

## **Biologinen typensidonta fossiilisen energian säästäjänä**

**2. korjattu painos**

Hannu Känkänen, Antti Suokannas, Kari Tiilikkala ja Arja Nykänen



---

**Biologinen typensidonta fossiilisen  
energian säästäjänä**

---

**2. korjattu painos**

**Hannu Känkänen, Antti Suokannas, Kari Tiilikkala ja Arja Nykänen**

ISBN: 978-952-487-444-1

ISSN 1798-6419

<http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti76a.pdf>

Copyright: MTT

Kirjoittajat: Hannu Känkänen, Antti Suokannas, Kari Tiilikkala ja Arja Nykänen

Julkaisija ja kustantaja: MTT Jokioinen

Julkaisuvuosi: 2013

Kannen kuva: Hannu Känkänen

---

# Biologinen typensidonta fossiilisen energian säästäjänä

---

Hannu Känkänen<sup>1)</sup>, Antti Suokannas<sup>2)</sup>, Kari Tiilikkala<sup>1)</sup> ja Arja Nykänen<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>MTT, Kasvintuotannon tutkimus, Tietotie, 31600 Jokioinen, etunimi.sukunimi@mtt.fi

<sup>2)</sup>MTT, Kasvintuotannon tutkimus, Vakolantie 55, 03400 Vihti, etunimi.sukunimi@mtt.fi

<sup>3)</sup>MTT, Kasvintuotannon tutkimus, Lönnrotinkatu 3, 50100 Mikkeli, etunimi.sukunimi@mtt.fi

## Tiivistelmä

Biologisen typensidonnan hyödyntämistä Suomen maataloudessa on mahdollista tehostaa voimakkaasti. Nurmipalkokasvien käyttö rehuntuotannossa, viherlannoituksen ja aluskasvien hyödyntäminen typen tuottamisessa sekä palkoviljojen täysimittainen viljely voivat vähentää väkilannoitetypen käyttöä 60 % nykyisestä. Fossiilista energiaa säästyy, koneketjujen energiankulutus mukaan lukien, noin 3700 terajoulea (TJ) vuodessa. Se vastaa samaa energiamäärää, kuin maa- ja puutarhataloudessa käytettiin vuonna 2010 polttoöljynä lämmitykseen ja viljankuivaukseen.

Biologisen typensidonnan edellytyksiä säästää fossiilista energiaa lähestyttiin eri tuotantomuotojen ja viljelykasvien nykylaajuuden kautta. Karjanlanta otettiin huomioon, mutta ei lannan käytön mahdollista tehostumista tulevaisuudessa. Laskelmissa pellon käytön oletettiin muuttuvan vain biologisen typensidonnan tehostamiseen liittyen, eikä esimerkiksi peltojen energiatuotannon lisääntymisen myötä. Palkokasvien lisäämismahdollisuuksiin suhtauduttiin rohkeasti, mutta mm. viljelykierron ja maalajien asettamat rajoitteet huomioiden.

Väkilannoitetypen valmistukseen kuluva energiamäärä laskettiin tämän hetken tehokkaimman valmistustekniikan perusteella. Palkokasvien viljelyn lisäämiseen liittyvä konetöiden energiankulutuksen muutos laskettiin koneketjujen energiankulutusmittauksiin pohjautuen.

Raporttiin koottiin tieto ilmakehästä tyypeä sitovista kasvustoista ja niiden edellytyksistä korvata väkilannoitetyypeä erilaisissa viljelytilanteissa. Viherlannoituksen typpihyöty seuraavalle kasville laskettiin uudella, entistä totuudenmukaisemmalla tavalla. Typpilannoitusteho ottaa huomioon jälkivaikutuksen silloin, kun viljelykasvin kasvua optimoidaan väkilannoitetypen avulla. Toisaalta se osoittaa, että joskus biologisesta ja kenties taloudellisestakin optimista on tingittävä, mikäli viherlannoitusmassan sisältämä typpi halutaan siirtää mahdollisimman täysimääräisesti seuraavan kasvin käyttöön.

Tehdyt arviot ovat osa MTT:n HiiliN -hanketta, jonka keskiössä ovat ilmastonmuutoksen hillintä ja siihen liittyvän teknologian kehittäminen käytännön tasolla. Julkaisun taustalla on iso määrä MTT:n eri hankkeiden tuottamaa dataa ja niiden yhdistelyä sekä analyysiä energian käytön näkökulmasta. Erityistavoitteenamme oli tukea ja vauhdittaa lannoitukseen liittyvää politiikkatyötä sekä tutkimuksen kohdentamista merkittäviin tietoaukkoihin.

Biologisen typensidonnan maksimaalisen hyödyntämisen voi olettaa pitävän sisällään viljelyn kannattavuuteen pitkällä aikavälillä huomattavan edullisesti vaikuttavia tekijöitä. Kasvintuotannon kate todettiin tuoreimmassa kirjallisuustiedossa paremmaksi typensitojakasveja käytettäessä kuin niitä ilman. Lisäksi mm. nurmipohjainen biokaasun tuotanto voisi parantaa kannattavuutta edelleen. Bioenergian sivutuotteen saatavien lannoitteiden merkitys on lisäselvitysten arvoinen asia.

Ympäristövaikutusten osalta tietovaje on suuri, mutta palkokasvien käytön lisäämisen positiiviset vaikutukset maan hiilivaroihin ja rakenteeseen ovat todennäköisiä. Väkilannoitetypen valmistuksen väheneminen pienentää kasvihuonekaasujen päästöjä teollisuudesta, mutta erilaisten kasvimassojen ja viljelytekni-

koiden vaikutukset maatalouden päästöihin ovat suurelta osin tutkimatta. Seuraavaksi HiiliN –hankkeen puitteissa tarkennetaan tietoa palkokasvien lisäämisen vaikutuksista kasvihuonekaasujen päästöihin kirjallisuuden ja kokeista tehtävien mittausten avulla. Myös palkokasvien typen hallinta edellyttää lisäselvityksiä huuhtoutumisen kurissa pitämiseksi. Lisäksi monia palkokasvien hyödyntämisen käytännön menetelmiä ja talouskysymyksiä olisi hyvä selvittää tarkemmin.

Huolimatta em. tutkimustarpeista ja analyysin monista oletuksista, on raportin johtopäätöksille olemassa selkeät perusteet. Tuloksia voidaan hyödyntää ilmastonmuutokseen hillintään liittyvässä politiikkatyössä.

Selvitys osoittaa väkilannoitetypen käytön ja siihen liittyvän fossiilisen energian kulutuksen merkittävän vähentämisen olevan mahdollista biologisen typensidonnan avulla. Muutoksen toteutumista voivat edesauttaa energiansäästöön liittyvät politiikkapäätökset. Tärkeällä sijalla viljelyjärjestelmien kokonaisvaltaisen ja laajan kehittämisen kannalta on viljelijöiden oma motivaatio. Kannattavuutta kohentavien päätösten ohella motivaatiota ruokkivat lisääntyvä huoli peltojen kasvukunnosta ja halu vähentää kalliin väkilannoitetypen käyttöä.

#### **Avainsanat:**

Biologinen typensidonta, fossiilinen energia, maan kasvukunto, nurmet, palkokasvit, palkoviljat, typpi, viherlannoitus, viljelykierto, väkilannoite

---

# Reducing use of fossil energy by biological N fixation

---

Hannu Känkänen<sup>1)</sup>, Antti Suokannas<sup>2)</sup>, Kari Tiilikkala<sup>1)</sup> ja Arja Nykänen<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>MTT, Plant Production Research, Tietotie, FI-31600 Jokioinen, firstname.lastname@mtt.fi

<sup>2)</sup>MTT, Plant Production Research, Vakolantie 55, FI-03400 Vihti, firstname.lastname@mtt.fi

<sup>3)</sup>MTT, Plant Production Research, Lönnrotinkatu 3, FI-50100 Mikkeli, firstname.lastname@mtt.fi

## Abstract

Biological nitrogen (N) fixation can be increased greatly in Finnish agriculture. Intensive use of legumes in grasslands, utilization of green manure and undersown crops, and maximal growing of pulse crops can reduce use of fertilizer N by 60 % compared to current situation. It would save fossil energy, taking account energy use of machines, about 3700 terajoules (TJ) per year. This corresponds an energy amount, which was used as fuel oil in grain dryers and for heating of farm buildings at Finnish farms in 2010.

The potential of biological N fixation for saving fossil energy was examined through current field area of different crops and farm types. The available manure N was taken account, but not the possibly increasing efficiency in using it in the future. Field use was supposed to change only in the context of increasing biological N fixation, not e.g. because of increased use of fields for energy crops. The possibilities of legumes were considered optimistically, but such restrictions like adequate crop rotation and soil type were taken account.

The amount of energy in fertilizer N fabrication was calculated according to the most effective techniques in current factories. The calculated change in energy demand of machines at farms was based on energy consumption measures on field.

Knowledge concerning crops which are able to fix atmospheric N, and their ability to replace fertilizer N in different cropping situations, was compiled. The N benefit for the subsequent crop after green manure crop was computed in a new, more realistic way. N fertilization replacement value of the legume crop takes account the after effect in case that fertilizer N is used for optimizing the growth of the subsequent non-legume crop. On the other hand, sometimes the biological and even economical optimum must be turned down, if N in green manure is wanted to be used maximally by the subsequent crop.

The appraisals are a part of MTT's HiiliN project, which develops technologies which can be used to mitigate greenhouse gas emissions in agriculture and horticulture. The report is based on high amount of data from different projects in MTT, being synthesized and analyzed from perspective of energy use. Special objective was to support policy making concerning fertilization, and to aid focusing research on greatest gaps in knowledge.

The maximal use of biological N fixation probably has positive effects on farm economy in a long run. According to the newest literature, profitability of farming was higher with than without legumes. Further, for instance grass-based production of biogas could still improve the profitability. Fertilizers got as secondary products from bioenergy sources should be studied further.

Although great lack in knowledge concerning effects on environment occurs, it seems obvious that increased use of legumes would improve C content and structure of soils. Decreasing production of synthetic fertilizers would diminish greenhouse gas emissions from industry, but effect of different plant materials and cultivation techniques on emissions from agriculture needs research. Next in HiiliN project we focus on studying effects of legumes on greenhouse gas emissions, both according literature and experiments. Also management of the legume N needs further studies to keep leaching as small as possible.

Further, many aspects concerning practices and economy in legume usage would be worth of careful examination.

In spite of above mentioned need for further studies, and of many assumptions made in our analysis, conclusions of this report are clearly justifiable. Results can be used in policy, when decisions concerning mitigating climate change are made.

The report shows that use of synthetically produced fertilizer N, and thus consumption of fossil energy, is possible to be decreased markedly with help of biological N fixation. Policy making aiming at energy saves can support the change. Motivation of farmers has a great influence, when farming systems are improved comprehensively. Motivation is increased not only by policy making, but also because of concern about soil fertility and desired reduction in use of expensive synthetic fertilizers.

**Keywords:**

Biological nitrogen fixation, fossil energy, soil fertility, grasses, legumes, pulses, nitrogen, green manure, crop rotation, fertilizer

---

## Alkusanat

---

HiiliN -hanke (Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen ja hiilen nettosidonta kasvinviljelyssä sekä puutarhataloudessa) etsii monipuolisesti keinoja kasvihuonekaasupäästöjen ja fossiilisen energian kulutuksen vähentämiseen. Hankkeen yhden osan, työpaketin 4, tehtävänä on selvittää biologisen typensidonnan edellytykset vähentää synteettisen typen valmistukseen ja käyttöön liittyvää fossiilisen energian kulutusta. Tämä raportti vastaa haasteeseen nykytietämyksen osalta ja tuo esiin tutkimustarpeita.

Raportin laskelmat ja päätelmät perustuvat kirjallisuuden ja MTT:n viherlannoitusta ja palkoviljoja koskevien tutkimustulosten lisäksi siihen näkemykseen, joka on vuosien varrella aiheen parissa kertynyt. Moniin kysymyksiin on pyydetty kommentteja muilta MTT:n asiantuntijoilta, joista heille suuri kiitos. Arvokasta erityistietämystä sisältöön toi MTT teknologiatutkimuksen koneiden energiankulutusta koskeva aineisto, josta tutkija Antti Suokannas laski tarvittavat koneketjujen kulutukset.

Raportin aihealueen perusteelliseen selvittämiseen voisi hyvinkin kytkeä suuren tutkimusryhmän useaksi vuodeksi. HiiliN -hankkeen aikataulujen puitteissa tavoitteeksi kuitenkin asetettiin raportin valmistuminen tämän vuoden aikana. Raportti pitää sisällään rohkeitakin arvioita, joista ensimmäisenä kirjoittajana otan päävastuun. Totuus on tulevaisuudessa. Toivottavasti raportti toimii päänavaajana keskustelulle, täydentämiselle ja lisätutkimukselle biologisen typensidonnan todellisen lisäämisen puolesta.

Jokioisilla 12.11.2012 Hannu Känkänen



---

# Sisällysluettelo

---

|   |    |
|---|----|
| 1 Johdanto.....   | 10 |
| 2 Aineisto ja menetelmät .....                                      | 11 |
| 3 Annettu tyyppi eri lähteistä .....                                | 12 |
| 3.1 Väkilannoitetypen nykyinen käyttömäärä.....                     | 13 |
| 4 Synteettisen typpikilon vaatima energiatarve.....                 | 15 |
| 5 Ilmakehästä typpeä sitovat kasvustot .....                        | 16 |
| 5.1 Yksivuotiset viherlannoituskasvit .....                         | 16 |
| 5.2 Monivuotiset viherlannoitusnurmet .....                         | 16 |
| 5.3 Aluskasvit.....   | 16 |
| 5.4 Monivuotiset rehunurmet .....                                   | 17 |
| 5.5 Palkoviljat .....   | 18 |
| 5.6 Energiakäyttö .....   | 18 |
| 6 Palkokasvien typpilannoitustehon määrittely.....                  | 20 |
| 6.1 Viherlannoitustutkimusten tulkinta .....                        | 21 |
| 6.1.1 Yksi- ja monivuotisten viherkesantojen kokeet .....           | 21 |
| 6.1.2 Viherkesannon muokkauskoe .....                               | 22 |
| 6.1.3 Viherkesannon lopetuskoe .....                                | 26 |
| 6.1.4 Päätelmät viherlannoituskasvuston typpilannoitustehosta ..... | 26 |
| 6.1.5 Aluskasvikokeet .....   | 27 |
| 6.2 Kirjallisuustietojen yhdistäminen tulkintaan.....               | 28 |
| 6.2.1 Viherlannoitus ja viherkesannot.....                          | 28 |
| 6.2.2 Aluskasvien typpijälkivaikutus .....                          | 28 |
| 6.2.3 Palkoviljojen typpijälkivaikutus.....                         | 29 |
| 6.2.4 Rehunurmien typpijälkivaikutus .....                          | 30 |
| 6.2.5 Laitumien typpijälkivaikutus .....                            | 31 |
| 6.2.6 Typpihöydyksen optimointi on monisyistä .....                 | 31 |
| 7 Käytettävissä oleva peltoala .....                                | 33 |
| 7.1 Nykyiset viljelyalat .....                                      | 33 |
| 7.2 Jakautuminen tilaryhmiin.....                                   | 34 |
| 7.3 Kasviryhmiä alajen muutokset .....                              | 35 |
| 7.3.1 Rehunurmien pinta-ala.....                                    | 35 |
| 7.3.2 Palkoviljojen potentiaalinen ala .....                        | 36 |
| 7.3.3 Monivuotisen viherkesannon ala.....                           | 36 |
| 7.3.4 Yksivuotisen viherkesannon ala.....                           | 37 |
| 7.3.5 Aluskasveille jäävä ala.....                                  | 37 |
| 8 Väkilannoitetypen säästämismahdollisuudet .....                   | 38 |
| 8.1 Nurmettomat tilat .....   | 38 |
| 8.2 Nurmitilat .....  | 39 |
| 8.3 Väkilannoitetypen säästö Suomessa.....                          | 40 |
| 9 Energiankäytön muutokset konetöissä .....                         | 41 |
| 9.1 Kulutuslaskelmien perusteita .....                              | 41 |
| 9.1.1 Tuotantokasvit.....   | 41 |
| 9.1.2 Viherlannoitus ja aluskasvit .....                            | 41 |
| 9.1.3 Muokkaamatta ja muokaten viljely .....                        | 42 |
| 9.1.4 Keskimääräiset kulutuslukemat .....                           | 43 |
| 9.2 Energiankulutuksen muutos typensitojakasveja lisättäessä.....   | 44 |
| 9.2.1 Säilörehunurmi.....   | 44 |
| 9.2.2 Kuivaheinä ja laidun .....                                    | 44 |
| 9.2.3 Rehunurmet kaikkiaan .....                                    | 44 |

|  |    |
|--|----|
| 9.2.4 Palkoviljoja viljojen tilalle .....                  | 45 |
| 9.2.5 Viherkesannot ja aluskasvit .....                    | 45 |
| 9.2.6 Rehunurmettomat tilat kaikkiaan .....                | 46 |
| 9.3 Muutos koneketjuissa kokonaisuudessaan .....           | 46 |
| 10 Energian kokonaissäästö ja sen havainnollistaminen..... | 47 |
| 11 Näkökulmia toteuttamisen mahdollisuuksiin .....         | 48 |
| 11.1 Kasvitautilien ja muiden kasvintuhoojien riski .....  | 48 |
| 11.2 Talousnäkökulmat .....                                | 49 |
| 11.3 Ympäristövaikutukset .....                            | 50 |
| 12 Lisätiedon tarpeita .....                               | 52 |
| 13 Yhteenveto .....  | 53 |
| 14 Kirjallisuus .....                                      | 56 |

---

# 1 Johdanto

---

Palkokasvien lisääminen viljelykiertoon on maailmanlaajuisesti suositeltua. Syynä ovat niin synteettisesti valmistetun väkilannoitetypen säästö kuin muutkin edulliset vaikutukset, kun viljely monipuolistuu. Li ym. (2002) totesivat palkokasvien huomattavimmaksi eduksi typen saatavuuden, mutta samalla veden, lämpösumman ja auringonsäteilyn hyödyntäminen parani jatkuvaan vehnän viljelyyn verrattuna. Garand ym. (2001) arvelivat kolmen vuoden jakson puna-apilaa kevätevehnän aluskasvina tuoneen mukanaan ravinteiden lisäksi myös muita hyötyjä. Muut kuin typpihiödyt vaikeuttavat typpihiödytyn suuruuden arvioimista. Parantuneista kasvuedellytyksistä johtuen viljelykasvin typentarve ja optimaalinen käytettävän orgaanisen ja epäorgaanisen typen kokonaismäärä voi kasvaa, kuten Lindén (2008) muistuttaa.

Kirkegaard ym. (2008) mukaan lukuisat tutkimukset puoltavat palkokasvien avulla sidotun typen ympäristöhyötyjä. Hyödyllisyys väkilannoitetyyppeen verrattuna ilmenee niin energiankulutuksen, ilmaston lämpenemisen kuin erilaisten typen hävikkien kannalta. Jensen ym. (2012) totesivat palkokasvien vähentävän fossiilisen energian kulutusta 35 – 60 % typpilannoitettuihin viljoihin ja nurmiin verrattuna. Palkokasvien lisääminen viljelykiertoihin vähensi heidän mukaansa fossiilisen energian käyttöä 12 – 34 % kiertoa kohti.

Synteettisten typpilannoitteiden käyttöön liittyvä energiankulutus on huomattavan suuri. Mikkolan ja Ahokkaan (2009, 2010) mukaan ohran viljelyyn liittyvän panosenergian kokonaismäärä on yhteensä 11,6 gigajoulea (GJ) ha<sup>-1</sup> ja säilörehunurmen 15,5 GJ ha<sup>-1</sup>. Maatalouskemikaalien eli lannoitteiden, kalkin ja torjunta-aineiden osuus panosenergiasta on ohran viljelyssä 54 % ja säilörehun tuotannossa 72 %. Lannoitetyypen valmistus on viljelyn selvästi suurin yksittäinen energiapanos.

Sinkkonen (2001) vertaili luonnonmukaisesti ja tavanomaisesti viljellyn rukiin energiankulutusta megajouleina (MJ) jyväkiloa kohden. Tavanomaisessa viljelyssä kului lannoitteisiin liittyvää energiaa 2,9 MJ ruiskiloa kohti, luomussa ei lainkaan. Tavanomaisessa viljelyssä ruiskilon tuottamiseen kului energiaa kaikkiaan 5,3 MJ, mikä oli 2,4 MJ enemmän kuin luomussa. Siten luomun runsaampi kulutus traktori-työssä ja sadonkorjuussa tasoitti menetelmien energiankulutuksen välistä eroa vain hieman.

Koneet ja niiden polttoaine ovat maatalouskemikaalien jälkeen seuraavaksi suurin energiapanos, ohran viljelyssä niiden osuus on Mikkolan ja Ahokkaan (2009) mukaan 28 % kokonaisenergiasta, säilörehun tuotannossa 14 %. Viljan kuivauksen osuus on 11 %, säilörehun kiedontamuovin 12 %. Biologisen typensidonnan hyödyntämisen, erityisesti viherlannoituksen, lisääminen voi muuttaa oleellisesti konetöiden määrää ja kokonaissatoja, mikä on syytä ottaa huomioon energiankulutuksen muutoksia arvioitaessa.

Suomen kaikesta viljelykasvien saamasta tuestä on biologisen typensidonnan osuus nykyisin vain noin 4 %. Raportin tavoite oli selvittää, kuinka suureksi biologisen typensidonnan hyödyntäminen on mahdollista kasvattaa ja mitä se merkitsee Suomen maatalouden energiankulutuksen kannalta. Asiaa lähestytään eri tuotantomuotojen ja viljelykasvien nykylaajuuden kautta. Palkokasvien lisäämismahdollisuuksiin suhtautaan rohkeasti, mutta mm. viljelykierron ja maalajien asettamat rajoitteet huomioiden.

Perimmäisen tavoitteen mukaisesti lasketaan, minkä verran fossiilisen energian käyttöä on mahdollista vähentää ottamalla biologinen typensidonta tehokkaaseen käyttöön. Väkilannoitetypen valmistukseen kuluva energiamäärä lasketaan tämän hetken tehokkaimman valmistustekniikan perusteella. Palkokasvien viljelyn lisäämiseen liittyvä konetöiden energiankulutukseen muutos lasketaan koneketjujen energiankulutusmittauksiin pohjautuen.

---

## 2 Aineisto ja menetelmät

---

Palkokasvien typpihyötyjen selvittämiseen käytettiin kirjallisuutta ja raportin ensimmäisen kirjoittajan viherlannoitusaineistoja osittain uudesta näkökulmasta. Tulosaineistoista laskettiin ja arvioitiin mm. viherlannoituksen typpilannoitustehoa, joka on totutusta poikkeava lähestymistapa biologisen typensidonnan hyödyntämiseen. MTT:llä 1990-luvulla tehtyjen viljelyjärjestelmäkokeiden aineistosta osa käsiteltiin ja tarkasteltiin uudelleen, mutta suurelta osin tukeuduttiin aiempiin päätelmiin.

MTT teknologiatutkimus teki konetöiden osalta koneketjujen energiakulutusta varten laskentamallin, joka ottaa huomioon kunkin työvaiheen työsaavutuksen ja traktorin moottorin suhteellisen kuormitusasteen. Laskentamallia tarkennettiin konetöiden energiamittauksissa saadulla datalla. Laskelmia käytettiin verrattaessa palkokasvien käytön lisäämisen merkitystä energiankäytön kokonaismuutokseen peltoviljelyssä koneiden osalta.

Väkilannoitetypen käytön vähenemisestä syntyvä energiansäästö laskettiin pohjautuen tietoihin uudenlaisimpien lannoitetehtaiden käyttämästä energiasta typpilannoitteiden valmistuksessa. Arvioissa palkokasvien käytön lisäämisen edellytyksistä käytettiin perustana tilastoja nykyisestä pellon, väkilannoitteiden ja karjanlannan käytöstä, pellon jakautumisesta eri tuotantomuotoihin ja kasvilajeihin sekä eloperäisten peltojen osuudesta.

---

## 3 Annettu tyyppi eri lähteistä

---

Hyötylantahankkeen (Luostarinen ym. 2011) tarkoituksiin koottujen tilastojen perusteella Suomessa annettiin väkilannoitteissa tyypeä vuosina 2001 – 2009 keskimäärin noin 154 000 tonnia vuodessa. Karjanlannan sisältämä typpimäärä oli noin 100 000 tonnia vuodessa. Muista lähteistä tyypeä saatiin yhteensä 20 000 tonnia, josta biologisen typensidonnan osuus oli 9 500 tonnia. Kaikesta viljelykasvien saamasta tyypestä biologisen typensidonnan osuus oli siis vain noin 4 %. Karjanlannan ja muiden eloperäisten lähteiden tyyppi ei kuitenkaan ole sellaisenaan ja kokonaan viljelykasvien käytettävissä. Samaan väkilannoitetyypin suuruusluokkaan päästään myös Tiken (2011b) viime vuosien tilastoista.

Tilastoihin ja arvioihin perustuen Sipiläinen ym. (2012) saivat koko viljelyalalle lasketun biologisen typensidonnan nykyiseksi määräksi noin  $5,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ . Väkilannoitetyyppiä Suomen maataloudessa käytetään noin 74 kg vuodessa viljeltyä hehtaaria kohti, mikä ei sisällä luonnonhoitopeltoja ym. ns. kesantoalaa (Tike 2011b). Väkilannoitteen ja biologisesti sidotun typen lisäksi karjanlannasta tulee tyyppiä noin  $40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$  (Sipiläinen ym. 2012), tosin tämä on bruttomäärä, josta viljelykasveihin päätyy selvästi alle puolet. Myös näiden lukujen pohjalta biologisen typensidonnan osuus viljelyssä käytetystä kokonaistyyppimäärästä on alle 5 %.

Maatalouslaskennan (Tike 2012a) mukaan karjan lietelantaa levitettiin yhteensä 366 000 peltohehtaarille, kiinteää lantaa 168 000 hehtaarille ja virtsaa tai lantavettä 58 000 hehtaarille. Nautakarjan lannan osuus pinta-alasta, jolle lantaa levitettiin, oli noin 2/3. Yhteensä lantaa levitettiin siis 590 000 peltohehtaarille, tosin jonkin verran voi olla päällekkäisyyttä eri lantalajien välillä. Kun lantaa saaneen alan osuudet käytössä olevasta maatalousmaasta lasketaan kaikkien lantalajien osalta yhteen, levitettiin lypsykarjatiloiilla lantaa noin puolelle peltoalasta, muilla nautakarjatiloiilla 40:lle, sikatiloilla noin 60:lle ja siipikarjatiloiilla noin 45 prosentille peltoalasta. Viljanviljelytilojen pelloista kaikkiaan 8 prosentille levitettiin karjanlantaa.

Lantojen tyyppipitoisuudet vaihtelevat suuresti. Palvan (2009) kokoaminen Viljavuuspalvelun tilastojen 2000–2004 mukaan eri eläinten erityyppisten lantojen liukoisen typen pitoisuus vaihteli välillä 1,2 – 2,5 % ja kokonaistypen pitoisuus välillä 2,1–4,8 %. Liukoisen typen osuus kokonaistyypestä oli pienimmillään noin kolmasosa (lampaan kuivikelanta) ja suurimmillaan 2/3 (sian lietelanta). Yleisin lantalaji, naudon lietelanta sisälsi 3 % kokonaistyyppiä ja 1,8 % liukoista tyyppiä. Luostarinen ym. (2011) arvioivat pitoisuuksien kasvaneen 1,15 -kertaisiksi tuon jälkeen, koska vedenkulutus on vähentynyt ja sadevesiä johdetaan pois varastoaltaista.

Kasvien käyttöön tuleva typen määrä riippuu lannan ominaisuuksien lisäksi oloista levityksen aikana, levityksen ja kasvin kasvun välillä sekä kasvin kasvun aikana. Levitystekniikassa on parantamisen varaa. Lietelannasta sijoitetaan suoraan maahan kolmannes, puolet levitetään pellon pintaan sekä mullataan pääosin lähimmän 12 tunnin aikana ja viidennes levitetään pinnalle ilman multausta (Tike 2012a). Kiinteästä lannasta neljäsosa mullataan neljän tunnin kuluessa ja vajaa puolet 4–12 tunnin kuluessa. Viidesosan multaamiseen menee yli 12 tuntia ja kymmenesosaa ei mullata lainkaan. Kaksi kolmasosaa virtsasta tai lantavedestä jätetään kokonaan multaamatta.

Annetun ja viljelykasvien käyttämän typen määrä eivät ole sama asia, koska typen hyödynnettävyys vaihtelee. Väkilannoitetyypin hyödyntäminen vaihtelee lähinnä kasvuolojen perusteella mutta eloperäisten typen lähteiden käyttökelpoisuudessa on jo materiaalista johtuvia eroja. Lantojen ominaisuuksien (Luostarinen ym. 2011) perusteella voidaan hyvin karkeasti päätellä, että em. karjanlannan sadan tonnin typpimäärästä on liukoisessa eli kasveille käyttökelpoisessa muodossa 60 000 tonnia. Kun siitä vielä vähennetään ammoniakkin haihtuminen, jonka on arvioitu olevan 20 % kokonaistyypestä (Hänninen ym. 2008), on kasveille käytettävissä maksimissaan 40 000 tonnia eli alle puolet lannan kokonaistyypestä. Toisaalta ainakin kuivikelantojen hidasliukoista tyyppiä vapautuu ajan mittaan viljelykasvien käyttöön.

Oletamme karkeasti, että levitetyn lannan liukoisen typen pitoisuus on keskimäärin 2,2 % ja kokonaistypen pitoisuus noin 4,0 %. Oletettu liukoisen typen pitoisuus on hieman korkeampi kuin yleisimmän lanta-

lajin, naudon lannan liukoisen typen pitoisuus. Kokonaistyyppi on arvioitu sen perusteella, että lietelannan kokonaistypestä noin 60 % ja kiinteän lannan kokonaistypestä noin kolmasosa on liukoista. Karjanlannan vuosittaisesta kokonaistypen määrästä (100 000 tn) voidaan laskea liukoisen typen määrä samassa suhteessa kuin on kokonaistypen ja liukoisen typen pitoisuuksien suhde, siis 2,2/4,0.

Mattilan (2006) mukaan sian lietelannan liukoisesta tyypestä päätyi kevätkuivon käyttöön 4–20 %. Naudon lietelannan typen hyväksikäyttöaste säilörehunurmessa oli 16–50 % levitystavasta ja oloista riippuen. Paras tulos saatiin sijoitettaessa nurmeen, ja silloinkin hyväksikäyttöaste vaihteli välillä 28–50 %. Asettamme silti oletukseksi, että 40 % lannan liukoisesta tyypestä tulee lopulta viljelykasvin käyttöön. Näin laskien kasvit saavat lannasta vuosittain noin  $2,2/4,0 \times 0,40 \times 100\,000 \text{ t N} = 22\,000 \text{ t N}$ . Kun käytössä oleva maatalousmaa on noin 2,3 miljoonaa hehtaaria (sisältää myös kesannot, luonnonhoitopellot yms.), tulee karjanlannasta jokaista peltohehtaaria kohti laskennallisesti kasvien käyttöön lähes  $10 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Tämä on linjassa Sipiläinen ym. (2012) laskemaan lannasta saatuun kokonaistypen määrään  $40 \text{ kg ha}^{-1}$ , koska kasvin käyttöön tulee laskennallisesti siis noin neljäsosa kokonaistypestä. Kun lantaa levitetään vain neljäsosalle (590 000 ha) pinta-alasta, saavat kasvit levitettyllä alalla laskennallisesti tyypestään noin  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  karjanlannasta. Tämä on suuntaa-antava yleisarvo, ja vaihtelu on suurta.

ProAgrian lohkotietopankin (ProAgria 2011) mukaan yksinkertaistettu laskelmamme yliarvioi karjanlannasta saadun typen määrän rehunurmien viljelyssä, vaikka karjanlannan osuus nurmen saamien ravinteiden osuudessa on hiljalleen kasvanut. Vuonna 2011 lannan osuus nurmen saamasta tyypestä oli 20 %, kun se vielä vuonna 2005 oli 10 %. Osittain muutos liittyy siihen, että lannan ravinteista arvioidaan entistä suuremman osuuden tulevan kasvien käyttöön, sillä samaan aikaan väkilannoitetyypen käyttö laski vain vähän. Samalla aikavälillä karjanlannan osuus fosforin saannista on yli kaksinkertaistunut ja kaliumin lähes kaksinkertaistunut. Vuonna 2011 karjanlannan osuus säilörehunurmien saamasta fosforista oli 60 % ja kaliumista 70 %. Lohkotietopankin tieto merkitsee, että rehunurmet saavat lannassa tyypeä noin  $30 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Laskelmamme ja muiden lähteiden mukaan typen kokonaistarpeesta saadaan karjanlannan kautta vain melko pieni osa, mutta muiden pääravinteiden osuus voi olla merkittävä. Sen perusteella väkilannoitteen korvaaminen palkokasvien sitomalla tyypellä on keskimäärin mahdollista myös pelloilla, joille levitetään karjanlantaa.

### 3.1 Väkilannoitetyypen nykyinen käyttömäärä

Tiken tilahaastattelun (Tike 2009) mukaan alle viiden vuoden ikäisissä nurmissa käytettiin keskimäärin  $107 \text{ kg ha}^{-1}$  väkilannoitetyyppiä ja noin  $18 \text{ kg/ha}$  tuli orgaanisista lannoitteista. Tieto on suuntaa-antava, sillä kyse on otoksesta maatiloja. Lohkotietopankin (ProAgria 2011) mukaan väkilannoitetyypen käyttö säilörehunurmissa on vain hieman runsaampaa. Jos kaikkia nurmia lannoitettaisiin suositusten mukaisesti tai ympäristötuen sallimilla määrillä, olisi väkilannoitetyypen käyttö huomattavasti runsaampaa. Ero lannoitusmahdollisuuksien ja toteutuneen välillä johtunee nurmien melko runsaasta määrästä tarpeeseen nähden, jolloin niitä voidaan viljellä laajaperäisemmin. Kolmen korjuukerran käyttö on harvinaista. Vaikka laitumien typpilannoitus suosituksia on pienennetty viime vuosikymmenellä kahteen otteeseen (Saarijärvi 2008), on toteutunut keskimääräinen typpilannoitus niilläkin oletettavasti suosituksia pienempää. Jotta tässä raportissa ei yliarvioitaisi väkilannoitetyypen korvaamismahdollisuuden suuruutta, otetaan laskelmissa käyttöön em. tilastotietoihin perustuva, ympäristötuen sallimiin määriin verrattuna melko alhainen väkilannoitetyypen käyttömäärä rehunurmissa (taulukko 1).

Ympäristötuen ehtojen mukaan ohralle ja kauralle saa antaa perussatotasolla tyypeä seuraavasti: Savi- ja hiesumaat  $100$ , karkeat kivennäismaat  $90$  ja eloperäiset maat  $60 \text{ kg ha}^{-1}$ . Pohjois-Suomessa vastaavat luvut ovat  $90$ ,  $80$  ja  $60$ . Kevätvehnälle saa antaa  $10$ – $20 \text{ kg ha}^{-1}$  enemmän. Pohjois-Suomen osuus viljellystä peltoalasta on hyvin pieni, alle 2 %, eikä sen alennetulla lannoitustasolla ole laskelmien kannalta merkitystä. Todellisuudessa keskimääräinen typen käyttö (taulukko 1) jää selvästi alle ympäristötuen sallimien rajojen. Lisäksi oletamme, että jo muutenkin varovaiset viljan typpilannoitusmäärät sisältävät lannan tyyppiä  $10 \text{ kg ha}^{-1}$ . Kyseessä on laskennallinen keskimääräinen vähennys, vaikka lannan tyyppi todellisuudessa painottuu kotieläintilojen peltoihin. Näillä taustaoletuksilla väkilannoitetyypen kokonaiskulutus koko peltoalalla on samaa luokkaa kuin eri tilastoista saatu runsaan  $150$  tonnin kokonaismäärä.

Taulukko 1. Eri kasvilajien tai kasviryhmien kokonaispinta-alat ja väkilannoitetyypen käyttö. Keskimääräinen väkilannoitetyypen käyttö on määritetty käytettävissä olevien haastattelutietojen (Tike 2009, ProAgria 2011) ja ympäristötuen lannoitusrajojen perusteella niin, että määrä vastaa koko maan osalta tiedossa olevaa keskimääräistä lannoitetyypen käyttöä. Pinta-alojen jakautuminen eloperäisten ja kivennäismaiden välillä perustuu vielä tarkentumassa olevaan tietoon (Myllys ym. 2012).

|  | Väkilannoitetyypen käyttömäärä nykyviljelyssä |        |         |                     |         |         | Suomi<br>tn   |
|--|---|--------|---------|---------------------|---------|---------|---------------|
|  | Eloperäiset maat                              |        |         | Kivennäismaat       |         |         |               |
|  | kg ha <sup>-1</sup>                           | ha     | yht. tn | kg ha <sup>-1</sup> | ha      | yht. tn |               |
| Viljakasvit <sup>1)</sup>                              | 50  | 85 000 | 4250    | 80                  | 965 000 | 77200   | 81450         |
| Rehunurmet <sup>2)</sup>                               | 90  | 65 000 | 5850    | 110                 | 445 000 | 49000   | 54850         |
| Öljykasvit <sup>1)</sup>                               | 60  | 10 000 | 600     | 90                  | 115 000 | 10350   | 10950         |
| Laidun <sup>3)</sup>                                   | 70  | 8 000  | 560     | 105                 | 57 000  | 6000    | 6560          |
| Peruna <sup>4)</sup>                                   | 65  | 6 000  | 390     | 80                  | 18 000  | 1440    | 1830          |
| Kumina <sup>5)</sup>                                   | 50  | 2 000  | 100     | 60                  | 18 000  | 1080    | 1180          |
| Puutarhakasvit <sup>6)</sup>                           | 30  | 4 000  | 120     | 50                  | 12 000  | 600     | 720           |
| Palkoviljat <sup>7)</sup>                              | 0   | 0      | 0       | 40                  | 12 000  | 480     | 480           |
| Ruokohelpi <sup>8)</sup>                               | 75  | 10 000 | 750     | 85                  | 5 000   | 425     | 1175          |
| Sokerijuurikas <sup>7)</sup>                           | 100   | 1 000  | 100     | 120                 | 13 000  | 1560    | 1660          |
| Siemenheinä <sup>9)</sup>                              | 50  | 1 000  | 50      | 100                 | 8 000   | 800     | 850           |
| Kaikki yhteensä  |   |        |         |                     |         |         | 161700        |
| Lannan N viljalle <sup>10)</sup>                       | 10  | 82 000 | 820     | 10                  | 953 000 | 9530    | 10350         |
| <b>Väkilannoitetyypen laskennallinen käyttö, Suomi</b> |   |        |         |                     |         |         | <b>151350</b> |

<sup>1)</sup> Lannoitusmäärä perustuu arvioon, jonka mukaan väkilannoitetyyppeä käytetään keskimäärin noin 10 kg/ha alle ympäristötuen salliman perustason.

<sup>2)</sup> Lannoitusmäärä perustuu Tiken tilahaastatteluun, jonka mukaan alle 5 vuoden nurmissa käytettiin keskimäärin 107 kg/ha väkilannoitetyyppeä. ProAgrian lohkotietopankin tiedot tukevat käsitystä.

<sup>3)</sup> Lannoitustaso on oletettu hieman pienemmäksi kuin säilörehunurmissa.

<sup>4)</sup> Käytetty tärkkelysperunan lannoitusmaksimia ympäristötuen vähennetyn lannoitustason mukaisesti.

<sup>5)</sup> Oletettu, että kuminaa lannoitetaan keskimäärin 60 N per vuosi, eloperäisellä maalla 50 N.

<sup>6)</sup> Käytetty arvioituja typpilannoitusmääriä.

<sup>7)</sup> Käytetty kyseisen kasvin lannoitusmaksimia ympäristötuen vähennetyn lannoitustason mukaisesti.

<sup>8)</sup> Käytetty "muut nurmikasvustot" -ryhmän lannoitusmääriä ympäristötuen vähennetyn lannoitustason mukaisesti.

<sup>9)</sup> Käytetty Etelä-Suomen lannoitusmaksimia ympäristötuen vähennetyn lannoitustason mukaisesti.

<sup>10)</sup> Laskennallinen keskimääräinen vähennys, joka todellisuudessa painottuu karjatilojen peltoihin.

Muiden orgaanisten lannoitteiden merkitys typen lähteenä voi kasvaa nykyisestä. Ne eivät ole kuitenkaan samaan tapaan biologisella typpilannoituksella korvaamaton vaihtoehto kuin karjanlanta, joten raportin arvioiden perusteissa niiden käyttömäärän oletetaan pysyvän nykyisellä tasolla. Lisäksi oletetaan, että lisätyyppeä ei tuoda karjanlannan tai muun orgaanisen lannoitteen muodossa pellolle niin paljon, että biologinen typensidonta ja sen edellytykset korvata väkilannoitetyyppeä heikkenevät. Sen sijaan viljelykiertojen rajoitteet pyritään ottamaan huomioon.

Koska luonnonmukaisessa viljelyssä ei käytetä väkilannoitetyyppeä, eivät sen 180 000 ha eli 8 % peltoalasta sisälly säästölaskelmiin. Luonnonmukaisen viljelyn pinta-alan kasvamisen merkitystä ei tässä erikseen arvioida, koska luomun yhtenä tärkeänä tekijänä on joka tapauksessa biologisen typensidonnan hyödyntäminen.

## 4 Synteettisen typpikilon vaatima energiatarve

Typen teollinen tuottaminen lannoitteisiin vie paljon enemmän energiaa kuin muiden ravinteiden. Esimerkiksi fosforilannoitteiden energiakuormitus tiettyä tuotetta kohden on usein murto-osa typpilannoitteiden valmistuksen energiankulutuksesta (Kolehmainen ym. 2006). Ammoniakki ( $\text{NH}_3$ ) on lähes kaikkien synteettisten typpilannoitteiden raaka-aine. Ammoniakintuotannon raaka-aineet ovat useimmiten yksinkertaiset: maakaasu, vesihöyry ja ilma. Kuuden vuoden takaisen tiedon mukaan ammoniakkia tuotetaan noin 80 maassa, mutta ei Suomessa (Seppälä ja Ojanen 2006).

Viimeisimpien tietojen mukaan ammoniakintuotanto on huomattavasti tehostunut. Nyrkkisääntö, jonka mukaan yhden typpikilon valmistukseen kuluu yhtä öljykiloa vastaava energiamäärä, ei pidä täsmälleen paikkaansa. Vielä muutama vuosi sitten typen valmistukseen käytettiin energiaa enemmän kuin nykyään, Mikkolan ja Ahokkaan (2009) mukaan  $49 \text{ MJ kg}^{-1}$ . Nemecek ja Kägi (2007) totesivat, että eri lannoitteiden sisältämän typen valmistukseen kuluu energiaa seuraavasti: Monoammoniumfosfaatti ja diammoniumfosfaatti  $45,1 \text{ MJ kg}^{-1}$ , ammoniumnitraattifosfaatti  $45,4 \text{ MJ kg}^{-1}$ , kaliumnitraatti  $42,0 \text{ MJ kg}^{-1}$ .

Yaran mukaan maakaasu on tehokkain energianlähde ammoniakintuotantoon, ja heidän tehtaansa kuuluvat maailman energiatehokkaimpien tehtaiden joukkoon (Yara 2011). Kun raaka-aineena on maakaasu, kuluu ammoniakintuotantoon Euroopassa keskimäärin  $35,2 \text{ GJ}$  ammoniakkitonnia kohti. Euroopan parhailla käytettävissä olevilla tekniikoilla energiankulutus on  $31,8 \text{ GJ}$  per ammoniakkitonni.

Suomessa käytettyjen lannoitteiden typpi on pääasiassa ammoniumnitraattia, joka valmistetaan ammoniakista ja typpihaposta ( $\text{NH}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3$ ). Typpihappoa puolestaan valmistetaan polttamalla ammoniakkia, joten ammoniumnitraatin typpi on kokonaan lähtöisin ammoniakista. Kun ammoniakintuotantoon kuluu energiaa  $14 + 3 \times 1 = 17$ , kuluu sen sisältämää typpikiloa kohti energiaa tehokkaimmillaan  $17/14 \times 31,8 = 38,6 \text{ MJ kg}^{-1}$ .

Valmistettaessa ammoniakista ja typpihaposta ammoniumnitraattia, kuluu energiaa Yaran (2010) mukaan ensin liuosvaiheessa  $0,15 \text{ GJ}$  ja sitten rakeistuksessa tyypillisesti  $0,5 \text{ GJ}$  tuotettua ammoniumnitraattitonnia kohti. Ammoniumnitraatissa on  $35 \%$  typpiä. Näin ollen typpikiloa kohti kuluu yhteensä energiaa noin  $0,65 \times 0,35 = 0,23 \text{ MJ}$ . Väkilannoitetyypen valmistuksessa kuluu energiaksi Euroopan tehokkaimmissa tehtaissa saadaan näin  $38,6 + 0,2 = 38,8 \text{ MJ kg}^{-1} \text{ N}$ .

Lannoitetyypen kuljetus aiheuttaa Euroopassa keskimäärin samansuuruisen hiilidioksidipäästön kuin ammoniumnitraatin rakeistukseen liittyvä energiankäyttö (Yara 2011). Vastaavasti arvioimme, että kuljetusten aiheuttama energiankulutus on samaa luokkaa kuin rakeistuksen energiankulutus, eli noin  $0,2 \text{ MJ kg}^{-1} \text{ N}$ . Yhteensä väkilannoitetyypen valmistukseen ja kuljetukseen voidaan siis arvioida kuluvan fossiilista energiaa noin  $39 \text{ MJ kg}^{-1}$ .

Edellä olevien tietojen perusteella synteettinen typpikilo maatilalle päästyään on tehokkainta lannoitetuotantoa käyttäen kuluttanut energiaa noin  $39 \text{ MJ}$ . Vaikka keskimäärin Euroopassa kuluu  $43 \text{ MJ kg}^{-1} \text{ N}$ , on tehokkaimman tuotannon tieto oikea lähtökohta, jotta biologisen typensidonnan mahdollisuuksia energiansäästäjänä ei ylikorostettaisi. Maahan tuodaan myös lannoitteita, joiden valmistukseen on kulunut enemmän energiaa. Niiden osuus typpilannoitteiden kokonaismäärästä on kuitenkin varsin pieni, eikä niiden osuutta ole raportin tavoitteiden näkökulmasta tarpeen ottaa erikseen huomioon. Myös urean tuonti on hyvin vähäistä. Laskelmien ja arvioiden perusteena olkoon siis, että biologinen typensidonta säästää energiaa  $39 \text{ MJ}$  synteettistä typpikiloa kohti. Raportti ei ota kantaa siihen, voiko energiatehokkuus lannoitevalmistuksessa jatkossa edelleen parantua.

Yhden synteettisen typpikilon valmistukseen ja kuljetukseen kuluu noin  $39 \text{ MJ}$  fossiilista energiaa.



---

## 5 Ilmakehästä typpeä sitovat kasvustot

---

Biologista typensidontaa on mahdollista hyödyntää monin tavoin. Seuraavassa käydään läpi yleisimmät mahdollisuudet sitoa ilmakehästä typpeä viljelyn hyödyksi palkokasvien avulla.

### 5.1 Yksivuotiset viherlannoituskasvit

Yksivuotinen viherlannoituskasvusto perustetaan yhdeksi kesäksi sitomaan ilmakehän typpeä siirrettäväksi seuraavan viljelykasvin käyttöön. Yksivuotisten viherlannoituskasvien typpipitoisuus on korkea, ja niiden typpi vapautuu nopeasti. Siksi syyskylvöiset kasvit, etenkin ruis, ovat parhaita yksivuotisen viherlannoituksen hyödyntäjiä. Koska yksivuotiset viherlannoituskasvit ovat nopeakasvuisia, ne ehtivät tuottaa suuren typpisadon jo rukiin kylvöaikaan mennessä. Yksivuotiset viherlannoituskasvit voivat olla myös seuraavana keväänä kylvettävien kasvien typen lähteenä. Silloin ne on muokattava maahan myöhään syksyllä, sillä etenkin karkeilla maalajeilla typen huuhtoutumisen riski on suuri. Maahan muokkaaminen voidaan tehdä myös seuraavana keväänä, jos maalaji sen sallii. Yksivuotisia viherlannoituskasveja ovat mm. virnat ja eräät apilat. Kokeissa eniten typpeä yhden kesän aikana ovat tuottaneet rehu- ja ruisvirna.

### 5.2 Monivuotiset viherlannoitusnurmet

Apilanurmet perustetaan usein suojaviljaan, jolloin saadaan myytävää satoa ja silti kohtalainen kasvusto jo syksyksi. Jos palkokasvilaji kasvaa voimakkaasti, se perustetaan ilman suojaviljaa. Myös apilat voidaan perustaa ilman suojaviljaa, jolloin niiden tuottama biomassa on ensimmäisenä syksynä moninkertainen aluskasveina perustettuihin apilakasvustoihin verrattuna. Seokset ovat suositeltavia, ja ne perustetaan ilman suojaviljaa, jos niissä on voimakkaasti kilpailevia lajeja.

Jos viherlannoitusnurmen pääasiallinen tavoite on tuottaa typpeä muille kasveille, kannattaa se lopettaa heti sinä vuonna, jolloin kasvusto on päässyt lähelle maksimisatoaan. Apiloiden ja mailasten kohdalla tämä yleensä tarkoittaa seuraavaa kasvukautta perustamisen jälkeen. Vuohenherne vaatii usein kolmannenkin kasvukauden maksimisatoonsa päästäkseen, mutta silti sato voi olla suuri jo toisena syksynä. Kasvuston muut tavoitteet vaikuttavat myös kasvatuksen keston. Jos tavoitteena on parantaa maan rakennetta juuriston avulla, on useammista kasvuvuosista yleensä apua.

Viherlannoituskasvustojen typpisato voidaan laskea mittaamalla kasvustonäytteen kuiva-ainesato ja määrittämällä sen typpipitoisuus. Yleensä, ainakin vielä nykyään, typpisatoa arvioidaan korkeintaan suuntaantavasti sen perusteella, mikä on kasvuston rehevyys ja palkokasvien osuus silloin, kun kasvusto muokataan maahan tai lopetetaan muulla tavalla. Päätös seuraavalle kasville annettavasta väkilannoitetypen määrästä perustuu yleisiin ohjeisiin tai viljelijän kokemukseen ja käsitykseen erilaisten kasvustojen jälki-vaikutuksesta. Typpisadon ja vapautuvan typen hyödynnettävyyden arvioimiseen tarvittaisiin käytännön viljelyyn soveltuva menetelmä.

### 5.3 Aluskasvit

Aluskasvit kasvavat pääkasvin, useimmiten kevätiljan, alla. Viljely tehdään pääkasvin ehdoilla, eikä aluskasvin ole tarkoitus kasvaa kuin pääkasvin korjuun jälkeiseen loppusyksyyn tai sitä seuraavaan kevääseen. Palkokasveista aluskasveiksi sopivat lähinnä valko- ja puna-apila. Myös yksivuotinen nurmimailanen on menestynyt kokeissa hyvin aluskasvina (Känkänen 2010). Myönteisiä kokemuksia on saatu muutamasta muustakin apilakasvista (Kauppila ja Kiltilä 1992, Kauppila ja Lindqvist 1992), joista persianapilaa käytetään viljelyksillä jonkin verran.

Aluskasvi kasvaa hitaasti pääkasvin alla, mutta pääkasvin korjuun jälkeen kasvu on nopeaa. Aluskasvi muokataan maahan tai lopetetaan muilla keinoin loppusyksyllä tai seuraavana keväänä. Typpisato arvioidaan ennen lopetusta tai loppusyksyllä. Loppusyksyn arviosta saadaan keväistä arviota parempi tuntuma

tulevaan tyypivaikutukseen myös silloin, kun aluskasvin kasvu lopetetaan vasta keväällä. Typpisato mitataan tai arvioidaan samaan tapaan kuin viherlannoitusnurmista.

Aluskasvimenetelmää on kokeiltu myös niin, että viljakasvusto on perustettu jo olemassa olevan monivuotisen palkokasvin kasvustoon. Bergkvistin (2003) kokeissa aluskasviksi perustettu valkoapila jätettiin kasvamaan ja siihen kylvettiin syysvehnää kahtena seuraavana syksynä. Valkoapila pienensi vehnän satoa ensimmäisenä, mutta lisäsi toisena vuonna. Jyvien tyypipitoisuus oli suurempi kuin pelkkää vehnää viljeltäessä. Bergkvist päätteli, että suurten jyväsatojen saamiseksi apilan aiheuttama kilpailu on pidettävä pieninä vehnän pensomisen aikaan esimerkiksi herbisidin avulla. Menetelmän toteuttaminen sisältää vielä paljon epävarmuustekijöitä. Siksi tässä raportissa aluskasvit oletetaan kylvettävän keväisin ja kasvavan korkeintaan seuraavaan kevääseen.

## 5.4 Monivuotiset rehunurmet

Monivuotiset rehunurmet, mukaan lukien laitumet, ovat nykyään hyvin pitkälle heinäkasvilajeihin perustuvia. Lähes poikkeuksetta nurmista voitaisiin kasvattaa myös palkokasveja. Nurmet perustetaan pääsääntöisesti suojaviljaan, jolloin nurmen kasvu on voimakasta heti ensimmäisenä rehuvuonna. Suojavilja viljellään useimmiten seuraavan nurmen ehdoilla, eli sen kylvötiheyttä ja mahdollisesti lannoitustakin vähennetään tavallisesta. Tästä syystä, samoin kuin alla kasvavan nurmen aiheuttamasta kilpailusta johtuen saadaan yleensä yksin kasvavaa viljaa pienempi sato. Apiloiden tai apilan ja monivuotisen heinälajin muodostaman seoksen aiheuttama kilpailu on kuitenkin melko vähäinen, jos suojaviljan typpilannoitus on lähes normaalin tasoinen. Tulevan nurmen kasvilajit eivät vaikuta kasvuston perustamisvuoden typenkäyttöön.

Rehunurmi voidaan perustaa myös ilman suojaviljaa, jolloin nopeakasvuisten yksivuotisen lajien avulla saadaan rehusatoa jo perustamisvuonna. Jos nurmessa on mukana palkokasveja, voi synteettistä typpeä säästyä jo perustamisvuonna, sitä enemmän, mitä palkokasvipitoisempaa kasvusto on ja mitä nopeampikasvuisempia palkokasvilajeja käytetään.

Palkokasveja sisältävistä nurmista saadaan jokaisen rehunkorjuun yhteydessä talteen biologisen typensidonnan avulla kertynyttä typpeä. Typpisato on laskettavissa korjatun biomassan määrän ja laadun perusteella. Biomassan tyypipitoisuus riippuu kasvilajien osuuksista seoksissa ja kasvien iästä. Sadon määrä vaihtelee suuresti mm. korjuukerran, kasvulohkon ja kesän sääolojen vuoksi. Typpisato voidaan laskea mittaamalla korjatun biomassan tai kasvustonäytteen kuiva-ainesato ja määrittämällä sen tyypipitoisuus. Typpilannoitusvaikutusta joudutaan pääsääntöisesti arvioimaan sen perusteella, millainen on ollut palkokasvien kasvuvoima ja osuus kasvustossa viimeisenä nurmivuonna.

Monivuotisen nurmen palkokasvilajeja ovat apilat, mailaset ja vuohenherne. Puna-apila on yleisin ja viljelyvarmin laji, tosin säilyvyys heikkenee nurmivuosien kuluessa (Stoddard ym. 2009). Sinimailanen kasvattaa juuristoaan laajemmaksi vuosi vuodelta, jolloin myös sen typensidonta lisääntyy ja kasvu runsastuu (Käytännön Maamies 2012a). Sinimailanen on satoisa vettä hyvin läpäisevillä, kasvukunnoltaan hyvillä pelloilla. Alsikeapila sopii korvaamaan puna-apilaa turvemaille ja muille kosteille kasvupaikoille. Sirppimailanen taas viihtyy sinimailasta vaatimattomammissa oloissa. Erityisesti kevyille maille sopivan vuohenherneen sato suurenee vuosien mittaan. Valkoapila on varmin valinta laitumiin (Kuusela 2004). Se ei viihdy kovin raskailla mailla, ja on arka kuivuudelle. Sirppimailanen ja vuohenherne menestyvät poutivilla lohkoilla valkoapilaa paremmin.

Nurmipalkokasvilajien vaatimukset kasvupaikan suhteen ja sopeutuminen erilaisiin oloihin vaihtelevat paljon. Niinpä voidaan olettaa, että niitä voidaan viljellä lähes kaikkialla, kunhan laji valitaan oikein.

Kun Ruotsissa tutkittiin puna-apilan, timotein ja nurminadan seosnurmia, väheni apilan osuus typpilannoitusta lisättäessä (Torssell ym. 2007). Apilan osuus seosnurmen massasta oli toisena kesänä pienempi kuin ensimmäisenä. Nämä Suomestakin tutut ilmiöt on otettava huomioon, kun maksimoidaan sekä biologisesta typensidonnasta saatava hyöty että nurmen tuotto. Mitä suurempi osuus palkokasveja on, sitä vähemmän lannoitusta tarvitaan. Nykänen (2008) arvioi, että kun palkokasvien osuus on noin 40 %, ei luomunurmi tarvitse muuta typpilannoitusta lainkaan. Riesingerin (2010) aineistossa 34 suomalaiselta luomutilalta oli ensimmäisen ja toisen vuoden puna-apilapitoisten nurmien biologinen typensidonta kes-

kimäärin lähes 250 kg ha<sup>-1</sup> vuodessa. Kun apilapitoisuus nurmen iän myötä pieneni, väheni myös nurmen sadontuotto.

Saarijärven (2008) tutkimusten mukaan valkoapilapitoinen, väkilannoittamaton laidun on hyvä vaihtoehto lannoitetulle heinäkasvilajeista koostuvalle laitumelle. Valkoapilan ilmakehästä sitoman typen määrä vastasi väkilannoitteena palkokasvittomalle laitumelle levitettyä 220 kg ha<sup>-1</sup> typpimäärää.

Palkokasvinurmien nykyisestä osuudesta ei ole olemassa tilastoja. Siementen myyntitilastoista arvioimienkin on hyvin epävarmaa jo sen vuoksi, että palkokasveja kylvetään myös erilaisiin viherkesantoihin ja luonnonhoitopeltoihin. Käytetyt siemenmäärät vaihtelevat ja omalla tilalla tuotettua siementäkin toisinaan käytetään. Yleiskäsitys on, että rehunurmet ovat nykyisin lähes yksinomaan heinänurmia, vaikka kiinnostus palkokasvinurmia kohtaan on kasvussa. Raportin laskelmien oletuksena käytetään, että 10 % nurmista on jo nyt palkokasvinurmia.

## 5.5 Palkoviljat

Hernettä viljellään Suomessa pääasiassa ruokaherneeksi ja siemeneksi. Vuonna 2011 hernettä viljeltiin 5000 hehtaarin alalla, josta rehuherneen osuus oli noin neljännes. Laine ja Vuorinen (2010) arvioivat, että rehuntuotannon kannalta riittävä viljelyala olisi 30 000 ha. Perinteisen ruokaherneen tuottamiseksi tarvitaan noin 3000 hehtaarin viljelyala. Uusien ravintotottumusten ja käyttötapojen myötä herneen viljelyminen myös ihmisravinnoksi voi tulevaisuudessa lisääntyä. Kansainvälisesti palkoviljojen mahdollisuuksia pidetään suurina. Jensenin ym. (2010) mukaan härkäpavun rooli rehun ja ruuan tuottajana voi olla tärkeä, kun fossiilisten energiavarojen pieneneminen ja hintojen nousu vähentää väkilannoitteiden käytön edellytyksiä.

Härkäpavun viljely lisääntyi voimakkaasti muutamassa vuodessa, ja ala v. 2011 oli lähes 10 000 ha. Härkäpavu täyttää samaa rehua herneen kanssa, vaikka sen valkuaispitoisuus onkin hernettä korkeampi. Myös lupiinit on todettu lupaaviksi vaihtoehdoiksi tulevaisuuden palkoviljoina Suomessa (Stoddard 2012).

Suomessa on tapana antaa palkoviljoille 20–40 typpikilon starttilannoitus, mutta sen tarpeellisuuden tarkempi tutkiminen olisi paikallaan. Muualla on kiistaa siitä, tarvitaanko starttityppeä kasvun alkuvaiheiden typenpuutteen eliminoimiseen. Jensenin ym. (2010) mukaan väkilannoitetyypellä saadaan harvoin vastetta, jos kyntökerroksessa on vähintään 20–30 kg ha<sup>-1</sup> kasveille käyttökelpoista typpeä. Tämän perusteella meillä käytetty starttityypen määrä olisi joka tapauksessa turhan suuri. Suomessakin starttityypen antaminen kyseenalaistetaan entistä vahvemmin (Stoddard 2011). Kokonaisvaltainen biologisen typensidonnan hyödyntäminen voi johtaa siihen, että pelloissa on nykyistä enemmän kasvien käytettävissä olevaa typpeä, myös palkoviljojen kylvön ollessa vuorossa. Kun typensidontaa hyödynnetään maksimaalisesti, voi palkovilja saada mahdollisesti tarvitsemansa starttityypen edeltävän apila-aluskasvin vapauttamasta typestä. Näistä syistä raportin laskelmissa oletetaan, että palkoviljat eivät tarvitse väkilannoitetyppeä.

## 5.6 Energiakäyttö

Maanpäällistä palkokasvimassaa on mahdollista korjata myös energian tuottamiseksi. Kun kasvustoa viedään mm. kaasutettavaksi, voivat peltoon jäävä muu typpipitoinen aines sekä kaasutusjätteenä syntyvän mädätejäännöksen kuljettaminen takaisin pelloille korvata väkilannoitetyppeä (Nykänen ym. 2012). Kasvimassojen energiakäytön kehittäminen on käynnissä, joten palkokasvien osalta kaasutukseen liittyvät typpi- ja energiavaikutukset selvitetään muissa hankkeissa. Nyt luettavana olevan tarkastelun osalta energiakäyttö kilpailee lähinnä yksi- ja monivuotisten viherlannoituskasvustojen kanssa, eikä näiden vaihtoehtojen paremmuutta synteettisen typen korvaajana tai energian säästäjinä verrata. Tässä raportissa keskitytään perinteisiin palkokasvien käyttömahdollisuuksiin maatalojen viljelyssä. Luonnonhoitopeltojen ja viljelemättä hoidettujen peltojen oletetaan tulevan nykyistä tehokkaammin mukaan palkokasveja hyödyntäviin viljelykiertoihin.

## TYPENSIDONTAAN MAHDOLLISTAVAT

### Tuotantokasvit

Rehunurmet

Palkoviljat

### Erillinen viherlannoitus

Yksivuotinen viherkesanto

Monivuotinen viherlannoitusnurmi

### Yhdistelmät

Apilat aluskasveina

### Muut

Energiakasvustot



---

## 6 Palkokasvien typpilannoitustehon määrittely

---

Kun palkokasvista vapautuva typpi mahdollistaa tietyn vähennyksen seuraavalle kasville annettavassa väkilannoitetyypen määrässä, on kyse typpilannoitetta korvaavasta arvosta (N-fertilization replacement value, Garand ym. 2001). Kyseistä arvoa kuvaamaan otamme käyttöön termin typpilannoitusteho. Palkokasvin typpilannoitusteho ei tarkoita samaa kuin seuraavan kasvin käyttämä palkokasvista vapautunut typen määrä silloin, kun muita typenlähteitä maasta vapautuvan typen lisäksi ei ole, vaan on yleensä kyseistä määrää pienempi.

Typpilannoitusteho kuvaa, paljonko väkilannoitteen määrää voidaan vähentää palkokasvin jälkeen ilman, että sadon määrä pienenee. Esimerkiksi lannoittamaton vilja palkokasvin jälkeen voi tuottaa yhtä suuren sadon kuin viljan jälkeen  $50 \text{ kg N ha}^{-1}$  lannoitettu vilja, mutta jotta päästään yhtä suureen satoon kuin optimaalisesti  $100 \text{ kg N ha}^{-1}$  lannoitettu vilja, saattaa väkilannoitetyypen vähennysmahdollisuus olla vain  $20 \text{ kg ha}^{-1}$ . Typpilannoitusteho onkin siis tässä teoreettisessa tapauksessa  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  pienempi kuin palkokasvin maksimaalinen typpijälkivaikutus.

Taloudellisesti järkevää voi olla vähentää lannoitusta typpilannoitustehoa enemmän. Ympäristösyötkin puoltavat, että seuraavasta kasvista ei oteta kaikkea irti maksimisatoon tähtäävällä väkilannoituksella. Toisaalta ympäristösyötkin puoltavat sitäkin, että kasvi ei jää pelkästään edeltävän kasvin vapauttaman typen varaan, vaan lisäksi annetaan väkilannoitetyyppeä. Jos typpisato on erittäin suuri ja typpi siirtyy hyvin seuraavalle kasville, voi typpilannoitusteho olla maksimaalinen eli viherlannoitus voi korvata kokonaan väkilannoitetyypen. Yleensä edeltävä palkokasvi korvaa vain osan väkilannoitetyypistä.

Typpilannoitustehoa voidaan arvioida etukäteen viherlannoituskasvuston typpisadon ja typpipitoisuuden, lopetusajankohdan ja -tavan, sääolojen, kasvupaikan ja seuraavan viljelykasvin perusteella. Ratkaiseva lähtökohta on viherlannoituskasvuston typpisato ja -pitoisuus, jotka ovat käytännön oloissa arvioita. Biomassan typpipitoisuus voi vaihdella suuresti, mikä vaikeuttaa typpilannoitustehon ennakoimista.

Luvussa 6.1.2 käsiteltävässä viherkesannon muokkauskokeessa puna-apilan maanpäällisen biomassan typpipitoisuus loppusyksyllä vaihteli koepaikkojen kesken välillä 2,0 ja 3,4 % ja juurten typpipitoisuus välillä 1,6 ja 2,7 %. Yksi syy eroihin on kasvuvaiheiden erilaisuus ja kasvuston rakenteen muuttuminen puna-apilan ikääntyessä, sillä lehtien ja nuorten kasvinosien typpipitoisuus on yleensä suurempi kuin varsien ja vanhojen kasvinosien (Wivstad 1997). Käytännössä vielä tärkeämpi tekijä on kasvuston puhtaus: mitä enemmän viherlannoituskasvin seassa kasvaa rikkakasveja, sitä alhaisempi on biomassan typpipitoisuus ja pienempi odotettavissa oleva typpihyöty. Rikkakasveja voidaan torjua kemiallisesti tai niittäen. Typpilannoitustehon arvioimista helpottaisi, jos viherlannoitusmassan määrä ja typpipitoisuus voitaisiin määrittää näytteiden avulla. Paljon auttaa kuitenkin jo arvio siitä, mikä on palkokasvin osuus kasvustossa.

Kasvuston liian varhainen maahan muokkaaminen vähentää typen siirtymistä seuraavalle kasville. Muokkaaminen myöhään syksyllä maan ja säiden ollessa jo kylmiä siirtää typen vapautumista lähemmäs sen käyttötarvetta seuraavana kesänä. Jos maa on talven roudassa, ei jo vapautunutkaan typpi pääse huuhtoutumaan. Kasvuajan piteneminen syksyllä lisää usein myös juuriston maata parantavaa vaikutusta, ja juurten synnyttämä typpihyötykin lisääntyy (Känkänen ym. 1999). Myös hiilivarojen kartuttamisen kannalta kasvuajan pitenemisestä on hyötyä.

Viherlannoituskasvuston pitämisessä muokkaamattomana talven yli on hyvät puolensa esimerkiksi eroosion estämisen kannalta, mutta typen hyödyntämisen suhteen siinä on ongelmansa. Pellon pinnalle jääneestä, etenkin yksivuotisten ja siten talven tullessa kuolleiden kasvien biomassasta voi pintavesien mukana, lumen sulaessa keväällä tai leutona talvena sateiden vuoksi, huuhtoutua ravinteita. Toisaalta talvehtivat monivuotiset kasvit voivat ehtiä kerätä keväällä typpeä maasta siinä määrin, että viljelykasvilla on alkukesällä typpeä käytettävänä vähemmän kuin olisi ilman viherlannoituskasvia. Muokattaessa kasvusto maahan keväällä voi typpi myös vapautua turhan myöhään viljelykasvin sadonmuodostuksen kannalta.

Palkokasvin typen vapautumiseen voidaan vaikuttaa monin teknisin keinoin. Kasvuston maahan muokkaaminen parantaa kasvimassan hajoamista ja typen vapautumista sekä siirtymistä seuraavalle kasville. Viherlannoituskasvuston kevyt maahan muokkaaminen ensin ja myöhemmin uusi muokkaus irrottaa typen nopeammin kuin pelkkä myöhäinen kyntö. Kasvuston lopettaminen glyfosaatilla siirtää tyypeä nopeasti kasvuston maanpäällisistä osista juuriin. Se voi jossain määrin parantaa viherlannoituksen hyödyntämistä suorakylvössä, joka muuten soveltuu heikosti viherlannoituksen hyödyntämiseen.

Fossiilisen energian säästäminen palkokasvien avulla suorakylvöä käytettäessä on haasteellisempaa kuin muokatuissa maissa (Kristensen ym. 2000, Känkänen 2012). Suurimpia typpisatoja tuottavat viherlannoituskasvit voivat edellyttää maahan muokkaamista, mitä on käytetty raportin laskelmien oletuksena myös suorakylvötilojen osalta. Aluskasvit ovat sovitettavissa suorakylvösystemiin, jos käytetään yksivuotisia kasveja tai torjutaan monivuotiset kasvit kemiallisesti. Viherlannoitus suorakylvön yhteydessä on vielä kokonaan tutkimaton sarka. Suorakylvömenetelmän yleisyyden vuoksi tutkimus olisi tarpeen.

## 6.1 Viherlannoitustutkimusten tulkinta

MTT:llä tehtiin 1988–1999 viljelyjärjestelmätutkimuksen yhteydessä useita lyhyt- ja pitkäaikaisia kokeita, joissa selvitettiin viherlannoituksen mahdollisuuksia osana viljatilojen viljelyä (Känkänen 2001). Luettavana olevan raportin arviot viherlannoituskasvien typpilannoitustehosta perustuvat suurelta osin paitsi jo julkaistuihin, myös nyt uudesta näkökulmasta laskettuihin viljelyjärjestelmätutkimuksen tuloksiin. Tässä luvussa käydään läpi viljelyjärjestelmätutkimuksen anti ja seuraavassa muu tietämys, ja niiden avulla määritetään lannoitteen- ja energiansäästölaskelmissa käytettävät typpilannoitustehot erilaisten palkokasvikasvustojen jälkeen.

### 6.1.1 Yksi- ja monivuotisten viherkesantojen kokeet

Jokioisissa tehdyissä kokeissa yksivuotisen ruisvirnan typpisato rukiin esikasvina oli  $170 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Laskennallisesti (Granstedt 1995, Leinonen 2011) ruisvirnan tyypestä vapautuu kasveille käyttökelpoista tyypeä  $170 \times (3,5-1,7)/3,5 = 87 \text{ kg ha}^{-1}$ . Ilman synteettistä typpilannoitusta kasvaneen rukiin jyväsato ruisvirnan jälkeen oli  $2700 \text{ kg ha}^{-1}$ . Oletetaan jyvien typpipitoisuuden olleen 1,7 %, jolloin jyväsato sisälsi tyypeä  $46 \text{ kg ha}^{-1}$ . Jos sekä rukiin olkien että juurten kuiva-ainesadot olivat samaa luokkaa jyväsadon kanssa ja niiden typpipitoisuus 0,5 %, sisälsivät ne tyypeä noin  $25 \text{ kg ha}^{-1}$ . Ruiskasvuston kokonaistyyppisisältö oli siten noin  $70 \text{ kg ha}^{-1}$ . Virnan tyyppi siirtyi teoreettisesti tarkastellen rukiin käyttöön korkealla hyötysuhteella. On kuitenkin muistettava, että maastakin vapautuu tyypeä kasvien käyttöön. Esimerkiksi Sippola ja Ylärinta (1985) mittasivat kevätkylvöjen aikaan metrin syvyydestä maakerroksesta aitosavella  $22-27 \text{ kg ha}^{-1}$  mineraalityyppiä. Paljon oletuksia sisältävä ruisvirnan typen käyttöön tulemistä koskeva laskelma kaipaa tuekseen lisää mittauksia, joita saatiin seuraavissa koesarjoissa.

Kolmivuotisten kesantojen vuohenherne tuotti kuiva-ainetta  $13\,000 \text{ kg ha}^{-1}$ , timotein ja apiloiden seokset keskimäärin noin  $10\,000 \text{ kg ha}^{-1}$ . Kokonaismassasta lähes puolet oli maan pinnan alapuolella. Juurimassaa oli monivuotisissa viherkesannoissa ainakin nelinkertaisesti verrattuna yksivuotisiin viherkesantoihin (Känkänen 2000). Ilman väkilannoitetyyppiä kasvaneen rukiin jyväsato vuohenherneen jälkeen oli  $5000 \text{ kg ha}^{-1}$  sekä puna-apilan ja timotein seoksen jälkeen  $4400 \text{ kg ha}^{-1}$ . Vuosi ja kasvupaikka olivat otolliset rukiille. Valitettavasti niin ei aina ole, vaan esimerkiksi rukiin huonon talvehtimisen vuoksi tyyppi tulee huonosti hyödyksi.

Vastaavin laskelmin kuin edellä ruisvirnalle tehtiin, oli ruiskasvuston typpisisältö noin  $135 \text{ kg ha}^{-1}$  vuohenherneen ja noin  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  puna-apilakesannon jälkeen. Koska kesantokasvustojen typpipitoisuudet ja typen kokonaismääräkin olivat pienemmät kuin edellä kuvatussa ruisvirnan tapauksessa, tuli monivuotisten viherkesantojen sisältämä kasveille käyttökelpoinen tyyppi mitä ilmeisimmin käyttöön hyvin korkealla hyötysuhteella. Sen lisäksi rukiin on täytynyt käyttää merkittävä määrä maassa vapaana ollutta tyyppiä.

Monivuotisten kasvustojen suuri juurimassa merkitsee voimakasta vaikutusta maahan, esim. juurikanavi- en määrä kasvaa. Juurten typpipitoisuus on pienempi kuin maanpäällisten kasvinosien, mutta ne voivat lisätä suuresti muiden viljelykasvien juurten mahdollisuuksia ottaa ravinteita (Känkänen 1994). On mahdollista, että jos kyseisessä kokeessa olisi rukiille annettu lisäksi väkilannoitetyyppiä, olisi rukiin sato ollut vieläkin suurempi viherkesantojen kunnostamassa maassa. Nyt voidaan vain todeta, että rukiista saatiin suuri sato palkokasvien jälkeen ilman lisätyyppiä. Lisäksi, jos ruista olisi lannoitettu erilaisilla väkilannoit-

tetytyn määrillä, olisi taloudellisesti optimaalinen typpilannoitustaso kunkin viherlannoituskasvin jälkeen ollut laskettavissa kulloistenkin hintasuhteiden vallitessa, kuten myöhemmin tässä raportissa osoitetaan.

### 6.1.2 Viherkesannon muokkauskoe

Viherkesannon muokkauskokeessa tutkittiin aikaisen ja myöhäisen syyskynnön, kevätkynnön ja keväisen kevennetyn muokkauksen merkitystä yhden kesän ajan kasvaneiden ruisvirnan ja puna-apilan sekä ohran jälkeen. Seuraava kasvi oli ohra ja sitä seuraava kaura. Ohran jälkeen seuranneen ohran typpilannoitustasot olivat 40, 80 ja 120 N, palkokasvien jälkeen 0, 40 ja 80 N. Tulokset on muutoin esitetty tieteellisissä artikkeleissa (Känkänen ym. 1998, Känkänen ym. 1999), mutta tähän laskettiin tuloksia typpilannoitustehosta kuuden koepaikan keskiarvoina.

Viherlannoituskasvin laskennallinen typpivaikutus muuttui, kun laskentatapa muuttui. Laskentatavalla 1 ohran jyväsatoa virnan jälkeen verrattiin jokaisen typpitason osalta vastaavaan, ohraesikasvin jälkeen 40 kg ha<sup>-1</sup> enemmän lannoitetyypeä saaneeseen ohran satoon. Silloin virnan aiheuttama typpihyöty oli lähes sama, noin 50 kg ha<sup>-1</sup>, kaikilla typpitasoilla (taulukko2). Väkilannoitetyypeä voisi siis antaa suurimman kokeessa käytetyn määrän ilman, että virnan typpilannoitusvaikutus pienenesi.

Taulukko 2: Ohran jyväsato (kg ha<sup>-1</sup>) ruisvirnan ja sen eri muokkausajankohtien jälkeen kolmella väkilannoitetyypin määrällä (0, 40 ja 80 kg N ha<sup>-1</sup>) sekä satoero verrattuna esikasvina kasvaneeseen ohraan, jonka jälkeen typpilannoitus oli 40 kg ha<sup>-1</sup> suurempi. Sadot ovat kuuden koepaikan keskiarvoja. Alimmalla rivillä on ruisvirnan synnyttämä typpihyöty, kun laskentaperusteena on tämän taulukon mukainen satovertailu (laskentatapa 1).

|                     | <u>0 N</u> | <u>40 N</u> | <u>80 N</u> |
|---------------------|------------|-------------|-------------|
| Aikainen syyskyntö  | 4150       | 4480        | 5180        |
| Myöhäinen syyskyntö | 3900       | 4530        | 4930        |
| Kevätkyntö          | 3920       | 4630        | 4890        |
| Kevennetty muokkaus | 3510       | 4360        | 4700        |
| Keskiarvo           | 3870       | 4500        | 4920        |
| ero ohraan (+40 N)  | +360       | +310        | +500        |
| N hyöty             | 48         | 47          | 52          |

Laskentatapa 1 on yksinkertainen, mutta ei anna oikeaa kuvaa virnan typpilannoitustehosta, vaikka kerroinkin tehon olevan vähintään noin 50 kg N ha<sup>-1</sup>. Oikeampi tapa laskea teho on lähestyä sitä ohran optimaalisen lannoitusmäärän kautta. Kun ohra oli esikasvina, antoi typpilannoituksen lisääminen 80:sta 120 kiloon hehtaarilta melko harvoin sadonlisäystä, vaikkakin keskimäärin kaikkien koepaikkojen keskiarvona lisäys oli 220 kg ha<sup>-1</sup>. Koska kaikissa kokeissa ohran jyväsato ohran jälkeen kasvoi selvästi typpilannoituksen kasvaessa 40:stä 80 kiloon, lieenee kyseisen kokeen palkokasvien typpilannoitustehon laskennassa perustelluinta tehdä vertailu 80 N lannoitettuun ohraan ohran jälkeen. Lisäksi 80 N on lähimpänä käytäntöä ohran viljelyssä. Näin siitäkin huolimatta, että 40 N olisi ohran jälkeen ollut usein varsin taloudellinen vaihtoehto.

Laskentatavalla 2 ohran jyväsatoa virnan jälkeen verrattiin jokaisen typpitason osalta siihen koejäseneseen, joka sai ohraesikasvin jälkeen 80 kg ha<sup>-1</sup> lannoitetyypeä. Virnan aiheuttama typpihyöty pieneni voimakkaasti, kun sen jälkeen ohralle annettiin myös väkilannoitetyypeä (taulukko 3). Virnan aiheuttama esikasvivaikutus vastasi yli 70 kg ha<sup>-1</sup> väkityppilannoitusta, jos virnan jälkeen ei lisätty tyypeä annettu, mutta vain vajaata 20 kg ha<sup>-1</sup> väkityppilannoitusta, jos lisätty tyypeä annettiin 80 kg ha<sup>-1</sup>. Virnan suuren typpimäärän siirtyminen seuraavalle ohralle on siis suurimmalla synteettisen typen määrällä varsin tehotonta, vaikka laskentatavan 1 mukaan teho silläkin typpitasolla oli hyvä. Syyn tähän selventää laskentatapa 3, joka esitellään apilaesimerkin jälkeen. Laskennallisesti virnan typpilannoitushyöty pienenee 6 kg ha<sup>-1</sup> jokaista väkilannoitetyypin kymmenen kilon lisäystä kohden välillä 0–40 N ja 8,5 kg ha<sup>-1</sup> jokaista väkilannoitetyypin kymmenen kilon lisäystä kohden välillä 40–80 N.

Taulukko 3: Ruisvirnan synnyttämä typpihyöty seuraavan ohran väkilannoitemäärillä 0, 40 ja 80 kg N ha<sup>-1</sup>. Vertailu tehtiin tilanteeseen, jossa ohran jälkeen seuraavalle ohralle annettiin väkilannoitetyyppeä 80 kg ha<sup>-1</sup> (laskentatapa 2). Tulos perustuu kuuden paikan keskimääräiseen jyväsadon typpimäärään virnan ja ohran jälkeen em. typpitasoilla.

|                     | <u>0N</u> | <u>40N</u> | <u>80N</u> |
|---------------------|-----------|------------|------------|
| Aikainen syyskyntö  | 75        | 42         | 19         |
| Myöhäinen syyskyntö | 74        | 49         | 18         |
| Kevätkyntö          | 72        | 48         | 14         |
| Kevennetty muokkaus | 69        | 49         | 17         |
| <i>keskiarvo</i>    | 73        | 47         | 17         |

Myös yhden kesän viherkesantona kasvaneesta puna-apilasta tehtiin laskentatavan 2 mukainen vertailu. Tulos oli samansuuntainen kuin virnalla, mutta puna-apilan pienempi typpisato näkyi pienempinä typpihyötyinä (taulukko 4). Tulos osoittaa selkeästi, että jos yhden kesän puna-apilakasvustosta halutaan saada typpilannoitetta korvaavaa vaikutusta, on väkilannoitteen kanssa oltava varovainen. Vain myöhäistä syyskyntöä käytettäessä puna-apilasta saatiin pieni typpilannoitushyöty vielä 80 N typpilannoitustasolla. Sen sijaan ilman lisätyppilannoitusta puna-apilan synnyttämä typpihyöty oli 60 kg ha<sup>-1</sup> luokkaa. Laskennallisesti apilan typpilannoitushyöty pienenee 6–7 kg ha<sup>-1</sup> jokaista väkilannoitetyypin kymmenen kilon lisäystä kohden.

Taulukko 4. Yhden kesän kasvaneen puna-apilan synnyttämä typpihyöty seuraavan ohran väkilannoitemäärillä 0, 40 ja 80 kg N ha<sup>-1</sup>. Vertailu tehtiin tilanteeseen, jossa ohran jälkeen seuraavalle ohralle annettiin väkilannoitetyyppeä 80 kg ha<sup>-1</sup> (laskentatapa 2). Laskelma perustuu kuuden koepaikan keskimääräiseen ohran jyväsadon typpimäärään puna-apilan ja ohran jälkeen em. typpitasoilla.

|                     | <u>0N</u> | <u>40N</u> | <u>80N</u> |
|---------------------|-----------|------------|------------|
| Aikainen syyskyntö  | 57        | 28         | -3         |
| Myöhäinen syyskyntö | 62        | 37         | 7          |
| Kevätkyntö          | 55        | 33         | 1          |
| Kevennetty muokkaus | 53        | 25         | 1          |
| <i>Keskiarvo</i>    | 57        | 31         | 2          |

Laskimme myös, montako kiloa jyväsato kasvoi yhtä synteettistä typpikiloa kohti, kun lannoitusporras oli 40 N (laskentatapa 3). Ohran jälkeen annettu ensimmäinen 40 kiloa oli ylivoimaisesti tehokkain, sillä yksi typpikilo vastasi noin 90 kg jyväsatoa (taulukko 5). Tämä tosin ei tarkalleen ottaen kuvaa pelkän lannoitteen vaikutusta, koska lähtötasoa ei mitattu lannoittamattomalla ohralla. Seuraavassa portaassa (40 -> 80 N) yhdellä lannoitetyppikilolla saatiin 17 kg lisää jyviä, viimeisessä (80 -> 120 N) keskimäärin vain 6 kg. Viherlannoituskasvien jälkeen ensimmäinen typpilannoitusporras (0 -> 40 N) tuotti väkilannoitetyppikiloa kohti 16 kg ja toinen porras 11 kg jyviä. Väkilannoitteen heikkenevä lisähyöty typen määrän lisääntyessä selittää sen, miksi laskentatapojen 1 ja 2 antamat typpilannoitusarvot olivat niin erilaiset. Samalla se osoittaa laskentatavan 1 harhaanjohtavuuden.

Taulukko 5. Yhdellä lisäkilolla väkilannoitetyyppeä saavutettu jyväsadon lisäys (kg) (laskentatapa 3). Ohran ensimmäinen porras kuvaa maan typpivarjoja huomioimatta, paljonko on koko jyväsadon määrä yhtä typpilannoitekiloa kohti, koska täysin lannoittamatonta käsittelyä ei kokeissa ollut. Muiden portaiden kohdalla keskimääräinen jyväsadon lisäys kahden portaan välillä jaettiin luvulla 40, jolloin saatiin keskimääräinen jyväsadon lisäys yhtä väkilannoitteen typpikiloa kohti. Virnan ja apilan kohdalla alimman portaan vertailu tehtiin pelkästään viherlannoitettuun käsittelyyn.

|                     | <u>OHRA</u> |     |      | <u>VIRNA</u> |     | <u>APILA</u> |     |
|---------------------|-------------|-----|------|--------------|-----|--------------|-----|
|                     | 40N         | 80N | 120N | 40N          | 80N | 40N          | 80N |
| Aikainen syyskyntö  | 92          | 18  | 1    | 8            | 18  | 12           | 9   |
| Myöhäinen syyskyntö | 87          | 17  | 12   | 16           | 10  | 17           | 11  |
| Kevätkyntö          | 89          | 18  | -2   | 18           | 6   | 20           | 8   |
| Kevennetty muokkaus | 82          | 17  | 11   | 21           | 9   | 13           | 18  |
| <i>Keskiarvo</i>    | 88          | 17  | 6    | 16           | 11  | 16           | 11  |



Perustelluinta ainakin biologisesta näkökulmasta tämän aineiston tilanteessa on pyrkiä siihen, että kaikkien esikasvien jälkeen ohra saa, maasta vapautuvan typen lisäksi, noin 80 kg ha<sup>-1</sup> typpeä mahdollisimman energiatehokkaalla tavalla. Virnan jälkeen tulisi tällöin antaa vain noin 10 kg ha<sup>-1</sup> lisätyppeä eli virnan typpilannoitusteho on 70 kg ha<sup>-1</sup>. Yhden vuoden puna-apilan kohdalla tilanne on hankalampi, koska 80 kg ha<sup>-1</sup> rajaa ei aivan saavuteta ennen kuin suurella väkilannoitetyypen määrällä, jolloin apilan typpilannoitusteho jää olemattomaksi. On joko tyydyttävä alhaisempaan ohran jyväsatoon apilaesikasvin hyvän typpitehon saavuttamiseksi tai pyrittävä perustelemaan sopiva typpilannoitustaso muin keinoin. Maksimaaliseen energiansäästöön päästään puna-apilankin jälkeen ilman synteettistä typpilannoitusta, mutta sadon määrä jää silloin jo melko alhaiseksi, 700 kg ha<sup>-1</sup> pienemmäksi kuin virnan jälkeen ilman lisätyppilannoitusta.

#### 6.1.2.1 Esimerkki hintasuhteiden merkityksestä

Biologisen maksimisadon tavoittelussa ei 80 kg väkilannoitetyypeä hehtaarille näyttäisi olevan liikaa viherlannoituskasvien jälkeenkään. Toisaalta maksimaalisen energiansäästön näkökulmasta virnan jälkeen ei tarvita muuta typpilannoitusta, koska sitenkin päästään kohtuullisiin satoihin. Myös puna-apilasta saadaan väkilannoitetta korvaavaa typpeä laskennallisesti sitä enemmän, mitä vähemmän sen jälkeen lannoitetaan. Koska viherlannoituksen typpilannoitusteho on riippuvainen seuraavan kasvin saamasta väkilannoitetyypen määrästä, kytkeytyy typpilannoitustehon määrittäminen mielenkiintoisella tavalla talouteen. Korkealla lannoitteen hinnalla ja alhaisella viljan hinnalla kannattaa viherlannoituskasvien jälkeen käyttää vähemmän väkilannoitetyypeä, mikä käytännössä johtaa viherlannoituksen suurempaan typpilannoitustehoon. Asia vaatisi tarkempaa analyysiä, mutta seuraavassa yksinkertaistettu laskelma sopivista typpimääristä eri esikasvien jälkeen.

Suomensalpietarin (27 N, 1 K, 4 S) hinta helmikuussa 2012 oli 375 euroa per tonni. Pelkän typen perusteella laskien typpikilon hinta oli (375/270) 1,39 euroa. Cemagron hinta rakeiselle urealannoitteelle 29.3.2012 oli 489 €/tn, eli rahti- ja purkukuiluineen arviolta noin 500 €/tn. Lannoite sisältää typpeä 46 %, joten typpikilon hinnaksi tulee 1,09 euroa. Seuraavan sadon kevätiljojen hintaodotus kevättalvella 2012 oli 154 - 168 €/tonnilta (Käytännön Maamies 2012b). Mallasohralla, jolle viherlannoitus sopii huonosti (VYR 2012c) hintaodotus oli 190 €/Typen ja viljan hintojen suurta vaihtelua (jo tämän raportinkin kirjoittamisen aikana) enempää spekuloiden on seuraavassa tehty yksinkertainen laskelma kahdella eri hintasuhteella lisätyppikilon kannattavuudesta. Laskelmissa ei ole otettu huomioon sitä, että viljasadon suureneminen lisää kustannuksia korjuussa, kuivauksessa ja rahdissa.

Laskelma 1: Viljan hintaodotus 170 €/tn ja typen hintaoletus lannoitteessa 1200 €/tn. Jotta lannoitus maksaa itsensä takaisin pitää viljakiloja per lannoitekilo saada 1,2 €/0,17 €/kg eli noin 7 kg.

Laskelma 2: Viljan hintaodotus 160 €/tn ja typen hintaoletus lannoitteessa 1400 €/tn. Jotta lannoitus maksaa itsensä takaisin pitää viljakiloja per lannoitekilo saada 1,4 €/0,16 €/kg eli noin 9 kg.

Laskelmassa 3 käytetään esimerkkinä vuoden 2009 erittäin alhaista ohran hintaa 75 €/tn (Sipiläinen ym. 2012) ja typpilannoitteen hintana pidetään edelleen 1400 €/per tn. Tässä laskelmassa hintasuhteet ovat siis hyvin epäedulliset. Laskelma 3: Viljan hintaoletus 75 €/tn ja typpilannoitteen hintaoletus 1400 €/tn. Jotta lannoitus maksaa itsensä takaisin pitää viljakiloja per lannoitekilo saada 1,4 €/0,075 €/kg eli noin 19 kg.

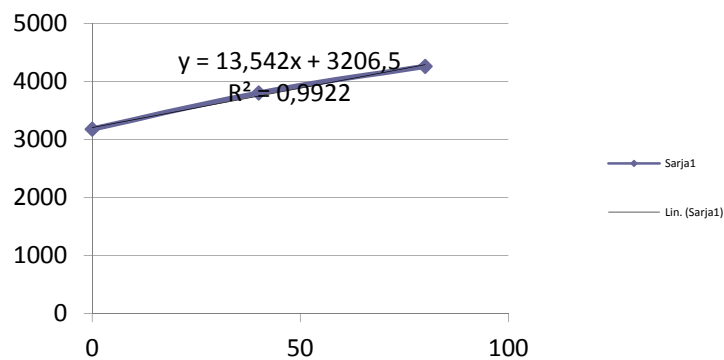
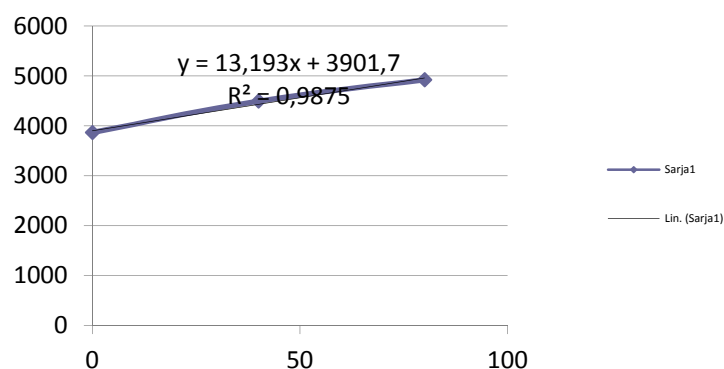
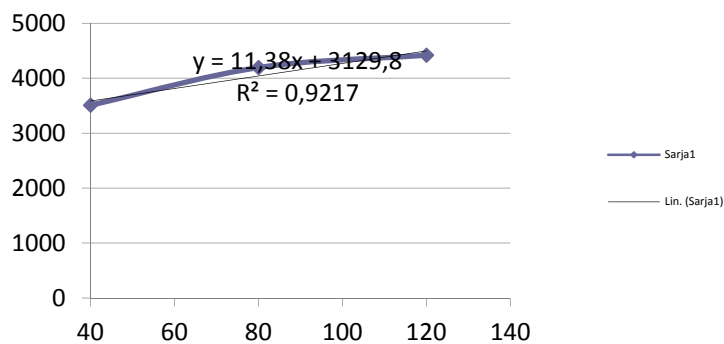
Laskelman 1 perusteella koeaineistossa keskimäärin ei ollut kannattavaa lisätä typpilannoitusta 80 kilosta 120 kiloon per ha ohran jälkeen. Typpilannoituksen lisääminen viherlannoituskasvien jälkeen 40 kilosta 80 kiloon per ha saattoi olla taloudellisesti kannattavaa. Typpilannoituksen lisääminen ohran jälkeen 40 kilosta 80 kiloon per ha ja viherlannoituskasvien jälkeen 0 kilosta 40 kiloon oli todennäköisesti kannattavaa.

Laskelman 2 perusteella koeaineistossa keskimäärin typpilannoituksen lisääminen viherlannoituskasvien jälkeen 40 kilosta 80 kiloon per ha oli kannattavuudeltaan jo kyseenalaista. Muihin arvioihin ei tilanne muuttunut laskelman 1 tilanteesta oleellisesti.

Laskelman 3 perusteella koeaineistossa keskimäärin typpilannoituksen lisääminen kannatti vain ohran jälkeen, ja silloinkin taloudellisesti optimaalinen typpilannoitus jäi jonnekin 40 ja 80 kg N ha<sup>-1</sup> välimaastoon, olettaen että kyseisellä määrällä saadaan laadultaan kelpoista viljaa. Sen sijaan niin virnan kuin puna-apilankin jälkeen jo alin typpilannoitus eli 40 kg ha<sup>-1</sup> oli taloudellisesti kannattamaton.

Laskelmat osoittavat suuntaa-antavasti typpilannoitteiden ja viljan hinnan suuren merkityksen, jos väkilannoitetyypen määrä päätetään pelkästään tilan taloudellisin perustein. Aihe ansaitsisi tarkemman taloustarkastelun, jossa otettaisiin huomioon satomäärien muutosten vaikutukset. Lisäksi varsinaisessa kannattavuuslaskelmassa tulisi huomioida viherlannoitusvuosi ja mahdollinen pidempiaikainen, pellon kasvukunnon paranemisesta syntyvä hyöty.

Aineistosta laskettiin myös väkityppilannoituksen vastekäyrät, jotka antavat edellä esitettyä tarkastelua yleisluontoisemman kuvan typpilannoituksen merkityksestä. Kaikkien koepaikkojen keskiarvona lasketujen typpilannoituksen vastekäyrien perusteella yhden typpilannoitekilon lisäys lisäsi jyväsatoa 11,4 kg ohran jälkeen, 13,2 kg virnan jälkeen ja 13,5 kg puna-apilan jälkeen (kuva 1). Vaste on laskettu ohran osalta väkityppilannoituksen välille 40–120 N ja palkokasvien osalta välille 0–80 N. Vaihtelu koepaikkojen välillä oli suurta.



Kuva 1. Väkilannoitetyypen aiheuttama vaste ohran jyväsatoon, kun esikasvina oli ohra (ylin käyrä), ruisvirna (keskimmäinen) tai yhden kesän kasvanut puna-apila (alin käyrä). Vastekäyrät on laskettu kuuden koepaikan keskiarvosta viherkesannon muokkauskokeesta. Käytetyt typpilannoitusmäärät olivat ohran jälkeen 40, 80 ja 120 kg ha<sup>-1</sup> sekä virnan ja apilan jälkeen 0, 40 ja 80 kg ha<sup>-1</sup>.

Koepaikkakohtaisten typpivastekäyrien perusteella (julkaisematon aineisto) arvioitiin typpilannoituksen kannattavuutta olettaen, että lisäsatoa tarvitaan 7 - 9 kg per lisätyppikilo (laskelmien 1 ja 2 tilanne). Typpilannoituksen suurentaminen (ohran jälkeen 40:stä 120 kiloon ja viherlannoitusten jälkeen nolasta 80 kiloon) oli kannattavaa kaikkien esikasvien kohdalla vain kahdella koepaikalla ja kahdella koepaikalla typpilannoituksen lisääminen näytti kokonaan kannattamattomalta. Vastekäyrätarkastelut eivät tuo lisäarvoa raportin tavoitteelle, vaan kuvaavat lähinnä sitä suurta vaihtelua, jonka puitteissa viljely ja siten myös viherlannoituksen hyödyntäminen tapahtuu. Jotta kullakin koepaikalla kyseisinä vuosina saavutettu viherlannoituksen merkitys saataisiin mahdollisimman tarkasti selville, pitäisi typpilannoitusteho laskea ta-pauskohtaisesti luvun 6.1.2 mukaisesti.

### 6.1.3 Viherkesannon lopetuskoee

Viherkesannon lopetuskoekkeesta (Känkänen 2001) tuodaan tässä esiin vain Laukaan ja Pälkäneen koepaikoilta käytettävissä olevien jyväsatojen tärkeimmät tulokset. Laukaalla viherlannoituksia seurannutta viljaa ei lannoitettu väkilannoitetyypellä, Pälkäneellä vilja sai sitä 90 kg ha<sup>-1</sup>.

Ilman typpilannoitusta yhden kesän kasvanut puna-apila oli virnan veroinen kevätiljan esikasvi, vaikka typpisato ja todennäköisesti huuhtoutumisriski oli pienempi. Aineisto oli kuitenkin pieni verrattuna edellisessä luvussa kuvattuun kokeeseen, jossa virnan typpilannoitusteho oli puna-apilaa suurempi. Palkokasvien esikasvivaikutus kevätiljalle väheni voimakkaasti, jos ne lopetettiin aikaisin, jo elokuun puolivälissä. Laukaalla käsittely glyfosaatilla tai kyntö 16. elokuuta pienensivät puna-apilan typpilannoitustehoa 20 kg ha<sup>-1</sup> ja virnan typpilannoitustehoa 15 kg ha<sup>-1</sup> käsittelemättömään verrattuna. Kaikki koejäsenet kynnettiin lokakuun alussa.

Kun seuraavalle viljalle annettiin 90 kg/ha väkilannoitetyypä, poistui palkokasvien typpivaikutus lähes kokonaan. Suuresta typpisadostaan huolimatta virna lisäsi silloin jyväsatoa alle 500 kg ha<sup>-1</sup> ja jyvien typpisatoa selvästi alle 10 kg ha<sup>-1</sup>. Seuraavaa kasvia ei saa missään tapauksessa lannoittaa näin voimakkaasti, jotta viherlannoituksesta saadaan hyötyä ja jotta viherlannoituksena ja väkilannoitteena annettua typpä ei huuhtoudu.

### 6.1.4 Päätelmät viherlannoituskasvuston typpilannoitustehosta

Ruisvirnan typpilannoitusteho on edellä olevien biologisten perusteiden nojalla 70 kg ha<sup>-1</sup>. Yksinkertainen kannattavuuslaskelma tukee lukua ainakin, kun viljan hinta on alhainen suhteessa typpilannoitteen hintaan. Yhden kesän puna-apilan osalta typpilannoitustehon määrittäminen on vaikeampaa, mutta biologiset ja hintasuhdelaskelmat huomioiden se lienee 50 kg ha<sup>-1</sup> tienoilla. Huomionarvoista on, että kun puna-apilan jälkeen väkilannoitetyypä vähennettiin 10 kg ha<sup>-1</sup>, merkitsi se vain 3–4 kg ha<sup>-1</sup> alhaisempaa tyypen määrää seuraavan ohran käyttöön. Kolmenkymmenen kilonkaan muutos arvioidussa puna-apilan typpilannoitustehossa ei siten aiheuta kuin reilun kymmenen kilon muutoksen viljan saamassa tyypen määrässä. Koska virnoja voi pitää tehokkaampina ja yksivuotiseen viherlannoituskasvustoon sopivampina kasveina kuin puna-apilaa, voidaan väkilannoitetyypen vähennykseksi yksivuotisen viherlannoituskasvuston jälkeen olettaa 70 kg ha<sup>-1</sup>. Virnat on todettu erityisen sopiviksi rukiin esikasveiksi (Känkänen 2001), mutta tässä typpitehon oletetaan olevan sama rukiille kuin kevätiljoillekin.

Puna-apilan typpisato kasvaa selvästi, jos se on perustettu edellisenä kesänä suojaviljaan tai se saa kasvaa kaksi kesää. Kolmivuotisenkin viherkesannon lopuksi apilasato voi olla suuri, jos niitto on tehty korkeintaan kerran kesässä ja olot ovat suosineet apilan säilymistä. Pidempiaikaisen puna-apilan typpiteho on siten suurempi kuin vain yhden kesän kasvaneen apilan. Monivuotisiin viherkesantoihin on tarjolla myös muita hyviä palkokasveja, kuten edellä on kerrottu. Parhaimmillaan viherkesantojen jälkeen pärjätään kokonaan ilman lisätyypä, mutta jatkossa oletetaan, että myös monivuotisen viherlannoituskasvuston jälkeen voidaan väkilannoitetyypen määrää vähentää 70 kg ha<sup>-1</sup>.

Yksivuotisen viherlannoituksen typpiteho ei ylettynyt toiseen vuoteen, jos vilja silloin sai lähes normaalin määrän väkilannoitetyypä. Monivuotinen apilakesanto lisäsi ruista seuranneen ohran jyväsatoa 500 kg ha<sup>-1</sup> verrattuna muokkaamattomaan avokesantoon. Typpilannoitustehoa ei aineiston perusteella voi laskea, mutta todennäköisesti ohra sai tyypä kahden vuoden takaisista viherkesannoista. Muualla on todettu palkokasveista vapautuvan tyypä usean vuoden ajan, tosin selvästi ensimmäiseen vuoteen painottuen (Fox ja Piekielek 1988). Viherlannoitus viljakierrossa –kokeessa kahden tai kolmen vuoden välein kier-

rossa olleen yksivuotisen viron vaikutus näkyi vielä kolmantena vuonna viherlannoitusten päättymisen jälkeen, mutta vain, kun viljaa ei lannoitettu typpellä. Jatkossa oletetaan, että monivuotisen viherlannoituskasvuston toisena jälkivaikutusvuonna voidaan synteettisen typen määrää vähentää 20 kg ha<sup>-1</sup>, mutta yksivuotisen viherlannoituksen jälkeen ei pidempiaikaista typpilannoitustehoa ole.

### 6.1.5 Aluskasvikokeet

Kuten viherkesantojen, apila-aluskasvien typpilannoitushyöty pienenee, kun seuraavan kasvin samaa typpi muista lähteistä lisääntyy. Myös aluskasvivuoden typpilannoitus vaikuttaa, sillä apiloiden sato jää sitä pienemmäksi, mitä suuremman typpilannoituksen pääkasvi saa. Kun Laukaan tutkimusasemalla viljeltiin kuuden vuoden ajan toistuvasti valko- ja puna-apilaa kevätiljojen aluskasveina, oli niiden typpilannoitusta korvaava arvo 29, 19, 14 ja 10 kg ha<sup>-1</sup>, kun lannoitustasot olivat vastaavasti 0 N, 30 N, 60 N ja 90 N (Känkänen 2010, Känkänen ym. 2011). Ilman väkilannoitetyypeä apiloiden typpilannoitushyöty oli noin puolet siitä typen määrästä, jonka apilakasvusto sisälsi syksyn maahan kynnön aikaan, mutta 90 N tasolla vain kolmasosa. Pälkäneellä, missä maa oli luontaisesti enemmän satoa tuottavaa, apilat korvasivat väkilannoitetyypeä vähemmän kuin Laukaalla, vaikka apiloiden keskimääräinen sato oli suurempi.

Apiloiden kasvu ja sadot vaihtelivat suuresti vuosien välillä. Kun sato oli suuri, ja myös typpilannoitushyöty oli keskimääräistä suurempi seuraavana kesänä. Keskimäärin valko- ja puna-apilan typpilannoitushyöty oli 15 kg ha<sup>-1</sup>. Jokioisissa suoritetussa eri aluskasveja verranneessa yksittäisten aluskasvivuosien koesarjassa apiloiden sadot aluskasveina olivat samaa luokkaa kuin em. toistuvan viljelyn kokeissa. Vihdin pienten siementen kannalta vaikeahkoilla hiesusavilla puna-apilan sato jäi hieman pienemmäksi kuin Jokioisten kokeissa. Viherlannoitus viljakierrossa –kokeessa Jokioisissa viljeltiin aluskasveja hyvin huonorakenteisella savimaalla, jolla hyvän aluskasvuston aikaansaaminen tuotti ongelmia etenkin kuivina kesinä. Toisaalta Suomen etelärannikolta on raportoitu paljon korkeampia apiloiden typpisatoja aluskasveina (Kauppila ja Kilttilä 1992, Kauppila ja Lindqvist 1992). Vaikka aluskasvien kasvu vaihtelee suuresti niin kasvupaikasta kuin kesän oloistakin riippuen, on raportin laskelmien perustaksi löydettävissä keskimääräinen apiloiden typpilannoitusteho.

Valkoapilasta on odotettavissa typpisatoa keskimäärin 40 kg ha<sup>-1</sup> ja puna-apilasta 30 kg ha<sup>-1</sup>, kun kevätiljaa lannoitetaan normaalisti ja aluskasvin siemenmäärä on kohtuullinen eli valkoapilan 4 kg ha<sup>-1</sup> ja puna-apilan 6 kg ha<sup>-1</sup>. Typpisadosta korkeintaan puolet tulee seuraavan kasvin käyttöön. Typpisatoa ja siten typpilannoitustehoa voidaan kasvattaa siemenmäärää lisäämällä. Apiloiden käyttöä aluskasveina onkin varaa tehostaa koetuloksiimme verrattuna, kun tavoitteena on suuri biologinen typensidonta. Jotta apiloiden aluskasveina keräämää tyypeä saadaan hyödynnettyä mahdollisimman hyvin, on seuraavan kasvin typpilannoitusta syytä vähentää ainakin jossain määrin.

Myöhemmin raportissa olevien arvioiden pohjaksi oletetaan, että apila-aluskasvien jälkeen typpilannoitusta vähennetään 20 kg ha<sup>-1</sup>, vaikka käytännössä vähennys on aina arvioitava syksyn apilakasvuston perusteella. Maatiloilla kannattaa kokeilla suurempiakin lannoitevähennyksiä, koska aluskasvien menestyminen riippuu suuresti kasvuoloista. Jos viljelijä haluaa saada mahdollisimman suuren maanparannusvaihtokutuksen apiloista aluskasveina, ja samalla suuremman typpilannoitustehon seuraavalle kasville, kannattaa väkilannoitetyypen määrää vähentää myös jo aluskasvivuoden viljalta. Tällaista vähennystä ei kuitenkaan oleteta tehtävän tämän raportin laskelmissa.

#### JOIDENKIN VIHHERLANNOITUSKASVIEN TYPPITEHOJA

(Typpiteho = se väkilannoitetyypen määrä, joka seuraavalta kasvilta voidaan jättää pois sadon oleellisesti pieneneväksi)

Ruisvirna 70 kg ha<sup>-1</sup>

Puna-apila yksivuotisena 50 kg ha<sup>-1</sup>

Puna-apila monivuotisena 70 kg ha<sup>-1</sup>

Vuohenherne 70+ kg ha<sup>-1</sup>

Apilat aluskasveina 20 (10 – 40) kg ha<sup>-1</sup>

## 6.2 Kirjallisuustietojen yhdistäminen tulkintaan

Palkokasvien esikasvivaikutuksia on tutkittu melko paljon. Sen sijaan etenkin Suomesta ei löydy moniakaan tutkimustuloksia siitä, mikä on esikasvin väkilannoitetyyppeä korvaava arvo. Tietyn kasvin tai kasvuston typpilannoitetta korvaavan arvon määrittäminen edellyttäisi nimittäin kyseisen esikasvin ja viljaesikasvin jälkivaikutuksen vertaamista useita typpilannoitustasoja käyttäen. Päätelmät tietyn esikasvin typpivaikutuksesta ovat enemmän tai vähemmän arvioita. Vaikka luku 6.1 osittain kyseistä tietoaukkoa täyttikin, perustuvat raportin arviot suurelta osin muualla julkaistuihin tietoihin.

Vaikkakin lähemmäs totuutta, ei runsaidenkaan tutkimusten kautta päästä koskaan absoluuttiseen totuuteen, sillä palkokasvin typen siirtyminen seuraavan kasvin käyttöön on aina kasvupaikan ominaisuuksista ja sääoloista riippuvainen. Lisäksi esikasvilla voi olla muitakin hyödyllisiä vaikutuksia kuin typen tarjoaminen, ja hyöty voi olla typpiä suurempi esimerkiksi silloin, kun viljelykasviin kohdistuu tautipaineita tai esikasvilla on onnistuttu parantamaan maan rakennetta. Toisaalta esikasvin mahdolliset myönteiset vaikutukset seuraavan kasvin kasvuun voivat lisätä seuraavan kasvin typen tarvetta. Näistä moninaisista syistä johtuen raportissa käytettyjä typpilannoitustehoja ei voi käyttää kiveen hakattuina typpilannoitusohjeina, vaan perustana biologisen typensidonnan synnyttämän hyötypotentiaalin yleiseen laskemiseen.

On hyvä huomata, että väkilannoitetyypikään ei päädy täysimääräisesti viljelykasviin. Lindén (2008) muistuttaa, että jos esikasvin suora typpivaikutus voidaan arvioida, ei se ole sama kuin vähennettävä typpilannoituksen määrä, koska keskimäärin vain 75 % väkilannoitetyypistä tulee kasvin käyttöön. Suora typpivaikutus voidaan siis jakaa luvulla 0,75 (tai kertoa luvulla 1,33), jotta saadaan selville vähennettävän typpilannoituksen määrä. Jos esikasvin typpijälkivaikutus on 30 kg ha<sup>-1</sup>, korvaa se silloin 40 kg väkilannoitetyyppeä. Jälkimmäisen arvon voidaan katsoa vastaavan luvussa 6.1 käsiteltyä typpilannoitustehoa, vaikka määrittelytavat poikkeavat toisistaan. Toisaalta Lindén (2008) huomauttaa, että jos palkokasvi lisää seuraavan kasvin sadontuottoedellytyksiä, voi kertoimen vaikutus ainakin osittain kompensoitua, kun väkilannoitteen avulla pyritään saavuttamaan typpilannoituksen optimi. Esimerkkitapauksessa todellinen typpilannoitusteho siirtyy silloin lähemmäs arvoa 30 kg ha<sup>-1</sup>.

### 6.2.1 Viherlannoitus ja viherkesannot

Suomessa käytetään melko yleisesti arviota, jonka mukaan viherkesannon jälkeen seuraavan viljan typpilannoitusta voi vähentää 40 kg ha<sup>-1</sup>, mutta lisätään kuten Vuorinen (1997), että vähennys voi suotuisina vuosina olla suurempikin. Maahan muokatun rehevän palkokasvikasvuston jäljiltä ei ole väärin sanoa, että seuraavasta viljasta on todennäköistä saada suuri sato ilman väkilannoitetyyppeä. Avoimeksi kuitenkin yleensä jää, minkä verran sato voisi edelleen suurentua lisätyppilannoituksen avulla tai mikä olisi taloudellisesti paras väkilannoitetyypen määrä viherkesannon jälkeen. Hieman lähemmäs biologisen, ja taloudellisenkin, lannoitusoptimin määrittästä päästiin edellisessä luvussa, kun arvioitiin uudelleen 1990-luvulla usealla koepaikalla saatuja yhden kesän puna-apilan ja ruisvirnan synnyttämiä typpihyötyjä.

Edellisvuonna suojaviljaan perustettujen yksivuotisten viherkesantojen typpijälkivaikutukseksi katsotaan Ruotsissa 50–90 kg ha<sup>-1</sup>, jos kasvusto koostuu yksinomaan tai pääosin apilalajeista. Pienempiäkin typpivaikutuksia on tosin saatu. Lindén (2008) asettaa puna-apilan puhdaskasvuston keskimääräiseksi typpilannoitusvaikutukseksi 70 kg ha<sup>-1</sup> ja arvioi sen perusteella, että heinän ja puna-apilan seoksen typpivaikutus on 50–60 kg ha<sup>-1</sup>. Hän suosittelee suojaviljaan perustamista, sillä Wallgren ja Lindén (1991) saivat samana vuonna kylvettyjen ja maahan muokattujen viherlannoituskasvien typpisadoksi keskimäärin vain 25–30 kg ha<sup>-1</sup>. Kustannuksetkin jäävät suojaviljaan perustettaessa pienemmiksi, tosin molemmissa tapauksissa menetetään yksi vuosi satokasvien viljelyssä.

### 6.2.2 Aluskasvien typpijälkivaikutus

Garand ym. (2001) arvioivat Kanadassa, että toistuvasti vehnän aluskasvina kasvavan, marraskuun puolivälissä maahan muokattavan puna-apilan väkilannoitetyyppeä korvaava arvo (nitrogen fertilizer replacement value) on noin 80 kg ha<sup>-1</sup>. Aluskasvin kasvu kuitenkin vaihteli suuresti heidän kokeissaan kuten Suomessakin. Børresen (1994) totesi Norjassa aluskasvina kasvaneen valkoapilan korvanneen 60 kg ha<sup>-1</sup> väkilannoitetyyppeä. Lindén (2008) puolestaan sai puna- ja valkoapilan typpijälkivaikutukseksi 30–40 kg ha<sup>-1</sup>, mikä vastasi 40–53 kg ha<sup>-1</sup> vähennystä väkilannoitetyypen määrässä.

Meillä apila-aluskasvien merkitys typen tuottajina on jäänyt pienemmäksi muissa maissa raportoituihin tuloksiin verrattuna. Vuosittain toistuvien aluskasvien kokeissamme apiloiden typpijälkivaikutus oli keskimäärin noin 15 kg ha<sup>-1</sup> (Känkänen 2010), mikä vastaa noin 20 kg ha<sup>-1</sup> typpilannoitteen korvausarvoa. Osittain erilaisten tulosten syynä ovat erilaiset viljelykäytännöt ja etenkin erilaiset väkilannoitetyypen käyttömäärät. Suuri aluskasvin typentuottokykyyn vaikuttava tekijä on pääkasvin korjuun jälkeen käytössä oleva lämpösumma, joka Suomessa jää usein melko pieneksi. Syksyisen kasvuajan pituus lienee osasy myös siihen, että Suomen etelärannikolta on raportoitu paljon korkeampia apiloiden typpisatoja aluskasveina (Kauppila ja Kilttilä 1992, Kauppila ja Lindqvist 1992) kuin MTT:n kokeissa saatiin. Kaikki Suomessa tehdyt aluskasvikokeet osoittavat, että apiloiden potentiaali tuottaa typpeä on korkea, mutta onnistuminen vaihtelevaa.

Samansuuruisten typpisatojenkin jälkeen aluskasvien typpilannoitusteho jää yleensä pienemmäksi pelloissa, joiden sadontuottokyky on korkeahko ilman typpilannoitusta. Laukaan tutkimusasemalla apiloista aluskasveina saatiin suurempi typpijälkivaikutus kuin Pälkäneellä, missä jyväsato ilman typpilannoitusta oli suurempi ja typpilannoituksen satoa lisäävä vaikutus pienempi. Näin siitäkin huolimatta, että Pälkäneellä aluskasvien typpisadot olivat keskimäärin suuremmat kuin Laukaalla.

Laukaalla apiloiden typpilannoitusarvot olivat 29, 19, 14 ja 10 kg ha<sup>-1</sup>, jos synteettistä typpeä annettiin 0, 30, 60 tai 90 N. Väkilannoitetyypen korvausarvo eli typpilannoitusteho saadaan kertomalla typpilannoitusarvo luvulla 1,33. Väkilannoitetyypen korvautuminen siis heikkeni sitä mukaa kuin sen määrää lisättiin. Bergkvistin (2003) mukaan synteettisiä typpilannoitteita pitää käyttää maltillisesti, jotta palkokasveista aluskasveina saadaan mahdollisimman suuri hyöty. Lindén (2008) totesi syysvehnän aluskasveina kasvien apiloiden antaneen kovasta kilpailusta johtuen vain vähän typpeä, jos syysvehnää lannoitettiin normaalisti. Luonnonmukaisesti viljellyn syysvehnän tapauksessa valkoapilan typpilannoitusvaikutus oli 25 kg ha<sup>-1</sup> ja puna-apilan runsas 20 kg ha<sup>-1</sup>.

Kun viljan sato kasvaa typpilannoituksen kasvun myötä ainakin meidän kokeissamme käytettyyn 90 N tasoon asti, on maksimaalisen viherlannoitushyödyn yhdistäminen oikeaan väkilannoituksen määrään monimutkaista. Joka tapauksessa seuraavan kesän typpilannoituksen vähennysmahdollisuutta tulee aina arvioida edeltävän syksyn apilakasvuston rehevyyden ja typpisisällön perusteella (Känkänen 2010). Vaikka typpivaikutus parhaimmillaan on suurempi, käytetään tämän raportin arvioissa viljan aluskasveina viljeltyjen apiloiden typpilannoitteen korvausarvona 20 kg ha<sup>-1</sup>.

### 6.2.3 Palkoviljojen typpijälkivaikutus

Palkoviljat korvaavat seuraavalle kasville annettavaa väkilannoitetyypeä selvästi huonommin kuin viherlannoitukseksi viljellyt palkokasvit. Palkoviljat siirtävät typpeä tehokkaasti siemeniin, joten ilmakehästä sidottua typpeä viedään korjuussa pelloilta pois. Herneen puintitähteiden typpipitoisuus puinnin jälkeen on alhainen, vain noin 1 % kuiva-aineesta tai allekin. Typpilannoitusvaikutusta ei siten pitäisi teoriassa edes olla, mutta herneen kasvimassan hajoaminen ei myöskään sido maan typpivaroja siinä määrin kuin hyvin typpiköyhät viljojen tähteet. Lisäksi juurista voi erittyä typpeä maahan. Australiassa palkokasvien keskimääräinen typpisaldo eli ilmakehästä sidotun ja sadossa korjatun typen erotus oli suurempi härkäpavulla kuin lupiinilla, jonka saldo puolestaan oli suurempi kuin herneellä (Evans 2001). Vaihtelu oli kuitenkin erittäin suurta, ja vaihtelurajojen alin arvo oli itse asiassa herneellä suurempi kuin muilla. Jos lupiin typpisidonta ylitti 30 kg ha<sup>-1</sup> ja herneen 39 kg ha<sup>-1</sup>, oli niiden typpisaldo positiivinen.

Lupwayi ym. (2009) totesivat, että tuleentuneena korjatun herneen jälkeen typen nettomineralisaatio oli vain 2–8 kg ha<sup>-1</sup>, mutta huomauttivat, että herneen typen vapautumista pidemmällä aikavälillä olisi hyvä tutkia. Lehdellinen lajike oli ainoa, joka satoi yhtä paljon typpeä kuin sadossa poistui, joten sillä oli enemmän potentiaalia vapauttaa typpeä kuin puolilehdettömillä lajikkeilla. Lindén (2008) päätyi herneen typpilannoitusvaikutuksen olevan 20–30 kg ha<sup>-1</sup> verrattuna kauraan esikasvina. Typpivaikutuksen hän arveli olevan hieman suurempi seuraavalle syysviljalle kuin kevätiljalle. Ratkaisevinta hänen mukaansa kuitenkin on, minkä verran mineraalityppeä on maassa jäljellä kevään koittaessa. Suomessa Laine ja Vuorinen (2010) ovat todenneet herneen jälkeen voitavan vähentää typpilannoitusta 25–30 kg ha<sup>-1</sup>.

Lindén (2008) havaitsi, että herneen satoa lisäävä esikasvivaikutus ohraan, vehnään ja rukiiseen verrattuna väheni lannoitetyypeä lisättäessä joskus, mutta ei aina. Jälkimmäisessä tapauksessa herne oli vähentänyt seuraavan kasvin tautisuutta. Ensimmäisessä tilanteessa taas sadonlisäys oli lähes pelkästään herneen

typpivaikutuksen varassa. Se heikkeni, kun seuraavan kasvin typpilannoitusta lisättiin. Jokioisten esikasvikoikeessa (Känkänen ym. 2012), herne esikasvina kompensoi silti 30 kg ha<sup>-1</sup> alennetun vehnän typpilannoituksen, vaikka suuria tautipaineita seuraavaa kevätvehnää kohtaan ei ollut.

Kun em. kokeessa käytettiin suorakylvöä, herne ei esikasvina kompensoinut typpilannoituksen vähennystä vastaavasti kuin muokatussa maassa. Osittain syynä oli se, että hernekasvuston biomassassa jäi suorakylvössä keskimäärin pienemmäksi. Ilmeisesti puintitähteiden typpi myös siirtyi heikommin seuraavan kasvin käyttöön muokkaamattomassa maassa (Kristensen ym. 2000). Suorakylvö näyttää siis toisaalta heikentävän mahdollisuuksia säästää fossiilista energiaa biologisen typensidonnan avulla, mutta toisaalta energiaa säästyy, koska maata ei muokata.

Norjalaisissa luonnonmukaisen viljelyn kokeissa on ohrasta ja kaurasta saatu 1000 kg ha<sup>-1</sup> suurempia satoja härkäpavun kuin viljojen jälkeen. Eltun ym. (2001) selittävät sen johtuvan härkäpavun suuresta olki- ja juurimäärästä. Vaikka Jensenin ym. (2010) mukaan härkäpavun typpihyöty seuraavalle kasville ylittää usein 100 kg ha<sup>-1</sup>, jää Nyberg ja Lindén (2008) mukaan härkäpavun oljesta maahan keskimäärin vain 38 kg ha<sup>-1</sup>, ja oljen typpipitoisuus (C/N –suhde 36) on niin alhainen että massa pikemminkin aiheuttaa typen sitoutumista maahan kuin sen vapautumista kasvien käyttöön. Tilanne on samankaltainen kuin tuleentuneena korjatun herneen jälkeen. Lindénin (2008) mukaan härkäpavun typpilannoitusvaikutus olikin keskimäärin vain 20 kg ha<sup>-1</sup> eli samansuuruinen tai jopa hieman pienempi kuin herneen. Kummaankaan esikasvin kohdalla typpeä ei vapautunut merkittävästi enää seuraavan viljan kasvun aikana, vaan typpihyöty syntyi lisääntyneestä typen saatavuudesta kasvukauden alussa.

Koska annetusta väkilannoite tpeestä jää keskimäärin neljäsosa käyttämättä, on palkokasvin typpilannoitusvaikutus jaettava luvulla 0,75, jotta saadaan typpilannoitetta korvaava arvo. Tämänkin jälkeen on otettava huomioon seuraavan kasvin suurenevasta sadosta johtuva kasvava typen tarve. Lopulta Lindén (2008) päätyi siihen, että hernekokeiden perusteella taloudellisesti optimaalinen väkilannoitetypen vähennys oli 25–30 kg ha<sup>-1</sup>.

Jensen ym. (2004) mukaan lupiinin siementen typpisato oli huomattavasti suurempi kuin herneen. Hieta- maassa lupiinin jälkivaikutus seuraavaan ohraan oli hernetä suurempi, savisemmassa maassa samansuuruinen. Australiassa lupiini lisäsi vehnän satoa selvästi enemmän kuin muut palkokasvit, vaikka kaikilla niillä oli edullinen satovaikutus vehnän lisääntyneen typensaannin ansiosta (Asseng ym. 1998). Lupiinin jälkeen vehnän juuritiheydellä ja juurten pituudella oli taipumusta lisääntyä ja vedenotto parani. Evans ym. (2001) arvioivat lupiinin puintitähteiden vastanneen keskimäärin 40 prosentista (noin 25 kg ha<sup>-1</sup>)

seuraavan vehnän jyväsadon tpeestä, kun herneen vastaava arvo oli 15–30 %. Myös Suomessa lupiinit voivat olla tulevaisuudessa tärkeitä viljelykasveja (Stoddard 2012), mikä voi lisätä palkoviljojen merkitystä typen tuottajina viljelykierrossa. Tämän raportin arviot perustuvat kuitenkin vielä herneestä ja härkäpavusta saatuihin kokemuksiin.

Palkoviljojen typpilannoitusvaikutus vaihtelee ympäri maailmaa erittäin paljon monista tekijöistä johtuen (Kirkegaard ym. 2008). Meidän kannaltamme käyttökelpoisimpia ovat ruotsalaisten ja suomalaisten tutkimusten tulokset ja kokemukset. Niiden perusteella tuleentuneena korjattujen palkoviljojen typpilannoitustehona voidaan pitää 25 kg ha<sup>-1</sup>. Yleistämme mainitun typpilannoitustehon koskemaan tässä kaikkia palkoviljoja, vaikka arviointien perustana ovat tutut herne ja härkäpapu. Tulevaisuudessa viljelykiertojamme rikastuttamaan tulevilla palkokasveilla, kuten lupiineilla, typpilannoitusteho voi olla toisenlainen.

#### 6.2.4 Rehunurmien typpijälkivaikutus

Puhtaan puna-apilanurmen jälkivaikutuksen on Ruotsissa todettu olevan 35–40 kg N ha<sup>-1</sup>. Puna-apilan ja heinän seoskasvuston typpivaikutus on suuruudeltaan 30 kilon luokkaa, joskus vain 20 kg ha<sup>-1</sup>. Puhtaan heinäurmen jälkeen lienee Lindénin (2008) mukaan turha odottaa typpilannoitushyötyä, vaan pikemminkin negatiivista typpivaikutusta.

Jos heinänurmia korvataan apilanurmilla, säästetään nurmivuosien typpilannoitteissa. Sen sijaan nurmen jälkeen ei välttämättä säästetä typpilannoituksessa niin paljon, kuin nurmista siirtyvän typen perusteella voisi olettaa. Näin käy, jos seuraavan kasvin sadontuottamisen edellytykset paranevat edeltävän nurmen ansiosta. Lindén (2008) sai huomattavaa sadonlisää nurmien jälkeen vielä 80 kg ha<sup>-1</sup> typpilannoituksella.

Tällaisessa tapauksessa lannoitteita kuluu vähemmän tuotettua kiloa kohti, mutta pinta-alaa kohti säästö on pieni. Jos suurimmista sadoista tingitään, lannoitesäästö hehtaaria kohti kasvaa. Tyytyminen 1000 kg ha<sup>-1</sup> pienempään jyväsatoon merkitsi Lindénin (2008) kokeissa 80 kg ha<sup>-1</sup> typpilannoitussäästöä. Viljan jyväsato oli silti varsin hyvä, yli 5000 kg ha<sup>-1</sup>.

Suomessa typpilannoitusta palkokasvinurmien jälkeen on tutkittu vähän. Esimerkiksi MTT:n lajikeko-keissa ovat apilat esikasveina lisänneet viljan jyväsatoa, mutta apiloiden typpilannoitteen korvaamiskykyä ei aineistosta pysty laskemaan. Nykänen ym. (2008) mukaan puna-apilapitoiset nurmet antoivat 5 - 20 kg ha<sup>-1</sup> typpilannoitusvaikutuksen viljoihin verrattuna. He totesivat, että jos viimeinen sato viedään pellolta pois, tarvitaan enemmän muuta tyyppiä seuraavalle kasville, kuin jos viimeinen kasvu jätetään viherlannoitukseksi. Oletamme motivaation tyyppi säästämiseen olevan korkealla ja perustelemme myös Ruotsin suuremmilla typpilannoitusvaikutuksilla, kun käytämme typpilannoitussäästönä palkokasvinurmien jälkeen 30 kg ha<sup>-1</sup>.

Arviotamme palkokasvinurmen typpilannoitustehosta voidaan pitää jopa alhaisena, jos sitä vertaa Riesin-gerin (2010) 34 suomalaiselta luomutilalta saamiin tuloksiin. Jos 40 % viljelykierrosta koostui puna-apilan ja heinäkavien muodostamasta rehunurmesta, pystyi biologinen typensidonta turvaamaan kolme seuraavaa viljasatoa. Vastaavan viherlannoitusnurmen typensidonta riitti kahdelle seuraavalle viljasadolle. Näin saatujen viljasatojen suuruus oli 3000–4000 kg ha<sup>-1</sup>. Jos tavanomaisessa viljelyssä haluttaisiin säästää väkilannoitetyppiä enemmän kuin olettamamme 30 kg ha<sup>-1</sup>, seuraavien viljasatojen määrästä olisi todennäköisesti oltava valmis jossain määrin tinkimään.

### 6.2.5 Laitumien typpijälkivaikutus

Eriksenin (2001) mukaan karjan pellolle tuottaman lannan ja etenkin palkokasvien käytön jäljiltä laitumen kyntö johtaa niin voimakkaaseen tyyppi vapautumiseen, että se usein ylittää seuraavan kasvin tarpeet. Tarvittiin 115 kg ha<sup>-1</sup> typpilannoitetta, jotta viljan jälkeen päästiin samaan viljasatoon kuin valkoapilaa ja raiheinää kasvaneen laitumen jälkeen. Sen, että myös maksimisadot olivat suurempia laitumen kuin viljan jälkeen hän arveli johtuvan siitä, että nurmi oli parantanut maan rakennetta ja suojannut tauteja vastaan. Toisena vuonna laitumen kynnon jälkeen apila-heinälaitumen typpiarvo oli 60 kg ha<sup>-1</sup> ja laidunnetun raiheinän 40 kg ha<sup>-1</sup>, kun niitonurmena kasvaneen raiheinän jälkivaikutus oli negatiivinen. Kolmantena vuonna laitumen jälkivaikutus oli hyvin pieni tai sitä ei ollut lainkaan. Eriksenin (2001) tuloksista on tämän raportin kannalta merkityksellisintä, että valkoapilaa sisältäneen laitumen typpilannoitusarvo oli sekä ensimmäisenä että toisena vuonna laitumen jälkeen noin 20 kg ha<sup>-1</sup>, eli yhteensä 40 kg ha<sup>-1</sup> suurempi kuin vain heinälajia kasvaneen laitumen jälkeen. Raportin laskelmissa apilalaitumen typpilannoitusteho on sama kuin niitonurmen eli 30 kg N ha<sup>-1</sup> yhden jälkivaikutusvuoden ajan.

### 6.2.6 Typpihyödyn optimointi on monisyistä

Palkokasvien typpihyöty seuraavalle kasville on kaikkialla maailmassa suurimmillaan alhaisilla väkilannoitetyyppi määrillä (Kirkegaard ym. 2008). On ilmeistä, että jos halutaan korvata mahdollisimman paljon synteettistä tyyppiä biologisesti sidotulla, pitää seuraavan kasvin sadosta hieman tinkiä. On siis vähennettävä väkilannoitetyyppi määrää enemmän kuin muuten vähennettäisiin, ja jopa alle taloudellisen optimin. Vähintään tulee pyrkiä siihen, että ei ylitetä typpilannoituksen taloudellista optimia eli että lisätyn tyyppi kustannus ei ylitä lisäsadosta saatavaa tuottoa. Koska taloudellinen optimi vaihtelee lannoitteiden ja viljan hintojen heilahtelujen mukana, vaihtelee myös sen perusteella laskettu typpilannoitushyöty. Asian tekee entistä monimutkaisemmaksi aiemmin eri yhteyksissä mainittu biologisen lannoitusoptimin muuttuminen, kun kasvun edellytykset esikasvin ansiosta paranevat. Tarkkojen taloudellisten optimien laskentaan ei tässä raportissa edes pyritä.

Joidenkin palkokasvien on todettu mobilisoineen maahan sitoutunutta fosforia (Hocking, 2001). Nämä fosforiin liittyvät vaikutukset ovat kuitenkin Kirkegaardin ym.(2008) mukaan epävarmoja, eikä mahdollisia muiden ravinteiden kuin tyyppi säästöjä ole tässä raportissa otettu huomioon. Oletuksena onkin, että väkilannoitetyppiä vähennettäessä muiden ravinteiden osuus lannoitevalmisteessa kasvaa. Tällöin esikasvista aiheutuvaa energian säästöä syntyy lannoitteen valmistuksessa lähinnä vain tyyppi osalta ja kuljetussessakin vain niiltä osin, kuin lannoitevalmisteiden kokonaismäärä pienenee. Lisäsäästöä raportin laskelmiin nähden voi syntyä fosforirikkailla ja muutenkin ravinteikkailla mailla, jos väkilannoitteen levitys voidaan jättää kokonaan pois. Kyseisiä lisäsäästöjä ei raportin laskelmiin ole sisällytetty.



**TYPPILANNOITETTA KORVAAVA ARVO**  
(koskee seuraavan kasvin lannoitusta)

Viherkesannot 70 kg N ha<sup>-1</sup>

Rehunurmet (myös laitumet) 30 kg N ha<sup>-1</sup>

Palkoviljat 25 kg N ha<sup>-1</sup>

Apilat aluskasveina 20 kg N ha<sup>-1</sup>

2. vuosi, monivuotinen viherkesanto 20 kg N ha<sup>-1</sup>



---

## 7 Käytettävissä oleva peltoala

---

### 7.1 Nykyiset viljelyalat

Suomen käytössä oleva maatalousmaa on yhteensä noin 2,3 miljoonaa hehtaaria (Tike 2011a). Eloperäisiä maita eli turve- ja multamaita on viljelyksessä 252 000 ha eli 10,4 % kokonaispeltoalasta (Myllys ym. 2012), tosin tarkennuksia pinta-alaan voi vielä tulla. Eloperäinen maa jakautuu maantieteellisesti epätasaisesti. Eteläisimmässä Suomessa sitä on vain 2–4 %, Keski-Suomessa 6–10 %, Itä-Suomessa noin 12 % ja Keski-Pohjanmaalla 17 %. Suomen pohjoisosissa eloperäisten maiden osuus on noin neljännes. Nurmettomat ja nurmelliset tilat painottuvat maantieteellisesti eri tavoin, joten maalajien suhteellinen osuuskin tilaryhmien välillä on erilainen. Viljojen ja öljykasvien osalta eloperäisiä maita arvioimme olevan 8 %. Nurmien osalta eloperäisiä maita arvioimme olevan 13 %.

Viljatilaille tyypillisten kasvien viljelyala on nykyisin noin 57 % koko peltoalasta, kun rehunurmien osuus on noin 28 % ja ryhmään muut (mm. luonnonhoitopellot ja kesannot) kuuluu lähes 12 % peltoalasta.

Tavanomaisesti eli väkilannoitteita käyttäen viljeltyjen tilojen pinta-ala kasviryhmittäin laskettiin vuosien 2010 ja 2011 tietojen perusteella (taulukko 6). Jo seuraavana vuonna tilanne olisi ollut jossain määrin erilainen, sillä vilja-ala kasvoi ja öljykasvien sekä ruokohelven ala pieneni voimakkaasti v. 2012.

Tavanomaisen viljelyn pinta-alat laskettiin vähentämällä kokonaistilastoista luonnonmukaisen viljelyn osuus. Koska koko maatalouden ja luonnonmukaisesti viljelyn pellon käyttö tilastoidaan hieman toisistaan poikkeavasti, otettiin huomioon sekä luomun keskimääräinen 8 % osuus että käytettävissä olevat luomutilastot (Evira 2012 ja Kankaanpää, julkaisematon tieto 2012), joiden mukaan luomussa on suhteellisesti vähemmän viljakasveja ja enemmän nurmia kuin tavanomaisessa viljelyssä. Viherlannoitusnurmia on luomuviljelyssä suhteellisesti enemmän ja luonnonhoitopeltoja vähemmän kuin tavanomaisessa viljelyssä. Tarkennusten jälkeenkin tavanomaisen viljelyn kasviryhmäkohtaisiin pinta-aloihin jää virhettä. Eniten poikkeamaa nykytilanteeseen verrattuna aiheuttaa kuitenkin luomualan jatkuva kasvu. Raportin kokonaistavoitteen kannalta pinta-alojen suuruusluokat ovat kuitenkin riittävän tarkkoja.

Tavanomaisesti viljellyn pellon osalta laskettiin erikseen eloperäisten eli vähemmän typpilannoitusta tarvitsevien maiden ja kivennäismaiden pinta-alat kasviryhmittäin. Kaiken kaikkiaan muutokset niin luomualassa kuin tavanomaisen viljelyn peltoalan käytössä aiheuttavat sen, että tulos olisi jo ensi vuonna jossain määrin erilainen. Väkilannoitetyypen ja energian säästön suuruusluokan kannalta pinta-alojen muutoksilla on sittenkin varsin pieni merkitys.

Taulukko 6. Eri kasvien kokonaisalat (1000 ha), laskettuna vuosien 2010 ja 2011 tilastojen (Tike 2011a) perusteella. Tavanomaisesti viljeltyt alat on laskettu vähentämällä kokonaisaloista luomun osuus. Tavanomaisen viljelyn jakautuminen eloperäisille ja kivennäismaille on laskettu erikseen. Luomua koko alasta oli 180 000 ha eli 8 %. Kasviryhmi- en pinta-aloissa on otettu huomioon, että tavanomaisessa viljelyssä viljojen ja luonnonhoitopellon suhteellinen osuus on suurempi sekä rehunurmien ja viherlannoitusnurmien pienempi kuin luonnonmukaisessa viljelyssä. Pinta-alat ovat osittain arvioita. Viljojen ja öljykasvien osalta eloperäisiä maita arvioitiin olevan 8 %. Nurmien osalta eloperäisiä maita arvioitiin olevan 13 %. Muiden kasvien osalta pyrittiin ottamaan huomioon niiden viljeltävyys eloperäisillä mailla. Las- kennallisesti päädyttiin samaan eloperäisten maiden osuuteen (10,4 %), kuin niiden osuus peltojen kokonaisalasta on vielä tarkentumassa olevan tiedon (Myllys ym. 2012) perusteella.

#### Eri kasvien pyöristetyt, osin arvioidut viljelyalat (1000 ha)

|                             | Kaikki pellot | Tavan-omainen | Tavanomaisista: eloper. | kiv. maa |
|-----------------------------|---------------|---------------|-------------------------|----------|
| <u>Myyntiin tai rehuksi</u> |               |               |                         |          |
| Viljakasvit                 | 1 109         | 1 050         | 85                      | 965      |
| Rehunurmet                  | 570           | 510           | 65                      | 445      |
| Öljykasvit                  | 130           | 125           | 10                      | 115      |
| Laidun                      | 75            | 65            | 8                       | 57       |
| Peruna                      | 25            | 24            | 6                       | 18       |
| Kumina                      | 20            | 20            | 2                       | 18       |
| Puutarhakasvit              | 17            | 16            | 4                       | 12       |
| Palkoviljat                 | 15            | 12            | 0                       | 12       |
| Ruokohelpi                  | 15            | 15            | 10                      | 5        |
| Sokerijuurikas              | 14            | 14            | 1                       | 13       |
| Siemenheinä                 | 10            | 9             | 1                       | 8        |
| yhteensä noin               | 2 000         | 1 860         | 192                     | 1 668    |
| <u>Muu ala</u>              |               |               |                         |          |
| Luonnonhoitopellot          | 150           | 140           | 15                      | 125      |
| Kesannot                    | 70            | 60            | 6                       | 54       |
| Viherlannoitusnurmi         | 60            | 45            | 5                       | 40       |
| Nurmet vähintään 5 v.       | 30            | 25            | 3                       | 22       |
| yhteensä noin               | 310           | 270           | 29                      | 241      |
| Kaikki noin                 | 2 310         | 2 130         | 221                     | 1 909    |

## 7.2 Jakautuminen tilaryhmiin

Tiloilla, joilla ei viljellä rehunurmia, on maatilalaskennan (Tike 2012a) tilastoista välillisesti laskien peltoa viljelyssä noin 1,5 miljoonaa hehtaaria. Kun tästä tehdään koko peltoalan prosenttiosuuksia vastaavat vähennykset luomualaa (8 %), jolla väkilannoitetyppi on jo nyt poissuljettu vaihtoehto ja eloperäiset maat (10 %), joilla viherlannoituksen väkilannoitetta korvaava merkitys on kasvinviljelytiloilla pieni, jää jäljelle alaspäin pyöristettynä 1,2 milj. ha. Näin yksioikoinen laskentatapa todennäköisesti yliarvioi sen pinta-alan, jolle voidaan rakentaa biologista typensidontaa tehokkaasti käytävä kasvinviljelytilan viljelykierto. Arviota tarkentaa peltoalan jakaminen erilaisiin tilaryhmiin.

Viljanviljelyä, erikoiskasvintuotantoa tai muuta kasvintuotantoa harjoittaviin tilaryhmiin (ryhmä A) kuuluu nykyisin laskennallisesti 54,5 % peltoalasta. Nurmirehuruokinnan mahdollistaviin kotieläintiloihin (B) kuuluu 35,2 % ja väkirehuruokintaan perustuviin kotieläintiloihin (C) 8,2 % peltoalasta. Loput 2 % peltoalasta kuuluu puutarhakasveja ja muita kasveja (D) viljelevään tilaryhmään (Taulukko 7). Ryhmät A ja C kuuluvat pääasiassa nurmettoman viljelyn ryhmiin. Ryhmän A viljelykasvien pinta-alojen suhteet muuttuvat oleellisesti, kun biologinen typensidonta otetaan tämän selvityksen mukaiseen käyttöön. Ryhmän B viljelykasvien pinta-alojen oletetaan pysyvän ennallaan, nurmissa vain otetaan palkokasvit käyttöön siinä suuruusluokassa kuin se myöhemmin on katsottu mahdolliseksi. Ryhmän C viljelyn muuttaminen on vaikeampaa kuin ryhmän A, usein suurten lannanlevitystarpeiden ja rehuviljan tuotantarpeen vuoksi. Ainakin palkoviljojen ja aluskasvien viljelyn lisääminen on silti mahdollista. Siksi ryhmän C oletetaan tehostavan biologista typensidontaa tavalla, joka vastaa kolmasosan sen pinta-alasta siirtymistä esimerkkikiertoon. Ryhmän D väkilannoitetyypen käytön oletetaan pysyvän ennallaan jo ryhmän pienen

koonkin vuoksi, vaikka viherlannoituksen hyödyntäminen on ryhmän sisällä mahdollista. Kaikkiaan tehostettu palkokasvikierto on mahdollinen 1,1 miljoonan hehtaarin alalla nykyisin viljellystä peltoalasta. Tämä sisältää jo ns. kesantoalan (mm. luonnonhoitopellot), joka tässä selvityksessä oletetaan otettavaksi pääosin mukaan palkokasveja tehokkaasti käyttävään viljelykiertoon.

Taulukko 7. Eri tilaryhmien pellon määrä Suomessa, 1000 ha. Pinta-alat on laskettu Tiken tilastojen perusteella.

|  | Tavanomaisesti viljellyt maatilat |                              |                                 |                   |                   |                                 |
|--|-----------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------|
|  | Pelto-<br>ala <sup>1)</sup>       | kaikki<br>maat <sup>2)</sup> | kivennäis-<br>maa <sup>3)</sup> | %-osuus<br>kaikki | kiven-<br>näismaa | %-osuus<br>ryhmät <sup>4)</sup> |
| Rehunurmia viljelevät <sup>5)</sup>                      | 785                               | 722                          | 628                             | 34,2              | 33,0              |                                 |
| Hevostilat   | 23                                | 21                           | 18                              | 1,0               | 1,0               |                                 |
| Muut kotieläintilat <sup>6)</sup>                        | 188                               | 173                          | 159                             | 8,2               | 8,4               | 43,5                            |
| Viljanviljely  | 950                               | 874                          | 804                             | <b>41,4</b>       | 42,3              |                                 |
| Erikoiskasvintuotanto                                    | 179                               | 165                          | 152                             | <b>7,8</b>        | 8,0               |                                 |
| Muu kasvintuotanto                                       | 121                               | 111                          | 102                             | <b>5,3</b>        | 5,4               | <b>54,5</b>                     |
| Puutarhatuotanto   | 33                                | 31                           | 29                              | 1,5               | 1,5               |                                 |
| Muu tuotanto   | 13                                | 12                           | 11                              | 0,6               | 0,6               | 2,0                             |
| yhteensä   | 2292                              | 2109                         | 1903                            | 100               | 100               | 100                             |
| Tehostettu palkokasvikierto on mahdollinen <sup>7)</sup> |                                   |                              | 1111                            | 58,4              |                   |                                 |

1) Perustuu maatalouslaskentaan 2010 (Tike 2012a).

2) Luomun osuus tuotannosta, 8 % (puutarha 6 %) on vähennetty. Tavanomaisen viljelyn pinta-alat on laskettu olettaen, että luomun osuus pätee kaikkiin tilaryhmiin (vaikka niin ei välttämättä täsmälleen ole).

3) Viljojen ja öljykasvien osalta eloperäisiä maita arvioitiin olevan 8 %. Nurmien osalta eloperäisiä maita arvioitiin olevan 13 %.

4) Samalla fontilla merkityt tilaryhmät on laskettu yhteen.

5) Lypsykarja-, muut nautakarja- ja lammastilat, palkokasvit mahdollisia.

6) Sika ja siipikarjatalous, palkokasvit osittain mahdollisia.

7) Tavanomaiset peltokasvitilat sekä kolmasosa sika- ja siipikarjatilastoista.

## 7.3 Kasviryhmiä alat ja alojen muutokset

### 7.3.1 Rehunurmien pinta-ala

Tavanomaisesti viljeltyjä rehunurmia on yhteensä 510 000 ha. Näistä arviolta 65 000 ha on eloperäisiä maita (taulukko 6), joiden typpilannoitustarve on kivennäismaita pienempi, mutta joille on mahdollista löytää viljelyyn sopivia palkokasvilajeja. Koska karjanlannan osuus nurmien saamasta tyypeistä on pieni ja fosforista sekä kaliumista suuri (ProAgria 2011), voidaan apiloiden viljely olettaa mahdolliseksi vaikka karjanlantaa levitetäänkin. Väkilannoitteiden levittämisestä satovuosina voitaisiin osittain jopa luopua, jos mahdollinen fosforin lisätarve annettaisiin peruslannoituksena. Karjanlannan kuten muiden lähteiden tyyppi kuitenkin vähentää palkokasvien biologisen typensidonnan tehoa ja lisää seoksen muiden kasvien voimaa kilpailla palkokasveja vastaan.

Varovaisuusperiaatetta noudattaen laskelmissa oletetaan, että neljä viidesosaa rehunurmien väkilannoitetyypin käytöstä on korvattavissa biologisella typensidonnalla. Tarkemmin ei oteta kantaa siihen, kertyykö jäljelle jäävä viidesosa tilanteista, joissa käytetään karjanlannan lisäksi pelkästään väkilannoitetyyppeä vai osittain väkilannoitetyyppeä ja biologisesti sidottua tyyppiä. Oletus edellyttää myös puna-apilan täydennyskylvöjä, kuten tämän raportin konetöihin liittyvässä osuudessa on muutenkin oletettu. Ruokinnallisia esteitä palkokasvien käyttöön rehunurmissa ei ole, ja puna-apilapitoisen säilörehun on todettu lypsättävän hyvin (Heikkilä ym. 1996, Kuoppala 2010).

### 7.3.2 Palkoviljojen potentiaalinen ala

Kotimaisen valkuaisomavaraisuuden parantaminen globaaliuutosten paineessa (OMAVARA) -hanke arvioi valkuaiskasvien tuotannon merkittävän lisäämisen nykyisestä olevan mahdollista (Peltonen-Sainio ym. 2012). Hanke totesi rypsilä ja rapsilla olevan huomattava rooli kamppailussa tuontisoijaa vastaan, mutta myös palkoviljojen mahdollisuudet ovat nykyviljelyä paljon suuremmat. Kotimaisten tutkimusten mukaan herneen siemen soveltuu hyvin lypsylehmien rehuksi, vaikka ei valkuaisarvoltaan ole aivan rypsin veroinen (Puhakka ym. 2012). Härkäpavusta ja lupiineista lypsylehmien rehuna ei ole juuri kotimaisia tutkimustuloksia, mutta Puhakka ym. (2012) toteavat, että ulkomaisten tutkimusten mukaan härkäpavun ja lupiinin maidontuotantovaikutus on joissakin kokeissa ollut jopa soijan luokkaa. Niemi ym. (2012) totesivat, että vaikka kotimaisten palkoviljojen aminohappokoostumus on sikojen kannalta soijapapua epäedullisempi, oli soijarouheen korvaaminen rehuherneellä, jota täydennetään rypsirouheella ja härkäpavulla, taloudellisesti varteenotettava vaihtoehto lihasikojen ruokinnassa syksyn 2011 hintasuhteilla. Tutkijat muistuttivat, että kannattavuus riippuu suuresti viljan ja palkoviljojen hintojen keskinäisestä suhteesta.

Peltonen-Sainio ym. (2012) arvioivat palkoviljojen merkityksen tulevaisuudessa kasvavan ilmastonmuutoksen myötä. Palkoviljojen tuotantoedellytykset viljelykierron mahdollisuudet huomioiden olisivat heidän mukaansa jo tällä hetkellä 180 miljoonaa kiloa, ja 400 miljoonaa kiloa vuosisadan puolivälissä. Nykyisten keskisatojen (noin 2300 kg ha<sup>-1</sup>, Tike 2012c) perusteella edellinen lukema tarkoittaisi noin 80 000 hehtaarin alaa, jälkimmäinen nousevan satotason myötäkin kenties 150 000 hehtaaria. Stoddard ym. (2009) arvioivat tarvittavan juuri kyseinen ala korvaamaan tuontisoijia palkoviljoilla, tosin 2000 kg ha<sup>-1</sup> keskisadon perusteella laskien. Paitsi rehuna, palkoviljojen käyttö ihmisravintona voi tulevaisuudessa lisääntyä.

Viljaa, öljykasveja ja palkoviljoja viljellään nykyään noin 1,3 miljoonan hehtaarin alalla (Tike 2012b). Jos nautakarjatiloilta hyödynnetään täysimääräisesti nurmipalkokasveja ja lantaa, on viljojen viljely nurmen väli vuosina perustellumpaa kuin palkoviljojen viljely. Potentiaaliseksi alaksi, jolla palkoviljoja voidaan hyödyntää, jää tilastoista välillisesti arvioiden noin miljoona hehtaaria. Jos huomioon otettaisiin pelkkä väli vuosien tarve palkokasvin viljelyssä tietyllä loholla, voitaisiin niitä viljellä siis 200 000 hehtaaria. Multa- ja turvemaidilla, joita Suomen pelloista on vielä tarkentumassa olevan tiedon perusteella 10,4 % (Myllys ym. 2012), ei palkoviljojen viljely ole realistinen vaihtoehto. Palkoviljoja voitaisiin siten teoreettisesti viljellä vuosittain maksimissaan 180 000 hehtaarin alalla. Pääosin tämä ala kertyisi vilja- ja sikatiloilta. Palkoviljaa sisältävä seosviljely voi olla erittäin varteenotettava ja usein käyttöön tuleva vaihtoehto, mutta koska se on ikään kuin muiden palkoviljaratkaisujen kilpailija tai osatekijä, jätetään se pinta-alalaskelmissa huomiotta.

Palkoviljoja voidaan hyödyntää myös korjaamalla koko kasvusto kokoviljasäilörehuna puhtaana tai seoksena viljojen kanssa. Koska kokoviljasäilörehu on viljelykierron vaatimukset huomioiden tehokkaan palkokasvien hyödyntämisen tilanteessa yleensä vaihtoehto rehuksi korjattavalle tuleentuneelle palkoviljalle tai palkokasvinurmille, ei sen mahdollisuuksia käsitellä erikseen tässä raportissa. Vaikka palkokasvien mahdollisuudet täyttyvät laskennallisesti jo muista vaihtoehtoista, ei se tarkoita, ettei kokoviljasäilörehu olisi yksi mainio keino lisätä palkokasvien käyttöä Suomen maataloudessa. Saarinen ym. (2012) esimerkiksi totesivat härkäpavu-vehnä -seoksen potentiaaliseksi ja satovarmaksi kokoviljasäilörehun raaka-aineeksi.

### 7.3.3 Monivuotisen viherkesannon ala

Heikkoon kasvukuntoon päässeen pellon parantaminen vahvajuuristen kasvien avulla voi olla ratkaisevin syy monivuotisten viherkesantojen viljelyyn. Samalla maa saa levätä raskailta koneilta. Monivuotiset viherkesannot voivat auttaa myös maan hiilivaraston lisäämisen kasvavassa tarpeessa, jonka tyydyttämisessä palkokasveilla on todettu olevan huomattavan tärkeä rooli (Jensen ym. 2012). Palkokasvien hyödyntäminen maata parantavassa ja hiiltä sitovassa tehtävässä merkitsee myös suurta typpilannoitusvaikutusta, kuten edellä on todettu.

Nykyisin lepoon tavallisista viljelytoimista laitetut pellot ovat usein kaukana talouskeskuksesta sijaitsevia, pieniä tai muuten hankalasti viljeltäviä lohkoja. Viljelemättömyys voi jatkua pitkäänkin, eikä palkokasveista saada tehokkaasti irti viljelykierto- ja lannoitusvaikutusta.

Oletamme, että nykyisin yksipuolisessa viljatilassa kasvien viljelyssä olevasta pinta-alasta 55 000 hehtaaria otetaan vuosittain käyttöön kolmivuotinen viherkesanto. Yhteensä siis 165 000 hehtaaria on kasvussa viherkesannon ensimmäinen, toinen tai kolmas vuosi. Monivuotisten viherkesantojen kierrättäminen tuotantonurmia viljelemättömien tilojen kaikilla pelloilla kestää siten noin 20 vuotta.

Suurin osa kiertävään monivuotiseen viherkesantoon tarvittavasta alasta vapautuu pelloilta, joilla nyt on erilaisia kesantoja, luonnonhoitopeltoja ja viherlannoitusnurmia. Tavanomaisesti viljellyillä kivennäismailla kyseinen ala on noin 220 000 ha (taulukko 6). Oletetaan, että kyseisistä pelloista noin 60 % on tiloilla, joilla tehostettu palkokasvikierto on mahdollinen, mikä vastaa tällaisten tilojen osuutta kokonaispinta-alasta (taulukko 7). Arvioimme siis, että nykyisin luonnonhoitopeltoina ja kesantoina olevasta alasta tulee 130 000 ha tehokkaaseen viherlannoituskäyttöön. Viherkesantovuosilta ei silloin tämän alan osalta synny lannoitesäästöä nykykäyttöön verrattuna. Viljanviljelystä kolmivuotisiin viherkesantoihin siirtyy 35 000 ha.

### 7.3.4 Yksivuotisen viherkesannon ala

Yksivuotisten viherkesantojen lisäämismahdollisuutta on vaikeaa arvioida. Ratkaisevin tekijä on lyhyen aikavälin kannattavuus, jota ei tässä yhteydessä ole laskettu. Suurimmat tekijät kannattavuudessa lienevät viljan ja lannoitteiden hinta. Lisäksi viljelijän päätökseen voi vaikuttaa halu parantaa maan kasvukuntoa.

Alasta, jolla tehostettu palkokasvikierto on mahdollinen, on edellä arvioitu käytettäväksi palkoviljojen ja monivuotisten viherkesantojen viljelyyn vuosittain 345 000 ha. Jos yksivuotisia viherlannoitusnurmia otetaan käyttöön, on käytettävä sellaisia kasvilajeja, jotka eivät aiheuta haittaa palkoviljojen tehokkaalle viljelylle. Monipuolisesta palkokasvilajistosta on vaihtoehdot todennäköisesti löydettävissä. Palkoviljojen jälkeen (180 000 ha) kannattaa viljellä ainakin vuosi viljaa, monivuotisen viherkesannon jälkeen kaksikin vuotta (55 000 ha + 55 000 ha). Jäljellä yksivuotisten viherlannoituskasvien käytettäväksi olisi tässä vaiheessa noin 460 000 ha. Toisaalta myös yksivuotisen viherkesannon vapauttama tyyppi pitää hyödyntää ilmakehän typensidontaan kykenemättömän viljelykasvin avulla seuraavana kesänä. Äärimmäisen tehokkaassa yksivuotisten viherkesantojen käyttötilanteessa niitä voisi siis olla 230 000 hehtaaria. Koska taloudelliset seikat tuskin puoltavat näin tiheää viherlannoituksen käyttöä ja kahden vuoden väli eri palkokasvien jälkeen on usein perusteltua, lienee realistisempi yksivuotisten viherkesantojen vuosittainen pinta-ala noin neljäsosa maksimaalisesta määrästä eli noin 60 000 ha.

### 7.3.5 Aluskasveille jäävä ala

Aluskasvit voivat olla vaihtoehtoina em. viherlannoituskasvustoille, jolloin tyyppihyöty pienenee huomattavasti, mutta myyntikasvien viljely ei vähene nykyisestä. Tässä raportissa kuitenkin oletetaan, että palkoviljoja ja viherlannoituskasvustoja viljellään edellä arvioitujen pinta-alojen verran, jonka lisäksi apiloita hyödynnetään maksimaalisesti aluskasveina. Arvioon ei sisällytetä heiniä aluskasveina, vaikka ne pienentävät typen huuhtoutumisen riskiä ja parhaimmillaan auttavat siirtämään liukoista typpeä seuraavan kasvin käyttöön.

Apila-aluskasveja ei kannata viljellä ennen viherlannoitusnurmia. Niiden käyttöä ennen palkoviljoja ei ole tutkittu, mutta teoriassa kohtuullinen aluskasveista muodostunut apilan kasvusto voisi varmistaa, että seuraavalle herneelle ei tarvita lainkaan starttityppeä.

Yksi- ja monivuotisten nurmien jälkeen apiloiden kasvu voi jäädä heikoksi, kun pääkasvi hyödyntää edellisen kasvin massasta vapautuvaa typpeä. Koska oletuksena on hyvä viherlannoituskasvustojen tyyppivaihtelu, pidetään apilan heikkoa kasvua seuraavan kesänä todennäköisenä, eikä aluskasvin oleteta sisältyvän viljelyyn viherkesantojen jälkeen. Sen sijaan tuleentuneena korjattujen palkoviljojen tyyppilannoitusvaikutus on niin pieni, että apiloita voidaan hyvin viljellä aluskasveina niiden jälkeen.

Öljykasvien yhteydessä aluskasvit tuskin toimivat hyvin, mikä vähentää apiloilta aluskasveina noin 10 % potentiaalisesta alasta. Koska apilat eivät luovuta pääkasveille typpeä vielä aluskasveina kasvaessaan, ei aluskasvien viljelyyn mallasohran kanssa liene estettä. Aluskasveja sekä rypsin että etenkin mallasohran yhteydessä olisi kuitenkin syytä tutkia kenttäkokein. Em. reunaehtoien jälkeen apiloita voidaan viljellä aluskasveina maksimissaan noin 360 000 hehtaarin alalla.

## 8 Väkilannoitetyypen säästömahdollisuudet

### 8.1 Nurmettomat tilat

Sen peltoalan, jolle tehostettua palkokasvikiertoa voi sovittaa, todettiin edellä olevan noin 1,1 milj. ha. Tästä alasta palkoviljoja voi tehdyn arvion perusteella olla maksimissaan 180 000 ha eli noin 16 %. Kolmivuotisen viherkesannon mahdolliseksi maksimialaksi arvioitiin 165 000 ha eli noin 15 % (vuosittain uusittava ala 55 000 ha) ja yksivuotisen viherkesannon 60 000 ha eli noin 5 %. Apiloita aluskasveina katsottiin mahdolliseksi viljellä vielä 360 000 hehtaarilla eli noin 33 % alalla. Noin 36 % viljatilojen pinta-alasta kasvaisi vuosittain pelkästään sellaisia kasveja, jotka eivät sido ilmakehän typpeä.

Asian konkretisoimiseksi rakensimme viljatilan kierron, joka toteuttaa kuvattujen pinta-alojen edellyttämää viljelyä. Viljelykierto on teoreettinen ja esimerkinomainen sekä laadittu tukemaan raportin laskelmia. Silti se kuvaa sitoutuneisuutta, jota viljelyn pitkän ajan suunnittelussa on noudatettava, jos biologista typensidontaa halutaan voimallisesti hyödyntää. Todellisuudessa viljelykierrat voidaan laatia maatilaoihin ja tarpeisiin perustuen lyhyemmiksi, ilman että se estää palkokasvien käytön voimakasta lisäämistä. Tässä kierrossa oleellisena osatekijänä on maan kasvukunnon ja jopa sen rakenteen parantaminen, mikä on perusteena kolmivuotisen viherkesannon sijoittamiselle kiertoon, vaikka kaksivuotinen viherkesanto voi olla taloudellisesti houkuttavampi. Kierron toteuma kasvilajien osuuksina on: palkoviljat 15 %, öljykasvit 15 %, monivuotinen viherkesanto 15 %, yksivuotinen viherkesanto 5 %, viljat aluskasvien kanssa 30 %, vilja perustettavan monivuotisen kesannon päällyskasvina 5 % ja viljat ilman aluskasvia 15 %. Syysviljat, erityisesti ruis, ovat suositeltavia viherkesantojen jälkeen, jos pelto ja kasvuolot puoltavat syysviljojen viljelyn onnistumista.

Esimerkki maan rakennetta ylläpitävästä tai parantavasta ja palkokasvien typensidontaa tehokkaasti hyödyntävästä kierrosta viljatilalle kivennäismaalla (numerot vastaavat kierron vuosia):

1: palkovilja, 2: syys- tai kevätilja, apila aluskasvina, 3: öljykasvi, 4: kevätilja, alle kylvetään apilaa ja heinää, 5-7: viherkesanto, 8: syysvilja, 9: kevätilja, apila aluskasvina, 10: palkovilja, 11: (syys- tai kevätilja), apila aluskasvina, 12: öljykasvi, 13: kevätilja, apila aluskasvina, 14: syys- tai kevätilja, 15: palkovilja, 16: syys- tai kevätilja, apila aluskasvina, 17: öljykasvi, 18: yksivuotinen viherkesanto, 19: syysvilja, 20: kevätilja, apila aluskasvina, 21: kierto alkaa alusta.

Toisella kierroksella kolmivuotinen viherkesanto voidaan lyhentää kaksivuotiseksi, kolmannella kierroksella mahdollisesti yksivuotiseksi. Mahdolliset yksivuotiset erikoiskasvit sijoitetaan viljojen paikalle, paitsi silloin öljy- tai palkokasvien paikalle, kun ne toimivat tautien isäntäkasveina em. kasvien taudeille. Monivuotiset erikoiskasvit, kuten kumina, sijoitetaan viljapainotteisille vuosille ja ne voivat myös siirtää kierron etenemistä vuodelta tai parilla.

Mikäli viljely onnistuu edellä olevan viljelykierron tavoitteiden mukaisesti, on sillä seuraava merkitys väkilannoitetyypen tarpeeseen:

Väkilannoitetyypä ei tarvita lainkaan vuosina 1, 5–7, 10, 15 ja 18.

Väkilannoitetyypä voidaan alentaa noin 70 kg ha<sup>-1</sup> vuosina 8 ja 19.

Väkilannoitetyypä voidaan alentaa noin 25 kg ha<sup>-1</sup> vuosina 2, 11 ja 16.

Väkilannoitetyypä voidaan alentaa noin 20 kg ha<sup>-1</sup> vuosina 3, 9, 12, 14 ja 17.

Väkilannoitetyypä ei vähennetä normaalista vuosina 4, 13 ja 20.

Oletetaan taulukon 1 mukaisesti, että vuosina jolloin typpilannoitusta ei lainkaan tarvita, säästetään yleensä 70 kg N ha<sup>-1</sup>. Nykyinen palkoviljojen viljely tosin huomioidaan korostetusti siten, että yhden typpilann-

noittamattoman vuoden osalta typpilannoituksen vähennys on vain  $40 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Vuosien 8 ja 19 osalta otetaan huomioon taulukossa 1 todettu keskimääräinen lannasta saatu typpi ( $10 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) eli säästö typpilannoituksessa pienennetään 60 kiloon per ha. Tällöin typen kokonaissäästö hehtaaria kohti 20 vuoden aikana on  $(6 \times 70 + 1 \times 40 + 2 \times 60 + 3 \times 25 + 5 \times 20) \text{ kg ha}^{-1}$  eli  $755 \text{ kg ha}^{-1}$ . Yhtä vuotta kohti synteettistä typpeä säästyy  $38 \text{ kg ha}^{-1}$  verrattuna tilanteeseen, jossa viljellään vuosittain joko viljoja tai öljykasveja nykyisellä lannoitustasolla.

Tavanomaisesti viljeltyjen maatalojen kivennäismailla on periaatteessa toteutettavissa edellä olevan viljelykierron mukaista viljelyä, aiemmin esiteltyjen periaatteiden mukaisesti, 1,1 miljoonan hehtaarin peltoalalla (taulukko 7). Eloperäisten maiden ei oleteta hyötyvän lainkaan biologisesta typensidonnasta, vaikka osittain se olisi mahdollista. Siten viljelyssä, joka ei ole rehunurmien viljelyn piirissä, voitaisiin säästää synteettisesti valmistettua typpeä nykykäyttöön verrattuna 1,1 milj. ha  $\times 38 \text{ kg ha}^{-1}$  eli 42 milj. kg eli 42 000 tn. Tähän pitää kuitenkin tehdä vielä säästöä pienentävä korjaus, kun otetaan huomioon kiertoon mukaan otettavat luonnonhoitopellot ja kesannot sekä tätä peltoalaa vastaava viherlannoitusala. Niiden ala on edellä määritetyn mukaisesti yhteensä 130 000 ha eli 0,13 milj. ha. Niiltä osin väkilannoitetypen käyttö siis itse asiassa lisääntyy  $0,13 \text{ milj. ha} \times (70 - 38) = 32 \text{ kg ha}^{-1}$  eli 4,2 milj. kg eli noin 4 000 tn. Lopullinen laskennallinen väkilannoitetypen säästö kasvinviljelytiloilla on siten 42 000 tn - 4 000 tn eli 38 000 tn vuodessa.

Joitakin erityishuomioita tehokkaan palkokasvikierron noudattamiseen on tehtävä. Kun tilalla viljellään mallasohraa, on viherlannoituksen kanssa oltava varovainen. Tässä kierrossa mallasohralle sopisivat vuodet 4, 9, 13 ja 20. Koska palkokasvien typpeä voi vapautua vielä yhden väli vuoden jälkeenkin, voi mallasohran typpilannoitusta olla tarpeen vähentää totutusta.

Näin pitkäaikaisen kierron kierrättämiseen niin, että koko tilan viljelykasvien osuus on vuosittain sama kuin tässä kierrossa, tarvitaan 20 lohkoa tai lohkojen yhdistelmää. Jos nämä 20 peltoaluetta olisivat keskimäärin 3 hehtaarin kokoisia, onnistuisi kierron toteuttaminen noin 60 hehtaarin maatilalla. Kun yhden lohkon tai lohkojen yhdistelmän kierto aloitetaan monivuotisen viherkesannon perustamisesta, on viimeinen lohko tai lohkojen yhdistelmä samassa vaiheessa vasta 20 vuoden päästä. Kun tietyn lohkon kolmi- vuotinen viherkesanto lopetetaan, aloitetaan seuraava monivuotinen tai lyhyempi viherkesanto 18 vuoden päästä.

Esimerkin mukainen kierto merkitsee, että viljoja on puolet koko alasta. Muutos nykyiseen olisi suuri, sillä kierron noudattamiseen otollisiksi oletetuilla pelloilla viljojen osuus myyntiin tai rehuksi viljeltävistä kasveista on nykyisin 85 %. Öljykasvien osuus on ollut 10 % tienoilla, tosin vaihtelu on ollut suurta. Palkoviljojen osuus on ollut vain reilun prosentin, joten niiden viljelyn tulisi lisääntyä erityisen voimakkaasti kierron toteuttamiseksi. Kuminan osuus on ollut hieman suurempi, sokerijuurikaan samansuuruinen ja siemenheinän pienempi kuin palkoviljojen. Viljojen tuotantoalan vähenemistä lieventää se 0,13 milj. ha, joka siirtyy nyt viljelemättömistä pelloista kiertoon mukaan. Lisäksi osa vilja-alan pienemisestä johtuu siitä, että öljykasveja oletetaan esimerkikierron perusteella viljeltävän noin 0,05 milj. ha enemmän kuin nykyisin.

## 8.2 Nurmitilat

Nautakarja- ja lammastiloilla oli maatalouslaskennan mukaan peltoa viljelyksessä 785 000 ha. Samaan aikaan rehunurmia ja laitumia oli Suomessa 650 000 ha (Tike 2011a). Tavanomaisesti viljeltyjen tilojen (olettaen sen vastaavan koko maan 92 % osuutta pinta-alasta) vastaavat luvut ovat noin 720 000 ha ja 600 000 ha. Rehunurmia on jonkin verran karjattomillakin tiloilla, koska maatalouslaskennan (Tike 2012a) mukaan kasvipeitteistä viljely- tai kesantokasvia oli talvella 2009–2010 noin 72 % nautakarjatilojen peltoalasta. Jälkimmäisen perusteella voidaan olettaa, että tavanomaisten nauta- ja lammastilojen noin 720 000 hehtaaria noin 520 000 ha on rehunurmia, mukaan lukien laitumet. Lopun nurmialasta oletetaan sisältyvän muihin tilaryhmiin, ja koska viljatilan kiertoa koskien tehtiin jo oma laskelmansa, ei kyseiselle alalle enää tehdä oletusta lannoitetypen säästöstä biologisen typensidonnann avulla.

Aikaisemman oletuksen mukaisesti 20 % rehunurmialasta on sellaista, jolla jo viljellään nurmipalkokasveja tai nurmipalkokasvien viljely ei syystä tai toisesta ole mahdollista. Muuten oletuksena on, että kaikki käyttökelpoinen rehunurmiala otetaan tehokkaaseen nurmipalkokasvien käyttöön. Nurmet kasvavat joko



pelkästään palkokasveja tai, yleisemmin, palkokasvin ja heinän seoksia, jotka eivät tarvitse väkilannoitetyyppeä. Lopulliseksi alaksi, jolla väkilannoitetyppi korvataan biologisella typensidonnalla, jää siten 520 000 ha x 0,8 eli 420 000 hehtaaria.

Rehunurmien kanssa samassa kierrossa oleva muu peltoala on tavanomaisilla tiloilla noin 200 000 ha. Oletetaan jälleen, että tästä 20 % on palkokasveja sisältävän kierron ulkopuolella, joten palkokasvinurmi- en jälkeen on vuosittain viljelyssä viljaa 160 000 hehtaarilla. Palkokasvinurmea seuraavan kasvin väki- lannoitetyypen käyttöä vähennetään normaalista 30 kg ha<sup>-1</sup>.

Peltoalalla, jolla palkonurmia rehuksi tai niitä seuraavia viljoja voidaan vuosittain viljellä, säästetään syn- teettisesti valmistettua typpeä 0,42 milj. ha x 110 kg ha<sup>-1</sup> + 0,16 milj. ha x 30 kg ha<sup>-1</sup> eli 51 milj. kg eli 51 000 tn.

### 8.3 Väkilannoitetyypen säästö Suomessa

Yhteenlaskettu peltopinta-ala, jolla nykyistä väkilannoitetyypen käyttöä voidaan korvata biologisella ty- pensidonnalla, on edellä olevien oletusten jälkeen noin 1,6 milj. ha, joka on noin 70 % kokonaispeltoalas- ta ja 75 % tavanomaisesti viljellystä peltoalasta. Yhteensä synteettisesti valmistettua tyypilannoitetta voi- daan säästää rehunurmia sisältävässä viljelyssä 51 000 tn ja muussa viljelyssä 38 000 tn eli yhteensä 89 000 tn. Se on noin 60 % nykyisin käytetystä väkilannoitetyypen määrästä.

#### LASKENNALLINEN VÄKILANNOITETYPEN SÄÄSTÖ VUODESSA

Kasvinviljelytiloilla 38 000 tn

Nurmitiloilla 51 000 tn

Yhteensä 89 000 tn

60 % nykyisestä käytöstä

Kun kaikki edellä olevat oletukset ovat voimassa, jää synteettisesti valmistettua tyypilannoitetta käytettä- väksi seuraavasti (käytetty samoja oletuksia kuin laskettaessa biologisen typensidonnän synnyttämää säästöä):

Viljakierrot, kivennäismaat: 1,1 milj. ha x (70–38) 32 kg ha<sup>-1</sup> eli 35 milj. kg eli 35 000 tn.

Viljakierrot, multamaat: 0,1 milj. ha x 50 kg ha<sup>-1</sup> eli 5 milj. kg eli 5 000 tn.

Loput sika- ja siipikarjatilat: 0,1 milj. ha x 60 kg ha<sup>-1</sup> eli 6 milj. kg eli 6 000 tn.

Rehunurmitilat, viljavuodet: 0,16 milj. ha x (70–30) 40 kg ha<sup>-1</sup> eli noin 6 milj. kg eli 6 000 tn.

Rehunurmitilat, palkokasviton nurmi: 0,18 milj. ha x 110 kg ha<sup>-1</sup> eli 20 milj. kg eli 20 000 tn.

Yhteensä noin 72 000 tn.

Säästetyn väkilannoitetyypen (89 000 tn) ja edelleen käytettävän väkilannoitetyypen (72 000 tn) summa on hieman suurempi kuin aiemmin saatu (taulukko 1) laskennallinen väkilannoitetyypen käyttö nykyviljelyssä (153 000 tn). Ero selittyy sillä, että 0,13 milj. ha nykyisestä ns. kesantoalasta oletettiin otettavan mukaan viljelykiertoon. Jos kyseinen ala olisi nykyisin viljelyssä, käytettäisiin sillä Suomen keskimääräisen väki- lannoitetyypimäärän perusteella (Tike 2011b) väkilannoitetyyppeä noin 0,13 milj. ha x 74 kg ha<sup>-1</sup> eli 9,6 milj. kg eli noin 10 000 tn.

Lannoitteen valmistuksen ja kuljetuksen tilalle todettiin kuluttavan fossiilista energiaa 39 MJ synteettistä tyypikiloa kohti eli 39 GJ tonnia kohti. Tässä vaiheessa biologinen typensidonta on siis säästänyt energiaa 89 000 x 39 GJ = 3 471 000 GJ eli noin 3 470 terajoulea (TJ).

Laskelmat tyypilannoitteen säästöistä on tehty nykyisiin lannoitusmääriin perustuen. Säästöt olisivat suuremmat, jos vertailu olisi tehty olettaen, että nykyisin kaikkia peltoja lannoitetaan ympäristötuen sal- limin tyypimäärin. Vielä paljon suurempiin lukuihin päädyttäisiin, jos koko Suomen peltoala oletettaisiin viljeltäväksi, karjanlannan lisäksi, väkilannoitteiden avulla ja verrattaisiin kyseistä tilannetta maksimaali- seen palkokasvien käyttöön. On myös hyvä muistaa, että laskelmat perustuvat keskimääräisiin väkilannoi- tetyypen säästöihin. Tila- ja lohkokohtaisesti säästöt voivat olla suuremmat tai pienemmät.

---

## 9 Energiankäytön muutokset konetoissa

---

Kun viljelykierto muuttuu, muuttuu myös viljelyssä käytetyn koneketjun kuluttama energian määrä. Suurimmat peltoviljelyn energiankulutuksen muutokset ovat odotettavissa, kun satokasveja korvataan viherlannoituskasveilla. Aluskasvit viljakasvustossa tai kevätiljan korvaaminen palkoviljalla voivat merkitä vain pientä muutosta kuluvan energian määrässä. Raporttia varten tehtiin laskelmia eri kasvien tuotantoon liittyvästä energiankulutuksesta ja myös arvioita pienehköjen muutosten tilanteista, jotka liittyvät esimerkiksi kasvuston rakenteen muuttumiseen puhdaskasvustosta sekakasvustoksi. Laskelmat ja arviot on tehty viljaketjuille, nurmiketjuille ja erilaisille viherlannoitusvaihtoehdoille.

Koneketjun energialaskentamallissa otettiin huomioon traktorin moottorin kuormitus suhteessa maksimikuormitukseen ja laskettiin polttoaineen tuntikulutus. Koneketjun työvaiheen polttoaineen kulutus hehtaaria kohti saatiin jakamalla tuntikulutus työsaavutuksella. Kynnössä, kylvömuokkauksessa, kylvössä ja niittomurskauksessa käytettiin mittauksiin perustuvia polttoaineen kulutuslukemia. Tässä käytetyt MTT:n Vihdissä mitatut keskikulutuslukumäärät ovat hyvin lähellä saksalaisen KTBL:n mittaustuloksia. Koneketjujen energiankulutuksen yhteenveto on koottu taulukkoon 8. Luomuviljelylle ei tehty erikseen energialaskelmia, koska luomuun ei liity lainkaan väkilannoitetyypin käyttöä. Karjanlannan levitykseen liittyviä energialaskelmia ei tehty, vaan oletettiin lannan levitysmäärän ja –alan säilyvän ennallaan.

### 9.1 Kulutuslaskelmien perusteita

#### 9.1.1 Tuotantokasvit

Viljaketjuissa suurin yksittäinen energiankuluttaja on lämminilmakuivaus. Ilman lämmittämisen energialähteenä käytettiin laskelmassa polttoöljyä, mutta raportti ei sinänsä ota kantaa, mitä energiaa kuivurissa käytetään. Seuraavaksi eniten energiaa kuluu pellon muokkaamiseen ja kylvöön liittyviin konetöihin. Laskelmat tehtiin myös suorakylvölle, jossa em. energiankulutus pienenee oleellisesti. Toisaalta raportti olettaa muokatun ja suorakylvetyt alan pysyvän ennallaan, eli oleellisempaa on, muuttuuko palkokasvien käyttö kylvötapojen sisällä. Myös puinti kuluttaa runsaasti energiaa. Sen sijaan ruiskutustyö kuluttaa vähän energiaa, eikä kokonaisuuden kannalta synny virhettä, vaikka laskelmissa arvioidut kasvinsuojeluketjujen määrät poikkeaisivat hieman todellisesta. Viljojen sadot arvioitiin hieman Tiken tilastoista saatuja keskiarvosatoja suuremmiksi.

Säilörehunurmissa ratkaisevaa on korjuukertojen määrä, tässä laskettiin kahden korjuukerran energiankulutus. Myös kolmea korjuukertaa käytetään, mutta asiantuntija-arvioiden perusteella valtaosalla nurmista käytetään kahta korjuuta. Myös tiedot lannoitusmääristä puoltavat alle kolmen korjuukerran käytäntöä. Tilastoja asiasta ei ole. Kahden korjuukerran oletus helpottaa heinänurmiin vertailua palkokasvinurmiin, joiden korjuu kolmeen kertaan on harvinaista. Energiankulutuksen erot syntyvät käytettävistä korjuukoneista. Korjuukoneen valintaan ei oletettu sen vaikuttavan, viljelläkö nurmessa palkokasveja vai ei. Säilörehun kokonaissatona käytettiin 22 000 kg ha<sup>-1</sup>, joka merkitsee noin 6600 kilon kuiva-ainesatoa hehtaarilta.

Kuivaheinäketjujen energialaskelmissa käytettiin yhtä korjuuta, vaikka suuri osa laatuheinän tuottajista korjaakin kaksi satoa. Apilan lisääminen seoksiin tuskin aiheuttaisi suuria muutoksia kuivaheinän korjuukertojen määrään. Lähes kaikki nurmen korjuuketjujen energiankulutus liittyy rehun korjuuseen ja varastointiin. Lannoitteen levitykseen kului energiaa korjuutavasta riippuen 3–6,5 % koko koneketjun kulutuksesta.

#### 9.1.2 Viherlannoitus ja aluskasvit

Monivuotinen viherkesanto oletettiin perustettavaksi suojaviljaan. Koneketjussa oletettiin, että viherkesannon siemen kylvetään erikseen viljan kylvön jälkeen ja pelto jyrätään. Erillisen kylvön oletus lienee yleisyytensä vuoksi perusteltu, vaikka heinäsiemenlaitteen avulla kylvö onnistuu samalla ajolla viljan kylvön kanssa, ja erillinen hajakylvökin on mahdollinen. Myöskään jyräys ei ole välttämätön toimi, mut-

ta sen merkitys energian kokonaiskäytön kannalta on hyvin vähäinen. Jos alle kylvetty kasvusto kasvaa hyvin reheväksi, se voi hidastaa puintia ja nostaa puintikosteutta, mikä lisää energiankulutusta. Koska näin ei yleensä käy, katsottiin viljaan kylvetyn nurmikasvin aiheuttama mahdollinen energian lisäkulutus puinnissa tai kuivauksessa hyvin vähäiseksi.

Monivuotinen viherkesanto oletettiin kolmivuotiseksi, mutta energiankulutus laskettiin vuotta kohti. Laskelmassa on mukana kolme puhdistusniittoa (yksi vuotta kohti), joista viimeisessä kasvusto murskattiin, jotta maahan muokkaaminen helpottuu. Maahan muokkaamisen laskettiin tapahtuvan kyntäen tai lautasmuokkaimella. Jälkimmäiseen oletettiin tarvittavan kaksi ajokertaa, mutta se kulutti silti vähemmän energiaa kuin kyntö. Lopullisessa kulutuslaskelmassa käytettiin enemmän energiaa kuluttavaa vaihtoehtoa eli kyntöä.

Yksivuotisten viherlannoituskasvustojen kylvössä energiaa kuluu vähemmän kuin perinteisessä viljan kylvössä, koska siemenmäärä on pienempi, lannoitetta ei käytetä ja kylvökoneen täyttötarve vähenee. Laskelma tehtiin erikseen, kun käytettiin joko yhtä puhdistusniittoa tai rikkakasviruiskutusta. Maahan muokkaamiseen käytettiin samoja oletuksia kuin monivuotisen viherkesannon kohdalla.

Viljeltäessä apiloita aluskasveina, olivat kylvöön liittyvät oletukset samat kuin perustettaessa monivuotinen viherkesanto suojaviljaan. Aluskasvi voi vaikuttaa kasvinsuojeluruiskutusten tarpeisiin ja myös ruiskutusmahdollisuuteen, koska apilat ovat herkkiä lähes kaikille rikkakasvien torjunta-aineille. Olettaen, että rikkakasvit on kierrossa torjuttu tehokkaasti ja koska aluskasvit jossain määrin kilpailevat rikkakasvien kanssa, voidaan rikkakasviruiskutuksesta luopua ainakin joinakin aluskasvuvuosina. Joskus rehevä aluskasvi voi lisätä kasvuston kosteutta ja siten alentaa tautien torjunnan kynnystä. Toisaalta aluskasvi voi parhaimmillaan myös estää viljan tautien lisääntymistä. Myös tuhoeläimiin ja niiden luontaisiin vihollisiin voi aluskasvi vaikuttaa. Myönteisten ja kielteisten vaikutusten kompensoidessa toisiaan, pidettiin aluskasvin merkitystä ruiskutuksiin kuluvan energian kannalta pienenä. Arvioon pääymistä helpotti, että ruiskutustyössä kuluu polttoainetta vain noin 0,9 - 1,0 l ha<sup>-1</sup> eli noin 31 - 36 MJ ha<sup>-1</sup>.

Puinnin energiankulutus voi kasvaa, jos aluskasvi pääsee kasvamaan hyvin reheväksi viljan korjuuseen mennessä. Lisäksi kasvuston kuivuminen voi hidastua, jolloin puintikosteus ja siten kuivauksen energiantarve kasvaa. Jos viljan kosteus kasvaa esimerkiksi 18:sta 20 prosenttiin, kasvaa kuivauksen öljynkulutus esimerkkilaskelman (kuva 2) mukaan 15 l ha<sup>-1</sup>. Mittauksia puintikosteuden muutoksesta tai arvioita energiankulutuksen mahdollisen lisääntymisen suuruudesta ei ole saatavissa. Yleensä apilat ovat viljan puinnin aikaan niin pieniä, että ne eivät ilmeisesti lisää puinnin energiankulutusta tai viljan kuivauksen kuluva aikaa.

Koska aluskasveina kasvaneet apilat ovat harvoin erittäin reheviä syksyyn mennessä, oletettiin perusmuokkaukseen käytettävän samaa menetelmää kuin tilalla muutenkin viljan jälkeen käytetään. Muokkaamatta viljelyssä maissa tarvitaan syksyistä glyfosaattiruiskutusta, jos aluskasveina on monivuotisia apilalajeja. Suorakylvössä yleisesti käytettyä kevätruiskutusta saatetaan silti myös tarvita, joten ainakin osalla suorakylvötiloista voidaan tarvita yksi ruiskutuskerta lisää. Energiankulutuksen kannalta merkitys on tässäkin tapauksessa pieni, etenkin kun olemassa on yksivuotisiakin aluskasveiksi sopivia lajeja. Oletamme aluskasvien viljelyn toteutettavaksi suorakylvössäkin niin, että lisäruiskutuksia ei tarvita.

### 9.1.3 Muokkaamatta ja muokaten viljely

Perusmuokkausmenetelmä vaikuttaa koneketjun energiankulutukseen. Esimerkiksi kevätehnän viljely kuluttaa yli 600 MJ ha<sup>-1</sup> eli reilun 10 % vähemmän suorakylvömenetelmässä kuin perinteisessä muokkaamalla viljelyssä (taulukko 8). Suorakylvöä harjoittavien tilojen oletettiin toteuttavan aluskasvien ja palkoviljojen viljelyn muokkaamatta, vaikka typen siirtyminen seuraavaan kasviin saattaakin olla heikompa kuin muokkausta käytettäessä.

Viherkesantoja lopetettaessa suorakylvötilojenkin oletettiin käyttävän kyntöä, joka kuluttaa 700 MJ ha<sup>-1</sup>. Viherlannoituksen hyödynnettävyyttä suorakylvön yhteydessä ei ole kunnolla tutkittu, mutta kirjallisuustiedot viittaavat typen heikkoon käyttöön, jos kasvimassaa ei muokata maahan. Kun viherkesantoa muokataan maahan esimerkkikierron mukaisesti kerran kymmenessä vuodessa, syntyy suorakylvötilalle muokkaukseen liittyvää energiankulutusta 70 MJ ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup>. Tätä ei kuitenkaan tarvinnut ottaa laskelmissa erikseen huomioon, koska viherkesantojen koko energiankulutusta verrattiin suorakylvetyn alan osuuden

huomioon ottavaan viljan energiankulutukseen. Muut palkokasvien lisäämisen vaikutukset energiankulutukseen katsottiin perusmuokkausratkaisusta riippumattomiksi. Kylvötapojen paremmuuteen sadontuottajina ei otettu kantaa, vaan satojen, ja siten muiden viljelyvaiheiden energiankulutuksen, oletettiin olevan eri menetelmissä samaa tasoa.

#### 9.1.4 Keskimääräiset kulutuslukemat

Polttoaineen kulutus eri työtehtävissä voi vaihdella hyvinkin 20 % tähän lasketuista luvuista, koska kulutukseen vaikuttavia tekijöitä on useita. Itse asiassa jo kuljettajan ajotapa voi vaikuttaa tuon verran. Tässä käytetään kuitenkin parhaan arvion mukaan, mittauksiin perustuen, keskimääräisiä kulutuslukumia.

Oleellisinta on saada esiin energiankäytön erot palkokasveja hyödynnettäessä ja ilman niitä. Siten esimerkiksi jos säilörehun korjuuketju on sama sekä apilanurmea että heinäurmea viljeltäessä, on palkokasvin vaikutus yksittäisen korjuun energiankulutukseen nolla, ellei leikkuun työläys muutu kasvuston erilaisuudesta johtuen. Yleisimpien viljelykasvien ja viherkesantojen koneketjujen keskimääräiset energiankulutuslukemat on koottu taulukkoon 8.

Taulukko 8. Viljelykasvien koneketjujen energiankulutuksia hehtaaria ja painoyksikköä kohti. Kokoomataulukko on koottu laajan, MTT:n teknologiatutkimuksen datan pohjalta. Laskelmat perustuvat hieman suurempiin satoihin, kuin Suomessa keskimäärin saavutetaan. Hehtaarisadot ovat varastointikosteudessa, esimerkiksi viljojen kosteus on 14 % ja säilörehun 30 %. Painoyksikkökohtaiset energiankulutukset ( $\text{MJ tn}^{-1}$ ) on laskettu sekä varastointikostea (varasto) satoa että kuiva-ainesatoa (ka) kohti.

| Korjuukasvi               | Koneketju                       | Sato<br>kg ha <sup>-1</sup> | Primäärienergia     |                                      |      |
|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------------------------|------|
|                           |                                 |                             | MJ ha <sup>-1</sup> | MJ tn <sup>-1</sup><br>varasto<br>ka |      |
| Syysvehnä                 | perinteinen                     | 4000                        | 5420                | 1355                                 | 1576 |
|                           | suorakylvö                      | 4000                        | 4553                | 1138                                 | 1324 |
| Vehnä                     | perinteinen                     | 4000                        | 5496                | 1374                                 | 1598 |
|                           | suorakylvö                      | 4000                        | 4865                | 1216                                 | 1414 |
| Ohra                      | perinteinen                     | 4000                        | 5465                | 1366                                 | 1589 |
|                           | suorakylvö, murskesäilöntä      | 4000                        | 2589                | 647                                  | 753  |
| Rypsi                     | perinteinen                     | 1600                        | 2433                | 1521                                 | 1769 |
| Härkäpapu                 | perinteinen                     | 3000                        | 4608                | 1536                                 | 1786 |
| Säilörehu                 | hinattava tarkkuussilppuri      | 22000                       | 4128                | 281                                  | 625  |
|                           | noukinvaunu                     | 22000                       | 3286                | 224                                  | 498  |
|                           | ajosilppuri                     | 22000                       | 2559                | 175                                  | 388  |
| Heinä                     | latokuivattu                    | 5000                        | 3510                | 702                                  | 826  |
|                           | säilöheinä                      | 5000                        | 1337                | 267                                  | 315  |
|                           | laidun                          | 5000                        | 614                 | 123                                  | 144  |
| Monivuotinen viherkesanto | lautasmuokkain päätettäessä     | 4000                        | 409                 | 102                                  | 120  |
|                           | kyntö päätettäessä              | 4000                        | 432                 | 108                                  | 127  |
| Yksivuotinen viherkesanto | niitto kerran ja lautasmuokkain |                             | 2225                |                                      |      |
|                           | ruiskutus ja lautasmuokkain     |                             | 2112                |                                      |      |
|                           | niitto ja kyntö                 |                             | 2316                |                                      |      |

## 9.2 Energiankulutuksen muutos typensitojakasveja lisättäessä

### 9.2.1 Säilörehunurmi

Säilörehunurmien typpilannoituksen korvaaminen kokonaan palkokasvien sitomalla typellä vaikuttaa suhteellisen vähän koneketjun energiankulutukseen. Nurmea perustettaessa kuluu sama energiamäärä kuin heinäkasvien siemeniä kylvetäessä. Hyvä palkokasvinurmi ei tarvitse kemiallista typpilannoitetta, eikä välttämättä lisää fosforia ja kaliumia, jos niiden määrä maassa ei ole kovin alhainen. Heinälajeista koostuvaa säilörehunurmea lannoitetaan yleensä kaksi kertaa kesässä. Varovaisesti arvioiden palkokasvipitoinen nurmi säästää ainakin yhden lannoituskerran vuodessa eli konetyönä  $31\text{--}36 \text{ MJ ha}^{-1}$ , mikä on vain prosentin luokkaa koneketjun kokonaisenergiankulutuksesta.

Kun satoa korjataan, vaatii apila teoriassa suuremman leikkausvoiman ja kitkavoiman kuin heinäkasvit. Asiasta ei ole mittaustuloksia, ja lisääntyvän energiankulutuksen arvioiminen on hyvin vaikeaa. Viiden prosentin energiankulutuksen kasvu niitossa vastaisi suuruusluokaltaan samaa energiankulutuksen lisääntymistä, kuin yhdessä lannoituskerrassa säästetään, joten tässä yhteydessä näiden tekijöiden arvioidaan kompensoivan toisensa. Nurmen lopetuksessa energiankulutus on sama heinä- ja apilanurmilla tai erot ovat kokonaiskulutuksen kannalta merkityksettömiä.

Jos nurmeen tehdään apilan täydennyskylvö suorakylvökoneella, on apilanurmea mahdollista korjata yhtä monena vuonna kuin heinänurmea. Kylvöön kuluu polttoöljyä  $6,0 \text{ l ha}^{-1}$  (KTBL 2012). Täydennyskylvöä tarvitaan yleensä kahden satokauden jälkeen, joten nelivuotisen nurmen tapauksessa energiankulutus voidaan jakaa neljälle vuodelle, jolloin siihen kuluu  $55 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ . Puna-apilan viihtyvyys nurmissa voi kuitenkin huomattavasti parantua, jos nurmelle ei anneta typpilannoitetta ja kun korjuu tehdään apilan kannalta parhaaseen mahdolliseen aikaan. Lisäksi on olemassa muita palkokasveja, jotka voivat säilyä nurmessa puna-apilaa pidempään, jos kasvupaikka on niille otollinen. Teoreettisesti laskien pelkkiin heinälajeihin perustuvan säilörehunurmen korvaaminen apilapitoisilla nurmilla lisääisi viljelyyn sisältyviä konekustannuksia noin  $50 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ , eli pari prosenttia koko koneketjun energiankulutuksesta. Em. reunaehdot huomioiden tätäkään energian lisäkulutusta ei välttämättä synny.

Säilörehunurmien koneketjun energiankulutuksen arvioidaan kasvavan  $50 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ , kun palkokasvit otetaan mukaan viljelyyn.

### 9.2.2 Kuivaheinä ja laidun

Jos kuivaheinä sisältää timotein lisäksi huomattavan osan apilaa, tarvitaan yksi pöyhintäkerta lisää. Silloin kuluu  $55\text{--}60 \text{ MJ ha}^{-1}$  enemmän energiaa verrattuna pelkkien heinäkasvien viljelyyn. Latokuivauksessa satoa joudutaan kuivaamaan hieman pidempään tai käyttämään lisälämpöä enemmän. Varovasti arvioiden latokuivauksessa kuluu  $20\text{--}30 \text{ kWh per hehtaari}$  ( $72\text{--}108 \text{ MJ}$ ) enemmän energiaa, kun kasvustossa on runsaasti apilaa. Oletamme satoeron pelkästään heinäkasveista koostuvan ja apilaa sisältävän kuivaheinän välillä sen verran pieneksi, että se ei aiheuta oleellista eroa kuivauksen, varastoinnin ja rehun siirron energiankulutuksessa. Keskimäärin apilan arvioidaan lisäävän kuivaheinän konetöiden energiankulutusta, yhden lisäpöyhinnän ja suuremman kuivaustarpeen vuoksi, noin  $150 \text{ MJ ha}^{-1}$ .

Laitumen puhdistusniitto kaksi kertaa kesässä kuluttaa energiaa  $500\text{--}550 \text{ MJ ha}^{-1}$ . Kun laitumiin lisätään valkoapilaa heinäkasvien lisäksi, vähenee puhdistusniittojen tarve mahdollisesti hieman. Koneketjun energiankulutuksen kannalta merkitys on pieni ja energiansäästön realisoituminen epävarmaa, joten kyseinen vähennys jätetään tässä huomiotta. Edellä rehunurmista  $80 \%$  oletettiin viljeltävän ilman lisätyppilannoitusta palkokasvien avulla. Oletetaan yhden lannoituskerran jäävän pois ja laitumen konetöiden kuluttavan noin  $30 \text{ MJ ha}^{-1}$  vähemmän energiaa apilan ansiosta.

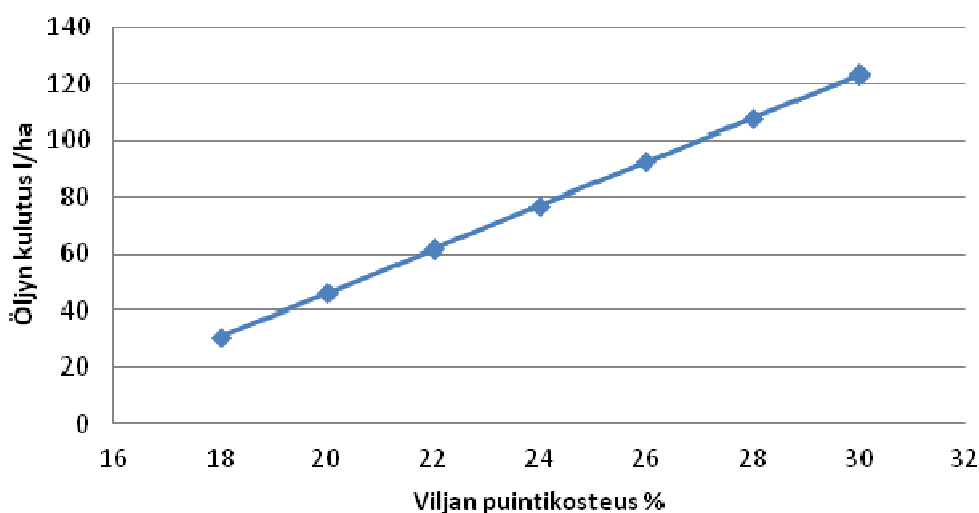
### 9.2.3 Rehunurmet kaikkiaan

Palkokasvien arvioitiin lisäävän konetöiden energiankulutusta säilörehunurmissa  $50 \text{ MJ ha}^{-1}$  ja kuivaheinässä  $150 \text{ MJ ha}^{-1}$  sekä vähentävän laitumissa  $30 \text{ MJ ha}^{-1}$ . Laitumia on vain hieman yli  $10 \%$  kaikista rehunurmista (Tike 2011a). Kuivaheinän pinta-ala on noin  $15 \%$  rehunurmista (Tike 2012d). Näin painottaen palkokasvien aiheuttama lisäys koneketjujen energiankulutuksessa on  $0,75 \times 50 + 0,15 \times 150 - 0,1 \times 30 \text{ MJ ha}^{-1}$  eli noin  $57 \text{ MJ ha}^{-1}$ . Asetamme arvioksi, että palkokasvit lisäävät erilaisten rehunurmien konetöis-

tä aiheutuvaa energiankulutusta noin  $60 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ . Kokonaispeltoala, jota muutos koskee, on 0,42 milj. ha ja energiankulutuksen lisääntyminen kokonaisuudessaan siten noin 25 milj. MJ eli 25 000 GJ eli 25 TJ.

### 9.2.4 Palkoviljoja viljojen tilalle

Korvattaessa vilja-alaa palkoviljoilla ei energiankulutus kasvuston perustamiseen ja hoitoon liittyen oleellisesti muutu. Pienemmästä siemensadosta huolimatta voi palkoviljojen leikkuupuinnin olettaa kuluttavan saman verran energiaa kuin viljojen, koska puintikoneiston läpi menevä kokonaisuudessa on usein samaa luokkaa kuin ohran. Sen sijaan palkoviljojen isojen siementen kuivaaminen on hitaampaa ja siten enemmän energiaa kuluttavaa kuin pienempien viljan siementen. Ratkaisevin kuivauksen energiankulutuksessa on kuitenkin lähtökosteus (kuva 2), joka vaihtelee paljon niin viljoilla kuin palkoviljoillakin tuleentuneisuudesta ja puintioloista riippuen ja jonka keskimääräisistä eroista viljojen ja palkoviljojen välillä ei ole olemassa tilastoja.



Kuva 2. Esimerkki viljan puintikosteuden vaikutuksesta kuivuriuunin öljynkulutukseen. Öljyn kulutus voi vaihdella kuivuri- ja olosuhdekohtaisesti.

Palkoviljojen kuivaaminen vaatii energiaa enemmän kiloa kohti. Palkoviljojen hehtaarisato on kuitenkin keskimäärin kolmanneksen pienempi kuin viljojen. Oletamme näiden tekijöiden kompensoivan toisensa, eli palkoviljojen ja viljojen kuivauksessa kuluvan saman verran energiaa hehtaaria kohti. Kaikkiaan siis oletetaan, että viljojen korvaaminen palkoviljoilla ei lisää eikä vähennä koneketjun energiankulutusta.

### 9.2.5 Viherkesannot ja aluskasvit

Monivuotisen viherkesannon tullessa viljelykiertoon korvautuu viljojen koneketjun energiankulutus viherkesannon kulutuksella. Viljojen koneketjut kuluttavat energiaa keskimäärin  $5470 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$  muokkaukseen käytettäessä ja noin  $4800 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$  suorakylvöä käytettäessä. Maatalouslaskennan mukaan 17 % viljanviljelytilojen pinta-alasta oli viime vuonna suorakylvettyä (Tike 2012a). Viljanviljelyn konetöissä kuluu siten keskimäärin energiaa noin  $5350 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ . Kolmivuotinen viherkesanto kuluttaa noin  $430 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ , kun oletetaan maahan muokkaamisen tapahtuvan energiaa eniten kuluttavalla tavalla, eli kynäen. Kolmivuotinen viherkesanto kuluttaa siis noin  $4920 \text{ MJ ha}^{-1}$  vähemmän energiaa kunakin kesantovuonna.

Yksivuotiseen viherkesantoon tarvitaan noin  $2300 \text{ MJ ha}^{-1}$  konetöiden energiaa, kun oletetaan, että lähes aina käytetään eniten energiaa kuluttavaa menetelmää (taulukko 8). Viljanviljelyyn nähden säästyy siis noin  $3050 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ .

Aluskasvien energian kulutusta lisäävien ja vähentävien vaikutusten arvioitiin kompensoivan toisensa. Koska menetelmään liittyy vaikeasti selvitettäviä, lähinnä kasvuston kosteuden lisääntymiseen liittyviä tekijöitä, asetetaan menetelmälle pieni,  $50 \text{ MJ ha}^{-1}$  lisäkulutus pelkkään viljaan verrattuna. Tämä koskee sekä varsinaista aluskasvien viljelyä että tilannetta, jolloin vilja on perustettavan viherkesannon päällyskasvina.

## KONEKETJUJEN ENERGIANKULUTUKSEN MUUTOS

(verrattuna palkokasvittomaan nurmeen)

Säilörehunurmet +50 MJ ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup>

Kuivaheinä +150 MJ ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup>

Laidun -30 MJ ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup>

(verrattuna viljanviljelyyn)

Palkoviljat 0 MJ ha<sup>-1</sup>

Kolmivuotinen viherkesanto -4920 MJ ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup>

Yksivuotinen viherkesanto -3050 MJ ha<sup>-1</sup>

Aluskasvit +50 MJ ha<sup>-1</sup>

### 9.2.6 Rehunurmettomat tilat kaikkiaan

Muutos koneketjujen energiankulutuksessa laskettiin vertaamalla kasvilajien osuutta esimerkikierrossa nykyisiin pinta-alojen suhteisiin. Esimerkkikierron toteuma kasvilajien osuuksina oli: palkoviljat 15 %, öljykasvit 15 %, monivuotinen viherkesanto 15 %, yksivuotinen viherkesanto 5 %, viljat aluskasvien kanssa 30 %, vilja perustettavan monivuotisen kesannon päällyskasvina 5 % ja viljat ilman aluskasvia 15 %.

Palkoviljojen koneketjun todettiin kuluttavan saman verran energiaa kuin viljojen. Öljykasvien osuus on esimerkikierrossa nykyistä suurempi ja niiden koneketjujen energiankulutus huomattavasti viljoja pienempi. Öljykasvien viljelyn lisääntymisestä johtuvaa energiankäytön vähenemistä ei voi kuitenkaan lukea palkokasvien ansioksi, joten säästö jätetään tässä huomiotta. Kun vielä aluskasvittomat viljat otetaan huomioon, muuttuisi konetöiden energiankulutus 55 %:lla viljatilojen pinta-alasta. Verrattaessa nykytilanteeseen on tähän kuitenkin tehtävä vielä tarkennuksia.

Monivuotisen viherkesannon kohdalla huomioidaan oletus, että nyt luonnonhoitopeltoina ja kesantona olevaa alaa siirtyy kierto. Näiden kolmen pellonkäyttömuodon arvioidaan olevan konetöiden energiankulutukseen keskenään samaa luokkaa. Aiemmin arvioitiin, että luonnonhoitopeltoina ja kesantoina olevasta alasta tulee viherlannoitusmielessä tehokäyttöön 130 000 ha. Kun esimerkikierron mukaisesti kolmivuotisia viherkesantoja olisi 165 000 ha, kutistuu niiden osuus konetöistä aiheuttavaa energiansäästöä laskettaessa 15 %:sta noin 3 %:iin.

Konetöiden energiankulutuksen vuotuisen muutokseen lasketaan siis 3 % kolmivuotisen viherkesannon, 5 % yksivuotisen viherkesannon ja 35 % aluskasvien aiheuttamasta energianmuutoksesta koneketjuissa. Konetöiden energiankulutuksen vähenemä vuotta kohti, kun kasvinviljelytiloilla siirrytään nykytilanteesta tehostettuun palkokasvikiertoon, on  $0,03 \times 4920 \text{ MJ ha}^{-1} + 0,05 \times 3050 \text{ MJ ha}^{-1} - 0,35 \times 50 \text{ MJ ha}^{-1} = 283 \text{ MJ ha}^{-1}$ . Kokonaispeltoala, jota muutos koskee, on 1,1 milj. ha ja energiansäästö kokonaisuudessaan siten noin 310 milj. MJ eli 310 000 GJ eli 310 TJ.

### 9.3 Muutos koneketjuissa kokonaisuudessaan

Rehunurmien tehostettu palkokasvien käyttö lisäsi konetöiden energiankulutusta yhteensä noin 25 TJ. Nurmettomien tilojen tehostettu palkokasvien käyttö vähensi konetöiden energiankulutusta yhteensä noin 310 TJ, johtuen ennen kaikkea siitä, että noin 8 % nykyisestä vilja-alasta siirtyi viherkesantokasvustoiksi. Koko maan laajuisesti biologisen typensidonnan tehostettu käyttö vähensi konetöiden energiankulutusta yhteensä noin 285 TJ.

Raportin aikaisempien laskelmien mukaan biologinen typensidonta säästi väkilannoitetypen valmistukseen ja kuljetukseen kuluva energiaa noin 3 470 TJ. Koneketjujen aiheuttama energiansäästö oli siten alle kymmenesosa väkilannoitetypen valmistukseen liittyvään säästöön verrattuna. Osa koneketjujen käyttämästä energiasta voi jo nyt olla muuta kuin fossiilista, ja niin fossiilisen energian osuus kuin kulutus koneketjuissa tulee jatkossa edelleen vähenemään. Viljan kuivauksessa voidaan käyttää esimerkiksi haketta, öljyn sijaan voidaan käyttää myös maakaasua tai kaukolämpöä. Traktori-työkoneyhdistelmissä väyläteknikan (ISOBUS) hyödyntäminen yleisty, jolloin konehdistelmän adaptiivinen säätö tulee mahdolliseksi. Sen myötä traktoria ja työkonetta voidaan kuormittaa optimaalisesti, jolloin energiankulutus pienenee.

## 10 Energian kokonaissästä ja sen havainnollistaminen

Kaikkiaan biologisen typensidonnan tehostettu käyttö säästi fossiilista energiaa nykyviljelyyn verrattuna koko Suomen tasolla noin 3755 TJ. Lannoitteen valmistukseen ja kuljetukseen liittyvää säästöä tästä oli 3470 TJ ja loput säästöistä kertyi viljelyn koneketjuista.

### FOSSIILISEN ENERGIAN SÄÄSTÖ

Lannoitteen valmistus ja kuljetus 3470 TJ  
Koneketjut 285 TJ  
Yhteensä 3755 TJ

Energiaa, etenkin sähkön energiamäärää, mitataan usein joulen sijaan kilowattitunteina (kWh). Yksi MJ on noin 0,277778 kWh tai 1 kWh on 3,6 MJ. Vastaavasti 1 TJ on noin 0,277778 GWh. Biologisen typensidonnan lisäämisen avulla Suomen pelloilla mahdollisesti saatava säästö fossiilisen energian kulutuksessa on siis noin 1040 GWh eli noin 1,0 TWh. Säästöä voidaan havainnollistaa siten, että se vastaa kahdeksasosaa Loviisan ydinvoimalaitoksen vuodessa tuottamasta sähköenergiasta. Konkreettisinta on verrata säästöä maatalouden energiankulutukseen yleensä.

Vuonna 2010 maatalous- ja puutarhayrityksissä kului energiaa noin 10 terawattituntia eli noin kymmenkertaisesti nyt laskettuun säästöön nähden (Tike 2012a). Maatalous- ja puutarhatuotannon energiankulutus oli vajaa kolme prosenttia koko Suomen energiankulutuksesta. Välillisesti laskien biologisen typensidonnan tehostetun käytön avulla voitaisiin säästää fossiilista energiaa määrä, joka vastaa noin neljännesprosenttia Suomen koko energiankulutuksesta.

Myös seuraaviin tilastoihin (Tike 2012a) 1,0 terawattitunnin säästöä voi verrata. Maa- ja puutarhatalouden sähkönkulutus oli 1,7 TWh vuonna 2010. Maa- ja puutarhatalouden raskaan ja kevyen polttoöljyn kokonaiskulutus oli 3,7 TWh, josta moottoripolttoöljyn osuus oli 2,3 TWh. Tuotantorakennusten lämmitykseen ja viljankuivaukseen käytettiin lämmityspolttoöljyä yhden terawattitunnin edestä. Suuruusluokaltaan palkokasvien avulla säästetty energiamäärä olisi siis sama, jonka Suomen maatilat käyttävät vuodessa polttoöljynä lämmitykseen ja viljankuivaukseen.

Suomen maa- ja puutarhatalouden tilastoituun energiankulutukseen ei kuitenkaan sisälly välillinen energiankulutus esimerkiksi lannoitteiden kautta. Sen sijaan se koostuu kaikesta maataloustuotannossa suoraan tarvittavasta energiasta. Siihen sisältyvät esimerkiksi tuotantotilojen lämmitys ja sähkölaitteet, viljan kuivaus ja koneiden polttoaineet. Toisin sanoen, biologisen typensidonnan tehostaminen ei tilastollisesti juurikaan vähentäisi Suomen maatalouden energiankulutusta, vaikka todellinen energiansäästö olisi huomattava. Myös energian säästö Suomen teollisuudessa jäisi pieneksi, koska ammoniakki tuodaan ulkomailta. Sen sijaan globaalisti fossiilista energiaa säästyisi todella paljon, jos palkokasvit otettaisiin kaikkialla tehokkaaseen käyttöön.



## 11.1 Kasvitautien ja muiden kasvintuhoojien riski

Palkokasvien viljelyn voimakas lisääminen lisää sellaisten kasvitautien lisääntymismahdollisuuksia, jotka heikentävät biologisen typensidonnan edellytyksiä korvata synteettistä typpeä. Nurmettomien tilojen viljelykierto tosin suunniteltiin riittäviksi katsottuihin välivuosiin perustuen ja olettaen, että monipuolinen lajisto mahdollistaa aluskasvien ja viherlannoituskasvustojen käytön ilman ongelmia. Silti kasvintuhoojien lisääntyminen viljelyä lisättäessä on aina todennäköistä.

Apilamätä (aiheuttajana *Sclerotinia trifolium* -sieni) oli 1950- ja 1960-luvulla vakava puna-apilan talvituhojen aiheuttaja (Ylimäki 1969). Viime vuosina apilamätä ei ole aiheuttanut isoja ongelmia, mutta nurmipalkokasvien viljelyn lisääntyessä Yli-Mattila ym. (2009) arvelevat taudin merkityksen todennäköisesti jälleen kasvavan. Apilamädän pahkat säilyvät maassa elinkykyisinä 6–7 vuotta ja niiden hallinta pelkällä kasvinvuorotuksella on vaikeaa. Toivoa antavat havainnot, joiden mukaan apilamädän luontaiset viholliset alkavat estää taudin leviämistä apilaa toistuvasti viljeltäessä (Erviö 1965, Yli-Mattila ym. 2009). Luontaisten vihollisten esiintyminen antaa mahdollisuuden biologisten torjuntakeinojen kehittämiseen. Nykänen ym. (2006) suosittelivat nurmipalkokasvien seosviljelyä heinäkasvien kanssa, koska se on tuotavuuden kannalta edullista ja vähentää tautiriskejä puhdaskasvustoihin verrattuna (Ylimäki 1969). Seoskasvustoissa pienilmasto on kuivempi eikä sieni pääse yhtä herkästi leviämään kasvusta toiseen. Tämänkin raportin oletuksena oli, että nurmissa on palkokasvien lisäksi myös heinäkasveja.

Juurilaho (aiheuttajina mm. *Fusarium*- ja *Pythium*-lajit ja *Rhizoctonia solani*) on etenkin vanhoja apilakasvustoja uhkaava tauti mutta se voi tuhota myös sirkkataimia ja nuoria taimia. Sen leviämistä voidaan estää apilan hyvinvoinnista huolehtivalla viljelytekniikalla, mm. tallausvaurioiden välttämällä ja riittävän pitkään sänkeen tehdyllä niitolla (Hannukkala 2005).

Joskus palkokasvi voi aiheuttaa riskin myös muun kasviryhmän viljelyyn. Pahkahome (*Sclerotinia sclerotiorum*) voi iskeytyä myös nurmipalkokasveihin, mutta pahimmat tuhot se aiheuttaa öljykasveilla. Apilamätää esiintyy tavallisimpien apilalajien lisäksi veriapilassa, persianapilassa, maa-apilassa ja mailas-, virna- ja mesikkälajeissa. Esimerkkikiertoa käytettäessä on siis huomioitava haitallisten kasvitautien muut isäntäkasvilajit. Hannukkalan (2005) mukaan yksivuotiset palkokasvit eivät ole paras valinta viljelykiertoihin, joissa apilan osuus on suuri. Jos tehokkaasta typensidonnasta pidetään kiinni, voi tämä merkitä öljykasvien viljelyn rajoittamista tai torjuntaruiskutusten lisääntymistä. Pahkahomeen aiheuttamia sato tappioita voidaan öljykasvien viljelyssä hillitä torjunta-aineiden avulla (Laitinen ja Hannukkala 2009), mutta kustannukset lisääntyvät ja energiaakin kuluu ruiskutustyöhön hieman, kertaa kohti 31 - 36 MJ ha<sup>-1</sup>.

Kun palkokasvien viljelyä voimakkaasti lisätään, tulee viljelytekniikkaan ja sen kehittämiseen kiinnittää erityistä huomiota käytännössä ja tutkimuksessa. Kasvilajien valinnalla ja seosviljelyllä voitaneen heikentää tautien lisääntymisedellytyksiä. Myös tuhoeläinten todennäköinen lisääntyminen palkokasvien viljelyalojen kasvaessa (Altieri ja Letourneau 1982) on pidettävä mielessä, samoin kuin haasteet rikkaasvien torjunnassa. Kasvinjalostuksella ja lajikevalinnalla on tärkeä merkitys, sillä kuten Hannukkala (2005) toteaa, lajikkeiden välillä on selviä eroja esimerkiksi apilamädän kestävyudessa.

Riesingerin (2010) mukaan puna-apilanurmien talvehtimista ja säilyvyyttä voidaan parantaa talvenkestävillä lajikkeilla, huolellisella perustamisella ja sopivalla korjuurytmillä. Niillä pelloilla, joilla puna-apilan osuus kasvustossa jää alhaiseksi, myös vaihtelu lohkon sisällä on suurinta. Motivoituneimmat luomuviljelijät pääsivät Riesingerin (2010) aineistossa niin puna-apilanurmien kuin sitä seuraavien viljojenkin viljelyssä yhtä suuriin satoihin kuin tavanomaisten tilojen viljelijät keskimäärin.

Vaikka palkokasvien viljelyn lisääntyminen lisää palkokasvien viljelyyn liittyvää torjunta-aineiden käyttöä, se toisaalta vähentää torjunta-aineiden käyttöä viljoilla, sekä vilja-alan pienenemisen että viljelykierron edullisten vaikutusten vuoksi. Viherkesantovuosien osalta voidaan pääsääntöisesti olettaa, että torjunta-aineiden käyttö on vähäistä. Todennäköisesti torjunta-aineiden kulutus olisi raportin olettamissa viljelykäytännöissä nykyviljelyä vähäisempää. Mikkola ja Ahokas (2009) käyttivät torjunta-aineen valmistuk-

seen kuluvan energian määränä 273,6 MJ kg<sup>-1</sup>. Tarkastelua palkokasvien tehokkaan viljelyn vaikutuksesta kuluvien torjunta-aineiden määrään ja siihen liittyvään energiankulutukseen ei tässä yhteydessä kuitenkaan tehdä.

## 11.2 Talousnäkymät

Raportti ei ota kantaa biologisen typensidonnan lisäämisen taloudellisuuteen. Se ei myöskään pyri laskemaan kannattavuuksia, mutta on mielellään lähdeaineistona, jos taloudellisia päätelmiä myöhemmin tehdään. Toisaalta juuri taloudellinen kannattavuus viime kädessä ratkaisee sen, ottaako viljelijä biologisen typensidonnan entistä tehokkaammin käyttöönsä.

ProAgrian lohkotietopankin mukaan nurmien lannoituskustannus on vuosina 2006–2011 ollut yleensä noin 150 €/ha<sup>-1</sup>, mutta vuonna 2009 yli 200 €/ha<sup>-1</sup> (ProAgria 2011). Muihin muuttuviin kuluihin nähden lannoituksen osuus on tarkastelujakson aikana hiljalleen pienentynyt, ja viime vuonna lannoituksen osuus oli kolmasosa kaikista muuttuvista kustannuksista. Lannoitteiden hintavaihtelu ei käytännössä ole näkynyt lannoitusmäärissä, tyypeä (sisältää myös lannan typen) annettiin nurmille keskimäärin 150 kg ha<sup>-1</sup> niin kalliin typen vuonna 2009 kuin sitä edeltävänä ja seuraavina vuosina. Sen sijaan vuotta 2008 edeltävinä vuosina väkilannoitetyyppiä levitettiin kymmenkunta kiloa enemmän hehtaarille kuin viime vuosina. Vuonna 2011 suurimpiin säilörehusatoihin päässyt neljännes tiloista käytti lannoitetyyppiä 159 kg ha<sup>-1</sup>, kun pienimpiin satoihin jäänyt neljäsosa tiloista käytti 117 kg N ha<sup>-1</sup>. Toisaalta nettovoiton mukaan paras neljännes käytti lannoitteisiin 138 €/ha<sup>-1</sup>, kun heikoin neljännes käytti 163 €/ha<sup>-1</sup>. Kustannuseroon osallisena olivat lannoitteiden hankinta-ajankohdan erilaiset hinnat.

Lannoitekuluissa voitaisiin säästää huomattavia summia biologisen typensidonnan avulla. Lannoituksen osuus säilörehun kokonaiskustannuksista oli vuonna 2011 kuitenkin vain 11 % (ProAgria 2011). Muiden muuttuvien kulujen osuus oli kaksinkertainen. Konekustannusten osuus oli noin neljännes kokonaiskustannuksista. Lannoituksen sittenkin pienehkö osuus kaikista kustannuksista lienee osasy siihen, että viljelijät eivät vielä ole ryhtyneet laajasti hyödyntämään palkokasvien etuja. Lohkotietopankki kuitenkin ennakoii lannoituskustannuksen nousevan huomattavasti vuonna 2012, 207 euroon hehtaarilla edellisvuoden 150 eurosta. Väkilannoitetyypin hinnan pysyvämpi nousu tai jo hintojen pysyvät epävarmuus lisäävät viljelijöiden kiinnostusta palkokasveja kohtaan.

Sipiläinen ym. (2012) totesivat Monipalkohankkeen koeaineistojen perusteella, että kun härkäpapu ja herne hinnoiteltiin niiden energia- ja valkuaisarvon perusteella, erottuivat ne taloudellisesti edukseen vuosina, jolloin viljan hinta oli alhainen ja lannoitteiden hinta korkea. Koska palkoviljojen viljely ei vaadi paljon typpilannoitusta, heikensi typen hinnan nousu vähemmän niiden viljelystä saatavaa taloudellista tulosta kuin muiden kasvien.

Typen ja viljan hintasuhteiden merkitys optimaalisen lannoitusmäärän valinnassa ja niiden vaikutus jopa toteutuvaan viherlannoituksen typpilannoitustehoon tuli ilmi myös esimerkinomaisessa lannoituksen kannattavuustarkastelussa luvussa 6.1.2.1. Mitä suurempi on ostotypen hinta suhteessa viljan hintaan, sitä vähemmän sitä kannattaa käyttää ja sitä enemmän tehoa eli typpilannoitusvaikutusta viherlannoituksesta saadaan.

Sipiläinen ym. (2012) laskivat, että alhaisella kevään 2011 hinnalla (0,9 €/per kg) 130 hehtaarin viljatilän palkokasvien jälkivaikutustypen arvo oli 1760 euroa. Herne kannatti sisällyttää tilan viljelykiertoon maksimilaajuudessaan, vaikka typpilannoitteen hinta laski. Viherlannoitusnurmi sen sijaan jäi pois tilan optimiratkaisusta, jos typen hinta oli hyvin alhainen (0,45 €/kg). Taustalla oli oletus, että palkoviljojen typpilannoitusarvo oli 20 kg ha<sup>-1</sup> ja viherlannoitusnurmen 40 kg ha<sup>-1</sup>, eli hieman alhaisempi kuin tämän raportin arvioissa. Jos typen hinta kohosi kolminkertaiseksi alkuvuoden 2011 tasosta ja muut tekijät pysyisivät ennallaan, puolet peltoalasta siirtyi viherlannoitusnurmelle ja herne putosi pois. Kirjoittajat totesivat, että jos typensitojakasveja ei hyödynnetä lainkaan, tavanomaisen kasvintuotannon kate on selkeästi heikompi kuin typensitojakasveja käytettäessä.

Kotieläintilojen tarkastelussa luonnonmukaisen tuotannon kannattavuus oli tavanomaista parempi. Tavanomaisessa tuotannossa typensitojakasvien sisällyttäminen viljelyyn paransi kannattavuutta ja pienensi huomattavasti typpilannoitteen hintamuutosten vaikutusta tilan tulokseen. Kuten Sipiläinen ym. (2012)

toteavat, biologisesti sidotun typen arvo nousee samalla, kun väkilannoitetypen hinta nousee. Tulokset antavat vahvan signaalin siitä, että biologisen typensidonnan kasvava hyödyntäminen on myös maatalojen talouden kannalta suositeltavaa.

### 11.3 Ympäristövaikutukset

Jos palkokasvien käyttö laajenisi raportin arvioiden mukaisesti, syntyisi siitä huomattavia ympäristövaikutuksia. Niistä osa olisi varmuudella myönteisiä, mutta osa todennäköisesti myös kielteisiä. Palkokasvien käytön lisäämisellä viljelykierrossa voi olla huomattava merkitys maan hiilivaraston kasvattamisessa. Tämän ovat todenneet niin Halvorson ym. (1991) poikkeusoloissa vulkaanisen purkauksen jälkeen kuin Jensen (2012) kokooma-artikkelissaan useista tutkimuksista pelto-oloissa. Juuristoista kertyvät ja maahan muokattavat biomassat voivat olla hyvinkin suuria, kuten viherkesannoista luvussa 6.1.1 kerrottiin. Palkokasvien merkitystä maan hiilivaroihin suomalaisissa oloissa on syytä selvittää pikimmiten, sillä MTT:n maaperäseurannassa on havaittu hiilivarantojen vähentyneen 1974–2009 (Heikkinen ym. 2012).

Viherlannoituskasvuston suuri typpipitoisuus auttaa suuriin satoihin ja lannoitesäästöihin. Samalla kun kasvuston typpipitoisuus ja typen kokonaismäärä lisääntyvät, korostuu myös tarve huolehtia siitä, että typpi tulee seuraavan kasvin käyttöön sen sijaan, että se huuhtoutuu (Känkänen 2001). Viherlannoitustyyppiä voidaan hallita viljelytekniikan avulla. Eriksenin (2001) mielestä hyvät viljelymenetelmät varmistavat palkonurmien huomattavan positiiviset jälkivaikutukset ilman huuhtoutuvan veden nitraattipitoisuuden liiallista nousua. Huuhtoutuminen voi palkokasvien ansiosta pienentyäkin. Saarijärvi (2008) totesi, että typen huuhtoutuminen väheni, kun laitumessa käytettiin talvenkestävää valkoapilalajiketta typpilannoitetun heinäkasveihin perustuvan kasvuston sijaan.

Yaran (2011) mukaan ammoniumnitraattipitoisten lannoitteiden hiilijalanjälki on yhteensä 3,6 kg hiilidioksidiekvivalenttia tuotettua typpikiloa kohti, kun ammoniakki- ja typpihappotehtailla käytetään parhaita olemassa olevia tekniikoita. Kun laskelmiemme mukainen väkilannoitetypen säästö oli 89 000 000 kg, voi hiilijalanjäljen olettaa pienenevän tältä osin 320 000 000 kg eli 0,32 Tg hiilidioksidiekvivalenttia. Vähentävä energiankulutus koneketjuissa pienentää jalanjälkeä lisää.

Maatalouden energiankäytön päästöt olivat vuonna 2009 1,4 Tg hiilidioksidiekvivalenttia (Statistics Finland 2011). Kyseisiin päästöihin lasketaan maatalouskoneiden ja viljankuivauksen päästöt sekä maatalojen lämmitys, mutta ei lannoitteiden valmistukseen liittyviä päästöjä. Hiilijalanjäljen voisi tämän perusteella olettaa pienenevän huomattavasti, vaikkakaan se ei näy Suomen tilastossa. Asia ei kuitenkaan ole näin yksinkertainen, vaan huomioon on otettava myös palkokasvien vaikutus pelloilta tapahtuvaan kasvihuonekaasujen päästöön.

Gana ym. (2011) mukaan viljelyn aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt vähenevät huomattavasti, kun synteettisiä typpilannoitteita korvataan biologisella typensidonnalla. Myös Jensen ym. (2012) päätyivät siihen, että palkokasvien viljelyn lisääminen yleensä vähentää viljelyn kasvihuonekaasupäästöjä. Palkokasvien nystyröityneiden juurten hengittämä hiilidioksidin kokonaismäärä tosin on hieman suurempi kuin väkilannoitetypen valmistuksessa vapautuva hiilidioksidi, mutta edellisessä hiilidioksidi on peräisin fotosynteesistä, jälkimmäisessä fossiilisesta energiasta. N<sub>2</sub>O:n päästöt ovat Jensen ym. (2012) mukaan yleensä pienemmät palkokasveja käyttävillä pelloilla kuin väkilannoitetyyppeen perustuvissa systeemeissä. Toisaalta he toteavat, että N<sub>2</sub>O:n päästöt voivat kasvaa, kun palkokasvilaitumia lopetetaan tai jos viherlannoituksen yhteydessä maan nitraattityypen pitoisuus kasvaa nopeasti suureksi. Kaikkiaan kasvibiomassan laatu vaikuttaa siitä vapautuviin kasvihuonekaasuihin, ja kyseiset päästöt olivat Ganan ym. (2011) tutkimuksissa suuremmat monipuolisessa kierrossa kuin pelkän viljan viljelyssä.

Virkajärven ym. (2010) tutkimuksessa valkoapilalaitumen aiheuttama N<sub>2</sub>O –päästö oli lannoitettua heinä-laidunta suurempi. Tulos poikkeaa kansainvälisistä tuloksista, ilmeisesti talven aikana tapahtuvista päästöistä johtuen, mikä osaltaan korostaa tarvetta mitata kasvihuonekaasujen päästöjä myös muiden palkokasviratkaisujen yhteydessä Suomen oloissa. Erilaisten palkokasveihin liittyvien viljelymenetelmien merkitys kasvihuonekaasujen päästöihin onkin syytä mitata yksittäisissä, hallituissa peltokokeissa. Vasta riittävien mittaustulosten avulla voidaan tehdä päätelmät biologisen typensidonnan tehostetun käytön merkitykselle koko Suomen maatalouden kasvihuonekaasujen päästöihin.

Monipuolistuva kierto ja palkokasvien ansiosta paraneva maan rakenne voivat auttaa ravinteiden entistä tehokkaampaan käyttöön. Joka tapauksessa kyse on niin moninaisesta vyyhdestä, että biologisen typensidonnan tehostamisen merkitys ympäristön kannalta jää tuleviin raportteihin. Ympäristöön liittyviä aiheita ovat mm. typen huuhtoutumisen lisääntyminen ja väheneminen eri tilanteissa, eroosion ja fosforin huuhtoutumisen väheneminen tai joissain tilanteissa lisääntyminen, maan hiilivarojen muutos sekä biologisen typensidonnan nettovaikutus kasvihuonekaasupäästöihin.

Tässä raportissa ei otettu kantaa muihin ravinnevirtoihin tehdasvalmisteisten synteettisten lannoitteiden, karjanlannan ja pellolla käyttöön tulevan palkokasvien typen lisäksi. Muita typen lähteitä käsitellään muissa hankkeissa, joita on syntymässä lisää, kuten HiiliN –hankkeen sisällä alahanke Biomassojen ravinnekomponenttien jalostaminen toimivaksi lannoiterakeeksi.

---

## 12 Lisätiedon tarpeita

---

Palkokasveista ja viherlannoituksesta on jo olemassa runsaasti tutkimustietoa, mutta paljon myös tiedon puutteita. Biologisen typensidonnan hyödyntämistä voidaan tehostaa, kun tietoa aukkoja täytetään tutkimuksen avulla. Seuraavassa on luetteloituna asioita, joihin liittyvä tieto on vielä puutteellista. Niiden selvittäminen toisi huomattavia hyötyjä, jos biologisen typensidonta otetaan laajamittaisesti käyttöön.

Biologisen typensidonnan hyödyntämiseen liittyvät tutkimustarpeet:

- Palkoviljojen väkilannoitetyypen tarve tai sen tarpeettomuus
- Aluskasvin valinta viljeltävän pääkasvin perusteella
- Apiloiden lajike-erot aluskasveina
- Monivuotisten viherlannoitusnurmien oikea niittoajankohta
- Käytännön menetelmä kasvuston typpisisällön (N-%, N kg ha<sup>-1</sup>) määrittämiseksi
- Ohjeistus kasvukauden ulkopuolisten olojen huomioimisesta typpilannoitustehon arvioinnissa
- Karjanlannan käyttö palkokasvien viljelyn yhteydessä
- Pellon ominaisuuksien merkitys biologisesti sidotun typen hyödyn kannalta (selvitys)
- Viherlannoituksen sovittaminen suorakylvömenetelmään
- Keinot kasvintuhoojien välttämiseksi palkokasvien viljelyn lisääntyessä voimakkaasti
- Kasvihuonekaasupäästöt viherlannoituskasvustosta ja sen erilaisten lopetustapojen jälkeen
- Kasvihuonekaasupäästöjen muutos palkokasvien käyttöä lisättäessä
- Palkokasvien laajan lisäämisen ympäristövaikutukset (selvitys -> tutkimuksia)
- Palkokasvien laajan lisäämisen talousvaikutukset
- Palkokasvien laajan lisäämisen vaikutukset tuotannon kokonaismääriin
- Väkilannoitetyypen taloudelliset optimit biologisesti sidotun typen ohessa
- Palkokasvien merkitys muiden ravinteiden käytettävyyteen

Biologisen typensidonnan lisäämiseen liittyy sellaisia merkittäviä aiheita, jotka eivät olleet tämän raportin kohteena. Kyse on suuren mittaluokan vaikutuksista, jotka luonteeltaan sopivat HiiliN –hankkeen tutkimusaiheiksi jatkossa.

Käynnistymässä oleva selvitys- ja tutkimustyö:

- Biologista typensidontaa hyödyntävien viljelytoimien vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin.

HiiliN –hankkeen jatkoasteita:

- Viherlannoitusmenetelmien ja palkokasveja tehokkaasti hyödyntävien viljelykiertojen merkitys maan orgaanisen hiilen muutosten kannalta.
- Nurmiperäinen biokaasutuotanto ja sen sivuvirtana saatavien lannoitteiden merkitys fossiilisen energian säästäjinä ja väkilannoitteiden korvaajina.

---

## 13 Yhteenveto

---

Biologisen typensidonnan hyödyntämistä Suomen maataloudessa on mahdollista tehostaa voimakkaasti. Se merkitsee huomattavaa säästöä väkilannoitetytyn käytössä ja fossiilisen energian kulutuksessa. Ilman luonnonmukaisen viljelyn kasvuakin väkilannoitetytyn käyttö voidaan vähentää alle puoleen nykyisestä. Se edellyttää nurmipalkokasvien käyttöä rehuntuotannossa, viherlannoituksen ja aluskasvien hyödyntämistä tytyn tuottamisessa sekä palkoviljojen täysimittaista viljelyä. Tärkeä kannustava tekijä on viljelijöiden huoli peltojen kasvukunnosta sekä halu vähentää kalliin väkilannoitetytyn käyttöä.

Samalla kun väkilannoitetytyn käyttö vähenee palkokasvien avulla 60 % nykyisestä, säästyy fossiilista energiaa, koneketjujen energiankulutus mukaan lukien, noin 3700 TJ vuodessa. Se vastaa samaa energiamäärää, kuin maa- ja puutarhataloudessa käytettiin vuonna 2010 polttoöljynä lämmitykseen ja viljan-kuivaukseen. Energiansäästöavoitteet puoltavat biologisen typensidonnan lisäämistä yleisellä tasolla.

Energiankulutusvertailun perusteena on käytetty moderneimpia väkilannoitetytyn valmistusmenetelmiä. Maailmalla käytetään vielä nykyisin paljon tehottomampia menetelmiä, mutta Suomessa käytetyt lannoitteet ovat lähes kokonaan uusin menetelmin valmistettuja. Avoimeksi jää, onko lannoitevalmistuksen energiankulutusta mahdollista edelleen vähentää. Koneketjuissa, etenkin viljankuivauksessa, uusiutuvien energianlähteiden käyttö tulee lisääntymään.

Pellot oletettiin käytettäväksi ruuan ja rehun tuotantoon, sisältäen viherlannoituksen hyödyntämisen, eikä peltobiomassan näillä näkymin kasvavaa energiakäyttöä otettu huomioon. Suurin osa nykyisin tuottamattomina olevista pelloista oletettiin otettavan mukaan viljelykiertoon. Toisaalta viherkesantojen laajeneva käyttö veisi vuosittain pinta-alaa enemmän kuin nyt viljelemättöminä olevista pelloista saataisiin sitä lisää. Vaikutuksia kokonaistuotantoon ei tässä yhteydessä edes yritetty laskea. Jos se myöhemmin tehdään, tulisi ottaa huomioon peltojen parantunut tuottavuus nykyistä parempien viljelykiertojen ansiosta.

Karjanlanta oletettiin käytettäväksi suoraan kasvien lannoittamiseen, eikä sen lannoituskäytön tehostumista tai kasvavaa hyödyntämistä energiantuotannossa huomioitu. Kaikki arviot tehtiin palkokasvien tehostetun käytön näkökulmasta, esimerkiksi aluskasvit oletettiin apiloiksi, vaikka heinäkasvien parempi kyky estää tytyn huuhtoutumista on tiedossa. Suurimman osan nykyisistä rehunurmista oletettiin siirtävän nurmipalkokasvien käyttöön, mitä puoltavat myönteiset tulokset ruokintakokeista.

Laskelmien perusteeksi laadittu tehostetun palkokasvien käytön kaksikymmenvuotinen viljelykierto ei varmasti tule yleisesti viljelijöiden käyttöön. Tulevien polvien viljelystä huolehtiva voi toki sen sellaisenaankin käyttöön ottaa, mutta oleellisempaa on omaksua sen sisältämä ajatus. Silloin palkokasvien viljelyä voidaan lisätä tilan tarpeet ja mahdollisuudet huomioiden, ja sijaa jää myös tuotteiden kysynnän muutosten huomioon ottamiselle. Viljelyn kannattavuudelle pitkällä aikavälillä esimerkkikierron kaltaisella viljelyllä lienee edullinen vaikutus.

Päätelmiä viljelykierron eri osien väkilannoitetytyn säästävästä merkityksestä voidaan pitää perusteina myös silloin, kun arvioidaan energian ja typpilannoitteiden säästöä tässä esitettyä vähäisemmän palkokasvien viljelyn tilanteessa. Sen sijaan viljelijä ei voi esimerkiksi olettaa ilman muuta vähentävänsä väkilannoitetytyn määrää  $70 \text{ kg ha}^{-1}$  aina viherkesannon jälkeen, vaan hänen on otettava huomioon mm. viherkesantokasvuston rehevyys ja kasvilajijakauma seuraavan kasvin lannoitus päätöstä tehdessään. Täydellinen epäonnistuminen edeltävän palkokasvin viljelyssä merkitsee väkilannoitetytyn tavanomaista käyttöä seuraavalla kasvulla.

Palkokasvien käytön lisäämisen vaikutus viljelyn koneketjujen aiheuttamaan energiankulutukseen laskettiin uudella tavalla. Pääosin laskelmat perustuivat mitattuihin kulutuslukemiin ja eri kasviryhmien viljelypinta-alojen muutoksiin. Pellon viljely viherkesantona viljan sijaan aiheutti suurimman yksittäisen energiansäästön. Säästön merkitystä nykytilanteeseen verrattuna vähensi kuitenkin huomattavasti, että lähes vastaava määrä peltoa arvioitiin otettavaksi mukaan viljelykiertoon nyt viljelemättömistä pelloista. Nur-

mipalkokasvien lisääminen rehunurmiin kasvatti koneketjujen energiankulutusta, mutta hyvin vähän verrattuna muualta tuleviin säästöihin.

Joissakin tilanteissa menetelmän vaikutus energiankulukseen jouduttiin arvioimaan. Esimerkiksi aluskasvien merkitys puintiin ja kuivaukseen kuluvan energian lisääjinä pääteltiin varsin pieneksi. Silti käytännön oloissa puintinopeutta on ehkä hidastettava jos aluskasvi on poikkeuksellisen rehevä, mikä lisää energiankulutusta. Toisaalta tuolloin on odotettavissa myös tavallista suurempi väkilannoitetyypen säästö seuraavan kasvin viljelyssä.

Palkokasvien typpijälkivaikutuksen tarkastelu uudella tavalla, typpilannoitustehon avulla, ottaa huomioon väkilannoitetyypen käytön tavoiteltuun sadon määrään pääsemiseksi. Palkokasvin typpilannoitusteho onkin yleensä pienempi kuin perinteisesti määritetty typpijälkivaikutus seuraavalle kasville. Vain silloin, kun viherlannoituskasvustosta vapautuu laskennallisesti seuraavalle kasville käyttökelpoista typpeä vähintään saman verran kuin ilman kyseistä esikasvia annettaisiin väkilannoitetyyppeä, voi typpilannoitustehon olettaa olevan yhtä suuri kuin perinteisesti määritetty typpijälkivaikutus.

Typpilannoitustehon määrittämiseen tarvittavia typpilannoitustasoja on kentäkokeissa toteutettu harvoin, tähän raporttiin oli käytettävissä yksi viherlannoitus- ja yksi aluskasvikoe, useilla koepaikoilla ja useana vuonna toistettuina tosin. Raportin päätelmät viherlannoituskasvustojen tyypen merkityksestä seuraavan kasvin typpilannoituksen säästöön perustuvat edelleen suurelta osin perinteisiin jälkivaikutustuloksiin ja kirjallisuudesta löytyviin tutkijoiden yhteenvedoihin. Uusi tapa laskea typpilannoitustehoa toi kuitenkin tiedon lähemmäs totuutta. Viherlannoitusyöty on silti aina riippuvainen monista tekijöistä: kasvuston rehevyydestä, lajijakaumasta, rikkakasvipitoisuudesta, kasvuston lopetusajasta ja –tavasta, oloista viherlannoituskasvuston lopettamisen ja seuraavan kasvin kylvön välillä sekä lopulta myös seuraavan kasvin kasvun onnistumisesta.

Raportin näkökulma palkokasvien typpihiötyyn on osittain erilainen kuin luomuviljelyn tilanteessa. Luomussa viherlannoituksen kanssa kilpailee, sitä täydentää tai korvaa, karjanlanta. Tavanomaisessa viljelyssä viherlannoitusvaikutusta täydennetään karjanlannan lisäksi väkilannoitetyypellä, ja myös muiden kemiallisten panosten käyttö on mahdollista. Aiemmin käytetty väkilannoitetyppi säästyy kokonaan, kun pelto siirtyy luonnonmukaiseen viljelyyn, mutta vain osittain, kun tavanomaisella pellolla tehostetaan palkokasvien käyttöä. Silti jälkimmäisessä tapauksessa on mahdollista säästää väkilannoitetyyppeä hieman enemmän kuin tilanteessa, jossa puolet Suomen peltoalasta on luomuviljelyssä.

Raportin laskelmiin liittyy paljon oletuksia. Osaa oletuksista voidaan pitää rohkeina, osaa varovaisina. Etenkin palkokasvien lisäämisen pinta-alaodotukset arvioitiin varovasti maksimaalisiin mahdollisuuksiin nähden. Toisaalta mahdollisilla muilla pellon käytön muutoksilla, kuten energiatuotannon lisäyksellä, ei spekuloitu. Pinta-alaoletuksiin liittyy erilaisten tilastojen yhdistämiseen liittyvää epävarmuutta, ja tilanne viljelyaloissa muuttuu vuosittain. Palkokasvien typpilannoitustehot arvioitiin tutkimustulosten pohjalta realistisiksi, mutta niihin pääsy edellyttää biologisen typensidonnan hyödyntämiseen motivoitunutta viljelyä.

Raportin loppupuolella on lueteltu pitkä lista tutkimustarpeita biologisen typensidonnan täyden hyödyntämisen varmistamiseksi ja palkokasvien viljelyn lisäämisen vaikutusten tarkentamiseksi. Tietämys ja tutkimustulokset ovat kuitenkin riittäviä siihen, että raportin päätelmien takana on mahdollista seistä. Jatkossa, toivottavasti, tehtävät arviot vaikutuksista ympäristöön, talouteen ja kasvinsuojeluun joko kannustavat tai hillitsevät palkokasvien viljelyn lisäämistä. Ennen kaikkea pääseminen selvityksen esittämiin säästöihin väkilannoitetyypen ja fossiilisen energian määrissä edellyttää huomattavaa asennemuutosta viime vuosikymmenet vallinneessa viljelykulttuurissa.

Osaltaan raportissa osoitetut tietovajeet ja oletukset ohjaavat myös tutkimusta ilmastonmuutoksen hillinnän edellyttämällä tavalla. Kokonaan analyysin ulkopuolelle jätetyt asiat kuten peltomaan hiilivarojen hupeneminen, biokaasun tuotanto ja orgaanisten lannoitteiden kehittäminen ovat kiireellisiä tutkimuskohteita.

Kasvualusta palkokasvien käytön lisääntymiselle on olemassa. Viljelijöiden kiinnostus palkokasveja kohtaan on lisääntynyt lannoitteiden kalleuden ja peltojen kasvukunnosta koetun huolen vuoksi. Arvio palkokasvien mahdollisuudesta korvata väkilannoitetyyppeä ja säästää fossiilista energiaa voikin olla lähempänä

todellisuutta kuin äkkiseltään muutoksen suuruuden vuoksi voisi luulla. Muutoksen lähestyessä tutkimuksen on vielä selvitettävä sen merkitys tuotantomäärien, viljelyn talouden ja viljelytekniikan sopeutumisen kannalta. Tärkeää on myös tarkentaa tietämystä tässä sivutuista ympäristövaikutuksista. Seuraavaksi HiiliN –hankkeen puitteissa paneudutaan palkokasvien käytön lisäämisen merkitykseen kasvihuonekaasupäästöjen kannalta. Myös palkokasvien merkitys maan hiilivarojen lisääjänä on syytä ottaa lähempään tarkasteluun.



---

## 14 Kirjallisuus

---

- Altieri, M.A. & Letourneau, D.K. 1982. Vegetational management and biological control in agroecosystems. *Crop Protection* 1: 405-430.
- Asseng, S., Fillery, I. R. P. & Gregory, P. J. 1998. Wheat response to alternative crops on a duplex soil. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 38: 481–488.
- Bergkvist, G. 2003. Effect of white clover and nitrogen availability on the grain yield of winter wheat in a three-season intercropping system. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil and Plant Science* 53: 97-109.
- Børresen, T. 1994. Ryegrass and white clover undersown in small grains at three nitrogen levels and four tillage treatments: After-effects on grain yield and soil structure. NJF-utredning/rapport nr 99. The use of catch or cover crops to reduce leaching and erosion. Knivsta, Sweden, 3-4 October 1994.
- Eltun, R., Henriksen, T. & Bjerke, O. 2001. Avling og etterverknad av erter og åkerbønner i økologisk dyrking. *Jord- og Plantekultur 2001/Planteforsk, Grønn forskning 01/2001*, 173-182.
- Eriksen, J. 2001. Nitrate leaching and growth of cereal crops following cultivation of contrasting temporary grasslands. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 136: 271-281.
- Erviö, L-R. 1965. Certain parasites of fungal sclerotia. *Journal of the Scientific Society of Finland* 37: 1-6.
- Evans, J., McNeill, A. M., Unkovich, M. J., Fettell, N. A. & Heenan, D. P. 2001. Net nitrogen balances for cool-season grain legume crops and contributions to wheat nitrogen uptake: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 41: 347–359.
- Evira 2012. Luomuhyväksytty tuotantoala. Saatavissa internetissä: <http://www.evira.fi>.
- Fox, R.H. & Piekielek, W.P. 1988. Fertilizer N equivalence of alfalfa, birdsfoot trefoil and red clover for succeeding corn crops. *Journal of Production Agriculture* 1: 313-317.
- Gana, Y., Liang, C., Wang, X., McConkey, B. 2011. Lowering carbon footprint of durum wheat by diversifying cropping systems. *Field Crops Research* 122: 199–206.
- Garand M.J., Simard R.R., MacKenzie A.F. & Hamel, C. 2001. Underseeded clover as a nitrogen source for spring wheat on a Gleysol. *Canadian Journal of Soil Science* 81: 1, 93-102.
- Granstedt, A. 1995. The mobilization and immobilization of soil nitrogen after green-manure crops at three locations in Sweden. Teoksessa: Cook, H.F. & Lee, H.C. (toim.) *Soil Management in Sustainable Agriculture*. Wye College Press, London. s. 265-275.
- Halvorson, J.J., Smith, J.L. & Franz, E.H. 1991. Lupine influence on soil carbon, nitrogen and microbial activity in developing ecosystems at Mount St. Helens. *Oecologia* 87:162-170
- Hannukkala, A. 2005. Nurmi- ja nurmikkokasvit. Apila. Kasvitaudit. Teoksessa: Ajankohtaisia kasvinsuojeluohjeita. *Kasvinsuojeluseuran julkaisuja* 100: 57-59.
- Heikkilä, T., Toivonen, V. & Mela, T. 1996. Puna-apilapitoinen säilörehu parantaa maitotuotosta. *Koetoiminta ja käytäntö* 53, 24.1.1996: s. 2.
- Hocking, P.J., 2001. Organic acids exuded from roots in phosphorus uptake and aluminium tolerance of plants in acid soils. *Advances in Agronomy* 74: 63–97.

- Hänninen, S., Isotalo, M. & Mäki-Punto, A. 2008. Lannan fosfori- ja typpisisältö peltoalaa kohden Varsinais-Suomen kunnissa. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen raportteja 11/2008: 34 s.
- Jensen, C. R., Joernsgaard, B., Andersen, M.N., Christiansen, J.L., Mogensen, V.O., Friis, P. & Petersen, C.T. 2004. The effect of lupins as compared with peas and oats on the yield of the subsequent winter barley crop. *European Journal of Agronomy* 20: 405–418.
- Jensen, E. S., Peoples, M.B. & Hauggaard-Nielsen, H. 2010. Faba bean in cropping systems. Review. *Field Crops Research* 115: 203–216.
- Jensen, E.S., Peoples, M.B., Boddey, R.M., Gresshoff, P.M., Hauggaard-Nielsen, H., Alves, B.J.R., & M. J. Morrison, M.J. 2012. Legumes for mitigation of climate change and provision of feedstocks for biofuels and biorefineries. *Agronomy for Sustainable Development* 32: 329-364.
- Kankaanpää, L. 2012. Kirjallisesti annettu tilastotieto, julkaisematon.
- Kauppara, R. & Kilttilä, K. 1992. Ohran typpilannoituksen vaikutus aluskasvien kasvuun. (Effect of N fertilization on undersown crops in spring barley.) Teoksessa: Varis, E. & Kauppara, R. 1992. Viherlannoituskokeiden tuloksia vuosilta 1979-87. (Results from green manure experiments in 1979-87.) Helsingin Yliopiston Kasvinviljelytieteen laitos. *Kasvinviljelytieteen julkaisuja* 30: 146-190.
- Kauppara, R. & Lindqvist, M. 1992. Aluskasvin vaikutus maan typpitaseeseen ja satoon ohran ja sitä seuraavan vehnän viljelyssä. (Effect of undersowing on soil N balance and yield of barley and subsequent spring wheat.) Teoksessa: Varis, E. & Kauppara, R. 1992. Viherlannoituskokeiden tuloksia vuosilta 1979-87. (Results from green manure experiments in 1979-87.) Helsingin Yliopiston Kasvinviljelytieteen laitos. *Kasvinviljelytieteen julkaisuja* 30: 191-226.
- Kirkegaard, J., Christen, O., Krupinsky, J. & Layzell, D. 2008. Break crop benefits in temperate wheat production. Review. *Field Crops Research* 107: 185–195
- Käytännön Maamies 2012a. Mailasta vai apilaa? Käytännön Maamies 61:1, s. 21
- Käytännön Maamies 2012b. Lannoitteiden käyttö vähenee. Käytännön Maamies 61:3, s. 14-15.
- Sipiläinen, T., Koikkalainen, K. & Vanhatalo, A. 2012. Taloudellinen näkökulma palkokasvien viljelyyn. Teoksessa: Typpi- ja valkuaisomavaraisuuden lisääminen palkokasveja tehokkaasti hyödyntämällä : MoniPalko-hankkeen loppuraportti / Arja Nykänen (toim.). MTT Raportti 59: s. 11-31.
- Kolehmainen, E., Pellikka, H. & Virtanen, S. 2006. Maatalouden lannoitteet. Helsingin yliopiston ympäristötutkimuksen ja opetuksen yksikkö, kurssityö. 14 s.
- Kristensen, H.L., McCarty, G.W. & Meisinger, J.J. 2000. Effects of soil structure disturbance on mineralization of organic soil nitrogen. *Soil Science Society of America Journal* 64: 371-378.
- KTBL (2012). Verfahrensrechner Pflanze. Saatavissa internetissä: <http://daten.ktbl.de/vrpflanzedemo/prodverfahren/start.action>
- Kuoppala, K. 2010. Influence of harvesting strategy on nutrient supply and production of dairy cows consuming diets based on grass and red clover silage. MTT Science 11: 50 s. Doctoral Dissertation.
- Kuusela, E. 2004. Annual and seasonal changes in production and composition of grazed clover-grass mixtures in organic farming. *Agricultural and Food Science* 13, 3: 309-325.
- Känkänen, H. 1994. Viherkesanto elävöittää maata. Koetoiminta ja käytäntö 51, 22.2.1994: p. 8.

- Känkänen, H., Kangas, A., Mela, T., Nikunen, U., Tuuri, H. & Vuorinen, M. 1998. Timing incorporation of different green manure crops to minimize the risk of nitrogen leaching. *Agricultural and Food Science in Finland* 7: 553–567.
- Känkänen, H., Kangas, A., Mela, T., Nikunen, U., Tuuri, H. & Vuorinen, M. 1999. The effect of incorporation time of different crops on the residual effect on spring cereals. *Agricultural and Food Science in Finland* 8: 285–298.
- Känkänen, H. 2000. Viherlannoituksestako apua viljelyn yksipuolisuuteen? Teoksessa: Riitta Salo (toim.), Maatalouden tutkimus- ja tuotantopäivät : 20-vuotisjuhlaseminaari Jokioinen 26.-27.7.2000. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 79: s. 31-38.
- Känkänen, H. 2001. Viherkesannot ja aluskasvit viljan viljelyssä : Viljelyjärjestelmät-tutkimuksen loppuseminaari, Jokioinen, 7.3.2001. MTT:n julkaisuja. Sarja B 25: 41 s. + 1 liite.
- Känkänen, H. 2010. Undersowing in a northern climate: effects on spring cereal yield and risk of nitrate leaching. *MTT Science* 8: 93 s. Diss; Doctoral Dissertation.
- Känkänen, H., Keskitalo, M. & Riiko, K. 2011. Kerääjäkasvit -tutkimuksesta käytännön kokemuksiin. TEHO-hankkeen julkaisuja: Tehoa maatalouden vesiensuojeluun 4/2011: 80 s.
- Känkänen, H., Huusela-Veistola, E., Jalli, H. & Jalli, M. 2012. Herne on vaativa suorakylvettävä. In: Toim. Nina Schulman ja Heini Kauppinen. Maataloustieteen Päivät 2012, 10.-11.1.2012 Viikki, Helsinki: esitelmät, posterit. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 28: 6 s.
- Laine, A. & Vuorinen, M. 2010. Herne. Teoksessa: Peltokasvilajikkeet 2010 / Arjo Kangas, Taina Harmoinen. ProAgria Keskusten Liiton julkaisuja 1089: Tieto tuottamaan 131: 50-53.
- Laitinen, P. & Hannukkala, A. 2009. Öljykasvien tautien torjunta kannattaa. *Maaseudun Tiede* 66:2, s. 16.
- Li, F.R., Gao, C.Y., Zhao, H.L. & Li, X.Y. 2002. Soil conservation effectiveness and energy efficiency of alternative rotations and continuous wheat cropping in the Loess Plateau of northwest China. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 91: 101–111.
- Leinonen, P. 2011. Viherlannoitus ja typen hallinta vihannesviljelyssä. Saatavissa internetissä: <http://www.luomu.fi/tietoverkko>.
- Lindén, B. 2008. Efterverkan av olika förfrukter: inverkan på stråsädesgrödors avkastning och kvävetillgång - en litteraturoversikt. Avdelningen för precisionsodling, Rapport 14, 66 s.
- Luostarinen, S., Logrén, J., Grönroos, J., Lehtonen, H., Paavola, T., Rankinen, K., Rintala, J., Salo, T., Ylivainio, K. & Järvenpää, M. 2011. Lannan kestävä hyödyntäminen. *MTT Raportti* 21: 173 s.
- Mattila, P. 2006. Ammonia emissions from pig and cattle slurry in the field and utilization of slurry nitrogen in crop production. Doctoral dissertation. *Agrifood Research Reports* 87. 136 s. Saatavissa internetissä: <http://www.mtt.fi/met/pdf/met87.pdf>
- Mikkola, H. J. & Ahokas, J. 2009. Energy ratios in Finnish agricultural production. *Agriculture and Food Science*, 18, 332-346.
- Mikkola, H. J. & Ahokas, J. 2010. Suomalaisten peltokasvien energiatase ja nettoenergia. In: Hopponen, A., Maataloustieteen Päivät 2010. Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisuja 26: 7s.
- Myllys, M., Lilja, H. & Regina, K. 2012. The area of cultivated organic soils in Finland according to GIS datasets. 14th International Peat Congress. Extended abstract No. 241: 5 p.
- Myllys, M. & Sinkkonen, M. 2005. Eloperäiset viljelysmaat vähenevät. *Koetoiminta ja käytäntö* 62, 1: 15.

- Nemecek, T. & Kägi, T. 2007. Life Cycle Inventories of Swiss and European Agricultural Production Systems. Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART, ecoinvent report No. 15a: 308 s.
- Niemi, J., Sipiläinen, T. & Karhula, T. 2012. Kotimaisen valkuaisen käytön taloudelliset edellytykset lihasian ruokinnassa. Maataloustieteen Päivät 2012, 10.-11.1.2012 Viikki, Helsinki : esitelmät, posterit. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 28: 7 s.
- Nyberg, A. & Lindén, B. 2008. Åkerböror som förfrukt till vårsäd i ekologisk odling. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för precisionsodling, rapport 15. 40 s.
- Nykänen, A., Jauhiainen, L., Nissinen, O. & Tuori, M. 2006. Nurmipalkokasvien optimaalinen korjuu-aika. In: Anna-Maija Heikkilä (toim.). Laatu-lihaa tehokkaalla emolehmätuotannolla . MTT:n selvityksiä 113: 27-35.
- Nykänen, A., Hannukkala, A., Rinne, M. & Salo, T. 2010. Palkokasvit nurmitilan kierrossa. Maataloustieteen Päivät 2010. Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisu 26: 7 s.
- Nykänen, A. 2008. Nitrogen dynamics of organic farming in a crop rotation based on red clover (*Trifolium pratense*) leys. Doctoral Dissertation. Agrifood Research Reports 121. 60 s.
- Nykänen, A. 2012. Typpi- ja valkuaisomavaraisuuden lisääminen palkokasveja tehokkaasti hyödyntämällä: MoniPalko-hankkeen loppuraportti. MTT Raportti 59: 83 s.
- Palva, R. 2009. Lanta kasvin ravinteena, lannan kuljetus ja levitys kustannustehokkaasti. Ravinteita ja energiaa lannasta –seminaarin esitys 28.10. 2009, Joensuu.
- Peltonen-Sainio P., Hannukkala, A., Huusela-Veistola, E., Voutilainen, L., Niemi, J., Valaja, J., Jauhiainen, L. & Hakala, K. 2012. Potentiaali ja realiteetit kotimaisen valkuaisuotannon lisäämiseksi nyt ja tulevaisuudessa In: Toim. Nina Schulman ja Heini Kauppinen. Maataloustieteen Päivät 2012, 10.-11.1.2012 Viikki, Helsinki: esitelmät, posterit. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 28: 5 s.
- ProAgria 2011. Nurmentuotannon tulokset. ProAgria lohkotietopankki. Saatavissa internetistä: [www.proagria.fi](http://www.proagria.fi).
- Puhakka, L., Jaakkola, S. & Vanhatalo, A. 2012. Palkoviljat nautojen ruokinnassa. Maataloustieteen Päivät 2012, 10.-11.1.2012 Viikki, Helsinki: esitelmät, posterit. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 28: 7 s.
- Riesinger, P. 2010. Agronomic challenges for organic crop husbandry. Doctoral thesis. The Faculty of Agriculture and Forestry of the University of Helsinki, Department of Agricultural Sciences, Publications 2: 91 s.
- Saarijärvi, K. 2008. Nitrogen cycling on intensively managed boreal dairy pastures. Doctoral Dissertation. Agrifood Research Reports 134. 71 s., 4 appendices.
- Saarinen, E., Virkajärvi, P., Huuskonen, A., Hyrkäs, M., Niskanen, M., Pesonen, M. & Suomela, R. 2012. Innovatiivisia rehukasveja nautakarjailloille. Maataloustieteen Päivät 2012, 10.-11.1.2012 Viikki, Helsinki: esitelmät, posterit. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 28: 7 s.
- Seppälä, E. & Ojanen, S. 2006. Ammoniakin tuotanto. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto, Kemiantekniikan osasto, Teknillisen kemian laboratorio. Opintotyö, 11 s.
- Sinkkonen, M. 2001. Tuotantotavan ja -paikan vaikutukset Helsingissä kulutettavan rukiin energiataaseen. MTT Taloustutkimus (MTTL), selvityksiä 15/2001: 34 s.
- Sippola, J. & Ylärinta, T. 1985. Mineral nitrogen reserves in soil and nitrogen fertilization of barley. Annales Agriculturae Fenniae 24: 117-124.

- Statistics Finland 2011. Greenhouse gas emissions in Finland 1990-2009. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol 15.4.2011. Saatavissa internetissä:  
<http://www.stat.fi/greenhousegases>
- Stoddard, F.L., Hovinen, S., Kontturi, M., Lindström, K., & Nykänen, N. 2009. Legumes in Finnish agriculture: History, present status and future prospects. *Agricultural and Food Science* 18: 191-205.
- Stoddard, F. 2012. Palkokasvien viljely. In: toim. Raila Aaltonen ja Sari Peltonen. Valkuaisrehujen tuotanto ja käyttö. Tieto tuottamaan 134: ProAgria Keskusten Liiton julkaisuja 1108: 36-47.
- Stoddard, F. 2012. Increasing the range of legume crops for Finnish crop rotations. *Maataloustieteen Päivät 2012*, 10.-11.1.2012 Viikki, Helsinki: esitelmät, posterit. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 28: 4 s.
- Tike 2009. Julkaisematon Excel-tilaus ja diaesitys: Mustalahti, I. 23.2.2009. Development of fertilizer and pesticide use statistics in Finland – pilot survey. Tietolähde Tike, tilahaastattelu.
- Tike 2011a. SVT, Käytössä oleva maatalousmaa. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. Saatavissa internetissä: [www.mmmtike.fi](http://www.mmmtike.fi)
- Tike 2011b. Maatilatilastollinen vuosikirja 2011. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. 269 s.
- Tike 2012a. Maatalouslaskenta 2010. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. Saatavissa internetissä: [www.mmmtike.fi](http://www.mmmtike.fi)
- Tike 2012b. Tiken ennakkotilastot 2012. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. Saatavissa internetissä: [www.mmmtike.fi](http://www.mmmtike.fi)
- Tike 2012c. Viljelykasvien sato vuonna 2011. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. Saatavissa internetissä: [www.mmmtike.fi](http://www.mmmtike.fi)
- Tike 2012d. SVT, Käytössä oleva maatalousmaa. Peltoalan käyttö, 1910 ja 1920-2011. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. Saatavissa internetissä: [www.mmmtike.fi](http://www.mmmtike.fi)
- Torssell, B., Eckersten, H., Kornher, A., Nyman, P. & Boström, U. 2007. Modelling carbon dynamics in mixed grass-red clover swards. *Agricultural Systems* 94: 273–280.
- Vuorinen, M. 1997. Viherkesanto avokesannon tilalle. *Koetointa ja käytäntö* 54 (24.6.1997): 32.
- VYR 2012c. Mallasohran viljelyopas. Vilja-alan yhteistyöryhmä. Saatavissa internetissä: <http://www.vyr.fi>
- Wallgren, B. & Lindén, B. 1991. Residual nitrogen effects of green manure crops and fallow. *Swedish Journal of Agricultural Research* 21: 67-77.
- Wivstad, M. 1997. Plant morphology and content of nitrogen, cell wall and lignin at different phenological stages of red clover and yellow sweet clover. *Swedish Journal of Agricultural Research* 27: 3-14.
- Yara 2010. Calculation of carbon footprint of fertilizer production. Open information, date 2010-03-31. Issued by Yara HESQ/TK Jenssen. 5 s. Saatavissa internetissä: <http://www.yara.fi/doc/29293>
- Yara 2011. Hiilijalanjälki. Lannoituksen ilmastovaikutusten parantaminen, s.6: Ammoniakin tuotanto. Saatavissa internetissä: <http://www.yara.fi/doc/31441>.
- Yli-Mattila, T., Kalko, G., Hannukkala, A., Paavanen-Huhtala, S. & Hakala, K. 2010. Prevalence, speciescomposition, genetic variation and pathogenicity of clover rot (*Sclerotinia trifoliorum*) and *Fusarium* spp. in redclover in Finland. *European Journal of Plant Pathology* 126, 1: 13-27.
- Ylimäki, A. 1967. Root rot as a cause of red clover decline in leys in Finland. *Annals of Agriculturae Fenniae* 6, Supplement 1:1-56.

MTT TEKEE TIETEESTÄ ELINVOIMAA

# MTT RAPORTTI 76

[www.mtt.fi/julkaisut](http://www.mtt.fi/julkaisut)

MTT Raportti -verkkójulkaisusarjassa julkaistaan maatalous- ja elintarviketutkimusta sekä maatalouden ympäristötutkimusta käsitteleviä tutkimusraportteja. Lukijoille tarjotaan tietoa MTT:n kaikilta tutkimusaloilta eli biologiasta, teknologiasta ja taloudesta.

MTT, 31600 Jokioinen.

