

*M a a t a l o u d e n
t u t k i m u s k e s k u k s e n
j u l k a i s u j a*

S A R J A A

54

*Pentti Seuri, Arja Nykänen
ja Harri Huhta*

**Siilinjärven apatiittipöly ja
muut hidasliukoiset fosfori-
ja kaliumlannoitteet
luomuviljelyssä**

**Tuloksia koesarjasta
vuosilta 1990–1995**

Pentti Seuri, Arja Nykänen ja Harri Huhta

Siilinjärven apatiittipöly ja muut hidasliukoiset fosfori- ja kalium- lannoitteet luomuviljelyssä

**Tuloksia koesarjasta vuosilta 1990–1995
2. korjattu painos**

**Apatite dust from Siilinjärvi mine and other slowly
soluble phosphorus and potassium fertilizers
in organic farming**

**Results of a series of experiments in 1990–1995
2 nd revised edition**

Maatalouden tutkimuskeskus

ISBN 951-729-645-2 (Painettu)
ISBN 951-729-646-0 (Verkkajulkaisu)
ISSN 1238-9935
<http://www.mtt.fi/asarja>

2. korjattu painos

Copyright

MTT

Pentti Seuri, Arja Nykänen
ja Harri Huhta

Julkaisija

MTT, 31600 Jokioinen

Jakelu ja myynti

MTT, tietopalveluyksikkö, 31600 Jokioinen
Puh. (03) 4188 2327, telekopio (03) 4188 2339

Painatus

Jyväskylän yliopistopaino 2001

Sisäsivujen painopaperille on myönnetty pohjoismainen joutsenmerkki.
Kansimateriaali on 75-prosenttisesti uusiokuitua.

Seuri, P.¹⁾, Nykänen, A.¹⁾ & Huhta, H.²⁾ 2001. Siilinjärven apatiittipöly ja muut hidasliukoiset fosfori- ja kaliumlannoitteet luomuviljelyssä. Tuloksia koesarjasta vuosilta 1990–1995. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 54. 2. korjattu painos. Jokioinen: MTT. 26 p. + 5 app. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-645-2 (Painettu), ISBN 951-729-646-0 (Verkkajulkaisu). <http://www.mtt.fi/asarja>.

¹⁾ MTT, Ympäristöntutkimus, Ekologinen tuotanto, Partala, Huttulantie 1, 51900 Juva, pentti.seuri@mtt.fi, arja.nykanen@mtt.fi

²⁾ MTT, Ympäristöntutkimus, Ekologinen tuotanto, Karila, Karilantie 2 A, 50600 Mikkeli, harri.huhta@mtt.fi

Tiivistelmä

Avainsanat: lannoitus, fosforilannoitus, kaliumlannoitus, komposti, luonnonmukainen viljely, apilat, nurmet, biotiitti, ohra

Kahdessa kenttäkokeessa MTT:n (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus) ekologisen tuotannon tutkimusasemalla Juvala tutkittiin 1990–1995 erilaisten kivijauheiden, luujauhon ja kompostin käyttökelpoisuutta fosfori- ja kaliumlannoitteena luomuviljelyssä. Kokeissa mukana olleet kivijauheet olivat Siilinjärven apatiittipöly, Kuolan apatiitti, raakafosfaatti ja biotiitti. Kokeissa noudatettu viljelykierto oli ohra+nurmensiemen - kaksi- tai kolmi-vuotinen apilanurmi - ohra. Lannoitteet lisättiin ainoastaan kokeen alussa.

Kokeissa ei millään käytetyllä lannoitusaineella, luujauhoa lukuunottamatta, saatu selvää vaikutusta ohran tai nurmen sadon määrään tai laatuun. Luujauhonkin vaikutus perustui pääasiassa sen korkeaan typpipitoisuuteen. Puna-apilan fosfori- ja kaliumpitoisuuteen vaikuttaa maan liukoisen fosforin ja kaliumin pitoisuus, kun taas timotei ei reagoi maan fosfori- tai kaliumtilaan. Nurmen $K/(Ca+Mg)$ -ekvivalenttisuhte oli suositusten mukaan alle 2,2 ja arvoa voikin säädellä lisäämällä puna-apilan osuutta nurmessa, koska puna-apilan $K/(Ca+Mg)$ -suhde oli selvästi alhaisempi

kuin timotein. Nurmirehun Ca/P suhde oli liian alhainen.

Maan liukoisen fosforin pitoisuutta pystyttiin nostamaan keskimäärin 4–5 mg/l maata käyttämällä kompostia 30 t/ha tai luujauhoa 4 t/ha. Vaikutus kuitenkin hävisi 2–3 vuodessa. Käytettäessä apatiittipölyä ja kompostia yhdessä maan liukoisen fosforin pitoisuutta nostava vaikutus tuli esille hitaammin, sillä nousu pysähtyi vasta kolme vuotta lisäyksen jälkeen, jolloin pitoisuus oli noussut 6 mg/l maata. Maan liukoisen kaliumin pitoisuutta voitiin nostaa 40 mg/l maata käyttämällä biotiittia 8 t/ha tai biotiittia + kompostia 30 t/ha. Vaikutus kesti kaksi vuotta.

Panos – tuotos -suhteiden perusteella parhaat hyötysuhteet sekä fosforin että kaliumin osalta saatiin kompostia käytettäessä. Näiden tulosten perusteella voidaan suositella kompostia fosfori- ja kaliumlannoitteeksi luomutiloille. Tätäkin tärkeämpää on pyrkiä kierrättämään ravinteet tilalla mahdollisimman tehokkaasti. Lisää tutkimusta kaivataan siitä, kuinka pellossa olevia luontaisia ravinnevaroja pystyttäisiin hyödyntämään entistäkin tehokkaammin.

Seuri, P.¹⁾, Nykänen, A.¹⁾, & Huhta, H.²⁾ 2001. Apatite dust from Siilinjärvi mine and other slowly soluble phosphorus and potassium fertilizers in organic farming. Results of a series of experiments in 1990–1995. Publications of Agricultural Research Centre of Finland. Serie A 54. 2 nd revised edition. Jokioinen: MTT Agrifood Research Finland. 26 p. + 5 app. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-645-2 (Printed version), ISBN 951-729-646-0 (Electronic version).
<http://www.mtt.fi/asarja>

- ¹⁾ MTT Agrifood Research Finland, Environmental Research, Ecological Production, Huttulantie 1, FIN-51900 Juva, Finland, pentti.seuri@mtt.fi, arja.nykanen@mtt.fi
²⁾ MTT Agrifood Research Finland, Environmental Research, Ecological Production, Karila, Karilantie 2 A, FIN-50600 Mikkeli, Finland, harri.huhta@mtt.fi
-

Abstract

Key words: barley, biotite, bone meal, clover ley, compost, rock powders

The useability of rock powders, bone meal and compost as phosphorus and potassium fertilizers in organic farming was investigated in two field experiments of the Agricultural Research Centre of Finland at Juva (eastern Finland) in 1990–95. The rock powders were apatite dust from Siilinjärvi mine, Kola apatite, raw phosphate and biotite. The crop rotations were barley + ley undersown - 2–3 year-old clover leys - barley. Crops were fertilized at the beginning of the experiment only.

With the exception of bone meal, none of the fertilizers had an effect on the quantity or quality of the ley or barley. The bigger yield after bone meal fertilization was mainly due to its high nitrogen content. The phosphorus and potassium content of red clover was linearly related to the content of exchangeable phosphorus and potassium content in soil. Timothy did not react to the phosphorus or potassium level of the soil. The $K/(Ca + Mg)$ equivalent ratio of the ley fodder was above 2.2, as recommended. This value can be controlled by regulating

the clover content of the ley. The Ca/P ratio of the ley was too low.

The contents of exchangeable phosphorus and potassium in soil could be raised by approximately 4–5 mg/l soil by using compost 30 t/ha or bone meal 4 t/ha. This effect disappeared in 2–3 years. If apatite dust (8 t/ha) and compost (30 t/ha) were used together, the phosphorus level rose more slowly in 3 years, to 6 mg/l soil. The contents of exchangeable potassium in soil could be raised by 40 mg/l soil by using biotite 8 t/ha or biotite (8 t/ha) and compost (30 t/ha) together. The effect lasted 2 years.

According to the input-output ratios, use of compost gave the best result for both phosphorus and potassium. Compost can therefore be recommended as a phosphorus and potassium fertilizer in organic farming. Even more important is that farms should recycle nutrients on the farm as effectively as possible. Further studies are needed to find more effective ways of using the natural nutrient reserves of the soil.

Sisällys

Tiivistelmä	3
Abstract	4
1 Johdanto	7
2 Aineisto ja menetelmät	8
2.1 Kenttäkokeet	8
2.1.1 Koe 1 vuosina 1990–1994	8
2.1.2 Koe 2 vuosina 1992–1995	9
2.2 Maa- ja kasvianalyysit	11
2.3 Tilastoanalyysi	11
3 Tulokset ja niiden tarkastelu	12
3.1 Ohrasadot	12
3.2 Nurmisadot	14
3.2.1 Sadon määrä	14
3.2.2 Nurmisatojen fosforipitoisuus	14
3.2.3 Nurmisatojen kaliumpitoisuus	17
3.3 Maan fosfori- ja kaliumpitoisuudet	18
3.4 Fosforin ja kaliumin panos-tuotossuhteet	20
3.4.1 Fosforin panos-tuotossuhteet	20
3.4.2 Kaliumin panos-tuotossuhteet	22
4 Johtopäätökset	22
Kirjallisuus	25
Litteet	

1 Johdanto

Luonnonmukaisessa maanviljelyssä (luomuviljelyssä) viljelykasvien ravinnehuolto pyritään turvaamaan parantamalla maan omien ravinnevarojen hyväksikäyttöä ja biologisen typensidonnan edellytyksiä, sekä kierrättämällä maatilan ravinnevaroja ympäristöä eli maata, ilmaa ja vesistöjä säästävällä ja kuormittamattomalla tavalla. Tilan tuotantoa, viljelykiertoja, esikasveja ja viherlannoitusta suunniteltaessa ravinnehuolto on keskeisellä sijalla.

Niukkaravinteisten ja huonosti ravinteita pidättävien maalajien ravinnehuollossa tarvitaan luomuviljelyssäkin usein tilan ulkopuolista ravinneapua, esim. maan fosfori- tai kaliumtilan parantamiseen. Erilaisen ravinteiltaan rikastamattomien kivi- ja jauheiden käyttö tähän tarkoitukseen on mahdollista ja luomuviljelyssä sallittua, koska ravinteet vapautuvat näistä aineista luontaisesti rapautumalla.

Biotiitti on Siilinjärvellä fosforimalmia rikastettaessa syntyvää kaliumpitoista kiillejätettä eli flogobiittiä, joka kuuluu verkosilikaaattimineraaleihin. Biotiitin kalium sijaitsee kidehilojen välitiloissa, joista se vapautuu hitaasti kiteiden rapautuessa ja veden tunkeutuessa hilaväleihin. Kalium- ja ammoniumionien suuri määrä maanesteessä voi kuitenkin sitoa hilavälit kiinni niin, että kalium ei pääse vapautumaan (Wells & Norrish 1968). Viljelykokeissa on havaittu 1970-luvulta alkaen biotiitin käyttökelpoisuus nurmen pitkäaikaislannoitukseen karkeilla kivennäismailla ja turvemaidilla (Huh- ta 1989, Zitting 1980).

Apatiitti on fosforipitoinen mineraali, jonka rapautuminen riippuu mineraalin syntytavasta ja koostumuksesta. Orgaanista alkuperää olevat raakafosfaatit ovat pehmeämpiä rakenteeltaan ja tällöin myös niiden sisältämä fosfori vapautuu helpommin ja nopeammin kasvien käyttöön. Sen sijaan geologista alkuperää olevat apatiittimineraalit (Siilinjärven fluoroapatiitti, Soklin ja Kuolan fosforiitti) ovat osoittautuneet varsin niukkaliukoisiksi ilman rikastusta ja

kemiallista käsittelyä. Ainoastaan hyvin alhaisilla pH-tasoilla (Kähäri 1975) tai turvesoilla metsälannoitteena (Kaunisto et al. 1993) on apatiitilla saatu Suomessa fosforilannoitusvaikutusta.

1990-luvun alussa syntyi Suomessa kuitenkin tilanne, jolloin nopeammin liukenevat ns. pehmeät raakafosfaatit poistettiin markkinoilta haitallisen korkeiden kadmiumpitoisuuksien vuoksi. Tilalle tarvittiin niukasti kadmiumia sisältävää luomuviljelyyn soveltuvaa fosforilannoitetta. Tämän vuoksi ryhdyttiin tarkastelemaan mahdollisuuksia parantaa apatiitin käyttökelpoisuutta fosforilannoitteena.

Aiheeseen liittyvän kirjallisuuden perusteella löytyy useitakin keinoja, joiden avulla rapautumista voi pyrkiä nopeuttamaan. Näitä keinoja ovat mm. kivijauhemateriaalin jauhaminen hienojakoisemmaksi. Mitä hienojakoisempaa aine on, sitä suurempi on hiukkasten reaktiopinta-ala ja sitä nopeampaa on rapautuminen (Gisiger & Pulver 1959, Munk 1960, Bolland & Gilkes 1989). Kompostoitumisessa tapahtuvan pieneliötoiminnan ansiosta rapauttavat orgaaniset hapot, kosteus ja korkea lämpötila lantaan sekoitettua kivijauhetta (Mishra & Bangar 1986). Palkokasvit, kuten puna-apila ja lupiini, pystyvät hyödyntämään hidasliukoisia fosforivaroja, koska typensidonnan seurauksena pH laskee juuristovyöhykkeessä ja fosforin liukoisuus tällöin paranee (Kaila & Hänninen 1960, Ansorge 1966 ja Aguilar & van Diest 1981). Sijoituslannoituksella luodaan maahan 'kivijauhejuonteita', joissa vapautuvat ravinteet eivät sitoudu välittömästi muihin hiukkasiin, vaan pysyvät maanesteessä juuriston käytettävissä pidempään. Väkilannoitefosforin osittaisella sijoittamisella kylvöriiviin on saatu sadonlisää ohralle (Järvi 1995).

MTT:n (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus) ekologisen tuotannon tutkimusasemalla Juvan Partalassa tutkittiin 1990–1995 kahdessa kenttäkokeessa em. tekijöiden vaikutusta apatiittipölyn käyttökelpoisuuteen fosfori- ja kaliumlannoitteena luomuviljelyssä. Kokeissa käytettiin Kemira Oy:n Siilinjärven kaivokselta saa-

tua apatiittipölyä. Apatiittipöly on itse asiassa seos, jossa on apatiitin (14 %) lisäksi sekä kalsiittia (18 %) että biotiittia (40–50 %). Pöly syntyy kiven louhinnan ja murskauksen yhteydessä ja se saadaan talteen suodattimista; normaalisti se palautetaan lannoitetehtaan prosessiin. Kyseinen apatiittipöly sisältää kasvinravitsemuksen kannalta tärkeitä ravinteita seuraavasti: fosforia 2 %, kaliumia 5 %, magnesiumia 10 % ja kalsiumia 10 %. Tässä tutkimuksessa pyrittiin tehostamaan fosforin ja kaliumin liukoisuutta edistämällä apatiitin rapautumista seuraavin keinoin: 1) käyttämällä erittäin hienojakoista jauhetta (70 % <0,15 mm, 14 % <0,037 mm), 2) kompostoimalla apatiittipöly lannan kanssa, 3) käyttämällä voimakasjuuristoista palkokasvia (puna-apila), 4) lisäämällä apatiittipölyyn alkuainerikkiä (syntyy rapautumista edistävää rikkihappoa) sekä 5) rakeistamalla seos (rikki kiinteässä yhteydessä apatiittipölyyn) ja käyttämällä sijoituslannoitusta. Kokeissa tutkittiin myös muita hidasliukoisia fosfori- ja kaliumlannoitteita kuten Kuolan apatiittia, raakafosfaattia, luujauhoa, biotiittia sekä erilaisia komposteja. Tutkitut lannoitusmateriaalit olivat ominaisuuksiltaan varsin selvästi toisistaan poikkeavia (Taulukko 3).

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Kenttäkokeet

2.1.1 Koe 1 vuosina 1990–1994

MTT:n ekologisen tuotannon tutkimusasemalle Juvalla perustettiin ensimmäinen kahdesta kenttäkokeesta vuonna 1990 (koe 1). Koe perustettiin multavalle hietamoreenimaalle 16.–21.5.1990. Käytetyt lannoitusaineet ja koejäsenet on esitetty taulukoissa 1 ja 3. Maan ravinnetila muokkauskerroksessa (0–20 cm) viljavuusanalyysin (Vuorinen & Mäkitie 1955) mukaan koetta aloitettaessa oli: pH 5,9–6,5, fosfori 9,4–32,8 mg/l, kalium

124–266 mg/l, magnesium 79–164 mg/l ja kalsium 811–1734 mg/l. Maan fosforipitoisuus sijoittui siis viljavuusluokkiin 'tyydyttävä' - 'korkea' ja kaliumpitoisuus viljavuusluokkiin 'tyydyttävä' – 'hyvä'. Kokeessa oli 12 koejäsentä ja 4 kerrannetta. Koeruutujen bruttokoko oli $2,4 \times 10$ m ja nettoleveys oli 1,5 m. Maa muokattiin ensin S-piikkiäkeellä kahdesti, sen jälkeen levitettiin kompostia Belarus-lannanlevittimellä ilman purkaimia 30 tonnia/ha niille ruuduille, joille kompostia koesuunnitelman mukaan kuului levittää. Apatiittipölyn ja biotiitin sijoituslannoitusta varten vedettiin ensin vakoauralla kuusi n. 8 cm syvistä vakoa 25 cm välein. Lannoitetta levitettiin vakoihin 1 kg/5 m, mikä vastaa määrää 8 t/ha. Apatiittipölyn ja biotiitin pinta-lannoituksessa käytettiin Junkkari-pinta-lannoitinta. Lannoitteiden levityksen jälkeen maa muokattiin vielä kahdesti lapiorullaäkeellä.

Kokeessa käytetyn apatiittipölyn fosforipitoisuus oli keskimäärin 2 %, kaliumpitoisuus 5,6 %, kalsiumpitoisuus 10,6 % ja magnesiumpitoisuus 10,7 %. Apatiittipöly rakeistettiin Kemira Oy:n kompaktorilla ja rakeet seulottiin 1–3 mm kokoisiksi. Rikkipitoisten rakeiden resepti oli: 76 kg apatiittipölyä + 4 kg rikkiä + 3,2 kg kipsiä = 78 kg valmista lannoitetta. Rikittömän apatiittirakeen resepti oli: 100 kg apatiittipölyä + 4 kg kipsiä. Kaksoissuperfosfaatin fosforipitoisuus oli 20 %. Lisäksi kaksoissuperfosfaatti sisälsi rikkiä 1,2 % ja kalsiumia 20 %. Biotiitti oli Kemiran maanparannus-biotiittia, jonka kokonaiskaliumpitoisuus oli 4 %. Kompostin raaka-aineina käytettiin 2/3 hevosen lantaa purukuivikkeessa ja 1/3 sianlantaa olkikuivikkeessa. Analyysitulosten puuttuessa on laskelmissa käytetty kirjallisuudesta (Viljavuuspalvelu 1995, 1998) johdettuja keskimääräisiä lannan ravinnepitoisuuksia: kokonaisfosforin (P_{kok}) pitoisuus 0,8 %, kokonaiskaliumin (K_{kok}) pitoisuus 1,6 % kuiva-aineesta, kokonaistypen (N_{kok}) pitoisuus 1,8 % ja liukoisen typen (N_{liuk}) pitoisuus 0,4 % ka; kuiva-ainepitoisuus oli 27 %. Eri lannoitusaineet ja komposti levitettiin peltoon erillisinä.

Taulukko 1. Vuonna 1990 perustetun kokeen (koe 1) koejäsenet sekä koetta perustettaessa lannoiteaineissa maahan tuodut fosfori- ja kaliummäärät (kg/ha) kullakin käsittelyllä. Kompostia käytetty 30 t/ha.

Table 1. Treatments and phosphorus and potassium amounts (kg/ha) in fertilizers used at the beginning of experiment 1 (established in 1990). The amount of compost was 30 t/ha.

Käsittely / Treatment	P-panos P input	K-panos K input
ei lannoitusta, <i>no fertilization</i>	0	0
komposti, <i>compost</i>	66 *	126 *
apatiittipöly 4 t/ha, komposti, <i>apatite dust+compost</i>	146	350
apatiittipöly 8 t/ha, komposti, <i>apatite dust+compost</i>	226	574
apatiittipöly 16 t/ha, komposti, <i>apatite dust+compost</i>	386	1022
apatiittipöly 8 t/ha, sijoituslannoitus <i>apatite dust, placement</i>	160	448
apatiittipöly 8 t/ha, pintalannoitus <i>apatite dust, broadcast</i>	160	448
kaksoisuperfosfaatti, 150 kg/ha, pintalannoitus, komposti <i>superphosphate, broadcast, compost</i>	96	126
biotiiitti 8 t/ha, sijoituslannoitus, <i>biotite, placement</i>	0	320
biotiiitti 8 t/ha, komposti, <i>biotite + compost</i>	66	446
apatiittipöly 8 t/ha, rakeistus + 5% rikkiä, sijoituslannoitus <i>apatite dust, granulated, 5% S, placement</i>	160	448
apatiittipöly 8 t/ha, rakeistus, sijoituslannoitus <i>apatite dust, granulated, placement</i>	160	448

* = arvio

Viljelykierto kokeessa oli ohra + nurmen siemen - kolmi-vuotinen timotei-puna-apilanurmi - ohra. Suojaviljaohra (lajikkeena Arra) kokeen alussa kylvettiin kynnön suuntaisesti ja timotei-puna-apilaseos kyntöön nähden poikittain. Ohraa kylvettiin 400 itävää siementä/m². Nurmiseoksen painosta oli 1/3 Bjursele puna-apilaa ja 2/3 Tammisto-timoteita ja seosta käytettiin 20 kg/ha. Nurmen jälkeistä ohraa (myös Arra) kylvettiin 500 kpl/m². Vaikka lannoitusaineita levitettäessä maata tallattiin eri koejäsenillä eri tavoin, eivät mahdolliset vaihtelut maan tiivistymisessä vaikuta tuloksiin, koska kaikki näytteet ja sato otettiin talleamattoman nettoruudun alueelta. Nurmisato korjattiin kaksi kertaa kasvukaudessa Haldrup-korjuukoneella, oh-

rasta korjattiin Hege-koeruutupuimurilla jyväsato ja jälkimmäisenä ohravuonna myös olkisato punnitsemista ja analysointia varten. Oljet poistettiin ruuduilta molempina ohravuosina.

2.1.2 Koe 2 vuosina 1992–1995

Koe 2 perustettiin multavalle karkealle hietamaalle 26.–27.5.1992. Käytetyt lannoiteaineet ja koejäsenet on esitetty taulukossa 2. Maan ravinnetila muokkauskerroksessa oli koetta aloitettaessa: pH 5,7–6,2, fosfori 2,3–5,4 mg/l, kalium 83–159 mg/l, magnesium 102–150 mg/l ja kalsium 961–1440 mg/l. Maan fosforipitoisuus sijoittui viljavuusluokkiin 'huono' - 'välttävä' ja ka-

Taulukko 2. Vuonna 1992 perustetun kokeen (koe 2) koejäsenet sekä koetta perustettaessa lannoiteaineissa maahan tuodut fosfori- ja kaliummäärät (kg/ha) kullakin käsittelyllä. Kutakin kompostia käytetty 30 t/ha. Laskentaperusteena komposteilla kokonaisravinneanalyysit ja lannoiteaineilla valmistajan ilmoittamat kokonaisravinnemäärät.

Table 2. Treatments and phosphorus and potassium amounts (kg/ha) in fertilizers used at the beginning of experiment 2 (established in 1992). The amount of each compost was 30 t/ha. Calculations are based on the total nutrient analyses of composts and information from fertilizers producers.

Käsittely / Treatment	P-panos P input	K-panos K input
ei lannoitusta, <i>no fertilization</i>	0	0
komposti 30 t/ha, olkikate, <i>compost, straw cover</i>	48	116
komposti 30 t/ha, olki- ja muovikate <i>compost, straw + plastic cover</i>	53	168
apatiittipöly 8 t/ha kompostissa <i>apatite dust compost</i>	208	564
apatiittipöly 8 t/ha ylivuotisessa kompostissa <i>apatite dust in 2-year old compost</i>	*)	*)
apatiittipöly 16 t/ha <i>apatite dust</i>	320	896
luujauho 4 t/ha, <i>bone meal</i>	296	8
biotiiitti 8 t/ha kompostissa, <i>biotite compost</i>	48	436
Kuolan apatiitti 2 t/ha, <i>Kola apatite</i>	366	40
kuumennettu Kuolan apatiitti 1,8 t/ha <i>heated Kola apatite</i>	329	36
Kuolan apatiitti (1,3 t/ha) kompostissa <i>Kola apatite compost</i>	368	116
raakafosfaatti (1,3 t/ha) kompostissa <i>raw phosphate compost</i>	185	140

*) analyysitulokset puuttuu, *not analysed*

liumpitoisuus luokkiin 'välttävä'-tyydyttävä'. Jankkonäytteiden viljavuusluvut olivat vastaavasti: pH 5,7–6,2, fosfori 1,9–5,3 mg/l, kalium 84–124 mg/l, magnesium 105–132 mg/l ja kalsium 986–1290 mg/l eli samaa luokkaa kuin muokkauskerroksen viljavuusluvut. Kokeessa oli 12 koejäsentä ja 4 kerrannetta. Koeruutujen bruttokoko oli 2,5 x 8 m ja nettoleveys 1,5 m. Viljelykierto kokeessa oli ohra + nurmensiemen - kaksi-vuotinen timotei-puna-apilaturmi - ohra. Tässä kokeessa ohralajikkeena oli Pohto ja sitä käytettiin 400 itävää

siementä /m² suojaviljana ja 500 itävää siementä /m² puhdaskasvustona. Nurmiseosta käytettiin 12 kg/ha. Muulta osin koeruutujen hoitotoimenpiteet olivat samat kuin kokeessa 1.

Apatiittipöly ja biotiitti olivat samoja kuin kokeessa 1. Kokeessa käytetty Kemiran raakafosfaatti oli orgaanista alkuperää ja sisälsi 14,6 % fosforia ja 0,4 % rikkiä. Kuolan apatiitti oli mineraalina fosforiittia ja sen fosforipitoisuus oli 16 %. Kuumennettu Kuolan apatiitti on kuumennettu 1000 °C lämpötilaan asti, jolloin se ulko-

Taulukko 3. Kokeissa 1 ja 2 käytettyjen lannoiteaineiden ominaisuuksia määritettynä maan viljavuusanalyysimenetelmin (Vuorinen & Mäkitie 1955). Uttuvien ravinteiden pitoisuudet mg/l maata.

Table 3. Chemical characteristics by common soil test method (Vuorinen & Mäkitie 1955) of fertilizers investigated in two field experiments. Unit of exchangeable nutrients is mg/l soil.

Lannoite fertilizer	pH	Johtoluku conductivity	Ca	K	Mg	P
Kuum. Kuolan apatiitti <i>heated Kola apatite</i>	9,55	0,69	8090	8	348	3920
Luu jauho (Biolan) <i>bone meal</i>	6,59	18,2	15690	1370	747	6900
Kuolan apatiitti <i>Kola apatite</i>	6,84	8,23	1210	514	48	270
Siilinjärven apatiittipöly <i>apatite dust (Siilinjärvi)</i>	9,35	2,10	45270	249	1018	7,4
Biotiitti (Siilinjärvi) <i>biotite</i>	8,90	1,60	50850	51	814	2,7

muodoltaan muistuttaa paljon poltettua kalkkia. Tällaisen aineen fosforipitoisuus oli 18 % ja kalsiumpitoisuus 34 %. Luujauho oli Biolanin luujauhoa, jonka fosforipitoisuus oli 7,4 %, kaliumpitoisuus 0,2 % ja typpipitoisuus 6,5 %, josta 0,5 % oli vesiliukoista. Kompostin raaka-aineena käytettiin naudun lantaa olkikuivikkeessa. Kokeessa käytettiin kahdella eri tavalla katettua kompostia: molemmat katettiin oljella heti kompostin teon jälkeen, mutta ainoastaan toinen komposti katettiin vielä muovilla lämpövaiheen jälkeen. Olkikatteen kompostin P_{kok} -pitoisuus oli 1,1 %, K_{kok} -pitoisuus 2,7 %, N_{kok} -pitoisuus 2,2 % ja N_{liuk} -pitoisuus 0,1 % kuiva-aineesta. Olkija muovikatteen kompostin ravinnepitoisuudet olivat vastaavasti 1,1 %, 3,4 %, 2,5 % ja 0,2 % kuiva-aineesta. Erilaiset lannoiteaineet sekoitettiin lannan joukkoon syksyllä kompostin tekovaiheessa ennen kompostointia.

2.2 Maa- ja kasvianalyysit

Kokeista otettiin vuosittain ruudutettavat kyntökerroksen maanäytteet kasvukauden juuri alkaessa toukokuussa ja kasvukauden päättyessä lokakuussa. Näistä analysoitiin viljavuusanalyysin mukaiset pH, liukoinen fosfori, vaihtuva kalium, magnesium ja kal-

sium (sekä nitraatti- ja ammoniumtyppi).

Sekä ohran että nurmen kuiva-ainesadot mitattiin ruuduitun ja kaikista sadoista mitattiin P-, K-, Mg-, Ca- ja N-pitoisuudet (kokeen 1 osalta nurmen Mg-pitoisuutta ei mitattu vuonna 1991). Lisäksi nurmisadoista tehtiin botaaninen analyysi (apila, timotei, rikkakasvit) ruuduitun, lukuunottamatta kokeen 2 v. 1994 toista niittoa (Lite 2).

Ohran olkisatojen osalta meneteltiin seuraavasti: kokeiden viimeisen vuoden ohrakasvuston oljet punnittiin ruuduitun, samoin oljista määritettiin samat ravinteet kuin jyväsadostakin. Suojaviljaohran olkisadot ja ravinnemäärät arvioitiin panos - tuotos -laskentaa varten näiden koeoskohtaisten keskiarvotietojen avulla. Kokeen 1 poiskorjatun suojaviljan olkisadon määrä laskettiin 0,75 x jyväsato sekä olkien P-pitoisuus 0,168 % ja K-pitoisuus 1,39 %. Vastaavasti kokeen 2 poiskorjatun suojaviljan olkisato laskettiin 0,6 x jyväsato, olkien P-pitoisuus 0,146 % ja K-pitoisuus 1,67 %.

2.3 Tilastanalyysi

Tilastollisessa mallissa sovellettiin lohkotain satunnaistettujen kokeiden mallia neljällä kerranteella. Satunnaistamiseksi arvottiin kukin koejäsen kuhunkin kerran-

teeseen. Varianssianalyysissä käytettiin SAS-ohjelmiston GLM-proseduuria ja parittaisessa vertailussa Tukeyn T-testiä. Aineiston jakaumaperusteiset oletukset tarkistettiin ennen varianssianalyysiä Box-Cox-diagnoosilla. Tilastotestaus suoritettiin kokeessa analysoiduille muuttujille. Tilastollisesti ei testattu ns. laskettuja muuttujia, kuten nurmikasvien Ca/P- ja K/(Ca+Mg) suhteet sekä panos - tuotos-suhteet.

3 Tulokset ja niiden tarkastelu

3.1 Ohrasadot

Ensimmäisen koevuoden suojaviljaohran jyväsadot kokeessa 1 olivat keskimäärin 2360–2980 kg/ha (Taulukko 4). Varianssianalyysin mukaan ohran satomäärissä ei kokeessa 1 ollut koejäsenten välisiä tilastollisesti merkitseviä eroja, eli lannoitus ei vaikuttanut sadon määrään. Tämä johtuneen pääasiassa koekentän epätasaisista oloista, jolloin vaihtelu eri ruutujen välillä on ollut epäsystemaattista ja suurempaa kuin käsittelyiden aiheuttama vaihtelu. Kokeessa 2 luujauhon typpilannoitusvaikutus (260 kg N_{kok} /ha, 20 kg N_{liuk} /ha) ohran sadon määrään tuli selvästi esiin (Taulukko 4) ja se oli myös tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,001$). Luujauhoa saaneen ruudun ohrasato oli 3280 kg/ha, kun muiden ruutujen sato vaihteli 1800–2240 kg/ha. Kompostien typpilannoitusvaikutus kokeessa 1 oli 130 kg N_{kok} /ha, 31 kg N_{liuk} /ha ja kokeessa 2 olkikatteisella kompostilla 167 kg N_{kok} /ha, 8 kg N_{liuk} /ha ja olki- ja muovikatteisella kompostilla 188 kg N_{kok} /ha, 15 kg N_{liuk} /ha. Ruotsissa tehdyssä apatiittikokeessa (Lund 1990) oli kauralle saatu 1500–3000 kg/ha lisäsatoa käytettäessä 1,5 t/ha ruotsalaista fluoroapatiittia (17 % P) savimaalla, jonka fosforipitoisuus oli samaa luokkaa kuin kokeessa 2. Tosin lähes yhtä suuri sadonlisä oli saavutettu käyttämällä 3 t/ha maanparan-

nuskalkkia. Lundin mukaan tämä selittyy sillä, että kalkitus on parantanut maan biologista aktiivisuutta ja orgaanisen fosforin vapautuminen on nopeutunut.

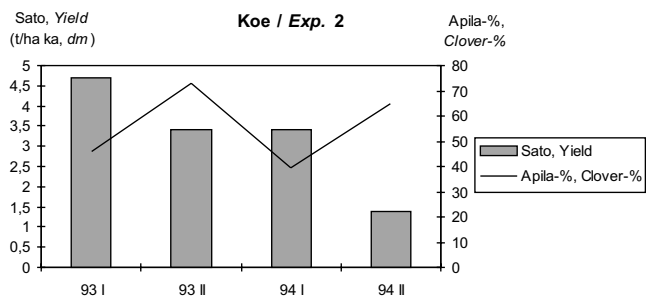
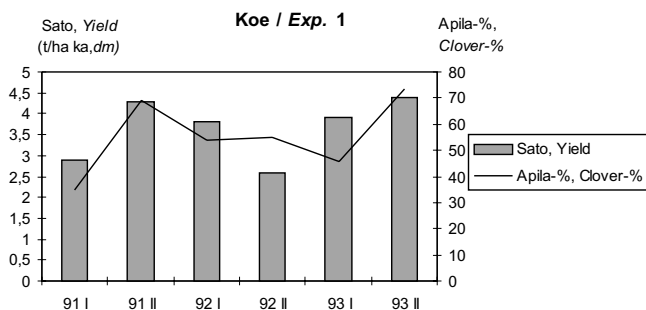
Fosforin ja kaliumin pitoisuudet jyvissä (4,0–4,2 g P/kg ka ja 5,4–5,6 g K/kg ka kokeessa 1; 3,9–4,3 g P/kg ka ja 4,8–5,0 g K/kg ka kokeessa 2) eivät riippuneet tilastollisesti merkitsevästi lannoituksesta kummassakaan kokeessa. Luujauholla ei ollut positiivista vaikutusta jyvien fosforipitoisuuteen, koska typpilannoitus nosti sadon määrää, mikä puolestaan laimensi jyvien fosforipitoisuutta hienoisesti. Jyvien kaliumpitoisuuksissa tätä vaikutusta ei voitu havaita. Jyväsadon mukana poistuneet ravinnemäärät kokeessa 1 olivat 9,3–12,4 kg P/ha ja 13,0–16,4 kg K/ha (laskettu taulukosta 4). Kokeessa 2 luujauholla lannoitetun ruudun ohran jyvät ottivat fosforia 12,9 kg/ha ja kaliumia 16,3 kg/ha, muilla aineilla lannoitettujen ruutujen ohran jyväsatojen ottamien ravinteiden määrä vaihteli välillä 7,7–9,0 kg P/ha ja 8,9–10,8 kg K/ha. Luujauholla lannoitetuilla ruuduilla suurempiin otettuihin ravinnemääriin vaikutti suuri kokonaisjyväsato. Olkisatoja ei ensimmäisenä koevuotena mitattu eikä olkia analysoitu kummassakaan kokeessa.

Ohran jyvä- tai olkisadot eivät myöskään nurmen jälkeisinä koevuosina (1994 kokeessa 1 ja 1995 kokeessa 2) riippuneet merkitsevästi käytetystä lannoituksesta kummassakaan kokeessa. Erot olivat entisestään tasoittuneet verrattuna ensimmäisiin ohrasatoihin (Liite 1). Millään kokeessa mukana olleilla lannoitusaineilla ei voitu vaikuttaa myöskään jyvien tai olkien fosfori- ja kaliumpitoisuuksiin eikä otettuihin fosfori- ja kaliummääriin.

Fosfori ja kalium eivät näissä kokeissa olleet rajoittavia tekijöitä viljasadolle, koska mikään käsittely ei lisännyt sadon määrää eikä sadon fosfori- tai kaliumpitoisuutta lannoittamattomaan ruutuun verrattuna. Jyvien fosforipitoisuudet olivat molemmissa kokeissa molempina vuosina hyvällä tasolla rehuna käytön kannalta, kun ohran normiarvo on 3,5 g/kg (ka) (Tuori et al. 1995).

Taulukko 4. Ohran jyväsadot (kg/ha, kosteus 15 %) sekä jyvien fosfori- ja kaliumpitoisuudet (g/kg ka) kokeiden ensimmäisinä koevuosina 1990 ja 1992. (Kompostia on käytetty 30 t/ha.)
Table 4. Barley yields (kg/ha, 15% moisture) and phosphorus and potassium contents of cereals (g/kg dm) in first years of experiments, 1990 and 1992. (Amount of compost used 30 t/ha.)

Koe /Exp. 1 (1990) Käsittely /Treatment	Sato Yield	P-pit. P content	K-pit. K content	Koe / Exp. 2 (1992) Käsittely / Treatment	Sato Yield	P-pit. P content	K-pit. K content
ei lannoitusta, <i>no fertilization</i>	2720 ^{ns}	4,03 ^{ns}	5,43 ^{ns}	ei lannoitusta, <i>no fertilization</i>	1930 ^{ns}	4,05 ^{ns}	4,97 ^{ns}
komposti, <i>compost</i>	2410 ^{ns}	4,06 ^{ns}	5,47 ^{ns}	komposti, olkikate, <i>compost, straw cover</i>	2180 ^{ns}	4,11 ^{ns}	4,89 ^{ns}
apat.pöly 4 t/ha, komposti, <i>apatite dust + compost</i>	2710 ^{ns}	4,08 ^{ns}	5,37 ^{ns}	komposti, olki- ja muovikate, <i>compost, straw + plastic cover</i>	1950 ^{ns}	4,24 ^{ns}	4,95 ^{ns}
apat.pöly 8 t/ha, komposti, <i>apatite dust + compost</i>	2570 ^{ns}	4,08 ^{ns}	5,43 ^{ns}	apat.pölykomposti, <i>apatite dust compost</i>	1980 ^{ns}	4,20 ^{ns}	4,91 ^{ns}
apat.pöly 16 t/ha, komposti, <i>apatite dust + compost</i>	2750 ^{ns}	4,24 ^{ns}	5,55 ^{ns}	apat.pöly yliv. Kompostissa, <i>apatite dust in 2- year old compost</i>	1980 ^{ns}	4,09 ^{ns}	4,80 ^{ns}
apat.pöly 8 t/ha, sij.lann., <i>apatite dust, placement</i>	2950 ^{ns}	4,04 ^{ns}	5,57 ^{ns}				
apat.pöly 8 t/ha, <i>apatite dust</i>	2360 ^{ns}	3,96 ^{ns}	5,51 ^{ns}	apatiittipöly 16, t/ha <i>apatite dust</i>	2030 ^{ns}	4,29 ^{ns}	4,92 ^{ns}
Superfosfaatti, komposti, <i>superphosphate, compost</i>	2900 ^{ns}	4,23 ^{ns}	5,56 ^{ns}	luujauho 4 t/ha, <i>bone meal</i>	3290 ^{***}	3,91 ^{ns}	4,97 ^{ns}
biotiiitti 8 t/ha, sij. lann., <i>biotite, placement</i>	2390 ^{ns}	4,00 ^{ns}	5,44 ^{ns}				
biotiiitti 8 t/ha, komposti, <i>biotite + compost</i>	2980 ^{ns}	4,16 ^{ns}	5,46 ^{ns}	biotiiittikomposti, <i>biotite compost</i>	2240 ^{ns}	3,98 ^{ns}	4,82 ^{ns}
				Kuolan apatiitti, <i>Kola apatite</i>	1800 ^{ns}	4,28 ^{ns}	4,92 ^{ns}
apat. pöly, rakeist. + 5% S, sij.lann., <i>apatite dust, granulated, S, placement</i>	2890 ^{ns}	4,08 ^{ns}	5,61 ^{ns}	kuum. Kuolan apatiitti, <i>heated Kola apatite</i>	1910 ^{ns}	4,16 ^{ns}	4,86 ^{ns}
apat. pöly, rakeistettu, sij.lann., <i>apatite dust, granulated, placement</i>	2870 ^{ns}	4,15 ^{ns}	5,60 ^{ns}	Kuolan apatiittikomposti, <i>Kola apatite compost</i>	2030 ^{ns}	4,27 ^{ns}	4,98 ^{ns}
				Raakafosfaatti- komposti, <i>raw phosphate compost</i>	1820 ^{ns}	4,24 ^{ns}	4,93 ^{ns}



Kuva 1. Nurmien kuiva-ainesadot (t/ha ka) ja apilapitoisuudet (% kuiva-ainesta) eri niittoajankohdina kokeissa 1 ja 2, kun koekäsittelyä on ollut 'komposti 30 t/ha'.

Figure 1. Ley yields (t/ha dm) and clover contents (% dm) at different cutting times in experiments 1 and 2, with 'compost 30 t/ha' as fertilizer.

3.2 Nurmisadot

3.2.1 Sadon määrä

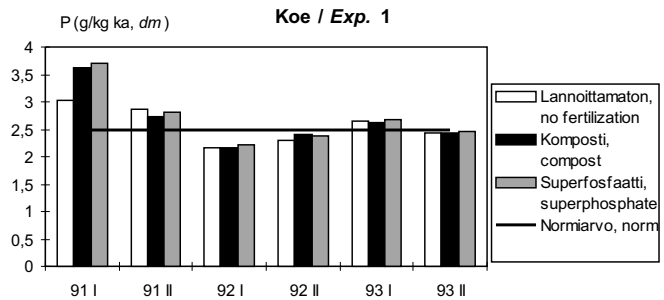
Puna-apila-timoteinurmen sadon määrä ei riippunut lannoiteaineesta kummassakaan kokeessa yhtenäkkään koevuotena. Sadon suuruudet koko koekaudella kokeessa 1 vaihtelivat 2,0–4,5 t/ha/niitto ka ja kokeessa 2 vastaavasti 0,9–4,9 t/ha/niitto ka. Suurien satovaihteluiden syynä olivat vaihtelevat sääolot eri kasvukausilla, mikä aiheutti myös apilapitoisuuksiin suurta vaihtelua. Satojen puna-apilapitoisuudet olivat 30–75 % vaihdellen apilapitoisille luomunurmille tyypillisesti siten, että kevätniitossa apilapitoisuus oli alhaisempi kuin syysniitossa (Kuva 1). Vuoden 1992 syysniiton pieni sato ja apilapitoisuus kokeessa 1 selittyvät harvinaisen kuivilla säillä kesäkuun lopussa ja heinäkuun alussa. Kokeessa 2 kompostia saaneiden koejäsenten sadot olivat ensimmäisenä satovuonna tilastollisesti merkitsevästi suurempia kuin lannoittamattoman koejäsenen (Liite 2). Vuoden 1994 kokeen 2 syysniiton alhaisen sadon syy voi olla elojen syyskuun keskimääräistä suurempi sademäärä, jolloin nurmi on kärsinyt liiasta

märkydestä. Kemppaisen (1995) kokeissa biotiittia tai raakafosfaattia käytettäessä ei näillä lannoitusaineilla ollut vaikutusta sadon määrään tai apilapitoisuuteen.

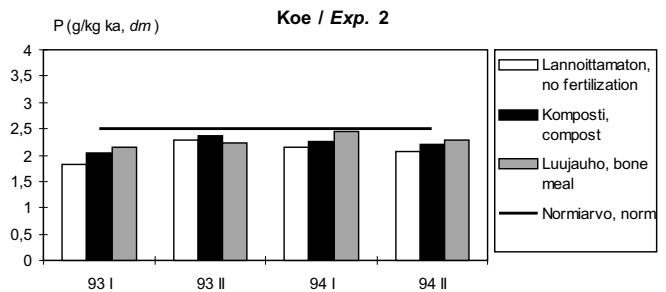
3.2.2 Nurmisatojen fosforipitoisuus

Puna-apilan fosforipitoisuus oli kokeessa 1, jossa maan fosforipitoisuus oli viljavuusluokassa 'tydyttävä–korkea', keskimäärin rehuanalysien yleisen keskiarvon 2,5 g ka (Tuori et al. 1995) mukainen. Kokeessa 2, jossa maan fosforipitoisuus oli viljavuusluokassa 'huono-välttävä', oli puna-apilan fosforipitoisuus selvästi alle tämän keskiarvon (1,8–2,4 g/kg ka, Kuva 2). Luujauhoa, superfosfaattia + kompostia tai kompostia käyttämällä on puna-apilan fosforipitoisuutta pystytty nostamaan (Liite 3).

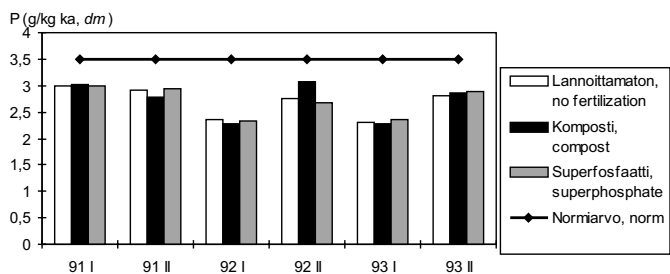
Timotein fosforipitoisuus oli molemmissa kokeissa alle keskiarvoluvun 3,5 g/kg ka kaikilla sadonkorjuukerroilla (2,2–3,2 g/kg ka kokeessa 1, kuva 3 ja 1,5–3,0 g/kg ka kokeessa 2). Timotein fosforipitoisuudet olivat molemmissa kokeissa syysadossa korkeammat kuin kevätadossa. Kokeen tekijällä on ollut tarkoitus, että kasvuaste olisi



Kuva 2. Puna-apilan fosforipitoisuus (g P/kg ka) kokeen 1 ja 2 nurmisadoissa vuosina 1991–1994 eri lannoitusaineilla. **Figure 2.** Phosphorus content of red clover (g P/kg dm) in ley yields of experiments 1 and 2 in 1991–1994 with different fertilizers.



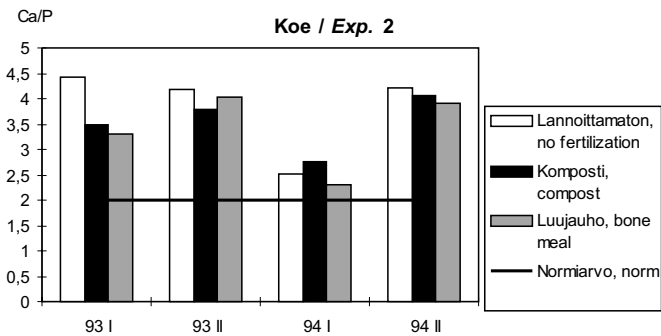
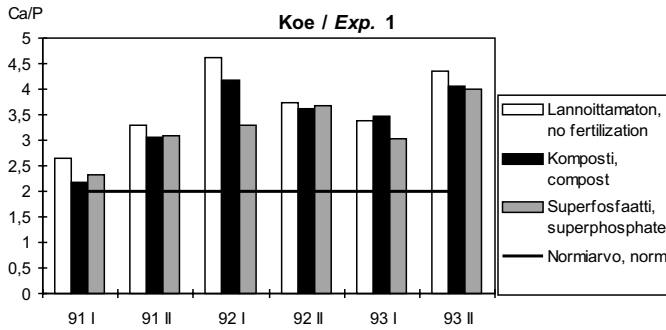
Kuva 3. Timotein fosforipitoisuus (g P/kg ka) kokeen 1 nurmisadoissa vuosina 199–1993 eri lannoitusaineilla. **Figure 3.** Phosphorus content of timothy (g P/kg dm) in ley yields of experiment 1 in 1991–1993 with different fertilizers.



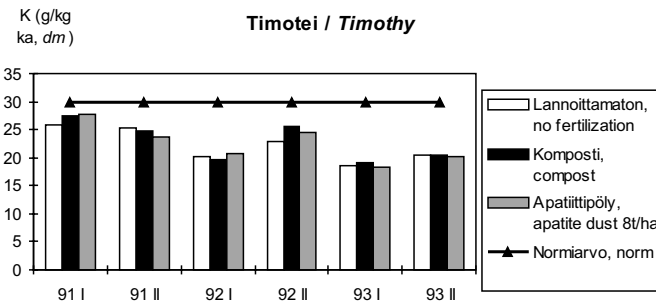
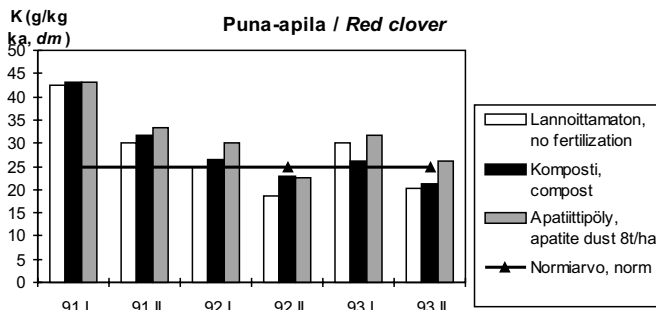
ollut sama molemmissa niitoissa, mutta on mahdollista, että timotei on kasvuasteeltaan ollut nuorempaa syysniitossa kuin kevätniitossa, ja timotein fosforipitoisuus laskee kasvin vanhetessa. Samoin puna-apilan fosforipitoisuus laskee kasvin vanhetessa, joten luomutiloilla voisi fosforin kannalta suositella aikaisempaa niittoajankohtaa, vaikka se mahdollisesti vähentäisikin kokonaissadon määrää. Koska timotein fosforipitoisuus näyttää olevan yhteydessä myös seosnurmen apilapitoisuuteen, lienee mahdollista, että puna-apila siirtää esim. mykorrhizan välityksellä maasta ottamaansa fosforia timoteille. Tällaisia siirtomekanismeja on osoitettu olevan monilla eri kasveilla,

mm. herneen ja ohran (Johansen & Jensen 1995) sekä raiheinän ja ratamon (Martins & Read 1996) välillä.

Puna-apilan fosforipitoisuus oli kokeessa 1, jossa maan fosforipitoisuus oli viljavuusluokassa 'tydyttävä-korkea', keskimäärin rehuanalyysien yleisen keskiarvon mukainen. Kokeessa 2, jossa maan fosforipitoisuus oli viljavuusluokassa 'välttävä-tydyttävä', oli sen sijaan puna-apilan fosforipitoisuus selvästi alle tämän keskiarvon. Näin ollen maan fosforipitoisuudella on vaikutusta puna-apilan fosforipitoisuuteen ja maan viljavuuslukujen ollessa 'pu-naisella' kannattaa tilalla harkita fosforikiven antamista lehmille. Maan fosfori-



Kuva 4. Nurmirehun Ca/P-suhde kokeissa 1 ja 2 eri niitoissa vuosina 1991–1994 eri lannoitusaineilla.
Figure 4. Ca/P ratio of ley fodder in experiments 1 and 2 in different cuts in 1991–1994 with different fertilizers.



Kuva 5. Puna-apilan ja timotein kaliumpitoisuus (g K/kg ka) kokeen 1 nurmisadoissa vuosina 1991–1993 eri lannoitusaineilla.
Figure 5. Potassium content of red clover and timothy (g K/kg dm) in ley yields of experiment 1 in 1991–1993 with different fertilizers.

pitoisuuden noustessa puna-apila pystyy ilmeisesti hyödyntämään fosforia paremmin kuin timotei, jonka fosforipitoisuuden maan liukoisen fosforin pitoisuudella ei ol-

lut vaikutusta.

Seosnurmen rehuarvoista Ca/P-suhde oli 2,0–4,7 kokeessa 1 ja 2,3–4,5 kokeessa 2 eli selvästi suositusarvoa 1–2 suurempi

(Kuva 4). Timotein Ca/P-suhde oli lähellä arvoa 1 (0,8–1,4) ja puna-apilan reilusti yli 2 (3,7–7,3). Vaikka puna-apilan fosforipitoisuus oli selvästi alhaisempi kokeessa 2 kuin kokeessa 1, ei Ca/P -suhteissa ollut eroa eri kokeiden välillä. Näiden tulosten perusteella puhtaan timoteinurmen Ca/P-suhde olisi ollut suositusten mukainen eli tässä suhteessa nurmen alhainen apilapitoisuus olisi eduksi. Vastaavanlaiset tulokset saivat myös Nykänen-Kurki & Hakkola (1994) tavanomaisesti viljellyssä seosnurmessa. Nurmen Ca/P -suhde näyttää myös nousevan maan fosforipitoisuuden laskiessa kokeessa 1. Kokeen 2 tulokset ovat vain kahdelta vuodelta, jolloin näkyvää trendiä ei ehtinyt muodostua.

3.2.3 Nurmisatojen kaliumpitoisuus

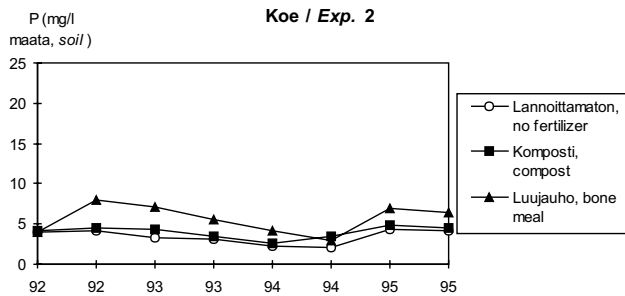
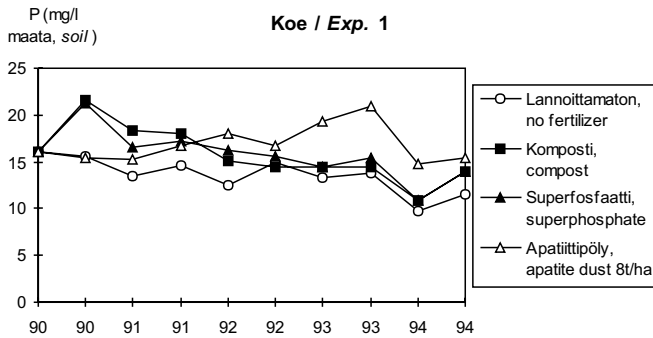
Puna-apilan kaliumpitoisuus oli molemmissa kokeissa yli rehutaulukoiden (Tuori et al. 1995) yleisen keskiarvon 25 g/kg ka (25–44 g/kg ka kokeessa 1, kuva 5 ja 30–35 g/kg ka kokeessa 2) kolmessa ensimmäisessä nurmisadossa. Maan kaliumpitoisuuden laskiessa laski myös puna-apilan kaliumpitoisuus lähelle yleistä keskiarvoa. Timotein kaliumpitoisuus oli selvästi alle yleisen keskiarvon 30 g/kg ka (Kuva 5). Puna-apilan kaliumpitoisuutta pystyttiin nostamaan käyttämällä biotiittikompostia (Liite 3). Kempaisen (1995) kokeissa biotiitilla lannoitetun apilanurmen kaliumpitoisuudet nousivat yli 30 g/kg ka biotiitin käyttömäärästä (4, 8 tai 16 t/ha) riippumatta. Timotein kaliumpitoisuus näissä kokeissa oli myös alhaisempi kuin puna-apilan kaliumpitoisuus. Nykänen-Kurki & Hakkolan (1994) kokeissa väkilannoitetun puna-apilan ja timotein kaliumpitoisuudet olivat yhtä korkeat. Timotei on mahdollisesti kärsinyt typen puutteesta, jolloin myös kaliumin otto on heikentynyt. Timotein kokonaistyyppipitoisuudet olivat 1,2–1,9 % kokeessa 1 ja 0,9–1,2 % kokeessa 2; ne olivat syysadossa aina keskimäärin 0,2 % -yksikköä korkeammat.

Maan kaliumpitoisuudella ei ollut vai-

kutusta timotein kaliumpitoisuuteen. Tulos on yhteneväinen Asher & Ozannen (1967) tulosten kanssa, joiden mukaan heinäkasvit pystyvät hyödyntämään maan kaliumia matalammista pitoisuuksista kuin esimerkiksi apilat. Timotein kaliumpitoisuus oli alhaisempi kevätsadossa kuin syysadossa, kun taas puna-apilalla tilanne oli päinvastainen. Tämä johtunee siitä, että timoteisato on suhteessa suurempi keväällä ja puna-apilasato puolestaan syksyllä, jolloin kaliumpitoisuus 'laimenee' joutuessaan suurempaan biomassaan.

Nurmirehun K/(Ca + Mg)-suhdetta (ekv) voidaan säädellä puna-apilan osuutta säätelemällä, koska näissä nurmissa timotein K/(Ca + Mg)-suhde oli 2,1–3,3 eli pääosin yli riskiarvon 2,2 (Kemp & Hart 1956) ja puna-apilalla arvo oli 0,5–1,0 eli jäi selvästi alle suosituksen. Kokonaissadon osalta pysyttiin hyvin suosituksen alapuolella paitsi kokeen 2 toisen nurmivuoden ensimmäisessä niitossa, jossa sadon puna-apilapitoisuus oli vain 30–40 % kuiva-aineesta ja selittää näin osaltaan ylittävät arvot. Kokeen 1 ensimmäisen vuoden ensimmäisessä niitossa apilapitoisuus oli myös alle 40 %, mutta tänä vuonna ei rehun magnesiumipitoisuutta mitattu, joten K/(Ca + Mg)-suhdetta ei pystytä laskemaan. K/(Ca + Mg) -suhteen perusteella voidaan siis suositella huomattavasti apilapitoisempia nurmia kuin Ca/P -suhteen perusteella. Nykänen-Kurki & Hakkolan (1994) kokeissa myös timotein K/(Ca + Mg) -suhde nousi yli 2,2, mutta seosnurmen ja puna-apilan arvot pysyivät tämän arvon alapuolella tavanomaisesti viljellyssä nurmessa. He päätyivät suosittamaan puna-apilaa tavanomaisesti viljeltyihin nurmirehuseoksiin tasapainottamaan rehun kivennäiskoostumusta.

Näiden tulosten perusteella luomunurmien rehun kivennäistasapaino on kunnossa kaliumin, magnesiumin ja kalsiumin suhteen. Talvehtiville kasveille on välttämätöntä, että maassa on kaliumia vielä syksylläkin. Tämä toteutuu parhaiten käytettäessä lannoitusaineita, joista kaliumin vapautuminen on hitaampaa.



Kuva 6. Maan liukaisen fosforin pitoisuus (mg P/l maata) kokeissa 1 ja 2 (1990–1995) eri lannoiteaineita käyttäen.

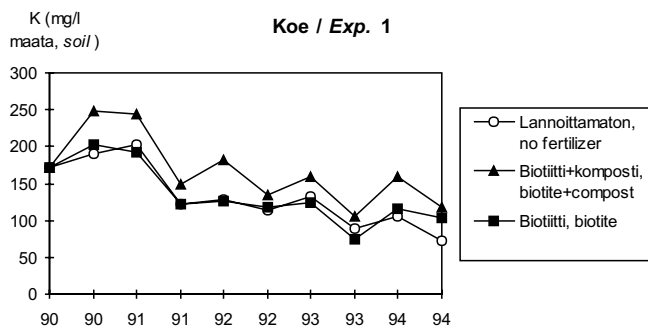
Figure 6. Content of exchangeable phosphorus in soil (mg P/l soil) in experiments 1 and 2 in 1990–1995 with different fertilizers.

3.3 Maan fosfori- ja kaliumpitoisuudet

Maan liukaisen fosforin pitoisuus pysyi kokeessa 1 koko kokeen ajan samalla tasolla eli viljavuusluokassa 'tydyttävä-korkea' eikä millään lannoiteaineella pystytty selvästi nostamaan maan fosforitilaa. Ainoastaan lisättäessä kompostia 30 t/ha ja kaksoissuperfosfaattia 150 kg/ha nousi maan liukaisen fosforin määrää 5 mg/l lannoittamattomaan ruutuun verrattuna heti kokeen alussa, mutta vaikutus hävisi parissa vuodessa (Kuva 6, Liite 4). Apatiittipölyä (8 t/ha) + kompostia saaneella ruudulla maan fosforipitoisuus nousi hitaammin, eli kolmen vuoden aikana 6 mg/l, minkä jälkeen se vasta alkoi laskea. Nissisen (1991) mukaan 3 t/ha Soklin apatiittia (11,5 % P) ei yksin riittänyt tyydyttämään nurmen fosforin tarvetta, mutta vaikutus parani ajan myötä eli fosfori vapautui hitaasti kasvien käyttöön.

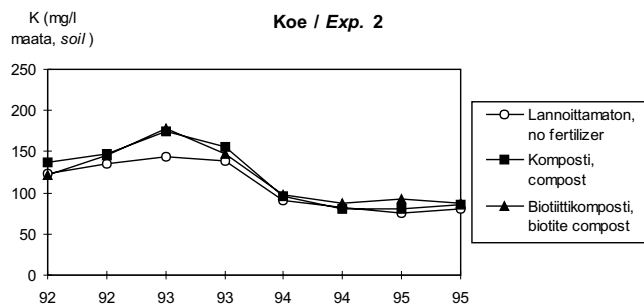
Kokeessa 2 ainoastaan luujauhoholisyksellä (4 t/ha) saatiin maan liukaisen fosforin

pitoisuus nousemaan 4 mg/l ja vaikutus kesti kaksi vuotta (Liite 4). Yli-Hallan et al. (1998) tutkimusten mukaan maa on pusku-roitunut maan liukaisen fosforin (Olsen-P tai vesiliukoinen P) pitoisuuden pienemistä vastaan. Eli, jos maassa on korkea fosforipitoisuus, laskee pienempikin fosforin otto liukaisen fosforin pitoisuutta. Jos taas fosforipitoisuus on alhainen, tarvitsee fosforia ottaa maasta enemmän, jotta maan liukaisen fosforin pitoisuus laskisi. Tämä ilmiö näkyy verrattaessa kokeita 2 ja 1; kokeessa 2 fosforipitoisuuden olisi voinut olettaa laskevan alemmaksi kyseisellä fosforin otton määrällä. Maan liukaisen fosforin pitoisuus oli lähes kaikilla ruuduilla (myös lannoittamattomalla ruudulla) keskimäärin 3–4 mg/l edellisvuoden arvoja korkeampi keväen 1995 näytteissä (Kuva 6). Tälle ilmiölle on vaikea löytää selitystä, koska nurmi kynnettiin vasta tämän näytteenoton jälkeen. Tämän suuruisilla fosforipitoisuuksien kohoamisilla voidaan näinkin alhaisilla maan fosforiluvuilla siirtyä viljavuusluokasta toiseen. Ylemmissä viljavuusluokissa



Kuva 7. Maan liukoisen kaliumin pitoisuus (mg K/l maata) kokeissa 1 ja 2 vuosina 1990–1995 eri lannoitusaineilla.

Figure 7. Content of exchangeable potassium in soil (mg K/l soil) in experiments 1 and 2 in 1990–1995 with different fertilizers.



merkitys kuitenkin on pieni.

Kuvasta 6 voidaan myös havaita, että kokeessa 1 varsinkin lannoittamattomalla koeruudulla maan liukoisen fosforin pitoisuudessa oli ns. sahaava trendi eli syysnäytteissä pitoisuudet olivat 1–2 mg/l suuremmat kuin kevätnäytteissä. Tämä voi johtua mm. siitä, että fosforia vapautuu maan kivennäisaineksestä rapautumalla tai orgaanisesta aineksestä kesällä biologisten prosessien kautta. Talvella fosfori puolestaan huuhtoutuu ja/tai sitoutuu takaisin maa-aineksen orgaaniseen tai epäorgaaniseen 'pooliin'. Käytännön merkitystä tällaisilla eroilla ei kuitenkaan ole esimerkiksi näytteenottoajankohtaa ajatellen.

Maan liukoisen kaliumin pitoisuudet alkoivat laskea heti ensimmäisen koevuoden jälkeen kokeessa 1 ja jäivät uudelle tasolle kolmeksi vuodeksi lannoituksen jälkeen. Tänä aikana oli maan liukoisen kaliumin pitoisuus laskenut keskimäärin 100 mg/l. Keskiarvojen perusteella biotiitti ja komposti yhdessä pystyivät pitämään maan liukoisen kaliumin pitoisuuden 40 mg/l korkeammalla lannoittamattomaan verrattuna

(Kuva 7, Liite 4). On myös huomattava, että hietamoreenimaalla kevätnäytteissä olivat maan liukoisen kaliumin pitoisuudet 20–30 mg/l korkeammat kuin syysnäytteissä. Syy tähän voi olla roudan rapauttava vaikutus talvella, jolloin kaliumia vapautuu hilaväleista. Kesällä kaliumia todennäköisesti myös huuhtoutuu.

Kokeessa 2 eivät eri lannoitusaineet myöskään pystyneet kohottamaan maan liukoisen kaliumin pitoisuutta 50 mg/l enempää ja vaikutus kesti 2 vuotta, minkä jälkeen maan liukoisen kaliumin pitoisuus näytti asettuvan uudelle tasolle. Taso oli keskimäärin 50 mg/l alhaisempi kuin ennen lannoitusta (Kuva 7). Biotiitti- ja apatiittipölykompostilla voidaan kohottaa lyhytaikaisesti maan liukoisen kaliumin pitoisuutta jopa 40 mg/l (Liite 4), joka karkeilla hietamailla voi merkitä maan kaliumtilan nousua seuraavaan viljavuusluokkaan, jos maan kaliumtila on 'huono' tai 'huononlainen'.

Maan happamuus verrattuna lannoittamattomaan ruutuun väheni molemmissa kokeissa, kun käytettiin apatiittipölyä (0,1–0,3 pH-yksikköä) ja biotiittia + kom-

postia (n. 0,1 pH-yksikköä). Kokeessa 1 kompostin käyttö yhdessä apatiittipölyn tai biotiitin kanssa piti maan pH-luvun samalla tasolla, jolle se nousi kokeen alussa. Muita aineita käytettäessä pH alkoi laskea vuoden kuluttua aineiden lisäyksestä. Käytettäessä apatiittipölyä 16 t/ha, voitiin maan pH nostaa viljavuusluokasta 'tyydyttävä' luokkaan 'hyvä'. Lähtötilanteessa pH oli molemmilla koelalueilla n. 6. Hakkolan (1986) kokeissa biotiitti (10–20 t/ha) nosti maan pH:ta 0,2–0,3 yksikköä ja Janssonin (1985) kokeissa 20 t/ha biotiittia nosti pH:ta 0,3–0,5 yksikköä. Kähärin (1975) tutkimusten mukaan apatiitti sopii lähinnä metsälannoitukseen rahkasoilla, koska apatiitin liukoisuus on erittäin pientä pelto-olosuhteissa, joissa pH on 5–6. Hänen kokeissaan pH oli 3,2–4,7. Huhdan (1989) mukaan biotiitti on suonurmille sopiva lannoite, koska siellä pellon pH on matala ja suopellon luontaiset kaliuminpidätysominaisuudet ovat heikot.

3.4 Fosforin ja kaliumin panos-tuotossuhteet

Ravinnetase, panos-tuotossuhde, kuvaa ravinteiden hyväksikäyttöastetta, ts. ravinteiden käytön tehokkuutta, kun ravinnetase ilmaistaan peltoon laitettujen ravinnepanosten ja pellosto sadon mukana poistuneiden ravinteiden, ravinnetuotosten, keskinäisenä suhteena. Ravinnetaseen avulla voidaan arvioida myös maatalouden ravinnekuormitusta.

3.4.1 Fosforin panos-tuotossuhteet

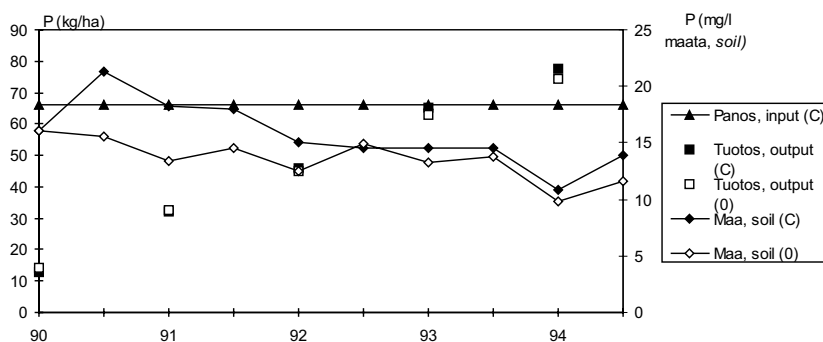
Tässä tutkimuksessa lannoitus annettiin kokeen perustamisvaiheessa, myöhempiä vuosina vain korjattiin satoa. Eri käsittelyjen fosforimäärät vaihtelivat keskenään varsin suuresti. Pelkässä kompostissa oli fosforia n. 60 kg/ha, vastaavasti 16 t/ha apatiittia sitä oli miltei 400 kg/ha. Eri käsittelyjen tuottamien satojen välillä ei kuitenkaan ollut oleellisia eroja. Kokeessa 1 fosforin poistuma poiskorjatun sadon mukana vaihteli runsaasta 60 kilosta runsaaseen 80 kiloon

hehtaarilta viitenä koevuotena yhteensä; kokeessa 2 noin 40 kilosta 50 kiloon. Mikäli tarkastellaan yksinomaan panos – tuotossuhdetta, niin suhteeseen vaikuttaa lähinnä vain lannoituksen määrä: mitä vähäisempi fosforilannoitus sen parempi hyötysuhde. Näissä kokeissa paras ravinteiden käytön hyötysuhde saatiinkin tästä syystä kompostia käytettäessä.

Kokeen 1 viiden vuoden kumulatiivinen taselaskenta osoittaa, että apatiittipölyruudussa (8 t/ha) ovat kasvit ottaneet fosforia yhteensä 5 kg/ha enemmän kuin nollaruudussa. Kokonaisfosforituotos on kuitenkin vain puolet maahan lisätystä fosforista (160 / 80 kg P/ha). Panosluvut on esitetty taulukoissa 1 ja 2 ja tuotosluvut on esitetty liitteessä 1. Apatiittipölyn rakeistus on vähentänyt kasvien fosforin ottoa/saantia 14,0 kg/ha viiden vuoden aikana, kun taas rikin lisääminen rakeistetussa apatiittipölyssä lisäsi kasvien fosforin saantia 12 kg/ha samana aikana. Rakeistuksen negatiivista vaikutusta ei siis kokonaan saatu eliminoitua rikkilisyksellä. Käytettäessä apatiittipölyä (8 t/ha) tai apatiittipölyä (4 t/ha) + kompostia oli lisätuotos 5 kg/ha vastaavana aikana. Tämä tulos on yhteneväinen Tainion (1951) tulosten kanssa, joiden perusteella hienofosfaatin lannoitusvaikutus oli lähes superfosfaatin luokkaa, kun neljän vuoden yhteisvaikutus huomioitiin.

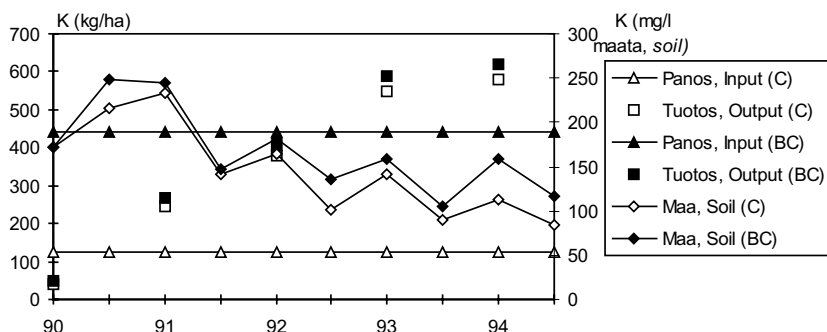
Kaksoissuperfosfaatilla ja kompostilla yhdessä käytettynä saatiin 7,4 kg/ha isompi viiden vuoden fosforituotos kuin lannoittamattomalta ruudulta. Tämä koejäsen sai fosforia kutakuinkin saman verran kuin sadon mukana poistui. Mikäli maasta ei poistunut fosforia muutoin kuin sadon mukana, voidaan tällaista fosforilannoitusta pitää kutakuinkin tasapainoisena. Voidaan kuitenkin olettaa, että kaksoissuperfosfaatin vesiliukoinen fosfori on heti levityksen jälkeen ja vielä levitysvuonna myöhemminkin alttiina huuhtoutumaan esim. rankkojen sateiden yhteydessä. Mm. tästä syystä ei luomuviljelyssä käytetä kaksoissuperfosfaattia eikä muitakaan fosforiväkilannoitteita.

Pelkkää kompostia käytettäessä fosforituotos oli 3 kg/ha isompi kuin lannoitta-



Kuva 8. Fosforin panos- ja tuotos luvut (P kg/ha) sekä maan liukoisin fosforin pitoisuus (mg P/l maata, soil) kokeessa 1 vuosina 1990–1994, kun maahan on lisätty 30 tn/ha kompostia.

Figure 8. Input-output ratios for phosphorus (P kg/ha) and content of exchangeable phosphorus in soil (mg P/l soil) in experiment 1 in 1990–1994, with 30 t/ha compost (C) as fertilizers.



Kuva 9. Kaliumin panos-tuotossuhteet (K kg/ha) sekä maan liukoisin kaliumin pitoisuus (mg K/l maata) kokeessa 1 vuosina 1990–1994, kun maahan on lisätty 30 tn/ha kompostia (C) tai biotiittia (8 t/ha) + kompostia (30 tn/ha) (BC).

Figure 9. Input-output ratios for potassium (K kg/ha) and content of exchangeable potassium in soil (mg K/l soil) in experiment 1 in 1990–1994, with 30 t/ha compost (C) or biotite (8 t/ha) + 30 t/ha compost (BC) as fertilizers.

mattomalla ruudulla. Ainoastaan kompostia käytettäessä ylitti maasta otetun fosforin määrä maahan lisätyn fosforin määrän neljänntenä satovuonna (Kuva 8). Maa-analyysin perusteella ei maan fosforitila ollut merkittävästi heikentynyt, jolloin on syytä tarkastella, kuinka paljon ja kuinka pitkään maasta voi fosforia vapautua, sillä sadotkaan eivät ole pienentyneet kokeen aikana. Tämän tuloksen perusteella 30 t/ha kompostia nurmen perustamisvaiheessa riittää maan fosforitilan ylläpitämiseen.

Kokeessa 2 apatiittipölyn (16 tn/ha) ja apatiittipölykompostin käyttö lisäsi kasvien fosforin ottoa 3–4 kg/ha neljän vuoden aikana. Kuolan apatiitti yksin käytettynä vähensi kasvien fosforin ottoa 2,5 kg/ha neljässä vuodessa. Pelkän kompostin (9,4 kg/ha neljässä vuodessa), Kuolan apatiittikompostin (9,7 kg/ha 4 vuodessa) ja luujauhon (8,3 kg/ha neljässä vuodessa) käyttö lisäsi kasvien fosforinottoa keskimäärin jopa yli 2 kg/ha vuotta kohti verrattuna lannoitamattomaan ruutuun. Mikään fosforilan-

noitusmäärä apatiittipölynä, apatiittina tai kompostina tai niiden yhdistelmänä ei lisännyt fosforin poistumaa sadossa kuin alle 10 kg/ha verrattuna poistumaan kokonaan lannoittamattoman maan sadossa. Näin ollen vuotuinen lisäfosforin saanti lannoitteesta oli suuruusluokaltaan 1–2 kiloa. Samansuuruinen hyöty saatiin myös 18 vuotta kestäneissä fosforilannoituksen porraskokeissa väkilannoitteella (Saarela et al. 1995). Tämä kertoo siitä, että maan kyky sitoa fosforia on erittäin suuri ja fosforilannoituksen optimoimiseksi olisikin yhä enemmän ryhdyttävä hakemaan keinoja parantaa maan omien fosforivarojen hyödynnettävyyttä.

3.4.2 Kaliumin panos-tuotossuhteet

Näissä kokeissa eri käsittelyjen kaliummäärät vaihtelivat keskenään varsin paljon. Pelkässä kompostissa kaliumia on n. 120 kg/ha, vastaavasti 16 t/ha apatiittipölyä sitä on miltei 900 kg/ha. Eri käsittelyjen tuottamien satojen välillä ei kuitenkaan ollut oleellisia eroja. Kokeessa 1 kaliumin poistuma korjatun sadon mukana vaihteli runsaasta 500 kilosta runsaaseen 600 kiloon hehtaarilta viitenä koevuotena yhteensä; kokeessa 2 noin 300 kilosta 400 kiloon. Paras ravinteiden käytön hyötösuhde kaliuminkin osalta saatiin näissä kokeissa käyttämällä ainoastaan kompostia.

Kaliumin panos-tuotokäyrät osoittavat, että kokeessa 1 lannoituksesta riippumatta on maasta otettu viiden vuoden aikana enemmän kaliumia kuin mitä sinne on kokeen alussa laitettu. Tästä esimerkkinä kompostin ja biotiitin + kompostin panos-tuotokäyrä kuvassa 9. Kompostin käyttö apatiittipölyn kanssa ei ole lisännyt kasvien kaliumin ottoa lainkaan. Sekä rikkilisäys että apatiittipölyn ja biotiitin sijoituslannoitus ovat jopa vähentäneet kaliumin ottoa 40–50 kg/ha viiden vuoden aikana. Apatiittipöly (8 tn/ha), apatiittipöly (8 tn/ha) + komposti (30 tn/ha) ja biotiitti (8 tn/ha) + komposti (30 tn/ha) lisäsivät kasvien kaliumin ottoa keskimäärin 70 kg/ha

viiden vuoden aikana.

Kokeessa 2 oli mukana vain kaksi nurmivuotta, jolloin kasvien kokeen kuluessa ottamat kaliummäärät ovat jääneet pienemmiksi kuin kokeen alussa maahan laitettut kaliummäärät. Ainoastaan pelkkää kompostia käytettäessä maasta satojen mukana otetun kaliumin määrä ylittyi jo toisena satovuonna, koska maahan laitettun kaliumin määrä oli pieni (48 kg/ha). Apatiittipölyä ja apatiittipölykompostia käytettäessä oli kasvien ottaman kaliumin määrä 32 kg/ha neljän vuoden aikana ja biotiittikompostia käytettäessä 65 kg/ha samana aikana.

4 Johtopäätökset

Kenttäkokeissa on joitakin piirteitä ja puutteita, joiden merkityksestä tuloksiin ja niiden tulkintoihin on syytä mainita muutama sana.

Koe 1 on tehty moreenimaalla, jonka fosforitila oli yleisesti ottaen hyvä, mutta vaihtelu erittäin suuri (kokeen alussa viljavuusanalyysin P-pitoisuus 9,4–32,8 mg/l). Vaihtelu oli hyvin pienialaista, joten lohkoittamalla ei kyetty postamaan lohkojen sisäistä ja jopa ruutujen sisäistä vaihtelua. Vaikka eri käsittelyjen väliset keskiarvot poikkesivat joissakin tapauksissa toisistaan (esim. maan P- ja K-luvut), ei käytetyllä tilastollisella mallilla (lohkoittain satunnaisesti koe) mahdollisia käsittelyjen välisiä vaikutuksia kyetty saamaan esille. Toisaalta käsittelyjen vaikutukset satoihin eivät olleet odotettavissakaan merkittäviksi, esim. Saarela et al. (1995) osoittivat selkeästi, että fosforitilaltaan vähintään tyydyttävässä maassa fosforilisäys ei käytännössä vaikuta sadon määrään.

Esimerkiksi kovarianssimenetelmää käyttäen olisi voitu pyrkiä hallitsemaan kokeen sisäistä vaihtelua, mutta koska kokeen perustamisen yhteydessä maanäytteet otettiin vain kerranteittain, ei tätä mahdollisuutta ollut laskentavaiheessa.

Kokeessa 1 käytetystä kompostista ei

ole käytettävissä kemiallista analyysiä (analyysitulokset kadonneet). Kompostin fosfori- ja kaliumpitoisuus on arvioitu vastaavien keskimääräisten kompostiraaka-aineiden avulla. Arviota on käytetty hyväksi lähinnä ravinteiden panos - tuotos -laskelmissa. Arvioinnin aiheuttama virhe vaikuttaa lähinnä vain niiden koejäsenten keskinäiseen vertailuun, joissa kompostia ei ole käytetty lainkaan suhteessa niihin, joissa kompostia on käytetty. Koska mikään käsittely ei vaikuttanut sadon määrään eikä laatuun, ei panos - tuotos -tulosten tulkintaan kompostianalyysitulosten puutteella ole käytännöllistä merkitystä. Myös suojaviljaohran poiskorjattu olkien fosfori- ja kaliumsato on arvio, mutta arvion mahdollinen virhe on mitätön suhteutettuna näiden ravinteiden kokonaispoistumaan.

Ravinnetaset on laskettu vain fosforin ja kaliumin osalta; typen osalta taseen laskenta ei biologisen typensidonnan arvioimisen vaikeuden vuoksi olisi riittävän tarkkaa. Saarela et.al. (1995) esittivät fosforitaseen ohella myös tyypitaseen sellaisesta viljelykierrosta, jossa esiintyy biologista typensidontaa, jättämällä biologisen typensidonnan kokonaan huomiotta.

Maan liukoisen fosforin pitoisuus ja pH ovat positiivisessa korrelaatioissa (Saarela ja Sippola 1987, Kemppainen et.al.1993). Kokeessa 1 käytetyistä lannoitusmateriaaleista komposti, apatiitti ja biotiitti kohottivat pH:ta, kuten teorian valossa voi odottaa (Taulukko 3). Koska myös pelkkä biotiitin lisäys kohotti sekä maan pH:ta että liukoisen fosforin pitoisuutta, ei kokeen perusteella voi yksiselitteisesti osoittaa lisätyn apatiitin sisältämän fosforin aikaansaaneen havaittuja muutoksia maan liukoisen fosforin pitoisuuksissa, vaan kyse on kaikissa tapauksissa apatiitin lisäyksen aikaansaaman pH:n kohoamisen ja apatiitin sisältämän fosforin yhdysvaikutuksesta.

Kokeessa 2 maan liukoisen fosforin pitoisuudet vaihtelivat hyvin vähän (2,3–5,5 mg/l), mutta pitoisuus oli kaikkiaan hyvin alhainen (viljavuusluokat 'huono' - 'välttävä'). On ilmeistä, että luujauhoa lukuunottamatta muut käsittelyt eivät olleet riittä-

vän voimakkaita eikä vaikutukset niin nopeita, etteikö maan puskurointikyky (Yli-Halla et.al. 1998) olisi kyennyt peittämään mahdolliset käsittelyjen vaikutukset. Toisaalta luujauhon aiheuttama erittäin voimakas kasvun lisäys levitysvuonna kertonee osaltaan sen, että kasvua rajoitti ensisijaisesti typen puute - ei fosforin.

Edelläsanotun valossa ei siis yksiselitteisesti voida käsittelyjen välisiä eroja tulkita merkityksettömiksi (sattumiksi), vaikkei ne käytetyllä koejärjestelyllä tilastollisesti merkitseviä olleetkaan. Tuloksissa eri käsittelykeskiarvot ovat varsin loogisia toisiinsa nähden ja kokeessa 1 esim. maan liukoisen fosforin ja kaliumin pitoisuudet eroavat melko selvästi lannoittamattomasta koejäsenestä. Apatiitin vaikutusmekanismi maan fosforitilaan sen sijaan jää epäselväksi.

Kokeen 1 tulokset viittaavat siihen, että vaikka apatiittipölylannoitus ei lisännyt sadon ottaman fosforin määrää, apatiittipöly yhdessä kompostin kanssa käytettynä olisi estänyt maan fosforitilan heikkenemistä paremmin kuin muut käsittelyt. Tällaisessa tilanteessa apatiittipöly soveltunee pitkän ajan kuluessa ylläpitämään maan fosforitilaa. Kokeen 2 maa-analyysien ja koetulosten perusteella taas voidaan todeta, että koemaassa oli jonkin asteista niukkuutta fosforista. Luujauhon tyyppi yhdessä fosforin kanssa paransi kasvua selvästi. Niukasti fosforia sisältävissä maissa ei apatiittipöly yksinään riitä turvaamaan kasvien fosforin saantia suurinakaan määrinä. Luonnollisesti tällöinkin annettu apatiittipölylannoitus lisää maan kokonaisfosforivaroja, mutta kasvien fosforinsaannin kannalta liian vaikealiukoisessa muodossa.

Näissä kokeissa ei millään käytetyllä lannoitusaineella, luujauhoa (ja jossain määrin kompostia) lukuunottamatta, saatu selvää vaikutusta ohran tai nurmen sadon määrään tai laatuun. Nurmituloksia tarkasteltaessa havaittiin, että näiden luomunurmien timotein fosforipitoisuus oli yleisesti alle normiarvojen maan liukoisen fosforin pitoisuudesta riippumatta. Puna-apilan fosforipitoisuus puolestaan oli normiarvojen mukainen, kun maan liukoisen fosforin pi-

toisuus oli viljavuusluokissa 'tyydyttävä'-'korkea'. Normiarvoja alhaisempi se oli silloin, kun maan liukoisen fosforin pitoisuus oli viljavuusluokissa 'huono'-'välttävä'. Rehun fosforipitoisuutta voi pyrkiä nostamaan korjuuajankohtaa aikaistamalla, mutta ehkä tätä tärkeämpiä tekijöitä nurmen korjuuaikaa mietittäessä ovat kuitenkin mm. sadon määrä sekä muut rehun laatu-tekijät. Luomunurmirehua karjalle syötettäessä on myös syytä kiinnittää huomiota täydentävään kivennäisruokintaan, sillä näissä rehuissa Ca/P -suhde oli liian korkea eli kalsiumia oli liikaa suhteessa fosforiin.

Puna-apilan kaliumpitoisuus oli molemmissa kokeissa kolmessa ensimmäisessä niitossa yli normiarvon, mutta laski maan liukoisen kaliumin pitoisuuden laskiessa. Timotein kaliumpitoisuus oli kaikissa niitoissa kaikilla lannoiteaineilla lannoitettaessa alle normiarvojen. K/(Ca+Mg) -ekvivalenttisuhte oli suositusten mukaan alle 2,2. Tätä arvoa voikin säädellä lisäämällä puna-apilan osuutta nurmisadossa, koska puna-apilan K/(Ca+Mg) -suhde oli selvästi alhaisempi kuin timotein.

Maan liukoisen fosforin pitoisuutta pystyttiin nostamaan keskimäärin 4-5 mg/l maata käyttämällä kompostia 30 t/ha tai lujauhoa 4 t/ha. Vaikutus kuitenkin hävisi 2-3 vuodessa. Apatiittipölyä ja kompostia yhdessä käytettäessä maan liukoisin fosforin pitoisuutta nostava vaikutus tuli esille hitaammin, sillä nousu pysähtyi vasta kolme vuotta lisäyksen jälkeen, jolloin pitoisuus oli noussut 6 mg/l maata. Maan liukoisin kaliumin pitoisuutta voitiin nostaa 40 mg/l maata käyttämällä biotiittia 8 t/ha tai biotiittia + kompostia 30 t/ha. Vaikutus kesti kaksi vuotta.

Panos-tuotossuhteiden perusteella parhaat hyötysuhteet sekä fosforin, että kaliumin osalta saatiin kompostia käytettäessä. Näiden tulosten perusteella voidaan suositella kompostia nurmen perustamisvaiheessa fosfori- ja kaliumlannoitteeksi luo-

mutiloille, koska sisältämiensä ravinteiden lisäksi kompostin mukana peltomaahan saadaan orgaanista ainesta. Tällöin maan biologisille prosesseille saadaan paremmat edellytykset ja maan rakenne paranee. Tätäkin tärkeämpää on pyrkiä kierrättämään ravinteet tilalla mahdollisimman tehokkaasti.

Tämän tutkimuksen selkein tulos on se, että millään käytetyllä lannoitusaineella ei pystytty oleellisesti vaikuttamaan sadon määrään tai laatuun. Tällöin johtopäätös on, että luomuviljelyssä kasvit pystyvät hyödyntämään tehokkaasti maan omia ravinnevaroja. Lisää tutkimusta kuitenkin kaivataan siitä, kuinka pellossa olevia luontaisia ravinnevaroja pystyttäisiin hyödyntämään entistäkin tehokkaammin. Fosforilannoituksen hyödyntämiseen vaikuttavat mm. maan fosfaatteja pidättävät ominaisuudet, eli sitoutuuko kivennäis- tai orgaanisesta aineksestä vapautuva fosfori heti maahiukkasiin vai jääkö se maanesteeseen kasvien käytettäväksi (Salonen 1968). Lengnick & King (1986) vertailivat fosforin sitoutumista luomuviljelyn ja tavanomaisesti viljelyn maan välillä ja havaitsivat, että tavanomaisesti viljellyssä maassa fosfori oli sitoutunut suuremmissa määrin rauta- ja alumiiniyhdisteisiin, kun taas luomuviljelyssä maassa fosfori oli sitoutunut enemmän orgaanisiin yhdisteisiin. Ehkäpä näiden tulosten perusteella voidaan kahittää jokin käytäntöön sovellettavissa oleva menetelmä.

Kiitokset

Haluamme kiittää Kemira Oy:tä kokeisimmme saamastamme taloudellisesta tuesta. Kiitämme myös tutkijoita MMM Päivi Nykänen-Kurki ja agronomi Eeva Kuusela heidän hyödyllisestä palautteestaan raportin kirjoitusvaiheessa, sekä kokeiden toteutuksesta vastannutta kenttähenkilöstöä.

Kirjallisuus

- Aguilar, S. & van Diest, A.** 1981. Rock-phosphate mobilization induced by the alkaline uptake pattern of legumes utilizing symbiotically fixed nitrogen. *Plant and Soil* 61: 27–41.
- Ansorge, H.** 1966. Untersuchungen über die phosphorsäureaufnahme aus Kola-Apatiti und "Hyperphos" durch Lupinen und Hafer. *Albrecht-Thaer-Archiv* 10: 153–166.
- Asher, C.J. & Ozanne, P.G.** 1967. Growth and potassium content of plants in solution cultures maintained at constant potassium concentrations. *Soil Science* 103: 155–161.
- Bolland, M. D. A. & Gilkes, R. J.** 1989. Reactive rock phosphate fertilizers and soil testing for phosphorus: the effect of particle size of the rock phosphate. *Fertilizer Research* 21: 75–93.
- Gisiger, L. & Pulver, H.** 1959. Von den Eigenschaften der Rohphosphate und ihrer Wirkung als Dünger. *Agrochimica*. Vol. III. nro. 2: 165–189.
- Hakkola, H.** 1986. Biotiitti lannoitus- ja maanparannusaineena. *Omarainen maatalous* 3: 11.
- Huhta, H.** 1989. Kokemuksia biotiitista suonurmen kaliumlannoitteena. *Koetoiminta ja käytäntö* 46 (19.12.1989): 82.
- Jansson, H.** 1985. Biotiitin vaikutus maan viljavuusluokuihin. *Koetoiminta ja käytäntö* 42 (28.5.1985): 34–35.
- Johansen, A. & Jensen, E. S.** 1995. Transfer of N and P from intact or decomposing roots of pea to barley interconnected by an arbuscular mycorrhizal fungus. *Soil Biology and Biochemistry* 28: 73–81.
- Järvi, A.** 1995. Ohralle ja kauralle osa fosforilannoitusta kylvöriiveihin. *Koetoiminta ja käytäntö* 52 (28.3.1995): 10.
- Kaila, A. & Hänninen, P.** 1960. Response of ley plants to rock phosphate and superphosphate. *The Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 32: 52–61.
- Kaunisto, S., Moilanen, M. & Issakainen, J.** 1993. Apatiitti ja flogopiitti fosfori- ja kaliumlannoitteina suomänniköissä. *Folia Forestalia* 810. 30 p. ISSN 0015-5540.
- Kemp, A. & Hart, M. L.** 1956. Grass tetany in grazing milking cows. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 5: 4–17.
- Kemppainen, R.** 1995. Biotiitti ja raakaosfaatti apilanurmen lannoitteina. *Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote* 10/95. 21 p. ISSN 0359-7652.
- Kähäri, J.** 1975. Siilinjärven apatiitti ja Soklin fosforiitti fosforilannoitteina. *Koetoiminta ja Käytäntö* 32. (no 12/1975): 42.
- Lengnick, L. L. & King, L. D.** 1986. Comparison of the phosphorus status of soils managed organically and conventionally. *American Journal of Alternative Agriculture* 3: 108–114.
- Lund, V.** 1990. Försök visar: Svensk apatit kan ge ökade fosforskördar. *Alternativodlingsbrevet* 29: 14–15.
- Martins, M. A. & Read, D. J.** 1996. The role of the external mycelial network of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi. II. A study of phosphorus transfer between plants interconnected by a common mycelium. *Revista de Microbiologia* 27: 100–105.
- Mishra, M. M. & Bangar, K. C.** 1986. Rock phosphate composting: Transformation of phosphorus forms and mechanisms of solubilization. *Biological Agriculture and Horticulture* 3: 331–340.
- Munk, H.** 1960. Über P_2O_5 -Wirksamkeit und Teilchengrösse bei Apatiten. *Landwirtschaftliche Forschung* 13: 296–302.
- Nissinen, O.** Soklin fosforimalmin käyttökelpoisuus nurmen fosforilannoitteena. *Koetoiminta ja käytäntö* 48 (29.10.1991): 62.
- Nykänen-Kurki, P. & Hakkola, H.** 1994. Effect of red clover and nitrogen fertilization on forage quality at various growing times of the first and the second cut. In: Borin, M. & Sattin, M. (eds.) *Proceedings of third ESA Congress, Abano-Padova, 18-22 September 1994*. p. 614. ISBN 2950512410.
- Saarela, I., Järvi, A., Hakkola, H. & Rinne, K.** 1995. Fosforilannoituksen porraskokeet 1977–1994. Vuosittain annetun fosforimäärän vaikutus maan viljavuuteen ja peltokasvien satoon monivuotisissa kenttäkokeissa. *Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote* 16/95. 94 p. ISSN 0359-7652.
- Salonen, M.** 1968. Apatite as a phosphorus fertilizer. *Maataloustieteellinen Aikakauskirja* 40: 209–218.
- Tainio, A.** 1951. Hienofosfaatin ja superfosfaatin lannoitusvaikutuksen vartailua. *Koetoiminta ja Käy-*

täntö 8. (no 11/1951): 2.

Tuori, M., Kaustell, K., Valaja, J., Aimonen, E., Saarisalo, E. & Huhtanen, P. 1995. Rehutaulukot ja ruokintasuosituksset. Märehtijät - siat - siipikarja - turkiseläimet - hevoset. 2. painos. Helsingin yliopisto, kotieläintieteen laitos. Kasvintuotannon tarkastuskeskus, maatalouskemian osasto. Maatalouden tutkimuskeskus, kotieläintuotannon tutkimuslaitos. Helsinki, Yliopistopaino. 99 p. ISBN 951-45-7348-X.

Viljavuuspalvelu 1998. Suullinen tiedonanto 6.3.1998.

Viljavuuspalvelu 1995. Viljavuustutkimuksen tulkin- ta peltoviljelyssä. Viljavuuspalvelu Oy. Mikkeli. 30p.

ISBN 951-97434-1-3.

Vuorinen, J. & Mäkitie, O. 1955. The method of soil testing in use in Finland. Agrogeological Publications 63: 1–44.

Wells, C. B. & Norrish, K. 1968. Accelerated rates of release of interlayer potassium from micas. 9th International Congress of Soil Science Transactions 2: 683–694.

Yli-Halla, M., Hartikainen, H. & Väätäinen, P. 1998. Response of different indices to the decrease of soil phosphorus reserves. Käsikirjoitus.

Zitting, M. 1980. Biotiitti lannoitteena. Suoviljely-yhdistyksen vuosikirja 82–85: 26–39.

Ohran jyväsadot (kg/ha 15% kost.) sekä fosfori- ja kaliumpitoisuudet (g/kg ka) nurmen jälkeisinä vuosina 1994 ja 1995.

Appendix 1. Barley yields (kg/ha, 15% moisture) and the phosphorus and potassium contents (g/kg dm) in years after ley 1994 and 1995.

Koe /Exp. 1 (vuonna 1994) Käsittely /Treatment	Sato Yield	P-pit. P- content	K-pit. K- content	Koe / Exp. 2 (vuonna 1995) Käsittely / Treatment	Sato Yield	P-pit. P- conten t	K-pit. K- content
ei lannoitusta, <i>no fertil</i>	1800 ^{ns}	4,83 ^{ns}	4,18 ^{ns}	ei lannoitusta, <i>no fertil.</i>	2590 ^{ns}	4,07 ^{ns}	5,75 ^{ns}
komposti, <i>compost</i>	1990 ^{ns}	4,83 ^{ns}	4,42 ^{ns}	komposti, olkikate, <i>compost, straw cover</i>	2800 ^{ns}	4,07 ^{ns}	5,64 ^{ns}
apat.pöly 4 t/ha, komp <i>apatite dust + compost</i>	2080 ^{ns}	4,72 ^{ns}	4,40 ^{ns}	komposti, olki- ja muovikate <i>compost, straw + plastic cover</i>	2890 ^{ns}	4,00 ^{ns}	5,60 ^{ns}
apat.pöly 8 t/ha, komp <i>apatite dust + compost</i>	1920 ^{ns}	4,89 ^{ns}	4,45 ^{ns}	apat.pölykomposti <i>apatite dust compost</i>	2430 ^{ns}	4,13 ^{ns}	5,69 ^{ns}
apat.pöly 16 t/ha, komp. <i>apatite dust + compost</i>	1830 ^{ns}	4,77 ^{ns}	4,37 ^{ns}	apat.pöly yliv. kompostissa <i>apatite dust in two year old compost</i>	2730 ^{ns}	4,00 ^{ns}	5,79 ^{ns}
apat.pöly 8 t/ha, sij.lann. <i>apatite dust, placement</i>	2080 ^{ns}	4,84 ^{ns}	4,34 ^{ns}				
apat.pöly 8 t/ha <i>apatite dust</i>	2140 ^{ns}	4,79 ^{ns}	4,35 ^{ns}	apatiittipöly 16 t/ha <i>apatite dust</i>	2880 ^{ns}	4,02 ^{ns}	5,76 ^{ns}
Superfosfaatti, kompostia superphosphate, compost	1930 ^{ns}	4,91 ^{ns}	4,34 ^{ns}	luujauho 4 t/ha <i>bone meal</i>	2340 ^{ns}	4,18 ^{ns}	5,81 ^{ns}
biotiitti 8 t/ha, sij. lann. <i>biotite, placement</i>	1730 ^{ns}	4,95 ^{ns}	4,46 ^{ns}				
biotiitti 8 t/ha, komp. <i>biotite + compost</i>	1850 ^{ns}	4,82 ^{ns}	4,34 ^{ns}	biotiittikomposti <i>biotite compost</i>	2940 ^{ns}	4,06 ^{ns}	5,82 ^{ns}
				Kuolan apatiitti <i>Kola apatite</i>	2590 ^{ns}	4,03 ^{ns}	5,70 ^{ns}
apat. pöly, rakeist. + 5% S, sij.lann. <i>apatite dust, granulated, S, placement</i>	1970 ^{ns}	4,72 ^{ns}	4,23 ^{ns}	kuum. Kuolan apatiitti <i>heated Kola apatite</i>	2520 ^{ns}	3,96 ^{ns}	5,55 ^{ns}
apat. pöly, rakeist., sij.lann. <i>apatite dust, granulated, placement</i>	1850 ^{ns}	4,81 ^{ns}	4,27 ^{ns}	Kuolan apatiittikomposti <i>Kola apatite compost</i>	3000 ^{ns}	4,17 ^{ns}	5,82 ^{ns}
				raakafosfaattikomposti <i>raw phosphate compost</i>	3050 ^{ns}	3,99 ^{ns}	5,71 ^{ns}

LIITE 2 (1/2)

Nurmisadot (kg/ha, ka) kokeissa 1 (1990-94) ja 2 (1992-95). (I = keväsato, II = syys-sato). Tilastotestissä samalla kirjalimella merkityt käsittelyt eivät poikkea toisistaan merkitsevästi ($p < 0,05$, Tukeyn testi).

Appendix 2. Yields of leys (kg/ha, dm) in experiments 1 (1990-94) and 2 (1992-95). (I = spring harvest, II = autumn harvest). In statistical analyze treatments with the same letter are not significantly different at the 0,05 level (Tukey test).

Koe /Exp. 1 Käsittely /Treatment	I 1991	II 1991	I 1992	II 1992	I 1993	II 1993	t-testi t-test
ei lannoitusta, <i>no fertil</i>	2907	4278	3458	2308	3494	4298	a
komposti, <i>compost</i>	2889	4251	3803	2649	3937	4422	a
apat.pöly 4 t/ha, komp <i>apatite dust + compost</i>	2688	4618	3736	2191	3670	4662	a
apat.pöly 8 t/ha, komp <i>apatite dust + compost</i>	2758	4229	3573	2426	3580	4382	a
apat.pöly 16 t/ha, komp. <i>apatite dust + compost</i>	2838	4333	4078	2356	3310	4363	a
apat.pöly 8 t/ha, sij.lann. <i>apatite dust, placement</i>	3001	4287	3967	2387	3641	4319	a
apat.pöly 8 t/ha <i>apatite dust</i>	2814	3892	4586	2805	4492	4730	a
Superfosfaatti, kompostia <i>superphosphate, compost</i>	3136	4046	3932	2380	3679	4202	a
biotiiitti 8 t/ha, sij. lann. <i>biotite, placement</i>	2865	3959	2639	2073	3048	3955	a
biotiiitti 8 t/ha, komp. <i>biotite + compost</i>	2863	4260	3901	2303	3472	4395	a
apat. pöly, rakeist. + 5% S, sij.lann. <i>apatite dust, granulated, S, placement</i>	2651	4115	3647	1940	3163	4073	a
apat. pöly, rakeist., sij.lann. <i>apatite dust, granulated, placement</i>	3227	3987	3345	2387	3190	4274	a

Koe / <i>Exp. 2</i>	I	II	I	II	t-testi
Käsittely / <i>Treatment</i>	1993	1993	1994	1994	<i>t-test</i>
ei lannoitusta, <i>no fertil.</i>	3278	2774	2786	1273	a
komposti, olkikate, <i>compost, straw cover</i>	4836	3511	3023	.	b
komposti, olki- ja muovikate <i>compost, straw + plastic cover</i>	4686	3377	3402	.	b
apat.pölykomposti <i>apatite dust compost</i>	4136	3230	2851	.	ab
apat.pöly yliv. kompostissa <i>apatite dust in two year old compost</i>	4569	3461	2907	.	b
apatiittipöly 16 t/ha <i>apatite dust</i>	3434	2980	3436	1477	ab
luujauho 4 t/ha <i>bone meal</i>	2712	3438	2974	.	ab
biotiihtikomposti <i>biotite compost</i>	4446	3181	3076	.	b
Kuolan apatiitti <i>Kola apatite</i>	3124	2740	2452	.	ab
kuum. Kuolan apatiitti <i>heated Kola apatite</i>	4438	3031	2658	.	ab
Kuolan apatiittikomposti <i>Kola apatite compost</i>	4866	3199	3077	.	b
raakafosfaattikomposti <i>raw phosphate compost</i>	4879	3337	2906	.	b

LIITE 3 (1/2)

Puna-apilan ja timotein fosforipitoisuus (g P/kg, ka) ja kaliumpitoisuus (g K/kg, ka) ko-
keissa 1 (1990-94) ja 2 (1992-95). (I = kevätsato, II = syysato). Tilastotestissä samalla
kirjalimella merkityt käsittelyt eivät poikkea toisistaan merkitsevästi ($p < 0,05$, Tukeyn
testi).

*Appendix 3. Phosphorus content (g P/kg, dm) and potassium content (g K/kg, dm) of red clover and
timothy in experiments 1 (1990-94) and 2 (1992-95). (I = spring harvest, II = autumn har-
vest). In statistical analyze treatments with the same letter are not significantly different at the 0,05
level (Tukey test).*

Koe /Exp. 1 Käsittely /Treatment	Puna-apila, red clover							Timotei, timothy							
		I 1991	II 1991	I 1992	II 1992	I 1993	II 1993	t-testi t-test	I 1991	II 1991	I 1992	II 1992	I 1993	II 1993	t-testi t-test
ei lannoitusta, no fertil	P	3,04	2,87	2,17	2,30	2,65	2,44	ab	2,99	2,91	2,35	2,76	2,30	2,82	a
	K	42,6	30,1	24,9	18,7	30,1	20,3	b	25,9	25,3	20,3	22,8	18,6	20,6	a
komposti, compost	P	3,61	2,72	2,17	2,40	2,63	2,44	ab	3,02	2,79	2,29	3,07	2,29	2,86	a
	K	43,2	31,6	26,3	22,8	26,1	21,3	b	27,4	24,8	19,6	25,6	19,0	20,4	a
apat.pöly 4 t/ha, komp apatite dust + compost	P	3,40	2,68	2,14	2,51	2,83	2,47	ab	3,09	2,68	2,27	2,71	2,27	3,07	a
	K	45,3	33,7	29,4	25,4	32,2	24,7	a	27,8	24,2	19,9	22,3	18,9	21,4	a
apat.pöly 8 t/ha, komp apatite dust + compost	P	3,41	2,74	2,22	2,27	2,96	2,53	b	3,08	2,77	2,40	2,91	2,19	2,78	a
	K	43,2	33,2	30,0	22,5	31,8	26,3	ac	27,7	23,7	20,8	24,5	18,4	20,3	a
apat.pöly 16 t/ha, komp. apatite dust + compost	P	3,44	2,78	2,20	2,38	2,69	2,33	ab	3,17	3,01	2,25	2,89	2,23	2,85	a
	K	46,8	35,1	29,7	24,3	34,7	28,4	a	29,0	25,9	20,8	23,7	18,5	21,2	a
apat.pöly 8 t/ha, sij.lann. apatite dust, placement	P	3,04	2,66	2,13	2,32	2,74	2,57	ab	3,02	2,97	2,42	2,91	2,35	2,86	a
	K	44,4	31,4	24,6	20,6	26,8	22,9	b	26,4	25,7	20,7	24,0	18,9	20,7	a
apat.pöly 8 t/ha apatite dust	P	2,92	2,66	2,17	2,30	2,57	2,45	a	3,13	2,67	2,21	2,91	2,31	2,89	a
	K	43,5	32,3	27,2	21,4	29,6	23,3	bc	26,4	23,5	20,3	24,0	19,4	20,7	a
Superfosfaatti, kompostia superphosphate, compost	P	3,69	2,82	2,21	2,38	2,67	2,47	b	3,00	2,95	2,33	2,67	2,35	2,90	a
	K	47,0	31,6	26,2	20,4	25,9	20,1	b	27,2	25,0	20,2	22,0	18,3	19,5	a
biotiiitti 8 t/ha, sij. lann. biotite, placement	P	3,25	2,73	2,09	2,28	2,62	2,47	ab	3,10	3,15	2,38	3,05	2,31	2,76	a
	K	41,1	31,7	26,0	20,3	29,5	21,8	b	25,6	25,5	20,7	24,6	18,7	18,6	a
biotiiitti 8 t/ha, komp. biotite + compost	P	3,52	2,73	2,22	2,20	2,56	2,51	ab	3,10	2,80	2,37	2,90	2,22	2,87	a
	K	44,2	33,0	29,1	21,1	31,8	28,7	ac	27,5	25,3	20,6	23,9	19,0	20,1	a
apat. pöly, rakeist. + 5% S, sij.lann. apatite dust, granulated, S, placement	P	3,15	2,84	2,16	2,41	2,50	2,41	ab	3,08	3,11	2,31	2,93	2,25	2,93	a
	K	42,9	32,2	25,7	22,3	29,3	23,9	bc	26,5	26,4	20,2	24,8	20,2	21,9	a
apat. pöly, rakeist., sij.lann. apatite dust, granulated, placement	P	3,11	2,67	2,26	2,31	2,51	2,48	ab	2,99	3,13	2,32	2,98	2,31	2,81	a
	K	42,3	32,7	27,3	21,8	28,6	24,4	bc	25,4	28,0	20,1	24,3	19,6	18,9	a

Koe / Exp. 2 Käsittely / Treatment	Puna-apila, <i>red clover</i>				Timotei, <i>timothy</i>						
		I 1993	II 1993	I 1994	t-testi <i>t-test</i>	II 1994	I 1993	II 1993	I 1994	II 1994	t-testi <i>t-test</i>
ei lannoitusta, <i>no fertil.</i>	P	1,81	2,29	2,15	a	2,08	1,63	2,64	1,80	2,49	a
	K	33,1	29,9	30,1	b	22,3	16,9	21,3	15,9	20,3	ab
komposti, olkikate, <i>compost, straw cover</i>	P	2,04	2,37	2,26	abc	2,20	1,81	2,98	1,95	2,47	a
	K	33,8	31,6	31,1	ab	23,9	18,5	24,3	17,7	19,3	ab
komposti, olki- ja muovikate <i>compost, straw + plastic cover</i>	P	1,99	2,36	2,40	abc	2,13	1,75	2,83	1,94	2,44	a
	K	34,0	30,8	32,8	ab	24,0	18,7	22,8	17,6	20,1	ab
apat.pölykomposti <i>apatite dust compost</i>	P	2,05	2,17	2,27	abc	2,23	1,58	2,64	1,90	2,41	a
	K	35,2	29,3	32,7	ab	24,0	16,7	22,0	17,5	19,6	ab
apat.pöly yliv. kompostissa <i>apatite dust in two year old compost</i>	P	2,07	2,25	2,32	bc	2,25	1,70	2,97	1,91	2,47	a
	K	34,1	29,8	32,6	ab	25,3	17,1	23,5	17,0	19,6	ab
apatiittipöly 16 t/ha <i>apatite dust</i>	P	1,78	2,20	2,23	ac	2,18	1,55	2,67	1,81	2,59	a
	K	32,9	30,0	32,6	ab	25,0	16,5	21,6	17,1	21,2	ab
luujauho 4 t/ha <i>bone meal</i>	P	2,16	2,24	2,44	b	2,29	1,77	2,54	1,95	2,36	a
	K	32,2	29,4	31,1	b	23,6	16,7	19,5	16,6	18,5	a
biotittikomposti <i>biotite compost</i>	P	1,93	2,23	2,31	abc	2,20	1,59	2,99	1,91	2,41	a
	K	35,0	31,7	33,0	a	24,9	17,2	24,0	16,7	19,2	ab
Kuolan apatiitti <i>Kola apatite</i>	P	1,85	2,06	2,14	ac	2,33	1,64	2,74	1,86	2,21	a
	K	32,9	29,6	30,8	b	22,9	16,9	22,0	16,4	17,2	ab
kuum. Kuolan apatiitti <i>heated Kola apatite</i>	P	2,19	2,19	2,20	abc	2,06	1,65	2,42	1,92	2,28	a
	K	33,4	29,5	31,2	ab	23,8	17,5	21,2	17,3	18,4	ab
Kuolan apatiittikomposti <i>Kola apatite compost</i>	P	2,12	2,33	2,17	abc	2,19	1,76	2,82	2,00	2,57	a
	K	34,3	30,2	30,5	ab	23,6	18,5	23,4	17,3	20,8	b
raakafosfaattikomposti <i>raw phosphate compost</i>	P	2,11	2,42	2,20	bc	2,25	1,68	2,74	1,92	2,56	a
	K	34,1	30,7	30,5	ab	24,4	17,6	23,3	17,7	20,0	ab

LIITE 4 (1/2)

Maan liukoisen fosforin pitoisuus (mg P/l maata), maan liukoisen kaliumin pitoisuus (mg K/l maata) ja pH kokeissa 1 (1990-94) ja 2 (1992-95). (K = näyte otettu keväällä, S = näyte otettu syksyllä). Tilastotestissä samalla kirjaimella merkityt käsittelyt eivät poikkea toisistaan merkitsevästi ($p < 0,05$, Tukeyn testi).

Appendix 4. Content of exchangeable phosphorus in soil (mg P/l soil), content of exchangeable potassium in soil (mg K/l soil) and pH in experiments 1 (1990-94) and 2 (1992-95). (K = sample has been taken in spring, S = sample has been taken in autumn). In statistical analyze treatments with the same letter are not significantly different at the 0,05 level (Tukey test).

Koe /Exp. 1 Käsittely /Treatment		S 1990	K 1991	S 1991	K 1992	S 1992	K 1993	S 1993	K 1994	S 1994	t-testi t-test
ei lannoitusta, <i>no fertil</i>	P, mg/l	15,6	13,4	14,6	12,5	14,9	13,3	13,8	9,8	11,6	cd
	K, mg/l	190	203	122	128	113	133	89	105	73	e
	pH	6,38	6,33	6,09	6,09	6,15	6,18	5,95	5,98	6,03	e
komposti, <i>compost</i>	P, mg/l	21,3	18,3	18,0	15,1	14,5	14,5	14,5	10,9	13,9	bc
	K, mg/l	216	233	141	165	101	141	89	112	84	cde
	pH	6,43	6,47	6,28	6,19	6,15	6,33	6,15	6,18	6,05	cde
apat.pöly 4 t/ha, komp <i>apatite dust + compost</i>	P, mg/l	27,2	19,6	20,8	18,3	21,1	18,8	19,5	13,1	15,7	a
	K, mg/l	254	281	171	164	133	156	105	126	110	ab
	pH	6,54	6,47	6,46	6,32	6,47	6,45	6,30	6,18	6,13	abc
apat.pöly 8 t/ha, komp <i>apatite dust + compost</i>	P, mg/l	15,4	15,3	16,7	18,0	16,8	19,3	21,0	14,8	15,5	ab
	K, mg/l	206	238	168	171	128	146	116	147	118	abc
	pH	6,49	6,47	6,48	6,42	6,41	6,50	6,43	6,43	6,38	ab
apat.pöly 16 t/ha, komp. <i>apatite dust + compost</i>	P, mg/l	19,0	19,9	20,2	20,3	22,4	18,3	18,0	15,5	17,5	a
	K, mg/l	233	252	174	179	141	158	137	164	132	a
	pH	6,69	6,50	6,58	6,56	6,44	6,65	6,50	6,53	6,38	a
apat.pöly 8 t/ha, sij.lann. <i>apatite dust, placement</i>	P, mg/l	15,1	14,5	16,7	14,7	18,0	15,3	15,5	10,9	12,8	bcd
	K, mg/l	172	192	129	154	104	154	104	130	103	de
	pH	6,49	6,33	6,32	6,09	6,28	6,28	6,20	6,13	6,13	cde
apat.pöly 8 t/ha <i>apatite dust</i>	P, mg/l	13,6	12,5	15,0	13,2	14,9	12,0	12,8	8,8	11,7	d
	K, mg/l	204	187	128	162	103	139	97	112	97	de
	pH	6,41	6,25	6,33	6,19	6,14	6,38	6,23	6,15	6,03	de
Superfosfaatti, kompostia <i>superphosphate, compost</i>	P, mg/l	21,2	16,5	17,2	16,3	15,6	14,5	15,5	10,8	14,0	bc
	K, mg/l	233	219	124	133	89	120	70	101	76	de
	pH	6,60	6,40	6,32	6,16	6,22	6,25	6,08	6,15	6,08	cde
biotiiitti 8 t/ha, sij. lann. <i>biotite, placement</i>	P, mg/l	16,1	14,1	15,8	13,6	16,0	14,0	13,3	11,1	12,2	cd
	K, mg/l	203	193	122	126	118	125	75	116	104	de
	pH	6,44	6,29	6,31	6,05	6,25	6,33	6,05	6,15	6,15	de
biotiiitti 8 t/ha, komp. <i>biotite + compost</i>	P, mg/l	19,6	18,2	17,7	17,9	20,1	18,0	16,5	13,8	14,1	ab
	K, mg/l	248	245	148	182	135	159	105	159	117	ab
	pH	6,49	6,45	6,32	6,34	6,43	6,43	6,28	6,35	6,08	bcd
apat. pöly, rakeist. + 5% S, sij.lann. <i>apatite dust, granulated, S, placement</i>	P, mg/l	21,6	15,0	15,3	15,6	16,6	13,8	15,0	9,3	11,8	bcd
	K, mg/l	217	199	144	173	117	152	108	131	108	bcd
	pH	6,51	6,42	6,30	6,38	6,42	6,40	6,43	6,23	6,10	bcd
apat. pöly, rakeist., sij.lann. <i>apatite dust, granulated, placement</i>	P, mg/l	15,2	14,1	13,9	13,9	14,8	13,5	13,0	10,4	11,1	cd
	K, mg/l	199	197	139	148	118	138	97	123	104	cde
	pH	6,50	6,51	6,16	6,39	6,25	6,30	6,20	6,20	6,10	cd

Koe / Exp. 2 Käsittely / Treatment		K 1992	S 1992	K 1993	S 1993	K 1994	S 1994	K 1995	S 1995	t-testi t-test
ei lannoitusta, <i>no fertil.</i>	P, mg/l	4,05	4,18	3,33	3,15	2,30	2,05	4,38	4,10	b
	K, mg/l	123	136	144	138	91	83	76	80	b
	pH	6,03	6,08	6,03	6,11	6,13	6,05	5,75	5,85	bcd
komposti, olkikate, <i>compost, straw cover</i>	P, mg/l	4,18	4,55	4,28	3,45	2,65	3,43	4,88	4,53	b
	K, mg/l	137	148	174	155	96	81	81	85	a
	pH	6,06	6,11	6,03	6,11	6,05	6,00	5,78	5,93	bcd
komposti, olki- ja muovikate <i>compost, straw + plastic cover</i>	P, mg/l	4,10	4,45	3,95	3,25	2,28	2,45	4,85	4,63	bc
	K, mg/l	124	149	169	152	98	82	79,0	82,3	ab
	pH	6,03	6,10	6,03	6,11	6,05	6,03	5,78	5,78	cd
apat.pölykomposti <i>apatite dust compost</i>	P, mg/l	4,18	4,48	4,00	3,88	2,13	2,63	5,25	4,98	bc
	K, mg/l	116	147	166	151	98	92	97	95	a
	pH	5,90	6,20	6,10	6,12	6,00	5,88	5,95	5,93	bcd
apat.pöly yliv. kompostissa <i>apatite dust in two year old compost</i>	P, mg/l	3,83	4,10	4,35	3,23	2,30	2,38	4,50	3,93	bc
	K, mg/l	120	134	157	141	101	89	81,5	84,8	ab
	pH	6,04	6,23	6,15	6,21	6,23	6,00	5,85	6,00	bc
apatiittipöly 16 t/ha <i>apatite dust</i>	P, mg/l	3,93	3,95	3,05	3,15	2,18	2,35	4,65	3,95	bc
	K, mg/l	122	155	176	152	101	88	90	90	a
	pH	6,03	6,42	6,40	6,33	6,25	6,20	5,98	6,00	a
luujauho 4 t/ha <i>bone meal</i>	P, mg/l	3,93	8,00	7,10	5,50	4,25	3,03	6,88	6,50	a
	K, mg/l	120	132	147	143	91	80	81	85	b
	pH	6,00	6,13	6,03	6,16	6,08	6,03	5,90	5,90	bcd
biotieittikomposti <i>biotite compost</i>	P, mg/l	3,58	3,88	3,83	2,95	1,83	2,40	4,10	3,63	c
	K, mg/l	121	145	178	148	97	88	92	88	a
	pH	5,98	6,22	6,25	6,18	6,08	6,13	5,95	6,00	ab
Kuolan apatiitti <i>Kola apatite</i>	P, mg/l	4,00	4,15	3,60	3,08	3,40	2,55	4,25	4,20	bc
	K, mg/l	124	146	165	154	94	84	83	82	ab
	pH	5,96	6,13	6,03	6,06	6,08	5,90	5,78	5,88	d
kuum. Kuolan apatiitti <i>heated Kola apatite</i>	P, mg/l	3,93	4,15	3,55	3,45	1,78	2,55	5,20	4,53	bc
	K, mg/l	127	146	149	154	94	85	82,3	82,3	ab
	pH	6,03	6,15	5,98	6,15	6,05	6,08	5,73	5,88	bcd
Kuolan apatiittikomposti <i>Kola apatite compost</i>	P, mg/l	4,20	4,63	4,03	3,38	2,13	2,85	5,18	4,60	bc
	K, mg/l	123	158	167	147	101	80	82	82	ab
	pH	6,01	6,19	6,10	6,08	6,08	5,98	5,70	5,85	bcd
raakafosfaattikomposti <i>raw phosphate compost</i>	P, mg/l	3,68	3,93	3,80	3,08	2,28	2,78	4,23	4,43	bc
	K, mg/l	118	152	157	146	103	74	78,5	84,8	ab
	pH	6,00	6,16	5,93	6,04	6,00	6,03	5,68	5,80	d

LIITE 5

Kokeiden 1 ja 2 fosfori- ja kaliumtuotokset (kokonaisotto) kokeen aikana yhteensä.
Appendix 5. Phosphorus and potassium outputs (cumulative) in experiments 1 and 2.

Koe/Experiment 1 (1990-94) Käsittely/Treatment	P-otto P output	K-otto K output	Koe/Experiment 2 (1992-95) Käsittely/Treatment	P-otto P output	K-otto K output
ei lannoitusta, <i>no fertilization</i>	74,4	546,6	ei lannoitusta, <i>no fertilization</i>	41,3	301,0
komposti, <i>compost</i>	77,6	580,5	komposti, olkikate <i>compost, straw cover</i>	50,6	389,3
apat.pöly 4 t/ha, komposti <i>apatite dust + compost</i>	79,3	612,2	komposti, olki- ja muovikate <i>compost, straw + plastic cover</i>	49,9	392,8
apat.pöly 8 t/ha, komposti <i>apatite dust + compost</i>	78,0	616,4	apat.pölykomposti <i>apatite dust compost</i>	44,5	338,9
apat.pöly 16 t/ha, komposti <i>apatite dust + compost</i>	78,0	633,3	apat.pöly yliv. kompostissa <i>apatite dust + 2-year old compost</i>	47,7	366,8
apat.pöly 8 t/ha, sij.lannoitus <i>apatite dust, placement</i>	79,8	576,2			
apat.pöly 8 t/ha, <i>apatite dust</i>	79,5	615,9	apatiittipöly 16 t/ha, <i>apatite dust</i>	45,6	337,6
Superfosfaatti, kompostia, <i>superphosphate, compost</i>	81,8	582,5	luujauho 4 t/ha <i>bone meal</i>	49,5	328,3
biotiiitti 8 t/ha, sij. lannoitus <i>biotite, placement</i>	70,2	512,2			
biotiiitti 8 t/ha, komp. <i>biotite + compost</i>	79,3	619,2	biotiiittikomposti, <i>biotite compost</i>	48,5	375,0
			Kuolan apatiitti, <i>Kola apatite</i>	38,8	275,9
apat. pöly, rakeist. + 5% S, sj.lann. <i>apatitedust, granulated + S</i>	73,1	542,3	kuum. Kuolan apatiitti, <i>heated Kola apatite</i>	43,5	334,4
apat. pöly, rakeist., sij.lannoitus <i>apatite dust, granulated, placement</i>	60,7	590,7	Kuolan apatiittikomposti <i>Kola apatite compost</i>	51,6	375,0
			raakaosfaattikomposti <i>raw phosphate compost</i>	49,1	371,4

Julkaisija



31600 JOKIOINEN

Julkaisun sarja ja numero Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 54		
		Julkaisuaika (kk ja vuosi) Joulukuu 2001
Tekijä(t) Pentti Seuri, Arja Nykänen, ja Harri Huhta	Tutkimushankkeen nimi	
	Toimeksiantaja(t) MTT	
Nimike Siilijärven apatiittipöly ja muut hidasliukoiset fosfori- ja kaliumlannoitteet luomuviljelyssä. Tuloksia koesarjasta vuosilta 1990–1995. 2. korjattu painos		
Tiivistelmä Kahdessa kenttäkokeessa MTT:n (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus) ekologisen tuotannon tutkimusasemalla Juvalla tutkittiin 1990–1995 erilaisten kivijauheiden, luujauhon ja kompostin käyttökelpoisuutta fosfori- ja kaliumlannoitteena luomuviljelyssä. Kokeissa mukana olleet kivijauheet olivat Siilinjärven apatiittipöly, Kuolan apatiitti, raakafosfaatti ja biotiitti. Kokeissa noudatettu viljelykierto oli ohra + nurmensiemen - kaksi- tai kolmivuotinen apilanurmi - ohra. Lannoitteet lisättiin ainoastaan kokeen alussa. Kokeissa ei millään käytetyllä lannoitusaineella, luujauhoa lukuunottamatta, saatu selvää vaikutusta ohran tai nurmen sadon määrään tai laatuun. Luujauhonkin vaikutus perustui pääasiassa sen korkeaan typpipitoisuuteen. Puna-apilan fosfori- ja kaliumpitoisuuden vaikuttaa maan liukoisen fosforin ja kaliumin pitoisuus, kun taas timotei ei reagoi maan fosfori- tai kaliumtilaan. Nurmen K/(Ca + Mg) -ekvivalenttisuhte oli suositusten mukaan alle 2,2 ja arvoa voikin säädellä lisäämällä puna-apilan osuutta nurmessa, koska puna-apilan K/(Ca + Mg) -suhde oli selvästi alhaisempi kuin timotein. Nurmirehun Ca/P suhde oli liian alhainen. Maan liukoisen fosforin pitoisuutta pystyttiin nostamaan keskimäärin 4–5 mg/l maata käyttämällä kompostia 30 t/ha tai luujauhoa 4 t/ha. Vaikutus kuitenkin hävisi 2–3 vuodessa. Käytettäessä apatiittipölyä ja kompostia yhdessä maan liukoisen fosforin pitoisuutta nostava vaikutus tuli esille hitaammin, sillä nousu pysähtyi vasta kolme vuotta lisäyksen jälkeen, jolloin pitoisuus oli noussut 6 mg/l maata. Maan liukoisen kaliumin pitoisuutta voitiin nostaa 40 mg/l maata käyttämällä biotiittia 8 t/ha tai biotiittia + kompostia 30 t/ha. Vaikutus kesti kaksi vuotta. Panos – tuotos -suhteiden perusteella parhaat hyötysuhteet sekä fosforin että kaliumin osalta saatiin kompostia käytettäessä. Näiden tulosten perusteella voidaan suositella kompostia fosfori- ja kaliumlannoitteeksi luomutiloille. Tätäkin tärkeämpää on pyrkiä kierrättämään ravinteet tilalla mahdollisimman tehokkaasti. Lisää tutkimusta kaivataan siitä, kuinka pellossa olevia luontaisia ravinnevaroja pystyttäisiin hyödyntämään entistäkin tehokkaammin.		
Avainsanat lannoitus, fosforilannoitus, kaliumlannoitus, komposti, luonnonmukainen viljely, apilat, nurmet, biotiitti, ohra		
Toimintayksikkö MTT, Ympäristöntutkimus, Ekologinen tuotanto, Partala, Huttulantie 1, 51900 Juva		
ISSN 1238-9935	ISBN 951-729-645-2 (Painettu) 951-729-646-0 (Verkkajulkaisu)	<input checked="" type="checkbox"/> Tuloksia voi soveltaa luomuviljelyssä
Myynti: MTT tietopalveluyksikkö, 31600 JOKIOINEN Puhelin (03) 4188 2327 Telekopio (03) 4188 2339		Sivuja 26 s. + 5 liitettä
		Hinta

Jyväskylän yliopistopaino 2001
ISBN 951-729-645-2 (Painettu)
ISBN 951-729-646-0 (Verkojulkaisu)
ISSN 1238-9935
<http://www.mtt.fi/asarja>