen vaikutukset riippuvat hyvin paljon lähtöaineesta ja pyrolyysiprosessista. Biohiilen vaikutukset maaperään riippuivat maaperätyypistä. Van Zwietenin 2010 mukaan sillä kuten aiemmin on todettu, biohiilten positiivinen vaikutus tulee esiin vahvasti maaperän happamuuden muutoksen kautta. Happamissa maissa se nostaa pH:ta ja lisäsi kationivaihtoa parantaen näin sekä maan laatua että satoja. (Van Zwieten *et al.* 2010.)

2. Biotuhka

Biotuhkaksi voidaan kutsua biomassan eli metsä- ja peltobiomassan, turpeen sekä niiden poltossa sekä joskus myös biokaasutuksessa syntyviä tuhkia. Suomessa syntyy tällä hetkellä noin 600 000 tonnia biotuhkaa (puu-, turve- ja niiden sekatuhkaa).

FA Forest Oy, joka valmistaa Ecolan-tuotteita, jotka ovat rakeistettua polttotuhkaa, on yhdessä Oulun yliopiston Kemian laitoksen kanssa kehittänyt menetelmän valmistaa uusia biotuhkapohjaisia tuotteita, joihin on lisätty käyttökohteen mukaan sopivia kemikaaleja, jotka vahvistavat tuhkan haluttuja ominaisuuksia. Rakeistetun biohiilen sekä biotuhkan ja biotuhkapohjaisten tuotteiden levittäminen pellolle on teknisesti helposti toteutettavissa.

Tutkimustulosten mukaan rakeistettu biohiili ja biotuhka pitävät olomuotonsa pitkään, ja niillä on huokoisuutensa takia laaja pinta-ala ja siten paljon ravinteiden pidätyskykyä (Vilppo 2012; Kilpimaa ym. 2011; Kuokkanen T. *et al.* 2012). Rakeinen biohiili ja biotuhka voidaan myös ”ladata” ravinteilla. Fosforia voidaan sitoa esimerkiksi valumavesistä biohiileen ja -tuhkaan ja sitä kautta ravinteet voidaan palauttaa takaisin peltoon (Kuokkanen T. *et al.* 2012). Rakeisuutensa ansiosta biohiilellä ja -tuhkalla voitaisiin parantaa myös muokkauskerroksen alaista pohjamaata. Muokkauskerroksen alapuolella olevia tiivistymiä voidaan rikkoa syväkynnöllä (10–15 cm tavallista syvempään) tai jankkuroimalla (30–60 cm syvyyteen) ja samalla rakeinen biohiili voidaan syöttää kyntökerroksen alle. Näiden toimenpiteiden jälkeen maa vaatisi aikaa tasapainottuakseen rakenteeltaan ja yleensä suositellaankin mm. useamman vuoden viherkesannointia. Rakeisen biohiilen tai -tuhkan syöttäminen syväkyntö- tai jankkurointivaiheessa mekaanisesti käsiteltyyn maahan nopeuttaisi maan rakenteen uudelleen muodostumista sekä lisäisi hiilipitoisuutta. Samalla hiilen sitominen maahan toisi ilmastohyötyjä. Biohiilet maaperässä muun muassa parantavat vedenpidätyskykyä ja sitovat metalleja itseensä (Beesley *et al.* 2010)

Tutkimusten mukaan esimerkiksi Oulun Energian tuottama tuhka oli soveltuvaa maanparannusaineeksi haitallisten aineiden enimmäispitoisuuksien suhteen. Ainoastaan arseenilla raja-arvot ylittyivät niukasti (Karvonen ym. 2011) Suurin osa tuhkan sisältämistä haitallisista alkuaineista on rikastunut hienoon jakeeseen, ja siten hienoa jätettä poistamalla (esimerkiksi ilmalajittelulla) tuhkan haitta-ainepitoisuuksia voidaan pienentää. Myös puun kuorinnalla ja puutavaralajivalinnalla voidaan vaikuttaa tuhkan haitta-ainepitoisuuksiin.

Biotuhkaksi voidaan kutsua metsä- ja peltobiomassan sekä näiden ja turpeen poltossa syntyntä jätettä. Biotuhka voidaan jakaa edelleen pohja- ja lentotuhkaan, joista edellinen on karkeampaa, mutta lentotuhka erittäin hienojakoista. Tällä hetkellä Suomessa syntyy biotuhkaa yhteensä noin 600 000

tonnia, mutta uusiutuvan energian lisääminen tulee lisäämään vastaavasti myös biotuhkan määrää. Nykyisen v. 2011 voimaan tulleen jäteverolain mukaan jätevero koskettaa nyt myös voimalaitostuhkia, mikä on ollut omiaan aktivoimaan erilaisten, erityisesti biotuhkien hyödyntämishankkeita. Vastaavasti 1.5.2012 voimaan tullessa uudessa jätelaissa määritellään, millä ehdoilla materiaali pääsee ”vähemmän houkuttelevasta” jäte-statuksesta ja siitä tulee teollisuuden sivutuotetta, jonka hyödyntäminen puolestaan edellyttää Reach-asetuksen mukaista rekisteröintiä. Tällaisessa konsortiossa on vastikään ollut mukana peräti yli 70 tuhkan tuottajaa ympäri Eurooppaa. Tämä osoittaa, miten voimakkaassa nosteessa tuhkien hyödyntäminen globaalisti ja erityisesti EU:ssa tällä hetkellä on (Kuokkanen et al 2012).

3. Kuituliete (*Ligniini*)

Kuituliete oli sellutehtaan prosessista läpimennyttä puukuitulietettä, jotka sisältävät ligniiniä. Niitä voidaan paikallisesti käyttää maanparannusaineena ja hiilen sitomiseen maahan biohiilen tavoin. Ligniini on erittäin hitaasti maassa hajoavaa. Se on tärkein osa humuksen pääainesta. Bioteknisesti modifioitu kuituliete on valmistettu entsyymaattisesti käsittelemällä puukuitulietettä ja tätä lähtöainetta on käytetty Suomessa yleisesti maanparannusaineena (mm. Humuspehtoori).

4. Kuitusavi

Kuitusavi on paperitehtaan jätevedenpuhdistuksen mekaanisessa esiselkeytyksessä muodostuvaa primäärilietettä, joka on pääosin kalsiumkarbonaattia (85 %) ja selluloosakuitua (15 %). Keskikokoisesta paperitehtaasta sitä muodostuu vuosittain 30 miljoonaa kiloa. Kuitusavella on selkeä kalkitusvaikutus. Sitä voidaan käyttää kalkin asemasta ja ilmaston kannalta ekologisenä vaihtoehtona, sillä kalkkitonnin valmistuksessa vapautuu 400m³ hiilidioksidia.

Kuvassa 2 on esitetty tässä tutkimuksessa testatut maanparannusaineet: biohiili, biotuhka, kuitusavi ja kuituliete. Kappaleeseen 4.1.2 on koottu lyhyesti informaatiota eri maanparannusaineista. Ennen maanparannusaineiden toimittajien valintaa tehtiin laaja kartoitus mahdollisista toimittajista ja heidän kiinnostuksestaan tähän tutkimushankkeeseen. Biotuhkien kohdalla potentiaalisia toimittajia oli useita, mutta tutkimuksen kannalta ongelmallista oli, että useampien potentiaalisten toimittajien tuhkat ovat turve-puu-seostuhkia, joiden koostumus voi vaihdella suuresti. Valituksi tuli FA Forest Oy, joka on rakeistettujen tuhkien ja tätä kautta Ecolan-tuotemerkin alla tuotteistettujen biotuhkatuotteiden edelläkävijä useine tuhkatuotteineen. Vastaavasti biohiilen kohdalla tällä hetkellä on menossa vilkas tutkimustoiminta uusien kustannustehokkaiden tuotteiden kehittämiseksi, mutta valittu toimittaja Charcoal Finland Oy osoittautui ainoaksi, joka tämän tutkimusprojektin aikataulun puitteissa pystyi toimittamaan biohiiltä määräaikaan mennessä. Kuitusaven kohdalla toimittajaksi valikoitui globaalin metsäjätin Stora-Enso Oy:n Veitsiluodon tuotantolaitos, joka ei käytä

tuotannossaan eukalyptuspuuta poiketen tässä mm. Stora Enso Oy:n Oulun tuotantolaitoksen raaka-aineesta. Kuitulietteen toimittajana toimi Mfibrils Oy, jonka modifioitu tuote on sellu- ja paperiteollisuuden sivutuotteena syntyvä rejektikuitu, jolle yrityksellä on olemassa jo useita sovellutuksia. Todettakoon kuitenkin, että tässä tutkimuksessa käytetty Mfibrilsin kuitulietteraaka-aine (Varkauden tuotantolaitokselta) sisälsi hieman myös biolietettä, jota tavallisesti ei esiinny kuitulietteen seassa.



Kuva 2. Testatut maanparannusaineet: biohiili, biotuhka, kuitusavi ja kuituliete.

4.1.2. Tutkittujen maanparannusaineiden määrittymenetelmät

Näytteiden pH (L/S-suhde 1:2,5 ja 1:5) ja johtokyky (L/S-suhde 1:2,5) määritettiin pH/EC -kombinaatioanalysaattorilla käyttäen Thermo Orion Sure Flow pH-elektrodiä (Turnhout, Belgia) ja Phonix johtokykyelektrodiä (kennovakio 1,0).

4.1.2.1. Kuiva-ainepitoisuus ja hehkutushäviö

Tutkittujen maanparannusaineiden kuiva-ainepitoisuudet määritettiin standardin SFS-EN 12880, 2000 mukaisesti kuivaamalla näytettä yli yön lämpötilassa 105°C. Vastaavasti näytteiden hehkutushäviöt määritettiin standardin SFS-EN 12879, 2000 mukaisesti siten, että lämpötilassa 105°C yli yön kuivattua näytettä kuumennettiin yli yön muhveliuunissa lämpötilassa 550°C.

4.1.2.2. Orgaanisen hiilen kokonaispitoisuus (TOC)

Tuhkien orgaanisen hiilen kokonaispitoisuus eli TOC määritettiin standardin SFS-EN 13137, 2001 mukaisesti Leco CHN-600-analysointilaitteella (Leco Inc., USA), missä näyte poltetaan ja kehittyvä hiilidioksidikaasu määritetään infrapunaspektrometrillä (IR). Mikäli halutaan määrittää DOC (dissolve organic carbon) eli liuennut orgaaninen hiili, saadaan se määritettyä samalla laitteella ja menetelmällä muun muassa kaatopaikkakelpoisuuksia varten.

4.1.2.3. Kokonaisneutralointikyky (NV) ja nopeavaikutteinen neutralointikyky (rac)

Neutralointikyky (NV, englanninkielinen termi ”liming effect”) ja nopeavaikutteinen neutralointikyky (rac) määritettiin standardien SFS-EN 12945, 2002 ja SFN-EN 13971, 2003 mukaisesti. NV-määrityksessä kuivattua näytettä liuotetaan standardi HCl -liuokseen (0,5 M) ja ylimäärä haposta titrataan standardi NaOH-liuoksella (0,25 M). Nopeavaikutteisen neutralointikyvyn rac-määrityksessä arvo perustuu näytteen sisältämien karbonaattien nopeaan reaktioon vahvan hapon kanssa.

4.1.2.4. Ravinteiden P, N, Ca, Na, Mg, Cu ja Zn konsentraatioiden määrittäminen

Helposti liukenevat ravinteet fosfori, typpi, kalsium, natrium, kalium, magnesium ja sinkki määritettiin käyttäen Luke:n kehittelemää menetelmää (Yli-Halla M ja Palko J 1987). Tämän mukaisesti fosforikonsentraatio määritettiin spektrofotometrisesti molybdeenisinin-menetelmällä käyttäen automaattista Foss-Tecator FIAStar 5000 Flow Injection Analyser -laitteistoa. Vastaavasti kokonaistyyppi määritettiin Kjeldahlin menetelmällä käyttäen Foss-Tecator Kjeltac 2300 analysointiyksikköä (Högnäs, Ruotsi), varustettuna Foss-Tecator 2020 Digestor -laitteella. Ca-, Na-, K- ja Mg- pitoisuudet määritettiin ICP/OES:llä (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer) ja Cu- ja Zn-konsentraatiot FAAS:lla (Flame Atomic Absorption Spectrometer; Perkin Elmer Analyst 700, Norwalk, USA). Ennen alkuainemäärityksiä tuhkanäytteet kuivattiin yli yön kuivauskaapissa lämpötilassa 105°C.

4.1.2.5. Tuhkan puskurikapasiteetin määrittäminen

Puskurikapasiteetti b kuvaa, kuinka liuoksen pH muuttuu, kun siihen lisätään pieni määrä happoa tai emästä. Puskurikapasiteetti b määritellään yhtälöllä (1):

$$b = \frac{dnb}{d(\text{pH})} \text{ tai } b = -\frac{dna}{d(\text{pH})} \quad (1)$$

missä dnb = lisätyn emäksen määrä [mol] ja dna = lisätyn hapon määrä [mol] $d(\text{pH})$ = emäs- tai happolisäyksestä johtuva pH:n muutos

Suuri puskurikapasiteetti, mikä ilmenee tasanteina kuvaajissa $\text{pH} = f(\text{happo- tai emäslisäys})$, kertoo, että puskuriliuoksessa on suuret määrät puskuroivia komponentteja (happo, emäs tai vastaava suola). Komponenttien konsentraatioiden suuruudet määräävät puskurikapasiteetin arvon, kun taas niiden keskinäinen suhde vaikuttaa puskuriliuoksen pH:hon.

Happaman sadeveden pH-vaikutuksen mallintamiseksi punnittiin kutakin tuhkaa noin 4 g, lisättiin 40 ml vettä (L/S-suhde 10) ja sekoitettiin seosta magneettisekoittajalla noin 1 h, minkä jälkeen lähdettiin lisäämään HCl-liuosta sopivissa annoksissa ja luettiin pH-mittaria Consort P600 yhdistelmäelektrodia käyttäen liuoksen pH. Tuhkien puskurikapasiteetti määritettiin noin pH-arvoon 4–4,5 asti. Puskurikapasiteettimääritykset suoritettiin Oulun yliopiston kemian laitoksella FT Matti Kuokkanen.

4.1.2.6. Biohajoavuuden määrittäminen BOD Oxitop menetelmällä

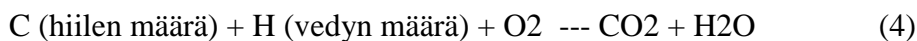
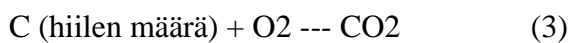
Aerobisen biohajoavuuden mittaamiseen manometrisellä menetelmällä voidaan käyttää BOD Oxi Top-laitteistoa liuosfaasissa (Kuva 3) ja kiinteässä faasissa (Kuva 4), joissa suljetussa astiassa mitataan nykyistä automaatiotekniikkaa hyödyntäen pieniä paineen muutoksia (Prokkola ym 2009; Prokkola ym 2010 ja Kuokkanen 2003). Laite laskee BOD-lukeman perustuen suljettuun systeemiin modifioituun yleiseen kaasujen tilanyhtälöön eli yhtälöön (2):

$$(2) \quad BOD = \frac{M(O_2)}{RT_m} \left\{ \frac{V_{tot} - V_l}{V_l} + \alpha \frac{T_m}{T_0} \right\} * \Delta p(O_2)$$

missä

M(O ₂)	= hapen moolimassa (32 000 mg/mol)
R	= yleinen kaasuvakio (83,144 l*mbar/mol*K)
T _m	= referenssilämpötila (273,15 K)
T ₀	= mittauslämpötila (293,15 K)
V _{tot}	= pullon tilavuus [ml] V _l = näytteen tilavuus [ml]
L _p	= paineen alenema [hPa]
a	= Bunsen absorptiokerroin (0,03103)

Tulosten laskeminen perustuu reaktioyhtälöihin (3) ja (4):



Jos laskenta suoritetaan pelkän hiilidioksidin muodostumisen perusteella, saadaan liian iso tulos, koska näytteen sisältämä vety kuluttaa myös happea. Yksi mooli hiiltä kuluttaa yhden ja vety puoli moolia happea, koska vesi koostuu kahdesta vetyatomista ja yhdestä happiatomista.



Kuva 3. OxiTop® mittalaite liuosfaasissa tapahtuviin mittauksiin (pohjavesi, OECD 301 F, luonnonvedet, abioottiset tutkimukset)



Kuva 4. OxiTop® mittalaite kiinteässä faasissa tapahtuviin biohajoamismäärittäykseen. Myös biohajoamismäärittäykset maassa.

4.1.2.7. Hiilen kokonaismäärä (TC)

Kun lasketaan biohajoavuusastetta, tarvitaan tieto hiilen kokonaismäärästä TC (total carbon). Mikäli yhdisteen rakennekaava tunnetaan, voidaan TC laskea siitä. Yleensä se kuitenkin joudutaan määrittämään muilla menetelmillä, joista luotettavin on alkuaineanalyysointilla saatava tulos. Joissakin tapauksissa voidaan se laskea myös TOC-arvosta. Oulun yliopiston Kemian laitoksella hiilipitoisuus lasketaan käyttäen alkuaineanalyysointia (Perkin Elmer 2400 Series II CHNS/O). Analyysointilla saadaan määritettyä hiilen, vedyn, typen, rikin ja hapen prosentuaaliset osuudet näytteessä. Menetelmä perustuu näytteen polttamiseen puhtaassa hapessa ja korkeassa lämpötilassa, jonka jälkeen muodostuneet palokaasut analysoidaan IR-menetelmällä. Ennen määrittämiä näytteet kuivataan ja jauhetaan homogeenisiksi.

4.1.2.8. Perusominaisuuksien määrittämisen suoritus

Kaikki perusominaisuuksien määrittämiset lukuun ottamatta puskurikapasiteettimäärittämiä (FT Matti Kuokkanen) lukuun ottamatta suoritettiin Suomen Ympäristöpalvelu Oy:ssä, jonka toimintaa ohjataan laatu järjestelmällä, joka täyttää kansainvälisten laatustandardien SFS-EN ISO 9001:2000 ja SFS-EN ISO/IEC 17025:2005 vaatimukset. SFS-EN ISO 9001:2000 standardin mukaisen laatu järjestelmän sertifiointin on myöntänyt SFS-Inspecta Sertifiointi Oy (Sertifikaatin n:o 2292-01) ja laboratorio on Mittatekniikan keskuksen akkreditoima (FINAS -akkreditoitu, SFS-EN ISO/IEC 17025:2005) testauslaboratorio T231 (v. 2006).

4.1.3. Analyysitulosten luotettavuus

Puskurikapasiteettimäärittämiä lukuun ottamatta kaikki tämän tutkimusraportin analyysit on tehty Suomen Ympäristöpalvelu Oy:ssä, jonka toimintaa ohjataan laatu järjestelmällä, joka täyttää kansainvälisten laatustandardien SFS-EN ISO 9001:2000 ja SFS-EN ISO/IEC 17025:2005 vaatimukset. SFS-EN ISO 9001:2000 standardin mukaisen laatu järjestelmän sertifiointin on myöntänyt SFS-Inspecta Sertifiointi Oy (Sertifikaatin n:o 2292-01) ja laboratorio on Mittatekniikan keskuksen ak- kreditoima (FINAS –akkreditoitu, SFS-EN ISO/IEC 17025:2005) testauslaboratorio T231 (v. 2006).

Analyysien laadunvalvonta suoritettiin tekemällä kaikista näytteistä kaksi rinnakkaismäärittämiä. Mikäli rinnakkaismäärittämisen tuloksissa havaittiin merkittäviä poikkeamia, tulos varmistettiin uusinta-analyysillä. Lisäksi tehtiin kaksi sokeaa koetta ja sisäistä laadunvalvontaa varten analyysi varmennetusta tuhkarreferenssimateriaalista (NIST 1633b, Coal Fly Ash). Alkuainepitoisuuksien analysoimisessa käytetty ICP-OES laite kalibroitiin matriisin kaltaisilla jäljitettävillä

standardiliuoksilla (Romil Ltd, PrimAg-plus) ja mittauksen valvonta suoritettiin riippumattomasta lähteestä (ns. second source-standardit) valmistetuilla laadunvalvontaliuoksilla (Romil Ltd, PrimAg-lite).

Analyysituloksiin sisältyy epävarmuutta, joka laajennettuna mittausepävarmuutena ($U=2u$, 95 % luottamustaso) ilmoitettuna on määritettävästä alkuaineesta ja sen pitoisuudesta riippuen 15 - 35 %. Analyysikohtaiset mittausepävarmuudet saa tarvittaessa laboratoriosta.

4.1.4. Tulokset ja tulosten tarkastelu

Tutkituista neljästä maanparannusaineesta määritettiin ensin niiden perusominaisuudet, kuten helposti liukenevat ravinteet, pH, TOC, hehikutushäviö, kuiva-ainepitoisuus, neutralointikyky jne. Tulokset on esitetty taulukossa 1.

Taulukon 1 tuloksista havaitaan verrattaessa helppoliukoisten hivenaineiden Ca, Mg ja K pitoisuuksia, että suurimmat pitoisuudet ovat biotuhkalla ja kuitulietteellä, biohiilellä vastaavien arvojen ollessa selkeästi pienimmät. Suuret hehikutushäviöt ja TOC-arvot osoittavat palamattoman materiaalin osuuden ja kyseisten maanparannusaineiden käyttökelpoisuuden polttoaineina. Kyseiset arvot ovat puolestaan selkeästi suurimmat biohiilellä. Vastaavasti kalkituskyvyn arvot (kuvaa kuinka monta tonnia kyseistä tuotetta tarvitaan korvaamaan tonni kaupallista kalkkia) osoittavat, että biotuhkalla, kuitusavella ja kuitulietteellä on hyvä kalkituskyky, kun taas biohiilellä ei ole laisinkaan kalkituskykyä (vrt. biohiilen olematon puskurikapasiteetti kohdassa 4.1.1.1.). Tulokset osoittavat biotuhkan, kuitusaven ja kuitulietteen soveltuvan erinomaisesti kalkitukseen.

Biotuhkalla ja kuitulietteellä on myös jonkinlainen johtokyky, joka osoittaa niiden sisältävän jonkin verran ioneja. Näytteistä biotuhka oli voimakkaasti emäksinen, kun taas biohiili ja kuituliete olivat lähes neutraaleja. Tutkittujen maanparannusaineiden kosteuspitoisuuksista voidaan todeta, että biohiili oli lähes kuivaa, kun taas muiden kuiva-ainepitoisuuksien arvot olivat seuraavat: biotuhka 77,0 %, kuitusavi 52,5 % ja kuituliete 45,0 %. Kuitulietteestä voidaan todeta, että sen kuiva-ainepitoisuus prosessista otettuna on huomattavasti alhaisempi, yleensä 10–20 %.

Taulukko 1. Tutkituista maanparannusaineista määritetyt helposti liukenevien ravinteiden konsentraatiot sekä fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet.

Ravinne/parametri	Yksikkö	Biohiili	Biotuhka	Kuitusavi	Kuituliete
Ca	g/kg	0,93	77,3	197	83,2
Mg	g/kg	0,065	3,80	2,46	0,52
Na	g/kg	0,014	2,53	0,22	0,92
K	g/kg	0,19	8,83	0,045	0,32
P	g/kg	0,046	0,037	0,059	0,060
S	g/kg	0,029	8,81	0,18	3,42
Cu	mg/kg	<3	32	<3	6,1
Mn	mg/kg	31	830	77	190
Zn	mg/kg	8,7	450	13	400
TOC	g/kg	868	9,0	170	333
Hehkutushäviö	%	98,5	5,0	35,5	66,0
Kuiva-ainepit. (105°C)	%	96,8	77,0	52,5	45,0
Kok.neutraloivakyky	% (Ca)	<2	13,6	21,7	9,2
Kalkituskyky]b	t / t	-	2,79	1,75	4,13
Nopeavaik.neutr.kyky	% (Ca)	<1	12,3	20,4	7,8
rac/NV	%	-	90,4	94,0	84,8
pH	-	7,4	12,1	8,8	6,8
Johtokyky (EC)	mS/cm	0,2	5,1	0,25	2,4

a Konsentraatiot laskettu kuivapainoa kohti (d.w.)

b Vastaavuus laskettuna kaupallisen kalkkikiven kokonaisneutralointikyvyn mukaan tonneina

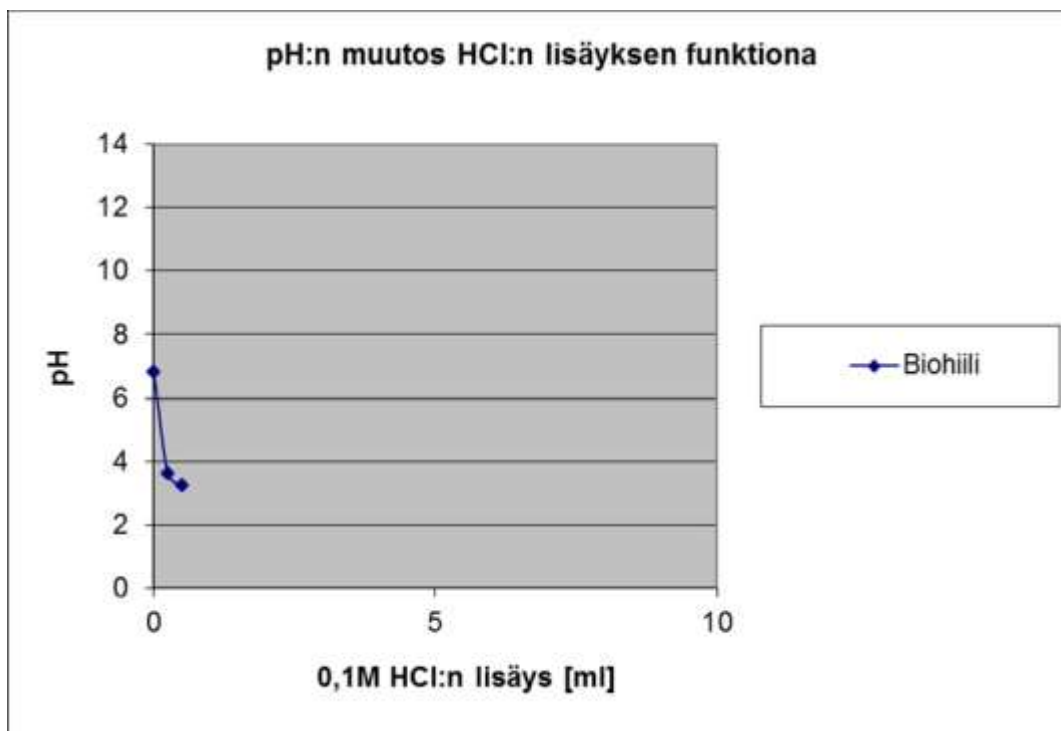
4.1.4.1. Maanparannusaineiden puskurikapasiteetti ja happovaikutus

Tutkittujen neljän maanparannusaineen puskurikapasiteetin määrittämiseksi ja sadeveden vaikutuksen selvittämiseksi titrattiin L/S suhteen 10 omaavat näytteet 0,1 M HCl-liuoksella. Tulokset on esitetty kuvissa 6 - 9. Käyttämällä oletusparametreja voitaisiin tuhkanäytteille laskea aika, jonka kuluessa maaperäkerroksen läpimennyt vesi saavuttaa tietyn pH-arvon. Mahdollisen metallien biosaataavuuden arvioimiseksi voidaan todeta, että pH-arvo 4,5 vastaa suurin piirtein nykyisen happaman sadeveden pH-arvoa ja sekventiaalisen uuton 1. vaiheen pH:ta.

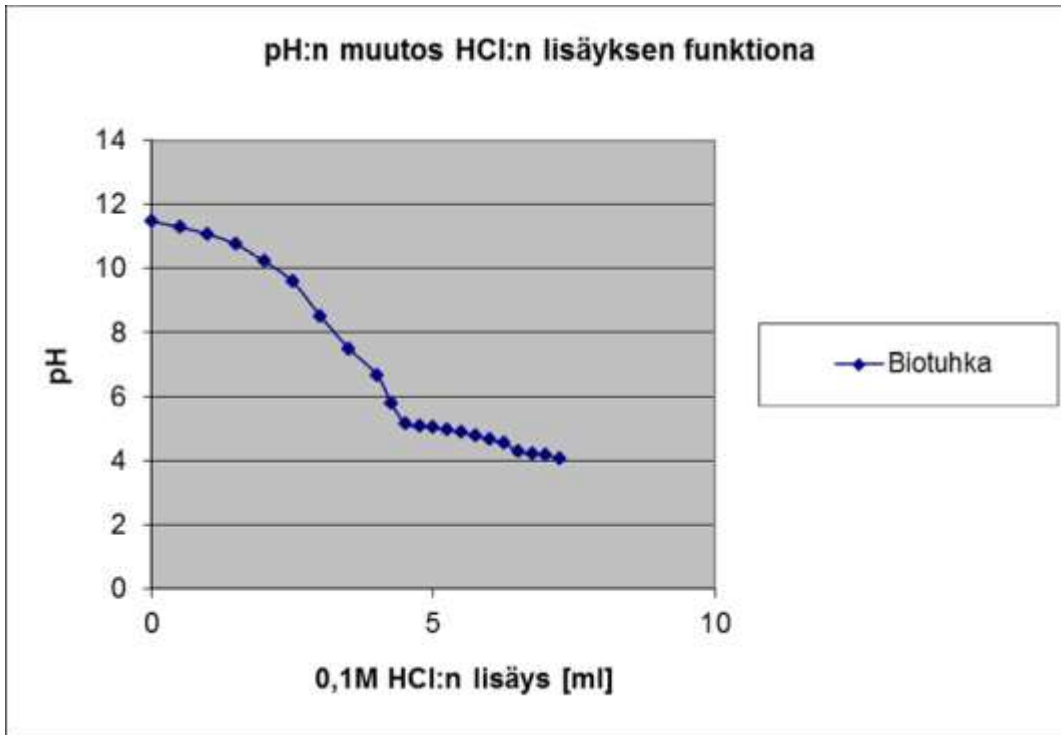
Kuvat 5–8 maanparannusaineiden puskurikapasiteeteista osoittavat että biohiilellä ei ole puskurikapasiteettia lainkaan, kun taas kuitulietteellä ja kuitusavella näyttäisi olevan melko suuri puskurikapasiteetti tutkitulla pH-alueella. Biotuhkan käyrä on hyvin samankaltainen verrattaessa aiemmissa tutkimuksissamme tutkittuihin biomassatuhkiin (esim. puu- ja turvepellettituhkat) (Kuokkanen ja Kuokkanen 2009)

Käytännössä näistä käyristä voidaan tarkastella kuinka hyvin eri tutkitut maanparannusaineet sietävät happolisäystä (vrt. hapan sade) maaperässä eli kuinka hyvin ne puskuroivat happoa. Karkeasti voidaan todeta, että mitä jyrkemmin käyrä lähtee laskemaan, sitä heikompi on aineen puskurikapasiteetti. Jos otetaan huomioon paikalliset vuotuiset sademäärät tietyillä vakio-oletuksilla, voidaan happoekvivalenttien avulla laskea aika joka tarvitaan, että maaperän happamuus laskee esimerkiksi alle arvon $\text{pH} = 4$.

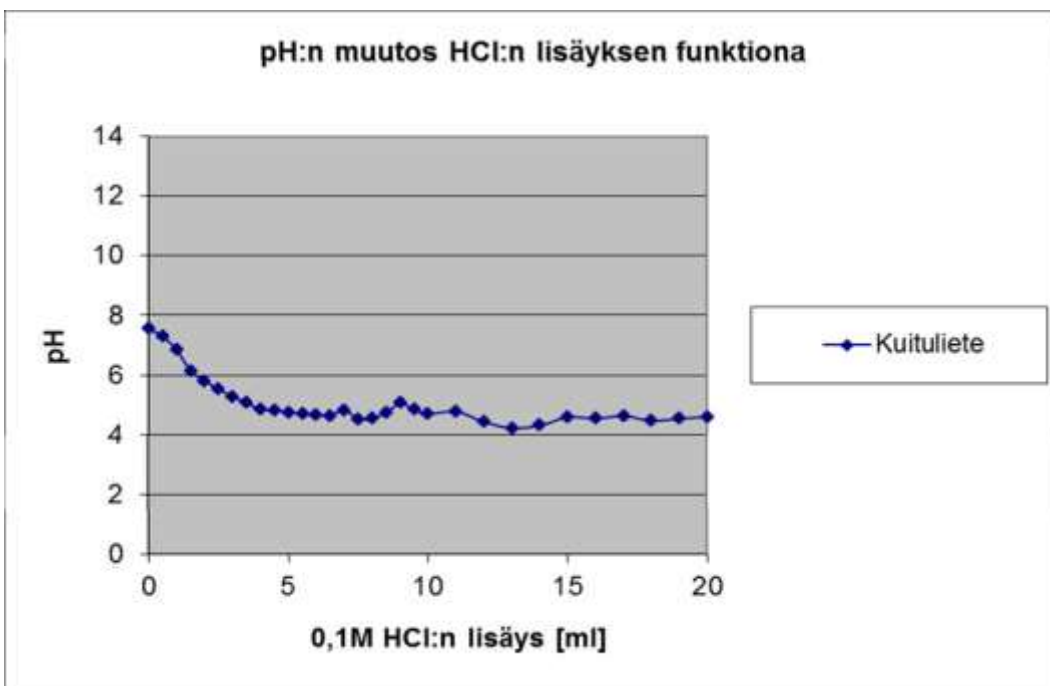
Tulosten perusteella voidaan laskea oletusparametreja (maaperäkerroksen paksuus, vuotuinen sademäärä, sadeveden pH) käyttäen aika, jolloin näytekerroksen läpäisemä sadevesi saavuttaa ko. pH-arvot. Tästä puolestaan voidaan esim. sekventiaalisen uutun tulosten perusteella arvioida raskasmetallien liukoisuus ja siitä johtuva ympäristöriski erittäin pitkällä aikavälillä.



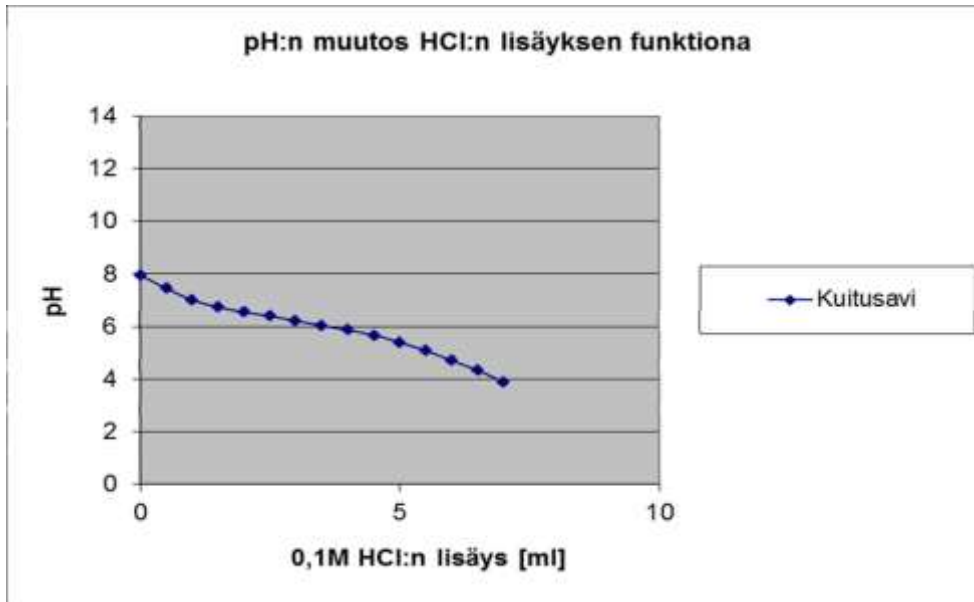
Kuva 5. Biohiilen puskurikapasiteettikäyrä.



Kuva 6. Biotuhkan puskurikapasiteettikäyrä.



Kuva 7. Kuitulietteen puskurikapasiteettikäyrä.

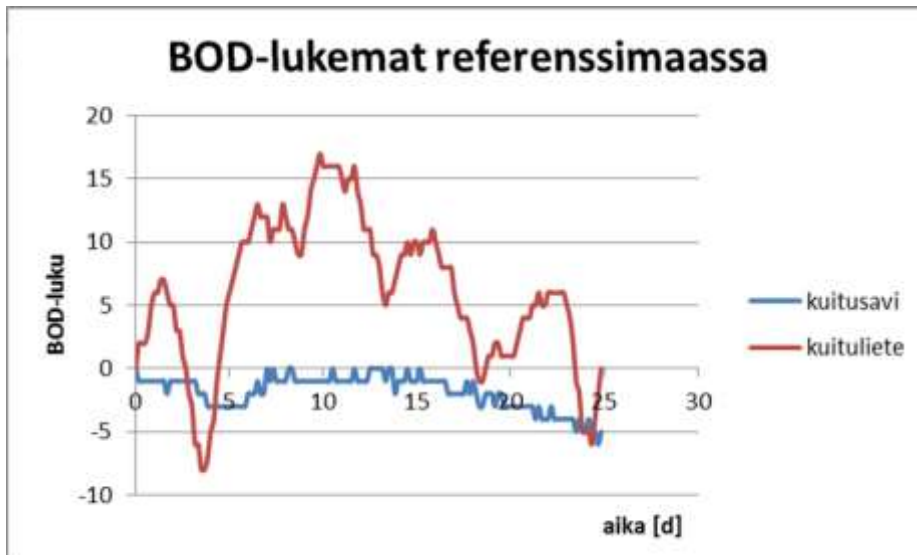


Kuva 8. Kuitusaven puskurikapasiteettikäyrä.

4.1.4.2. Maanparannusaineiden biohajoavuus

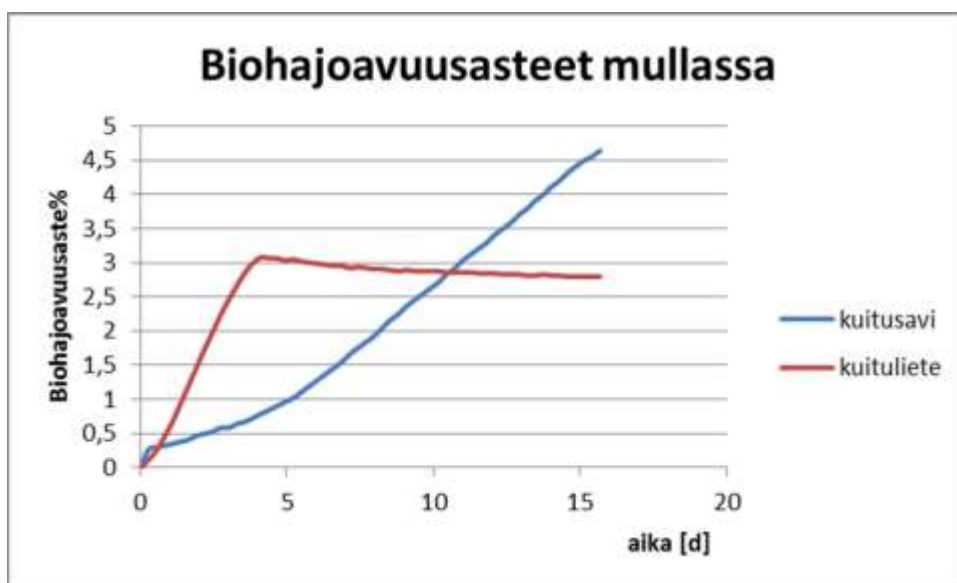
Kuvissa 9–12 on esitetty biohajoavuus- ja BOD-käyrät ajan funktiona eri olosuhteissa (multamaaperä, referenssimaaperä ja OECD 301F-liuokset) valituille maanparannusaineille. Biohajoavuuksien tulokuvajista voidaan havaita seuraavaa:

1. BOD kiinteille näytteille referenssimaaperässä (kosteus 13,1 %) eli Muhokselta kenttäkokeista otetussa maaperässä antoi seuraavan tuloksen: Mikään tutkituissa olosuhteissa tutkituista näytteistä ei tämän tutkimuksen mukaan hajoa kiinteässä referenssimaaperässä (Kuva 10). Syynä tähän tulokseen lienee, että maaperä on todennäköisesti liian kuivaa eikä maaperässä ole tarpeeksi bakteereja BOD-reaktion aikaansaamiseksi.



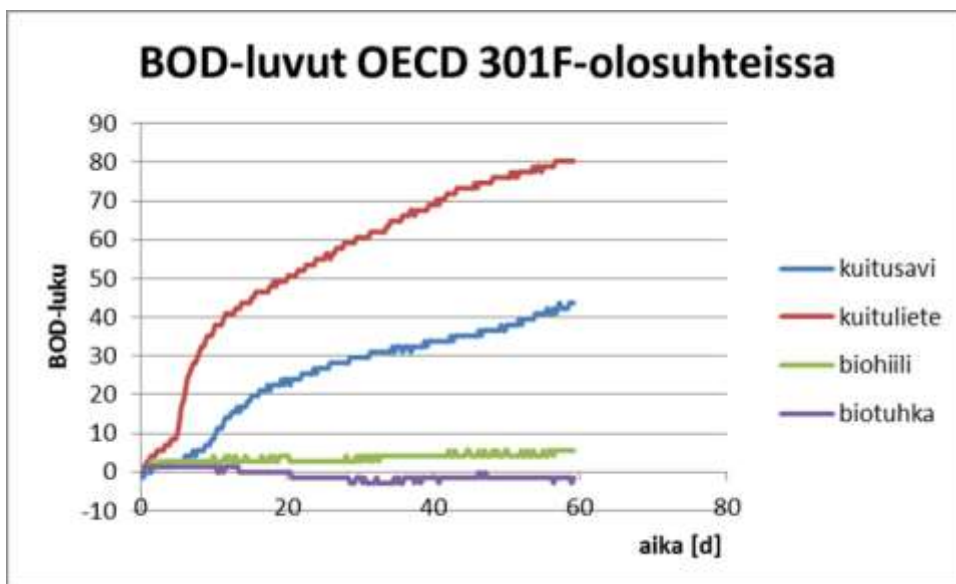
Kuva 9. Kuitusaven ja kuitulietteen BOD-luku ajan funktiona, $T = 20\text{ °C}$.

2. BOD testattiin esitestikokeessa myös multamaaperässä (mittaus keskeytettiin 14 päivän kohdalla). Saatiin seuraavat tulokset: Kuituliete BOD3 = 3 % (määritysraja ylittyi), kuitusavi BOD14 = 4,5 %, biotuhka ja biohiili eivät hajoa multamaaperässä laisinkaan (Kuva 11). Kyseessä oli esitestikoe BOD:n kiinteiden faasien määrittelyä varten, siksi käytettiin lyhyempää mittausaikaa (vrt. BOD60).

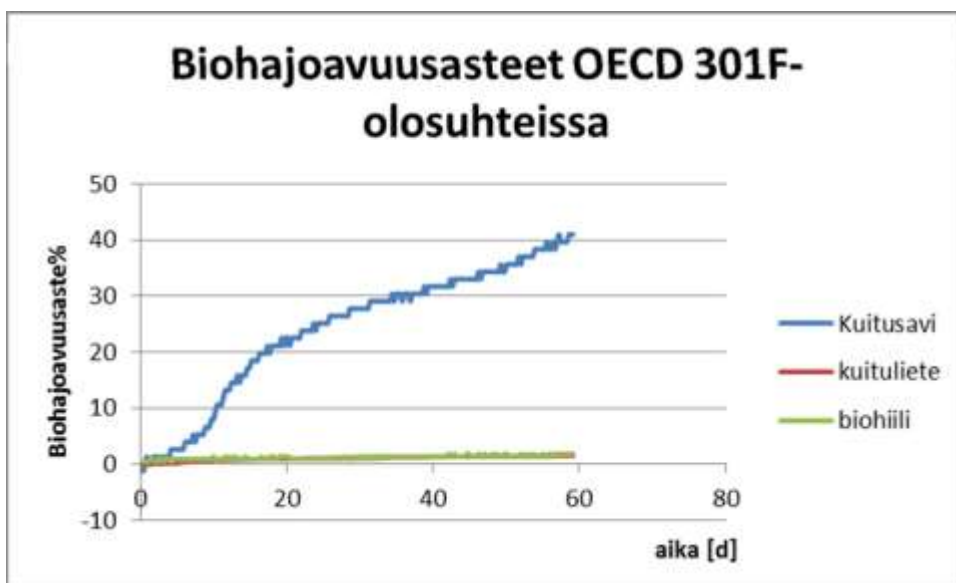


Kuva 10. Biohajoavuusaste ajan funktiona multamaaperässä.

3. BOD60 kiinteille näytteille liuosfaasissa (OECD 301F-olosuhteet). Saatiin seuraavat tulokset: Biotuhka ei hajoa edes optimiolosuhteissa, kuituliete BOD60 = 1,5 %, kuitusavi BOD60 = 41 %, biohiili BOD60 = 1,8 % (Kuvat 10 ja 11). Kuvassa 12 on esitetty mittaustulokset, joiden perusteella on laskettu biohajoavuusasteet (Kuva 13).



Kuva 11. Maanparannusaineiden BOD-luvut OECD 301F-standardiolosuhteissa.



Kuva 12. Maanparannusaineiden biohajoavuusasteet OECD 301F-standardiolosuhteissa. On huomioitava, että biotuhka ei hajoa, joten sen tuloksia ei ole esitetty kuvaajassa.

4. Kuitusaven korkea BOD60-lukemaa (BOD60 = 41 %) voitaneen pitää luotettavana (Kuva 12). Tulosten tarkastelussa on myös huomioitava, että määritettäessä BOD-arvoa kuituliettelä, näyte oli osittain homehtunut. Tästä aiheutuu laskettua BOD-arvoa pienentävää virhettä.
5. BOD60-mittauksen aikana mitattaessa biotuhkaa liuosfaasissa tapahtui kaasun muodostusta. Tämä aiheuttaa paineenkasvua, joka on havainnoitavissa kuvaajasta negatiivisina arvoina (Kuva 11). Paineen muutos on laskennan jälkeen suoraan muunnettavissa BOD-lukemaksi. Kaasunmuodostusreaktio jäi tutkimuksessa tuntemattomaksi.
6. BOD60-kuvaajat ja loppupäätelmät ja biohajoavuusastekuvaajat sekä tulostaulukot biohajoavuuksien osalta on esitetty raportissa. Kenttäkokeissa näytteet laitettiin erikoisrakenteisella jankkurilla maaperään siten, että maanparannusaineen määrä kussakin perunarivissä on noin 4 000 kg/hehtaari (paitsi kuitulietellä 2 600 kg/ha) ja jankkurointisyvyys on noin 30 cm.
7. Raporttimme lopputuloksista on nähtävissä mm. hiekan määrä näytteissä, alkuaineiden osuudet näytteissä (l. maanparannusaineissa) ja BOD60 (paineenmuutokset ajan funktiona, mittausaika 60 d).
8. BOD-luku ja biohajoavuusaste ovat eri suureita. Tässä tutkimuksessa biohajoavuus on esitetty prosentuaalisesti, joka tarkoittaa biohajoavuusastetta, joka on laskettu BOD-arvosta. (Prokkola 2009)
9. Oulun yliopiston ja Mfibrils Oy:n yhteistyönä on kehitteillä innovaatio, jossa Mfibrilsin kuitulietetuotetta (AllFix) käytettäisiin pelletin seassa ja saataisiin täten selluteollisuuden kuitulietesivutuote hyödynnettyä perunantuotannon maanparannusaineena. AllFixillä on todettu jo useita eri ekologisia sovelluksia.
10. Todettakoon, että tällä hetkellä EU:ssa on kaikkien uusien ja myöhemmin myös käytössä olevien kemikaalien biohajoavuus määritettävä. Tässä tutkimuksessa käytetty respirometrinen BOD Oxitop-menetelmä on EU:n hyväksymien biohajoavuusmenetelmien listalla. (EU:n komissio 2001; EU:n Parlamentti 1967)

4.2. Jankkuroinnin, maanparannusainelisäyksen ja kasvinvuorotuksen kenttäkoe.

Perunantutkimuslaitos suoritti vuosina 2013–2015 laajan kenttäkokeen, jossa tutkittiin yhdistettyä jankkuroinnin, maanparannusainelisäyksen ja kasvinvuorotuksen vaikutusta maan tiivistymien poistoon sekä perunasadon määrään ja laatuun runsasmultaisella hieumaalla Latonevan peltolohkolla Kurikassa. Maanparannusaineina käytettiin kappaleessa 4.1. mainittuja ja analysoituja maanparan-

nusaineita. Kokeessa käytetyt peltoon levitettävät metsäteollisuuden ja puupohjaisen energiatuotannon sivutuotteina muodostuneet sivutuotteet olivat raskasmetallien ja haitta-aineiden osalta käsitelty siten, että ne eivät sisältäneet asetetut raja-arvot ylittäviä määriä raskasmetalleja tai muita haitta-aineita. Liitteessä 2 on esitetty käytettyjen maanparannusaineiden ravinne- ja haitta-ainepitoisuudet.

4.2.1. Kasvinvuorotus

Monivuotiset kasvit tuottavat paljon eloperäistä ainesta maahan. Varsinkin varhaisperunan jälkeen voidaan perunannoston jälkeen kylvää ns. kerääjäkasvia, joka tuo maahan eloperäistä ainesta ja vähentää eroosiota sekä ravinteiden valuntaa sadonkorjuun jälkeen. Nurmet ovat tehokkaita biohiilen sijoja maahan ja syväjuurisiet kasvit auttavat murtamaan tiivistä kyntöanturaa. Puna-apila, raiheinä ja timotei ovat hyvä välikasveja (Alakukku 2011). Eri välikasvien juuristodynamiikka ja ravinteiden otto vaihtelee. Siten välikasvikombinaatio olisi hyvä valita juurten kasvun nopeuden perusteella: raiheinä ja timotei tuottavat vahvaa juuristoa jo alkukasvukaudesta kun taas puna-apila kasvattaa juuristoa loppukasvukaudesta.

4.2.2. Maan kuohkeuttaminen

Maan tiivistyminen vaikuttaa maan painannevarastoon, hetkelliseen vedenvarastointikykyyn, veden imeytymiseen maahan ja suotautumiseen maakerrosten läpi sekä maan ilmanvaihtoon. Tietyn suuruinen maan tiivistyminen on karkeilla mailla hyväksi, sillä sen avulla parannetaan maan vedenpidätyskykyä (Boone *et. al.* 1987). Tiivistyminen voidaan jakaa kahteen osaan, maan luontaiseen tiivistymiseen ja koneiden tai viljelytekniikan vaikuttamaan maan tiivistämiseen.

Maan luontainen tiivistyminen muodostuu sateen vaikutuksesta ja maan omasta painosta. Sitä voidaan hallita erilaisilla muokkausmenetelmillä. Alakukun 2011 mukaan kevätkyntö on hyvä perunantuotannossa, jossa voidaan tehokkaasti vähentää maan luontaista tiivistymistä ja tuoda huokoisuutta maahan silloin, kun tiivistymä on pintamaassa. Karkeiden maiden pohjamaa voi olla myös luontaisesti tiivistynyttä. Näitä tiivistymiä aiheuttavat savikerrokset, rautakerrokset, kalkki-kerrokset, sementoituneet kerrokset ja luontaisesti kovettuneet hiekkakerrokset (Swain 1975).

Koneiden aiheuttama tiivistyminen vaikuttaa pintamaan tiivistymisen ohella erityisesti pohjamaan tiivistymiseen. Tiivistymisriski on suurimmillaan aikaisin keväällä ja myöhään syksyllä (Trautner ym. 2003). Paineen lisäksi maan rakennetta tiivistää hiertäminen. Maa tiivistyy, jos koneista aiheutuva paine maahan on suurempi kuin maan kantokyky. Kyntö rasittaa paljon pohjamaata, koska traktorin kyntövaossa kulkeva pyörä tallaa ja hiertää pohjamaata ilman pintamaan suojaavaa vaikutusta

(Munkholm *et al.* 2003; Spoor *et al.* 2003; Tebrugge *et al.* 1999). Tällöin hiertyminen saattaa tukkia maahuokokset.

Kynnölle vaihtoehtoisia syvämuokkausmenetelmiä ovat jankkurointi ja lapiomuokkaimella ajo. Tutkimusten mukaan jankkuroinnilla saadut tulokset ovat vaihdelleet paljon. Ei ole täysin selvää, mistä jankkuroinnin hyödyistä saadut vuosittaiset erot johtuvat. Henriksenin *et al.* (2003) mukaan syynä voi olla eri vuosina erilaiset sadeolosuhteet, erilainen kasvien kasvuprosessi ja ravinteiden erilainen vapautuminen. Tutkimusten mukaan pohjamaan kuohkeuttaminen joko jankkuroimalla tai lapiomuokkaimella poistaa tiivistymiä vain hetkellisesti. Lisäksi tarvitaan viljelykiertoa tai jotain muuta menetelmää, joka tuo biomassaa maahan, ylläpitämään maan huokostilaa. Lapiomuokkaus edustaa ajattelultaan voimakkaasti kynnöstä poikkeavaa tekniikkaa. Siinä on kokonaan poistettu vetovastuksesta johtuva maata kohden suuntautuva vektori. Lisäksi terien muokkaustavan arvellaan estävän tiivistymien muodostumista, työsyvyys on joustavasti säädettävissä ja kasvinjätteet sekoittuvat koko muokkauskerrokseen.

4.2.3. Kenttäkokeen toteutus

Kokeen lähtötilanne oli, että vuonna 2012 koko ala oli perunantuotannossa, sato nostettiin lokamarraskuussa 2012 erittäin märissä olosuhteissa ja pelto poljettiin kunnolla (Kuva 13).

Vuonna 2013 pellolle perustettiin koeruudut, joissa tavoitteena oli tutkia maan palautumista viljelykuntoon erilaisin menetelmin. Tarkasteltavina menetelminä olivat perunamonokulttuurin jatkaminen, jankkurointi, biohiilen, biotuhkan, kuitulietteen ja kuitusaven lisäämiset jankkurilla tehtävään vakoon kyntökerroksen alle sekä nurmi- ja viljaviljelykierto. Tavoitteena oli selvittää, miten pikän maanparannusvaikutuksen kullakin menetelmällä voidaan saada aikaan.

Osalla koeruuduista jatkettiin kahden perunavuoden jälkeen perunanviljelyä vuosina 2013–2015 (kolme vuotta), osalle koeruuduista kylvettiin kahden perunavuoden jälkeen kaksi vuotta (vuodet 2013–2014) kauraa ja osalle ruuduista Italianraiheinä–Timotei–Westerfoldin raiheinä-seosta. Seoksessa italianraiheinän tarkoituksena oli saada kasvusto tihennemään nopeasti ensimmäisenä vuotena, Westerfoldin raiheinän tarkoituksena oli tihentää kasvustoon jäävät aukot ja Timotein tehtävänä oli turvata vahvajuurinen kasvusto seuraavina vuosina. Vahvajuurista apilaa ei nurmikasvustossa käytetty, ettei typensitojakasvina toimivan apilan muodostama tyyppi turhaan olisi sekoittamassa tutkimustuloksia, vaan tutkimustulokset olisivat tulosta nimenomaan esikasvien maanparannusvaikutuksesta.



Kuva 13. Tilanne koepellolla 2.10.2012.

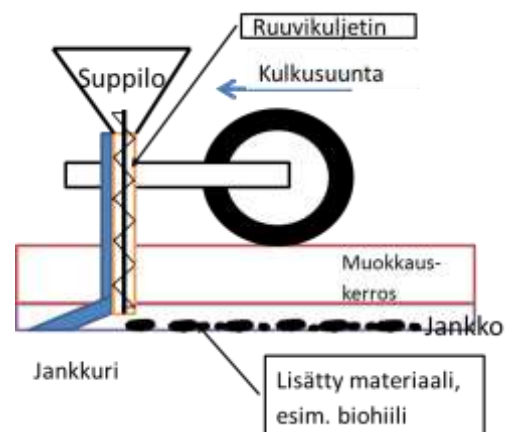
Sekä viljakasvusto että nurmikasvusto lannoitettiin ympäristötuen normien mukaan ja niistä sato kerättiin kerran vuodessa pois. Vilja puitiin leikkuupuimurilla ja nurmi niitettiin ja nurmiheinä paalattiin. Nurmiheinän korjauksella ja tarpeen mukaisella varmistettiin, että mahdolliset satovaikutukset perunaan johtuvat nimenomaan maanparannusvaikutuksesta eikä kasvien lannoitusvaikutuksista. Kenttäkokeessa tutkittiin samanaikaisesti maan muokkauksen, kasvinvuorotuksen ja maahan lisättävien maanparannusaineiden vaikutusta. Koejäsenet on esitetty taulukossa 2.

Kaikkia koejäseniä oli neljä kerrannetta. Koeruutujen pituus oli 7 metriä ja leveys 6 perunapenkkiä (4,8 metriä). Koeruuduista kaksi keskimmäistä ovat satoruutuja. Suojarivejä oli neljä perunapenkkiä kummallakin puolella viereisen koejäsenen maanparannuksen vaikutuksen eliminoimiseksi. Koeruudet kiinnitettiin GPS-laitteella niin, että koetta voidaan jatkaa samalla koeruuduilla perättäisinä vuosina. Vuosina 2013 ja 2014 koeruudet pidettiin ennallaan ja vuonna 2015 kaikki koeruudet olivat perunalla.

Taulukko 2. Jankkuroinnin, maanparannusainelisäyksen ja kasvinvuorotuksen kenttäkokeen koejäsenet vuosina 2013–2015. Vuosina 2011, 2012 ja 2015 kaikki koeruodut olivat perunalla.

Koejäsen	Esikasvi	Käsittely	Maanparannusaine
3000	kaura	-	-
3001	kaura	jankkurointi	-
3002	kaura	jankkurointi	biohiili
3003	kaura	jankkurointi	biotuhka
3004	kaura	jankkurointi	kuitusavi
3005	kaura	jankkurointi	kuituliete
3006	peruna	-	-
3007	peruna	jankkurointi	-
3008	peruna	jankkurointi	biohiili
3009	peruna	jankkurointi	biotuhka
3010	peruna	jankkurointi	kuitusavi
3011	peruna	jankkurointi	kuituliete
3012	nurmi	-	-
3013	nurmi	jankkurointi	-
3014	nurmi	jankkurointi	biohiili
3015	nurmi	jankkurointi <td biotuhka	
3016	nurmi	jankkurointi	kuitusavi
3017	nurmi	jankkurointi	kuituliete

Niissä koejäsenissä, joissa käytettiin maanparannusaineita, ne laitettiin kesällä 2013 syöttölaitteella varustetulla jankkurilla 30–40 cm:n syvyyteen tiivistymäkerrokseen (Kuva 14). Ainemäärä oli 4 340 kg/ha muilla paitsi kuitulietteellä, jota laitettiin 2 604 kg/ha. Hankkeessa käytettävät maanparannusaineet ja niiden ominaisuudet on esitelty kappaleessa 4.1.



Kuva 14. Maanparannusaineet (vasemmalta: kuitusavi, kuituliete, biohiili ja rakeistettu biotuhka) sijoitettiin maahan erikoisrakenteisella jankkurilla.

4.2.4. Tulokset

Jankkuroinnin, maanparannusainelisäyksen ja kasvinvuorotuksen kenttäkokeesta tarjotaan artikkeleita kansainvälisiin tiedejulkaisuihin syksyn 2016 aikana. Useissa tiedejulkaisuissa on ehtoina, että tuloksia, tulostaulukoita ja kuvia ei ole saanut aikaisemmin julkaista missään julkisissa raporteissa. Siksi tässä loppuraportissa ne ilmoitetaan vain oleellisilta osiltaan tekstinä ja numeroina.

Kenttäkokeesta on tehty seuraavat analyysit: Penetrometri- ja percometrimittaukset kolme kertaa kasvukauden aikana, sadon määrä ja laatuanalyysit perunaruuduista, maan rakennenytyt lieriöillä sekä juuristoanalyysi.

4.2.4.1. Kasvukauden aikaiset penetrometri- ja kosteusmittaukset koekentällä

Peltolohkolla tehtiin penetrometri- ja percometrimittaukset, joilla mitattiin tiivistymät ja maan kosteudet eri kerroksista. Kasvukauden aikana tiivistymämittaukset tehtiin kaksi kertaa: keväällä ennen istutusta, syyskesällä ennen sadonkorjuuta ja sadonkorjuun jälkeen. Tutkimuksessa selvitettiin, millaisia ja kuinka pysyviä muutoksia jankkurointi, viljelykierto ja lisätyt maanparannusaineet aiheuttivat kasvualustassa. Percometrin avulla mitattiin kosteus eri syvyyksistä, joilla saatiin vakioitua penetrometrin mittaustulos. Percometrillä mitattuna maan kosteus ei tilastollisesti merkitsevästi poikennut koeruutujen välillä, joten penetrometrilukemaa voidaan koeruutujen välillä pitää luotettavana.

Penetrometrillä mitattuna käsittelyn jälkeen ensimmäisenä ja toisena vuonna (vuosina 2013 ja 2014) jankkurointikäsitteily vähensi selvästi tiivistymiä, mutta hiilipitoisen materiaalin lisääminen maahan ei vähentänyt tiivistymiä tilastollisesti merkitsevästi verrattuna pelkkään jankkurointiin. Penetrometrimittauksessa kaikki käsittelyruudut koejäsenet erosivat tilastollisesti merkitsevästi syvyydellä 10–30 cm käsittelemättömästä ruudusta, mutta eivät keskenään.

Vuonna 2015 satoi runsaasti alku- ja keskikesän aikana ja pelto oli veden kyllästävä (Percometrilukema oli kaikissa koejäsenissä kaikissa syvyyksissä yli 50). Tämän vuoksi penetrometrimittauksilla ei kevään ja kesän mittauksissa saatu lainkaan eroja. Syksyllä sadonkorjuun jälkeen tehdyssä mittauksissa pitkän kuivan jakson jälkeen saatiin suuntaa-antava tulos, että jankkurointiruuduissa tiivistymä oli jonkin verran pienempi kuin käsittelemättömissä ruuduissa, mutta tulos ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Tulos osoittaa, että pelkkä jankkurointikäsitteily auttaa tiivistymien poistossa korkeintaan kaksi vuotta. Nurmi näyttää jonkin verran parantavan jankkuroinnin vaikutusta. Juuristonäytteet otettiin kaikista kerranteista 5, 20 ja 50 cm:n syvyydestä. Näytteissä näkyi kuitenkin selvästi, että jankkurointi ja maanparannusainekäsittelyt olivat parantaneet

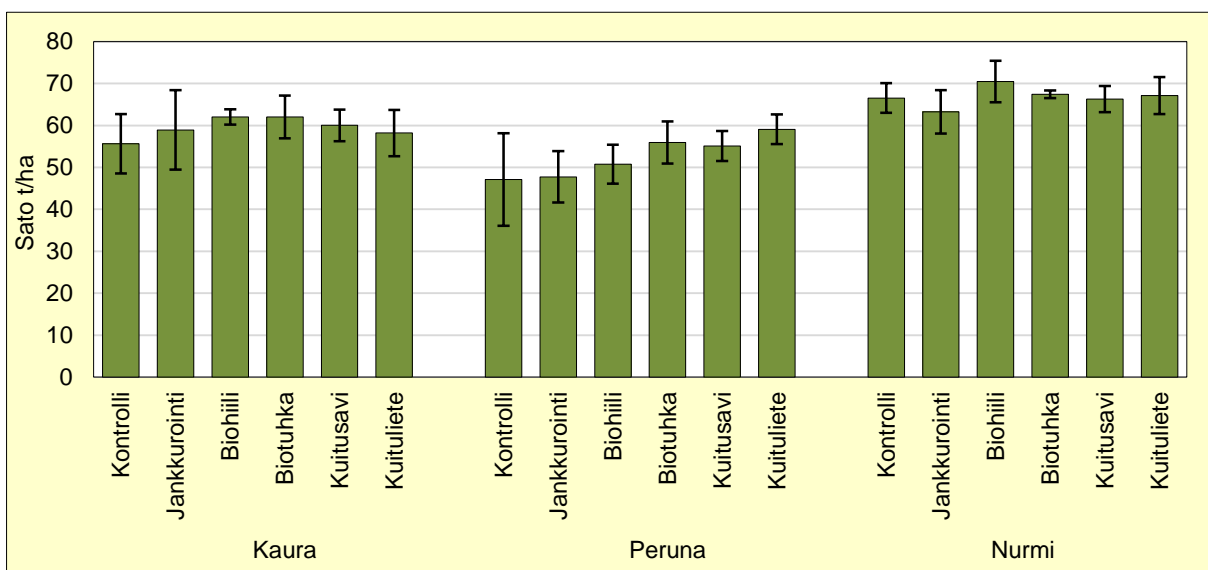
juurten tunkeutumista kaikissa koeruuduissa myös vuonna 2015, vaikka vedenjohtavuusnäytteissä ja penetrometrimittauksessa eroja ei enää vuonna 2015 saatuakaan.

4.2.4.2. Sadon määrä ja laatu

Jokaisena koevuotena perunasta tehtiin satomittaukset, määritettiin perunan tärkkelyspitoisuus sekä mukuloiden ulkoinen laatu. Kokeen perunalajike oli kaikkina vuosina Van Gogh. Perunaruuduista nostettiin sato 4,8 m² alalta, ja sadosta määritettiin kokonaismäärä, kokojakauma ja tärkkelyspitoisuus. Vuonna 2015 määritettiin myös ulkoinen laatu ja keittolaatu. Keittolaatumääritys tehtiin vain kontrolli- ja jankkurointikäsitteilyruutujen sadosta niin, että kerranteiden 1 ja 2 sekä 3 ja 4 näytteet yhdistettiin, ja laatumäärityksiä tehtiin kaksi kutakin käsittelyä kohden. Kuitenkin raakatummuminen analysoitiin ulkoisen laadun määrityksen yhteydessä ruuduittain.

Vuonna 2015 perunaa viljeltiin koko koealalla. Kokeessa oli siis kaksi eri käsittelytekijää, esikasvi ja jankkurointi-maanparannusainekäsittely. Koetulokset analysoitiin osaruutukoikeena, jossa pääruutuna oli esikasvi ja osaruutuna maanparannusainekäsittely.

Koko koealan perunasato oli keskimäärin 60 t/ha. Maanparannusainekäsittelyiden välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja perunasadossa, mutta käsittelemättömän kontrollin ja jankkurointikäsitteilyn satokeskiarvot olivat selvästi muita pienemmät. Erityisesti tämä näkyi silloin, kun esikasvina oli peruna, jolloin myös keskisato oli pienin, 52,6 t/ha (Kuva 15).



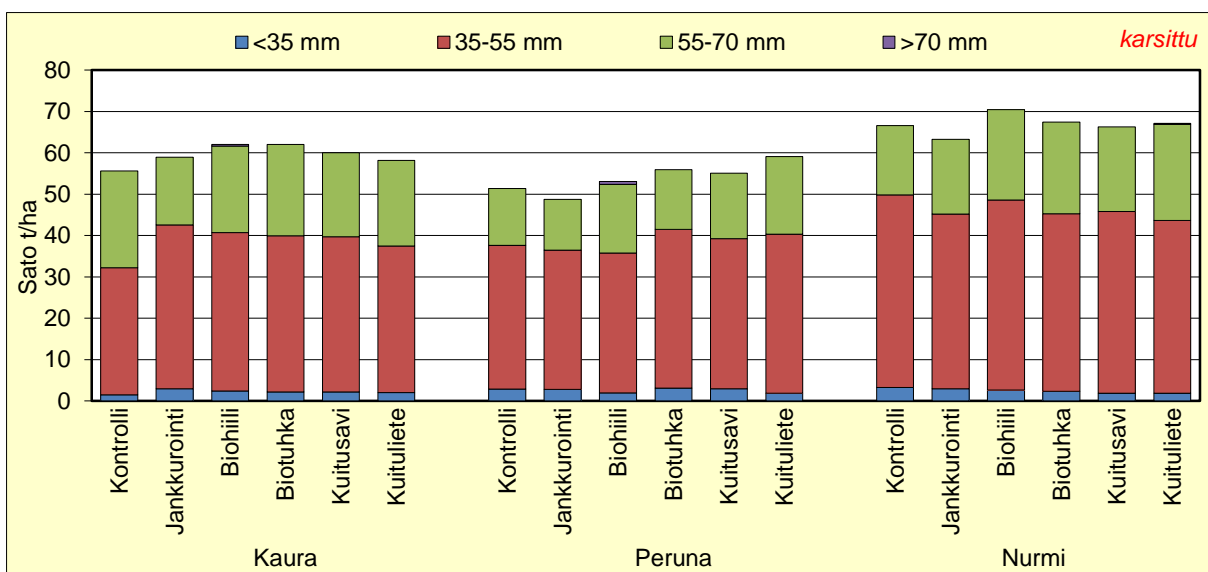
Kuva 15. Kokeen mukulasato kaikilta ruuduilta. Käsitteilykohtaiset keskiarvot +keskihajonta.

Kokeen reunassa oli kuitenkin kolme peruna esikasvina -ruutua, joissa peruna kasvoi selvästi heikommin kuin muulla kokeella. Nämä olivat toisen kerranteen käsittelemätön kontrolli sekä jankkurointi- ja jankkurointi + biohiili -käsittelyt. Myös maanäytteitä otettaessa havaittiin näillä ruuduilla olevan varsin paljon pohjamaata sekoittuneena pintamaahan. Näiden kolmen, muista poikkeavan ruudun hylkääminen vaikutti varsin suuresti satokeskiarvoihin, vaikkakaan tulosten tilastollinen merkitsevyys ei juuri muuttunut. Seuraavat koetulokset koskevat karsittua aineistoa, josta kyseiset kolme ruutua on hylätty.

4.2.4.3. Karsitun aineiston tulokset

Karsitussa aineistossa peruna esikasvina -ruutujen keskisato oli 54,3 t/ha. Se oli merkittävästi alempi kuin muiden esikasvien jälkeen. Nurmi esikasvina tuotti kaikkein parhaan sadon (66,8 t/ha) ja se erosi tilastollisesti merkitsevästi perunan lisäksi myös kaurasta (59,5 t/ha).

Maanparannusainekäsittelyjen vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä ($p=0,017$), mutta parittaisessa vertailussa ei löytynyt merkitseviä (Sidak, $p<0,05$) eroja käsittelyiden välillä. Suuntaa-antava (0,086) ero oli pelkän jankkuroinnin ja biotuhkakäsittelyn välillä. Esikasvin ja maanparannusainekäsittelyiden yhdysvaikutus ei ollut merkitsevä. Sadon mukulakokojakauma oli tasainen, eikä käsittelyiden ja esikasvien välillä ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. (Kuva 16). Keskimäärin 96 % sadosta kuului kokoluokkiin 35–70 mm.. Sadon tärkkelyspitoisuus oli keskimäärin 14,7 %, eikä siinäkään ollut eroja käsittelyiden välillä.

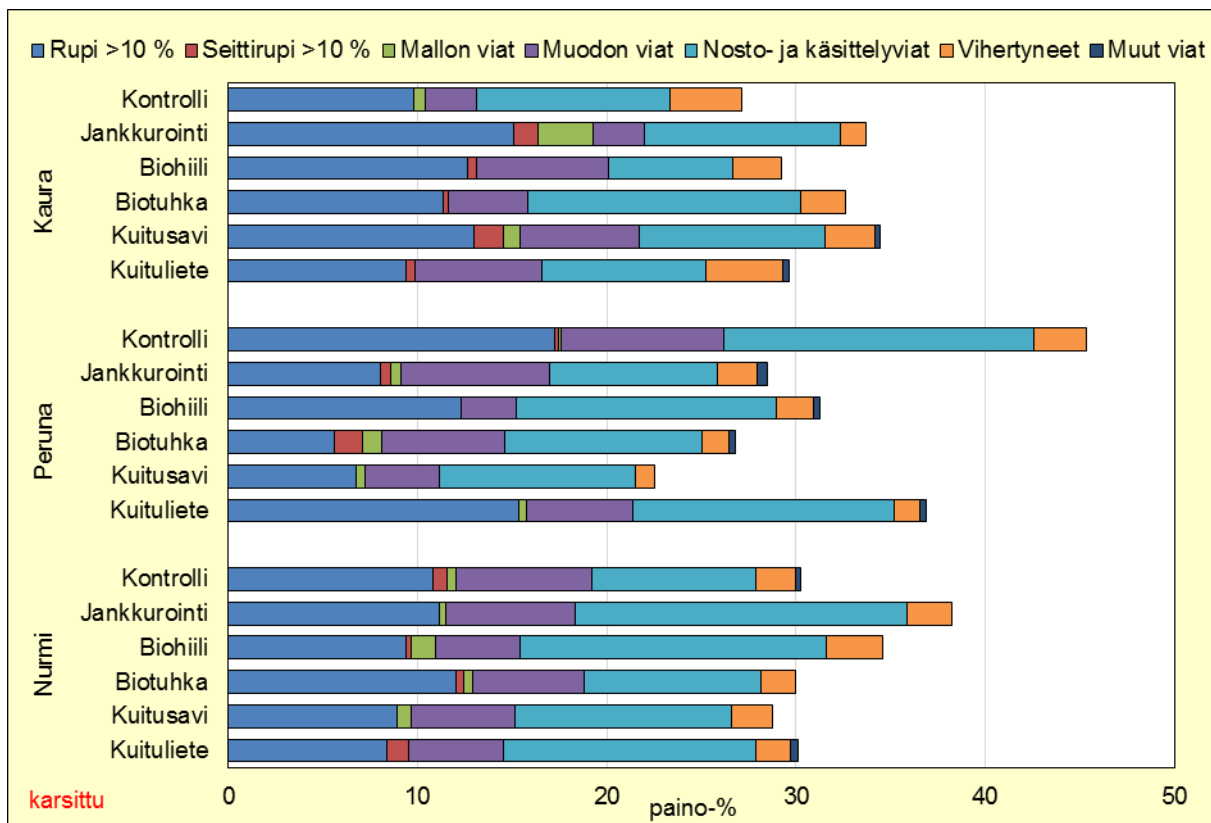


Kuva 16. Mukulasato kokoluokittain jaoteltuna karsitussa aineistossa, josta poistettu kolme hylättyä ruutua.

Sadon ulkoisen laadun määrittämisessä 70 % sadosta oli täysin tervettä ja viatonta. Yleisimmät vioitustyypit olivat perunaruپی (peitto yli 10 % mukulan pinnasta), epämuotoisuus sekä mekaaniset nostossa ja käsittelyssä aiheutuneet viat. Kun esikasvina oli peruna, perunaruپی oli biotuhkakäsittelyn saaneilla ruuduilla merkitsevästi vähemmän kuin kontrollissa ja kuitulietekäsittelyssä. Muita tilastollisesti merkitseviä eroja laadussa ei ollut (Kuva 17).

Keittokokeessa yksittäisten mukuloiden välinen vaihtelu oli suurta, mikä näkyy mukulakohtaisten havaintojen (eheys, kuivuus ja raakatumminen) suurena vaihteluvälinä. Esimerkiksi eheyden (hajoavuuden) osalta suurin osa mukuloista oli kaikissa käsittelyissä melko tai täysin kiinteitä, mutta yksittäiset mukulat hajosivat jopa kokonaan. Käsittelyiden väliset erot keittolaadussa olivat kuitenkin pieniä. Keittolaatutuloksista ainoastaan ruuduittain havainnoidut raakatummumisen arvosana ja -indeksi testattiin tilastollisesti, eikä niissä ollut merkitseviä eroja käsittelyiden ja esikasvien välillä.

Sadon keittolaatu oli ruokaperunakäyttöä ajatellen varsin kehnoa. Tätä selittää se, että kokeen peruna oli tuotettu siemenperunantuotantoon soveltuvalla lannoituksella eikä lannoitusta ollut optimoitu keittolaadun näkökulmasta.



Kuva 17. Sadon ulkoisen laadun vioitukset.

4.2.4.4. Mittaukset rakenteellisilla maanäytteillä

Pellosta otettiin joka vuosi rakenteellisia maanäytteitä pohjamaan kylläisen maan vedenjohtavuuden ja vedenpidätysominaisuuksien mittaamista varten kolmesta koejäsenestä (kontrolli, pelkkä jankkurointi, jankkurointi + biotuhka) ja neljästä kerranteesta yhteensä 72 kpl. Maanäytteet otettiin muokkauskerroksen alta jankosta 30 cm syvyydestä Eijkelkampin 250 cm³ teräslieriöillä koeruudun keskeltä penkin kohdasta (2 kpl) ja vaosta penkin kummaltakin puolelta (4 kpl) (Kuva 18). Näytteet otettiin samoista ruuduista ja samalla tavalla eri vuosina elokuun viimeisellä viikolla, jotta voitiin seurata koekäsittelyjen muutosta ajan suhteen.

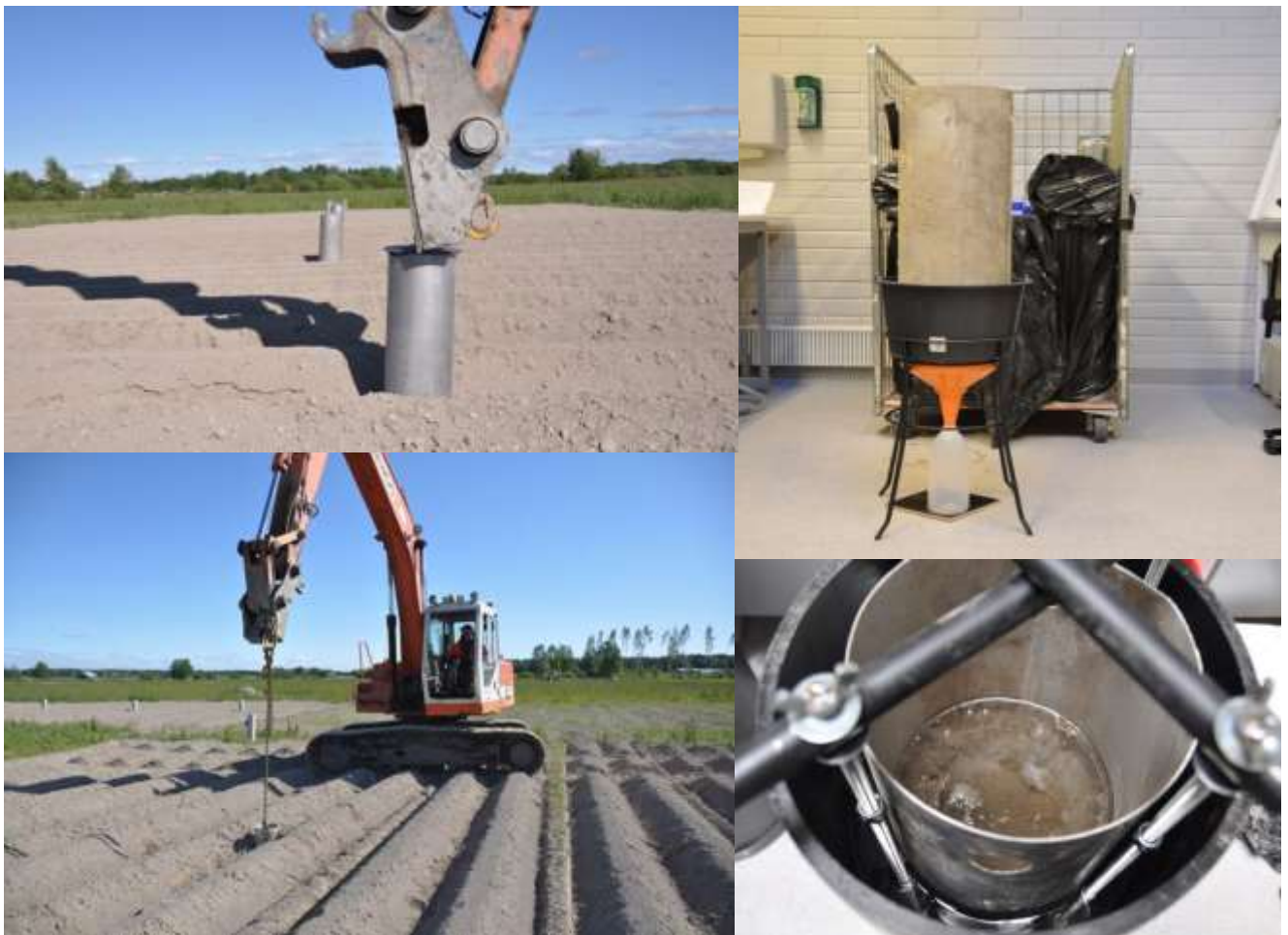
Kokeessa havaittiin, että sekä jankkurointi että biotuhkalisäys perunan monokulttuuriruuduissa lisäsivät maan vedenjohtavuuden noin kaksinkertaiseksi käsittelyvuonna (2013) ja sitä seuraavana vuonna (2014), mutta kahdessa vuoden kuluttua (2015) käsittelyn vaikutus oli jo lähes hävinnyt. Rakeistetun biotuhkan lisääminen jankkuriuraan lisäsi vedenjohtavuutta enemmän kuin pelkkä jankkurointi ja näyttää hidastavan jankkuriuran painumista umpeen. Jankkuroinnin ja biotuhkalisäyksen vaikutukset kokonaishuokoisuuteen ja suurten huokosten määrään olivat samansuuntaisia kuin vaikutukset vedenjohtavuuteen. Tulokset ovat myös yhteneväisiä näiden koejäsenten penetrometrimittausten tulosten kanssa..



Kuva 18. Eijkelkampin 250 cm³ teräslieriöt. Näytteistä määritettiin kyllästetyn maan vedenjohtavuus (Ks) ja vedenpidätysominaisuudet laboratoriossa.

Lisäksi koekentiltä perunan monokulttuuriruuduista (koejäsenet 3006 – 3011) otettiin kesäkuussa vuosina 2013–2015 maanäytteet painamalla n. 80 cm mittainen ruostumattomasta teräksestä valmistettu 21,5 cm halkaisijaltaan oleva putki kaivinkoneella kohtaan, johon maanparannusaine oli jankkurin avulla lisätty (kuva 18). Näytteitä otettiin joka kerralla 12 kpl (6 käsittelyä, jokaisesta 2 kerranteesta). Maa-aineksesta täyttyneet sylinterit nostettiin kaivinkoneella ylös kettingin avulla.

Laboratoriossa koejäsenten aiheuttamia muutoksia aineiden huuhtoutumiseen tutkittiin valuttamalla peltokokeista saadun maa-aineksen läpi tislattua vettä painovoimaisesti. (Keinotekoista sadetta ei käytetty, koska käytettävä vesi joka tapauksessa muuttuu merkittävästi joutuessaan kosketuksiin maa-aineksen kanssa.) Vettä syötettiin sylinterien yläosaan niin kauan, että maa-aineksen läpi valui tarpeellinen määrä vettä analyysijä varten. Tarkoituksena oli vertailla eri koejäsenten aiheuttamia pitoisuuksia, ei kuormitusta. Vesi kerättiin sylinterin alle sijoitettuun pulloon (kuva 17). Koejärjestelyllä haluttiin simuloida sadeveden kulkua kokeessa käytetyn maa-aineksen läpi. Vesinäytteet esisuodatettiin mustanauhasuodattimen läpi kiintoaineen poistamiseksi ennen laboratorioanalyysijä. Vuonna 2015 otettujen näytteiden läpi suodatunut vesinäyte suodatettiin 0,45 µm suodattimen läpi. Jankkurointi ja biohiilen lisäys nopeuttivat veden virtausta veden kyllästämiä maasynterien läpi 2013 samaan tapaan kuin pienillä lieriöillä, samoin kuitusaven lisäys, mutta ei enää myöhemmin.



Kuva 17. Näytteenotto isoilla lieriöillä

Maanäytteitä analysoitaessa selvisi, että, että koepaikan pohjamaa on topografisesta korkeudestaan huolimatta (71 m merenpinnasta) hapanta sulfaattimaata ja maaperässä on luonnostaan suuria määriä rikkiä ja sulfidihappamuuden (rikkihapon) liuottamia metalleja. Edellä mainitun syyn vuoksi maanparannusaineiden mahdollisia vaikutuksia oli osittain vaikea havaita. Esimerkiksi oletettuja tuhkan aiheuttamia metallilisäyksiä ei juurikaan voida havaita tuloksista, sillä maanparannusainetta on näytteessä hyvin vähän verrattuna koko maanäytteen tilavuuteen.

Tuloksista pystyttiin kuitenkin päättelemään, että joidenkin maanparannusaineiden sisältämät aineet voivat huuhtoutua valumaveteen siten, että ne nostavat kyseisten aineiden pitoisuuksia valumavedessä.

Kaikki suoritettut maanmuokkaustoimenpiteet näyttävät vähentäneen typen kulkeutumista pellolta valumaveden mukana. Jo pelkkä jankkurointi on vaikuttanut positiivisesti, mutta maanparannusaineiden lisäykselläkin näyttäisi olleen lisäksi pieni positiivinen vaikutus. Samankaltainen tulos saavutettiin kokonaistypen ja nitraatti- ja nitriittitypen osalta.

Biotuhkan lisääminen on selkeästi nostanut valumaveden natriumpitoisuuksia. Tulos on odotettu, sillä Oulun yliopiston Suomen ympäristöpalvelut Oy:llä teettämien maa-aineanalyysien biotuhkassa on suuri määrä Natriumia suhteessa muihin käytettyihin maanparannusaineisiin. Kromin pitoisuuksia valumavedessä nostivat biotuhkan, kuitusaven ja biotuhkan lisäykset. Biotuhkan lisäämisellä oli suuri vaikutus kaliumin huuhtoutumiseen pellolta. Titaanin määrää valumavedessä lisäsivät jankkurointi sekä kuitusaven ja kuitulietteen lisääminen. Jankkuroinnin suureen keskiarvotulokseen vaikuttaa yhdestä näytteestä saatu erittäin suuri tulos, jonka oikeellisuutta voitaneen epäillä. Kuitusaven ja kuitulietteen sen sijaan tiedetään sisältävän titaania. Myös biotuhka sisältää suuren määrän titaania, mutta se näyttäisi olevan happamissa pelto-oloissa vähemmän mobiilissa muodossa. Sinkin määrä valumavedessä lisääntyi huomattavasti kuitusaven lisäämisen johdosta.

4.3. Maanparannusaineiden sylinterikoe

Tässä tutkimusosiossa Luke Oulu selvitti luvussa 4.1.1. esiteltyjen ja tutkittujen maanparannusaineiden (biohiili, biotuhka, kuituliete ja kuitusavi)vaikutuksia perunan kasvuun ja kehitykseen, kasvin ravinteiden hyväksikäyttöön sekä maan rakenteeseen siten, että saadut tulokset olisivat hyödyntämässä kenttäkokeen tulosten tulkintaa ja käytettävissä maanparannusaineiden käytön optimointiin. Käytettävissä olevan rahoituksen ja hankkeen keston rajaamana Luke Oulun osuus suunniteltiin toteutettavaksi avomaalla ns. sylinterikokeena. Avomaa-olosuhteissa toteutetussa sylinterikokeessa rajutkaan luontaiset sadannat eivät aiheuta maa-aineksen kulkeutumista 'ruudulta toiselle', sadevesi kulkeutuu sylinterimaahan normaalisti, myös maassa olevan veden kapillaarinen

liike on normaalia. Lämpötilavaihtelut ovat kasvukauden vaihteluita ja sylintereiden upottaminen maahan takaa myös routaantumisen ympäröivän maan tavoin. Taulukossa 3 on esitetty käytettyjen maanparannusaineiden käyttömäärät eri lannoitustyyppitasoilla.

Taulukko 3. Käytetyt maanparannusaineiden ja lannoitteiden määrät koejäsenittäin.

Koejäsen	Maanparannusaine	tn/ha	N kg/ha
1A	Ei maanparannusainetta	0	35
2A	Biohiili	2,5	35
3A	Biohiili	5	35
4A	Biotuhka	2,5	35
5A	Biotuhka	5	35
6A	Kuituliete	10	35
7A	Kuituliete	35	35
8A	Kuitusavi	10	35
9A	Kuitusavi	35	35
1B	Ei maanparannusainetta	0	70
2B	Biohiili	2,5	70
3B	Biohiili	5	70
4B	Biotuhka	2,5	70
5B	Biotuhka	5	70
6B	Kuituliete	10	70
7B	Kuituliete	35	70
8B	Kuitusavi	10	70
9B	Kuitusavi	35	70

4.3.1. Aineisto ja menetelmät

Kokeessa tutkittiin neljän maanparannusaineen vaikutusta perunan kehitykseen ja satotasoon. Käytetyt maanparannusaineet (Kappale 4.1.) tulivat keskitetysti Oulun yliopiston kautta, biohiili Charcoal Finland Oy:sta, biotuhka Ecolan Oy:sta, kuituliete Mfibrils Oy:lta ja kuitusavi Stora Enso Veitsiluodosta. Kokeessa käytettiin kahta maanparannusaineen lisäystasoa sekä kahta lannoitustasoa (Taulukko 3). Käytetyt lannoitustasot olivat 35 kg N/ha 70 kg N/ha. Lannoitteena käytettiin Perunan Y1 NPK-lannosta (8:5:19) hajalevitettynä sylinterien muokkauskerroksen puoliväliin noin 12 cm syvyyteen. Lannoitus tehtiin sylinterikokeen perustamisvaiheessa. Maanparannusaineet poikkesivat kemiallisilta ja fysikaalisilta olomuodoiltaan (Liite 3), minkä vuoksi niiden käyttömäärät hehtaaria kohti vaihtelivat.

4.3.1.1. Kenttäkoesuunnitelma

Koe toteutettiin sylinterikokeena Muhoksella, Pohjois-Pohjanmaalla, vuosina 2013–2015. Sylinterikoe perustettiin 6 toistolla, jotta vuosittain saadaan 1 toisto purettua maa-analyysia varten ja vielä viimeisenäkin toteutusvuonna on jäljellä 4 toistoa (Kenttäsuunnitelma, Liite 3).

Materiaaliltaan PVC- muoviset ja halkaisijaltaan 50 cm maaviemäriputket leikattiin 50 cm pituisiksi. Sylinterit upotettiin maahan ja pohjalle asetettiin vettäläpäisevä katekangas. Sylinterien täyte- maaksi valittiin näyteanalyysien (pH 5,7 / Ca 1600 / P 11 / K 47 / Mg 190) perusteella Pohjois-Pohjanmaalla perunatuotannossa tyypillisin maa-aines, vähämultainen karkea hieta. Maa-aines otettiin perunantuotannossa olleelta lohkolta, sekoitettiin ja sylinterit täytettiin (Kuva 18) samalla maa-aineksella siten, että sylinterin pohjalle laitettiin tiivistämällä 25 cm pelkkää maata ja maanparannusaineet sekoitettiin 25 cm pintakerrokseen (=muokkauskerros). Maanparannusaineiden sekoittaminen tehtiin täytemaahan koneellisesti sekoittaen ainekohtaisesti ja sen jälkeen jaoteltiin suunnitelman (Liite 3) mukaisesti ao. sylintereihin (Kuva 19 ja 20). Kenttäkokeen lajikkeena käytettiin yleensä lannoitukseen reagoivaa ja suhteellisen taudinkestävää Famboa. Siemenperunoita istutettiin 3 kpl/sylinteri (Kuva 21).



Kuva 18. Sylintereiden pohjamaan täyttäminen.



Kuva 19. Maanparannusaineiden (kuvassa kuitu-savi) sekoittaminen ennen sylintereiden täyttöö



Kuva 20. Maanparannusaine jaoteltiin koesuunnitelman (liite 3) mukaisesti ao.



Kuva 21. Siemenperunoiden (Fambo) istuttaminen 3 kpl/sylinteri.



Kuva 22. Taimettuminen on vaiheessa 3, kun kaikki kolme versoa ovat nähtävissä.



Kuva 23. Kasvuston kehitystä havainnoitiin sylintereissä kasvikohtaisesti.

4.3.1.2. Perunakasvuston seuranta

Perunakasvustosta havainnoitiin taimettuminen kasvikohtaisesti (Kuva 22 ja 23). Kehitysvaiheiden havainnointi toteutettiin Hack ym. (1993) mukaan, taudit ja puutosoireet, lehtiravinteet nuppuvaiheessa (vuosina 2014 ja 2015) sekä tuleentuminen. Mukulasadot lajiteltiin kokoluokittain, laskettiin lukumäärät ja punnittiin. Sadosta määritettiin kuiva-aine- ja tärkkelyspitoisuus sekä ravinne- ja raskasmetallipitoisuudet, jotka analysoitiin Ahma Ympäristö Oy:n laboratoriossa.

4.3.1.3. Maanäytteiden otto ja analysointi

Kaksi rinnakkaista maanäytettä otettiin kustakin seoksesta kokeen alussa keväällä 2013. Kokeen edetessä muokauskerroksesta otettiin yksi kokoomanäyte keväisin ja kaksi kokoomanäytettä syksyisin. Pohjamaan analyysijä varten purettiin kerranteen VI sylinterit syksyllä 2013 ja kerranteen V sylinterit syksyllä 2014. Syksyllä 2015 purettiin kaikki loput kerranteet, joista yhdistettiin kaksi kokoomanäytettä.

Maa-analyyseina olivat keväällä ravinne- ja alkuainemääritykset, orgaanisen aineksen pitoisuus (HEH % kuiva-aineesta) pelkästä maasta sekä sekoituksista ennen lannoitusta sekä syksyllä ravinne- ja alkuainemääritykset ja orgaanisen aineksen pitoisuus. Tulokset on laskettu ravinneanalyyseissä tuoreen maan tilavuutta kohti (mg/l) ja alkuaineanalyysitulokset kuivatun maan painoa kohti (mg/kg). Raja-arvot alittavat tulokset on merkitty kunkin näytteen kohdalle (esim. <3). Kaikki analyysit tehtiin Ahma Ympäristö Oy:n laboratoriossa.

4.3.1.4. Sääolosuhteet

Koekentällä oli automaattinen säähavaintoasema (A-talo), jossa mitattiin ilman lämpötila, suhteellinen kosteus, sademäärä sekä tuulen suunta ja nopeus. Lisäksi vuosien 2001–2010 keskiarvotiedot on poimittu ilmatieteen laitoksen Oulunsalon asemalta. Mittaustuloksista laskettiin kasvukauden lämpösumma ja sademäärä.

4.3.1.5. Aineiston tarkastelu

Kokeen tulokset analysoitiin SAS-tilasto-ohjelmalla. Maanparannusainelisäyksen, typpilannoituksen ja ajan pää- sekä yhdysvaikutukset analysoitiin lineaarisilla sekamalleilla (GLIMMIX). Maanparannusaineiden vaikutuksia vertailtiin suhteessa toisiinsa ja suhteessa verrokkikäsitteeseen, jossa ei lisätty maanparannusaineita ollenkaan. Mikäli yhdysvaikutukset olivat merkitseviä, käsitteiden vaikutuksia vertailtiin vuosittain.

Rinnakkaisten näytteiden määrä (n) vaihteli vuosittain käytännön syistä johtuen. Kasvustoja ja satotasoa voitiin seurata ensimmäisenä vuonna kuudesta kerranteesta ja seuraavina viidestä ja neljästä (n=6/5/4). Ravinne- ja alkuaineanalyysit tehtiin kokoomanäytteistä, joiden lukumäärä on ilmoitettu ko. yhteydessä.

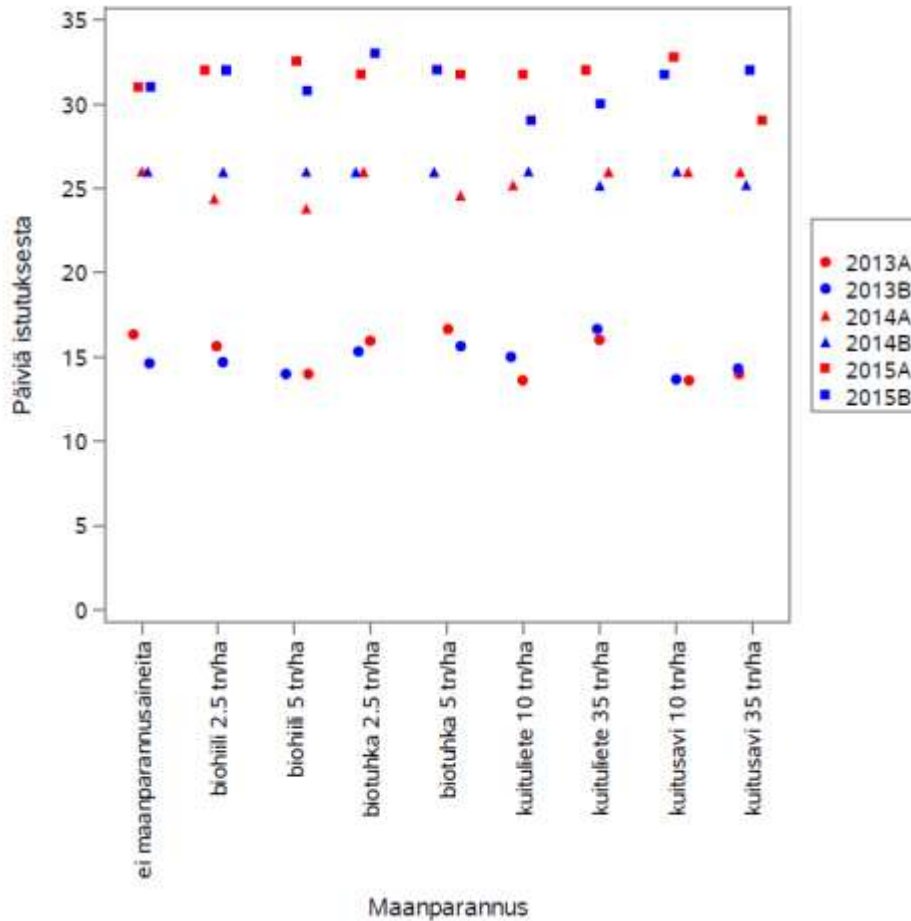
Kuvissa olevat hehtaarikohtaiset perunan satomäärät saatiin laskemalla sylintereistä saadut arvot istutustiheydellä 33 cm ja rivivälillä 70 cm.

4.3.2. Tulokset

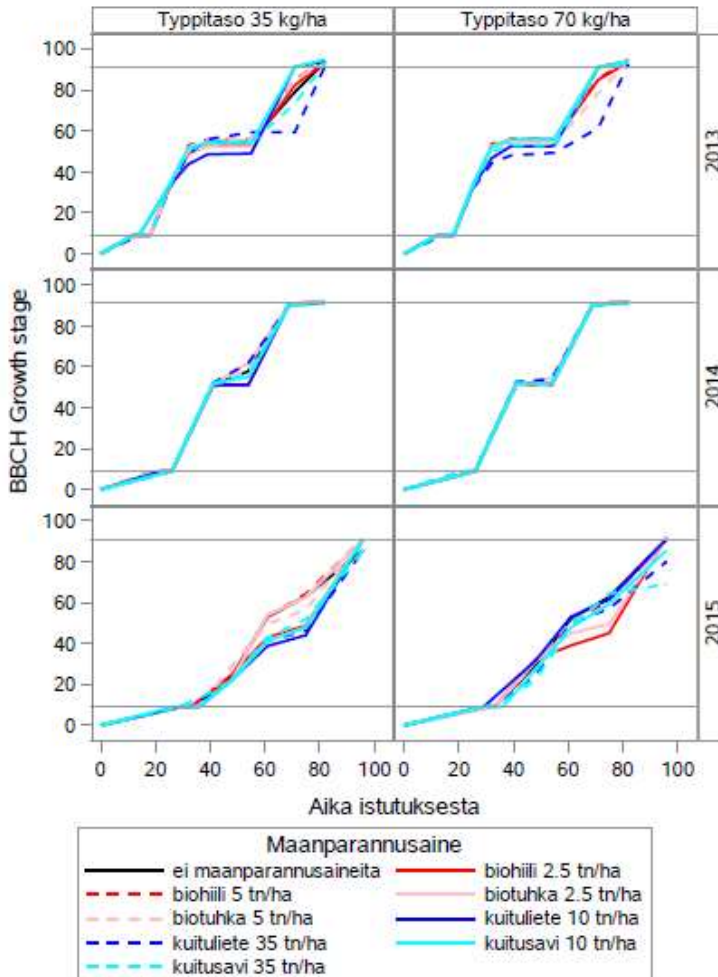
Perunan istutus tehtiin ensimmäisenä vuonna 13.6. eli noin 10 päivää myöhemmin kuin myöhemmin vuosina (4.6. ja 3.6). Taimettuminen (15 vuorokautta) oli istutusajankohdasta ja suotuisista sääolosuhteista johtuen keskimäärin 10 - 12 vuorokautta nopeampaa ensimmäisenä kasvukautena verrattuna toiseen ja kolmanteen kasvukauteen (Kuva 24). Kolmantena kasvukautena sää oli erittäin viileää ja sateista kesäkuussa. Maanparannusaine, sen käyttömäärä tai typpilannoituksen taso eivät vaikuttaneet taimettumiseen.

4.3.2.1. Kasvuston kehittyminen

Kasvuston kehitymisessä tuli myös esiin vuosittaisten sääolosuhteiden aikaansaamat vaihtelut (Kuva 25). Ensimmäisenä kasvukautena kuitulietelisäys korkeammalla tasolla (35 tn/ha; koejäsen 7) hidasti kasvuston kehitystä keskimäärin 10 vuorokaudella verrattuna muihin maanparannusaineisiin, mutta hidastava vaikutus väheni seuraavien kahden kasvukauden aikana. Typpilannoitustasolla ei ollut merkitsevää vaikutusta kasvustojen kehitykseen.



Kuva 24. Maanparannusaineilla tai lannoitustasoilla (A N 35 kg/ha, B N 70 kg/ha) ei ollut vaikutusta perunan taimettumiseen (päivien lukumäärä istutuksesta) toteutusvuosina 2013 - 2015. Vuosien väliseen 10 – 12 taimettumispäivien eroon vaikutti sääolosuhteet. Vuoden 2013 lämpimänä ja sopivan kosteana keväänä siemenperunoiden taimettuminen oli nopeinta (keskimäärin 15 vuorokautta).



Kuva 25. Kasvuston kehittyminen istutuksesta sadonkorjuuseen BBCH-asteikolla (Hack ym. 1993). Ensimmäisenä kasvukautena (2013) kuitulietelisäys korkeammalla tasolla (35 tn/ha; koejäsen 7) hidasti kasvuston kehitystä keskimäärin 10 vuorokaudella verrattuna muihin maanparannusaineisiin.

4.3.2.2. Kasvitaudit, puutosoireet ja lehtiravinteet

Maanparannusaineella tai typen lannoitusmäärällä ei ollut vaikutusta kasvustojen puutos- tai kasvi-tautioireisiin. Ensimmäisen kasvukauden aikana esiintyi jonkin verran magnesiumin puutosoireita, lehtipoltetta ja harmaahometta, mutta myöhemmin niitä ei ollut havaittavissa merkittävässä määrin.

Maanparannusaineilla ei ollut systemaattista vaikutusta lehtien ravinnepitoisuuksiin (Taulukko 4). Ainoastaan rikkipitoisuus (S) oli hieman suurempi kuin verrokkikäsitellyssä (ei sisältänyt maanparannusainetta). Kuitulietteen ja kuitusaven korkeampien määrien (35 tn/ha; koejäsenet 7 ja 9)

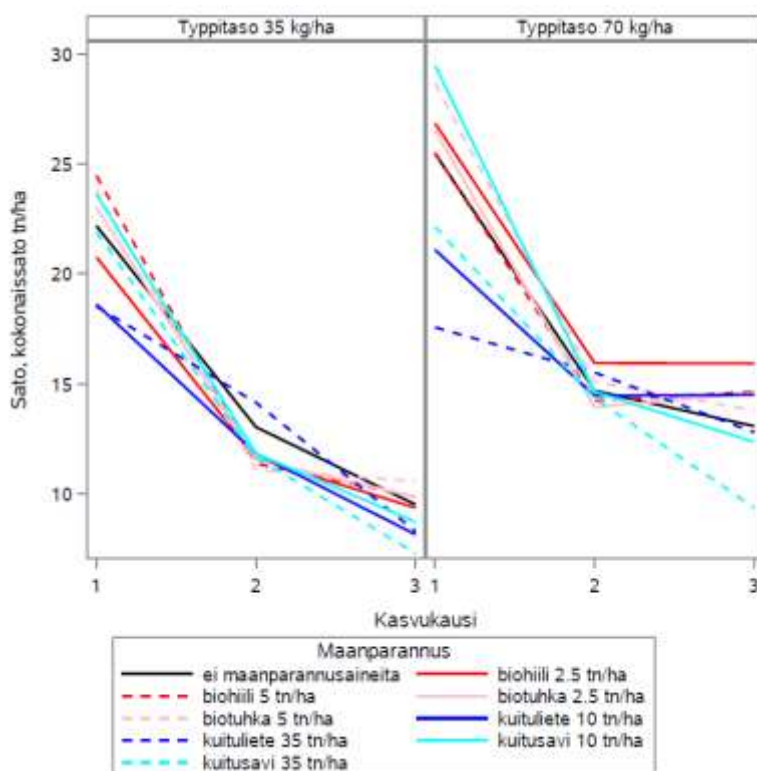
vaikutukset kasvustoissa ilmenivät hieman alhaisempina boorin (B), kalsiumin (Ca), magnesiumin (Mg), mangaanin (Mn) ja rikin pitoisuuksina. Korkeampi typpilannoitustaso lisäsi kaliumin (K), mangaanin, sinkin (Zn) ja typen pitoisuuksia lehdissä ja vähensi kalsiumin, kuparin (Cu), magnesiumin ja rikin pitoisuuksia.

Taulukko 4. Maanparannusaineiden ja typpilannoituksen päävaikutuksetravinnepitoisuuksiin perunan lehdissä. Kuitulietteen ja kuitusaven korkeampien määrien (35 tn/ha) vaikutukset kasvustoissa ilmenivät hieman alhaisempina boorin (B), kalsiumin (Ca), magnesiumin (Mg), mangaanin (Mn) ja rikin pitoisuuksina. Korkeampi typpilannoitustaso lisäsi kaliumin (K), mangaanin, sinkin (Zn) ja typen pitoisuuksia lehdissä ja vähensi kalsiumin, kuparin (Cu), magnesiumin ja rikin pitoisuuksia. Maanparannusaineiden parittaisissa vertailuissa sama kirjain tarkoittaa, että käsitellyt eivät eroa merkitsevästi toisistaan. Kirjain [a] annetaan suurimman arvon saavalle käsittelylle.

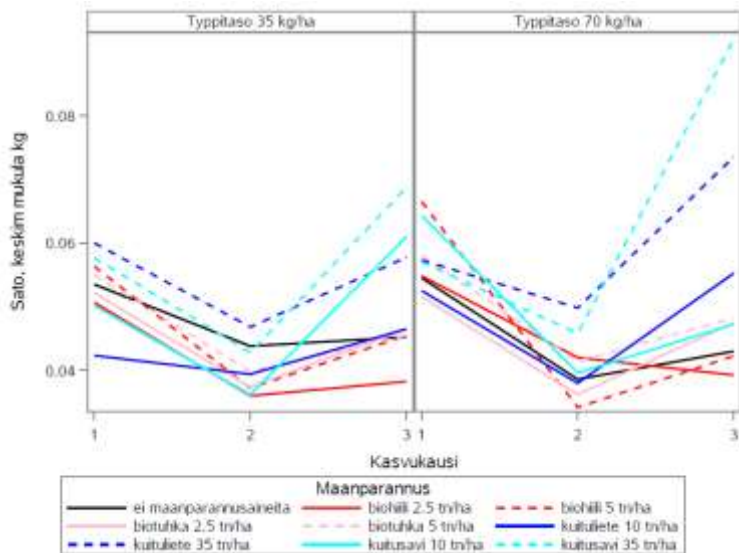
Lehtiravinteet	B	Ca	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	S	Zn	N ^a
Päävaikutukset												
Maanparannusaine	pt	pt	pt	0	pt	pt	pt	0	pt	↑	pt	0
Korkeampi typpilannoitus	0	↓	↓	0	↑	↓	↑	0	pt	↓	↑	↑
Muutokset ajassa												
Kolmas kasvukausi	↓↓	↓↓	pt	00	0↓	↓↓	↓↓	↓↓	↑↑	↓↓	↑0	pt
Käsittelyiden vertailut^b												
Ei maanparannusainetta	abcd	ab	a	a	a	abc	ab	a	a	cd	a	a
Biohiili 2,5 tn/ha	abc	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
Biohiili 5 tn/ha	abc	ab	ab	a	a	ab	ab	a	a	ab	a	a
Biotuhka 2,5 tn/ha	ab	ab	ab	a	a	a	ab	a	a	a	a	a
Biotuhka 5 tn/ha	a	ab	ab	a	a	ab	ab	a	a	a	a	a
Kuituliete 10 tn/ha	bcd	ab	ab	a	a	bcd	ab	a	a	bcd	a	a
Kuituliete 35 tn/ha	d	b	ab	a	a	d	b	a	a	d	a	a
Kuitusavi 10 tn/ha	cd	ab	ab	a	a	a	b	a	a	ab	a	a
Kuitusavi 35 tn/ha	cd	ab	b	a	a	cd	b	a	a	bcd	a	a
^a Vain vuoden 2014 tulokset; ^b Malli maanparannuskäsittely x lannoitustaso; pt=puuttuva tieto, merkitsevä yhdysvaikutus tai ero ei ollut samansuuntainen kaikilla koejäsenillä												
0, ei merkitsevää vaikutusta; ↑, lisäävä vaikutus; ↓, vähentävä vaikutus; punainen väri merkitsee korkeampaa typpilannoitusta												

4.3.2.3. Perunasato

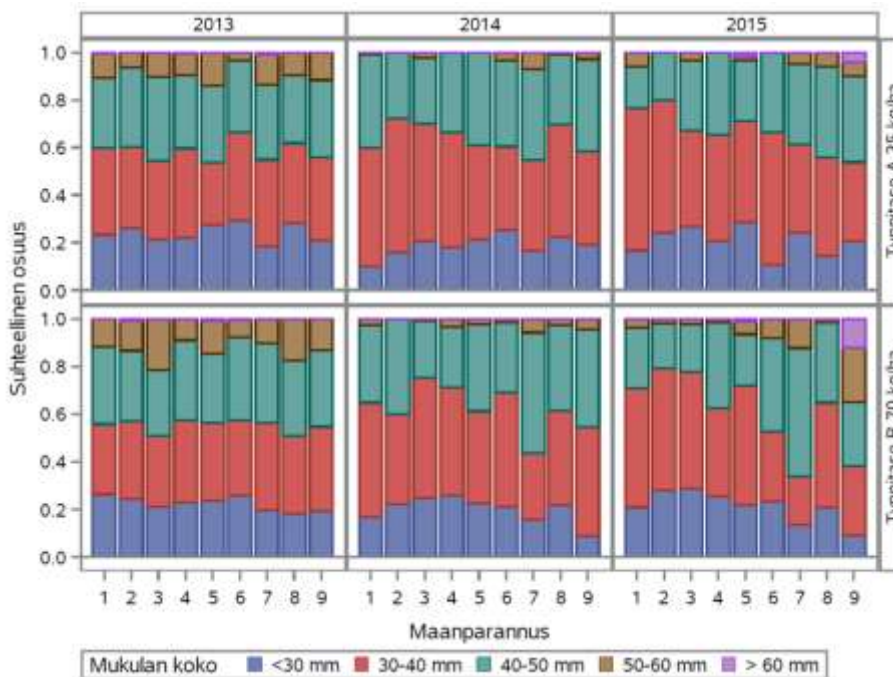
Sekä maanparannusaine että typpilannoituksen taso vaikuttivat satotasoihin (Kuva 26). Maanparannusaineiden väliset erot olivat selvimmät korkeammilla kuituliete- ja kuitusavimäärillä (35 tn/ha; koejäsenet 7 ja 9) suhteessa muihin käsittelyihin (Kuva 27). Sadon kokonaismäärä jäi kuitulietteellä 11 t/ha ja kuitusavella 6 t/ha alhaisemmiksi kuin muilla maanparannusaineilla. Vastaavasti mukuloiden keskipaino oli kuitulietteellä ja kuitusavella tuotetuilla 10 -15 g suurempi kuin muilla maanparannusaineilla. Korkeampi typpilannoitus lisäsi sadon kokonaismäärää 5 – 10 t/ha ja myös mukuloiden lukumäärää keskimäärin 1 - 3 kpl/kasvi, mutta mukuloiden keskipainoon ei kuitenkaan ollut vaikutusta (Kuva 28). Satotasot alenivat ensimmäisen vuoden (2013) jälkeen kaikilla maanparannuskäsittelyillä, 44 % alhaisemmalla typpilannoituksella ja 39 % korkeammalla typpilannoituksella.



Kuva 26. Perunan kokonaissato (kg/ha) eri maanparannusainekäsittelyillä. Sadon kokonaismäärät jäivät korkeammalla kuitulietemäärällä 11 t/ha ja korkeammalla kuitusavimäärällä 6 t/ha alhaisemmiksi kuin muilla maanparannusaineilla. Korkeampi typpilannoitus lisäsi sadon kokonaismäärää 5 – 10 t/ha. Satotasot alenivat ensimmäisen vuoden (2013) jälkeen kaikilla maanparannuskäsittelyillä, 44 % alhaisemmalla typpilannoituksella ja 39% korkeammalla typpilannoituksella.



Kuva 27. Mukuloiden keskipaino (g/kpl). Mukuloiden keskipaino oli kuitulietteellä ja kuitusavella tuotetuilla 10 -15 g suurempi kuin muilla maanparannusaineilla. Typpilannoituksella ei ollut vaikutusta mukuloiden keskipainoon.

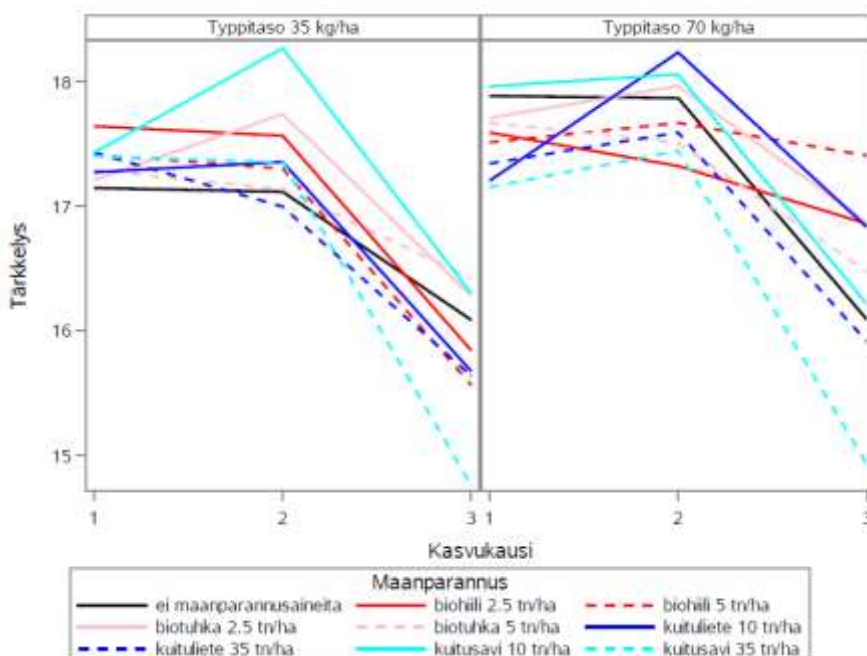


Kuva 28. Mukuloiden suhteellinen osuus sadossa kokoluokittain (%). Ensimmäisen vuoden sadossa oli eniten kokoluokaltaan yli 50 mm mukuloita (erot eivät merkitseviä) ja vuosina 2014 -2015 korkeammilla kuituliete- ja kuitusavimäärillä (35 tn/ha) tuotetuissa sadoissa.

Tarkasteltaessa mukuloiden kokoluokkien suhteellisia osuuksia (Kuva 28) havaittiin, että kokoluokkien 50–60 mm ja > 60 mm osuudet olivat suurimmillaan ensimmäisenä kasvukautena (2013). Toisena ja kolmantena (2014, 2015) kasvukautena merkittävin havainto oli, että korkeammat kuituliete- ja kuitusavimäärät (35 tn/ha) tuottivat suurempikokoisia mukuloita suhteessa muihin maanparannusaineisiin.

4.3.2.4. Mukuloiden ravinne- ja tärkkelyspitoisuus

Perunan ravinnepitoisuudet vaihtelivat suuresti maanparannusaineiden, lannoitustason ja ajan suhteen (Taulukko 5). Maanparannusaineet vaikuttivat ainoastaan mukulan Mn-pitoisuuteen, joka jonkin verran pieneni suhteessa verrokkikäsitteeseen. Korkeampi typpilannoitus laski hieman B-, Ca-, K-, P-, S- ja Zn-pitoisuuksia. Perunan tärkkelyspitoisuus oli hieman suurempi (0,5 – 0,8 prosenttiyksikköä) korkeammalla typpilannoituksella kaikilla maanparannusaineilla (Kuva 29). Kolmantena kasvukautena tärkkelyspi-toisuus laski käsittelystä riippumatta kostean ja suhteellisen viileän kasvukauden takia. Erityisen suuri vaikutus tärkkelyspitoisuuden (keskimäärin 2,0 prosenttiyksikköä) laskuun oli korkeammalla kuitusavimäärällä kasvaneilla perunoilla (35 t/ha).



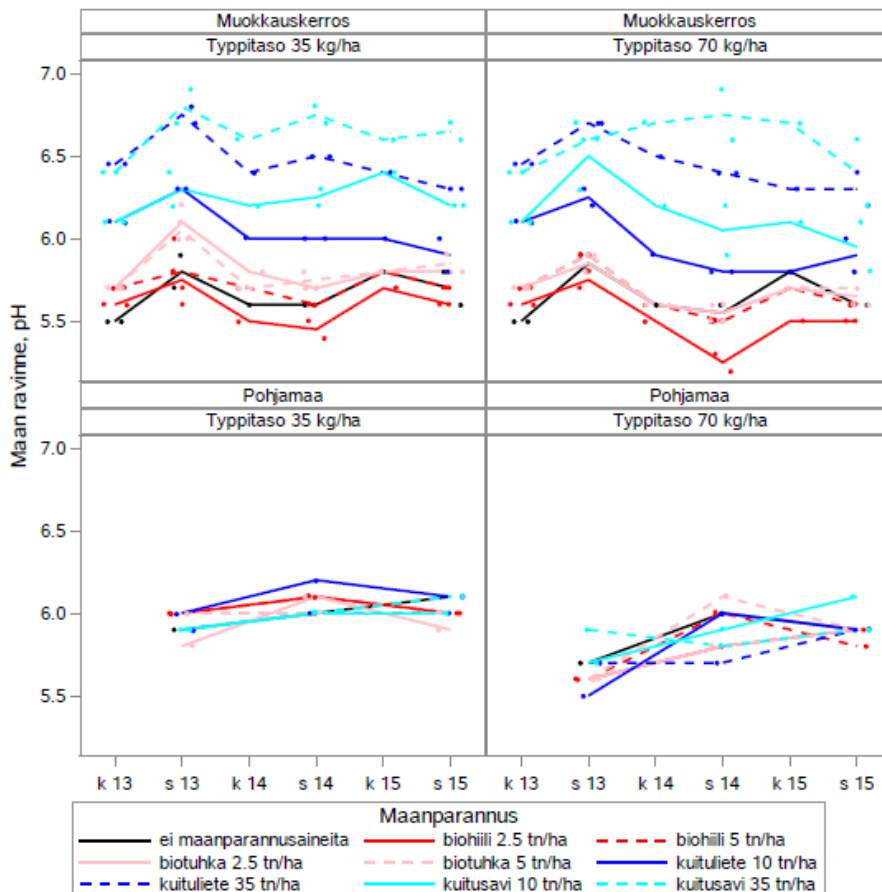
Kuva 29. Perunan tärkkelyspitoisuus (%). Korkeampi typpitaso (75 kg N/ha) nosti hieman (0,5 – 0,8 prosenttiyksikköä) tärkkelyspitoisuutta kaikilla maanparannusaineilla. Kolmantena kasvukautena tärkkelyspitoisuus laski käsittelystä riippumatta kostean ja suhteellisen viileän kasvukauden takia, eniten (keskimäärin 2,0 prosenttiyksikköä) korkeammalla kuitusavimäärällä kasvaneilla perunoilla.

Taulukko 5. Perunan ravinnepitoisuudet vaihtelivat suuresti, maanparannusaineet laskivat hieman mukuloiden Mn-pitoisuuksia verrokkikäsitteeseen. Korkeampi typpilannoitus laski hieman B-, Ca-, K-, P-, S- ja Zn pitoisuuksia. Maanparannusaineiden parittaisissa vertailuissa sama kirjain tarkoittaa, että käsittelet eivät eroa merkittävästi toisistaan.

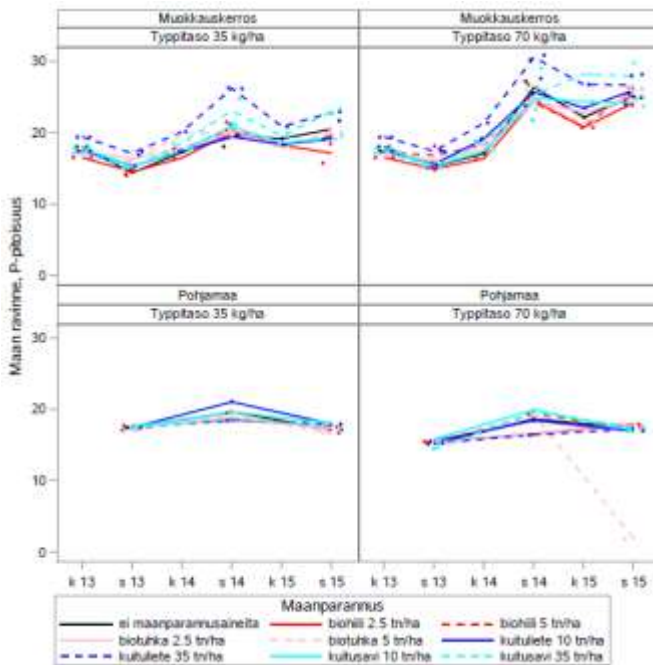
Mukularavinteet		B	Ca	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	S	Zn	N ^a
Päävaikutukset													
Maanparannusaine		0	pt	pt	0	pt	0	↓	0	0	0	0	0
Korkeampi typpilannoitus		↓	↓	0	0	↓	0	pt	0	↓	↓	↓	0
Muutokset ajassa													
Toinen kasvukausi		↓↓	↓↓	↑↑	↑↑	↓↓	↓↓	↑↑	↑↑	pt	↑↑	↑↑	↑↑
Kolmas kasvukausi		↑↑	↓↓	↓↓	↑↑	↓↓	↓↓	↓↓	pt	↓↓	↓↓	↓↓	pt
Käsitteilyiden vertailut^b													
<i>Ensim. kasvukausi 2013</i>													
Ei maanparannusainetta		ab	d	ab	b	bc	a	ab	a	d	b	b	a
Biohiili 2,5 tn/ha		a	d	ab	ab	bc	a	a	a	d	a	a	a
Biohiili 5 tn/ha		ab	d	b	b	bc	a	bc	a	d	ab	b	a
Biotuhka 2,5 tn/ha		b	d	b	ab	c	a	bc	a	d	b	b	ab
Biotuhka 5 tn/ha		ab	d	b	ab	bc	a	ab	a	d	ab	ab	a
Kuituliete 10 tn/ha		ab	c	ab	a	a	a	ab	a	b	a	ab	b
Kuituliete 35 tn/ha		a	a	a	ab	a	b	c	a	a	ab	ab	b
Kuitusavi 10 tn/ha		b	c	ab	ab	b	a	bc	a	d	b	b	a
Kuitusavi 35 tn/ha		ab	b	b	ab	ab	a	bc	a	c	ab	b	ab
<i>Toinen kasvukausi 2014</i>													
Ei maanparannusainetta		a	b	ab	a	a	a	a	a	ab	a	ab	a
Biohiili 2,5 tn/ha		ab	b	ab	a	a	a	a	a	ab	a	ab	a
Biohiili 5 tn/ha		ab	b	ab	a	a	a	ab	a	a	a	ab	a
Biotuhka 2,5 tn/ha		ab	b	ab	a	a	a	ab	a	ab	a	ab	a
Biotuhka 5 tn/ha		ab	b	a	a	a	a	abc	a	ab	a	a	a
Kuituliete 10 tn/ha		b	b	ab	a	a	a	b	a	ab	a	ab	a
Kuituliete 35 tn/ha		b	a	b	a	a	a	c	a	c	a	b	a
Kuitusavi 10 tn/ha		ab	a	ab	a	a	a	bc	a	bc	a	ab	a
Kuitusavi 35 tn/ha		ab	a	b	a	a	a	c	a	ab	a	b	a
<i>Kolmas kasvukausi 2015</i>													
Ei maanparannusainetta		ab	d	ab	a	ab	a	ab	a	a	a	a	pt
Biohiili 2,5 tn/ha		ab	d	ab	a	abc	a	a	a	a	a	a	pt
Biohiili 5 tn/ha		ab	cd	ab	a	abc	a	ab	a	ab	a	a	pt
Biotuhka 2,5 tn/ha		ab	d	a	a	abc	a	ab	a	a	a	a	pt
Biotuhka 5 tn/ha		bc	cd	ab	a	bc	a	ab	a	ab	a	a	pt
Kuituliete 10 tn/ha		abc	c	ab	a	a	a	ab	a	a	a	a	pt
Kuituliete 35 tn/ha		a	b	ab	a	b	a	bc	a	bc	a	a	pt
Kuitusavi 10 tn/ha		ab	b	ab	a	abc	a	ab	a	ab	a	a	pt
Kuitusavi 35 tn/ha		c	a	b	a	c	a	c	a	c	a	a	pt
^a Vuodelta 2015 ei tuloksia; ^b Malli maanparannuskäsitteily x lannoitustaso x aika; pt=puuttuva tieto, merkitsevä yhdysvaikutus tai ero ei ollut samansuuntainen kaikilla koejäsenillä													
0, ei merkitsevää vaikutusta; ↑, lisäävä vaikutus; ↓, vähentävä vaikutus; punainen väri merkitsee korkeampaa typpilannoitusta													

4.3.2.5. Maan ravinne- ja alkuainepitoisuudet

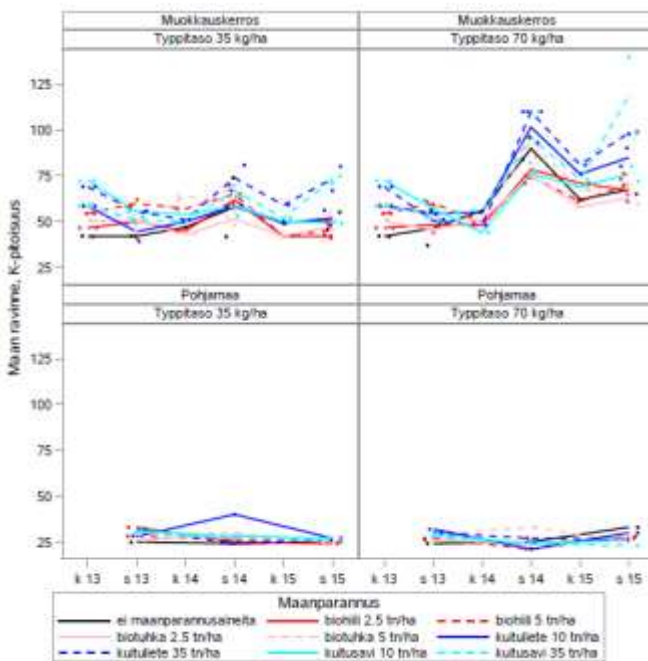
Muutokset maaperän ravinnetilanteessa eivät tässä tutkimuksessa olleet huomattavia, mutta eroja käsittelyiden välillä tuli esiin (Kuvat 30–35). Verrattuna muihin maanparannusaineisiin kuituliete ja kuitusavikäsittelyissä muokkauskerroksessa oli keskimäärin 0,7–0,9 korkeampi pH (Kuva 14), korkeammat fosfori- (Kuva 15), kalium- (Kuva 16), magnesium- (Kuva 17), kalsiumpitoisuudet (Kuva 18). Kuituliete- ja kuitusavikäsittelyt alensivat muokkauskerroksen mangaanipitoisuutta (Kuva 19). Muokkauskerroksen fosfori- ja kaliumpitoisuudet nousivat kokeen edetessä korkeammalla typpilannoituksella (Kuvat 15, 16).



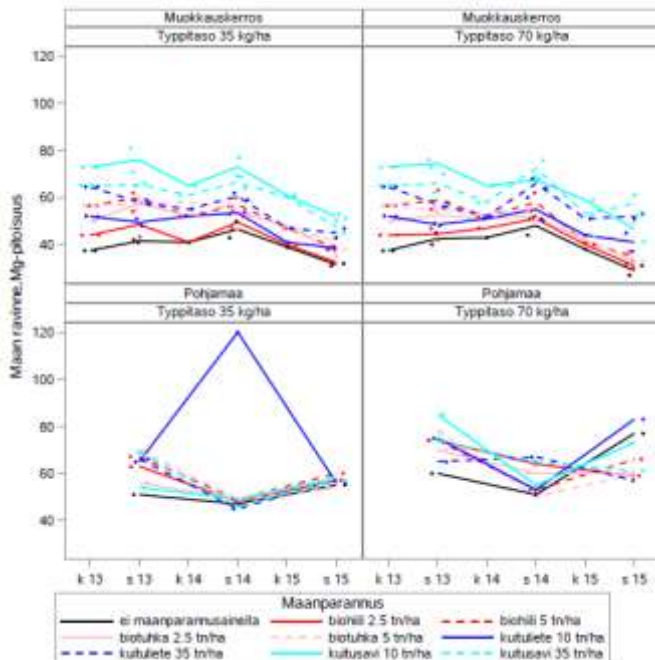
Kuva 30. Muokkauskerroksen ja pohjamaan pH. Kuituliete- ja kuitusavikäsittelyt nostivat muokkauskerroksen pH:ta keskimäärin 0,7 – 0,9:lla.



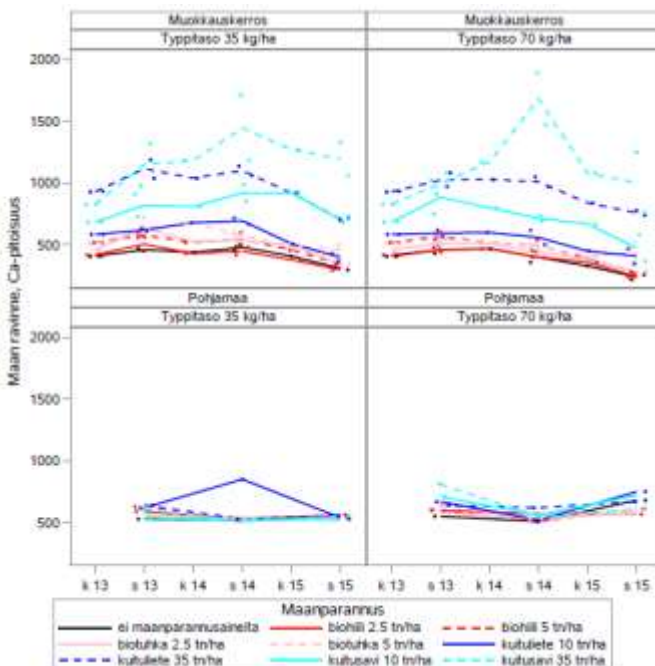
Kuva 31. Muokkauskerroksen ja pohjamaan fosforipitoisuus (P mg/l tuoretta maata). Kuituliete- ja kuitusavikäsitteilyt nostivat muokkauskerroksen fosforipitoisuutta, myös korkeammalla typpitasolla oli muokkauskerroksen fosforipitoisuutta nostava vaikutus.



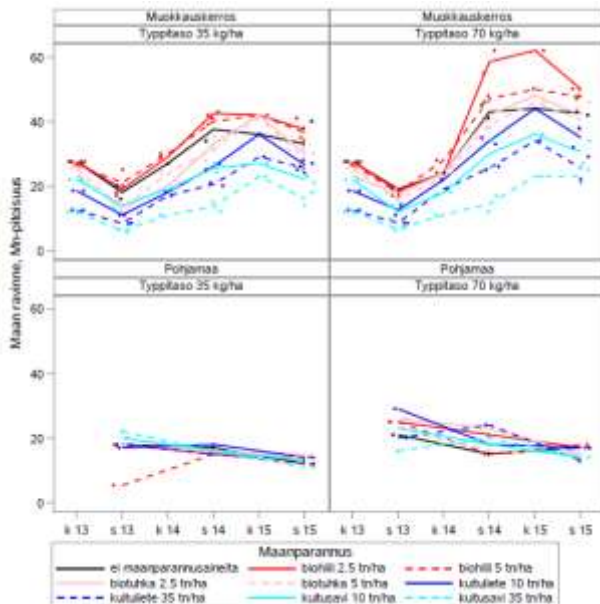
Kuva 32. Muokkauskerroksen ja pohjamaan kaliumpitoisuus (K mg/l tuoretta maata). Kuituliete- ja kuitusavikäsitteilyt nostivat muokkauskerroksen kaliumpitoisuutta, myös korkeammalla typpitasolla oli muokkauskerroksen kaliumpitoisuutta nostava vaikutus.



Kuva 33. Muokkauskerroksen ja pohjamaan magnesiumipitoisuus (Mg mg/l tuoretta maata). Kuituliete- ja kuitusavikäsittelet nostivat myös muokkauskerroksen magnesiumipitoisuutta.



Kuva 34. Muokkauskerroksen ja pohjamaan kalsiumpitoisuus (Ca mg/l tuoretta maata). Kuituliete- ja kuitusavikäsittelet nostivat muokkauskerroksen kalsiumpitoisuutta, korkeimmillaan liki 1 000 mg/l.



Kuva 35. Muokkauskerroksen ja pohjamaan kalsiumpitoisuus (Mn mg/l tuoretta maata). Kuituliete- ja kuitusavikäsittelet alensivat muokkauskerroksen mangaanipitoisuutta

4.3.3. Yhteenveto maanparannusaineiden sylinterikokeesta

Sylinteritutkimuksella selvitettiin neljän maanparannusaineen (biotuhka, biohiili, kuituliete ja kuitusavi) lisäämisen vaikutusta perunan kehitykseen, satotasoon ja sadon laatuun sekä maa-ainekseen. Perusmaana oli vähämultainen karkea hieta ja tutkimus toteutettiin maanparannusaineiden alhaisimmilla ja korkeimmilla käyttömäärillä sekä kahdella eri typpitasolla (35 ja 70 kg N/ha). Maanparannuskäsittelyt toteutettiin sylinterikokeen perustamisvaiheessa (vuonna 2013), peruslannoitukset toteutettiin vuosittain.

Maanparannusaineiden vaikutukset kasvuston kehitykseen, satoon ja sen laatuun tulivat esille kuitulietteellä ja kuitusavella. Korkeammat (35 tn/ha) kuituliete- ja kuitusavimäärät hidastivat kasvustojen kehitystä jopa 10 vuorokaudella ja tuottivat 6 – 11 t/ha pienemmän kokonaissadon verrattuna muilla maanparannusaineilla käsiteltyihin kasvustoihin ja satoihin. Typpilannoitustasoilla (35 ja 70 kg N/ha) ei ollut huomattavia eroja tai vaikutuksia perunan kehitykseen tai satoon.

Vuosien 2013 – 2015 välinen vaihtelu sääolosuhteissa oli merkittävä tekijä satotasoeroihin. Vuosi 2013 oli sääoloiltaan suotuisa ja vuosina 2014 - 2015 kasvukaudet olivat sateisempia ja viileämpiä. Viileät ja sateiset sääolosuhteet laskivat esimerkiksi satojen tärkkelyspitoisuuksia. Maan-

parannusaineet, typpilannoitustasot tai vuosien väliset säävaihtelut eivät kuitenkaan tuoneet esille puutos- tai tautioireita kasvustossa.

Maanparannusaineiden vaikutukset maaperän ravinnetilaan eivät tässä tutkimuksessa olleet huomattavia, mutta selviä eroja käsittelyiden välillä tuli esille. Kuituliete- ja kuitusavikäsittelyt nostivat maan pH-, P-, K-, Ca- ja Mg-pitoisuuksia eli ne vaikuttivat tehostavan ravinteiden liikkuvuutta, mutta ravinteet eivät kuitenkaan kulkeutuneet kasviin tai satoon. Pohdittavaksi jää, olivatko kuitusaven ja kuitulietteen käyttömäärät sopivat suhteutettuna maa-ainekseen tai oliko niillä hydrofobisia vaikutuksia? Typpitasoilla ei ollut vaikutusta maanparannusaineiden käyttäytymiseen tai kasvien ravinteiden hyväksikäyttöön.

Käytäntöön sovellettavana tuloksena voidaan todeta, että maanparannusaineiden käyttömäärät tulisi testata ainekohtaisesti ennen käyttösuosituksia ja korkeita käyttömääriä tulisi välttää haittavaikutusten (kasvien kehitys ja satotasot) takia. Käyttömäärien lisäksi tulisi harkita maanparannusaineiden vuosittaista lisäystä, sillä merkittävänä tuotoksena voidaan pitää sylintereistä otettujen ja Syken analysoimien näytteiden tuloksia; kaikki maanparannusaineilla käsitellyt maa-ainekset pidättivät nitraatteja.

4.4. Typen mobilisaation haittoja rajoittavien menetelmien kenttäkoe 2013–2014.

Perunapellolle perustettiin neljän koejäsenen kenttäkoe, jossa testattiin eri menetelmiä liiallisen typen haittojen vähentämiseksi. Koepelto sijaitsi Kurikassa. Maalaji oli multamaa. Pohjamaa hapanta sulfaattimaata.

Eloperäisillä mailla mobilisoituu usein liian paljon typpeä myöhään kasvukaudella, eikä perunaa saada tuleentumaan kunnolla. Tuleentumattomassa perunassa mukuloiden kalsiumpektaatin muodostuminen jää heikoksi, ja mukulat kestävät siten heikosti varastotauteja. Tutkimuksen idea oli, että peltoon lisätään sellaisia maanparannusaineita tai muita menetelmiä, joilla voidaan sitoa maasta mobilisoituvaa typpeä.

Koejäsenet olivat seuraavat:

1. Nollaruutu, joissa ei ollut mobilisoituneen typen sitovaa käsittelyä.
2. Sahajauhon lisääminen maahan.
3. Olkisilpun lisääminen maahan.
4. Typen mobilisaation säätely alus- ja kaistakasveilla.

Kaikkia koejäseniä oli neljä. Koe tehtiin multamaalla, jossa pohjamaana oli hapan sulfaattimaa, jossa vuonna 2012 tehtyjen mittausten mukaan kasveille käyttökelpoista nitraattityyppä oli käytettävissä kasvukauden aikana noin 80 kg/ha. Kokeen vertailuruutuna oli ns. nollaruutu, jossa ei käytetty mitään typensidontamenetelmää. Vuoden 2013 kokeessa sahajauholisäyksessä koeruutuihin lisättiin kevätkynnön jälkeen välittömästi ennen istutusta sahajauhoa 5 000 kg/ha, joka muokattiin kelajyrsimellä maahan. Samoin olkilisäyksessä 5 000 kg/ha kauran olkea muokattiin ennen istutusta kelajyrsimellä maahan. Vuonna 2014 määriä nostettiin 10 000 kg:aan hehtaarille. Kombiviljelykokeessa perunapenkien väliin kylvettiin kesäkuun puolivälissä, rikkakasviruiskutuksen jälkeen, hajakylvönä 100 kg/ha italianraiheinä-kaura seosta, joka käsin haralla peiteltiin maahan 1–2 cm:n syvyyteen.



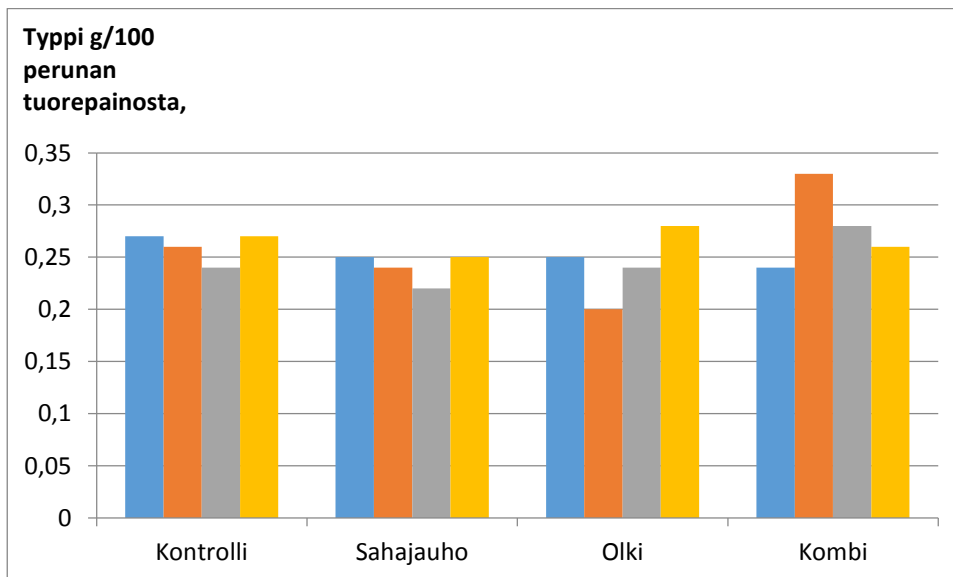
Kuva 36. Kombiviljelykasvien viljely perunapenkien välikasvina. Oljen ja sahajauhon muokkaaminen perunapenkkiin jyrsimellä.

Kasvukauden aikana tehtiin spad-mittaukset lehdistä viikon välein heinäkuun alusta lähtien. Sadonkorjuun yhteydessä kerättiin koeruuduilta mukulanäyte sadon ravinnepitoisuuden määrittämiseksi. Koeruuduilta tehdään normaali satopunnitus, lajittelu 5 mm:n välein sekä tärkkelyspitoisuuden mittaaminen. Spad-mittauksessa, eli lehtivihreämittauksessa oli hajonta niin suuri, ettei edes suuntaa antavia eroja saatu koejäsenten välille. Satotuloksissa ei tullut juurikaan eroja (Taulukko 6). Erot satotuloksissa ja sadon tärkkelyspitoisuuksissa sekä lehtivihreämittauksissa olivat pieniä eivätkä tilastollisesti merkitseviä, eivätkä edes suuntaa-antavia. Vuoden 2013 mukulasadosta otettiin vielä mukuloiden typpipitoisuusmittaus, mutta niissäkään ei saatu tilastollisesti merkitseviä eroja koejäsenten välillä (Kuva 37). Vuonna 2014 mukuloiden typpimittausta ei tehty, kun kasvuston lehtivihreämittauksissakaan ei saatu eroja.

Taulukko 6. Typen mobilisaation haittojen estokokeen satoanalyysit

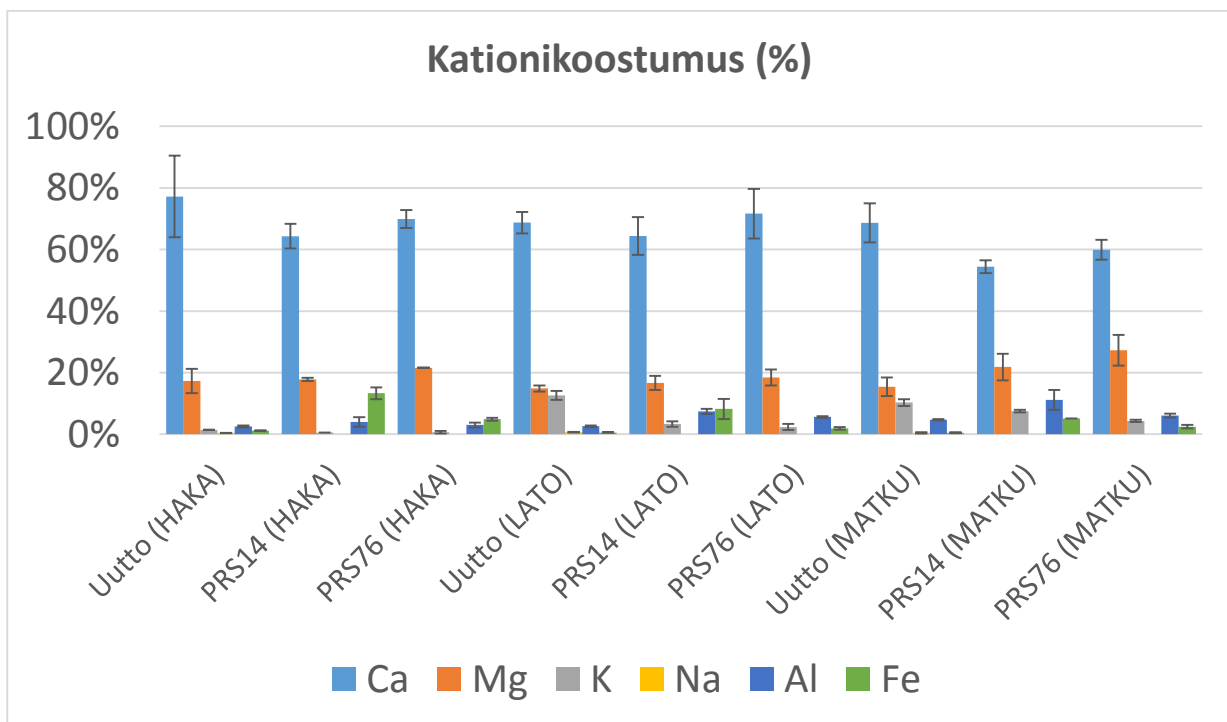
		Koe 3300: Menetelmät typen mobilisoitumisen hillitsemiseksi															
		Hakamaa, Kurikka															
		Sadot															
																Sadon ravinneanalyysi	
		Mukulasato		Tärkkelys		Kokojakaumat, paino-%				Sato kokoluokittain t/ha				Kuiva-	Typpipitoisuus g/kg		
		t/ha	SI	%	kg/ha	SI	<35	35-55	55-70	>70	<35	35-55	55-70	>70	aine %	kuiva- / tuorepainossa	
Koejäsen																	
3301	Kontrolli	62,7	100	11,5	7230	100	3	33	52	12	2	21	33	8	20,3	13,7	2,8
3302	Sahajauho	62,7	100	11,8	7410	102	3	37	51	8	2	23	32	5	21,3	12,3	2,4
3303	Olki	62,3	100	11,6	7230	100	2	31	57	9	1	19	36	6	19,8	12,9	2,6
3304	Kombi	62,3	99	11,7	7320	101	4	34	53	9	2	21	33	6	20,3	11,3	2,4
Keskiaarot																	
Keskiaarvo	Keskiaarvo	62,5		11,7	7300		3	34	53	10	2	21	33	6	20	13	2,6
Keskiahajonta	Keskiahajonta	1,9		0,2	245		1,2	4,6	5,0	2,3	0,8	3,2	2,9	1,4	0,8	1,5	0,3
CV-%	CV-%	3,0		1,6	3,4		40,1	13,6	9,4	23,0	40,8	15,0	8,6	22,8	4,0	12,3	11,4
Varianssianalyysi																	
Vaihtelun lähde																	
	kerranne	0,434		0,414	0,776		0,309	0,669	0,700	0,439	0,301	0,904	0,206	0,461	-	0,559	0,814
	koejäsen	0,992		0,102	0,766		0,254	0,436	0,427	0,075 °	0,265	0,574	0,263	0,069 °	-	0,194	0,318

Kuva 37. Mukuloiden typpipitoisuus mobilisaation haittojen estokokeessa



4.5. Maan vaihtuvien kationien mittaaminen ioninvaihtotikuilla

Hankkeessa tutkittiin ns. PRS-ioninvaihtotikkujen (plant root simulator PRS® probes, WesternAg, Kanada, <https://www.westernag.ca/innov>) tuloksia maan vaihtuvista kationeista kolmella ominaisuuksiltaan erilaisella koekentällä ja verrattiin niitä tavanomaisella maa-analyysillä (1 M CH₃COONH₄, pH 7.0) laboratorioissa ilma-kuivasta maasta saatuun tulokseen. PRS-tikun kanioninvaihtomembraanit on lähtötilanteessa natrium-ionin, ja anioninvaihtomembraani bikarbonaatti-ionin kyllästämä. Kun tikku haudataan maahan, sen pinnalle kulkeutuu maaperästä ioneja, periaatteessa samaan tapaan kuin kasvin juureen. Mittausjakson aikana tikun membraaniin kulkeutuvien ionien määrä riippuu sekä eri ionien määrästä maassa että maan rakenteesta ja kosteudesta. Tässä hankkeessa PRS-tikut asennettiin Hakamaan, Latonevan ja Matkussaaren koekenttien muokkauskerrokseen kesällä 2013 14 vrk:n tai 76 vrk:n ajaksi. Mittausjakson päätyttyä kyseisiltä ruuduilta otettiin PRS-tikkujen läheisyydestä pintamaanäytteet, jotka analysoitiin laboratorioissa.



Kuva 38. Maan vaihtuvien kationien keskimääräinen ekvivalenttikoostumus (%) maa-utolla ja PRS-menetelmällä Hakamaan, Latonevan ja Matkun koekentillä (mittausjakso PRS14 14 vrk ja PRS76 76 vrk; ammoniumasetatti 1 M CH₃COONH₄, pH 7.0).

Maanesteen valtakationien (Ca, Mg) osalta PRS-tulokset vaihtuvien kationien koostumuksesta vastasivat suuruusluokaltaan tavanomaisella maa-analyysillä saatuja tuloksia ja niiden pitoisuudet

nousivat odotetusti mittausjakson pidetessä (kuva 38). Muiden kationien osalta tulokset olivat vaihtelevampia. Niiden pitoisuudet myös pienenevät mittausjakson pidetessä, mikä johtui mahdollisesti valtakationien aiheuttamasta kilpailusta membraanin pinnalla. Tällainen ionien vuorovaikutus viittaa siihen, ettei PRS-tulosten tulkinta yksittäisten ravinteiden kulkeutumisesta juureen ole aivan suoraviivainen. Muut ero menetelmien välillä selittyvät pääosin mittausajankohdan erolla: maa-analyysi edustaa yksittäistä ajankohtaa, kun taas PRS-menetelmä edustaa pidempää ajanjaksoa. PRS-menetelmä on kehitetty simuloimaan ionien kulkunopeutta maasta juureen kasvukauden aikana, mutta menetelmän käyttöä vaihtelevien maaperäolojen seuraamiseen rajoittaa käytännössä analyysitulosten saantinopeus sekä korkeahko hinta.

Tässä hankkeessa oli myös tarkoitus tutkia tarkemmin PRS-tikkujen käyttöä rakenteellisessa pohjamaassa maan rakenteen muutosten osoittajana. Kirjallisuusselvityksen perusteella, valmistajan kanssa käydyin kirjeenvaihdon ja omien alustavien kokeilujen perusteella ilmeni, että menetelmän kriittisin kohta on hyvä kontakti membraanin ja maan välillä. PRS-tikun membraani on muovikehyksen sisällä hieman muovipinnan alapuolella. Tikkua asennettaessa muokkauskerrokseen maata pitää puristaa hyvään kontaktiin tikun kanssa. Muokkauskerroksessa tämä käy helposti, koska maan rakenne on yleensä löyhää ja lievä puristaminen aiheuttaa vain vähäisen muutoksen maan rakenteeseen. Sitä vastoin mekaanisesti lujemmassa rakenteellisessa pohjamaassa hyvän kontaktin saavuttaminen vastaavalla tavalla puristamalla ei ole mahdollista rikkomatta maan rakennetta. Tämä ei tule kyseeseen, kun tutkitaan koetekijöiden vaikutuksia maan rakenteeseen, kuten tässä hankkeessa. Vaihtoehtoisesti hyvä kontakti membraani ja maan voidaan saada aikaan muotoilemalla maanäytteen pintaa tai käyttämällä mittaukseen pelkkää membraania. Ensin mainittu tapa edellyttää huolellista maanäytteen pinnan preparointia, mikä on hidasta ja riskialtista. Jälkimmäinen tapa puolestaan edellyttää, että tikkujen kemiallinen analysointi pitää tehdä kokonaan itse, sillä tikkujen valmistaja analysoi ainoastaan tikkuihin kiinnitettyjä membraaneja. Näistä syistä rakenteellisten pohjamaanäytteiden analyysistä PRS-tikuilla piti luopua tässä hankkeessa.

4.6. Talousmallinnus

Monokulttuurista luopuminen ja maan rakenteen parantaminen aiheuttavat kustannuksia. Lyhyellä aikavälillä voi olla, että maan rakennetta parantavat toimet aiheuttavat enemmän kustannuksia kuin mitä hyötyjä parannustoimenpiteistä on saatavilla. Pitkällä aikavälillä, esimerkiksi pohjamaan tiivistymisessä, tilanne voi mennä jopa niin pahaksi, että maan rakenteen korjaaminen on lähes mahdotonta todella kallista. Silloin korjaavia toimenpiteitä on tehtävä jo, ennen kuin tilanne pääsee pahaksi.

Useat maan rakennetta parantavat toimenpiteet voivat olla viljelijälle liian kalliita toteutettavaksi arvioituun hyötyyn nähden, mutta ympäristönsuojelun (vesistöjen suojele, ilmaston suojele) kannalta

ne olisivat tärkeitä. Tällöin yhteiskunnan tuella voidaan kannustaa viljelijää toimimaan yhteiskuntaan tavoitteet huomioiden paremmin.

Tässä tutkimuksessa mallinnetaan eri maanparannuskeinojen aiheuttamia kustannuksia sekä tutkimukseen perustuvia hyötyjä viljelijälle. Tutkimuksen pohjalta mallinnetaan edelleen vaikutusta vesistön ja ilmastonsuojeluun. Tällä tavalla voidaan ratkaista taloudellisesti optimaalinen tukijärjestelmä, joka taloudellisesti tehokkaalla tavalla kannustaisi viljelijää toimimaan ympäristönsuojelullisesti optimaalisella tavalla.

Tässä hankkeessa taloutta mallinnettiin yhdistetyn jankkuroinnin, maanparannusainelisäyksen ja viljelykierron kokeiden perusteella. Talousanalyysi tehtiin ruokaperunantuotantoon suunnitellun tilamallin perusteella, jossa tuotantotekijätiedot on kerätty kannattavuuskirjanpitoiltoilta.

Tilamallilaskelmat perustuvat tilakohtaisiin nettovoittolaskelmiin, jotka tehtiin keskikokoiselle päätoimiselle 37,50 perunahehtaarin tilalle. Tilakohtainen kannattavuus on laskettu nettovoittolaskelmien (1) avulla, joissa myyntituloista ($p \cdot y$) on vähennetty kokonaiskustannukset ($w \cdot x$) ja erotukseen on lisätty yhteiskunnan tuki (s):

$$\pi_A = \frac{\sum_{t=1}^T \left(\sum_{i=1}^n p_i y_i - \sum_{j=1}^m w_j x_j + \sum_{k=1}^z s_k \right)}{T} \quad (1)$$

Keskimääräinen pitkän aikavälin nettovoitto π_A on kokonaistulon, kokonaiskustannusten ja kokonaistuen summat jaettuna tarkasteltavan ajanjakson vuosien lukumäärällä T .

Nettovoitosta voidaan erottaa laskennallinen maataloustulo, kun laskelmassa jätetään huomioimatta yrittäjäperheen palkkavaatimus ja yritystoimintaan sijoitetun oman pääoman korkovaatimus. Silloin maataloustulo osoittaa tilalla käytettävissä olevan rahamäärän, kun kokonaistulosta on vähennetty kaikki muuttuvat ja kiinteät kustannukset ja yritystoimintaan sijoitetun pääoman arvonalenema (poistot).

Suhteellista kannattavuutta voidaan kuvata kannattavuuskertoimen (2) avulla, jossa keskimääräinen kannattavuuskertoimen ($R_{AVERAGE}$) kertoo suhteellisen kannattavuuden verrattuna siihen, että käytettävissä olevaa työvoimaa käytetään muuhun toimintaan kuin maataloustuotantoon ja maataloustuotantoon sijoitettua pääomaa sijoitettaisiin vaihtoehtoisin sijoituskohteisiin. Perunantuotanto on työ- ja pääomavaltaista verrattuna esimerkiksi viljan ja nurmen viljelyyn.

Keskimääräisen kannattavuuskertoimen ollessa 1, viljelijän maataloustuotannolle asettamat tavoitteet siitä saatavasta tuntipalkasta ja sijoitetun pääoman korosta toteutuvat. Tuotantokustannuslaskelmissa on oletettu, että viljelijän tuntipalkkavaatimus on 15 euroa tunnilta ja sijoitetun pääoman korkovaatimus on 5 %.

$$R_{AVERAGE} = \frac{\sum_{t=1}^T \left(\frac{a}{l+r} \right)}{T} = \frac{\sum_{t=1}^T \left(\frac{\pi + l + r}{l+r} \right)}{T} \quad (2)$$

Tilamallilaskelmat on tehty 30 hehtaaria ruokaperunaa tuottavalle perunanviljelytilalle, jossa oletuksena on, että peruna viljellään monokulttuurissa. Niissä malleissa, joissa viljellään nurmea tai viljaa, oletuksena on, että perunan hinta maatilalla varastoituna raakaeränä on 0,18 euroa/kg ja 80 % sadosta on myyntikelpoista ruokaperunaa. Laskelmissa vilja ja nurmi myydään pystyyn 120 euron rehuyksikköhinnalla, niiden viljelytyöt teetetään urakoitsijalla eikä niiden viljelyyn käytettäviin koneisiin tai laitteisiin investoida.

Perunan monokulttuuriruutujen keskisato oli 54,3 t/ha, kun sellaisissa ruuduissa, jossa esikasvina oli kaksi vuotta kauraa, perunasato oli 59,5 t/ha, ja kun esikasvina oli kaksivuotinen nurmi, sato oli keskimäärin 66,8 t/ha. Eli kaura viljelykierrrossa nosti perunan satotasoa keskimäärin noin viisi tonnia ja nurmi runsaat 12 tonnia hehtaarilta.

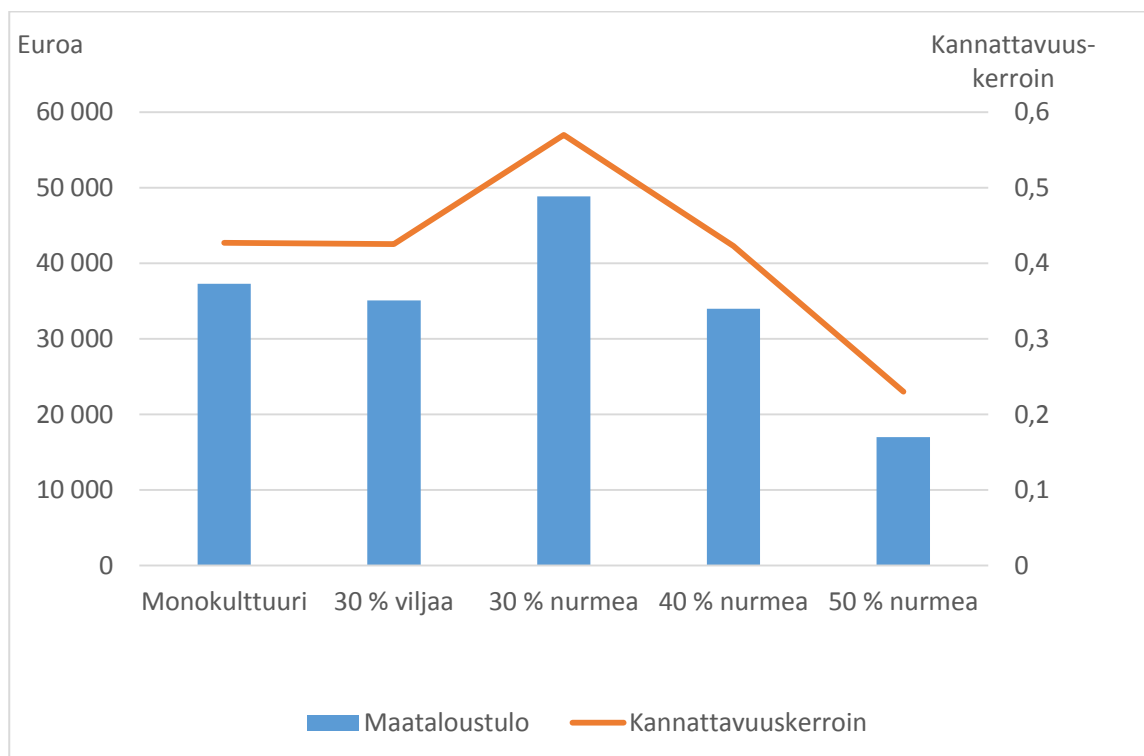
Joidenkin maanparannusaineiden käyttö näytti hieman lisäävän perunasatoa, mutta vaikutus oli epäselvä eikä yksittäisten käsittelyiden välillä ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. Kokeen käsittelyt tai esikasvit eivät juurikaan vaikuttaneet sadon laatuun tai mukulakokojakaumaan.

Koko koesarjan aikana jankkuroinnin ja maanparannusaineiden vaikutukset perunasatoon ja perunan laatuun jäivät vähäisiksi. Tilastollisesti merkitseviä eroja ei juuri ollut, ja pienetkin keskiarvojen erot olivat epä johdonmukaisia.

Esimerkkitalalla otetaan käyttöön viljelykierto, jossa on kaksi vuotta peräkkäin perunaa ja kolmantena vuonna muu viljelykasvi. Tämä siis tarkoittaa, että noin 30 % tilan viljelyalasta olisi tuota muuta kasvia. Jos tämä muu kasvi on vilja, ei sen avulla saatava 5 000 kg:n perunasadon nousu riitä kattamaan viljelykierron aiheuttamia kustannuksia. Sen sijaan jos viljelykierron on nurmi samaan tapaan joka kolmas vuosi, perunasadon nousu 12 t/ha riittäisi hyvinkin kattamaan viljelykierron aiheuttavat kustannukset. Nurmen viljelyalan lisääminen tätä suuremmaksi ei kuitenkaan ole enää kannattavaa.

Nämä tulokset kertovat kuitenkin vain miten viljelykierto parantaa satoa maanparannuksen kautta. Erikseen ovat vielä viljelykierron hyödyt kasvintuhojien torjunnassa. Näiden hyötyjen talousvaikutukset voivat olla perunantuotannossa vielä paljon suurempia kuin pelkästä maanparannuksesta saatavat hyödyt.

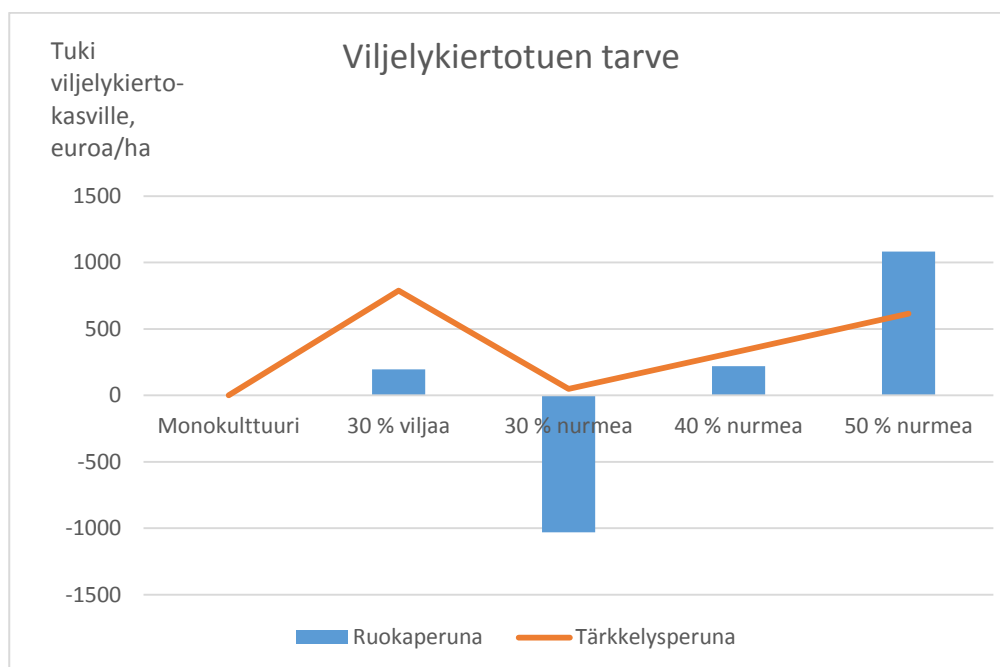
Kuvassa 39 on esitetty kasvinvuorotuksen vaikutus perunatilan kannattavuuteen (kannattavuuskerroin) ja maataloustuloon eri osuuksilla viljaa tai nurmikasvia. Laskelmissa on oletettu, että viljanviljelyvuoden jälkeen perunantuotannossa saataisiin pysyvästi 5000 kg:n sadonlisä ja nurmen jälkeen 12 tonnin sadonlisä. 30%:n viljelykierto tarkoittaa silloin, että noin kolmannes viljelyalasta on silloin muussa tuotannossa kuin perunalla. 40 %:n viljelykierto tarkoittaa, että viljelyä harjoitetaan viljelykierrossa siten, että kaksivuotisen nurmen jälkeen on aina kolme vuotta perunaa.



Kuva 39. viljelykierron vaikutus ruokaperunatilan kannattavuuteen.

Tärkkelysperunantuotannossa, jossa maatilan kannattavuus perustuu pääasiassa tukituottoihin, ei 12 tonnin bruttosatotason lisäyskään (tärkkelyspitoisuuden pysyessä muuttumattomana) riitä kattamaan viljelykierron lisäämisestä aiheutuvia kustannuksia. Tällöin on oletettu, että tärkkelysperunan hinta tehtaan maksamine lisähintoineen on 320 euroa/tärkkelystonni.

Perunatiloille suunnatulla ympäristötuelle voitaisiin kannustaa perunatiloja viljelykierron lisäämiseen. kuvassa 40 on esitetty, että kuinka paljon tukea pitäisi maksaa viljelykiertokasville, jotta viljelykierto olisi kannattavaa.



Kuva 40. Viljelykiertoon kannustavan ympäristötuen tarve ruokaperuna- ja tärkkelysperunantuotannossa eri viljelykiertokasvien osuuksilla.

Ruokaperunantuotannossa 30 %:n viljelykiertosuunnitelma, jossa nurmea on kolmannes tilan viljelykierrossa, on taloudellisesti kannattavaa, joten se ei tarvitse välttämättä kannustintukea (tulos on negatiivinen). Tärkkelysperunantuotannossa 30 %:n nurmiviljelykierto tarvitsisi 50 euron ja viljaviljelykierto 788 euron lisätuen ollakseen kannattavaa verrattuna perunantuotannon monokulttuuriin kyseisillä tuotantosuunnilla oletuksella, että viljantuotanto lisäisi satotasoa 5 000 kg/ha ja nurmiviljelykierto 12 t/ha.

5. TULOSTEN ARVIOINTI

Tässä laajassa tutkimushankkeessa saatiin monenlaista toisiaan tukevaa tutkimustulosta.. Jankkuroinnin, maanparannusaineiden lisäyksen ja kasvinvuorotuksen yhteistutkimuksessa havaittiin, että jankkurointi ja maanparannusainelisyys paransivat maan vedenjohtavuutta, mutta vaikutus kesti vain korkeintaan kaksi vuotta. Samoihin tuloksiin päästiin penetrometrimittauksissa, joiden tulosten mukaan jakkuroinnin ja maanparannusaineiden lisäyksen havaittiin vähentävän tiivistymiä syvyudessa 16–30 cm, mutta vaikutus kesti vain korkeintaan kaksi vuotta. Sen sijaan yhdistetty viljelykierto, ja edelleen jankkurointiin yhdistetty viljelykierto, vähensivät tiivistymiä ja paransivat maan vedenjohtavuutta. Viljelykierrolla oli myös satoa parantava vaikutus, ja tutkimuksen mukaan erityisesti nurmiviljelykierto paransivat perunapellon sadontuottokykyä merkittävästi. Eri maanparannusaineilla ei ollut yhtenäkkään vuonna tilastollisesti merkitsevää sadon määrää tai sadon laatua parantavaa tai heikentävää vaikutusta.

Tutkimuksen mukaan sellaisella pellolla, joka on ollut perunan monokulttuurissa vuosikausia tai jopa vuosikymmeniä, ei millään muokkausmenetelmällä saatu vähenemään tiivistymiä edes yhden vuoden aikana. Myöskään perunan satotasoon ei ollut vaikutusta muokkausmenetelmillä.

Sylinterikokeessa selvitettiin neljän maanparannusaineen lisäämisen vaikutusta perunasatoon, kun perusmaa oli vähämultainen karkea hieta ja käytettiin kahta typpilannoitustasoa. Maanparannusaineiden vaikutukset satoon ja sen laatuun olivat selvimmät korkeammilla kuituliete- ja kuitusavimäärillä, jotka hidastivat jonkin verran kasvustojen kehitystä ja tuottivat pienemmän kokonaissadon sekä suurempia mukuloita. Korkeammalla typpilannoituksella ei ollut huomattavia vaikutuksia perunan kehitykseen tai satoon.

Maanparannuskäsittely toteutettiin vain kokeen perustamisvaiheessa, joten satotason lasku toisena ja kolmantena kasvukautena ei ole yllättävää. Toisen kasvukauden satomäärät jäivät huomattavasti ensimmäisen kasvukauden satotasoiista ja alenivat edelleen kolmantena kasvukautena. Toisaalta perunan tärkkelyspitoisuus aleni merkittävästi vasta kolmantena kasvukautena. Hitaampi taimettuminen ja kasvuston kehitys olivat luontaisesti vaikuttamassa alhaisempaan satotasoon toisena ja kolmantena kasvukautena. Vuosien välinen vaihtelu sääolosuhteissa oli myös merkittävä tekijä, sillä vuosi 2013 oli sääoloiltaan suotuisa ja vuosina 2014–2015 kasvukaudet olivat sateisempia ja viileämpiä. Maanparannusaineet, korkeampi typpilannoitus tai vuosien väliset säävaihtelut eivät kuitenkaan vaikuttaneet kasvustojen terveyteen merkittävästi.

Maanparannusaineiden vaikutukset maaperän ravinnetilaan eivät tässä tutkimuksessa olleet huomattavia, mutta selviä eroja käsittelyiden välillä kuitenkin oli. Kuituliete- ja kuitusavikäsittelyt nostivat maan pH-, P-, K-, Ca- ja Mg-pitoisuuksia eli ne vaikuttivat tehostavan ravinteiden

liikkuvuutta, mutta oletettavasti korkean pH:n (johtoluvun takia) ravinteet eivät kulkeutuneet kasviin tai satoon. Maanparannusaineiden käyttömäärillä on suuri vaikutus niistä saataviin hyötyihin. Typpitasoilla ei ollut vaikutusta maanparannusaineiden käyttäytymiseen tai kasvien ravinteiden hyväksikäyttöön.

Tutkimuksessa havaittiin, että silloin kun pohjamaa on typpirikasta hapanta sulfaattimaata ja muokkauskerros on multamaata, ei typen mobilisaation haittavaikutuksia kyetä estämään muokkauskerrokseen sekoitetulla oljella, sahajauholla, tai perunapenkkien välikasviksi kylvetyllä ”typpisieppari”-kasvilla. Peruna kykenee käyttämään tehokkaasti hyväkseen kaiken saatavilla olevan typen ja siksi myöhään kasvukaudella saatavilla oleva typpi aiheuttaa ongelmia kasvuston tuleentumisen viivästymisen kautta.

Taloustutkimuksen mukaan ruokaperunantuotannossa 30 %:n viljaviljelykierto, jossa perunan monokulttuurin sijaan pinta-alasta on 30 prosenttia viljalla, on juuri ja juuri taloudellisesti kannattavaa, eli viljaviljelykierto parantaa juuri sen verran perunasatoa, että viljelykierto kannattaa. Jopa 40 %:n nurmiviljelykiero, jossa perunatilan pinta-alasta on 40 % nurmella, on selvästi kannattavampaa kuin monokulttuuri. Tärkkelysperunantuotannossa mikään viljelykierto ei pelkästään maanparannusvaikutukseltaan ole kannattavaa, vaan vaatisi toteutuakseen yhteiskunnan tuen esimerkiksi ympäristötuen kautta.

5.1. Tulosten julkaiseminen

Hankkeen tuloksia on julkaistu vuosittain Perunantutkimuslaitoksen tulosjulkaisussa sekä esitelminä Perunatutkimuksen Talvipäivillä ja neljä kertaa vuodessa ilmestyneessä Tuottava Perunammattilehdessä. Hankkeen tuloksia on esitetty Maataloustieteen päivillä tammikuussa 2016.

Hankkeesta tehdään yhteisjulkaisu vuoden 2016 aikana. Hankkeesta tarjotaan julkaisua kansainväliseen tiedelehteen vuosien 2016–2017 aikana. Tammi-helmikuussa 2017 hankkeen tulokset esitetään Perunantutkimuslaitoksen tulosseminaarissa ja hankkeesta tehdään suomenkielinen julkaisu. Hankkeen tulokset tullaan esittämään Kalajoella tammi-helmikuussa 2017 järjestettävillä Perunatutkimuksen talvipäivillä, jossa on yleisönä tutkijoita, neuvoja, perunateollisuuden edustajia ja viljelijöitä.

Hankkeen tuloksia tarjotaan esitettäväksi kansainvälisessä perunantutkijoiden (EAPR) konferenssissa Pariisissa kesällä 2017.

6. Hankkeen hyödyt

Hankkeen tulokset toivat runsaasti käytäntöön sovellettavaa tietoa, jonka tulokset hyödyttävät perunantuotannon kannattavuutta ja kilpailukykyä. Tutkimuksen tuomia tietoja voidaan välittömästi ottaa käyttöön käytännön maatiloilla. Maanmuokkaukseen (esim. jankkurointiin) liittyvää tutkimusta on tehty runsaasti, mutta pääsääntöisesti ne ovat keskittyneet vilja- ja nurmitiloille. Perunatiloilla tehtyyn maanmuokkaustutkimusta ja perunantuotannon viljelykiertoon liittyvää tutkimusta on Suomessa tehty melko vähän, ja ulkomaillakin perunantuotannossa tehdyt viljelykiertotutkimukset ovat maanparannusvaikutusten sijaan liittyneet pääosin kasvintuhoojien torjuntaan liittyvään viljelykiertotutkimuksiin. Tässä suhteessa tämä hanke toi runsaasti uutta tietoa käytännön perunantuotantoon Suomessa

Hanke tuo runsaasti tietoa maatiloilla tehtäviin päätöksiin. Erityisesti tutkimuksen talousosio toi runsaasti sellaista tietoa, joita voidaan soveltaa kannattavasti suoraan käytännön perunantuotannossa, mutta mahdollisesti myös muussa tekniikaltaan perunantuotannonkaltaisessa erikoiskasvi-tuotannossa. Tutkimustuloksia voidaan käyttää apuna muun muassa tehtäessä tukipoliittisia päätöksiä, esimerkiksi ympäristötukisuunnittelussa.

Hankkeen avulla on testattu uusia tutkimusmetodeja, muun muassa sylinterikasvatus, erikoisrakenteisen jankkurin rakentaminen ja testaus sekä maanäytteiden sekä juuristonäytteiden ottaminen halkaistavalla lieriöllä. Tutkimusmenetelmät toivat sellaista menetelmätietoa, jota voidaan soveltaa muussakin maatalous- ja ympäristön tutkimisessa. Hankkeen avulla kehitettiin uutta tekniikkaa, jota voidaan hyödyntää uusissa tutkimuksissa, muun muassa happamien sulfaattimaiden pohjamaan neutralointiin liittyvässä tutkimuksessa tai turvetuotannosta vapautuvien suopohjien maanparannukseen ja lannoitukseen non-food tuotantoa varten.

Lähteet

- Alakukku, L. 2011. Maan rakenteen ja vesitalouden hoito perunatilalla. Perunantuotannon ajankohtaisseminaari, Yyteri 30.6.2011, Suomen Perunaseura.
- Anu Kankaala, Soila Hiltunen, Helena Lahdenperä, Kaisa Myllykangas ja Elina Virtanen 2014. Peruna paremmaksi. MTT Raportti 171, 88 s.
- Esala, M. 1996. Is deep-freezing a safe method for storing soil samples for inorganic nitrogen determination? In: O. Van Cleemput et al. (eds.). Progress in nitrogen cycling studies. p. 705-708.

- Beesley L., Moreno-Jiménez E., Gomez-Eyles J.L. (2010): Effects of biochar and greenwaste compost amendments on mobility, bioavailability and toxicity of inorganic and organic contaminants in a multi-element polluted soil. *Environmental Pollution*, 158: 2282–2287
- Boone, F.R., Bouma J & De Smet L.A.H 1978 A case study of the effect of soil compaction on the potato growth in a sandy loam soil. *Journal of Agricultural Science*. 26. s. 405–420. The Netherlands.
- Commission of the European Communities (2001) White Paper – Strategy for a future Chemicals Policy. Brussels, 27.2.2001, COM (2001).
- European Parliament and the Council (1967) Council Directive 67/548/EEC of 27 June 1967 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions relating to the classification, packaging and labeling of dangerous substances.
- Gulden R. & Vessey J 2000. *Penicillium bilaii* inoculation increases root-hair production in field pea. *Canadian journal of Plant Science* 80. s. 801-804. Winnipeg. Canada.
- Hansen S. 1996. Effect of manure treatment and soil compaction on plant production of a dairy farm system converting to organic farming practice. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 56: 173-186
- Hack, H., Gall, H., Klemke, Th., Klose, R., Meier, U., Stauss, R. und Witzemberger, A. 1993. Phänologische Entwicklungsstadien de Kartoffel. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.*, 45 (1), 11-19
- Henriksen, C.B., Mølgaard, J.P. & Rasmussen, J. 2004. Inter-row subsoiling increases marketable yield in potatoes. *Newsletter from Danish Research Centre for Organic Farming*, June 2004, No. 2. Cited 19.4. 2006. Updated 6.2004. Available on the Internet: <http://www.darcof.dk/enews/june04/subsoiling.html>.
- Karvonen L, Lassi U & Kuokkanen T. 2011. Materiaalitehokkuuden edistäminen ympäristölainsäädännön keinoin. University of Oulu, Report Series in Chemistry Report No. 82. URI: <http://herkules.oulu.fi/isbn9789514295157/isbn9789514295157.pdf>
- Kilpimaa, S., Runtti, H., Lassi U., Kuokkanen, T., Chemical activation of gasification carbon residue for phosphate removal. – AIP Conference Proceedings Porous Media and Its Applications in Science, Engineering and Industry, 4th International Conference, 2012, 1453, 293-298.
- Kuokkanen, T., Biotuhkien hyödyntämispotentiaali – kemiallinen näkökulma. – Kotimaista energiaa puusta ja turpeesta, tuhka rakeiksi ja hyötykäyttöön -seminaari, Oulu, 18.6.2012, 23 s. http://www.metla.fi/hanke/7464/seminariesitykset/08_kuokkanen.pdf
- Kuokkanen M (2013) Development of an eco- and material-efficient pellet production chain – A chemical study, Doctoral thesis. University of Oulu.
- Kuokkanen M & Kuokkanen T (2009) Puu- ja turvepellettien sekä hakkeen lämpökeskus- ja pienpoltossa syntyvien tuhkien hyötykäyttöön liittyvä tutkimusraportti. University of Oulu, Report Series in Chemistry, Report No. 74.
- Lankoski, J., Ollikainen, M. & Uusitalo, P.. 2006. "No-till Technology: Benefits to Farmers and the Environment? Theoretical Analysis and Application to Finnish Agriculture." *European Review of Agricultural Economics* 33(2): 193-221.
- Lankoski, J. E. & Ollikainen, M. 2011. "Counterfactual approach for assessing agri-environmental policy: The case of the Finnish water protection policy," 122nd Seminar, February 17-18, 2011, Ancona, Italy 98993, European Association of Agricultural Economists.

- Lemola, R., Ojanen, H., Hannukkala, A., Siimes, K. & Yli-Halla, M. 2000. Siemen-, tärkkelys- ja lastuperunan viljelyn erityispiirteitä Suomessa. MTTK:n julkaisuja 88. Jokioinen. 42 s.
- Latvala, H. Perunanviljelyn ravinnetaset ja ravinteiden hyväksikäyttöön vaikuttavat tekijät – tapausesimerkinä Lappajärven valuma-alue. Pro Gradu-tutkielma. Bio- ja ympäristötieteiden laitos. Jyväskylän yliopisto.
- Munkholm, L., Schjønning, P., Rasmussen, K. & Tanderup, K. 2003. Spatial and temporal effects of direct drilling on soil structure in the seedling environment. *Soil and Tillage Research*. Volume 71, Issue 2, June 2003, pp. 163–173
- Myyrä, S. 2001. Tilusrakenteen taloudelliset vaikutukset. Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos. Selvityksiä 1/2001. 30 p
- Paasonen-Kivekäs, M. & Yli-Halla, M. 2005. A comparison of nitrogen and carbon reserves in acid sulphate and non-acid sulphate soils in western Finland. *Agric. Food Sci.* 14: 57-69.
- Preto, F. 2008 *Pyrolysis, Char and Energy*. CanmetENERGY, Natural Resources Canada.
- Prokkola H & Kuokkanen T (2009) Biohajoavuuden määrittäminen vedessä, HighBio Projekti Info 40.
- Prokkola H, Kuokkanen M & Kuokkanen T (2010) Biohajoavuuden määrittäminen kiinteässä faasissa BOD Oxitop -menetelmällä, HighBio Projekti Info 62.
- Saarela, I., Saarela, K., Mäntylähti, V. 2003. Accurate prediction of potassium release by simple extraction: 2 M HCl 2 h 20 °C. In: Oiva Niemeläinen and Mari Topi-Hulmi (eds.). *Proceedings of the NJF's 22nd congress 'Nordic Agriculture in Global Perspective'*, July 1-4, 2003, Turku, Finland. Jokioinen: MTT Agrifood Research Finland, NJF. p 351.
- Šimek, M., Virtanen, S., Křišťálek, V., Simojoki, A. & Yli-Halla, M. 2011. Evidence of rich microbial communities in subsoil of boreal acid sulphate soil conducive to greenhouse gas emissions. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 140: 113-122.
- Spoor, G., Tijink, F.G.J. & Weisskopf, P. 2003. Subsoil compaction: risk, avoidance, identification and alleviation. *Soil and Tillage Research* 73(1/2): 175-182
- Swain, R.W. 1975. Subsoiling. In "Soil Physical Conditions and Crop Production," *Tech. Bulletin* 29, pp. 189–204. Min. Agr. Fish Food. HMSO. London.
- Tuomisto, J. 2003. Siemenperunantuotanto Suomessa. Sopimustuotanto siemenperunan markkinaepävarmuudesta aiheutuvan hyvinvointitappion alentajana. MTT Maa- ja elintarviketalous 22. 109 s. Helsinki.
- Tuomisto, J. 2004. Benefits and costs of the first wave of gene technology: A case study on potato in Finland. A paper presented at the 8 th ICABR International Conference on Agricultural Biotechnology: International Trade and Domestic Production Ravello (Italy), July 8 - 11, 2004. 19 p.
- Tuomisto, J. & Huitu, H. 2008. Reducing costs caused by isolation requirements between GM and non-GM potato fields - a method based on GIS. Teoksessa: Chiru, S., Olteanu G., Aldea, C., & Bádárú, C.(toim.). *Potato for a changing world*. 17th Triennial Conference of the European Association for Potato Research (EAPR) Brasov 2008, abstracts of papers and posters. Universităţii "Transilvania". p. 201–205

- Tuomisto, J. 2008. Perunaviruksen aiheuttamat kustannukset siemenperunan tarjontaketjulle. In: Toim. Anneli Hponen. Maataloustieteen päivät 2008, 10.-11.1.2008 Viikki, Helsinki (esitelmät ja posterit). Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 23: http://www.smts.fi/mpol2008/index_tiedostot/Posterit/ps030.pdf
- Tuomisto, J. 2011. Viljelykierron kannattavuus Perunantuotannon ajankohtaisseminaari, Yyteri 30.6. Suomen Perunaseura.
- Tebrugge, F. & During, R.A. 1999. Reducing tillage intensity - a review of results from a long-term study in Germany. *Soil and Tillage Research* 53(1): 15-28
- Uusi-Kämpä, J. Virtanen, S., Österholm, P., Rosendahl, R., Mäensivu, M., Westberg, V., Regina, K., Ylivainio, K., Yli-Halla, M. & Turtola, E. 2014. Väheneekö happamilta sulfaattimailta tuleva kuormitus pohjaveden pintaa säättämällä? Salaojituksen Tutkimusyhdistys ry:n Tiedote
- van Loon. C.D., & Bouma, J. 1978. A case study of the effect of soil compaction on potato growth in a loamy and soil 2. Potato plant responses. *Journal of Agricultural Science*. 26. p. 421-429. Netherlands.
- Van Zwieten L, et al., Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility, *Plant Soil* 327 (2010), 235–246
- Vilppo. T. 2012. Perunan sivujakeet pellettitutkimuksessa. Perunatutkimuksen Talvipäivät. Seminaarijulkaisu. 1.2.2012. Seinäjoki
- Virtanen, S., Miloslav, Š. , Simojoki, A., Václav, K. & Yli-Halla, M. 2012. Happamat sulfaattimaat – potentiaalinen kasvihuonekaasujen lähde? *Maataloustieteen päivät 2012*. 6 s. <http://www.smts.fi/>
- Yli-Halla, M. 1997. Classification of acid sulphate soils of Finland according to Soil Taxonomy and the FAO/Unesco system. *Agricultural and Food Science in Finland* 6: 247-258.
- Yli-Halla M & Palko J (1987) Mineral element content of oats (*Avena sativa* L.) in an acid sulphate soil area of Tupos village, Northern Finland. *Journal of Agricultural Science in Finland* 59: 73-78.

Liite 1.



Kuva 1. Tarkastelemaan vaihtujen perunapellojen sijainti Suomessa

Taulukko 1. Viljelykierron toteutuminen tarkasteltavilla alueilla

Alue	Taajuus: vuosia perunaa 5 vuoden aikana (ha, %)					Peltoala, joilla perunaa vähintään kerran viidessä vuodessa	Monokulttuurin osuus		
	1	2	3	4	5		yli 50 % peru- naa	Osuus koko- nais- peruna- alasta	Perunan osuus perus- lohkosta
1 HG-alue	818	980	552	302	339	2992	215	7 %	63 %
	27 %	33 %	18 %	10 %	11 %				
2 Vihanti	6	2	3	1	5	18	4	22 %	77 %
	34 %	12 %	17 %	8 %	29 %				
3 Pyhäjoki-Kalajoki	187	328	237	207	755	1715	714	42 %	94 %
	11 %	19 %	14 %	12 %	44 %				
4 Järvi-Pohjanmaa	260	160	246	285	531	1482	514	35 %	97 %
	18 %	11 %	17 %	19 %	36 %				
5 Lapuan seutu	558	580	597	497	875	3108	803	26 %	92 %
	18 %	19 %	19 %	16 %	28 %				
6 Suupohja	443	475	552	582	2212	4264	2104	49 %	95 %
	10 %	11 %	13 %	14 %	52 %				
7 Kokemäen alue	707	646	657	705	1824	4538	1549	34 %	85 %
	16 %	14 %	14 %	16 %	40 %				
Yhteensä	2979	3171	2845	2581	6541	18117	5902	33 %	90 %
	16 %	18 %	16 %	14 %	36 %				
Kokonaisperuna-ala	12468 ha								

Liite 2

Maanparannushankkeessa käytettyjen maanparannusmateriaalien ravinne- ja haitta-ainepitoisuudet.

g/kg ka.	Puutuhka ⁽¹⁾	Kuituliete	Kuitusavi	Biohiili ⁽²⁾			
Fosfori (kokonaispitoisuus)	4	0,7	0,24	0,39			
Fosfori (liukoinen)	0,5						
Kalium (kokonaispitoisuus)	6	0,2	0,22	1,53			
Kalsium (kokonaispitoisuus)	225	200	200	3,2			
Kalsium (liukoinen)		83,2	197	0,93			
Nautraloiva kyky % (Ca)	23	9,2	21,7	2			
Kosteus-%	0,1	55	47,5	3,2			
mg/kg ka.							
Arseeni	9	< 3	< 3	< 3			
Elohopea	0,2	0,04	0,04	0,046			
Kadmium	0,8	1,1	< 0,3	< 0,3			
Kromi	70	23	25	2,9			
Kupari	275	16	4,3	4,9			
Lyijy	31	6	3,1	< 3			
Nikkeli	40	8,7	6	< 3			
Sinkki	215	340	14	63			
1) UPM-Kymmene Oyj. Kaipolan paperitehdas. Tuote ei täytä lannoitevaatimusta (Liukoinen fosfori < 2%)							
4) Charcoal Finland Oy							

Liite 3
Maan rakenne 2013-2015

Luke Oulu

Sijainti: Muhos, Korpi 5
Lannoitus: Sijoituksena
Koeruutu: Sylinteri Æ 50 cm, syvyys 50 cm
Kerranteet: I-VI
Koela: 4 m x 47 m
Lajike: Fambo
Ist.tiheys 3 yksilöä / sylinteri
Maa-aines: vähämultainen karkea hieta

Koejäsenet:

- A** Matala lannoituslasi (N 35 kg/ha)
B Korkea lannoituslasi (N 70 kg/ha)

- 1** Ei maanparannusaineita
2 Biohiili 2,5 tn/ha
3 Biohiili 5 tn/ha
4 Biotuhka 2,5 tn/ha
5 Biotuhka 5 tn/ha
6 Kuituliete 10 tn/ha
7 Kuituliete 35 tn/ha
8 Kuitusavi 10 tn/ha
9 Kuitusavi 35 tn/ha

