

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Metsätalouden koulutusohjelma

Tanja Karvonen

KIERRÄTYSLANNOITTEEN VAIKUTUS ENERGIAPAJUN  
KASVUUN KASVUKAUDELLA 2014

Opinnäytetyö  
Marraskuu 2014



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Marraskuu 2014**  
**Metsätalouden koulutusohjelma**

Sirkkalantie 12 A  
80100 JOENSUU  
(013) 260 6900

Tekijä(t)  
Tanja Karvonen

Nimeke  
Kierrätyslannoitteen vaikutus energiapajun kasvuun kasvukaudella 2014

Toimeksiantaja  
Karelia-ammattikorkeakoulu ja Biotalous ja bisnestä -hanke sekä Itä-Suomen yliopisto

**Tiivistelmä**

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin Kiteen BioKymppi Oy -biokaasulaitoksen mädätysjäännöksestä valmistaman Peltokymppi A -nimisen tavanomaiseen peltoviljelyyn soveltuvan nestemäisen kierrätyslannoitteen toimivuutta energiapajun lannoitteena ja miten se vaikutti energiapajun kuivamassatuotokseen kasvukaudella 2014.

Koe suoritettiin Itä-Suomen yliopiston Liperin Siikasalmen energiapajuviljelmällä, jossa Peltokymppi A -lannoitevalmistetta testattiin 3. kiertoaajan vesasyntyisillä siperianpajuilla. Kokeessa tutkittiin kahden eri lannoitelevitystason 170 kgN/ha ja 110 kgN/ha, vaikutusta energiapajujen kuivamassatuotokseen. Peltokymppi A -lannoitevalmistetta levitettiin manuaalisesti korkeammassa lannoitustasossa 569 kg/koeruutu ja alemmassa lannoitustasossa 368 kg/koeruutu. Lisäksi koeruutuja verrattiin lannoittamattomiin vertailuruutuihin sekä keinolannoitettuihin koeruutuihin. Keinolannoitusruuduissa käytettiin kiinteässä muodossa olevaa seosta, joka sisälsi 5,2 kg YaraBela Suomensalpietari -lannosta sekä 1,05 kg Puutarhan PK -lannosta. Lannoitetta levitettiin alemmalla levitystasolla 6,25 kg/koeruutu.

Keinolannoiteseoksella lannoitetut koeruudut tuottivat suurimman kuivamassatuotoksen 6,23 t/ha. Toiseksi suurin kuivamassatuotos oli Peltokymppi A -lannoitevalmisteella korkeammalla levitystasolla 170 kgN/ha lannoitetuilla koeruuduilla 5,59 t/ha. Levitystasolla 110 kgN/ha lannoitetuilla koeruuduilla tuotto oli 4,67 t/ha ja pienimmän kuivamassatuotoksen tuottivat lannoittamatomat koeruudut 4,15 t/ha.

Tutkimustulosten perusteella saadaan lisää tietoa käytännön tasolla orgaanisten lannoitteiden mahdollisuuksista energiapajun lannoitteena sekä epäorgaanisten lannoitteiden korvaajana. Opinnäytetyön jatkokehitysmahdollisuutena on esimerkiksi oikean orgaanisen lannoitemäärän ja lannoitekoostumuksen löytäminen mahdollisimman suurten biomassamäärien tuottamiseen.

Kieli

suomi

Sivuja 35

Liitteet 4

Sivuja 7

Asiasanat

kierrätyslannoite, kuivamassa, lannoitus, paju



**THESIS**  
**November 2014**  
**Degree Programme in Forestry**

Sirkkalantie 12 A  
80100 JOENSUU  
FINLAND  
(013) 260 6900

Author (s)  
Tanja Karvonen

Title  
Recycling Fertilizer Effect on Energy Willow Growth During the Growing Season 2014

Commissioned by  
Karelia University of Applied Sciences (KUAS), Bio economy business -project and University of Eastern Finland (UEF)

Abstract

The purpose of this study was to investigate Peltokymppi A fertilizer made by Kitee BioKymppi Oy biogas plant operates as a fertilizer for energy willow, and how it affected to the dry mass yield of energy willow during the growing season 2014. Peltokymppi A is made of digestion residue of biogas plant. It is a liquid recycling fertilizer and suitable for conventional cultivation.

The study was carried out in an energy willow plantation of UEF in Liperi, Siikasalmi. Peltokymppi A was tested to sprout-born Siberian willows in rotation period 3. In this study it was investigated how the fertilizer spread in levels 170 kg nitrogen/hectare and 110 kg nitrogen/hectare affected to the dry mass yield of energy willow. Peltokymppi A was spread manually in a higher spreading level 569 kg/plot and in a lower level 368 kg/plot. In addition, the plots were compared to the unfertilized reference plots and to the artificially fertilized plots. In artificially fertilized plots a solid fertilizer mixture made of 5.2 kg YaraBela Suomensalpietari and 1.05 kg Puutarhan PK was used. It was spread in a lower spreading level 6.25 kg/plot.

It was found that the plots fertilized by artificial fertilizer produced the biggest dry mass yield, 6.23 tons/hectare. The plots fertilized by Peltokymppi A fertilizer in a higher spreading level 170 kg nitrogen/hectare had the second biggest dry mass yield, 5.59 tons/hectare. In a lower spreading level 110 kg nitrogen/hectare, the yield was 4.67 tons/hectare and the unfertilized plots produced the lowest dry mass yield 4.15 tons/hectare.

On the basis of the research results we get more information on a practical level about the potentials of the organic fertilizers as a fertilizer of energy willow and as a substitute of inorganic fertilizers. Further opportunity for development of this thesis is, for example, to find the proper amount of organic fertilizer, and the composition of the fertilizer for a production of major bio-masses.

Language

Pages 35

Finnish

Appendices 4

Pages 7

Keywords

recycling of fertilizer, dry mass, fertilization, willow

## Sisältö

1	Johdanto .....	5
2	Opinnäytetyön lähtökohdat ja tietoperusta .....	5
2.1	BioKymppi Oy .....	7
2.2	Biokaasulaitoksen käsittelyjäännös nurmen ja ohran lannoitteena .....	7
2.3	Typpilannoitus.....	8
3	Opinnäytetyön tarkoitus ja tutkimustehtävä .....	9
3.1	Koekenttä.....	10
3.2	Toimenpiteet .....	11
3.3	Maaperän viljavuusanalyysi .....	11
3.4	Lannoituskäsittelyt .....	13
3.5	Kasvuston tilan seuranta ja mittaukset .....	15
3.5.1	Kasvukauden aikaiset ilmastolliset tekijät .....	15
3.5.2	Hyönteistuhot.....	18
3.5.3	Lehtivihreäpitoisuus.....	19
3.5.4	Kuivamassatuotto .....	20
4	Tulokset .....	21
5	Pohdinta.....	24
	Lähteet.....	27

### Liitteet

Liite 1	Maaperän viljavuusanalyysin tulokset
Liite 2	Lannoitussuunnitelman koeruudut
Liite 3	Lehtivihreän mittauspöytäkirja
Liite 4	Opinnäytetyön etenemisen aikataulu

## 1 Johdanto

Biotaloudesta bisnestä -hanke toteutti yhteistyössä Itä-Suomen yliopiston kanssa energiapajuun liittyvän lannoituskokeen kasvukaudella 2014. Opinnäytetyö tehtiin edellä mainittuun hankkeeseen liittyen. Opinnäytetyössä tutkittiin ja vertailtiin kierrätyslannoitteen ja keinolannoitteen vaikutuksia energiapajun kuivamassatuotokseen kasvukaudella 2014.

Kierrätyslannoitteena käytettiin Peltokymppi A -nimistä tavanomaiseen peltoviljelyyn soveltuvaa nestemäistä lannoitetta. Se on valmistettu muun muassa elintarviketeollisuuden eläinpohjaisista jätteistä, kaupan biojätteistä sekä rasva- ja puhdistamolietteistä (BioKymppi Oy 2010, A ja B). Keinolannoitteena käytettiin keinolannoiteseosta, joka sisälsi YaraBela Suomensalpietari -lannosta sekä Puutarhan PK -lannosta.

Opinnäytetyön toimeksiantajina ja rahoittajina toimivat Karelia-ammattikorkeakoulu ja Biotaloudesta bisnestä -hanke sekä Itä-Suomen yliopisto. Biotaloudesta bisnestä -hankkeen tavoitteena on kehittää osaamista ja valmiuksia hyödyntää laajenevia bioenergia-alan liiketoimintamahdollisuuksia.

Opinnäytetyöstä aiheutuvia kuluja olivat muun muassa kenttätöiden materiaalikustannukset, lannoitekustannukset, kustannus energiapajun raivaustyöstä metsurityöpalveluna sekä kilometrikustannukset. Lisäksi opiskelijalle maksettiin kuukauden ajalta harjoittelijan peruspalkkaa 1000 €.

## 2 Opinnäytetyön lähtökohdat ja tietoperusta

Suomesta on jo 1900-luvun alussa viety pajun kuorta parkkiaineen raaka-aineeksi Venäjälle. Pajua on viljelty Suomessa käsityöteollisuuden tarpeisiin 1960-luvulle saakka (Tahvanainen 1995, 11). Kiinnostus energiapajuun kasvoi aikanaan 1970-luvun alkupuolen energiakriisin jälkeen. 1970-luvun EU-maiden

maatalouden ylituotanto-ongelmista syntynyt vaihtoehtoinen non-food -ajattelu on lisännyt kiinnostusta myös energiapajua kohtaan. Lisäksi pajun pistokasviljelmien puute, korjuuteknologia kustannuksineen sekä biomassatuotannon lyhyen aikavälin häiriöherkkyys tuotiin esille energiapajun käytön rajoitteina. 2000-luvun alkupuolellakaan pajua ei vielä viljelty Suomessa energiakäyttöön. Metsäsektori on tutkinut maatalousmaiden siirtämistä puubiomassatuotantoon sekä ns. uusimuotoisen puuntuotannon vaikutuksia maankäyttöön ja hiilensidontaan (Lauhanen & Laurila 2007, 42.)

Energiapajun kasvatusta muuttaa tuottamattoman maan tuottavaksi, sillä kasvatusta suuntautuu vajaakäytössä oleville maa-alueille, esimerkiksi maanviljelystä poistuneille entisille pelloille ja turvetuotannosta vapautuneille suomaille. Energiapaju sitoo kasvaessaan tehokkaasti ilmakehän hiilidioksidia ja vaikuttaa siten positiivisesti hiilitaseeseen. Energiapajun tuottamaa biomassaa voidaan hyödyntää lämmön ja sähkön tuotannon lisäksi myös biopolttonesteiksi (Bioenergiatieto 2012). Esimerkiksi 25–50 t kuiva-ainetta, jonka kosteusprosentti on 30 %, hehtaarilla vastaa 87,5–175 MWh/ha. Kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo 19 MJ/kg (Forestenergy 2020, 2014). Tässä lannoituskokeessa testatun ravinteikkaiden jätelietteiden hyväksikäyttö pajuviiljelmän lannoittamiseen ohella pajua voidaan hyödyntää energiantuotannossa, raskasmetallipitoisten alueiden puhdistamisessa, vesistönsuojelussa, maisemoinnissa, viherrakentamisessa ja käsityöteollisuudessa (Tahvanainen & Rytönen 1997, 12–13).

Lyhytkiertoviljely on nopeakasvuisten puulajien intensiivistä viljelyä, jonka tavoitteena on maksimoida lyhyttä kasvatuskiertoaika käyttäen puubiomassan tuotos, esimerkiksi sähkö- ja lämpöenergiaksi. Lyhytkiertoviljelmien lannoituksessa ovat etuna lietteet, jos lannoitteita ei päästä joka vuosi lisäämään. Lietteet sisältävät yleensä runsaasti typpeä, joka orgaaniseen sitoutuneena on hidasliukoista. Lietteiden ravinnepitoisuudet ja kuiva-aineosuudet vaihtelevat suuresti, joten lietteen ominaisuudet on selvitettävä oikeiden levitysmäärien määrittämiseksi (Tahvanainen 1995, 37–38.)

Runsasravinteiset yhdyskuntalietteet, tuhka ja jätevedet voidaan kierrättää ja käyttää lannoitteena. Ne ovat esimerkiksi maatalouteen, puunpoltoon, yhdys-

kuntaan liittyvien prosessien ylijäämä tuotteita. Jätteiden ja tähteiden hyödyntämisen lisäksi orgaanisilla kierrätyslannoitteilla saavutetaan maaperää parantava vaikutus, pieneliötoiminnot lisääntyvät ja maaperän vedenpidätyskyky kasvaa.

## **2.1 BioKymppi Oy**

Lannoituskokeessa käytetty Peltokymppi A -lannoitevalmiste oli peräisin Kiteen BioKymppi Oy:ltä, joka on erikoistunut erilaisten orgaanisten jätteiden käsittelyyn jalostamalla niistä energiaa biokaasuna sähkön- sekä lämmön tuotantoon ja kierrättämällä ravinteet lannoitteiksi. Laitos tuottaa sähköä muun muassa omiin tarpeisiinsa ja valtakunnan verkkoon sekä lämpöä Kiteen kaukolämpöverkkoon. Kiinteitä sekä nestemäisiä lannoitevalmisteita laitos tuottaa luomutuotantoon, tavalliseen peltoviljelyyn sekä kotipuutarhoihin. BioKymppi Oy:n tärkeimpiä raaka-aineita ovat muun muassa kotitalouksien lajiteltu erilliskeräyksen piirissä oleva jäte, pakattu biojäte, elintarviketeollisuuden sivuvirrat (muun muassa III-luokan eläinjäte), rasvanerotuskaivojen lietteet, jäteveden puhdistamoiden lietteet, energiakasvit (esimerkiksi ruokohelpi), roskakala, paistorasvat ja karjanlanta. Lisäksi BioKymppi Oy tarjoaa jätteiden biokaasutuotantoon, käsittelyyn ja kierrätykseen liittyviä asiantuntija-, koulutus- ja tutkimuspalveluita (BioKymppi Oy 2010, A ja B).

## **2.2 Biokaasulaitoksen käsittelyjäänös nurmen ja ohran lannoitteena**

Orgaanisten lannoitteiden mahdollisuuksia lannan käytön tehostamisessa ja väkilannoitteiden korvaajana on tutkittu maatalouden tilakohtaisissa ratkaisuisissa. Naudan lietelannan, samaa lantaa ja kasvibiomassoja käsittelevän biokaasulaitoksen käsittelyjäänöksen sekä käsittelyjäänöksestä separoitujen neste- ja kuivajakeiden käyttöarvoa verrattiin väkilannoitetyyppeen nurmen ja ohran tuotannossa kasvukaudella 2010.

Ohran lannoitteena käytetyn käsittelyjäännöksen liukoisen typen lannoitusvaikutus oli keskimäärin korkeampi kuin raakalannan. Nurmella kaikkien orgaanisten lannoitteiden hyväksikäyttö oli yhtä hyvä ja lähes väkilannoitetypen veroista. Vuosivaihtelu oli suurta, esimerkiksi kuiva loppukesä vaikutti heikentävästi raakalannan ja käsittelyjäännöksen typen hyväksikäyttöön.

Nurmen fosforitase oli negatiivinen kaikilla orgaanisilla lannoitteilla, joten se ei kumuloitunut maahan. Ohralla fosforitase oli lähes aina positiivinen, mutta ei kovin suuri kuiva- ja nestejakeen yhdistelmälannoitusta lukuun ottamatta. Orgaanisten lannoitteiden sijoittaminen hillitsi helppoliukoisen fosforin rikastumista maan pintakerrokseen (Hyrkäs, Virkajärvi, Rätty, Luostarinen & Pyykkönen 2014.)

### **2.3 Typpilannoitus**

Suomalaisilla pajukoeviljelmillä vuosittaisiksi lannoitemääräksi suositellaan fosforia 20–50 kg/ha ja kaliumia 80–100 kg/ha. Yleensä lannoitteena on käytetty esimerkiksi Y-lannosta (N 18 %, P 3 %, K 12 %). Näin ollen esimerkiksi 10 000 kg kuiva-ainetuotoksella sopiva lannoitemäärä olisi 430 kg/ha (typpeä 77 kg, fosforia 13 kg ja kaliumia 52 kg).

Ilmasta tulevan typpilaskeuman määrä vaihtelee voimakkaasti vuosittain. Etelä-Suomessa laskeuman arvioidaan olevan keskimäärin noin 4–5 kg/ha/a. Tämän vuoksi lannoitemääriä voidaan hieman pienentää esimerkiksi 400 kg:aan/ha, jolloin typen määräksi tulisi 72 kg/ha. Lannoituksen ympäristövaikutukset huomioidaan ottaen suositellaan 10 000 kg/ha vuosittaisella kuiva-ainetuotoksella vain 60 kg/ha typpilisäystä vuodessa.

Lannoitemääriä voidaan vaihdella myös kierto- ja tuottoajan eri vaiheiden mukaan, esimerkiksi suurinta lannoitemäärää käytetään silloin, kun kasvukin on suurimmillaan. Näin ollen myös lannoitteiden käyttömäärät ja huuhtoutumisriski minimoituvat. Lehti- ja juurikarikkeen mukana maaperään palautuvia ravinteita on kasvien käytettävissä runsaammin vasta ensimmäisen kiertoajan loppupuol-

lolla. Sen jälkeen ravinteiden kierto kasvustossa on tehokasta. Perustamisvuonna lannoitusta ei suositella ollenkaan. Ensimmäisenä kiertoaikana vesojen ollessa 1-vuotiaita typpeä suositellaan 45 kg/ha, 2-vuotiaina 100–150 kg/ha ja 3-vuotiaina 90 kg/ha. Toisena kiertoaikana 60 kg/ha, 100 kg/ha ja 60 kg/ha (Tahvanainen 1995, 35–36.)

### 3 Opinnäytetyön tarkoitus ja tutkimustehtävä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Kiteen BioKymppi Oy -biokaasulaitoksen mädätysjäännöksestä valmistaman Peltokymppi A -nimisen tavanomaiseen peltoviljelyyn soveltuvan nestemäisen kierrätyslannoitteen toimivuutta energiapajun lannoitteena. Kokeessa tutkittiin kahden eri annosmäärän, 170 kgN/ha ja 110 kgN/ha vaikutusta pajujen kasvuun. Lisäksi Peltokymppi A -lannoitteella lannoitettuja koeruutuja verrattiin lannoittamattomiin vertailuruutuihin sekä keinolannoitettuihin koeruutuihin. Keinolannoitusruuduissa käytettiin YaraBela Suomensalpietari -lannoksen sekä Puutarhan PK -lannoksen seosta. Keinolannoiteseos on kiinteässä muodossa. Koe suoritettiin Itä-Suomen yliopiston Liperin Siikasalmen energiapajuviljelmällä, jossa on testattu erilaisia pajulajeja ja -klooneja 1990-luvun alusta lähtien (Bioenergiatieto 2012). Tässä lannoituskokeessa lannoitetta testattiin 3. kiertoajan vesasyntyisillä siperialaisilla kopipajuilla *Salix schwerinii* -klooneilla. Opinnäytetyön etenemisen aikataulu on esitetty liitteessä 4.

Opinnäytetyössä sovellettiin kvantitatiivista eli määrällistä tutkimusmenetelmää, koska kyseessä on tutkimuksen yleiset tunnuspiirteet (esimerkiksi tutkimuksen toistettavuus) täyttävä tutkimustyyppinen opinnäytetyö. Lisäksi opinnäytetyö on luonteeltaan teoriapohjainen. Tutkimusaineisto hankittiin tarkoin rajatusta kohteesta, josta pyrittiin keräämään ja etsimään objektiivista tietoa sekä ilmiöiden tai asioiden välisiä säännönmukaisia yhteyksiä. Opinnäytetyössä sovellettiin mahdollisimman tarkkoja mittausmenetelmiä. Tuloksien analysoinnissa hyödynnetään tilastollisia menetelmiä, koska aineisto on numeerisessa muodossa. Ai-

neiston hankkiminen toteutettiin lisäksi sekä kirjallisia että sähköisiä lähteitä käyttäen.

### 3.1 Koekenttä

Koekentän tulisi olla tasalaatuinen kasvupaikka, jossa maaperäolot kuten kosteus ja ravinteisuus sekä maan kaltevuus ja pohjaveden korkeus olisivat mahdollisimman samanlaisia (Tahvanainen & Rytönen 1997, 24). Lannoituskokeen koekentän muodosti noin 20 vuotta sitten perustettu pajuviljelmä. Kasvustolla oli meneillään 3. kiertoaika. Koekentällä viljeltiin venäläistä alkuperää olevaa ruskopajua eli siperialaista koripajua *Salix schwerinii*. Runkomuodoltaan siperianpaju *S. schwerinii* on suora. Kuoren väri on tuoreena punaruskea ja kuivana ruskeampi. Se on säänkestävä ja sillä on vahvat, pitkät, vahapintaiset sekä suorat versot (Kuva 1). Siperianpaju pystyy saavuttamaan kasvukauden aikana jopa 4 metrin pituuden. Lisäksi sillä on hyvä puuntuotoskyky ja se on talvenkestävä. Nuoret vesat saattavat olla arkoja syyshallalle (Luontovakka 2013.)



Kuva 1. Siperianpaju, *Salix schwerinii* (Kuva: Luontovakka)

Koekentän koko oli noin 0,4 ha ja istutustiheys 15 000 kpl/ha. Pajut oli istutettu paririveihin. Paririvit olivat noin 46 metrin pituisia ja paririvien etäisyys toisistaan oli kaksi metriä. Kaikkiaan paririvejä oli koekentässä 41 kappaletta.

Lannoituskoetta varten pajukkoon perustettiin kahden paririvin levyisiä koeruujuja. Laskennallinen koeruudun koko oli 4 m x 46 m eli 184 m<sup>2</sup>. Koska pajun juu-

ret ylettyvät hyvin kauas, jätettiin koeruutujen väliin yksi paririvi, jotta mahdollinen viereisen ruudun lannoitusvaikutus voitiin estää. Systemaattisen virheen torjumiseksi jokaista käsittelyä toistettiin kolmella kerranteella, joten kaikkiaan koeruutuja tuli 12 kappaletta. Koeruudut olivat kentällä vierekkäin, joten tarvittavien paririvien määrä oli yhteensä 37 kappaletta välirivit mukaan luettuina.

Koekenttä jaettiin kolmeen kerranteeseen, jossa jokaisessa kerranteessa oli yksi koeruutu kullakin käsittelyllä. Koeruutujen käsittelyjärjestys tehtiin arpomalla systemaattisen virheen torjumiseksi. Kokeessa ei tehty täydellistä satunnaistamista, sillä koalueen päädyt voivat erota olosuhteiltaan toisistaan.

### **3.2 Toimenpiteet**

Koe käynnistyi pajukon edellisen kasvuston korjuulla. Pajukko kaadettiin kilpailutettuna ja tilattuna metsuripalvelutyönä, raivaussahatyönä. Kaadetut pajut korjattiin manuaalisesti pois koekentältä. Korjuun jälkeen koekenttään perustettiin koeruudut siten, että koeruudun päihin paririvien väliin asetettiin koeruutua kuvaavin numeroin varustetut merkkikepit. Merkkikeppien numeroiksi tuli 1–12 tarvittavien käsittelykoeruutujen mukaan. Koerivien 11. ja 12. pajukasvusto oli raivattu ja korjattu aikaisemmin pois mahdollisesti pistokkaiden tekoa varten. Tämä huomioitiin kasvukauden lopussa kuivamassatuotoksen mittauksessa.

### **3.3 Maaperän viljavuusanalyysi**

Koekentän maaperän viljavuusanalyysia varten koekentän maaperästä otettiin kolme maaperänäytettä, yksi kustakin kerranteesta. Parhaimpia näytteenottoajankohtia ovat aikaisin keväällä roudan sulamisen jälkeen ennen lannoitusta, sadonkorjuun jälkeen syksyllä ennen maan routaantumista sekä kasvukaudella. Näytteenottotiheys on yleensä 1–3/ha. Näytteenottomenetelmänä käytettiin hajapistemenetelmää, koska se sopii parhaiten pienille kuvioille ja jos näytteenottoa tehdään ensimmäistä kyseisellä kuviolla. Näyte koottiin 12 osanäytteestä. Osanäytteet otettiin maakairalla kerranteen jokaiselta käsittelyruudulta siten, et-

tä ne edustivat tasaisesti koko kerrannetta (Viljavuuspalvelu, 1–3). Maaperän viljavuusanalyysistä saadaan tietoa muun muassa maalajista, maan happamuudesta sekä pää- ja hivenravinteiden, esimerkiksi Ca, K, P, Mg, S ja B -määristä (Tahvanainen 1995, 35).

Parhaimpia pajunviljelyyn soveltuvia maita ovat hieta- ja hiesumaat sekä humuskerrokseltaan paksut savimaat. On suositeltavaa, että maaperän pH-arvo on 5,5–6,5 multamailla ja 6,0–6,5 mineraalimailla, koska pajujen juurten ravinteiden ottokyky heikkenee happamissa oloissa (Tahvanainen 1995, 23–25).

Ravinteiden määrät vaihtelevat kiertoajan kuluessa. Maaperätekijöistä typpi vaikuttaa selkeimmin läpimittaan, pituuteen ja kuivamassatuotokseen. Orgaanisen aineksen määrällä on merkitystä esimerkiksi pajun vesomiseen. Kalium ja mangaani ovat yhteydessä kuolleisuuteen. Fosforin määrä on yleensä kivennäismailla pajulle riittävä. Riittävät typen ja kaliumin määrät sekä vettyneillä mailla vähäinen mangaanin määrä ovat keskeisiä tekijöitä pajun menestymiselle (Tahvanainen 1997, 25–29.)

Maaperän viljavuusanalyysin tulosten mukaan koekentältä otetut kolme maaperänäytettä eivät poikenneet merkittävästi toisistaan. Maaperän happamuustaso oli kaikissa kolmessa näytteessä hyvä, esimerkiksi näytteessä 1 maaperän pH arvo oli 6,4. Kalsiumin ja fosforin määrät olivat välttäviä. Näytteet sisälsivät kaliumia ja magnesiumia tyydyttävästi. Rikin ja boorin määrät olivat tulosten mukaan huononlaisia. Lisäksi näytteen 1 sisältämä rikin määrä poikkesi näytteistä 2 ja 3 mahdollisesti siksi, että koekenttä sijaitsi lähellä pikitietä ja maaperänäyte 1 on otettu koekentän kauimpana tiestä olevasta päädyistä, joten voi olla, että liikennepäästöt ovat vaikuttaneet lisäävästi näytteiden 2 ja 3 sisältämiin rikki-määriin. Maaperän viljavuusanalyysin tulokset on esitetty yksityiskohtaisemmin liitteessä 1.

### 3.4 Lannoituskäsittelyt

Lannoituksen tarkoituksena viljavilla kasvupaikoilla on korvata korjuussa poistuvat ravinteet. Pajukasvuston sitomasta kokonaistypestä poistuu korjuun mukana noin 20 %. Typpeä on kasvien kuiva-aineesta keskimäärin 1-3 % ja runkopuussa alle 1 %. Pajulla runkopuun typpipitoisuus on noin 0,6 % ja kuoren noin 2 %. Kuoren osuus maanpäällisestä lehdettömästä kuiva-aineesta pienenee iän myötä 1-vuotiaan kasvuston 33,5 %:sta 5-vuotiaan 11,2 %:iin (Tahvanainen 1995, 36.)

Pääasiallinen testattava lannoitevalmiste kokeessa oli BioKymppi Oy:n valmistama erilliskerätystä biojätteestä biokaasutuotannon sivutuotteena valmistuva Peltokymppi A -lannoitevalmiste. Valmiste sisältää kokonaistypeä 5,5 kg/tn, liukoista typpeä 3,9 kg/tn ja kaliumia 1,0 kg/tn. Kokonaisfosforipitoisuus tuotteessa on 2,1 kg/tn ja vesiliukoinen fosforipitoisuus 0,17 kg/tn (BioKymppi Oy 2010.)

Pajuviljelmä lannoitettiin alkukesällä edellisen sadon korjuun jälkeen, koska silloin kasvupaikalta poistuu paljon ravinteita. Lisäksi talveentumis- ja pakkasvaurioriskit pienenevät ajoissa tehdyn lannoituksen myötä. Lannoitevalmistetta levitettiin koeruuduille kahdella eri levitystasolla. Korkeampi levitystaso määritettiin siten, että siinä annettiin kokonaistypeä nitraattidirektiivin sallima 170 kgN/ha maksimimäärä hehtaarille. Pienempänä levitysmääränä käytettiin typpilannoitustasoa 110 kgN/ha, sillä se on tyypillinen peltokasvien typpilannoitustaso. Ylemmällä lannoitustasolla liukoista typpeä tuli 121 kg/ha ja alemmalla 78 kg/ha. Tutkittavaa lannoitevalmistetta levitettiin manuaalisesti korkeammassa lannoitustasossa 569 kg/koeruutu ja alemmassa lannoitustasossa 368 kg/koeruutu.

Kolmantena käsittelynä oli verrokkina toimiva keinolannoitus. Keinolannoitteen tuli olla typen liukoisuusominaisuuksiltaan Peltokymppi A:n kaltainen. Keinolannoitus suunniteltiin niin, että koeruutujen kokonaistypen saanti oli 110 kg/ha eli sama kuin pienemmän lannoitevalmistekäsittelyn kokonaistypin määrä. Keinolannoitusruuduissa käytettiin YaraBela Suomensalpietari -lannoksen sekä Puu-

tarhan PK -lannoksen seosta niin, että keinolannoitevalmisteseoksessa oli YaraBela Suomensalpietari -lannosta 5,2 kg ja Puutarhan PK -lannosta 1,05 kg eli yhteensä 6,25 kg/koeruutu. YaraBela Suomensalpietari -lannoksen ja Puutarhan PK -lannoksen sisältämät pää- ja hivenravinteet (Yara Suomi A ja B) on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. YaraBela Suomensalpietari -lannoksen ja Puutarhan PK -lannoksen sisältämät pää- ja hivenravinteet.

Ravinne	YaraBela Suomensalpietari -lannos	Puutarhan PK -lannos
Typpi (N)	27,0 %	3,2 %
Nitraattityppi	12,3 %	1,6 %
Ammoniumtyppi	14,7 %	1,6 %
Kalium (K)	1,0 %	20,0 %
Magnesium (Mg)	1,0 %	2,8 %
Rikki (S)	4,0 %	13,0 %
Boori (B)	0,02 %	0,01 %
Seleeni (Se)	0,0015 %	0,001 %
Fosfori (P)	-	5,0 %
Kupari (Cu)	-	0,03 %
Mangaani (Mn)	-	0,03 %
Molybdeeni (Mo)	-	0,01 %
Sinkki (Zn)	-	0,02 %

Keinolannoitevalmisteseos on rakeisessa muodossa ja se levitettiin manuaalisesti. Keinolannoiteruudun liukoisen tyypin määrä on lähes puolivälissä lannoit-

tevalmisteiden typpimääristä, joten tilastollinen vertailu lannoitusvaikutuksesta oli mahdollista sekä liukoisen typen että kokonaistypen perusteella. Neljäntenä käsittelemänä toimivat lannoittamattomat kontrolliruudut. Koeruutujen lannoituskäsitteilyjärjestys on esitetty liitteessä 2.

### **3.5 Kasvuston tilan seuranta ja mittaukset**

Kasvuston tilaa seurattiin pitkin kasvukautta ja siitä tehtiin kasvustoon liittyviä havainnoiteja määräajoin. Ensimmäinen havainnointi tehtiin mahdollisimman pian lannoituksen jälkeen ja sitä seuraavat havainnot noin 1–2 kuukauden välein. Kasvustoon liittyviä havainnoiteja ovat esimerkiksi kasvukauden aikainen sademäärä ja lämpötila, rikkakasvien kasvu, ilmaston ja riistaeläinten aiheuttamat tuhot, sieni- sekä hyönteistuhot (Tahvanainen 1995, 33–44). Tässä opinäytetyössä keskityttiin kasvukauden aikaiseen keskilämpötilaan, ajankohdan keskimääräiseen ylimpään ja alimpaan lämpötilaan, sademäärään sekä hyönteistuhoihin. Kasvustoon tehtäviä mittauksia olivat lehtivihreäpitoisuuden sekä biomassatuotoksen mittaus.

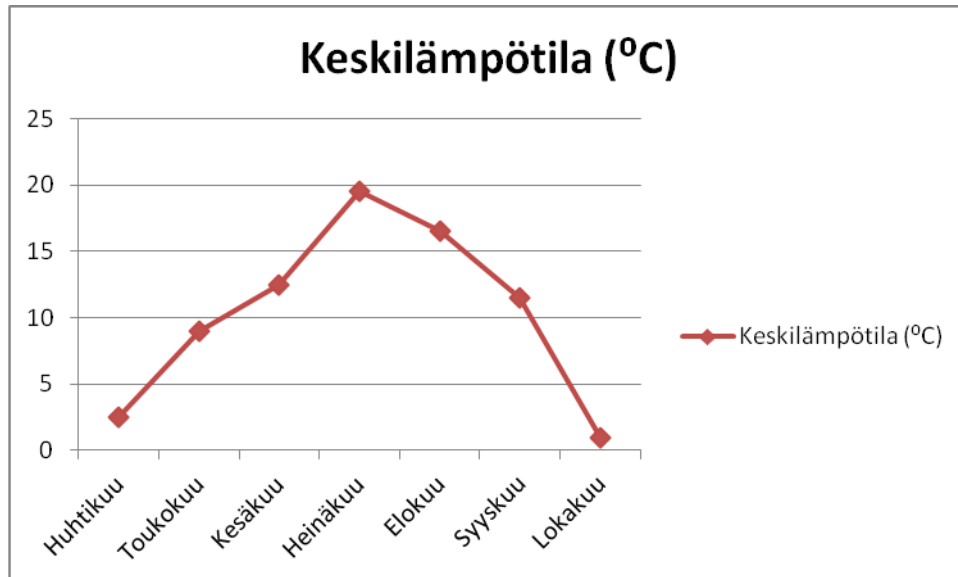
#### **3.5.1 Kasvukauden aikaiset ilmastolliset tekijät**

Kasvuston tuottaman kuiva-aineen määrä on suorassa suhteessa lehtien sitoman säteilyenergian määrän kanssa. Aikainen silmujen puhkeaminen ja latvuston nopea kehittyminen keväällä ovat tärkeitä tuotoksen kannalta. Touko-kesäkuussa sidotun säteilyenergian määrä kasvaa lähes suorassa suhteessa latvuston kasvaessa. Syksyllä tulosäteilyn määrä pienenee ja lehtien varisemisajankohdalle ei tuotoksen kannalta ole juurikaan merkitystä. Kuiva-ainetta kertyy nopeimmin heinäkuun puolestavälistä elokuun puoliväliin (Tahvanainen 1995, 51–54.)

Kasvukauden aikaisen sademäärän ja lämpötilan arvioinnissa hyödynnettiin Ilmatieteenlaitoksen tuottamaa ajankohtaista aineistoa säästä koekentän sijaitsemalla alueella. Ilmatieteenlaitoksen mukaan vuoden 2014 terminen kasvu-

kausi alkoi 18. huhtikuuta ja päättyi 30. syyskuuta. Terminen kasvukausi alkaa lumen sulaessa aukeilta paikoilta ja vuorokauden keskilämpötilan noustessa pysyvästi (vähintään 10 vrk ajan) yli +5 asteen. Terminen kasvukausi päättyy vuorokauden keskilämpötilan laskiessa pysyvästi alle +5 asteen tai pysyvän lumipeitteen muodostuessa (Ilmatieteenlaitos 2014.)

Kasvukauden aikana sekä keväällä että syksyllä esiintyvät kovat pakkaset aiheuttavat ongelmia pajun kasvulle ja kehitykselle. Pajun versojen tulee ehtiä talveentua ennen kovia pakkasia. Lisäksi tuuli ja ilmankosteus vaikuttavat pakkaskestävyyteen. Kuitenkin useat koripajulajikkeet tässä kokeessa käytetyn *Salix schwerinii* -lajin ohella ovat kohtalaisen hyviä pakkaskestävyydeltään (Tahvanainen & Rytönen 1997, 36–37). Kasvukausi 2014 oli kuitenkin melkoisen lämmin, joten kovilta kevät- ja syyspakkasilta säästyttiin. Kasvukauden 2014 aikaiset keskilämpötilat on esitetty kuukausittain kuviossa 1 ja ajankohdan keskimääräiset ylimmät sekä alimmat lämpötilat taulukossa 2.



Kuvio 1. Kasvukauden 2014 aikainen keskilämpötila kuukausittain.

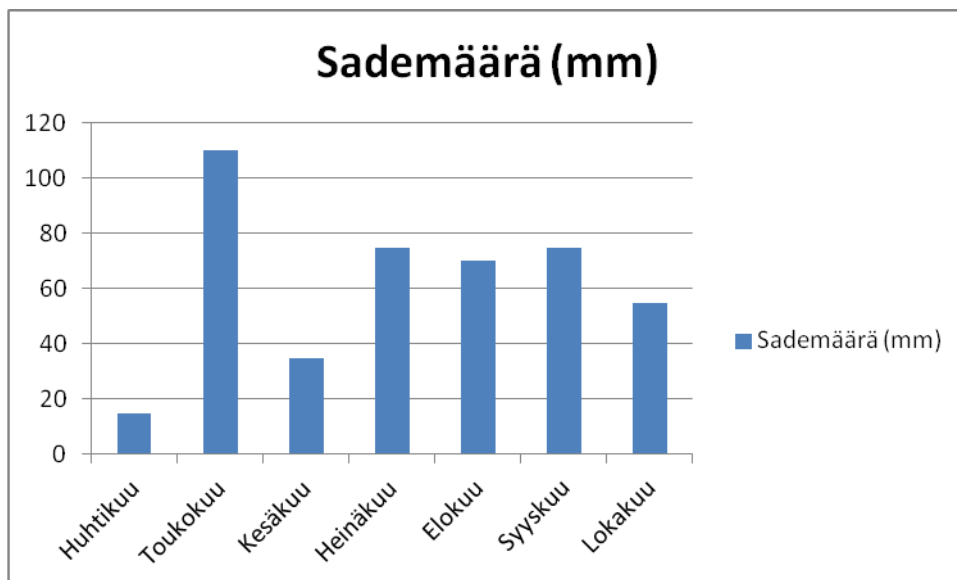
Taulukko 2. Ajankohdan keskimääräinen ylin ja alin lämpötila.

Ajankohta	Ylin lämpötila °C	Alin lämpötila °C
15.4.2014	7,0	-3,0

30.4.2014	11,0	-1,0
15.5.2014	13,0	3,0
31.5.2014	17,0	9,0
15.6.2014	19,0	9,0
30.6.2014	21,0	11,0
15.7.2014	21,0	13,0
31.7.2014	21,0	11,0
15.8.2014	19,0	13,0
31.8.2014	15,0	7,0
15.9.2014	13,0	5,0
30.9.2014	9,0	3,0
15.10.2014	7,0	1,0
31.10.2014	3,0	-1,0

Suomalaisten tutkimusten mukaan esimerkiksi koripajun (*Salix viminalis*) vedenkulutus tuotettua kuiva-ainekiloa kohti on 250–380 litraa. Pajukasvusto haihduttaa hyvässä kasvussa ollessaan 5–6 mm päivässä (Tahvanainen 1995. 33–34.)

Toukokuun puolivälissä heti lannoituksen jälkeen oli hieman kuivempi 1–2 viikon ajanjakso, mikä saattoi vaikuttaa lietteen levittymiseen. Liette jää maanpintaan, jolloin typen hävikki saattaa olla suuri. Muutoin toukokuun 2014 runsas sademäärä saattoi edesauttaa kasvuston kehittymistä. Kesäkuu 2014 oli hieman kuivempi, mutta loppuvuoden 2014 kasvukauden aikaiset tasaiset kuukausittaiset sademäärät turvasivat pajujen riittävän veden saannin. Kasvukauden 2014 aikaiset sademäärät on esitetty kuviossa 2.



Kuvio 2. Kasvukauden aikainen sademäärä kuukausittain.

### 3.5.2 Hyönteistuhot

Energiapajuviljelmillä esiintyvät hyönteistuhot vaihtelevat vuosittain hyönteiskantojen mukaan. Tuhoja aiheuttavat mm. lehtikuoriaiset, lehdenkalvajaiset, äkämässäket, sahapistiäiset ja perhosten toukat, jotka vahingoittavat useimmiten pajun versoja, lehtiä ja silmuja. Kasvusto saattaa myös haaroittua normaalia enemmän, joka heikentää esimerkiksi pistokassaantoa. Tuho esiintyy yleensä korkeintaan kahtena vuonna peräkkäin hyönteiskannan pienetessä. Kasvu palautuu yleensä epidemian hävittyä. Pajut kestävät hyönteistuhon hyvin voimakaslaatuisten vesomisensa ansiosta. Hyönteistuhon torjuntaan muun muassa kemiallisesti (Tahvanainen 1995, 43–44.)

Energiapajuviljelmällä esiintyviä hyönteistuhon arvioitiin aistinvaraisesti, silmävaraisesti noin kuukauden kuluttua edellisen sadon korjuusta ja lannoituksesta sekä kasvukauden aikana. Vaurioituneiden pistokkaiden lukumäärä suhteutettiin koerivin pistokkaiden lukumäärään. Pistokkaiden lukumäärä oli keskimäärin 145 kpl/koerivi. Laskelmissa huomioitiin silmävaraisesti pahiten hyönteisten vaurioittamat pistokkaat. Silmävaraisesti arvioiden kuitenkin 70–100 %:lla kaikista pistokkaista oli eriasteisia syöntijälkiä. Koekentän antaman yleiskuvan perusteella ja kasvukauden aikana määrääjain tehtyjen muiden kasvustoon liittyvi-

en havaintojen ohella tarkasteltaessa hyönteistuhailloilla ei näyttänyt olevan niin suurta merkitystä sadolle. Hyönteistuhojen vaurioittamat pistokkaat on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Vaurioituneet pistokkaat (Liperi, Siikasalmi, 15.6.2014)

Koerivi	Vaurioituneiden pistokkaiden lukumäärä	Vaurioituneiden pistokkaiden osuus koerivin pistokaslukumäärään suhteutettuna, %
1.	36	24,83
2.	27	18,62
3.	20	13,79
4.	18	12,41
5.	7	4,83
6.	28	19,31
7.	22	15,17
8.	7	4,83
9.	17	11,72
10.	18	12,41
11.	15	10,34
12.	16	11,03

### 3.5.3 Lehtivihreäpitoisuus

Pajujen lehtivihreäpitoisuutta mitattiin SPAD (Minolta) -lehtivihreämittarilla, joka mittaa lehtivihreän määrän kasvissa antamalla SPAD-arvon, joka kertoo kasvin sadontuottokyvystä (Agri 2014). Mitattava lehti on ylin täysin kehittynyt lehti ja mittaus tehdään pituussuunnassa keskeltä lehteä (Agrimarket 2014, 5).

Ohralla, kauralla ja vehnällä optimitilanteessa lannoitusikkunan ja lohkomittauksen välinen erotus on ohralla 4, kauralla 3 ja vehnällä 2. Jos erotus on suurempi kuin optimi, tulee miettiä mahdollista täydennyslannoitusta. Jos erotus on pienempi kuin optimi, tulee miettiä mahdollista laontorjuntaa. Vertailtaessa lannoit-

tusikkunoiden tuloksia keskenään tulee huomioida satoennuste, lajike, lannoitus, maan kosteus ja aiemmat kokemukset kyseiseltä lohkolta (Agrimarket 2014, 5.)

Energiapajuviljelmän koerivien lehtivihreäpitoisuuden mittaustulokset eivät poikenneet merkittävästi toisistaan. Viljelmän optimitilanteessa lehtivihreäpitoisuutta kuvaava SPAD-arvo olisi 31. Täten koerivit 6., 8. ja 11. olisivat optimitilanteessa, koerivit 1.–3., 7. ja 12. voitaisiin täydennyslannoittaa ja koeriveillä 4., 5., 9. ja 10. olisi laontorjunta tarpeen. Lehtivihreäpitoisuuden mittaustulokset on esitetty taulukossa 4 ja koko mittauspöytäkirja liitteessä 3.

Taulukko 4. Lehtivihreäpitoisuuksien SPAD-arvot.

Koerivi	SPAD -arvo
1.	32
2.	33
3.	32
4.	30
5.	30
6.	31
7.	33
8.	31
9.	28
10.	29
11.	31
12.	32

### 3.5.4 Kuivamassatuotto

Syksyllä kasvukauden päätyttyä koeruujujen pajujen kuivamassatuotosta mitattiin Itä-Suomen yliopiston kehittämän laskentamallin avulla, joka perustuu pajuvesan läpimittaan kuivamassan ennustamiseksi. Energiapajuviljelmän tuotoksella tarkoitetaan yleensä maanpäällistä lehdetöntä kuiva-ainetuotosta, joka ilmaistaan tavallisesti painoyksikköinä kuiva-ainetta kohti (kg/ha). Pajun kuiva-

paino on  $380 \text{ kg/m}^3$  (kiinto) eli kuiva-ainetonnit voidaan muuttaa kiintokuutiometreiksi kertoimella 2,7. Lisäksi kokeessa laskettiin lannoituskäsitellykoeruutujen pistokkaiden vesojen lukumäärä, kuolleiden kantojen lukumäärä sekä kuivamassatuotto, kun 15 000 pistokasta/ha.

Verson läpimitan ja kuivamassan suhde on samalla kasvupaikalla melko vakio. Massayhtälöllä saadaan laskettua yhden pajuvesan lehdetön maanpäällinen kuivamassa. Vesan massa laskettiin yhtälöstä  $DWI = 0,041154 \cdot D^{2,84571}$ , jossa D on vesan läpimitta millimetreinä mitattuna vesan tyveltä, noin 10 % korkeudelta vesan pituudesta. Joka koeriviltä mitattiin yhteensä 100 pistokasta vesoineen. Vesojen lukumäärä vaihteli tämän tutkimuksen tulosten mukaan 6,41–14,52 kpl/pistokas (taulukko 5). Aivan koerivien päätypistokkaiden, kahden ensimmäisen pistokkaan vesoja, ei mitattu reunavaikutuksen estämiseksi.

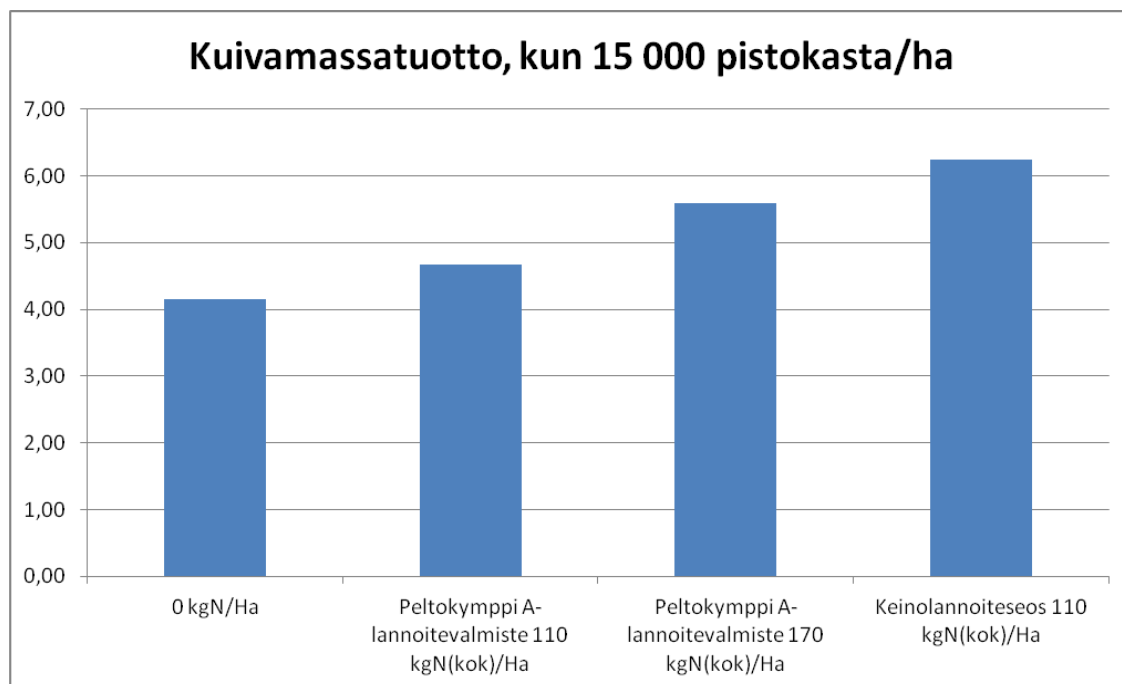
Energiaviljelmien tuotosta rajoittavia ilmastotekijöitä ovat valo, lämpötila, ilman kosteus, tuulennopeus ja sademäärä. Tuotoksen kasvamiseen vaikuttavia tekijöitä ovat juuriston kehittyminen, vesalukumäärän kasvaminen useiden vesotamisten seurauksena ja pidempien kiertoaikojen käyttäminen. Tuotoksen kannalta paras kiertoaika olisi 3–5 vuotta (Tahvanainen 1995, 51 ja 53).

Vuosittainen kasvu pajulla on Suomessa noin 5–10 tonnia kuiva-ainetta/ha, riippuen esimerkiksi kasvupaikasta, pajulajista, kiertoajasta ja viljelmän hoitotoimenpiteistä (Forestenergy 2020, 2014). Esimerkiksi kuiva-ainetonnista energia-pajua, jonka kosteus on 50 %, saadaan 4,5 MWh energiaa (Lauhanen & Laurila 2007, 42).

## 4 Tulokset

Tulosten mukaan lannoituskokeessa käytetty YaraBela Suomensalpietari -lannoksen (5,2 kg) sekä Puutarhan PK -lannoksen (1,05 kg) keinolannoitevalmisteseos levitystasolla 110 kgN(kok)/ha tuotti suurimman kuivamassatuotoksen 6,23 t/ha, kun istutustiheys oli 15 000 pistokasta/ha (kuvio 3). Vesojen lu-

kumäärä oli myös keinolannoitekoeruuduissa muita lannoituskäsittelyruutuja suurempi ja kuolleiden kantojen osuus keskiarvoa matalampi.



Kuvio 3. Lannoituskäsittelyruutujen kuivamassatuotto tonneina, kun istutustiheys on 15 000 pistokasta/ha.

Toiseksi suurin kuivamassatuotos oli Peltokymppi A -lannoitevalmisteellä korkeammalla levitystasolla 170 kgN/ha lannoitetuilla koeruuduilla 5,59 t/ha. Levitystasolla 110 kgN/ha lannoitetuilla koeruuduilla tuotto oli 4,67 t/ha. Lannoittamattomat koeruudet tuottivat pienimmän kuivamassatuotoksen 4,15 t/ha mikä osoittaa, että hyviin kuivamassatuotoksiin pääseminen vaatii lannoittamisen. Lisäksi kuolleiden kantojen osuus 20,67 % oli suurin lannoittamattomilla koeruuduilla. Lannoituskokeen lannoituskäsittelykoeruutujen pistokkaiden vesojen lukumäärä, kuivamassatuotto sekä kuivamassatuotto, kun 15 000 pistokasta/ha ja kuolleiden kantojen osuus on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Lannoituskäsittelykoeruutujen pistokkaiden vesojen lukumäärä, kuivamassatuotto, kuivamassatuotto, kun 15 000 pistokasta/ha sekä kuolleiden pistokkaiden osuus.

Koeruutu	Lannoite	Vesojen lukumää-	Kuivamas- satuotto	Kuivamas- satuotto,	Kuollei- den pis-

		rä		kun 15 000 pistokas- ta/ha	tokkaiden osuus, %
1.	0 kgN/ha	11,0	233,7	3,74	34,0
5.	0 kgN/ha	8,9	260,9	4,17	18,0
9.	0 kgN/ha	8,0	284,2	4,55	10,0
<b>Keskiarvo</b>		<b>9,3</b>	<b>259,57</b>	<b>4,15</b>	<b>20,67</b>
4.	Peltokymppi A - lannoitevalmiste 110 kgN(kok)/ha	10,67	330,5	5,29	14,0
8.	Peltokymppi A - lannoitevalmiste 110 kgN(kok)/ha	6,41	252,7	4,04	20
10.	Peltokymppi A - lannoitevalmiste 110 kgN(kok)/ha	9,83	292,3	4,68	8
<b>Keskiarvo</b>		<b>8,97</b>	<b>291,85</b>	<b>4,67</b>	<b>14,0</b>
3.	Peltokymppi A - lannoitevalmiste 170 kgN(kok)/ha	9,63	322,8	5,17	19,0
6.	Peltokymppi A - lannoitevalmiste 170 kgN(kok)/ha	9,63	431,2	6,90	11,0
11.	Peltokymppi A - lannoitevalmiste 170 kgN(kok)/ha	8,76	294,2	4,17	17,0
<b>Keskiarvo</b>		<b>9,34</b>	<b>349,39</b>	<b>5,59</b>	<b>15,67</b>
2.	Keinolannoiteseos 110 kgN(kok)/ha	7,98	407,2	6,52	10,0
7.	Keinolannoiteseos	8,14	415,6	6,65	14,0

	110 kgN(kok)/ha				
12.	Keinolannoiteseos 110 kgN(kok)/ha	14,52	346,1	5,54	19,0
<b>Keskiarvo</b>		<b>10,21</b>	<b>389,62</b>	<b>6,23</b>	<b>14,33</b>
<b>Keskiarvo (koko viljelmä)</b>		<b>9,46</b>	<b>322,61</b>	<b>5,16</b>	<b>16,17</b>

Toisena kiertoaikana vuonna 2011 Siikasalmen pajuviljelmän tuottama biomassaa oli 5,22 t/ha. Vesojen keskimääräinen lukumäärä oli 16,2 ja kuolleiden pistokkaiden osuus oli keskimäärin 16,6 %. Kuolleiden pistokkaiden osuus oli myös vuonna 2012 16,6 %. Vuonna 2013 viljelmä tuotti biomassaa 18,07 t/ha. Vesojen keskimääräinen lukumäärä oli 9,2. Kuolleiden pistokkaiden osuus oli 16,1 %. Myös kasvukaudella 2014 kuolleiden pistokkaiden osuus oli 16,17 % eli se oli lähes sama kuin edellisenä kiertoaikana vuosina 2011–2013. Hyönteisten aiheuttamien tuhojen vaikutus tuotokseen osoittautui hyvin pieneksi aistinvaraisiin havainnoiteihin perustuen. Myös kuivuus tai liika märkyys saattoivat vaikuttaa koerivien lopputuloksissa.

## 5 Pohdinta

Lannoituskäsittelyjen kuivamassatuotosten erot saattoivat johtua lannoitteiden sisältämien typen ja kaliumin määristä, mitkä ovat tärkeimpiä ravinteita kasvun kannalta kivennäismailla. Esimerkiksi alemmalla levitystasolla 110 kgN(kok)/ha keinolannoiteseoksen sisältämä kaliumin määrä oli lähes kaksinkertainen verrattuna Peltokymppi A -lannoitevalmisteeseen. Toisaalta Peltokymppi A -lannoitevalmisteen sisältämä kokonaistypen määrä oli keinolannoiteseosta suurempi. Typen ja kaliumin määrät on esitetty kg/ha taulukossa 6.

Taulukko 6. Keinolannoiteseoksen ja Peltokymppi A -lannoitevalmisteen sisältämät typen ja kaliumin määrät kg/ha.

Ravinne	Typpi (N), %	Kalium (K), %	Typpi (N), kg/ha	Kalium (K), kg/ha
YaraBela Suomen- salpietari -lannos 5,2 kg/ha	27,0 %	1,0 %	1,404	0,052
Puutarhan PK - lannos 1,05 kg/ha	3,2 %	20,0 %	0,0336	0,64
<b>Keinolannoiteseos 6,25 kg/ha</b>	<b>30,2 %</b>	<b>21,0 %</b>	<b>1,4376</b>	<b>0,692</b>
<b>Peltokymppi A - lannoitevalmiste 368 kg/ha</b>	<b>0,55 %</b>	<b>0,1 %</b>	<b>2,024</b>	<b>0,368</b>

Peltokymppi A -lannoitevalmiste oli nestemäisessä muodossa ja Yarabela Suomensalpietari -lannoksesta ja Puutarhan PK -lannoksesta valmistettu keinolannoiteseos oli kiinteässä muodossa. Näin ollen lannoitteen olomuoto olisi voinut vaikuttaa esimerkiksi lannoitteen tasaisesti levittymiseen pistokkaan juurien saataville tai kasvupaikalta pois huuhtoutumiseen. Tutkimustulokset osoittivat, että lannoitteen kiinteä olomuoto olisi paras vaihtoehto kasvun kannalta.

Opinnäytetyön tulosten perusteella saadaan lisää tietoa käytännön tasolla orgaanisten lannoitteiden mahdollisuuksista energiapajun lannoitteena sekä epäorgaanisten lannoitteiden korvaajana. Opinnäytetyötä voidaan hyödyntää bioenergian käytön tehostamisessa peltoviljelyssä. Opinnäytetyön jatkokehitysmahdollisuutena on esimerkiksi oikean orgaanisen lannoitemäärän ja lannoitekoostumuksen löytäminen mahdollisimman suurten biomassamäärien tuottamiseen.

Opinnäytetyön tulosten ja tiedon luotettavuutta parantaa laadullisen ja määrällisen tutkimusmenetelmän käyttäminen rinnakkain. Opinnäytetyössä käytettävät lähteet, laskentamallit ja mittausohjeet ovat peräisin luotettavilta tahoilta ja or-

ganisaatiolta, joita ovat muun muassa Itä-Suomen yliopisto, Ilmatieteenlaitos ja BioKymppi Oy.

Lannoitevalmisteiden turvallisuus varmistetaan hygieniasoinnissa lämmittämällä ne yli +70 celsiusasteeseen vähintään yhden tunnin ajaksi. Käsittely tuhoaa muun muassa salmonellan, E. colin ja rikkakasvien siemenet sekä hukkakauran (BioKymppi Oy, A).

Raskasmetallipitoisuudet lisääntyvät viljelymaissa ja -kasveissa ilmasta tulevien raskasmetallilaskeumien, lannoitteiden ja jäteliätteiden käytön takia. Tämä tulee ottaa huomioon määrittäessä tutkimuksessa käytettäviä typpi- ja fosforilannoittemääriä maaperän ja vesistöjen ekologisen kestävyuden turvaamiseksi. Energiaviljelyn mahdollisia negatiivisia ympäristövaikutuksia Euroopan uusiutuvien energialähteiden tutkimuksen (TERES) mukaan ovat esimerkiksi monokulttuurien vaarat, visuaaliset haitat, maaperän köyhtyminen ja eroosio, virkistysarvon menetys ja tauti- ja tuholaisriskit (Tahvanainen & Rytönen, 1997. 12–13).

## Lähteet

- Agri. 2014. Ammeenmäki Oy. Mittaamalla tietoa.  
<http://www.agri.fi/tuotteet/ravinteiden-hallinta-ja-kasvien-lehtivihreamittarit-spad/> 30.9.2014
- Agrimarket. Kasvuohjelma -mittauksia varten.  
<http://www.digipaper.fi/agrimarket/27869/> 16.10.2014
- Bioenergiatieto. 2012. Bioenergian verkkopalvelu. Hankkeet ja rahoitus. Energiapajun kestävä tuotanto ja käyttö.  
[http://www.bioenergiatieto.fi/default/www/etusivu/hankkeet\\_ja\\_rahoytus/hankehakemisto/energiapajun\\_kestava\\_tuotanto\\_ja\\_kaytto/](http://www.bioenergiatieto.fi/default/www/etusivu/hankkeet_ja_rahoytus/hankehakemisto/energiapajun_kestava_tuotanto_ja_kaytto/) 31.10.2014
- BioKymppi Oy. Bio10. 2010. Orgaanisten jätteiden käsittelyä, energia- ja lannoitustuotantoa.  
 A) <http://www.bio10.fi/lopputuotteet/lannoitevalmisteet/> 24.9.2014  
 B) <http://www.bio10.fi/raaka-aineet/> 24.9.2014
- Forestenergy 2020. 2014. Tulokset. Uutta 06/14: Pajun korjuu, varastointi ja toimitus varastolle. VTT:n Energiapajun kestävä tuotanto ja käyttö -projektin tehtäväraportti.  
<http://www.forestenergy2020.org/fi/tulokset:language/fi?PHPSESSID=bee3331c8bbdaf77b3a9961e08659cac> 2.11.2014
- Hyrkäs, M., Virkajärvi, P., Rätty, M., Luostarinen, S. & Pyykkönen, V. 2014. Biokaasulaitoksen käsittelyjännös nurmen ja ohran lannoitteena. Maataloustieteen Päivät 2014 [www.smts.fi](http://www.smts.fi). MTT.  
[http://www.smts.fi/MTP\\_julkaisu\\_2014/Posterit/263Hyrkas\\_ym\\_Biokaasulaitoksen\\_kasittelyjaannos\\_nurmen\\_ja\\_ohran\\_lannoitteena.pdf](http://www.smts.fi/MTP_julkaisu_2014/Posterit/263Hyrkas_ym_Biokaasulaitoksen_kasittelyjaannos_nurmen_ja_ohran_lannoitteena.pdf) 30.9.2014
- Ilmatieteenlaitos. 2014. Touko–lokakuun 2014 sää ja tilastot. Lämpötila ja sadekartat. Ajankohdan keskimääräinen ylin ja alin lämpötila.  
 A) <http://ilmatieteenlaitos.fi/toukokuu-lokakuu> 28.10.2014  
 B) <http://ilmatieteenlaitos.fi/kasvukausi-2014> 28.10.2014  
 C) <http://ilmatieteenlaitos.fi/lokakuu> 15.11.2014  
 D) <http://ilmatieteenlaitos.fi/ilmasto> 15.11.2014
- Lauhanen, R. & Laurila, J. 2007. Metsäntutkimuslaitos. Metlan työraportteja 42. Bioenergian tuotannon haasteet ja tutkimustarpeet.  
<http://www.metsantutkimuslaitos.fi/julkaisut/workingpapers/2007/mwp042.pdf> 3.11.2014
- Luontovakka. 2013. Siperianpaju, *Salix schwerinii*.  
<http://www.luontovakka.fi/17> 31.10.2014
- Tahvanainen, L. 1995. Pajun viljelyn perusteet. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta, Silva Carelica 30. Joensuun yliopistopaino, Joensuu 1995.
- Tahvanainen, L. & Rytönen, V.-M. 1997. Energiapajun viljely ja sen kannattavuus peltomailla. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta, Tiedonantoja 58. Joensuun yliopistopaino, Joensuu 1997.
- Viljavuuspalvelu. Maanäytteiden otto-ohjeet.  
[http://viljavuuspalvelu.fi/sites/default/files/sites/default/files/maanaytteiden\\_otto-ohje.pdf](http://viljavuuspalvelu.fi/sites/default/files/sites/default/files/maanaytteiden_otto-ohje.pdf) 31.10.2014
- Yara, Suomi (A). Lannoitus. Puutarhan PK.

<http://www.yara.fi/lannoitus/tuotteet/other/1845-puutarhan-pk/>  
30.9.2014

Yara, Suomi (B). Lannoitus. YaraBela Suomensalpietari.

<http://www.yara.fi/lannoitus/tuotteet/yarabela/1829-yarabela-suomensalpietari/> 30.9.2014

## Maaperän viljavuusanalyysin tulokset

**Eurofins Viljavuuspalvelu Oy**  
s-posti: viljavuuspalvelu@eurofins.fi

**VILJAVUUSTUTKIMUS**

1/2

Päivämäärä 05.06.2014 Asiakasno 173839 Tutkimusno 140102939

PL 500 50101 MIKKELI (015) 320 400

KARELIA AMK OY	Tila	Näytteenottopvm 14.05.2014
KILPELÄINEN JUHA SIRKKALANTIE 12 A	Kunta JOENSUU	Saapunut 20.05.2014
80100 JOENSUU	Neuvontajärjestö	
	Näytteenottaja	Merkki Energiapajukko

Näytteen numero		1	2	3						
Nimi		Kerranne 1	Kerranne 2	Kerranne 3						
Pintamaan maalaji a)		He	He	He						
Multavuus a)		m	m	m						
Johtoluku	10xmS /cm	0,5	0,5	0,5						
Happamuus	pH	<input checked="" type="checkbox"/> 6,4	<input checked="" type="checkbox"/> 6,3	<input checked="" type="checkbox"/> 6,5						
Kalsium (Ca) a)	mg/l	<input type="checkbox"/> 950	<input type="checkbox"/> 900	<input type="checkbox"/> 990						
Fosfori (P) a)	mg/l	<input type="checkbox"/> 9,2	<input type="checkbox"/> 9,0	<input type="checkbox"/> 9,6						
Kalium (K) a)	mg/l	<input type="checkbox"/> 120	<input type="checkbox"/> 120	<input type="checkbox"/> 120						
Magnesium (Mg) a)	mg/l	<input type="checkbox"/> 120	<input type="checkbox"/> 120	<input type="checkbox"/> 130						
Rikki (S) a)	mg/l	<input type="checkbox"/> 4,4	<input type="checkbox"/> 5,7	<input type="checkbox"/> 5,7						
Boori (B) a)	mg/l	<input type="checkbox"/> 0,2	<input type="checkbox"/> 0,2	<input type="checkbox"/> 0,2						

a) -Merkityt määritykset on tehty FINAS:in ISO/IEC 17025 mukaisesti akkreditoimalla menetelmällä.  
Tulos koskee vain meille tullutta näytettä.

Viljavuusluokkaleimat							
Huono	<input type="checkbox"/>	Välttävä	<input type="checkbox"/>	Hyvä	<input checked="" type="checkbox"/>	Arvel. korkea	<input checked="" type="checkbox"/>
Huononlainen	<input type="checkbox"/>	Tyydyttävä	<input type="checkbox"/>	Korkea	<input checked="" type="checkbox"/>		

## Maaperän viljavuusanalyysin tulokset

Eurofins Viljavuuspalvelu Oy

S-posti: viljavuuspalvelu@eurofins.fi

VILJAVUUSTUTKIMUS

Päivämäärä Asiakasno Tutkimusno  
05.06.2014 173839 140102939

2/2

PL 500 50101 MIKKELI (015) 320 400

KARELIA AMK OY	Tila	Näytteenottopvm 14.05.2014
KILPELÄINEN JUHA SIRKKALANTIE 12 A	Kunta JOENSUU	Saapunut 20.05.2014
80100 JOENSUU	Neuvontajärjestö	Sivuja yht. 2
	Näytteenottaja	Merkki Energiapajukko

## Menetelmät ja epätarkkuudet

Määrittäminen	Menetelmäkuvaus	Luotettavuus 95 % vamuudella
Pintamaan maalaji a)	MMPIMAAL.DOC. Aistinvarainen määrittäminen.	
Multavuus a)	MMPIMAAL.DOC. Aistinvarainen määrittäminen.	
Johtoluku 10xmS/cm	Jl mitataan maa-vesi -suspensiosta. (1:2,5)	
Happamuus pH	pH mitataan maa-vesi -suspensiosta. (1:2,5); VUORINEN, J. & MÄKITIE O. 1955. The method of soil testing in use in Finland. Agrogeol. Publ. 63:1-44. Methods of soil and plant analysis, 1986 Jokioinen.	
Kalsium (Ca) mg/l a)	MMVT.DOC. Uutto happamaan ammoniumasetaatti-liuokseen, mittausta ICP:llä.	15 %
Fosfori (P) mg/l a)	MMVT.DOC. Uutto happamaan ammoniumasetaatti-liuokseen, ammoniummolybdaatti -kompleksin spektrofotometrinen mittausta.	20 %
Kalium (K) mg/l a)	MMVT.DOC. Uutto happamaan ammoniumasetaatti-liuokseen, mittausta ICP:llä.	15 %
Magnesium (Mg) mg/l a)	MMVT.DOC. Uutto happamaan ammoniumasetaatti-liuokseen, mittausta ICP:llä.	15 %
Rikki (S) mg/l a)	MMVT.DOC. Uutto happamaan ammoniumasetaatti-liuokseen, mittausta ICP:llä. Viljavuusluokkien laskennassa käytetään to-teamisrajaa.	9 < 15 %; < 9 50 %
Boori (B) mg/l a)	MMBOORI.DOC. Uutto kuumaan veteen, mittausta ICP:llä.	20 %

a) -Merkityt määrittämiset on tehty FINAS:in ISO/IEC 17025 mukaisesti akkreditoimalla menetelmällä. Tulos koskee vain meille tullutta näytettä.

## Lannoitussuunnitelman koeruudut

1.	0 kgN(kok)/ha	1.
1.	0 kgN(kok)/ha	1.
2.	Keinolannoiteseos 110 kgN(kok)/ha	2.
2.	Keinolannoiteseos 110 kgN(kok)/ha	2.
3.	Peltokymppi A -lannoitevalmiste 170 kgN(kok)/ha	3.
3.	Peltokymppi A -lannoitevalmiste 170 kgN(kok)/ha	3.
4.	Peltokymppi A -lannoitevalmiste 110 kgN(kok)/ha	4.
4.	Peltokymppi A -lannoitevalmiste 110 kgN(kok)/ha	4.
5.	0 kgN(kok)/ha	5.
5.	0 kgN(kok)/ha	5.
6.	Peltokymppi A -lannoitevalmiste 170 kgN(kok)/ha	6.
6.	Peltokymppi A -lannoitevalmiste 170 kgN(kok)/ha	6.
7.	Keinolannoiteseos 110 kgN(kok)/ha	7.
7.	Keinolannoiteseos 110 kgN(kok)/ha	7.
8.	Peltokymppi A -lannoitevalmiste 110 kgN(kok)/ha	8.
8.	Peltokymppi A -lannoitevalmiste 110 kgN(kok)/ha	8.
9.	0 kgN(kok)/ha	9.
9.	0 kgN(kok)/ha	9.
10.	Peltokymppi A -lannoitevalmiste 110 kgN(kok)/ha	10.
10.	Peltokymppi A -lannoitevalmiste 110 kgN(kok)/ha	10.
11.	Peltokymppi A -lannoitevalmiste 170 kgN(kok)/ha	11.

**Lannoitussuunnitelman koeruudut**

11.	Peltokymppi A -lannoitevalmiste 170 kgN(kok)/ha	11.
12.	Keinolannoiteseos 110 kgN(kok)/ha	12.
12.	Keinolannoiteseos 110 kgN(kok)/ha	12.

## Lehtivihreän mittauspöytäkirja

Koe- rivi	Otos 1.	Otos 2.	Otos 3.	Otos 4.	Otos 5.	Otos 6.	Otos 7.	Otos 8.	Otos 9.	Otos 10.	Kes- kiarvo
1.	33,0	26,7	28,3	30,1	34,9	31,7	34,9	35,2	29,0	36,4	32,0
2.	28,9	34,2	33,9	30,3	35,6	36,9	35,0	32,0	36,1	30,3	33,32
3.	31,3	14,1	32,0	30,7	35,6	29,3	36,8	39,2	38,1	32,6	31,95
4.	27,7	25,4	29,9	32,1	26,5	28,4	34,6	40,0	29,8	28,1	30,25
5.	31,5	33,4	29,3	25,8	19,8	28,3	27,7	30,6	36,9	35,1	29,84
6.	31,6	21,6	36,7	31,0	25,1	30,0	35,7	32,1	31,3	39,7	31,48
7.	31,3	30,0	25,7	35,9	25,7	36,7	39,9	35,6	36,4	36,1	33,33
8.	37,7	34,5	29,8	30,3	26,0	27,4	30,5	26,7	29,6	32,8	30,53
9.	30,9	33,1	25,4	31,4	22,3	36,3	21,3	25,8	29,9	28,5	28,49
10.	29,2	29,6	25,3	21,7	29,3	29,8	30,4	26,4	34,3	30,3	28,63
11.	34,2	33,4	28,7	28,9	31,0	30,3	30,5	31,6	29,9	28,5	30,7
12.	28,6	29,9	31,1	32,2	38,9	33,8	24,9	36,0	33,0	29,0	31,74

Liperin Siikasalmella 15. kesäkuuta 2014

Tanja Karvonen

**Opinnäytetyön etenemisen aikataulu**

Päivämäärä	Aihe
5.5.2014	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opinnäytetyöhaastattelu</li> <li>• Opinnäytetyön aiheen saanti</li> </ul>
6.5.2014	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opinnäytetyön alustus</li> <li>• Opinnäytetyön aikataulun suunnittelu</li> </ul>
7.5.2014	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ravinteiden liukoisuuskysymyksiin vastaaminen, sopivan keinolannoitteen löytäminen ja valinta</li> </ul>
8.5.2014	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metsurityöpalvelujen kilpailuttaminen ja palvelun tilaaminen energiapajukasvuston raivausta varten</li> <li>• Opinnäytetyön aihe- ja ohjauslomakkeen sekä toimeksiantosopimuksen hakeminen</li> </ul>
12.5.2014	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energiapajukasvuston manuaalinen raivaus ja korjuu</li> </ul>
13.5.2014	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energiapajukasvuston manuaalinen raivaus ja korjuu</li> <li>• Opinnäytetyön aihe- ja ohjauslomakkeen sekä toimeksiantosopimuksen hyväksyntä</li> <li>• Pajukoekentän koeruutumerkkikeppien tilaaminen</li> </ul>
14.5.2014	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pajukoekentän koeruutumerkkikeppien numerotaulujen valmistaminen</li> <li>• Lannoituksen käytännön toteuttamisen suunnittelu ja lannoitelaskelmat</li> <li>• Maaperänäytteiden ottaminen maaperän viljavuusanalyysia varten</li> </ul>
15.5.2014	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pajukoekentän koeruutumerkkikeppien maalaaminen</li> <li>• Lannoitusvälineistön suunnittelu ja testaaminen</li> <li>• Maaperän viljavuusanalyysinäytteiden lähettäminen</li> <li>• Peltokymppi A -lannoitevalmisteen saapuminen</li> <li>• Lannoitus- ja koekenttävälineistön kokoaminen seuraavan päivän kenttätöitä varten</li> </ul>

**Opinnäytetyön etenemisen aikataulu**

16.5.2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pajukoekentän koerutumerkkikeppien pystyttäminen ja numerotaulujen kiinnittäminen</li><li>• Lannoituksen toteuttaminen</li></ul>
1-2 kk välein	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pajukasvuston tarkastuskäynnit</li></ul>
6.10.2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Opinnäytetyön suunnitelmaseminaari</li></ul>
Lokakuu 2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Koerutujen kuivamassatuotoksen mittaminen</li></ul>
Marraskuu 2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Koerutujen kuivamassatuotoksen aineiston kokoaminen ja laskelmat</li></ul>
28.11.2014	<ul style="list-style-type: none"><li>• Opinnäytetyön seminaari</li></ul>

