

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS
TIEDOTE **16/95**

INTO SAARELA, AULIS JÄRVI, HEIKKI HAKKOLA ja KALLE RINNE

Fosforilannoituksen porraskokeet 1977–1994

Vuosittain annetun fosforimäärän vaikutus maan viljavuuteen ja peltokasvien satoon monivuotisissa kenttäkokeissa

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS
TIEDOTE 16/95

INTO SAARELA, AULIS JÄRVI, HEIKKI HAKKOLA
ja KALLE RINNE

Fosforilannoituksen porraskokeet 1977 - 1994

**Vuosittain annetun fosforimäärän vaikutus maan
viljavuuteen ja peltokasvien satoon monivuotisissa
kenttäkokeissa**

***(Summary: Phosphorus fertilizer rate trials, 1977 - 1994
Effects of the rate of annual phosphorus application on soil
fertility and yields of field crops in long-term field experiments)***

Maatalouden tutkimuskeskus
Kasvintuotannon tutkimuslaitos
Maanviljelyskemian ja -fysiikan tutkimusala
31600 JOKIOINEN
Puh. (916) 41 881

Jokioinen 1995
ISSN 0359-7652

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	5
SUMMARY	6
1 JOHDANTO	8
2 AINEISTO JA MENETELMÄT	9
2.1 Koepaikkojen sijainti ja maaperä	9
2.2 Kokeiden edustavuus ja fosforihistoria	10
2.3 Koejärjestelyt	13
2.4 Maa- ja satoanalyysit	13
2.5 Tulosten tilastollinen käsittely, grafiikka ja editointi	14
2.6 Tutkimuksen tekijät	14
3 TULOKSET JA TARKASTELU	14
3.1 Sadot ja ravinnetaseet	14
3.1.1 Sadot eri maalajeilla ja koepaikoilla	14
3.1.2 Fosforilannoituksen hyväksikäyttöaste	16
3.1.3 Satojen fosforisisältö	19
3.1.4 Pellon fosfori- ja typpitase	19
3.1.5 Satojen ravinteet ja laatu	21
3.2 Maan viljavuuden kehitys	24
3.2.1 Helppoliukoinen fosfori	24
3.2.2 Maan fosforitilan kehitys	27
3.2.3 Fosforitase ja maan fosforipitoisuuden muutokset	29
3.2.4 Maan viljavuuden muut muutokset	36
3.3 Fosforilannoituksen aiheuttamien satoerojen kasvu	37
3.3.1 Satojen kehitys eri koepaikoilla	37
3.3.2 Satoerojen kasvu maalajeittain	38
3.3.3 Fosforilannoituksen jälkivaikutus	41
3.3.4 Jälkivaikutus NK- ja NPK-lannoituksella	41
3.3.5 Jälkivaikutus perunalla NK- ja NPK-lannoituksella	46
3.4 Maan fosforin ja muiden tekijöiden vaikutus fosforilannoituksen tarpeeseen	47
3.4.1 Maan fosforilukujen korjaus happamuuden ja maalajin mukaan	47
3.4.2 Maan fosfori ja lannoituksen vaikutus	50
3.4.3 Lannoitustaso ja suhteellisten satojen kehitys	56
3.4.4 Fosforilannoituksen vaikutus eri satotasoilla ja alueilla	60
3.4.5 Sadon laatu ja ravinnetaseet maan fosforiluokittain	63
3.4.6 Fosforin vaikutus satoon muissa tutkimuksissa	63
3.5 Fosforilannoituksen määrän vaikutus satoon viljavuusluokittain	67
3.5.1 Sadonlisäys lannoituksen fosforimäärän funktiona	67
3.5.2 Lannoitefosforin hinta ja nettosato	72
3.5.3 Sadon ja fosforilannoituksen muutosten suhde	74
3.5.4 Fosforilannoituksen taloudellinen optimi	80
3.5.5 Maan fosforianalyysin tulkinta	82
3.6 Fosforilannoitus, ympäristö ja kestävä viljely	84
3.6.1 Fosforilannoitus ja ympäristö	84
3.6.2 Fosforin tarve kestävässä viljelyssä	86

4 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT	87
4.1 Pellon fosforitase ja viljavuuden kehitys	88
4.2 Fosforilannoituksen hyväksikäyttö	88
4.3 Fosforilannoituksen vaikutus sadon laatuun ja määrään	89
4.4 Fosforilannoituksen aiheuttaminen satoerojen kasvu	89
4.5 Viljavuustutkimuksen fosforianalyysin tulkinta	89
4.6 Päätelmät	90
 KIRJALLISUUS	 91

LIITTEET

SAARELA, I. Fosforilannoituksen porraskokeet 1977 - 1994. Vuosittain annetun fosforimäärän vaikutus maan viljavuuteen ja peltokasvien satoon monivuotisissa kenttäkokeissa. (Summary: Phosphorus fertilizer rate trials, 1977 - 1994. Effects of the rate of annual phosphorus application on soil fertility and yields of field crops in long-term field experiments.) Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 16/95. 94 p. + 14 liitteitä.

Avainsanat: fosforilannoitus, fosforin otto, fosforitase, jälkivaikutus, kasvianalyysi, kasvin fosfori, lannoituskustannus, maa-analyysi, maan fosfori, maan viljavuus, optimilannoitus, nettosato, peltokasvit, sadonlisä

TIIVISTELMÄ

Suomen peltojen fosforitila parani runsaan lannoituksen ansiosta nopeasti 1960- ja 1970-luvuilla. Vuosina 1977 - 1994 tehtiin 37 koepaikalla monivuotisia kenttäkokeita, joilla tutkittiin viljavuudeltaan parannetuilla mailla tarvittavaa fosforilannoitusta. Kokeissa tutkittiin viiden vuosittain annetun fosforimäärän vaikutusta maan viljavuuden sekä peltokasvien sadon määrän ja laadun kehitykseen. Taloudellisessa ja kestävässä viljelyssä erilaisissa olosuhteissa tarvittavaa lannoitusta selvitettiin kemiallisilla kasvi- ja maa-analyyseillä.

Fosforilannoitus vaikutti kyntökerroksen liukoisen fosforin pitoisuuteen selvästi, ja fosforimäärien väliset erot kasvoivat melko säännöllisesti. Kun liukoista fosforia oli kokeen alussa vähän, sen määrä pysyi suunnilleen ennallaan, kun lannoitus korvasi sadoissa poistuneen fosforin. Korkean pitoisuuden ylläpitoon lannoitefosforia tarvittiin huomattavasti enemmän kuin kasvit tätä ravinnetta maasta ottivat.

Lannoitefosforin näennäinen hyväksikäyttöaste oli fosforilannoituksella 15 kg/ha keskimäärin 7,1 prosenttia ja fosforilannoituksella 45 kg/ha 4,8 prosenttia. Sadon laatuun fosforilannoitus vaikutti eniten nurmen viljelyssä, jossa sadon kivennäispitoisuudet nousivat lähemmäksi eläinten tarvetta. Lannoituksen lisääminen sadon määrän kannalta tarpeettomasti ei parantanut viljasadon laatua.

Fosforilannoitus lisäsi peltokasvien keskimääräistä hehtaarisatoa 425 rehuyksiköllä eli 11,2 prosenttia. Perunalla ja yli yhden vuoden ikäisellä nurmella fosforin tarve ja lannoitusoptimi olivat suurempia kuin muilla peltokasveilla. Leipäviljat ja kaura taas olivat vaatimattomia ja niiden edullisin lannoitus oli niukempi. Ohran, rypsin ja ensimmäisen vuoden nurmen fosforin tarve ja lannoitusoptimi vastasivat peltokasvien keskitasoa.

Fosforin vaikutus satoon ja sen edullisin määrä kasvoivat kokeiden aikana maan viljavuuden kehityksen mukaisesti. Erityisesti happamilla Sisä-Suomen kivennäismailla fosforin saanti näytti heikkenevän enemmän kuin asetaattiin uuttuvan fosforin pitoisuus laski. Kun suositusten mukaista lannoitusta (keskim. 27 kg/ha) vähennettiin kymmenellä kilolla, pienenevät niukka- ja keskifosforisten maiden sadot alussa vain prosentin mutta lopussa neljä prosenttia, jolloin ero biologiseen optimiin kasvoi kahdeksaan prosenttiin.

Niukkafosforisilla mailla, joiden pH:n ja maalajin mukaan korjattu fosforipitoisuus oli alle 4 mg/l, ohran sato pieneni ilman fosforilannoitusta 15 vuodessa alle puoleen. Tällöin optimilannoitus oli nykyisillä hinnoilla noin 40 kg/ha, ja se lisäsi satoa 1 400 kg/ha. Keskinertaisilla mailla (fosforipitoisuus 4 - 16 mg/l) lannoituksen vaikutus ja kannattavuus olivat alussa heikkoja, mutta lopussa satoerot

suurenivat 400 - 800 kiloon tai rehuyksikköön hehtaarilta. Tällöin vanhojen suositusten mukaiset fosforimäärät, 20 - 30 kg/ha, olivat alentuneilla viljan hinnoilla optimaalisia.

Biologisesti niukkafosforiset Sisä-Suomen hiesuiset ja karkeat maat, joiden lannoitustarve oli poikkeuksellisen suuri, eivät erottuneet keskinkertaisista kokeista maan alkuperäisen korjaamattoman fosforipitoisuuden perusteella. Etelä-Suomessa yleisistä jäykistä savista sekä savisista ja runsasmultaisista hiedoista kasvit taas saivat fosforia paremmin kuin maa-analyysi ennusti. Kemiallisesti määritettyjen maan fosforipitoisuuksien tarkennettu tulkinta pH-luvun, maalajin ja multavuuden perusteella kohdisti siten lannoitusta alueellisesti paremmin tarvetta vastaavaksi.

SUMMARY

Phosphorus fertilizer rate trials, 1977 - 1994. Effects of the rate of annual phosphorus application on soil fertility and yields of field crops in long-term field experiments

The phosphorus status of arable Finnish soils was quickly improved by abundant application of fertilizers in the 1960s and 1970s. The phosphorus fertilization requirement at the improved soil fertility level was studied with long-term field experiments at 37 sites during 1977 - 1994. The effects of five different rates of annual phosphorus application on field-crop yields and quality were investigated. The phosphorus requirements for beneficial and sustainable crop production under diverse soil conditions were studied by means of chemical plant and soil analyses.

Phosphorus fertilization had a marked impact on soluble concentrations phosphorus in the ploughed topsoil, and the differences between the phosphorus application rates increased consistently. Low initial values remained almost unchanged, when fertilization equalled the amounts of phosphorus removed by crops, but substantially higher amounts were needed to maintain high initial concentrations of readily soluble phosphorus in soils.

The apparent average utilization of fertilizer phosphorus was 7.1 per cent at a phosphorus fertilization rate of 15 kg/ha and 4.8 per cent at a rate of 45 kg/ha. The effects of fertilization on crop quality were greatest in leys, where the phosphorus concentration in herbage approached the requirements of feeding animals.

Phosphorus fertilization increased the average yield of field crops by 425 feed units per hectare, or 11.2 per cent. Phosphorus requirements and optimum fertilization rates were higher in potato and in leys older than one year than in other field crops, but lower in wheats, rye and oats. In barley and oilseed rape

and in the first year's ley, the phosphorus requirements and optimum fertilization rate were close to the average for field crops.

Yield responses to the phosphorus applied and the optimum fertilization rate increased during the experiments in accordance with the changes in soil fertility. In acid mineral soils in inland Finland in particular, phosphorus availability seemed to decline more than did the phosphorus concentrations extractable in acid ammonium acetate. Reducing fertilization to below the recommended rates (mean 27 kg/ha) by 10 kg/ha diminished the yields from low to medium-phosphorus fields by no more than 1 per cent at the beginning of the experiments but by 4 per cent at the end, when the difference from the biological optimum rose to 8 per cent.

In the low-phosphorus fields, where the phosphorus concentrations corrected for pH and soil type were less than 4 mg/l, the yields of barley grown without phosphorus application decreased by more than 50 per cent in 15 years. The optimum rate of phosphorus fertilization in these fields was about 40 kg/ha, which increased the yields by 1400 kg/ha. In medium-phosphorus soils (phosphorus concentration 4 -16 mg/l) the efficiency and profitability of fertilization were poor to start with, but at the end of the experiments the differences in yields increased by up to 400 - 800 kg or feed units per hectare. Taking the lower grain prices into account, the phosphorus application rates of the older recommendations, 20 - 30 kg/ha, were then optimal.

The biologically low-phosphorus silty and coarse-textured soils of the Finnish interior, where the fertilization requirement was exceptionally high, were no different from the medium sites in their concentrations of the original uncorrected phosphorus. Heavy clays and sandy and humous loams in southern Finland, in contrast, had better phosphorus availabilities than the soil test predicted. More accurate calibration of chemical soil test values with the pH, texture and concentration of organic matter will thus make fertilization regionally more compatible with the requirements.

Key words: fertilizer costs, field crops, optimum fertilization, phosphorus balance, phosphorus fertilization, phosphorus uptake, plant analysis, plant phosphorus, residual effect, soil fertility, soil phosphorus

1 JOHDANTO

Peltokasvien lannoitus perustuu Suomessa kenttäkokeisiin, joissa kasveja on viljelty käytännön maataloutta vastaavissa olosuhteissa. Eteläisempiin alueisiin verrattuna suuri fosforin tarve johtuu pohjoisen havumetsävyöhykkeen maaperästä ja ilmastosta. Peltomme sisältävät luonnostaan niukasti kasvien saatavilla olevaa fosforia, ja lisätty lannoitefosfori pidättyy happamiin kivennäismaihimme kasvinravitsemuksen kannalta liian lujasti. Lyhyt mutta pitkäpäiväinen ja kiihkeärytmisen kasvukausi korostaa riittävän fosforin saannin merkitystä. Tämä välttämätön kasvinravinne on keskeinen aine kaikkien muidenkin eliöiden aineenvaihdunnassa. Sen saannin turvaaminen on tärkeää sekä viljelyn tuottavuuden että satojen laadun kannalta.

Kymmeniä vuosia jatkunut runsas lannoitus on kuitenkin parantanut peltojen viljavuutta ja vähentänyt fosforilannoituksen tarvetta. Helppoliukoisen fosforin pitoisuus on noussut koko Suomessa keskimäärin yli kaksinkertaiseksi (KÄHÄRI ym. 1987). Fosforin kertyminen peltoihin on yleistä voimapevästä viljelyä harjoittavilla, vaurilla maapallon alueilla. Erityisen nopeasti helppoliukoiset reservit ovat kasvaneet nurmivaltaisessa Irlannissa, jossa maan ravinteisuutta tutkitaan suomalaista viljavuusanalyysiä muistuttavalla menetelmällä. Irlannissa peltojen keskimääräiset fosforiluvut ovat lähes kymmenkertaiset neljäskymmenessä vuodessa (TUNNEY 1992).

Suomen viljelymailla fosforitilan muutos oli nopeinta 1960-luvulla ja 1970-luvun alussa (KURKI 1979). Sen jälkeen kehitys on hidastunut (KÄHÄRI ym. 1987), ja aivan viime vuosina fosforiluvut ovat alkaneet pienentyä lannoituksen vähentämisen vuoksi (KÄHÄRI 1995). Nyt keskimääräinen fosforipitoisuus on suunnilleen sama kuin 1970-luvun lopulla. Viljelyille hehtaareille annettujen ravinnemäärien pienenemisen lisäksi koko peltoalan keskimääräistä lannoitusta on vähentänyt kesannoinnin yleistymisen. Joissakin Etelä-Suomen savialueiden kunnissa fosforipitoisuudet pienenevät jo 1980-luvulla (MÄNTYLÄHTI 1994).

Aikaisempien tutkimusten soveltuvuutta lannoitus-suositusten perustaksi heikentää muuttuneen viljavuuden lisäksi viljelytekniikan kehittyminen. Eniten lannoituksen tehokkuuteen ja ravinnetar-

peeseen on vaikuttanut sijoituslannoituksen käyttöön otto. Lannoitefosforin kallistuminen verrattuna kasvituotteiden hintaan korostaa optimaalisen lannoituksen taloudellista merkitystä. Käytettävien ravinnemäärien tarkistamista edellyttävät myös vesistöjen tilaa valvovat viranomaiset ja poliittiset päättäjät (Anon. 1988) ja jopa suuri yleisö. Vuoteen 1985 päättyvän tarkastelujakson jälkeen, (REKOLAINEN 1993) peltojen viljavuuden kehitys on kuitenkin kääntynyt laskuun (KÄHÄRI 1995), mikä on muuttanut arviointien perusteita oleettisesti. Aikaisempien käsityksien tarkistamista edellyttävät myös pitkäaikaisissa lannoituskokeissa viime vuosina saadut tulokset (SAARELA ja JÄRVI 1993).

Oikea fosforilannoitus on tärkeä myös satojen laadun takia (FINCK 1992a). Niukalla fosforilla tuotettu nurmirehu sisältää liian vähän tätä eläimille välttämätöntä alkuainetta (SALONEN ja TAINIO 1957), mutta yllannoitus, saattaa nostaa etenkin turpeella kasvavan heinän fosforipitoisuuden arveluttavan suureksi (TÄHTINEN 1979). Aikaisemmin on kartoitettu eri maalajeilla ja alueilla kasvaneen heinän keskimääräisiä fosforipitoisuuksia aina kuntatasolle saakka (KÄHÄRI ja NISSINEN 1978, KÄHÄRI JA PAASIKALLIO 1978a, 1978b), mutta järjestelmällistä tutkimusta maan viljavuuden ja lannoituksen vaikutuksista nurmikasvien sadon fosforipitoisuuteen ei maassamme ole tehty.

Jotta voitaisiin selvittää, millainen lannoitus on taloudellinen ja kestävä viljavuudeltaan parantuneita peltoja nykyaikaisesti viljellessä, käynnistettiin vuonna 1977 Fosforilannoituksen porraskokeet -niminen tutkimus. Vuosina 1977 - 1981 perustettiin kaikkiaan 37 monivuotista kenttäkoetta maan eri puolille. Kokeissa seurattiin vuosittain annettun lannoitefosforin määrän vaikutusta peltokasvien sadon määrään ja laatuun sekä maan viljavuuteen. Viljelyä jatkettiin 23 koepaikalla vähintään yhdeksän vuotta ja 20 paikalla 12 - 18 vuotta. Loppuvuosina tutkittiin aikaisemmin annettun fosforin jälkivaikutusta. Tutkimukseen osallistuivat Maanviljelyskemian ja -fysiikan tutkimusalan (-laitoksen/-osaston) lisäksi Ympäristöntutkimuslaitos (Maantutkimuslaitos/-osasto) Kasvinviljelyn tutkimusala (Kasvinviljelylaitos/-osasto) sekä 13 tutkimusasemaa (koeasemaa/koepaikkaa).

Lannoitustarpeen määrittämistä kemiallisilla tavintesteillä kehitettiin vertaamalla satotulosten

osoittamaa biologista viljavuutta ravinnepitoisuuksiin, joita mitattiin eri menetelmillä maasta ja kasveista. Maa-analyysien tulkintaa tarkennettiin tilastotomatematisilla laskelmilla, joilla tarkasteltiin maalajin, maan multavuuden ja happamuuden, koepaikan sijainnin, kasvilajin, sadon, nurmen iän ja kokeen kestoajan vaikutuksia fosforin saantiin ja lannoitustarpeeseen. Monivuotisista kokeista otettuja maanäytteitä hyödynnetään jatkotutkimuksessa, jossa verrataan uusia maan fosforitestejä kansainvälisenä yhteistyönä.

Tutkimuksen alkuvuosien tulokset on julkaistu Maanviljelyskemian ja -fysiikan laitoksen tiedotteessa numero 16 (SAARELA ja ELONEN 1982). Lyhyitä yhteenvetoja on esitetty useissa kirjoituksissa (mm. SAARELA 1986, 1989a, 1991a, 1991b, 1991c, 1992a, 1994a, 1995a, SAARELA ja JÄRVI 1993, SAARELA ja SIPPOLA 1993). Kemiallisia maa- ja kasvianalyysieja on selostettu neuvonnallisissa ja tieteellisissä julkaisuissa (SIPPOLA ja SAARELA 1984, 1986, SAARELA ja SIPPOLA 1990, SAARELA 1990a, 1992b). Jokioisten kokeisiin liittyneitä boori- ja rikkitutkimuksia on selostettu erillisissä julkaisuissa (SAARELA 1989b, 1990b, SAARELA ja KÖYLIJÄRVI 1989, SAARELA ja HAHTONEN 1994).

Tulosten soveltamisen kannalta merkittäviä muita uusia tutkimuksia ovat nurmen lannoituskoe polttoturvesuon jättöalueella Tohmajärvellä (VIRKA-JÄRVI ja HUHTA 1993), nurmen perus- ja vuotuislannoituksen vertailut kymmenellä koepaikalla (SAARELA ym. 1988, SAARELA 1992c) sekä niukkafosforisen savimaan lannoituskoe Jokioisissa (SAARELA 1995b). Satotulosten ja maa-analyysitietojen perusteella lasketun mallin avulla voidaan arvioida fosforin vaikutusta myös moniravinteisissä lannoituskokeissa (ESALA ja LARPES 1984, 1986, SUMELIUS 1993).

MAVERO-projektiin kuuluneita maan fosforinpidätyskyvyn määrittämiä (SIPPOLA ja SAARELA 1992) käytettiin fosforin liikkumisen seurannan rinnalla, kun arvioitiin ympäristölle kriittisiä maan fosforipitoisuuksia. Maan happamuuden sekä fosforin liukoisuuden ja saatavuuden välisiä riippuvuuksia selvittäviä astia- ja laboratorikokeita (SAARELA ja SIPPOLA 1987, 1990, SIPPOLA ja SAARELA 1992) hyödynnettiin soveltamalla kehi-

tettyä happamuuden korjausmallia (SAARELA 1992b) tulosten laskennassa.

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Koepaikkojen sijainti ja maaperä

Kokeiden sijainti ja lyhyt kuvaus niiden maaperästä on esitetty taulukossa 1. Maan fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet on esitetty tarkemmin aikaisemmassa tiedotteessa (SAARELA ja ELONEN 1982). Alussa ja lopussa määritetty viljavuus nähdään liitteestä 2. Kokeissa 14 ja 29 oli toisena koe-telijänä kalkitus. Kalkitut osat esitetään joissakin taulukoissa ja kuvissa erikseen numeroilla 14,5 ja 29,5. Perunan osalta aineistoa täydennettiin Jokioisissa vuosina 1987 - 1989 suoritetulla lyhytaikaisella kokeella (koe 35). Tämän Loimijoen rannalla olevan alueen maalaji oli savista hietaa, jossa helpoliukoisen fosforin pitoisuus kyntökerroksessa oli 39,8 mg/l.

Kokeet 11 ja 12 (koealueet) ovat pinnaltaan tasaisia, jäykkiä, kestävämuruisia ja poudankestäviä savimaita. Koe 12 on kuitenkin toiselta reunaltaan loivasti viettävää hiesusavea. Kokeet 13 ja 14 ovat loivasti viettäviä, kevyempiä ja jatkuvassa avoviljelyssä helposti liettyviä ja poudanarkoja savia. Kaikkien neljän savimaan ojitus toimi vähintään tyydyttävästi.

Kokeet 15 ja 16 ovat fysikaalisilta ominaisuuksiltaan erittäin hyviä, loivasti viettäviä peltoja, joiden maalaji on savista karkeaa hietaa eli huetta. Näissä maissa on orgaanista ainetta melko vähän, niiden ojitus toimi hyvin ja poudankestävyys on erinomainen. Kokeet 17 ja 18 ovat tasaisia hieumaita, joiden multavuus on aikaisemman turvekerroksen jäljiltä erittäin runsas ja poudankestävyys huippuluokkaa. Koe 18 on ominaisuuksiltaan lähellä liejusavea ja sen ojitus toimi erinomaisesti. Kokeessa 17 ojitus ei toiminut kovin hyvin.

Kokeet 19 ja 20 ovat savespitoisuutensa perusteella hiesuisia hiesusavia, mutta niissä ei juuri ilmennyt savien fysikaalisia ominaisuuksia. Ilmeisesti Sata-Hämeen rinteillä maan saveslajite on karkeampaa kuin rannikon tasangoilla. Kun nämä hiesuiset maat poikkesivat fosforin suhteen jyrkästi muista savista, ne luokiteltiin hiesumaiden ryhmään. Koe 21 on loivasti viettävää hiesua, jonka

sato jäi huonosti onnistuneen kevätmuokkauksen takia joinakin vuosina heikoksi.

Koe 22 on loivasti viettävää hienoa hietaa, jonka hiesuprosentti on vain 26, mutta fysikaaliset ominaisuudet selvästi hiesumaiset. Hiesulle tyypillinen rakenne johtuneen saveksen (6 %) ja hienoa hietaa karkeamman aineksen (22 %) vähyydestä. Tämä multavuudeltaan tavanomainen mutta hapan ja fosforin suhteen ongelmallinen pelto luokiteltiin hiesuryhmään. Hiesuisten maiden (kokeet 19 - 22) ojitus toimi tyydyttävästi. Niiden vesitaloudessa oli poutivuuden lisäksi haittana se, että kynnöksen pinta kuivui hitaasti muokkaukelpoiseksi keväällä.

Kokeet 23 ja 24 ovat erittäin runsasmultaisia, suuren joen varrella sijaitsevia hiesupeltoja. Koealueen 23 jankko oli tiivis ja kova. Tämä koe salaojitettiin tutkimuksen aikana vuonna 1983, mutta sen pienet sadon eivät kuitenkaan parantuneet. Vahvasti hapan koe 24 oli jatkuvasti timoteinurmena, lukuun ottamatta ensimmäisen vuoden suojakauraa ja yhtä nurmen uusimisvuotta.

Jokioisten perunakoe (25) on melko tasaista, savespitoista ja multavaa karkeahietamaata. Ojitus toimi hyvin, ja osa alueesta oli jopa poutivaa. Koe 26 on melko tasaista, vähämultaista hienohietamaata, jonka ojitus ei toiminut koejakson lopussa kunnolla. Hienon hiedan hiesumaisia rakenneongelmia osoittaa myös sadon pienuus kuivina kasvukausina eli poudanarkuus. Poikkeuksellisen runsaat happoliukoisen fosforin reservit (SAARELA ja ELONEN 1982) saattavat liittyä läheiseen Siilinjärven apatiittiesiintymään.

Koe 27 on melko jyrkästi viettävää vaaran ylärinnettä, jonka raekoostumus vastaa lajittunutta hienoa hietaa. Jatkuvassa avoviljelyssä korostuvaa hiesumaisuutta vähensi tämän hienon hiedan melko runsas multavuus. Koe 28 on tasaista, pitkälle lajittunutta, runsasmultaista, löyhää ja hyvin läpäisevää karkeaa hietaa, jossa sekä savesta että hiesua on hyvin vähän.

Koe 29 on paksua rahkasaraturvetta, jonka kyntökerros on runsaan aitosavilisäyksen takia multamaata. Kyntökerroksen alla oleva vähän maaton turve pidatti fosforia hyvin heikosti. Poudankestävyys oli suopellolle ominaiseen tapaan hyvä, mutta

liika märkyys haittasi kasvua sateisina kesinä. Koe 30 on hietaista multamaata, joka aikaisemmin on ollut rahkasuota. Ojitus toimi siinä tyydyttävästi. Alussa ennen kalkitusta koealue oli vahvasti hapan.

Kokeen 31 hiekkainen multamaa oli suhteellisen vähän maatonutua, avo-ojitettua saraturvetta, johon oli sekoitettu ojista kaivettua hiekkää. Hapan, hiekoitettu turve pidatti lisättyä fosforia poikkeuksellisen heikosti. Vesitaloudessa ei ollut jatkuvassa nurmiviljelyssä ongelmia. Kokeet 32, 33 ja 34 ovat paksuja, maatonutua saraturpeita, joissa orgaanisen aineksen pitoisuus oli kyntökerroksessa 43 - 54 %. Niiden pH-luvut olivat pieniä (4,6 - 4,8). Ojitus ei toiminut täysin tyydyttävästi varsinkaan kokeessa 33.

2.2 Kokeiden edustavuus ja fosforihistoria

Kaikki koepaikat ovat pitkään viljeltyjä ja runsaan fosforilannoituksen saaneita peltoja. Osittain samoilla paikoilla on aikaisemmin järjestetty lannoituskokeita, joissa tätä ravinnetta on annettu vuosittain 40 - 70 kg/ha (HUOKUNA ja HIIVOLA 1974, SYVÄLAHTI ja KORKMAN 1978a, 1978b, TÄHTINEN 1979, JAAKKOLA 1980). Ns. vihreän linjan kokeissa vuosina 1966 - 1970, joissa tuotettiin runsaalla typpilannoituksella suuria säilörehusatoja, helppoliukoisen fosforin keskipitoisuus oli 12,3 mg/l (HUOKUNA ja HIIVOLA 1974). Tämä on aivan sama kuin koko maan vastaava luku suurimmillaan 20 vuotta myöhemmin. Tämän tutkimuksen kokeiden 20 ja 31 alueet olivat kuitenkin ennen perustamista muutamia vuosia viljelemättä. Osa koealueista oli melko vahvasti happamia. Keskimääräinen pH-luku oli jopa vähän pienempi kuin Suomen pelloissa keskimäärin eli selvästi tutkimuksen ja neuvonnan suosittelemaa tasoa huonompi.

Aikaisemmassa tiedotteessa (SAARELA ja ELONEN 1982) todettiin, että koepaikat edustavat hyvin koko maan peltoja helppoliukoisen fosforin suhteen (P-AAc taulukossa 1). Kun viljavuudeltaan heikommät lyhytaikaiset nurmikokeet jäivät pois, nousee nyt käsiteltävien monivuotisten kokeiden alussa määritetty fosforitaso (13,1 mg/l) hiukan valtakunnallisen keskiarvon yläpuolelle. Suomen peltojen keskimääräinen fosforipitoisuus on ollut 1990-luvun viljavuustutkimuksissa 11,6 mg/l

Taulukko 1. Kenttäkokeiden sijainti ja maaperän ominaisuuksia kokeen alussa.
Table 1. Location and initial soil properties of field experiments.

Kokeen numero a b <i>Experim. number</i> a b	Koepaikan maalaus, kunta <i>Soil type, parish</i>	Maantieteellinen sijainti <i>Geographic position</i>	Org.aines % <i>Org. matter %</i>	Saves % <i>Clay %</i>	ph-luku (H ₂ O) <i>pH-value (H₂O)</i>	P-AAc mg/l <i>P-AAc mg/l</i>	Fosforiluokka (vanha) <i>Soil P rating (old) *</i>	
Savimaat — Clay soils								
11	13014	AS, Mietoinen	60.35N 21.53E	3.3	74	6.5	3.9	Välttävä
12	13099	HsS/AS, Mietoinen	60.35N 21.53E	3.6	59	6.2	5.5	Välttävä
13	13018	HeS, Mietoinen	60.35N 21.53E	3.7	35	5.8	14.1	Tyydyttävä
14	02106	HeS, Jokioinen	60.49N 23.28E	4.7	43	6.6	56.6	Korkea **
Hiuemaat eli saviset hiedat — Loam soils								
15	13015	sKHt, Mietoinen	60.35N 21.53E	2.9	24	5.7	8.9	Välttävä
16	16066	He, Pälkäne	61.20N 24.15E	4.0	12	5.6	3.0	Huononlainen
17	14811	rmHe/HeS Kokemäki	61.15N 22.18E	14.0	25	5.7	9.1	Välttävä
18	20231	rmHe/ljHe Ylistaro	62.57N 22.31E	12.0	27	5.4	5.8	Välttävä
Hiesuiset maat — Silty soils								
19	25418	hsHsS, Mouhijärvi	61.32N 23.00E	5.0	33	6.5	15.2	Hyvä
20	25419	hsHsS, Mouhijärvi	61.32N 23.00E	4.2	35	5.7	3.7	Välttävä
21	19024	Hs, Laukaa	62.25N 26.15E	4.6	26	6.2	27.8	Hyvä
22	21003	hsHt, Toholampi	63.48N 24.12E	5.1	6	5.4	4.7	Välttävä
23	15677	rmHs, Anjalankoski	60.41N 26.50E	17.0	25	6.0	6.9	Välttävä
24	21006	rmHs, Toholampi	63.48N 24.12E	17.0	18	4.9	7.0	Välttävä
Hietamaat — Fine sand soils								
25	02161	KHt, Jokioinen	60.49N 23.28E	4.7	10	6.4	60.0	Hyvä
26	18261	HHt, Maaninka	63.08N 27.20E	2.8	8	6.1	14.2	Tyydyttävä
27	43327	HHt, Tohmajärvi	62.11N 30.23E	6.1	5	5.6	4.6	Välttävä
28	17114	KHt, Mikkeli	61.40N 27.10E	8.0	3	5.8	8.2	Välttävä
Eloperäiset maat — Organic soils								
29	02105	sMm/Ct, Jokioinen	60.49N 23.28E	39.0	—	5.3	9.2	Tyydyttävä
30	22001	htMm, Ruukki	64.42N 25.00E	31.0	—	4.7	14.8	Tyydyttävä
31	24801	hkMm/Ct, Vaala	64.30N 26.25E	26.0	—	4.6	8.0	Tyydyttävä
32	21005	Ct, Toholampi	63.48N 24.12E	43.0	—	4.8	6.5	Tyydyttävä
33	43017	Ct, Tohmajärvi	62.11N 30.23E	54.0	—	4.8	5.2	Välttävä
34	43106	Ct, Tohmajärvi	62.11N 30.23E	49.0	—	4.6	11.2	Tyydyttävä

* Välttävä = Fair, Tyydyttävä = Satisfactory, Huononlainen = Rather poor, Hyvä = Good, Korkea = High

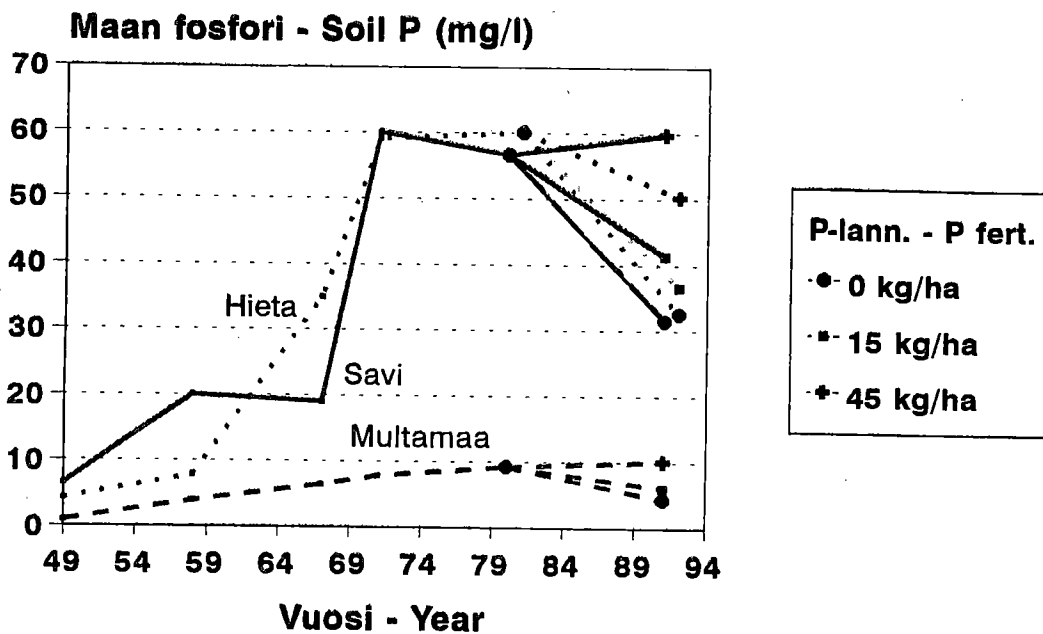
** Aikaisemmin erittäin hyvä = earlier very good

(KÄHÄRI 1995) ja vuosina 1976 - 1980 tutkimuksen alkaessa 11,1 mg/l (KÄHÄRI ym. 1987).

Koska aineistosta puuttuvat kokonaan hyvin niukkafosforiset maat, tuloksia ei voida suoraan soveltaa aikaisemmin niukasti lannoitettujen peltojen kuten uusien raivioiden viljelyyn (VIRKAJÄRVI ja HUHTA 1993, SAARELA 1995b). Koepaikkojen edustavuutta heikentää myös erittäin runsasmul-taisten kivennäismaiden suuri osuus. Savimaat pai-

nottuvat liikaa aivan meren rantaan, jossa maan-nostuminen ei ole ehtinyt yhtä pitkälle kuin korkeammilla alueilla. Perunaa viljeltiin vain runsasfosforisella loholla ja syysviljojakin enimmäkseen hyvin viljavilla mailla. Nummet puuttuivat kaikkein niukkafosforisimmilta koepaikoilta kokonaan.

Viljelymaiden fosforia on tutkittu Suomessa nykyisellä menetelmällä 1940-luvun lopusta alkaen.



Kuva 1. Maan fosforitilan kehitys Jokioisten koepaikoilla vuodesta 1949.
Fig. 1. Development of soil P status at three experimental sites in Jokionen from 1949. Hieta = fine sand, Savi = clay, Multamaa = mull.

Kolmen Jokioisten koepaikan kehitystä havainnollistaa kuva 1. Multamaalta (koe 29) vuonna 1949 määritetty pitoisuus oli alle 20 kg/ha eli 0,9 mg/l. Vuonna 1971 fosforiluku oli jo 7,8 mg/l ja v. 1980 kokeen alussa 9,2 mg/l. Kymmenenä koetta edeltävänä vuonna fosforia on käytetty tällä lohkollla kirjanpidon mukaan noin 40 kiloa hehtaarille vuodessa. Lannoitus on siten ylittänyt viljavuustutkimuksen silloiset suositukset (KURKI 1977) noin kolmanneksella, mikä vastasi myös yleistä käytäntöä.

Jokioisten savimaalla (koe 14), jonka fosforipitoisuus oli kokeen alussa 56,6 mg/l, vastaava luku oli vuonna 1949 6,5 mg/l, v. 1967 19 mg/l ja v. 1971 äkkijyrkän nousun jälkeen 60 mg/l. Jokioisten perunakokeessa (25) helppoliukoisen fosforin pitoisuus oli vuonna 1949 4,2 mg/l, v. 1967 35 mg/l ja v. 1971 59 mg/l sekä kokeen alussa v. 1981 koko aineiston suurin eli 60 mg/l. Tätä ravinnetta oli levitetty perunan koelohkolle 1970-luvulla arviolta 1300 kiloa hehtaarille, josta 750 kiloa on kertynyt lannoitteista ja 550 kiloa lannasta. Kokonaismäärä oli siten yli 1000 kiloa suurempi kuin sadoissa on poistunut. Vuoden 1965 jälkeen savi- ja hietakoikiin on täytynyt tulla fosforia muutaman vuoden

aikana todella paljon, jopa useita tonneja hehtaarille.

Aikaisemman tulkinnan mukaan (KURKI 1977, 1982) koepaikan 25 fosforitila (60 mg P/l) oli noussut ”hyväksi”, mutta viljavuusluokan ”erittäin hyvä” vaatimus oli karkeilla mailla 70 - 200 mg/l. Jälkimmäinen raja eli arveluttavan korkeana pidetty taso oli siten kaukana. 1970-luvulla tällä lohkollla käytetyissä kaupallisissa lannoitteissa tullut fosforimäärä (noin 75 kg/ha/v) oli hiukan niukempi kuin kolmena vuonna viljellylle sokerijuurikkaalle viljavuustutkimuksen mukaan suositeltiin (KURKI 1977). Tällaisella maalla suositeltiin sokerijuurikkaalle fosforia kolmena vuonna tutkimuksen jälkeen 70 kg/ha ja seuraavina vuosina 96 kg/ha. Perunalle näin runsasfosforisella maalla suositeltua (KURKI 1977) fosforilannoitusta (kolmena vuonna 36 kg/ha ja sen jälkeen 52 kg/ha) on tutkimuksen aikana vähennetty, ensin 30 kiloon (ELONEN ym. 1987) ja myöhemmin 20 kiloon hehtaarille (ELONEN ym. 1991).

Koepaikoilla käytetty runsas lannoitus, vaikka maan helppoliukoisen fosforin pitoisuus oli korkea, kuvaa tutkimuksen ja neuvonnan aiempaa kä-

sitystä, että tämä ravinne on aivan välttämätön kaikilla Suomen pelloilla (PESSI 1970, s. 78). Viljavuustutkimuksen fosforimääritys toimi kuitenkin jo 1950-luvulla tyydyttävästi vahvasti kalkituilla ja lannoitetuilla sokerijuurikasmailla (BRUMMER 1959). Vähemmän viljavilla pelloilla harjoitetussa viljan ja nurmen viljelyssä maan fosforiluvun ja lannoituksen vaikutuksen välillä ei ollut selvää riippuvuutta (SALONEN ja TAINIO 1957).

Viljavuustutkimuksen luotettavuudesta esitettyjä epäilyjä (JAAKKOLA 1978) ei voitu Suomen viljapellojen ja nurmien osalta tieteellisesti torjua ennen 1970-luvun loppua (SIPPOLA ja MARJANEN 1978, SIPPOLA 1980a, 1980b, SIPPOLA ja JAAKKOLA 1980, SAARELA ja ELONEN 1982, SIPPOLA ja SAARELA 1984, 1986). Tärkeimpiä syitä aikaisempien tulosten epämääräisyyteen ovat olleet riittävän runsasfosforisten lohkojen puuttuminen sekä juurten kasvua ja ravinteiden ottoa häirinyt maan happamuus (SIPPOLA 1980a, SAARELA ja SIPPOLA 1987, SAARELA 1992b).

Vanhoissa kokeissa hajalevityksenä annettujen pienten fosforimäärien tehottomuus mailla, joissa tämän ravinteiden puute oli huutava ja pidättyminen hyvin voimakasta, on lisäksi antanut joskus aivan väärän kuvan viljavuudesta (TERÄSVUORI 1954). Sokerijuurikkaan lannoituskokeissa käytetyt suuret fosforimäärät (BRUMMER 1959) osoittivat selvästi tämän ravinteiden merkityksen ja tarpeen.

2.3 Koejärjestelyt

Kokeissa verrattiin viittä vuosittain annettua lannoitefosforin määrää, joka nousi nolasta 60 kiloon hehtaarille tasaisin 15 kilon portain. Perunalla (koe 25) fosforiportaavat olivat kuitenkin 25 kg/ha ja vaihteluväli 0 - 100 kg/ha, mutta perunan välikasveille koevuosina 5, 7, 8, 9 fosforilannoitus jätettiin pois. Fosfori annettiin alussa (vuoteen 1987) 9-prosenttisena superfosfaattina ja myöhemmin 20-prosenttisena kaksoissuperfosfaattina. Fosforilannoitteet levitettiin nurmille vuosittain keväällä yhtenä annoksena ja sijoitettiin muille kasveille rivilannoittimella ennen kylvöä.

Kaliumlannoitteet levitettiin tai sijoitettiin erikseen. Typpi annettiin viljoille ja rypsilille kylvöalannoituksessa, nurmille se levitettiin erikseen. Eri koepaikoilla vuosittain käytetyt typpimäärät on esitetty liitteessä 1. Koeteknisesti hankalan lakoon-

tumisen välttämiseksi tätä ravinnetta käytettiin viljoilla varovasti eli keskimäärin jonkin verran vähemmän kuin käytännön viljelmillä samoina vuosina.

Kahdella Jokioisten koepaikalla (14 ja 29) oli toisena tekijänä kalkitus (0 ja 10 tn/ha kalkkikivi-jauhetta kokeen alussa). Kalkitut osat on merkitty joissakin taulukoissa numeroilla 14,5 ja 29,5 ja käsitelty yhteenvedoissa erillisinä kokeina. Tutkimuksen lopussa koevuodesta 13 alkaen (ei kokeissa 18 ja 27, mutta kokeissa 14/14,5 ja 25 koevuodesta 10 alkaen) selvitettiin aikaisemmin annetun fosforin jälkivaikutusta jättämällä fosforimäärät 30 ja 60 kg/ha (50 ja 100 kg/ha kokeessa 25) antamatta. Koevuodesta 16 alkaen alkuperäiset ruudut jaettiin käyttämällä toisella puoliskolla NK-lannosta (tai salpietaria) ja toisella puoliskolla NKP-lannosta, jossa tuli fosforia 16 - 25 kg/ha. Tulosyhdistelmissä on käytetty N(K)-lannoitettuja osia.

Kokeiden sijoittaminen kentälle ja viljely on selostettu aikaisemmassa tiedotteessa (SAARELA ja ELONEN 1982). Samalla tavalla käsiteltyjen ruutujen leveys oli vähintään neljä metriä ja pituus 12 - 24 metriä. Sadot korjattiin koneellisesti ja oljet kynnettiin silputtuina omiin ruutuihinsa. Muokaus ja kasvinsuojelu vastasivat tavanomaista hyvää viljelyä. Perusmuokkauksena oli poikkeuksetta syyskynntö. Vuosittain viljellyt kasvit ja lajikkeet sekä keskimääräiset lakoprosentit on esitetty liitteessä 1.

2.4 Maa- ja satoanalyysit

Koekentistä otettiin maanäytteet viljavuusanalyysia varten muokkauskerroksesta ja jankosta ruuduittain kokeen alussa ja myöhemmin joka kolmas vuosi. Lopussa näytteitä otettiin joiltakin paikoilta useammasta syvyydestä. Maanäytteistä määritettiin aikaisemmassa Maantutkimuslaitoksessa ja nykyisessä Ympäristöntutkimuslaitoksessa helppoliukoisien fosforin pitoisuus ja muut ravinteet viljavuustutkimuksen menetelmällä, jossa ravinteet erotetaan maasta happamalla ammoniumasetaatilla uutamalla. pH-luku ja johtoluku mitattiin vesiliitteestä uutusuhteella 1:2,5.

Korjatuista sadoista otetuista näytteistä määritettiin ruuduittain (lopussa osaksi koejäsenittäin) fosforin ja muiden makroravinteiden pitoisuus sekä tuhan-

nen siemenen paino ja hehtolitraino. Rypsiä määritettiin öljypitoisuus ja perunasta tärkkelyspitoisuus. Kivennäisanalyysia varten kasviaines hajoitettiin kuivana sähköuunissa polttamalla. Fosfori määritettiin hapolla uutetusta tuhkasta kolorimetrisesti vanadaattivärjäyksellä ja kationit mitattiin atomiabsorptio-spektrofotometrillä. Kokeen 14/14,5 nurmisadoista vuosina 1990 - 1992 kivennäiset määritettiin rikille soveltuvalla märkäpoltolla ja ICP-mittauksella. Typpi määritettiin heinästä ja perunasta sekä alkuvuosina myös viljasta ja rypsiä kemiallisesti Kjeldahl-menetelmään perustuvalla Tecator-laitteella. Rypsin öljy- ja typpipitoisuus sekä loppuvuosina viljan typpipitoisuus mitattiin infrapunasäteiden heijastumiseen perustuvalla NIR-laitteella. Perunan tärkkelyspitoisuus määritettiin ominaispainoon perustuvalla vesi-ilmapunnituksella.

2.5 Tulosten tilastollinen käsittely, grafiikka ja editointi.

Tutkimuksen tilastollisessa laskennassa käytettiin MTT:n VAX-järjestelmän SPSSX-ohjelmia. Taulukot laadittiin REPORTilla ja koekäsittelyjen vaikutusten merkitsevyys testattiin varianssianalyysillä (ANOVA). Eri tekijöiden suoria vaikutuksia ja niiden keskinäisiä riippuvuuksia tutkittiin monen tekijän regressioanalyysillä (MULTIPLE REGRESSION) ja niiden yhtälöiden derivaatoilla. Kuvat laadittiin mikrotietokoneen Harvard Graphics (HG3.0) -ohjelmilla (HG3.0) ja teksti kirjoitettiin mikrotietokoneen WordPerfect (WP5.1) -ohjelmalla.

2.6 Tutkimuksen tekijät

Tutkimuksen suunnitteluun ja toteuttamiseen on osallistunut useita kymmeniä henkilöitä. Kokeiden suunnittelua ja käynnistämistä johti Paavo Elonen, ja siihen osallistuivat aktiivisesti Antti Jaakkola, Jorma Kähäri, Jouko Sippola, Hilikka Tähtinen, Jaakko Köylijärvi, Johan Korkman ja Simo Sallasmaa. Tutkimusasemille perustettujen kokeiden suunnittelusta ja toteuttamisesta ovat vastanneet Elsi Ettala, Sirkka-Liisa Hiivola, Helmi Linnomäki, Pirkko Köylijärvi, Pentti Teittinen, Erkki Huokuna, Kalevi Virri, Mauri Takala, Tadeusz Aniszewski, Reijo Heikkilä, Matti Zitting, Erkki Virtanen, Paavo Simojoki, Kalle Rinne, Heikki Hakola, Heikki Talvitie, Aulis Järvi, Martti Vuorinen, Erkki Kempainen, Tapani Kangasmäki,

Yrjö Salo ja Harri Huhta. Liisa Mattila ja Riitta Saarikko ovat osallistuneet tulosten laskennan suunnitteluun ja tulosten käsittelyyn. Maanviljelyskemian ja -fysiikan tutkimusalalla näytteiden käsittelystä ja satoanalyysistä sekä kenttäkokeiden hoidosta ovat vastanneet Marjatta Ahola, Kirsti Niskanen, Tuomo Nissi, Helge Öberg, Kerttu Hämmäläinen, Katariina Saarela, Ritva Niemi, Risto Tanni ja Kimmo Kakkonen. Ympäristöntutkimuslaitoksessa tehdyistä maan viljavuusanalyysistä on vastannut Pekka Kivistö. Into Saarela on johtanut tutkimusta vuodesta 1978, koonnut ja laskenut tulokset sekä kirjoittanut (Tiedotteen) tekstin.

3 TULOKSET JA TARKASTELU

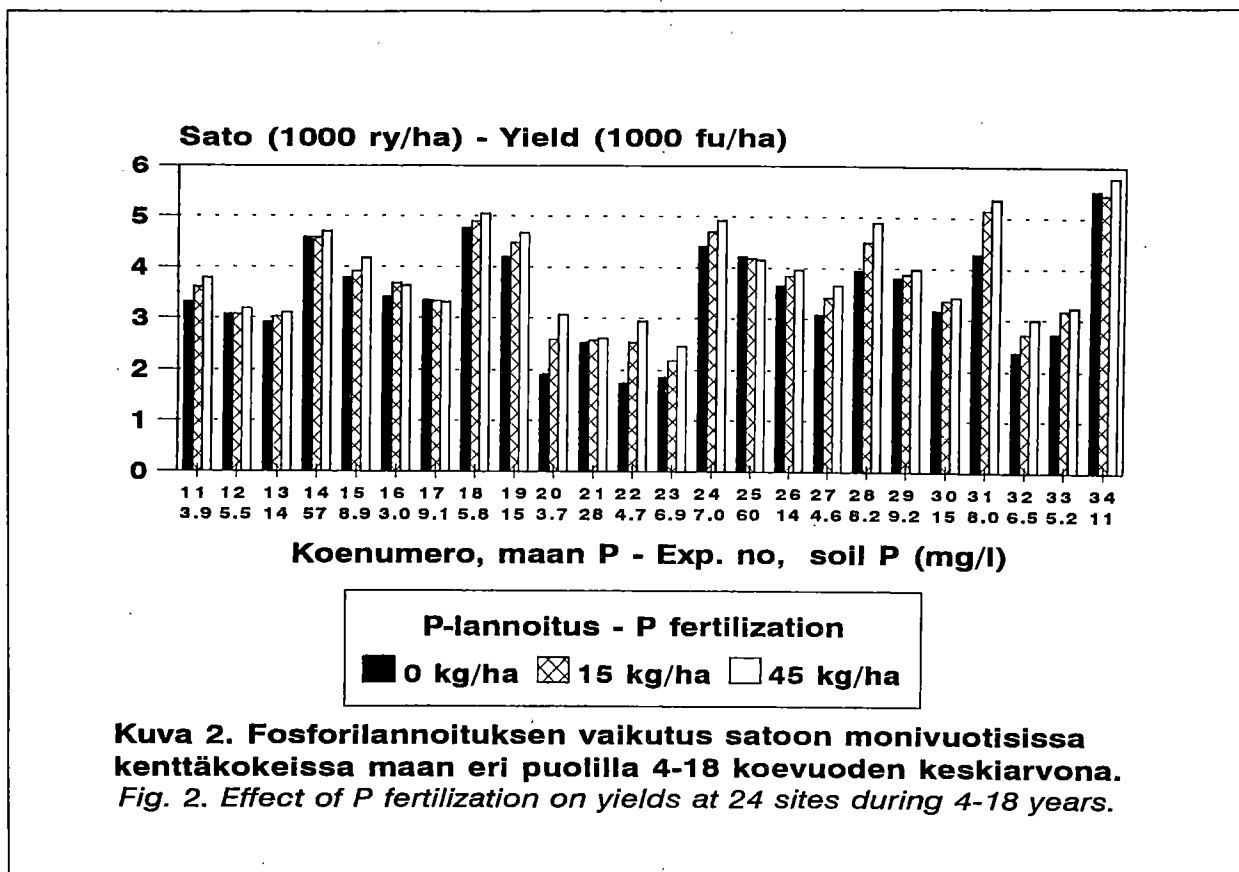
3.1 Sadot ja ravinnetaseet

3.1.1 Sadot eri maalajeilla ja koepaikoilla

Vuosittain eri kokeissa saadut sadot ja fosforilannoituksen aiheuttamien satoerojen tilastollinen merkitsevyys on esitetty numeroilla liitteessä 1 ja graafisesti liitteessä 5. Fosforin vaikutus ei ollut yhdessäkään kokeessa joka vuosi merkitsevä. Merkitsevät erot (riski 5 %) puuttuivat kaikkina vuosina runsasmultaisella Kokemäen savisella hiedalla eli hiukeella (koe 17), jonka fosforitila oli vanhan luokituksen mukaan vain välttävä.

Hyvin runsasfosforisella Jokioisten hiedalla (25) todettiin kymmentenä koivuonna (1990) perunalla pienen supefosfaattimäärän negatiivinen vaikutus. Sadon pieneneminen johtui todennäköisesti erillisen rivilannoituksen haitallisista fysikaalisista vaikutuksista maahan. Lannoittamatta jätettyjä verranne- ja jälkivaikutusruutuja ei ajettu tyhjillä vantailla niin kuin aikaisemmin. Erillisen lannoituksen aiheuttamat pyöränjäljet vaikeuttivat kunnollisten penkkien muodostamista. Tällöin siemenmukulat jäivät hiukan lähemmäksi pintaa, koska hyvin onnistuneen istutuksen vaatimaa 15 - 17 sentin muokkaussyvyyttä (KUISMA 1992) ei aina täysin saavutettu.

Perunantutkimuslaitoksen kokeissa taimettuminen on ollut rivilannoituksella kaksi vuorokautta nopeampaa kuin sijoituslannoituksella, mutta jälkimmäinen tapa on tuottanut parempia satoja (KUISMA 1990). Tuntuu epätodennäköiseltä, että erilleen sie-



menistä sijoitettu pienehkö lannoitemäärä olisi hidastanut alkukehitystä. Istutettaessa sijoitetun lannoitteen edullisuus voi siten olla osittain paremmin onnistuneen ja syvemmän istutuksen ansiota. Perunan ravitsemuksen tutkiminen näyttää edellyttävän eri koejäsenten käsittelemistä viljelyteknisesti täysin samalla tavalla. Lopussa runsas superfosfaatin käyttö näytti häiritsevän myös maan niukkojen magnesiumvarojen ja mahdollisesti myös hivenravinteiden hyödyntämistä.

Jokioisten kokeessa (25) useat fosforiportaat ja viimeisten vuosien osaruudet helpottavat kuitenkin tulosten tulkintaa. Vuonna 1983 perunan mukuloiden fosforipitoisuus oli tavallista pienempi ja fosforilannoituksen aiheuttama lähes kymmenen prosentin tärkkelyssadon lisäys melkein merkitsevä (todennäköisyys 94 %). Viimeisenä koevuonna eli kuivana kesänä 1992 osaruutuihin sijoitettu fosfori lisäsi perunan mukula- ja tärkkelyssatoa tässä kokeessa tilastollisesti erittäin merkitsevästi.

Eri maalajeilla saaduista sadoista (taulukot 2 ja 3) nähdään, että fosforilannoituksen vaikutus oli pienin savimailla, joiden keskimääräinen fosforipitoisuuskin oli suurin. Hiuemailla satoerot olivat

suhteellisen alhaisiin maan fosforipitoisuuksiin verrattuna vähäisiä. Fosforilannoitus vaikutti yksittäisten kokeiden keskimääräiseen rehuyksikkösaaton muissa kokeissa, mutta ei fosforin suhteen paremmalla Mietoisten jäykällä savella (koe 12), Jokioisten hiuesavella (koe 14, kalkittuna 14,5), Jokioisten hiedalla (koe 25), Kokemäen hiukeella (koe 17) ja Tohmajärven nelivuotisessa saraturve-maan nurmikokeessa (koe 34).

Koko koejakson aikana eri koepaikolla fosforilannoituksilla 0, 15 ja 45 kg/ha saadut rehuyksikkösa-dot esitetään kuvassa 2. Pienempi annos (15 kg/ha) vastaa keskimäärin pois kuljetettavaa fosforimäärää. Pylväiden korkeudet osoittavat, että poistuvan fosforin korvaaminen ei yleensä tuottanut yhtä suuria satoja kuin kolminkertainen lannoitus edes niissä kokeissa, joissa satoerot olivat pieniä. Savisella hietamaalla kokeessa 16 ja eloperäisillä mail-la kokeissa 30 ja 33 fosforimäärän merkitys oli tavallista vähäisempi.

Fosforimäärän vaikutus oli suurin huonokasvuisilla pelloilla eli hiesuisilla mailloilla kokeissa 20 ja 22 sekä karkealla hiedalla kokeessa 28. Runsaamman lannoituksen aiheuttamat sadonlisäykset kokeissa

Taulukko 2. Kuiva-ainesato ja ravinnetase maalajeittain.
Table 2. Dry matter yields and nutrient balances by soil types.

Maalaji	Koejäsen	Sato- vuosia	Maan P mg/l	P-lann. kg/ha	Ka-sato kg/ha	Sadon P kg/ha	P-tase kg/ha	Lisä-P %/P-1.	Sadon N kg/ha	N-tase kg/ha
<i>Soil type</i>	<i>Treat- ment</i>	<i>Yield number</i>	<i>Soil P mg/l</i>	<i>P fert. kg/ha</i>	<i>DM yield kg/ha</i>	<i>P yield kg/ha</i>	<i>P balance</i>	<i>App. P util. %</i>	<i>N yield kg/ha</i>	<i>N balance</i>
Savi <i>Clay</i>	0	72	23.1	0.0	3252	13.3	-13.3	-	75	35
	1	72	24.9	14.6	3318	13.7	.8	3	77	34
	2	72	29.9	22.5	3388	14.1	8.4	3	78	33
	3	72	30.9	43.7	3398	14.3	29.5	2	78	33
	4	72	30.8	30.8	45.0	3394	14.2	30.8	2	78
Hiue <i>Loam</i>	0	56	5.9	0.0	3549	12.6	-12.6	-	72	-3
	1	56	7.0	15.0	3677	13.0	2.0	3	72	-2
	2	56	7.6	26.8	3757	13.4	13.4	3	73	-3
	3	56	9.6	45.0	3787	13.7	31.3	2	72	-3
	4	56	9.7	9.7	53.6	3824	14.0	39.6	3	74
Hiesu <i>Silt</i>	0	75	9.0	0.0	2735	9.4	-9.4	-	58	37
	1	75	10.7	15.0	3119	11.1	3.9	11	66	29
	2	75	12.4	25.6	3216	11.7	13.9	9	68	27
	3	75	13.0	45.0	3383	12.3	32.7	6	70	25
	4	75	14.6	14.6	51.2	3346	12.4	38.8	6	69
Hieta <i>Fine sand</i>	0	51	15.7	0.0	4122	12.9	-12.9	-	76	15
	1	51	17.6	15.4	4337	13.7	1.6	5	79	12
	2	51	19.5	24.3	4523	14.7	9.6	7	83	8
	3	51	23.3	46.2	4497	15.0	31.2	5	83	8
	4	51	23.5	23.5	48.6	4529	15.2	33.4	5	84
Eloper. <i>Oraganic</i>	0	80	7.0	0.0	3414	12.2	-12.2	-	75	1
	1	80	8.9	15.0	3742	13.9	1.1	11	80	-4
	2	80	10.4	28.1	3777	14.7	13.5	9	80	-4
	3	80	12.1	45.0	3884	15.4	29.6	7	83	-7
	4	80	14.2	14.2	56.3	3860	15.5	40.7	6	82
Kaikki <i>All</i>	0	334	12.1	0.0	3438	12.0	-12.0	-	71	18
	1	334	13.8	15.0	3690	13.1	1.9	7.1	75	14
	2	334	16.0	25.5	3806	13.6	11.9	6.4	76	13
	3	334	17.7	44.9	3850	14.1	30.8	4.8	77	12
	4	334	18.5	18.5	51.1	3862	14.2	36.8	4.4	77

12 ja 34, joissa pieni annos oli tehoton, eivät ole tilastollisesti merkitseviä. Kokeessa 12, jossa koko jakson keskisato ei poikennut käsittelyjen välillä merkitsevästi, saatiin kahtena vuonna merkitsevä sadonlisäys. Tällöin pienin lannoitus riitti täyteen satoon (liite 1).

Koealueen epätasaisuudesta johtuvan vaihtelun lisäksi virheitä suurensi superfosfaatin sijoittaminen riviin erillisellä ajolla, joka erityisesti savimailla huononsi kylvöalustaa, vaikka haitat eivät olleet yhtä selviä kuin perunalla. Suunnitelmaan kuului ennen jälkivaikutusvuosia verranneruutujen ajo tyhjillä vantailla, mutta sitä ei muistettu tai ehditty

tehdä joka vuosi aivan kaikissa kokeissa. Alkuvuosien jälkeen pyrittiin vähentämään useiden yksiravinteisten lannoitteiden käytön haittoja sijoittamalla superfosfaatin kanssa ristiin ajettu kalisuola tavallista matalampaan.

3.1.2 Fosforilannoituksen hyväksikäyttöaste

Lannoituksen hyväksikäyttöasteella tarkoitetaan tässä tutkimuksessa ns. näennäistä hyväksikäyttöä. Lannoiteravinteiden hyväksikäyttö lasketaan vähentämällä tietyllä lannoituksella saadun sadon ravinnesisällöstä ilman ko. ravinteen lisäystä viljelyn sadon ravinnesisältö. Jakamalla tämä erotus

Taulukko 3. Maan fosforipitoisuus ja sato yksittäisissä kokeissa. Satoerojen merkitsevyys (p):
 -- >0.05, * = 0.05–0.01, ** = 0.01–0.001, *** = <0.001.

Table 3. Extractable soil P and yields in each experiment. Significances of the effect of P (p): -- >0.05, * = 0.05–0.01, ** = 0.01–0.001, *** = <0.001.

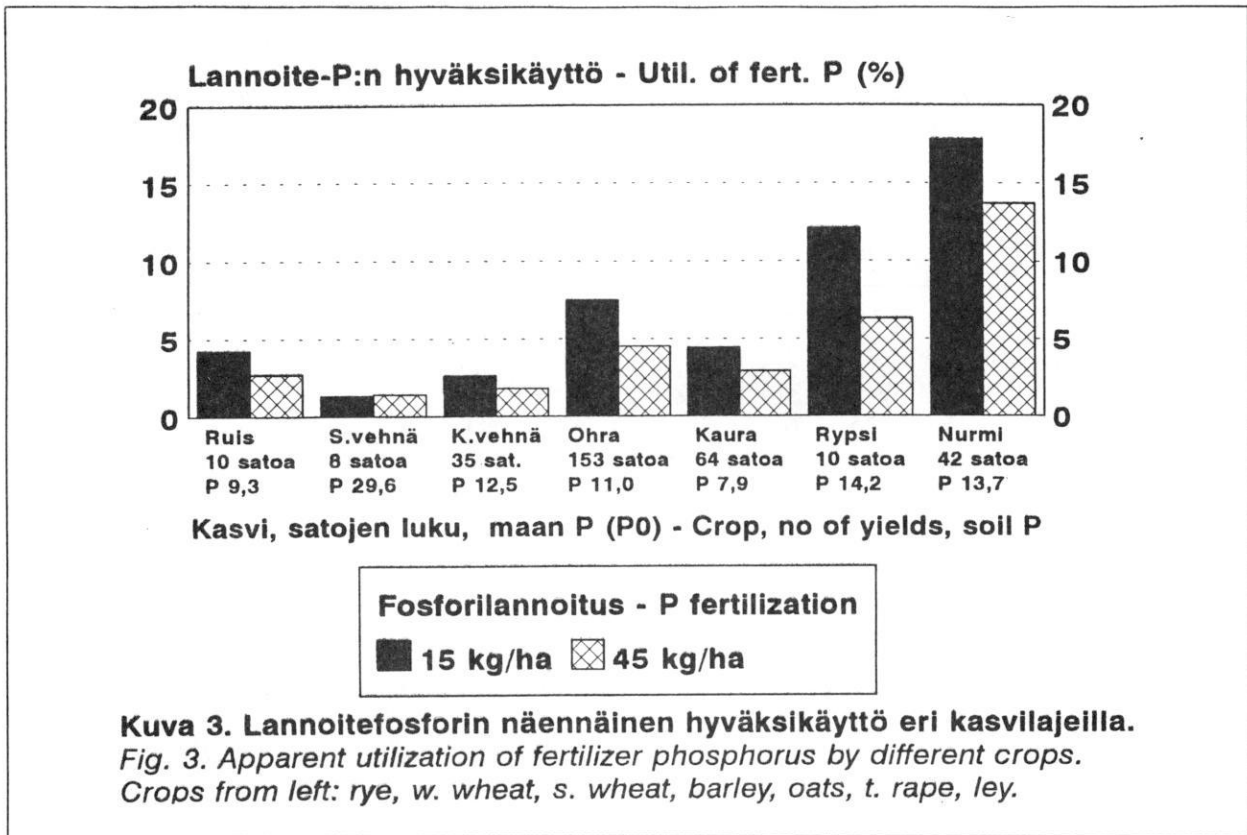
Maalaji	Koe	Sato- vuosia	Maan P (mg/l)			Sato (ry/ha)	P-lannoituksella					Tilast. merk.
			0	30	60		0	15	30	45	60	
			Soil P	(mg/l)	by P rate		Yield	(ry/ha)	by P rate			
Soil type	Exp.	Crop years	0	30	60	0	15	30	45	60	sign.	
Savi Clay	11.0	18	2.8	5.1	7.0	3304	3603	3729	3781	3813	***	
	12.0	12	5.3	7.6	8.8	3068	3068	3156	3176	3258	–	
	13.0	12	11.3	13.3	16.1	2905	3015	3035	3096	3031	*	
	14.0	15	43.7	53.2	53.6	4571	4569	4687	4687	4600	–	
	14.5	15	50.5	66.5	71.1	4565	4535	4685	4563	4589	–	
			72	23.1	29.7	31.9	3725	3811	3917	3918	3916	***
Hiue Loam	15.0	18	7.2	10.5	14.8	3777	3904	4054	4169	4181	*	
	16.0	12	3.5	5.0	6.1	3391	3672	3683	3624	3708	***	
	17.0	11	8.5	9.3	11.0	3333	3326	3344	3301	3384	–	
	18.0	15	4.6	6.5	8.4	4749	4897	5053	5039	5085	***	
			56	5.9	8.0	10.5	3868	4007	4102	4115	4165	***
Hiesu Silt	19.0	16	9.6	15.3	16.9	4189	4471	4693	4667	4629	**	
	20.0	15	3.0	5.3	8.1	1893	2583	2798	3059	3069	***	
	21.0	12	23.5	30.6	35.1	2507	2571	2617	2611	2643	**	
	22.0	16	4.7	6.3	8.3	1730	2529	2778	2942	2997	***	
	23.0	12	6.9	9.4	10.3	1853	2181	2348	2460	2516	***	
	24.0	9	8.6	8.7	9.3	4401	4699	4666	4918	4850	*	
			80	8.9	12.3	14.4	2688	3126	3288	3409	3420	***
Hieta Fine sand	25.0	12	41.1	47.6	53.1	4209	4176	4313	4146	4292	–	
	26.0	18	10.2	16.7	23.9	3645	3842	3910	3957	3914	***	
	27.0	12	3.9	5.0	6.1	3070	3412	3659	3661	3649	***	
	28.0	9	8.4	8.9	9.6	3951	4497	4827	4889	4947	***	
			51	15.7	19.9	24.1	3697	3935	4108	4096	4123	***
Eloper. Organic	29.0	12	6.7	8.9	11.5	3795	3873	4032	3978	3940	*	
	29.5	12	6.5	9.4	13.1	3935	4128	4112	4165	4083	*	
	30.0	17	11.1	17.3	22.1	3168	3356	3390	3422	3456	**	
	31.0	10	6.1	11.3	19.2	4284	5138	5159	5355	5327	***	
	32.0	12	5.0	7.3	9.6	2359	2714	2809	2998	3011	***	
	33.0	13	4.0	6.7	9.4	2717	3172	3131	3234	3168	***	
	34.0	4	9.9	11.7	13.7	5520	5445	5535	5775	5730	–	
			80	7.0	10.6	14.4	3439	3750	3794	3882	3857	***
Kaikki – All		339	12.0	16.0	18.9	3432	3686	3799	3849	3857	***	

vastaavalla lannoituksen ravinnemäärällä, saadaan lannoituksen hyväksikäyttöaste, joka ilmoitetaan tavallisesti prosentteina. Tästä suhdeluvusta käytetään tekstissä myös lyhyempiä ilmaisuja (kuten fosforin tai lannoituksen käyttöaste tai käyttöprosentti).

Lannoituksen hyötysuhteella tarkoitetaan toista suhdelukua eli yhdellä ravinnekilolla saatua sadonlisäystä. Radioisotoopilla merkittyä fosforia käyttämällä saadut todelliset lannoitefosforin hyväksikäyttöasteet voivat poiketa näennäisestä hyväksikäytöstä huomattavasti molempiin suuntiin (KÄRBLANE 1969), mutta tämä suhdeluku osoit-

taa kuitenkin hyväksikäyttöasteen suunnilleen oikein.

Yksittäisten kokeiden fosforilannoituksen hyväksikäyttö on esitetty jaksoittain liitteessä 3. Eri maalojeilla ja kaikissa kokeissa keskimäärin saadut fosforin käyttöprosentit (lisä-P %/P-l.) on esitetty taulukossa 2 ja eri kasvilajien vastaavat suhdeluvut kuvassa 3. Lannoituksen käyttöaste määräytyy varsinkin viljalla pitkälti sadonlisäyksen mukaisesti, koska jyväsadon fosforipitoisuudet vaihtelevat lannoituksen takia vain vähän (taulukko 5). Hyväksikäyttöaste jää siten viljalla fosforitilaltaan hyvillä mailla alle kolmen prosentin ja keskimäärin



maillakin alle kymmenvuotisissa kokeissa neljään tai viiteen prosenttiin (taulukko 2, liite 3).

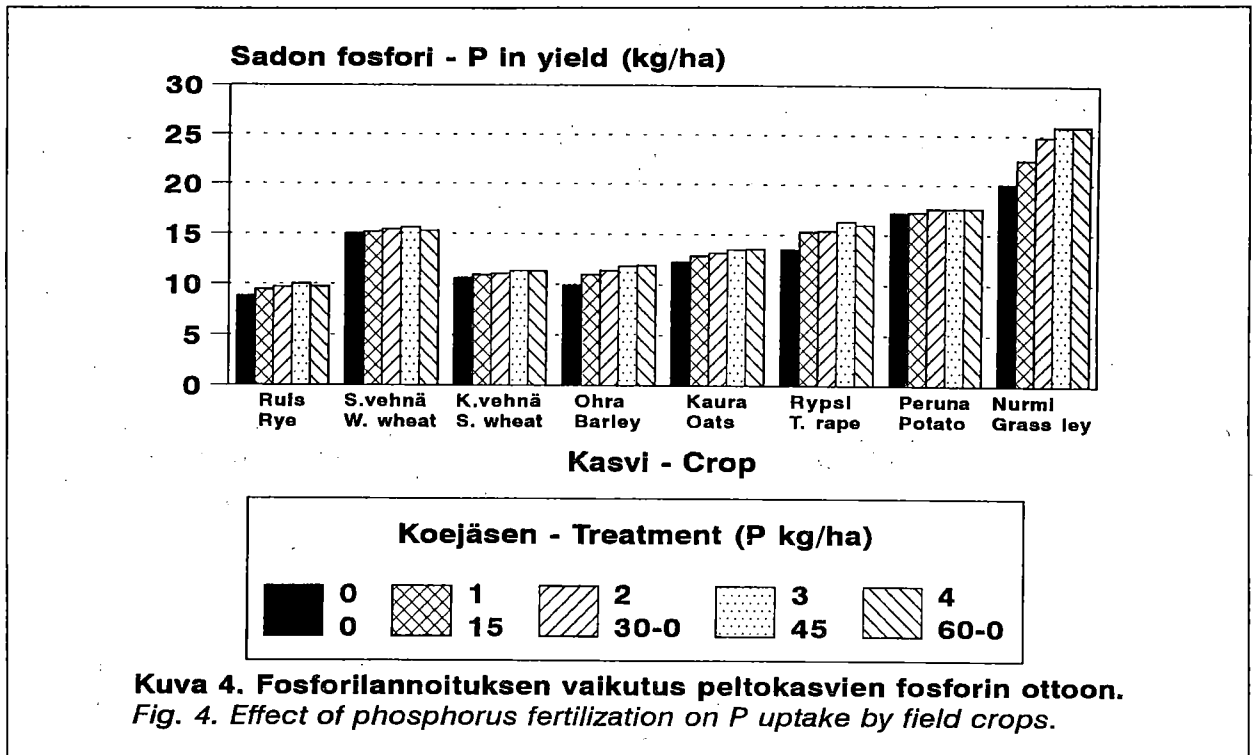
KÄRBLASEN (1969) mukaan vilja ottaa runsasfosforisilla mailla lannoitefosforia huomattavasti enemmän kuin ravinnemäärien erotusten avulla laskettu näennäinen hyväksikäyttö osoittaa. Tämä merkitsee kääntäen sitä, että lannoitus vähentää maan ravinnevarojen käyttöä. Lannoituksen käytännöllisen tehokkuuden osoittaa parhaiten näennäinen hyväksikäyttö. Orasvaiheessa lannoitefosforin osuus voi olla paljon suurempi kuin myöhemmin (KÄRBLANE 1970). Niukkafosforisilla mailla kasvavat nurmikasvit ottavat KÄRBLASEN (1969) mukaan lannoitefosforia vähemmän kuin erotusmenetelmällä laskettu näennäinen hyväksikäyttö osoittaa. Tällöin lannoitus siis parantaa myös maan fosforivarojen käyttöä eikä vähennä sitä niin kuin runsasfosforisella maalla kasvavalla viljalla.

Niukkafosforisilla mailla fosforin käyttöasteet nousivat viljalla kokeen lopussa pienimmällä lannoituksella parhaimmillaan yli 20 prosentin ja optimaalisella lannoituksellakin 13 prosenttiin (kokeet 20 ja 22). Nurmilla sadon fosforisisältö

suureni samalla lannoituksella paljon enemmän kuin viljoilla (kuva 3). Ero johtui paitsi suuremmasta kokonaissadosta myös nurmikasvien fosforipitoisuuden vaihtelusta (taulukko 5).

Nurmen tehokas lannoitefosforin hyväksikäyttö ilmeni selvästi kokeessa 18, kun käyttöaste nousi loppuvuosina lähes kymmenkertaiseksi aikaisempiin viljavuosiin verrattuna (liite 3). Lannoituksen hyväksikäyttö oli paras heikosti fosforia pidättävällä multamaalla kokeessa 31, pienellä lannoituksella 48 prosenttia ja riittävällä lannoituksellakin yli 30 prosenttia. Hyvin niukasti fosforia sisältävällä polttoturvesuon pohjalla on saatu tätäkin suurempia lannoitefosforin käyttöasteita (VIRKAJÄRVI ja HUHTA 1993).

Maalajeittain fosforilannoituksen hyväksikäyttöaste oli huonoin viljavuudeltaan hyvillä savi- ja hiuemailla sekä paras viljavuudeltaan huonoimmilla hiesuisilla pelloilla sekä eloperäisillä mailla (taulukko 2). Koko aineiston keskimääräinen fosforin käyttöprosentti oli pienimmällä 15 kilon lannoituksella 7,1 prosenttia ja 45 kilon lannoituksella 4,8 prosenttia. Jälkimmäinen annos kasvatti sadon fosforisisältöä 12,0 kg:sta 14,1 kg:aan hehtaaria kohti.



3.1.3 Satojen fosforisisältö

Satojen sisältämät fosforimäärät nähdään kokeittain ja jaksottain liitteestä 3 sekä kasveittain taulukosta 4 ja kuvasta 4. Sadoissa poistui fosforia eniten eloperäisten maiden nurmikokeissa. Suurin yhden vuoden "fosforisato" mitattiin kuitenkin savimaan kokeessa 14 vuonna 1991, jolloin koiranheinänurmesta korjattiin tätä ravinnettä 44,2 kg/ha. Kaikkien viljojen jyväsadoissa (85 % kuiva-ainetta) oli fosforia keskimäärin noin 3,5 kiloa tonnissa. Koska tämän ravinteiden pitoisuus jyvissä vaihtelee vähän (taulukko 5), sen määrä riippuu hyvin kiinteästi viljasadon suuruudesta.

Tässä tutkimuksessa runsain jyväsato ja fosforisisältö (yli 15 kg/ha) oli syysvehnällä ja pienin (herneen jälkeen) rukiilla (noin 10 kg/ha). Muut viljat sijoituivat näiden väliin (kevävehnä ja ohra noin 11 kg/ha ja kaura yli 13 kg/ha). Rypsin siemensadoissa (noin 2 t/ha) oli fosforia runsaat 16 kg/ha ja perunan 31 tonnin mukulasadossa 18 kg/ha. Monivuotisen kokeen täydennykseksi tehtiin Jokioisissa vuosina 1987 - 1989 Rekord-perunan lannoituskoe (koe 35), jossa 35 tonnin mukulasadoissa fosforia oli 20 kiloa. Nurmen vuotuiset sadot (8 t/ha kuiva-ainetta) sisälsivät tätä ravinnettä riittävällä lannoituksella 25 kg/ha. Liitteessä

7 esitettävissä yksittäisissä kokeissa vuotuisen nurmisadon sisältämä fosforimäärä oli 18 - 32 kg/ha.

Nurmen vuotuisen kokonaissadon fosforisisältö on keskimäärin lähes kaksinkertainen verrattuna viljan jyväsatoihin (13 kg/ha), mutta korjatut sadot eivät sisällä kaikkia kasvien maasta ottamia ravinteita. Olkien suhteellinen fosforisisältö verrattuna jyviin vaihtelee, mutta lienee keskimäärin noin 40 prosenttia (JAAKKOLA ym. 1982, JANSSON ym. 1985) eli 5 kg/ha. Mikäli viljan fosforista 19 prosenttia on juurissa (HANSSON ym. 1991), nousee koko viljakasvin sisältämä määrä 22 kiloon hehtaaria kohti. Suojaviljalla heinä oras nostaa kasvukauden aikana maasta otetun fosforimäärän lähes samaksi kuin säilörehunurmella.

3.1.4 Pellon fosfori- ja typpitase

Ravinnetaseella tarkoitetaan tässä tutkimuksesta lannoituksen ja korjatun sadon ravinnesisältöjen erotusta. Siementen mukana tulleita ravinteita ei ole otettu huomioon. Fosforia tulee siemenissä hehtaaria kohti perunalla runsas kilo, viljalla vajaa kilo ja rypsilä yksi kilon kymmenys. Ravinnetaseet on esitetty maalajeittain taulukossa 2, kasveittain taulukossa 4 ja kokeittain liitteessä 3.

Keskimääräinen fosforitase oli kaikilla maalajeilla positiivinen vähimmästä lannoituksesta alkaen

Taulukko 4. Kasvilajien sadot sekä pellon fosfori- ja typpitaseet.
Table 4. Yields and balance sheets for phosphorus and nitrogen by crops.

Kasvi	Koejäsen	Sato- vuosia	P-lann. kg/ha	Sato kg/ha	Sadon P kg/ha	P-tase kg/ha	N-lann. kg/ha	Sadon N kg/ha	N-tase kg/ha
<i>Crop</i>	<i>Treatments</i>	<i>Crop years</i>	<i>P fert. kg/ha</i>	<i>Yield kg/ha</i>	<i>P upt. kg/ha</i>	<i>P balance</i>	<i>N fert. kg/ha</i>	<i>N upt. kg/ha</i>	<i>N balance</i>
Ruis	0	10	0.0	2714	8.80	-8.80	103	45.0	58.2
Rye	1	10	15.0	2832	9.43	5.57	103	45.8	57.4
	2	10	27.0	2873	9.69	17.31	103	46.1	57.1
	3	10	45.0	2931	10.00	35.00	103	46.3	56.9
	4	10	54.0	2839	9.72	44.28	103	45.2	58.0
Syysvehnä	0	8	0.0	4390	14.98	-14.98	149	81.1	67.6
W. Wheat	1	8	15.0	4386	15.18	- .18	149	80.8	67.9
	2	8	22.5	4429	15.42	7.08	149	81.2	67.5
	3	8	45.0	4455	15.61	29.39	149	82.1	66.6
	4	8	45.0	4381	15.28	29.72	149	80.7	68.0
Kevätvehnä	0	35	0.0	3129	10.57	-10.57	89	64.1	25.3
S. wheat	1	35	13.7	3226	10.92	2.80	89	66.0	23.5
	2	35	23.1	3267	11.02	12.13	89	66.9	22.5
	3	35	41.1	3335	11.32	29.82	89	67.3	22.2
	4	35	46.3	3324	11.30	34.99	89	66.9	22.6
Ohra	0	153	0.0	2964	9.86	-9.86	68	47.3	21.1
Barley	1	153	14.9	3284	10.98	3.93	68	51.8	16.6
	2	153	25.3	3362	11.38	13.91	68	53.2	15.2
	3	153	44.7	3473	11.85	32.86	68	54.7	13.8
	4	153	50.6	3463	11.91	38.68	68	54.4	14.0
Kaura	0	64	0.0	3639	12.20	-12.20	65	67.1	-1.9
Oats	1	64	15.0	3853	12.86	2.14	65	69.1	-3.9
	2	64	28.1	3924	13.17	14.96	65	70.0	-4.8
	3	64	45.0	3992	13.50	31.50	65	70.6	-5.5
	4	64	56.3	3977	13.55	42.70	65	70.3	-5.2
Herne	0	4	0.0	1931	7.08	-7.08	50	62.8	-12.8
Pea	1	4	15.0	1891	6.83	8.17	50	61.0	-11.0
	2	4	30.0	1987	7.14	22.86	50	62.8	-12.8
	3	4	45.0	1908	6.89	38.11	50	61.6	-11.6
	4	4	60.0	1966	7.24	52.76	50	62.2	-12.2
Kevätrypsi	0	10	0.0	1796	13.49	-13.49	94	57.8	36.2
T. rape	1	10	15.0	1949	15.30	- .30	94	61.0	33.0
	2	10	24.0	1947	15.40	8.60	94	61.1	32.9
	3	10	45.0	2033	16.31	28.69	94	63.7	30.3
	4	10	48.0	1984	15.98	32.02	94	62.4	31.6
Peruna	0	8	0.0	30968	17.19	-17.19	86	91.1	-4.9
Potato	1	8	25.0	30626	16.64	8.36	86	88.8	-2.6
	2	8	31.3	31739	17.63	13.62	86	94.4	-8.1
	3	8	75.0	30943	17.63	57.37	86	90.9	-4.6
	4	8	62.5	31506	18.24	44.26	86	93.6	-7.4
Nurmi	0	42	0.0	7341	20.01	-20.01	186	171.9	14.5
Grass ley	1	42	14.3	7818	22.55	-8.27	186	180.5	5.8
	2	42	23.6	8072	24.85	-1.27	186	184.4	2.0
	3	42	42.9	8117	25.87	16.98	186	185.8	0.6
	4	42	47.1	8167	26.53	20.61	186	187.2	-0.9

(taulukko 2). Rypsilä ja syysvehnällä tase oli pienimmällä lannoituksella käytännössä nolla (taulukko 4). Nurmen viljelyssä fosforitase oli lievästi negatiivinen myös keskimmaisella lannoituksella, koska usean jälkivaikutusvuoden sadon sisältyminen tuloksiin (kokeissa 14 ja 25) vähensi keskimääräistä lannoitusta.

Fosforilannoitus suurensi sadon typpisisältöä ja pienensi typpitasetta keskimäärin kuudella kilolla hehtaarilla eli lähes kymmenen prosenttia (taulukko 2). Laskennallinen jäännöstyyppi väheni samalla kolmanneksella. Savi-, ja hiuemailla fosfori lisäsi typpisatoa vain pari kiloa, mutta muilla maalajeilla 7 - 11 kg/ha. Hiesu- ja hietamailla fosforimäärä vaikutti typen käyttöön ja typpitaseeseen useita kiloja hehtaarilla. Yksittäisissä kokeissa fosforilannoitus lisäsi typenottoa ja vähensi käyttämättä jäänyttä osaa suurimmillaan yli 40 kiloa (liite 3, koe 31).

Kasvilajeista fosforilannoitus vaikutti sadon typpisisältöön eniten nurmikasveilla (taulukko 4), joilla keskimääräinen lisäys oli noin 15 kiloa eli kahdeksan prosenttia. Tutkimuksen aikaisemmassa osassa vähemmän viljavilla mailla (SAARELA ja ELONEN 1982) tämä vaikutus oli 24 kg/ha eli 13 prosenttia. Suhteellinen typpisadon lisäys oli tätäkin suurempi ohralla (7,4 kg/ha = 16 %).

Fosforilannoitus vähensi ohrapeltoon käyttämättä jäänyttä tyyppiä kolmanneksella eli 21,1:stä 13,8 kiloon hehtaarilla ja nurmella laskelmallinen jäännöstyyppi hävisi kokonaan (taulukko 4). Typpilannoitus ylitti korjatun ”typpisadon” eniten eli yli 50 kilolla hehtaarilla syysviljoilla, seuraavaksi runsaimmin kevätrypsilä (yli 30 kg/ha) ja kevävehnällä (yli 20 kg/ha). Kauran, herneen ja perunan sadot sisälsivät tyyppiä enemmän kuin tätä ravinnetta peltoon lisättiin.

3.1.5 Satojen ravinteet ja laatu

Eri kasvilajien sadon keskimääräiset fosforin (P) sekä typen (N), kaliumin (K), kalsiumin (Ca) ja magnesiumin (Mg) pitoisuudet on esitetty taulukossa 5. Fosforilannoitus lisäsi sadon fosforipitoisuutta eniten murmilla (18 %). Myös muista syistä kuin fosforilannoituksesta johtuva vaihtelu oli suurin nurmilla, joiden kuiva-aineen fosforipitoisuuden vaihtelukerroin oli 27 prosenttia ja vaihtelurajat 1,34 - 6,52 g/kg. KÄHÄRIN ja PAASIKALLION

(1978a) ja KÄHÄRIN ja NISSISEN (1978) tutkimuksessa timoteihin fosforipitoisuus on vaihdellut vieläkin enemmän eli välillä 1,27 - 9,77 g/kg, kun noin 2000 näytteen keskiarvo oli 2,89 g/kg. Vuonna 1987 osittain samoilta paikoilta kerättyjen noin 400 näytteen keskimääräinen fosforipitoisuus oli kymmenen prosenttia pienempi eli 2,65 g/kg (MÄKELÄ-KURTTO ym. 1993). Säilörehuasteella korjattujen nurminadan ja koiranheinän fosforipitoisuus oli 1960-luvun kokeissa 3,4 g/kg (RINNE ym. 1974).

Myös rypsin siemenissä tämän ravinteen pitoisuus kasvoi fosforilannoituksella enemmän (8,4 %) kuin viljan jyvässä, joissa vaikutus oli eri lajeilla 0,8 - 4,7 prosenttia. Syysvehnällä ja rypsilä pienen fosforimäärän vaikutus oli suhteellisen tehokas, ohralla ja nurmella muutos oli melko lineaarinen fosforimäärän suhteen. Koko tutkimusaineistossa fosforipitoisuuden vaihtelurajat ja -kertoimet olivat rypsilä 5,9 - 9,3 g/kg ja 18 %, ohralla 2,64 - 5,55 g/kg ja 12 %. Ohran jyvien suurin fosforipitoisuus oli siis kaksi kertaa niin suuri kuin pienin pitoisuus. Muilla viljoilla erot olivat enintään puolitoistakertaisia ja vaihtelukertoimet 6 - 11 prosenttia.

Perunalla kuiva-aineen fosforipitoisuuden suuri vaihtelu (1,64 - 3,31 g/kg, kerroin 18 prosenttia) johtui pääosin muista syistä kuin lannoituksesta tai kasvupaikan vaihteluista. Tärkein tekijä oli epäilemättä kasvukauden sää, jonka vaikutukselle tämän heikkojuurisen kasvin ravitsemus näyttää olevan hyvin herkkä. Rekord-perunan ravinnepitoisuudet (g/kg) Jokioisten täydentävässä kokeessa (koe 35) olivat seuraavat: fosfori 2,45, typpi 11,1, kalium 20,2, kalsium 0,40 ja magnesium 0,98. Kalsiumin ja fosforin luvut ovat suurempia, muut yhtä suuria tai pienempiä kuin taulukossa 5. Perunoista vuosittain analysoidut ravinnepitoisuudet on esitetty liitteessä 6.

Sadon typpipitoisuus (samoin kuin typen mukaan laskettu valkuaispitoisuus) pieneni fosforilannoituksen lisääntyessä satoeroihin verrattuna eniten kauralla (4 %), jonka valkuaisato (taulukko 6) kasvoi vain viisi prosenttia. Ohran typpipitoisuutta fosfori pienensi myös 4 %, mutta sen valkuaisato suureni 15 prosenttia. Fosforilannoitus pienensi ruukiin typpipitoisuutta kolme prosenttia lisäämättä merkittävästi valkuaisatoa. Rypsin typpipitoisuus pieneni samoin kolme prosenttia ja valkuaisato

Taulukko 5. Kasvilajien sadon kuiva-aineen ravinnepitoisuus ja sadon ravinnesisältö.
Table 5. Nutrient contents of plant dry matter and nutrient uptakes of crops.

Kasvi	Koejäsen	P-pit.	N-pit.	K-pit.	Ca-pit.	Mg-pit.	Sadon K	Sadon Ca	Sadon Mg
<i>Crop</i>	<i>Treatments</i>	<i>P cont.</i>	<i>N cont.</i>	<i>K cont.</i>	<i>Ca cont.</i>	<i>Mg-cont.</i>	<i>K upt.</i>	<i>Ca upt.</i>	<i>Mg upt.</i>
		g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	kg/ha	kg/ha	kg/ha
		<i>P cont.</i>	<i>N cont.</i>	<i>K cont.</i>	<i>Ca cont.</i>	<i>Mg-cont.</i>	<i>Kg/ha</i>	<i>kg/ha</i>	<i>kg/ha</i>
		g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	kg/ha	kg/ha	kg/ha
Ruis	0	3.84	19.2	5.5	.32	1.15	12.5	.7	2.7
Rye	1	3.93	18.7	5.6	.32	1.14	13.3	.8	2.8
	2	3.97	18.6	5.6	.33	1.15	13.6	.8	2.8
	3	4.02	18.3	5.6	.33	1.14	14.0	.8	2.9
	4	4.02	18.5	5.6	.33	1.15	13.4	.8	2.8
Syysvehnä	0	3.98	21.2	4.3	.30	1.39	16.2	1.1	5.2
<i>W. wheat</i>	1	4.09	21.1	4.4	.31	1.43	16.5	1.1	5.3
	2	4.09	21.0	4.4	.32	1.43	16.6	1.2	5.4
	3	4.13	21.0	4.5	.32	1.44	16.9	1.2	5.5
	4	4.12	21.0	4.4	.31	1.42	16.4	1.2	5.3
Kevätvehnä	0	3.99	24.6	4.2	.31	1.30	11.1	.8	3.5
<i>S. wheat</i>	1	3.99	24.6	4.2	.31	1.31	11.3	.8	3.6
	2	3.98	24.6	4.1	.31	1.31	11.4	.8	3.6
	3	4.02	24.3	4.1	.31	1.31	11.6	.9	3.7
	4	4.02	24.3	4.2	.31	1.31	11.8	.9	3.7
Ohra	0	3.91	19.2	5.7	.42	1.18	14.1	1.1	2.9
<i>Barley</i>	1	3.94	18.8	5.5	.41	1.18	15.3	1.2	3.3
	2	4.00	18.8	5.5	.42	1.19	15.7	1.2	3.4
	3	4.04	18.7	5.5	.42	1.19	16.2	1.2	3.5
	4	4.08	18.7	5.5	.42	1.19	16.2	1.2	3.5
Kaura	0	3.96	21.8	4.6	.62	1.22	14.2	1.9	3.8
<i>Oats</i>	1	3.95	21.2	4.6	.61	1.21	14.9	2.0	4.0
	2	3.96	21.1	4.6	.61	1.21	15.1	2.0	4.1
	3	3.99	20.9	4.5	.62	1.21	15.3	2.1	4.1
	4	4.02	20.9	4.6	.62	1.22	15.4	2.1	4.1
Herne	0	4.27	38.2	10.8	.78	1.32	17.9	1.3	2.1
<i>Pea</i>	1	4.14	37.4	11.4	.71	1.19	18.7	1.2	1.9
	2	4.12	36.7	11.6	.73	1.21	20.2	1.3	2.0
	3	4.12	37.5	11.7	.70	1.17	19.3	1.2	1.9
	4	4.17	37.3	11.7	.71	1.21	20.1	1.2	2.0
Kevättrypsi	0	8.09	35.3	7.4	4.97	3.56	12.5	8.1	5.8
<i>T. rape</i>	1	8.55	34.3	7.6	5.14	3.65	13.7	9.1	6.5
	2	8.64	34.3	7.7	5.14	3.62	13.9	9.1	6.4
	3	8.77	34.3	7.8	5.23	3.65	14.6	9.7	6.7
	4	8.83	34.4	7.8	5.25	3.62	14.2	9.4	6.5
Peruna	0	2.30	12.3	24.2	.26	1.01	181.0	2.0	7.6
<i>Potato</i>	1	2.24	12.0	24.1	.27	.99	179.7	2.0	7.4
	2	2.31	12.3	24.8	.28	1.01	191.0	2.2	7.8
	3	2.33	12.1	24.4	.28	1.00	184.4	2.1	7.6
	4	2.39	12.4	24.5	.29	1.00	187.8	2.3	7.7
Nurmi	0	2.80	25.2	31.6	3.76	1.56	227.9	26.3	10.9
<i>Grass ley</i>	1	2.98	24.9	31.7	3.94	1.57	243.0	28.9	11.6
	2	3.19	24.7	32.0	4.04	1.55	253.1	30.9	11.9
	3	3.30	24.7	32.1	4.12	1.54	255.7	31.1	11.7
	4	3.37	24.7	31.9	4.13	1.52	255.9	31.6	11.7

suureni kahdeksan prosenttia. Nurmisadon typpipitoisuutta fosforilannoitus pienensi vain kahdella prosentilla, kun valkuaisosa suureni yhdeksällä prosentilla.

Fosforilannoitus vaikutti vain heikosti satojen kaliumpitoisuuksiin, jotka vaihtelivat suuresti kasveittain (taulukko 5). Nurmisadon kaliumpitoisuus kasvoi hiukan eikä vähentynyt sadon suurenemisen aiheuttaman laimenemisen takia. Sadon kaliumsisällön suureneminen noin 12 prosentilla osoittaa, että fosfori on tehostanut joko juuriston kasvua tai toimintaa, tai molempia. Sadon sisältämän kaliumin määrä vaihtelee kevätvehnän 11,5 kilosta nurmen 250 kiloon hehtaaria kohti.

Muiden lajien kuin rypsin siemenissä ja perunan mukuloissa oli kalsiumia vähemmän kuin muita makroravinteita (taulukko 5). Viljoista tätä ravinnetta oli eniten paksukuorisessa kaurassa. Nurmisadon kalsiumpitoisuuden nousuun on kaksi mahdollista syytä: fosforilannoituksen tehostama juurten kasvu ja ravinteiden otto sekä fosforilannoitteena käytetyn superfosfaatin kalsium, joka näkyy myös maan vaihtuvan kalsiumin pitoisuuksissa (liite 2, taulukko 7).

Heinäkasvinurmen sadon kalsiumpitoisuus kasvoi fosforilannoituksella enemmän happamilla hieta- ja turvemaidella kuin hienoilla kivennäismailloilla (liite 7). Runsaasti kalsiumia sisältävä superfosfaatti suurensi sadon kalsiumpitoisuutta enimmillään yli 40 prosenttia (koe 24). Aikaisemmissa lyhytaikaisissa kokeissa vaikutus oli niukkafosforisella turpeella jopa yli 70 prosenttia (SAARELA ja ELONEN 1982, sivu 47).

Happamilla koepaikoilla, joilla sadon kalsiumpitoisuudet olivat pieniä, osa sadonlisäyksestä on mahdollisesti aiheutunut tästä fosforin mukana tulleesta ravinteesta. Turvemaan kokeissa 31 ja 34 kuiva-ainesadon nouseva suunta jatkuu yli 30 fosforikilon, vaikka typen ja fosforin pitoisuuksien suhde laskee alle seitsemän eli pienemmäksi kuin runsasfosforisilla kivennäismailloilla kasvaneen heinänsäilön ravinesuhde. Suuri sadon fosforipitoisuus ja loiva sadon suureneminen esiintyivät yhdessä myös Tohmajärven polttoturpeen jättöalueella (VIRKAJÄRVI ja HUHTA 1993).

Kalsiumia sisältävät superfosfaatti ja ousunsalpietari ovat tuottaneet ensimmäisen vuoden nurmilla joissakin tapauksissa parempia satoja kuin diammoniumfosfaatti, joka on haitannut varsinkin apilan kasvua (JOKINEN ja SIMOJOKI 1972). Kokonaan vesiliukoinen diammoniumfosfaatti näyttää häiritsevän herkimmin runsaasti kalsiumia ja magnesiumia tarvitsevien kasvien ravinnetasapainoa. Ammoniumionit hidastavat muiden kationien ottoa antagonisesti eli kilpailemalla, ja fosfaatti-ionit voivat saostaa kalsiumia ja magnesiumia maanesteestä. Matalajuuristen pienten taimien herkkyys taas selittää sen, miksi lannoitelajien merkitys oli suurin ensimmäisenä nurmivuonna (JOKINEN ja SIMOJOKI 1972).

Kalsiumin merkitystä voimaperäisesti viljellyillä nurmilla korostaa myös sen nopea väheneminen maan pintakerroksesta jopa ousunsalpietari- superfosfaattilannoitusta käytettäessä (SAARELA ym. 1981). Superfosfaatin parantama kalsiumin saanti voi kohottaa myös siemen- ja mukulasatoja varten viljeltävien kasvien lehti- ja varsisolukoiden kalsiumpitoisuutta ja edistää kasvua, vaikkei tämän ravinteiden pitoisuus kasvin sadoksi korjattavissa osissa lainkaan suurenisikaan.

Magnesiumia oli eniten rypsin siemenissä. Kaikissa muissa lajeissa tämän ravinteiden pitoisuudet olivat hyvin samanlaisia. Korsi- ja perunan hehtaarisadon kalsiumsisältö oli vain yhden ja kahden kilon luokkaa. Rypsisadossa tätä ravinnetta oli vajaa kymmenen kiloa ja lähes puhtaiden heinänsäilön sadoissa kolmekymmentä kiloa hehtaarilla. Pienehköt hemesadot sisälsivät magnesiumia vain pari kiloa, korsi- ja perunasadot 6 - 7 kiloa ja nurmisadot yli 11 kiloa hehtaaria kohti.

Satojen keskimääräiset ravinnepitoisuudet (taulukko 5) ovat melko yhdenmukaisia aikaisempien tutkimusten kanssa. JAAKKOLA ja VOGT (1978a, 1978b) saivat kuitenkin viljoista, erityisesti rukiista vähän pienempiä arvoja. JANSSON ym. (1985) puolestaan mittasivat yleisesti hiukan suurempia pitoisuuksia. SYVÄLAHTI ja KORKMAN (1978a, 1978b) julkaisivat viljoista melko samanlaisia analyysituloksia. Kevätvehnän ja ohran kivennäispitoisuudet (taulukko 5) ovat hyvin lähellä ESALAN ja LARPEKSEN (1984, 1986) esittämiä lukuja. Säilörehusteella korjatuissa heinissä (RINNE ym. 1974) on

ollut enemmän kalsiumia ja magnesiumia kuin taulukon 5 nurmisadoissa, mutta kaliumpitoisuudet olivat samalla tasolla.

Viljojen, herneen ja perunan analyysitulokset ovat hyvin samanlaisia kuin elintarvikkeiden kivennäis-tutkimuksessa (VARO ym. 1980a), jossa rukiin, syysvehnän ja ohran tyypipitoisuudet ovat kuitenkin vähän taulukon 5 lukuja suurempia. Perunan fosforipitoisuus on suurempi ja tyypipitoisuus pienempi (N/S-suhde 5,3) kuin elintarviketutkimuksessa (VARO ym. 1980b) ja VARIKSEN (1973) lannoituskokeissa, joissa kummassakin perunan N/S-suhde oli 6,7. Täydentävissä Jokioisten perunakokeissa tämä suhdeluku oli vielä pienempi eli 4,5. Taulukon 5 mukaan sadon N/P-suhde on riittäväällä fosforilannoituksella rukiilla 4,6, syysvehnällä 5,1, kevätvehnällä 6,1, ohralla 4,7, kauralla 5,3, herneellä 9,1, rypsilä 3,9, perunalla 5,3 ja nurmi-kasveilla 7,7.

Leipäviljojen ulkoista laatua fosforilannoitus muutti melko vähän (taulukko 6). Ohralla hehtolitra-paino pieneni ilman tämän ravinteiden käyttöä keskimäärin runsaalla kahdella prosentilla ja jyvääkö pieneni yli neljällä prosentilla. Kauralla fosforin jättäminen pois lannoituksesta pienensi hehtolitra-painoa mutta suurensi jyvääköä runsaalla prosentilla. Viljan ulkoisen laadun kannalta pienet fosforimäärät olivat suhteellisesti tehokkaampia kuin sadon määrän kannalta. Rypsin siementen öljypitoisuus ja öljysato nousivat suurimmilleen jo pienillä annoksilla.

3.2 Maan viljavuuden kehitys

3.2.1 Helppoliukoinen fosfori

Kokeen alussa ja lopussa kerroksittain määritetyt maan helppoliukoisien fosforin pitoisuudet on esitetty kokeittain liitteessä 2 ja maalajeittain taulukoissa 7 ja 8. Fosforilannoituksen vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä kaikissa kokeissa. Käsittelyjen väliset erot olivat suurimpia ja useimmiten erittäin merkitseviä kyntökerroksessa (KK).

Syvemmissä kerroksissa erot olivat vaihtelevia. Erojen aiheuttajina olivat tuntemattomilla osuuksilla fosforin huuhtoutuminen veden mukana liukoisena ja lietteenä, kasvin fosforin oton vaihtelu ja mekaaninen sekoittuminen. Muokkauksen lisäksi maan pystysuoraa siirtymistä voivat aiheuttaa

maata kaivavat eläimet, routiminen ja halkeamiin variseva pintamulta (BLUME 1982). Syvempien kerrosten sekoittumista keskenään ja pintamaan kanssa voi tapahtua jonkin verran myös näytteiden otossa.

Jankon yläosassa (JY, 0 - 10 cm kyntökerroksen alarajasta) lannoituksen vaikutus oli usein tilastollisesti merkitsevä. Muokkauksen mahdollisesti aiheuttaman mekaanisen sekoittumisen takia koejäsenten väliset erot ovat kuitenkin vaikeasti tulkittavissa. Sama ongelma koskee osittain myös kyntökerroksen alarajasta 20 cm syvemmälle ulottuvaa kerrosta (JA). Jankon alaosassa (JM, 10 - 20 cm kyntökerroksen alarajasta) ja pohjamaassa (PM, 20 - 40 cm kyntökerroksen alarajasta) tätä ongelmaa ei ole. Niihin lannoitus lienee vaikuttanut lähinnä fosforin huuhtoutumisen tai kasvien juurten välityksellä.

Eri aikoina otettujen näytteiden vertailua haittaa syvyyden vaihtelu. Kokeissa 11, 12, 13 ja 15 alkunäytteet on otettu huomattavasti syvempää kuin loppunäytteet. Suuret jankon fosforipitoisuuden lisäykset ja magnesiumpitoisuuden vähenemiset kokeen kestäessä eivät osoita näissa kokeissa todellisia muutoksia.

Turvemaiden jankkerroksen suuret ja lannoituksesta vahvasti riippuvat fosforipitoisuudet (kokeet 30 ja 31) selittyvät näiden maiden heikosta fosforinpidätyskyvystä ja vesiliukoisien fosforin suuresta osuudesta. Kokeen 31 fosforinpidätysindeksi oli kaikkein pienin aineistossa, jossa oli 21 suomalaista maata (SAARELA 1992b, maa numero 19). Kokeessa 29 on merkille pantavaa fosforipitoisuuden lisäys ja tilastollisesti erittäin merkitsevä lannoituksen vaikutus yli 40 senttimetrin syvyydessä.

Käsittelyjen väliset erot olivat yli 30 cm:n syvyydessä merkitseviä myös runsasmultaisella hiu-maalla kokeessa 18. Nämä pienet erot johtuvat ilmeisesti ainakin osittain kasvin fosforin oton painottumisesta syvempiin kerroksiin niukasti lannoitetuilla ruuduilla (KÄRBLANE 1971). Ortofosfaatin huuhtoutuminen on ollut tällä liejuisella maalla todennäköisesti hyvin vähäistä, koska sen vesiliukoisien fosforin pitoisuus oli hyvin pieni (SAARELA ja ELONEN 1982). Tämän maan fosforinpidätysindeksi oli 21 näytteen aineistossa kaikkein suurin (SAARELA 1992b, maa numero 12).

Taulukko 6. Maan fosfori, valkuaissato ja sadon laatu.
Table 6. Soil phosphorus, protein yield and crop quality.

Kasvi <i>Crop</i>	Koejäsen <i>Treatment</i>	Maan P mg/l <i>Soil P</i> mg/l	Valk.sato kg/ha <i>Protein</i> kg/ha	Valk.pit. % <i>Protein</i> %	Hl-paino kg/hl <i>Hl weight</i> kg/hl	1000 siem. paino, g <i>1000 seed</i> <i>weight, g</i>
Ruis <i>Rye</i>	0	9.3	256	11.0	72.0	28.6
	1	10.5	261	10.6	71.9	28.4
	2	11.8	263	10.6	72.0	28.2
	3	13.0	264	10.4	72.0	28.2
	4	14.8	257	10.5	71.8	28.1
Syysvehnä <i>W. wheat</i>	0	29.6	462	12.1	79.1	40.2
	1	32.4	461	12.0	79.0	40.0
	2	36.1	463	12.0	78.9	39.8
	3	40.8	468	12.0	79.0	40.1
	4	43.1	460	12.0	78.8	39.8
Kevätvehnä <i>S. wheat</i>	0	12.5	365	14.0	72.3	34.0
	1	14.2	375	14.0	72.4	34.4
	2	17.3	381	14.0	72.4	34.8
	3	18.8	384	13.8	72.3	34.7
	4	20.4	381	13.8	72.3	34.6
Ohra <i>Barley</i>	0	11.0	295	12.0	59.1	32.6
	1	12.7	324	11.7	60.2	33.6
	2	14.9	332	11.7	60.2	33.8
	3	16.1	342	11.7	60.4	34.1
	4	17.6	340	11.7	60.4	34.1
Kaura <i>Oats</i>	0	7.9	419	13.7	53.0	33.5
	1	9.4	432	13.2	53.4	33.3
	2	10.6	437	13.2	53.4	33.1
	3	11.8	442	13.0	53.5	33.1
	4	13.0	440	13.0	53.6	33.2
Herne <i>Pea</i>	0	4.8	392	23.9	.	.
	1	5.6	381	23.3	.	.
	2	7.2	393	22.9	.	.
	3	5.8	385	23.4	.	.
	4	6.4	389	23.3	.	.
Kevätrypsi <i>T. rape</i>	0	14.2	361	22.1	44.6	746
	1	16.0	381	21.4	45.2	847
	2	18.9	382	21.4	45.5	857
	3	20.5	398	21.4	45.1	859
	4	21.8	390	21.5	45.1	852
Peruna <i>Potato</i>	0	42.7	570	7.7	20.5	1579
	1	45.6	555	7.5	20.5	1562
	2	48.8	590	7.7	20.6	1633
	3	56.0	568	7.6	20.6	1598
	4	53.0	585	7.7	20.6	1614
Nurmi <i>Grass ley</i>	0	13.7	1073	15.7	.	.
	1	15.3	1127	15.6	.	.
	2	19.0	1153	15.4	.	.
	3	21.2	1162	15.4	.	.
	4	23.1	1168	15.4	.	.
					Öljy % <i>Oil %</i>	kg/ha <i>Kg/ha</i>
					Tärkki % <i>Starch %</i>	kg/ha <i>kg/ha</i>

Taulukko 7. Pintamaan viljavuus alussa ja eri fosforilannoituksilla lopussa.
Table 7. Soil fertility in plough layer initially (alku) and finally by P rates.

Maalaji	P-lann. aika	Kokeiden luku	pH (H ₂ O)	P mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l
<i>Soil type</i>	<i>P rate time</i>	<i>No of exp. (n)</i>	<i>pH (H₂O)</i>	<i>P mg/l</i>	<i>K mg/l</i>	<i>Ca mg/l</i>	<i>Mg mg/l</i>
Savi	Alku	5	6.34	27.3	328	2355	480
Clay	0 kg/ha	5	6.49	19.2	266	2336	435
	15 kg/ha	5	6.51	20.1	261	2329	427
	30 kg/ha	5	6.51	25.4	260	2446	418
	45 kg/ha	5	6.49	30.5	261	2435	418
	60 kg/ha	5	6.51	27.0	254	2455	408
	Hiue	Alku	4	5.60	6.7	185	1221
Loam	0 kg/ha	4	5.63	5.0	182	1210	107
	15 kg/ha	4	5.59	7.2	165	1235	104
	30 kg/ha	4	5.58	7.8	163	1263	101
	45 kg/ha	4	5.58	12.3	152	1292	95
	60 kg/ha	4	5.59	11.9	155	1319	94
	Hiesu	Alku	5	5.96	11.7	135	1489
Silt	0 kg/ha	5	6.01	7.8	145	1345	164
	15 kg/ha	5	6.02	10.3	146	1390	160
	30 kg/ha	5	6.02	12.0	146	1428	160
	45 kg/ha	5	5.98	15.3	142	1437	151
	60 kg/ha	5	5.97	17.1	140	1458	155
	Hieta	Alku	4	5.98	21.8	269	1184
Fine sand	0 kg/ha	4	6.07	13.1	168	1205	100
	15 kg/ha	4	6.12	15.7	155	1283	100
	30 kg/ha	4	6.07	17.1	151	1310	95
	45 kg/ha	4	6.05	22.9	149	1370	94
	60 kg/ha	4	6.07	21.7	151	1387	93
	Eloper.	Alku	6	4.92	8.8	107	1708
Organic	0 kg/ha	6	5.19	5.1	145	2148	242
	15 kg/ha	6	5.17	7.4	134	2224	241
	30 kg/ha	6	5.17	9.3	130	2237	232
	45 kg/ha	6	5.18	12.2	124	2306	225
	60 kg/ha	6	5.17	13.5	121	2294	224

Suurten ravinmäärien siirtyminen lietteenä ei myöskään ole todennäköistä tällaisella maalla. Fosforia sisältävien orgaanisten yhdisteiden huuhtoutuminen runsasmultaisesta ruokamullasta jankkoon (JOHNSTON ja POULTON 1992) ei sen sijaan ole mahdotonta.

Hiesuisella hietamaalla kokeessa 22 lannoituksen vaikutus ei ole merkitsevä, mutta jankon fosforiluvut ovat suhteellisen suuria. Koska maan vesiliukoisien fosforin pitoisuus oli tällä koepaikalla poikkeuksellisen pieni, merkittävä huuhtoutuminen liukoisena fosfaattina ei ole ollut mahdollista. Tällaisella maalajilla ravinteita saattaa liikkua tavallista enemmän kiinteässä muodossa lietteenä.

Hiesuisilla hiedoilla maata kulkeutuu maavedessä niin runsaasti, että salaojien kalvuuden pitää olla suurempi kuin sitä hienommilla ja karkeammilla mailla (HUIKARI ym. 1964, s. 150). Toinen mahdollinen maa-aineksen ja sen sisältämien ravinteiden pystysuoran siirtymisen mekanismi on tämän maalajin voimakas routiminen.

Tutkimuksen kahdella runsasfosforisimmalla kentällä suuri fosforipitoisuus pieni savimaan kokeessa 14 alaspäin mentäessä jyrkästi kyntäkerroksen alla, mutta hiedalla kokeessa 25 tavallista suurempi pitoisuus ulottui 60 cm:n syvyyteen saakka. Huomattava huuhtoutuminen kyntäkerroksesta syvemmälle on todennäköistä, koska tämän

Taulukko 8. Jankon viljavuus kokeen alussa ja eri fosforilannoituksilla lopussa.
Table 8. Fertility of subsoil initially (alku) and finally by P rates.

Maalaji	P-lann. aika	Kokeiden luku	pH (H ₂ O)	P mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l
<i>Soil type</i>	<i>P rate time</i>	<i>No of exp. (n)</i>	<i>pH (H₂O)</i>	<i>P mg/l</i>	<i>K mg/l</i>	<i>Ca mg/l</i>	<i>Mg mg/l</i>
Savi	Alku	5	6.74	1.9	268	2276	989
Clay	0 kg/ha	5	6.66	4.3	261	2265	763
	15 kg/ha	5	6.65	4.6	262	2196	712
	45 kg/ha	5	6.63	5.6	253	2278	708
Hiue	Alku	4	5.15	3.0	98	599	123
Loam	0 kg/ha	4	5.27	4.3	139	777	85
	15 kg/ha	4	5.16	5.1	132	770	81
	45 kg/ha	4	5.20	6.7	131	806	74
Hiesu	Alku	5	6.10	1.9	78	1092	273
Silt	0 kg/ha	5	6.16	3.0	105	1114	293
	15 kg/ha	5	6.19	5.4	106	1186	281
	45 kg/ha	5	6.14	6.2	105	1174	272
Hieta	Alku	4	5.86	3.2	151	395	52
Fine sand	0 kg/ha	4	6.04	7.5	127	739	64
	15 kg/ha	4	6.04	7.7	119	742	62
	45 kg/ha	4	6.04	11.0	116	805	60
Eloper.	Alku	6	4.62	3.9	57	1280	247
Organic	0 kg/ha	6	4.82	3.4	73	1478	218
	15 kg/ha	6	4.81	3.9	74	1499	213
	45 kg/ha	6	4.82	5.3	68	1524	201

maan fosforinpidätyskyky on laboratoriokeiden mukaan heikko (SAARELA 1992b, maa numero 6). Tämän karkean maan heikko fosforin pidätys johtui sen fosforinpidätyskapasiteetin täyttymisestä hyvin pitkälle edellä kappaleessa 2.2 tarkastellun ylilannoituksen vuoksi.

3.2.2 Maan fosforitilan kehitys

Vuosittain annetun fosforilannoituksen vaikutus kyntökerroksen liukaisen fosforin pitoisuuteen nähdään kokeittain liitteestä 4. Kuviot ovat eri fosforitasoilla ja jopa maalajeilla melko samanlaisia, mutta asteikon vaihtelun takia absoluuttiset erot kasvavat pitoisuuden mukana. Suurimman lannoituksen vaikutus ilman fosforia viljeltyihin vertailuruutuihin nähden oli pienin eli noin 4 mg/l hieta- mailla kokeissa 27 ja 28 ja suurin eli lähes 30 mg/l savimaalla kokeessa 14. Suhteelliset erot olivat suurimpia niukkafosforisilla savilla (kokeet 11 ja

20) ja eloperäisillä mailla (kokeet 31, 32 ja 33). Jälkimmäisillä eli hiekkaisella multamaalla ja turvemailla muutokset olivat ensimmäisinä vuosina paljon nopeampia kuin kivennäismailla, mutta hidastuivat myöhemmin. Turvemaiden tulokset muistuttavat ammoniumlaktaattiin liukenevan fosforin pitoisuuden kehitystä ruotsalaisissa kivennäismaissa (GUNNARSSON 1987, MATTSSON ja HAHLIN 1991, NILSSON ja MATTSSON 1993).

Ammoniumlaktaatti uuttaa fosforia lähes kymmenen kertaa enemmän kuin suomalainen asetaattimenetelmä (SIPPOLA ja SAARELA 1984, 1986), ja turve pidättää fosforia yleensä heikommin kuin kivennäismaa. Hyvin helppoliukaisen fosforin heikko uuttaminen näyttää siten antavan samankaltaisia tuloksia kuin hiukan vaikealiukoisemman fosforin vahvempi uuttaminen. Kun tuloksiin vaikuttavat myös mm. eri uuttoliuosten ja maalajien erilaiset happamuustasot, liian pitkälle meneviä tulkintoja on kuitenkin varottava.

Suurinkaan lannoitus ei estänyt liukoisen fosforin pitoisuuden laskua tutkimuksen kaikkein runsasfosforisimmilla, Jokioisissa sijaitsevilla koepelloilla, joiden maalajit ovat hietaa (koe 25) ja hietasavea (koe 14) Jälkimmäisessä ensimmäisen vuoden keväällä otetut näytteet poikkesivat muina kertoina syksyllä otetuista näytteistä. Kokeessa 16 alaspäin poikkeava lähtötilanne määritettiin nurmrikosta otetuista näytteistä, joihin ei ilmeisesti ole tullut rikastunutta nurmen pintaa mukaan oikeassa suhteessa (SAARELA ym. 1988). Savimaan kokeen 12 suuren vaihtelun aiheuttajaa ei tunneta. Maan fosforiluvuissa on esiintynyt muissakin tutkimuksissa vaikeasti selitettävää dynaamista vaihtelua (GUNNARSSON 1987, YLI-HALLA 1989). Tässä tutkimuksessa fosforitilan kehitystä voidaan pitää verrattain säännöllisenä.

Savimaan kokeessa 12 ja hiesuisilla mailla kokeissa 22 ja 23 fosforipitoisuus pysyi ennallaan tai jopa nousi hiukan kokeen aikana myös ilman fosforilannoitusta. Koe 22 kalkittiin tutkimuksen aikana vuonna 1982 ja koe 23 salaojitettiin vuonna 1983. Maan fosforipitoisuus laski kokeen aikana ilman tämän ravinteiden antamista suhteellisesti eniten eli 68 prosenttia hiekkaisella multamaalla kokeessa 31 ja 63 prosenttia hiesuisella hiesusavella kokeessa 19. Keskimäärin maan liukoinen fosfori väheni 30 prosenttia alun tasolta. Suhteellinen nousu suurinta lannoitusta käytettäessä oli suurin eli 220 prosenttia hiuemaalla kokeessa 16. Keskimääräinen nousu oli 63 prosenttia.

ESALAN ja LARPEKSEN (1984) NPK-lannoitus-
tasokokeissa maan fosforipitoisuus laski lähes neutraalilla hietasavella jyrkästi samaan tapaan kuin tämän tutkimuksen kokeessa 19, mutta vahvasti happamalla hiesusavella muutos oli vähäinen. NPK-lannoituksen aiheuttamat erot maan helppoliukoisen fosforin pitoisuudessa kasvoivat alkuvuosina nopeasti mutta eivät sen jälkeen enää suurentuneet. Erilaiset tulokset saattavat selittyä ammoniumfosfaatti-pohjaisen NPK-lannoitteen happamuudella, joka laski maan pH-lukua 12 vuodessa lähes puoli pH-yksikköä. Myös YLI-HALLAN (1989) niukkafosforisilla savimailla tutkima fosforin liukoisuus väheni enemmän kokeessa, jossa pH-luku oli alussa korkeampi.

JAAKKOLAN ym. (1977) monivuotisessa kalkitus-
kokeessa, jossa käytettiin hyvin suuria kalkkimää-

riä, helppoliukoisen fosforin pitoisuus kasvoi jyrkimmin arvon 6,5 yläpuolella. Samanlaisia kalkin vaikutuksia todettiin myös fosforin saannin ja maan happamuuden välisiä suhteita selvittämissä astiakokeissa ja laboratoriotutkimuksissa (SAARELA ja SIPPOLA 1987, 1990). KEMPPAISEN ym. (1993) kenttäkokeissa 4 - 12 tn/ha kalkkimäärien aiheuttamat fosforin liukoisuuden muutokset olivat vähäisiä mutta pääosin samansuuntaisia.

Kokeessa 19 sekä ESALAN ja LARPEKSEN (1984) lannoituskeessa pH-luku putosi suunnilleen 6,5:stä noin kuuteen ja fosforin liukoisuus huononi jyrkästi. Nämä tulokset viittaavat siihen, että fosforin kemiallinen muoto ja liukoisuus muuttuvat happamuuden lisääntyessä vähän alemmalla pH-alueella kuin happamuuden vähentyessä. Tällainen aikaisemman tilan jälkivaikutus aineiden olomuotoon eli ns. hystereesi-ilmiö on yleinen hitaasti edistävissä muutoksissa. Käytännössä osittainen palautumattomuus voi merkitä sitä, että pH-luvun lasku ennen kalkitusta vallinneelle tasolle ei mitätöi kokonaan kalkin edullista vaikutusta maan fosforivarojen saatavuuteen.

Fosfori pidättyy happamissa maissa rauta- ja alumiiniyhdisteisiin (KAILA 1963, HARTIKAINEN 1989a). Kalkkipitoisissa maissa, joita esiintyy mm. Virossa, fosfori on pääosin kalsiumfosfaatteina (KÄRBLANE 1974). Lievästi happamissa ja neutraaleissa pelloissa lienevät tärkeitä suhteellisen helppoliukoiset fosfaatin alumiinikompleksit. Myös kalsiumin merkitys kasvaa pH:n noustessa jo lievästi happamalla alueella (YLI-HALLA 1989). Happamuuden vähentyessä muodostuu heikkojen happojen anioneja, kuten epäorgaanisia silikaatti- ja hydroksidi-ioneja sekä orgaanisia humaatteja, ja nämä voivat edistää fosforin liukoisuutta kilpailemalla maahiukkasten pinnoilla olevista pidätyspaikoista fosfaatti-ionien kanssa. Kalkin vilkastuttama maan biologinen aktiivisuuskin saattaa edistää fosforinsaantia.

Tässä tutkimuksessa lannoitteina olivat superfosfaatti, oulunsalpietari ja kalisuola, eikä maan happamuus juuri viljakokeissa voimistunut. Kokeessa 19, joka oli seitsemänä vuonna nurmena, pH-luku laski kuitenkin tavallista enemmän eli neljä kymmenystä, minkä suuruinen muutos vastaa lähes kymmenen tonnin kalkitusta hehtaaria kohti (KEMPPAINEN ym. 1993). Runsaalla typellä lan-

noitetun säilörehunurmen onkin todettu happamoittavan maata voimakkaasti, vaikka käytettäisiin jonkin verran kalkkia sisältävää oulunsalpietaria (SILLANPÄÄ ja RINNE 1975, SAARELA ym. 1981). Pitkäaikaisissa lannoitteiden vertailukokeissa pH-luvut olivat 12 viljavuoden jälkeen oulunsalpietariilla lannoitettaessa pari kymmenystä korkeampia kuin NPK-lannoitteita käytettäessä (SAARELA 1983).

Graafinen yhteenveto liukoisien fosforin pitoisuuden kehityksestä kahdella lähtötasolla nähdään: savi- ja hiesumailla kuvasta 5, hieta- ja hiesumailla kuvasta 6 ja eloperäisillä mailla kuvasta 7 sekä epäsäännöllisissä ja hyvin runsasfosforisissa kokeissa kuvasta 8. Hienojen ja karkeiden kivennäismaiden kuviot ovat samankaltaisia, mutta runsasfosforisten savi- ja hiesumaiden kehitys suuntautuu enemmän alaspäin, mikä osoittaa fosforin voimakkaampaa pidättymistä maahan. Se, että karkeampi hieta- ja hiesumaiden fosforipitoisuuksien suunta on nousevampi, johtunee osittain myös niiden alemmasta lähtöpitoisuudesta.

Maan fosforipitoisuudet muuttuivat yleensä melko lineaarisesti ajan suhteen. Ruotsalaisissa yli 30-vuotuisissa kokeissa on havaittu, että kehitys pysähtyy noin 15 vuodessa saavutetulle tasolle (GUNNARSSON 1987, NILSSON ja MATTSSON 1993). Tällaista muuttumatonta tilaa ei ole havaittavissa tässä tutkimuksessa paitsi turvemailla, joilla fosforipitoisuuden nousu hidastui jopa nopeammin. Eri koepaikkojen vertailussa todettiin, että viljavuuden ylläpitoon tarvitaan fosforia sitä enemmän mitä suurempi maan fosforipitoisuus on, mikä viittaa tällaisen tasapainon mahdollisuuteen vielä pitemmän ajan kuluessa. Helppoliukoisen fosforin pitoisuuden kasvun pysähtyminen ei johtunut lisääntyneestä huuhtoutumisesta, vaan fosforin muuttumisesta vaikealiukoiseksi sitä nopeammin, mitä korkeampi pitoisuus oli (GUNNARSSON 1987, NILSSON ja MATTSSON 1993).

3.2.3 Fosforitase ja maan fosforipitoisuuden muutokset

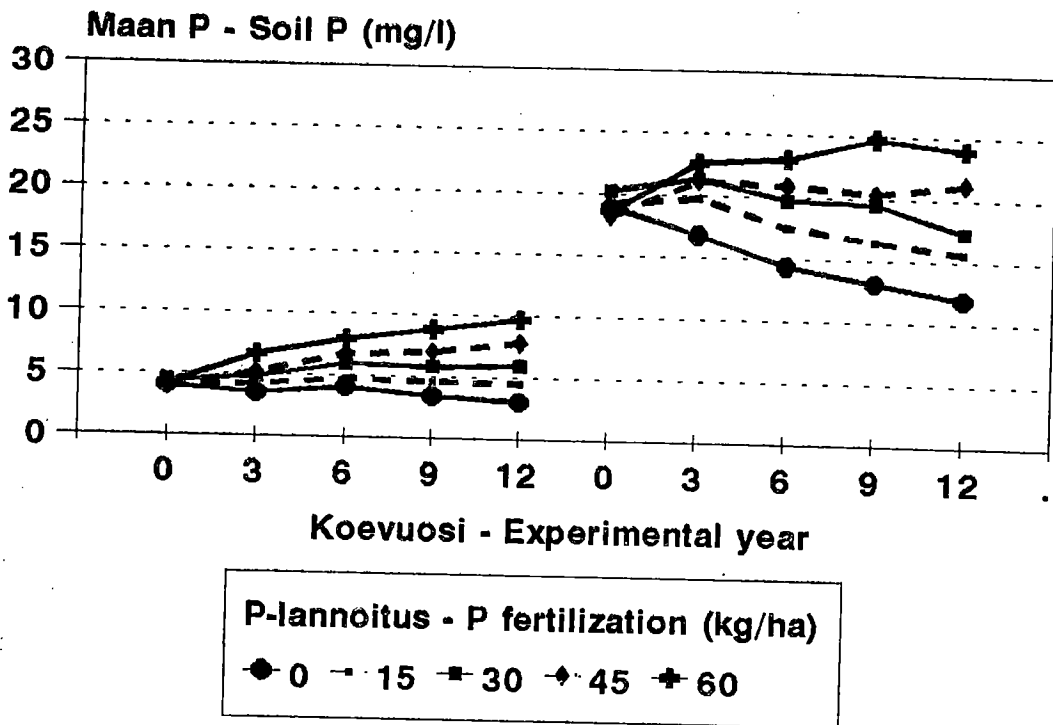
Kuvissa 9 ja 10 esitetään happamaan ammoniumasetaattiin uuttuvan fosforin pitoisuuden muutokset, kun lannoitus oli yhtä suuri kuin korjatun sadon ravinnesisältö, jolloin fosforitase oli nolla. Vastaavat maan fosforipitoisuudet ovat kahden lähimmän käsittelyn läheisyydellä painotettuja

keskiarvoja. Maan fosforipitoisuudet vaihtelivat niukkafosforisilla mailla yleensä parin yksikön verran mutta eivät pienentyneet (kuva 9). Happamampi lannoitus on mahdollinen selitys YLIHALLAN (1989) havaitsemaan asetaattiliukoisen fosforin pitoisuuden huomattavaan laskuun alhaiseltakin lähtötasolta.

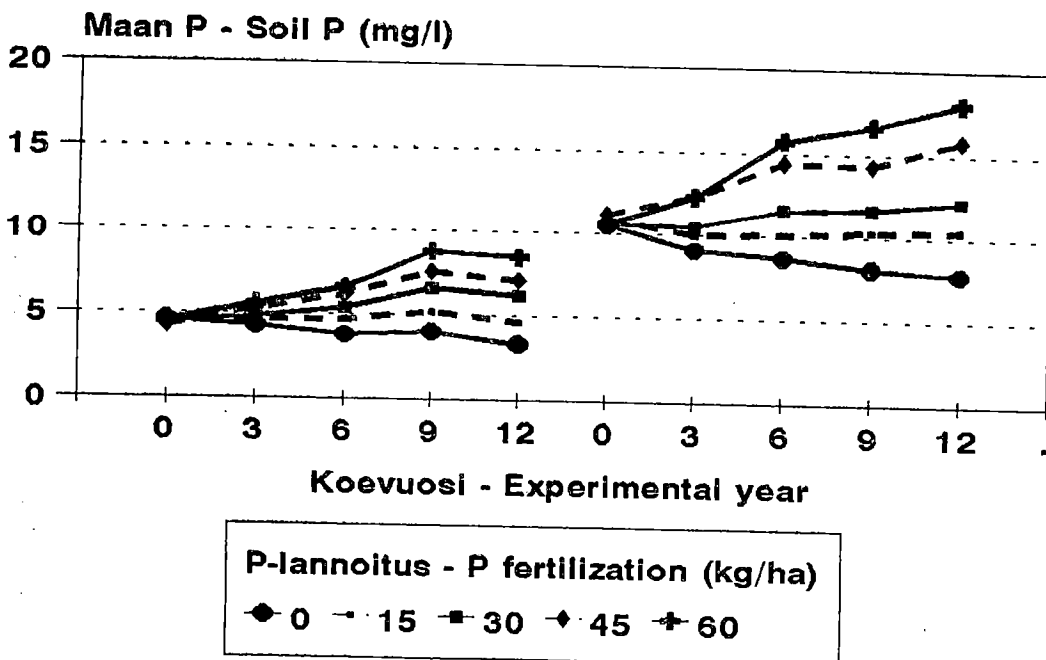
Fosforipitoisuus pysyi muuttumattomana myös useimmilla keskinkertaisilla mailla (kuva 10): hiedalla ja hiukeella kokeissa 15, 17 ja 26 sekä hietaisilla tai hiekkaisilla multamailla kokeissa 30 ja 31. Liukoinen osuus pieneni savi- ja hiesumailla kokeissa 13, 19 ja 21 sekä savisella multamailla kokeissa 29 kuten myös sen kalkitulla osalla (29,5). Kalkituksen tehottomuus fosforin liukoisuuden parantajana tai jopa negatiivinen vaikutus on tyypillistä eloperäisillä mailla (JAAKKOLA ym. 1977, SAARELA ja SIPPOLA 1987, 1990, KEMPPAINEN ym. 1993). Fosforin liukoisuus happamaan ammoniumasetaattiin voi vähentyä kalkittaussa myös runsasmultaisilla kivennäismailla (HIIVOLA 1991). Kuvasta 10 puuttuvat kaikkein runsasfosforisimmat kokeet 14 ja 25, mutta niiden kehitys nähdään liitteestä 4 ja kuvasta 1.

Kuvat 11 - 14 esittävät alussa ja lopussa mitattujen maan fosforipitoisuuksien erotuksen suhdetta kokeen aikana kertyneeseen fosforitaseeseen. Savi- ja hiesumailla kokeissa 11 ja 14 sekä multamailla kokeissa 30 poikkeavat näytteenottoa edeltävinä vuosina ilman fosforilannoitusta viljellyt jälkivaikutusrudut alaspäin. Tämä osoittaa, että lähellä näytteenottoa lisätty fosfori on uuttunut analyysissä runsaammin kuin vanhempi jäännös, kuten aikaisemmissa laboratoriokokeissakin on tapahtunut (SILLANPÄÄ 1961).

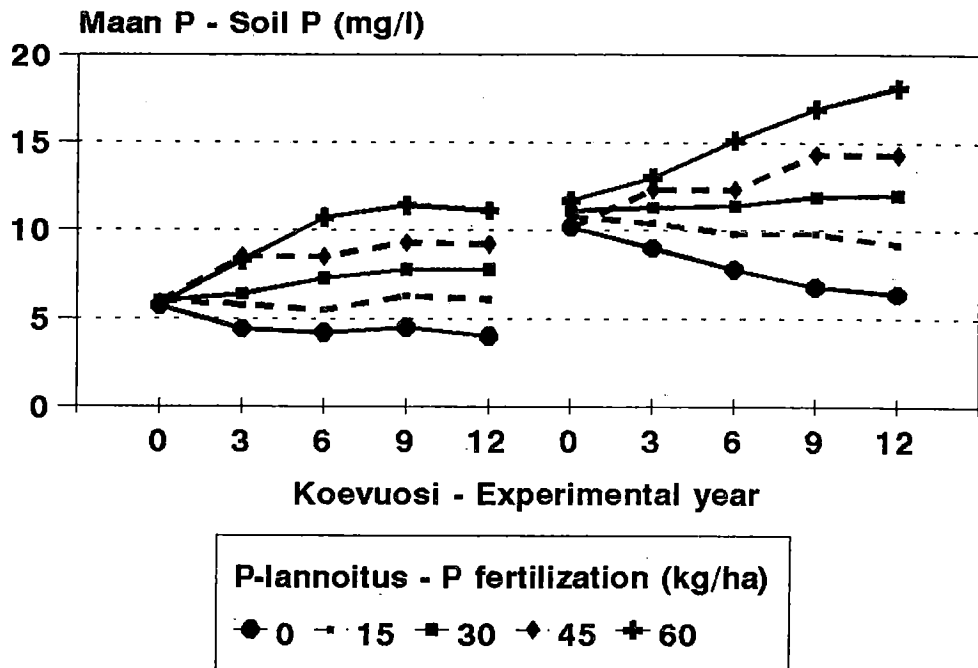
Kun lannoitustase oli nolla, sisälsivät kaikki niukkafosforiset maat helppoliukoista fosforia lopussa jokseenkin yhtä paljon kuin alussa, sillä kuvissa 11 ja 12 olevat pienet poikkeamat origosta (piste x0, y0) eivät ole tilastollisesti merkitseviä. Hienoilla runsasfosforisilla mailla viljavuuden ylläpitoon tarvittiin fosforia vuotta kohti jopa yli 20 kiloa enemmän kuin satojen mukana poistui (kokeet 13, 14, 19 ja 21). Runsasfosforisella savella (koe 14/14,5) kalkitus näyttää estäneen helppoliukoisen fosforin pidättymisen uuttumattomaksi, mutta kentän epätasaisuuden takia tulokset eivät ole kovin tarkkoja.



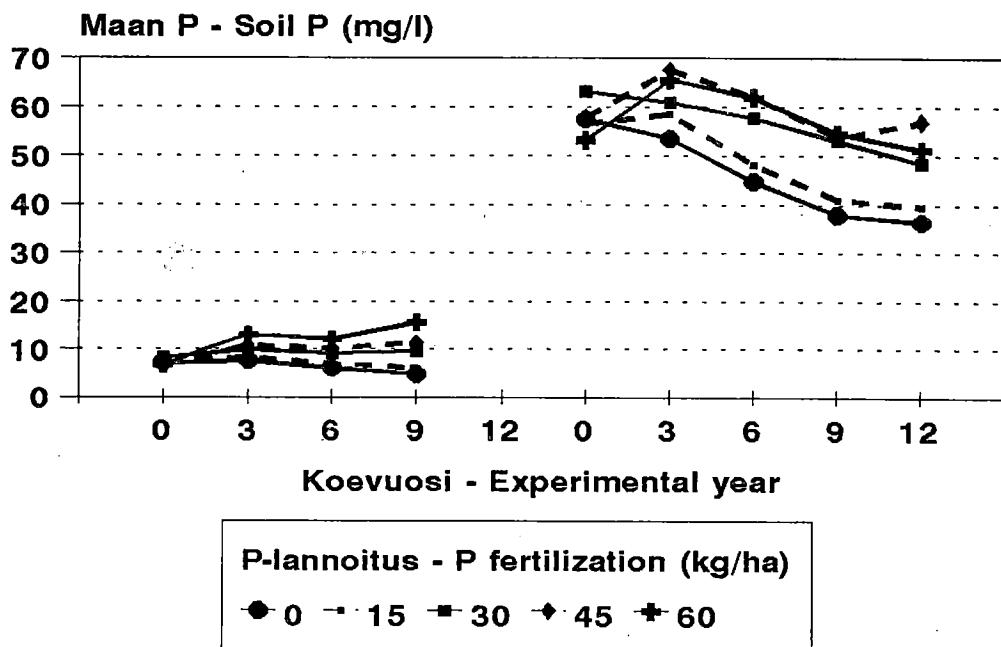
Kuva 5. Maan fosforipitoisuuden kehittyminen savi- ja hiesu-
mailla kokeissa 11, 20 ja 22 (vas.) sekä 13, 19 ja 21 (oik.).
Fig. 5. Change of soil P contents by P fertilization in clay and silt soils.



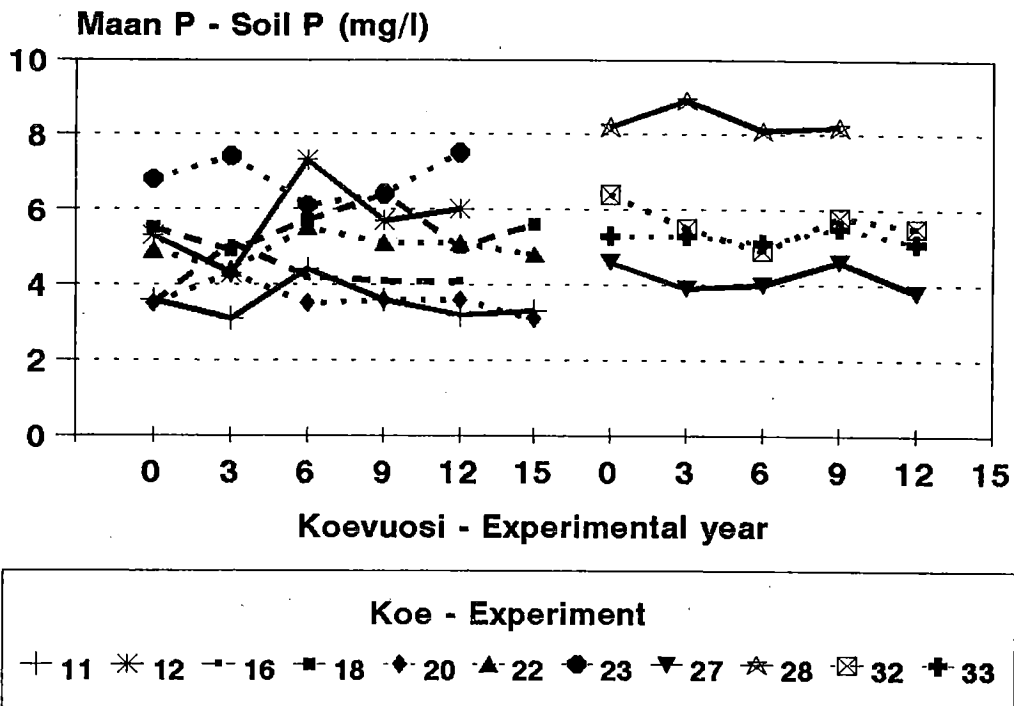
Kuva 6. Maan fosforipitoisuuden kehittyminen hieta- ja hluem-
mailla kokeissa 16, 18 ja 27 (vas.) sekä 15, 17 ja 26 (oik.).
Fig. 6. Change of soil P contents by P rates in fine sand and loam soils.



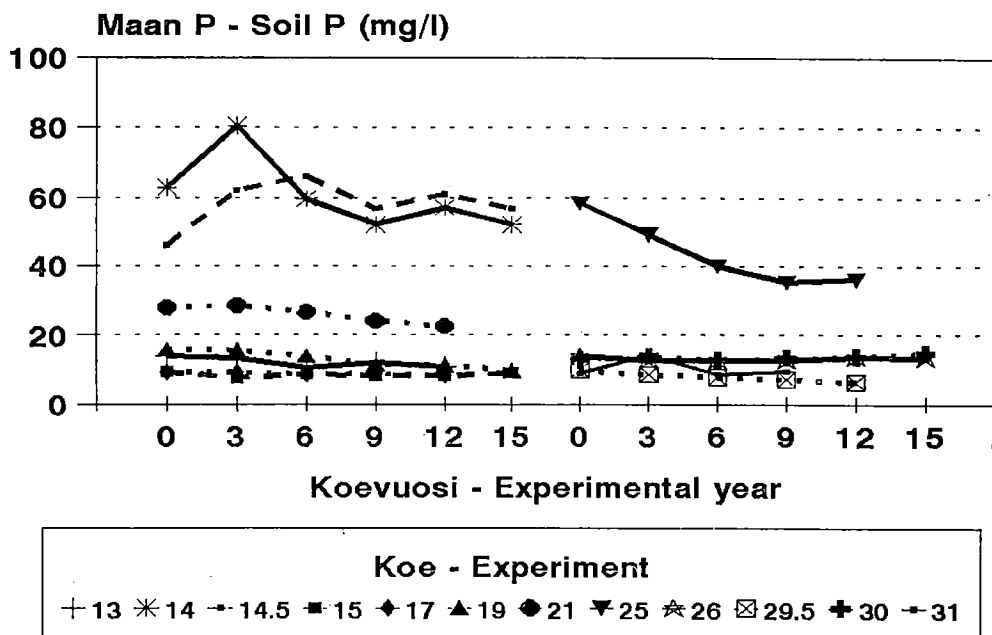
Kuva 7. Maan fosforipitoisuuden kehittyminen multa- ja turve-
mailla kokeissa 32 ja 33 (vas.) sekä 29 ja 30 (oik.).
Fig. 7. Change of soil P contents by P fertilization in mull and peat soils.



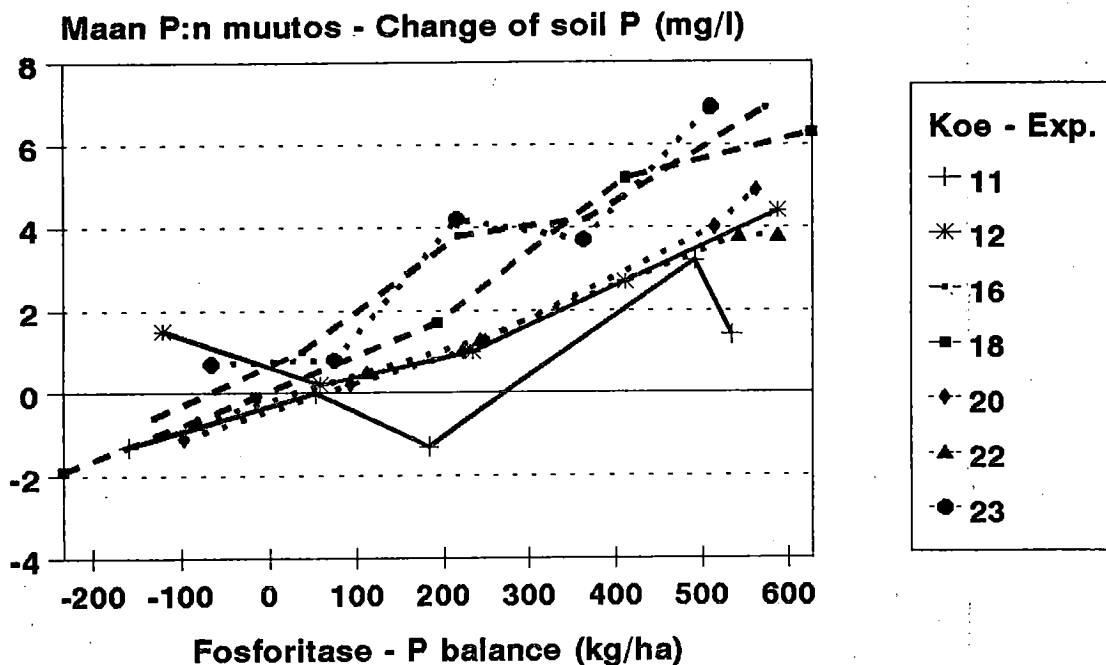
Kuva 8. Maan fosforipitoisuuden kehittyminen kokeissa
12, 23, 28 ja 31 (vas.) sekä 14 ja 25 (oik.).
Fig. 7. Change of soil P contents by P fertilization in different soils.



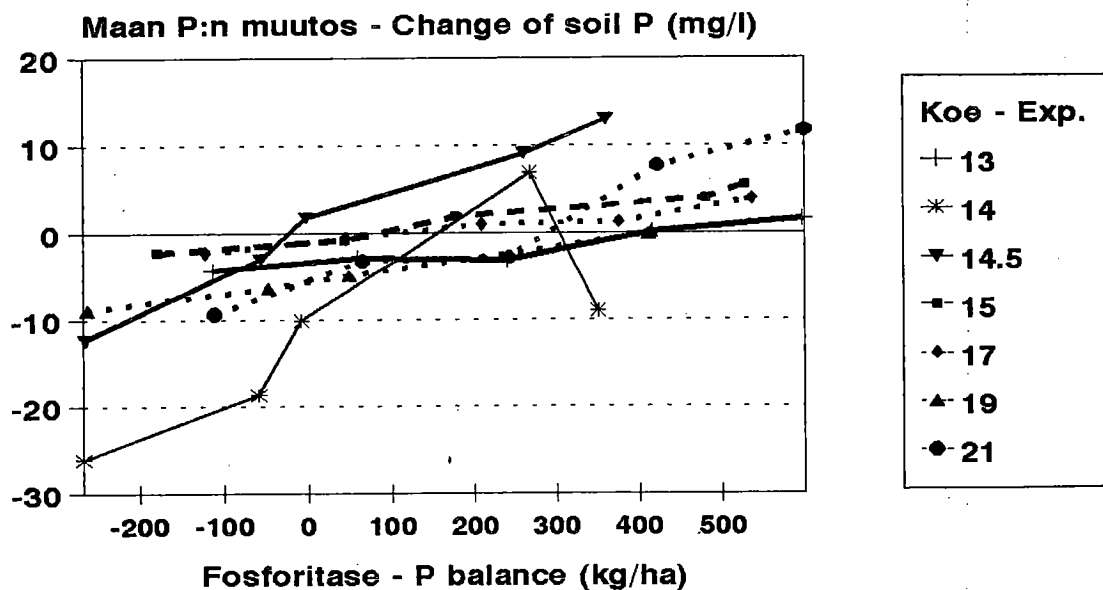
Kuva 9. Maan P-pitoisuus niukkasfosforisilla hienoilla kivennäismail-
la (vas.) sekä karkeilla ja eloperäisillä mailla (oik.) P-taseella nolla.
Fig. 9. Change of P content in low-P soils at P balance zero.



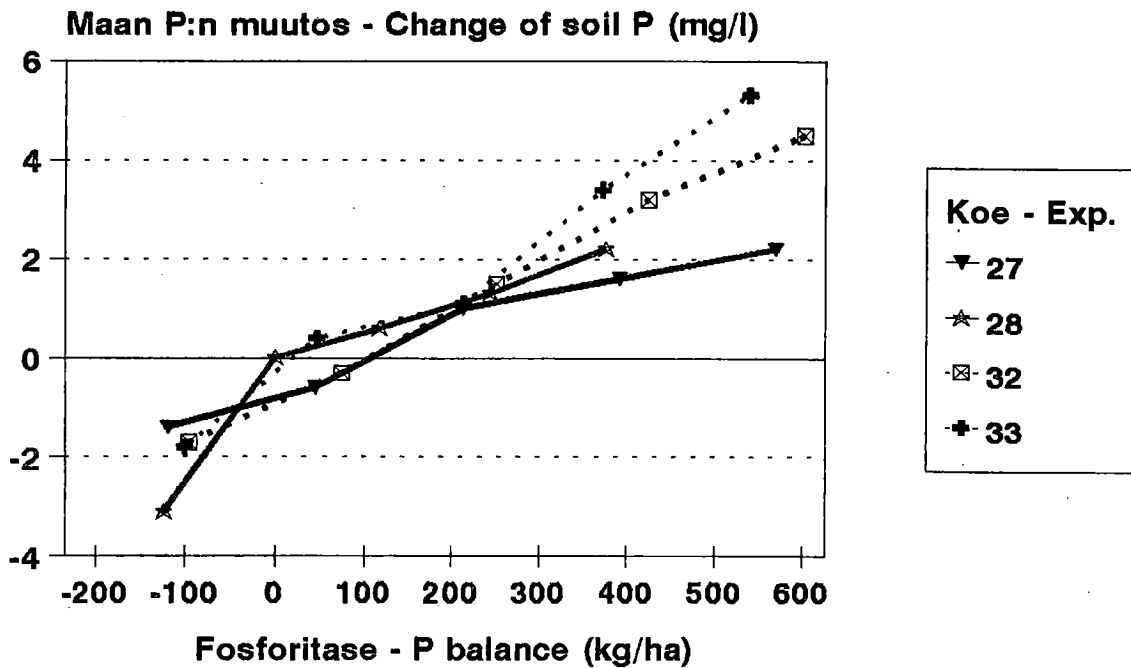
Kuva 10. Maan P-pitoisuus runsasfosforisilla hienoilla kivennäis-
mailloilla (vas.) sekä karkeilla ja eloperäisillä mailla P-taseella nolla.
Fig. 10. Change of P content in high-P soils at P balance zero.



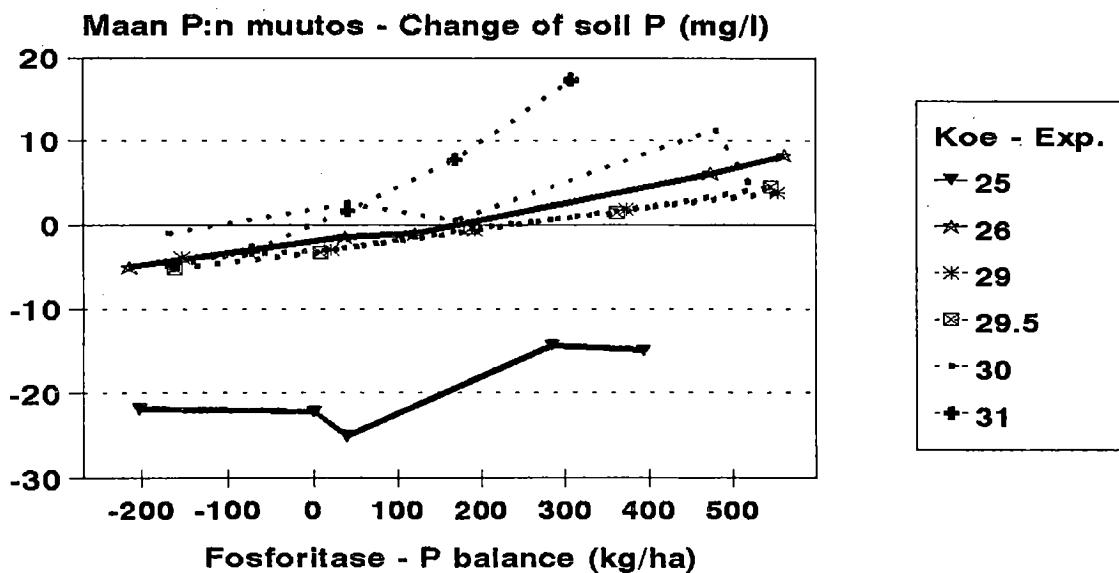
Kuva 11. Maan liukoisen fosforin muutos ja fosforitase koko koejakson aikana niukkafosforisilla hienoilla kivennäismailla.
 Fig. 11. Change of soil P vs. P balance in low-P fine mineral soils.



Kuva 12. Maan liukoisen fosforin muutos ja fosforitase koko koejakson aikana runsasfosforisilla hienoilla kivennäismailla.
 Fig. 12. Change of soil P vs. P balance in high-P fine mineral soils.



Kuva 13. Maan liukoisen fosforin muutos ja fosforitase koko koejakson aikana niukkafosforisilla karkeilla ja eloperäisillä mailla.
Fig. 13. Change of soil P vs. P balance in low-P coarse and org. soils.



Kuva 14. Maan liukoisen fosforin muutos ja P-tase koko koejakson aikana runsasfosforisilla karkeilla ja eloperäisillä mailla.
Fig. 14. Change of soil P vs. P balance in high-P coarse and org. soils.

Fosforin suhteen tyydyttävillä hiedalla (kuva 14, koe 26) ja savisella multamaalla (koe 29/29,5) tätä ravinnetta tarvittiin viljavuuden ylläpitoon 10 - 20 kg/ha enemmän vuotta kohti kuin sitä sadoissa poistui. Lähellä suurta apatiittiesiintymää sijaitsevassa Maaningan kokeessa (koe 26) fosforipitoisuus laski vain alussa, kun lannoitus korvasi sadoissa poistuvan fosforin. Karkeaa kivennäisainesta sisältävillä multamailla (kokeet 30 ja 31) sadoissa poistuvan määrän korvaaminen esti liukoisesta fosforin pitoisuuden laskun. Sen sijaan hyvin korkean lähtötason alenemista kokeen 25 karkealla hiedalla kohtuullinen lannoitus ei estänyt.

Pitkäaikaisissa ruotsalaisissa kokeissa vuosina 1957 - 80 (JANSSON 1983) ammoniumlaktaattiin uuttuvan fosforin pitoisuuden laskun estämiseen tarvittiin noin kaksinkertainen lannoitus sadoissa poistuviin määriin verrattuna. Eri koepaikkoja tarkasteltaessa tämä väite pitää paikkansa, kun maan fosforipitoisuuden lähtötaso on ollut välillä 5,4 - 8,3 mg/100 g. Alhaisella lähtötasolla (2,9 mg/100 g) ylläpitolannoituksen tarve on ollut Ruotsissakin pienempi kuin kaksi kertaa satojen mukana poistunut määrä.

Uudemmissa ruotsalaisissa kokeissa (MATTSSON ja HAHLIN 1991) on todettu, että poistuvan fosforin korvaaminen on pitänyt ammoniumlaktaattiin liukenevan fosforin pitoisuuden (4,7 mg/100 g) ennallaan kalkkitilaltaan hyvällä maalla, mutta happamalla maalla viljavuuden ylläpitoon on tarvittu runsaampi lannoitus. MATTSSONIN ja HAHLININ esittämä kaaviokuva, jossa poistuvan fosforin korvaaminen pitää maan liukoisesta fosforin pitoisuuden ennallaan, on ristiriitainen JANSSONIN (1983) esittämien tulosten kanssa. Satotason säilyttämiseen tarvitaan MATTSSONIN ja HAHLININ (1991) mukaan tätä ravinnetta noin puolitoista kertaa niin paljon kuin maan fosforipitoisuuden laskun estämiseen eli 20 - 25 kg/ha.

Samoin kuin tämä tutkimus, myös ruotsalaiset kokeet osoittavat selvästi, että maan helppoliukoisesta fosforin pitoisuuden ylläpitoon tarvittava lannoitus kasvaa fosforipitoisuuden kasvaessa. Tämän ravinteen korkea pitoisuus näyttää olevan pysymätön olotila, jonka maa pyrkii palauttamaan luonnollisemmalle tasolle. Myös muista syistä kuin fosforipitoisuudesta johtuva vaihtelu on runsas. Yleistettävissä olevien, luotettavien tulosten saanti

edellyttää siten laajaa tutkimusaineistoa. Vaihtelun syiden mahdollisimman perusteellinen tunteminen parantaa kuitenkin mahdollisuuksia yleistää tuloksia.

Viime vuosien viljavuustutkimusten mukaan (MÄNTYLÄHTI 1994, KÄHÄRI 1995) ylläpitolannoituksen tarve näyttää olevan suurempi kuin tässä tutkimuksessa. Aikaisempi maan fosforipitoisuuden kehityksen yhteenveto (SAARELA 1989a) ei siten ehkä anna oikeaa kuvaa koko maan pelloista. Ero saattaa johtua mm. siitä, että koepaikat ovat painottuneet runsasmultaisille maille (kokeet 17, 18, 23 ja 24) sekä aivan rannikolle vain satoja vuosia meriveden yläpuolella olleille ja siten heikosti maannostuneille alueille (kokeet 11, 12, 13 ja 15) ja jopa apatiittiesiintymän läheisyyteen (koe 26).

Erilaiset tulokset saattavat osittain selittyä myös tässä tutkimuksessa käytettyjen fosforilannoitteiden tavallista korkeammasta vesiliukoisuusasteesta ja typpilannoitteiden lievemmästä fysiologisesta happamuudesta. Aikaisemmat pitkäaikaiset kokeet ovat osoittaneet, että fosfori pidättyy savimaihin vaikeasti uuttuvaan muotoon (SAARELA 1983, ESALA ja LARPES 1984, YLI-HALLA 1989).

Kuva 15 esittää liukoisesta fosforin muutoksen osuutta koko fosforimäärän muutoksesta ja tämän suhdeluvun riippuvuutta maan fosforipitoisuudesta. Y-akselin "liukoisesta osan muutoksen osuus" vastaa kuvien 11 - 14 mukaisia kulmakertoimia. Lukuarvo yksi vastaa yhtä milligrammaa litrassa 200:aa lisättyä fosforikiloa kohti, kun syvyys on 20 cm.

Kuvasta nähdään, että niukkafosforisiin savimaihin kertyneestä fosforista vain yksi prosentti näkyy maa-analyysituloksissa. Karkeilla ja eloperäisillä niukkafosforisilla mailla tämä suhdeluku vaihtelee useimmiten yhden ja kahden prosentin välillä. Maan fosforipitoisuuden kasvaessa näyttää liukoisena pysyvä osuus kasvavan suorassa suhteessa pitoisuuteen ja lähes kaksinkertaistuvan yhden viljavuusluokan muutosta kohti. Poikkeuksellisen heikosti fosforia pidättävä hietainen multamaa (koe 31) erottui muista kokeista ylöspäin ja runsasfosforinen hietamaa (koe 25) poikkesi alaspäin.

3.2.4 Maan viljavuuden muut muutokset

Alussa suoritettu kalkitus nosti kyntökerroksen pH-lukua 12 vuoden kuluttua savimaalla kokeessa 14 runsaat 0,3 yksikköä ja multamaalla kokeessa 29 hiukan vähemmän (liite 2). Savimaalla kalkin vaikutus oli siten pienempi kuin KEMPPAISEN ym. (1993) esittämällä kertoimella (20 tn/pH-yksikkö) saatava 0,50 pH-yksikköä. Muutosta ovat ilmeisesti pienentäneet korkea lähtötaso ja pitkä aika kalkituksesta loppunäytteiden ottoon. Myös multamaalla pH-luku nousi hiukan vähemmän kuin kalkituskokeissa (KEMPPAINEN ym. 1993) samalla määrällä (31 tn/pH-yksikkö vastaa 0,32 pH-yksikköä/10 tn).

Savimaalla (koe 14) kalkin vaikutus näytti ulottuvan myös jankkoon, missä erot eivät kuitenkaan ole tilastollisesti merkitseviä. Jankon korkea pH-luku saattaa johtua aikaisemmasta kalkituksesta. Alueen kyntökerroksen pH-luku on ollut vuodesta 1949 lähtien noin 6,5. Kokeita 18, 22 ja 30 kalkittiin 1980-luvun alussa noin viidellä tonnilla hehtaarille, ja kalkin vaikutus näkyy pH-lukujen nousuna.

Niissä kahdessa kokeessa, joissa fosforilannoituksen vaikutus happamuuteen oli tilastollisesti merkitsevä (kokeet 21 ja 28), pH-luku oli korkein pienillä fosforimäärillä ja alhaisin suurimmalla lannoituksella. pH-luvun lasku suurilla määrillä johtunee superfosfaatin sulfaattirikin suolavaikutuksesta, joka tosin ilmeni tässä tutkimuksessa selvästi vain syvemmissä maakerroksissa (liite 2). Koekäsittelyt eivät vaikuttaneet eri maalajien keskimääräisiin pH-lukuihin (taulukot 7 ja 8).

Kalkitus suurensi vaihtuvan kalsiumin pitoisuutta molempien fosforilannoitus-kalkituskokeiden kyntökerroksessa ja savimaan jankossa sekä turpeen pohjamaassa, mutta pienensi vaihtuvan magnesiumin pitoisuutta savimaan kyntökerroksessa (liite 2). Magnesiumin väheneminen selittyy sen syrjäytymisestä vaihtopinnoilta kalsiumilla tai muuttumisesta happamuuden vähentyessä vaikeasti vaihtuvaksi.

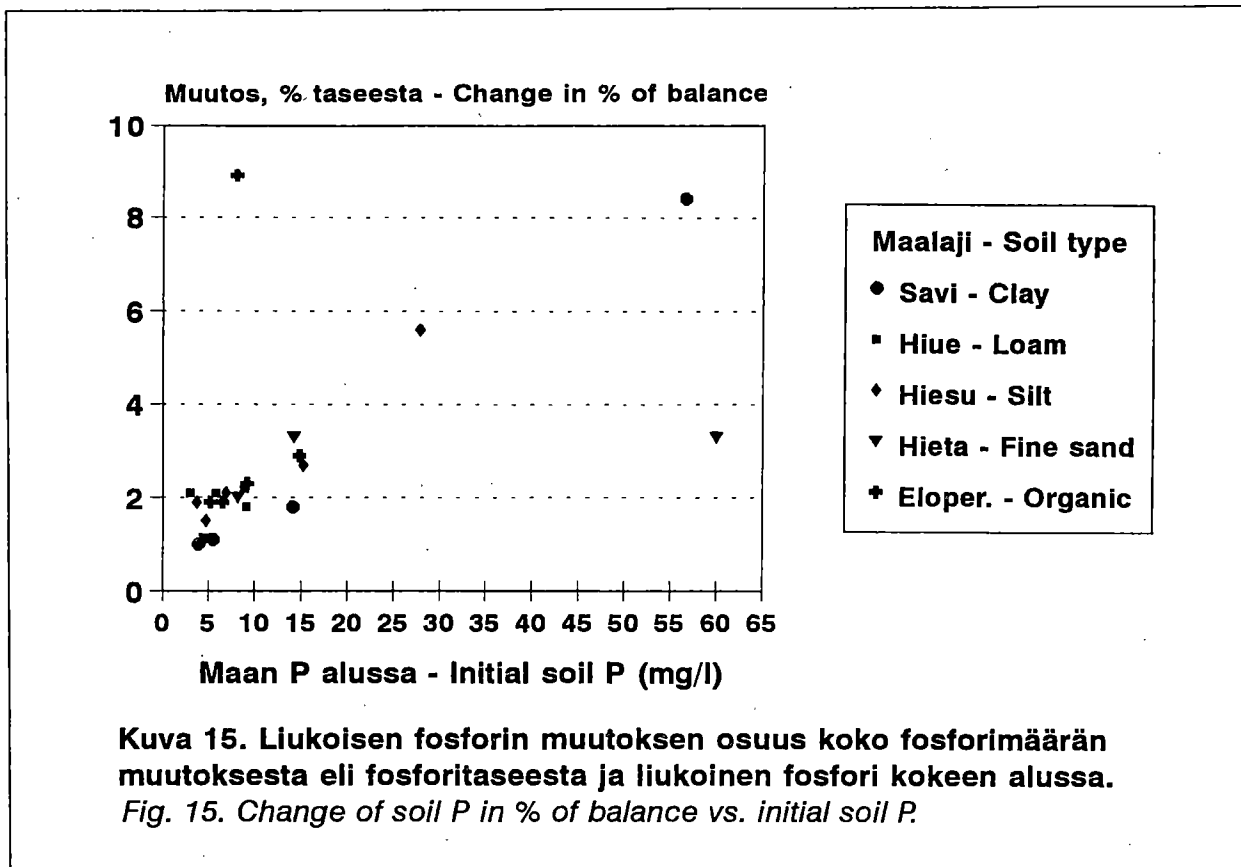
Superfosfaatin kalsiumin vaikutus tämän ravinteen pitoisuuteen näkyy sekä joissakin yksittäisissä kokeissa että maalajeittaisessa yhteenvedossa (taulukko 7). Eri maalajien keskimääräiset kalsiumpi-

toisuudet nousivat 110 - 180 mg/l eli 5 - 15 prosenttia. Muutos vastaa hehtaaria kohti 220 - 360:tä kiloa kalsiumia 20 cm:n kerroksessa ja 660 - 1080:tä kiloa sellaista maanparannusainetta, joka sisältää 33 % kalsiumia. Vaihtuvien kationien kokonaismäärä ei kuitenkaan suurentunut vastaavasti, koska kalium ja magnesium vähenivät. Kalsiumionit syrjäyttivät muita kationeja maahiukkasten negatiivisilta pinnoilta maanesteeseen, josta ne huuhtoutuivat veden mukana. Kokeeseen 25 levitettiin vuonna 1982 magnesiumia 100 kg/ha sulfaattina.

Niukkafosforisissa kokeissa 28 ja 31 heinä viljely ilman fosforilannoitusta säästi maan kaliumvaroja, koska pienet sadot sisälsivät kaikkia ravinteita vähemmän kuin riittävästi lannoitetut sadot. Kokeissa 14, 18, 19 ja 25 viljelty nurmi kulutti runsaasti tätä makroravinnetta. Kokeessa 25 kaliumin korkea alkupitoisuutta on ilmeisesti alentanut myös huuhtoutuminen. Pälkäneen kiillepitoisen hiukeen (koe 16) luontainen kaliumin runsaus näkyy siinä, että vaihtuva kalium lisääntyi koejakson aikana. Tämän melko karkean maan poikkeukselliset kaliumvarat ilmenivät selvästi viereisellä lohkollla suoritettussa nurmen lannoituskokeessa (SAARELA ym. 1981).

Vuonna 1991 määritetyt rikkipitoisuudet olivat hyvin alhaisia Jokioisten savimaalla kokeessa 14/14,5 (liite 2), jossa rikin puutos vaalensi koiranheinäkasvuston väriä (SAARELA ja HAHTONEN 1994). Liejusavea muistuttavassa, luontaisesti rikkipitoisessa kokeessa 18 tätä ravinnetta oli todella paljon, ja sen määrä kasvoi vielä superfosfaatin käytön myötä. Liiallista rikkiä voidaan epäillä varsinaiseksi syyksi sadonvähennykseen, jonka superfosfaatti aiheutti tässä kokeessa vuonna 1986.

Joillakin koepaikolla lannoitus suurensi pohjamaan rikkipitoisuutta ja johtolukua vaikuttamatta lainkaan kyntökerroksen vastaaviin lukuihin. Tulokset osoittaa sulfaatin liikkuvan maassa hyvin helposti, aivan eri tahdissa kuin maahan lujasti pidättyvä fosfaatti. Superfosfaatin rikin jokseenkin täydellinen huuhtoutuminen todettiin myös astiakokeissa, joissa tutkittiin Jokioisten kentiltä otettuja maita (SAARELA 1989b, SAARELA ja KÖYLIJÄRVI 1989).



3.3 Fosforilannoituksen aiheuttamien satoerojen kasvu

3.3.1 Satojen kehitys eri koepaikoilla

Vuosittain eri fosforimäärillä saadut sadot ja niiden kehitys on esitetty graafisesti liitteessä 5. Sadon määrän vaihtelu oli useissa kokeissa suuri. Pienet sadot johtuivat useimmiten epäedullisista sääistä. Joissakin tapauksissa huonon tuloksen syyinä voidaan pitää myös riskialtista kasvia. Epävarmoja sadontuottajia olivat herne kokeessa 12 ja syysviljat kokeessa 13, jota vaivasi lopussa myös saunakukka. Riittämätön lämpösumma ja liiallinen märkyys aiheuttivat määrällisiä ja laadullisia katoja useissa kokeissa vuosina 1981 ja 1987 sekä kevävehnällä multamaan kokeessa 29/29,5 myös vuonna 1984. Runsas fosforilannoitus ei pelastanut satoja kylminä ja märkinä kasvukausina. Sateisina vuosina suurin mahdollinen lannoitusvaikutus saatiin tavallista pienemmällä fosforimäärillä.

Kuiva alkukesä korosti fosforilannoitusten merkitystä samalla tavalla kuin 1970-luvun alussa (LARPES 1977, SAARELA 1983), vaikka kuivia vuosia esiintyiikin tutkimuksen aikana harvoin. Vuonna

1982 fosforilannoituksen tarvetta lisäsi kuivuuden lisäksi alkukesän kylmyys. Edullisin viljan fosforilannoitus oli silloin lähes kaksinkertainen aikaisempiin vuosiin verrattuna. Kokeessa 14/14,5 vuoden 1992 kehuo nurmisato johtui talvituhoista ja kuivuudesta sekä pellon kyntämisestä aikaisin tehdyn toisen niiton jälkeen.

Kokeessa 23 pieni sato johtui ilmeisesti osittain puutteellisesta ojituksesta. Kokeessa 14/14,5 vuoden 1983 syysvehnää vaivasi keltaruoste. Vuonna 1988 esiintyi merkittäviä kirjavaurioita useissa kokeissa. Kuivuus pienensi satoja poutivilla mailla pahiten vuosina 1986, 1988, 1989 ja 1992. Hiesuisten maiden vesitaloutta heikensi huono muokautuvuus keväällä. Koe 17 jäi vuonna 1984 laikoontumisen takia korjaamatta.

Satotason kehitykseen eri koepaikoilla (liite 5) vaikuttivat paitsi kasvukausien säät ja muut edellä mainitut tekijät myös kasvilajien vaihtelu. Kokeessa 12 sato suureni herneen vaihtuessa kevätiljoihin. Kokeiden 32 ja 33 laskeva satokehitys johtui happamalla turvemalla hyvin viihtyvän kauran vaihtumisesta vaateliaampaan ohraan. Kokeessa 18 loppuvuosien suuret sadot saatiin timoteista

kahdella niitolla. Sitä ennen tämän kokeen tuotto oli hyvin tasainen. ”Hyvät vuodet” osuivat kokeessa 19 alkuun ja kokeessa 29/29,5 loppuun.

Hiesuisella maalla kokeessa 20 vuonna 1991 saatiin hyvä ruissasato jopa kokonaan ilman fosforilannoitusta, vaikka kevätiljojen kasvaminen tyydyttävästi edellytti tämän ravinteiden runsasta käyttöä. Tämä tulos osoittaa, että vahvajuurinen syysvilja voi käyttää tiiviin ja poudanaran hiesusaven fosforia tehokkaammin kuin kevätiljat. Aikaisemmin kehittyvillä syysviljoilla juurten kasvu ja toiminta eivät näytä heikkenevän maan huonojen fyysikaalisten ominaisuuksien takia yhtä herkästi kuin kevätiljoilla. Tehokas fosforivarojen hyödyntäminen saattaa edellyttää juuriston kasvua syvälle ja vahvaksi jo syksyllä eli aikaista kylvöä.

Jatkuva avoviljely kapeita koneita ja yksiravinteisia lannoitteita käyttäen rasittaa maan rakennetta tavallista enemmän. Se saattoi olla osasyynä vaatimattomaan ja pienenevään satoon erityisesti hiesuisilla mailla kokeissa 20, 21, 22 sekä kokeessa 14/14,5 ennen nurmea vuosina 1986 - 1989. Jälkimmäisessä maa murustui tehokkaasti kolmivuotisen nurmen jälkeen, jolloin sadotkin paranivat. Maan humuspitoisuus laskee murmettomassa viljelyssä, kun käytetään pelkkiä mineraalilannoitteita (ESALA ja LARPES 1984, ERVIÖ 1995), mutta sillä ei todennäköisesti ole ollut suurta merkitystä näin lyhyenä aikana.

Fosforilannoituksen vaikutus lisääntyi tutkimuksen aikana lähes kaikissa kokeissa (liite 5). Päinvastainen kehitys kokeessa 13, mikä ei ole tilastollisesti merkitsevä, saattoi johtua osittain loppuvuosien heikoista sadoista. Kokeeseen 21 sopii samanlainen selitys. Perunakokeessa (koe 25) lisätyn fosforin vaikutusta huononsivat lopussa jälkivaikutusvuosien lannoitus- ja muokkaustapa sekä ravinnetasapainon vääristyminen. Useimmissa kokeissa satoerot suurenivat selvästi maan viljavuuden kehityksen mukaisesti. Kalsiumia sisältävän fosforilannoitteen jatkuva käyttö on ehkä parantanut kasvua happamalla mailla jonkin verran muillakin tavoilla kuin fosforin saantia parantamalla.

Lannoituksen vaikutus lisääntyi hitaimmin niissä kokeissa, joissa satoerot olivat alusta asti pieniä ja nopeimmin kokeissa, joissa fosforilannoitus paransi kasvua heti ensimmäisinä vuosina. Turvemailla

(kokeet 32 ja 33) ja hiekkaisella multamailla (koe 31) satoerot kasvoivat kuitenkin nolasta alkaen tavallista nopeammin. Turvemaiden kokeissa tähän kehitykseen vaikutti ilmeisesti kauran vaihtuminen vaateliaampaan ohraan. JAAKKOLAN ym. (1977) tutkimuksen 10-vuotisessa turvemaan kokeessa Ruukissa sekä kasvijärjestys että fosforilannoituksen aiheuttamat satoerot olivat melkein päinvastaiset.

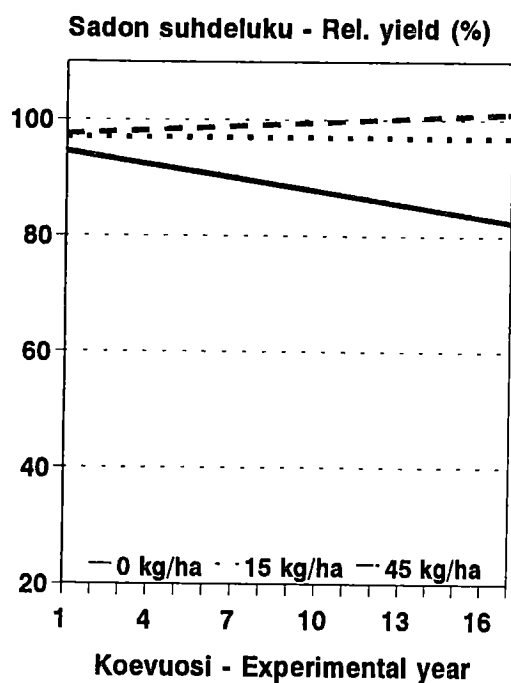
3.3.2 Satoerojen kasvu maalajeittain

Yhteenveto fosforilannoituksen aiheuttamasta satoerojen kasvusta koejakson aikana on esitetty kuvissa 16 - 23. Suhteellisten satojen erot kasvoivat hitaimmin paremmilla savi- ja hiuemailla (kuva 17). Muutos oli nopeampi niukasti helppoliukoista fosforia sisältävillä savimailla (kuva 16) sekä tämän ravinteiden suhteen keskinkertaisilla hieta-, hiesu- ja multamailla (kuvat 19, 21 ja 23). Niukkafosforisilla hieta- ja turvemailla (kuvat 18 ja 22) satoerojen kasvu oli harvemman aika-asteikon mukaisesti paljon nopeampi, lähes yhtä jyrkkä kuin niukkafosforisilla hiesuisilla mailla (kuva 20).

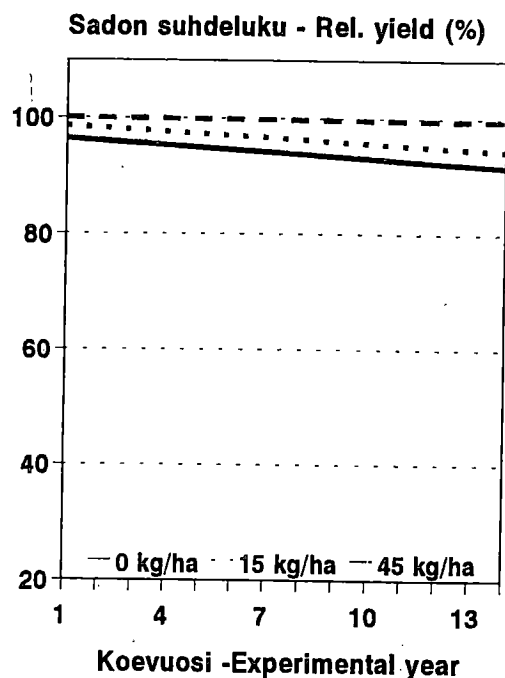
Pienin fosforimäärä 15 kg/ha vastaa keskimääräistä fosforin poistumaa sadoissa. Se tuotti keskifosforisilla mailla alussa täysiä satoja muissa kokeissa, mutta ei hiesuisilla mailla. Savi-, hiue- ja turvemailla pieni fosforimäärä riitti alussa täyteen satoon myös maan fosforivarojen ollessa niukat, mutta hiesuisilla mailla runsaampi lannoitus antoi alusta lähtien parempia satoja myös keskinkertaisella fosforitasolla. Lopussa fosforimäärän vaikutus oli vähintään kymmenen prosentin luokkaa muissa ryhmissä, mutta vain muutama prosenti savi- ja hiuemailla, samoin kuin fosforitiltaan paremmilla multamailla.

Niukkafosforisilla hiesuisilla mailla suhteellinen sato oli fosforilannoituksella 15 kg/ha lopussa alle 80 %. Mutta näiden kokeiden pienet viljasadot sisältivät fosforia tavallista vähemmän (liite 3). Kun lannoitus korvasi poistuvan fosforin, sadot jäivät näillä ongelmamailla lopussa noin puolta pienemmiksi kuin riittävää fosforilannoitusta käytettäessä.

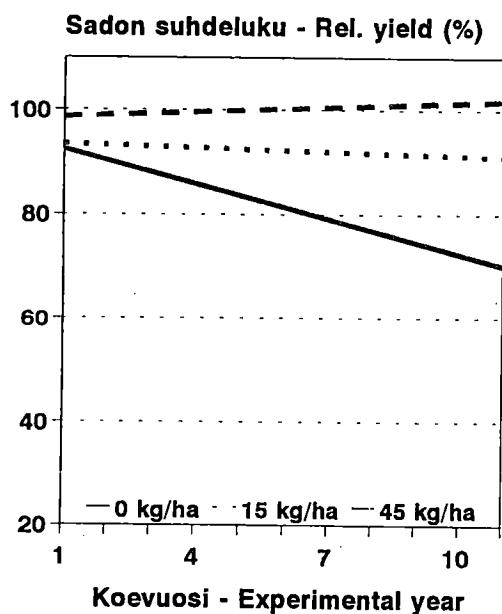
Kivennäismaiden satokehitys muistuttaa JAAKKOLAN ym. (1977) 7 - 10-vuotisten kokeiden tuloksia, joissa sekä fosforimäärän että kokeen kestoajan vaikutus oli Mietoisten liejusavella pienempi kuin Laukaan hiesumailla. YLI-HALLAN (1989)



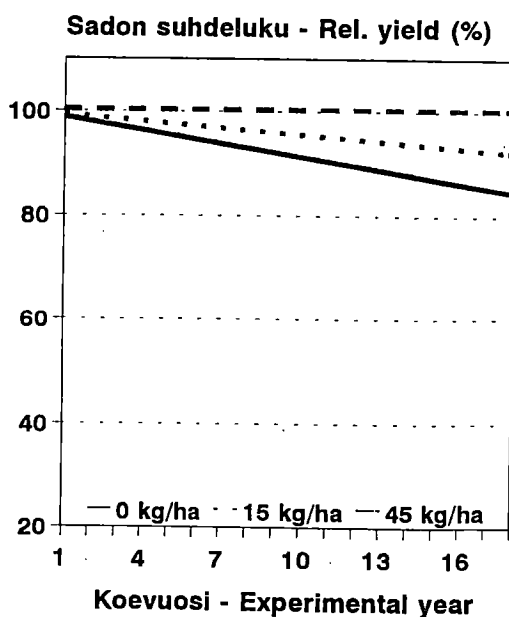
Kuva 16. P-lannoituksen vaikutus niukkafosforisissa savi- ja hiukokeissa 11 ja 16.
Fig. 16. Yield response in expts 11 and 16.



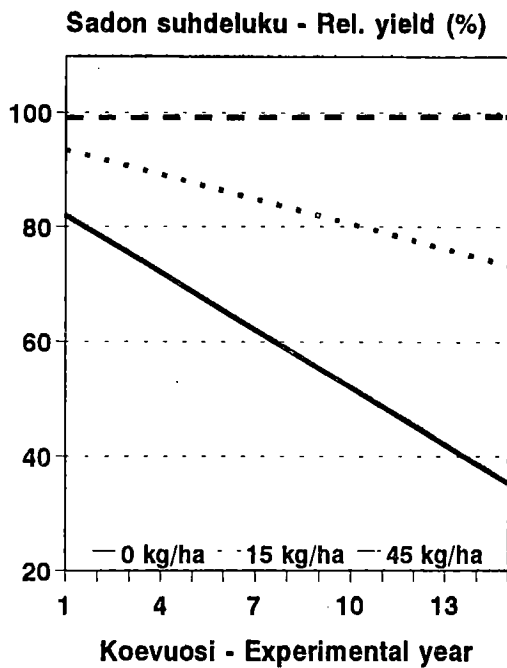
Kuva 17. P-lannoituksen vaikutus keskifosforisissa savi- ja hiukokeissa 12, 13 ja 18.
Fig. 17. Yield response in expts 12, 13 and 18.



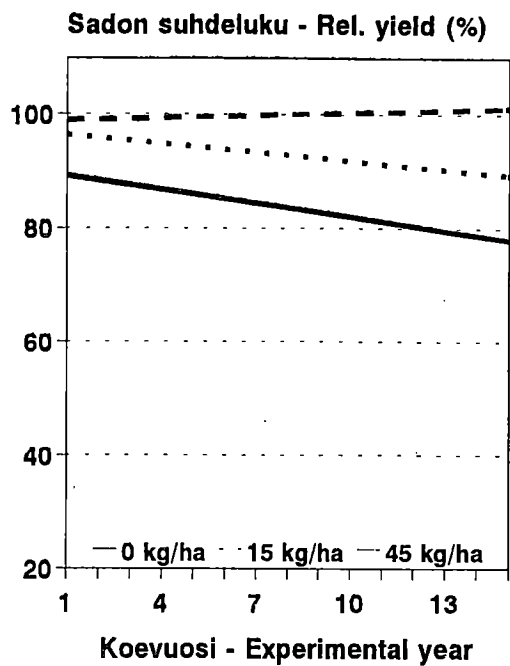
Kuva 18. P-lannoituksen vaikutus niukkafosforisissa hietakokeissa 27 ja 28.
Fig. 18. Yield response in expts 27 and 28.



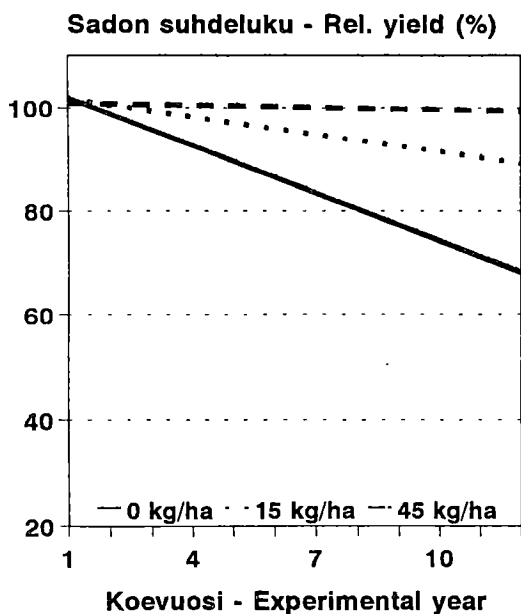
Kuva 19. P-lannoituksen vaikutus keskifosforisissa hietakokeissa 15 ja 26.
Fig. 19. Yield response in expts 15 and 26.



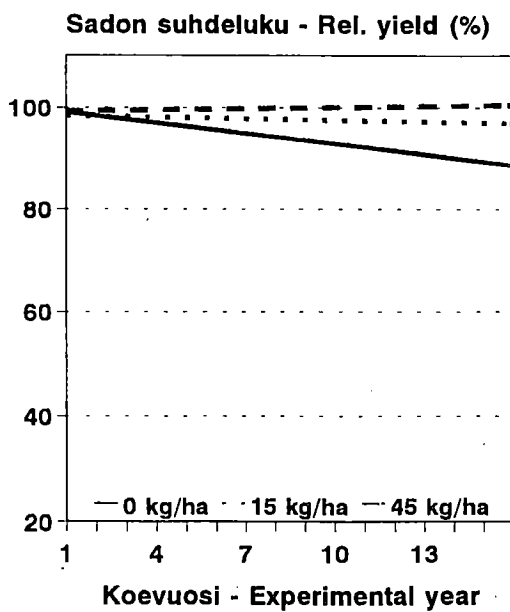
Kuva 20. P-lannoituksen vaikutus niukkafosforisissa hiesuisissa kokeissa 20 ja 22.
Fig. 20 Yield response in exps 20 and 22.



Kuva 21. P-lannoituksen vaikutus keskifosforisissa hiesuisissa kokeissa 19, 23 ja 24.
Fig. 21. Yield response in exps 19, 23 and 24.



Kuva 22. P-lannoituksen vaikutus niukkafosforisissa turvekokeissa 31, 32 ja 33.
Fig. 22. Yield response in exps 31, 32 and 33.



Kuva 23. P-lannoituksen vaikutus keskifosforisissa multamaan kokeissa 29 ja 30.
Fig. 23. Yield response in exp. 29 and 30.

Uudellamaalla Vihdin savimailla tekemässä tutkimuksessa fosforilannoituksen vaikutus lisääntyi nopeasti vahvasti happamalla kentällä (pH 5,4) ja myös lievästi happamalla savella saadut pienemmät satoerot olivat suurimmillaan lopussa. Fosforilannoituksen vaikutus kasvoi koevuosien karttues- sa myös LARPEKSEN (1977) Tikkurilan savimailla järjestämissä 12-vuotisissa kokeissa (SAARELA 1983).

3.3.3 Fosforilannoituksen jälkivaikutus

Aikaisempina vuosina annetun fosforilannoituksen jälkivaikutusta tutkittiin jättämällä antamatta lannoitukset 30 ja 60 kiloa fosforia hehtaarille. Jälkivaikutusvaihe alkoi kuudella paikalla koevuodesta 13 ja kahdella, myöhemmin perustetulla Jokioisten kentällä koevuodesta 10. Kokeissa 11, 14/14,5, 15 ja 26 jälkivaikutusvuosia kertyi kuusi, kokeessa 30 viisi, kokeissa 19 ja 22 neljä ja kokeissa 20 ja 25 kolme. Eri koepaikoilla vuosittain saadut sadot nähdään liitteestä 1. Yhteenveto kuuden kokeen tuloksista on esitetty kuvissa 24 - 26.

Niukkafosforisilla hiesuisilla mailla fosforin jättäminen pois lannoituksesta pienensi heti satoja jopa suurimmalla fosforimäärällä, jolla tätä ravinnetta oli annettu 12 * 60 kg/ha (kuva 24). Kevätviljoilla suhteelliset erot olivat vielä suuremmat kuin kuvassa, koska ruis kasvoi 13. koevuonna kokeessa 20 hyvin ilman fosforilannoitusta. Kokeessa 22 fosforin saantia paransi viimeisenä vuonna kalkitus (10 tn/ha). Toisaalta koevuosien 13 - 16 säät ilmeisesti korostivat tämän ravinteen merkitystä, koska suhteelliset satoerot lisääntyivät myös koko ajan samalla tavalla käsiteltyjen koejäsenten välillä.

Fosforilannoituksen keskeyttäminen pienensi satoja välittömästi myös paremmilla mailla kokeissa 11 ja 15, vaikka satoerot olivat aikaisemmin pieniä (kuva 25). Koevuosien 13 - 15 säät eli aikaisempaa kuivemmat kasvukaudet lisäsivät satoeroja näissä keskifosforisissa kokeissa vielä selvemmin kuin niukkafosforisilla mailla. Viimeisenä kolmena vuonna ilman fosforilannoitusta saatu suhteellinen sato oli taas hiukan suurempi. Runsasfosforisilla mailla lannoituksen keskeyttämisen välitön vaikutus oli odotetusti vähäinen (kuva 26).

Tämän tutkimuksen niukkafosforisilla mailla vuosittaisen fosforilannoituksen tarve oli selvempi kuin SALOSEN ja TAINION (1957) monivuotisissa

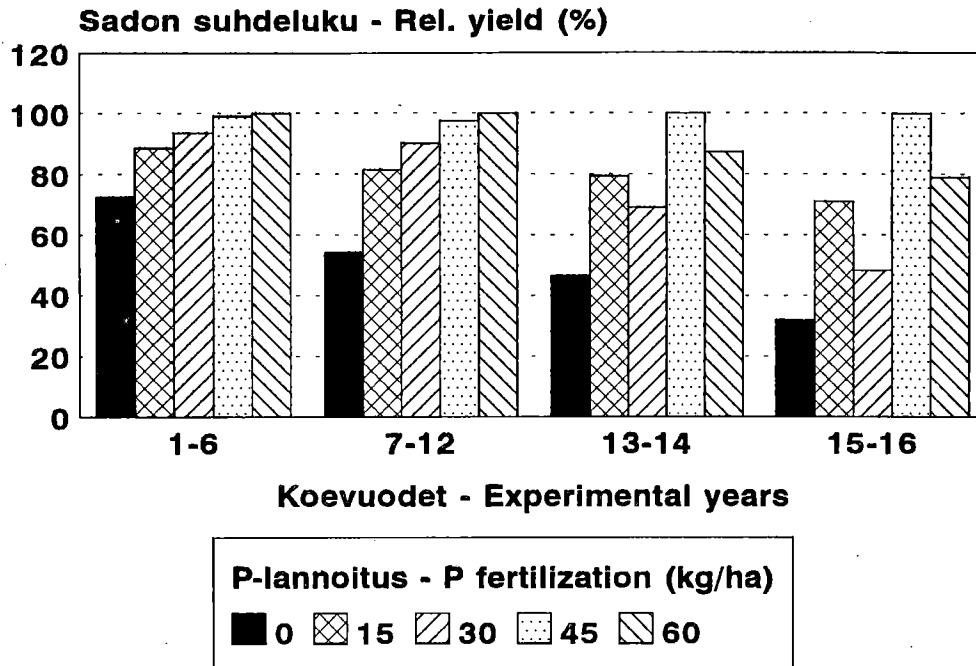
kokeissa. Toisaalta jälkivaikutus oli myös huomattavan suuri. Useiden vuotuisten lannoitusten jatkuvasti kasvava yhteinen jälkivaikutus eli kumuloituminen maahan selittää fosforilannoituksen vaikutuksen kasvuan kokeen aikana. TENNBERG (1960) on esittänyt vuosittain annetun fosforin pitkän ajan vaikutusta havainnoillisesti piirroksella. Hänen mukaansa superfosfaatin koko satoa lisäävä vaikutus on noin 2,5-kertaa lannoitusvuoden sadonlisäys.

Kun lannoite sijoitetaan juuristokerrokseen, pienten fosforimäärien tehokkuus on lannoitusvuosina kuitenkin kuvissa 24 ja 25 esitettävien tulosten perusteella parempi kuin TENNBERGIN (1960) piirroksessa, jossa seuraavan vuoden vaikutus on laskettu 60 - 70 prosentiksi edellisen vuoden vaikutuksesta. Fosforilannoituksen 30 kg/ha jälkivaikutus laskee vajaan kahdessa vuodessa pienemmäksi kuin puolta pienemmän jatkuvan lannoituksen vaikutus, mutta jälkivaikutus kesti kuitenkin koko kuuden vuoden seuranta-ajan (kuvat 24 ja 25). Lannoitusta seuraavana vuonna pienen fosforimäärän vaikutus on siten enintään noin neljännes tällöin sijoitetun yhtä suuren tuoreen lannoituksen vaikutuksesta. Toisaalta jälkivaikutus kestää vielä kauemmin kuin TENNBERGIN (1960) laskelmissa mukana olevat 4 - 6 jälkivaikutusvuotta.

Suurimman lannoituksen (60 kg/ha) jälkivaikutus ylitti neljä kertaa pienemmän jatkuvan lannoituksen vaikutuksen 5 - 6 vuotta, ja suurempi määrä oli yhtä fosforikiloakin kohti jälkivaikutusvuosina hiukan tehokkaampi kuin pienempi määrä. Kun lannoitusvuoden vaikutus pienenee vähenevän lisätuoton lain mukaisesti fosforilannoituksen kasvaessa, jälkivaikutuksen osuus koko vaikutuksesta lisääntyy annetun fosforimäärän suurentuessa

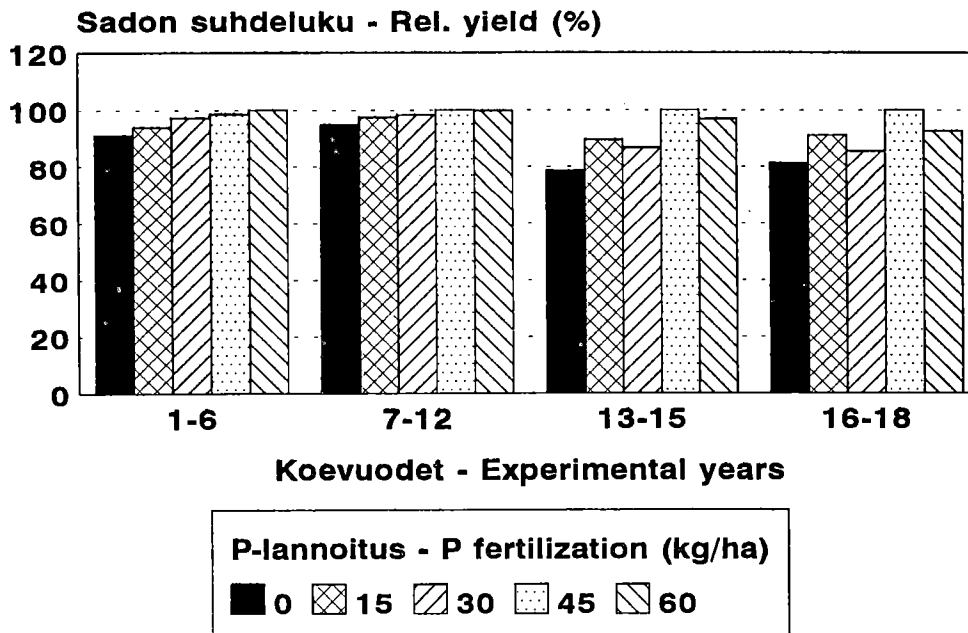
3.3.4 Jälkivaikutus NK- ja NPK-lannoituksella

NK- (tai N-) ja NPK-lannoitusta verrattiin osaruuduilla viljalla tai rypsiillä viimeisenä kolmena vuonna kokeissa 11, 15 ja 26 sekä yhtenä vuonna kokeissa 14/14,5 ja 22. Kokeessa 14/14,5 osaruutujen vertausta alkoi jo syysvehnällä, mutta NPK-lannoitteena annetun fosforilannoituksen (14 kg P/ha) tehottomuuden ja koevirhettä lisännen pahan lakoontumisen takia tulokset jätettiin julkaisematta. Näin tehtiin myös kokeen 30 viimeisen kahden vuoden osaruutujen tuloksille, jotka eivät



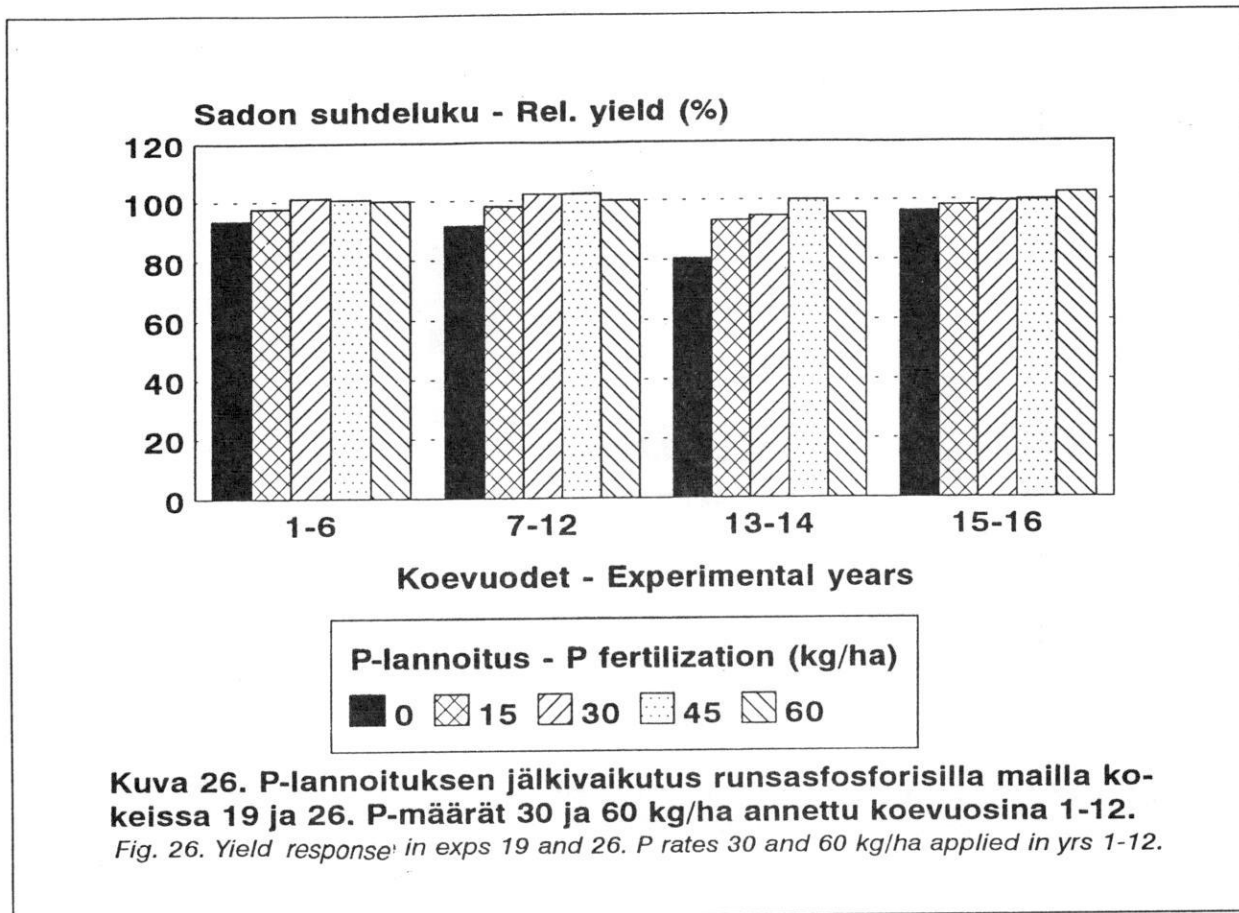
**Kuva 24. P-lannoituksen jälkivaikutus niukkafosforisilla hiesuisilla mail-
la kokeissa 20 ja 22. P-määrät 30 ja 60 kg/ha annettu koevuosina 1-12.**

Fig. 24. Yield response in exps 20 and 22. P rates 30 and 60 kg/ha applied in yrs 1-12.



**Kuva 25. P-lannoituksen jälkivaikutus keskifosforisilla mailla kokeis-
sa 11 ja 15. P-määrät 30 ja 60 kg/ha annettu koevuosina 1-12.**

Fig. 25. Yield response in exps 11 and 15. P rates 30 and 60 kg/ha applied in yrs 1-12.



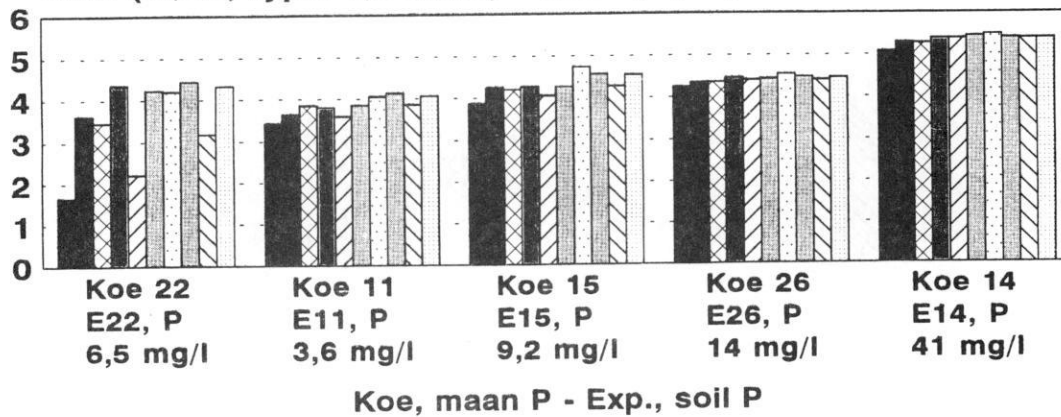
olleet täysin johdonmukaisia. Vertailtavien käsittelyjen lisäämisen ohella moniravinteisten lannoitteiden käytöllä pyrittiin paremmin käytäntöä vastaavaan viljelyyn ja vähentämään maata rasittavaa ajoa pellolla.

Alkuperäiset osaruutujen satotulokset on esitetty liitteessä 8, josta nähdään myös keskisadot koevuosittain ja kokeittain. Kaikkien viiden kokeen tulokset nähdään kuvasta 27 ja kolmen kokeen keskiarvot kuvasta 28. Fosforia 16 - 25 kg/ha sisältävän Y-lannoksen käyttö ei tasoittanut erillisen fosforilannoituksen aiheuttamia satoeroja niin tehokkaasti kuin olisi voinut odottaa. Merkitsevä satoero säilyi ensimmäisenä vuonna jopa kokeessa 26, jossa suurimmatkin satoerot olivat vain runsaat kymmenen prosenttia. Englantilaisissa kokeissa hyvin pitkäaikaisen, jopa yli sata vuotta jatkuneen fosforin ryöstön vaikutus ei ole korvautunut runsaallakaan vuotuisella fosforilannoituksella (JOHNSTON ja POULTON 1992). Tässä tutkimuksessa kestävä jälkivaikutus, jota ei nykyisin suositeltava vuotuislannoitus kokonaan tasoittanut, kehittyi jo 12 vuodessa.

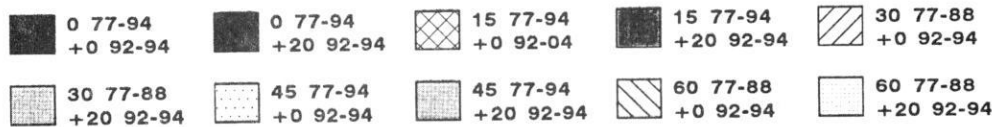
Kokeessa 11 NPK-lannoitteen fosfori oli huomattavan heikkotehoista. Sijoitetun fosforin saantia on todennäköisesti vaikeuttanut tämän Mietoisten kentän maalaji eli melko vähämultainen aitosavi. Lannoiterivi voi ilmeisesti nimenomaan karkeamuruudessa savimaassa peittyä liian löyhästi ja kuivua siinä määrin, että juuret eivät saa aikaisessa orasvaiheessa siitä juuri lainkaan fosforia, joka liikkuu maassa hitaasti. Lannoiterakeista nopeasti maanesteseen liukenevat nitraatit ja kloridit voivat ehkä aiheuttaa fysiologista kuivuutta ja tavallaan eristää hitaammin liikkuvan fosfaatin suolalla. NPK-lannoitteiden fosforin tehottomuus aikaisella orasasteella todettiin ohralla niukkafosforisella savimaalla Jokioisissa vuonna 1991 (SAARELA 1992d).

Lannoiterivin tiivistäminen tehostaa Jokioisissa vuonna 1993 tehtyjen havaintojen mukaan fosforin saantia kuivissa oloissa. Vuosina 1994 ja 1995 voitiin tehostaa lannoituksen vaikutusta ja edistää kasvien alkukehitystä jakamalla lannoiterivi kolmeen osaan muotoilemalla kylvölannoittimen lannoitevantaita. Lannoitevantaisiin tehtiin siivekkeet, jotka ohjaavat osan lannoitteesta noin neljä senttimet-

Sato (tn/ha, rypsi 0,5 tn/ha) - Yield (tn/ha)



P-lannoitus - P fertilization (kg/ha)



Kuva 27. Vuosina 1977-88 annetun sekä satovuosina riviin sijoitetun superfosfaatin ja kylvössä sijoitetun NPK-lannoitteen vaikutus v. 1992-94.

Fig. 27. Yield response in 1992-94 to P applied in different times.

riä sivuun molemmille puolille ja vähän matalampaan. Näin saatiin osa lannoitteesta jyräpyörän tiivistettäväksi ja lähemmäksi siemeniä, mikä näyttää olevan eduksi varsinkin pienisiemenisellä rypsilä.

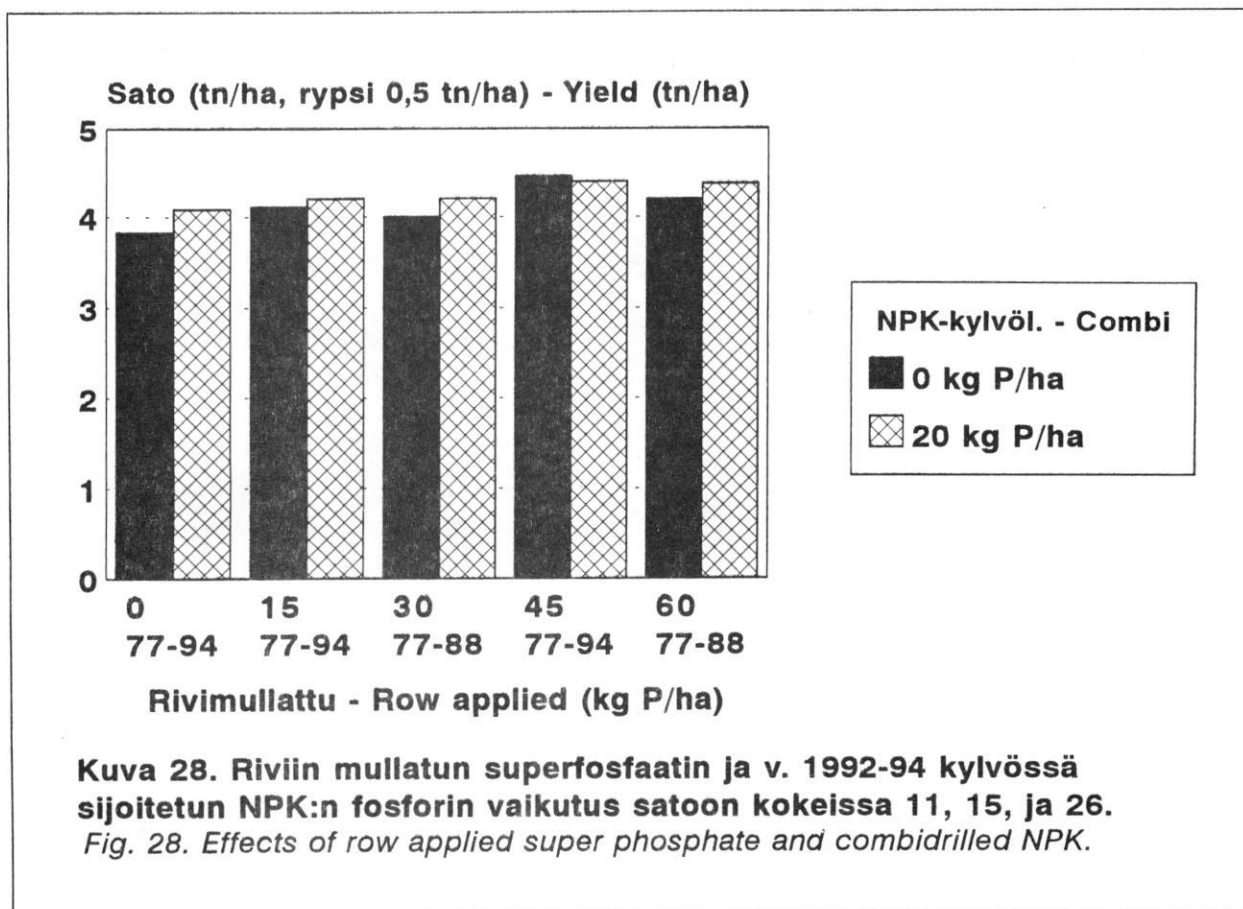
Siemenriviin lisätty starttifosfori on vaikuttanut tehokkaasti Etelä-Pohjanmaalla (JÄRVI 1995). Etelä-Suomen savimailla starttifosfori tulisi ilmeisesti sijoittaa hiukan syvemmälle kuin siemenet (SAARELA ja SAARIKKO 1993). Etelä-Suomen kivennäismailla fosforin merkitys korostuu alkukesän ollessa kuiva, jolloin matalaan sijoitettu lannoite ei tehoa hyvin. Kosteissa ja viileissä oloissa lannoitteen sijoitus lähelle pintaa tai matala multa on edullisin (DIBB ym. 1990). Syysviljoille ja nurmea varten suojaviljalle annettava fosfori kannattaa sijoittaa tai mullata melko matalaan (SAARELA ym. 1988).

Mietoisten hietamaalla kokeessa 15 moniravinteisen lannoitteen fosforin teho oli jonkin verran parempi kuin savella (kuva 27). Hiedan hienempi kylvöalusta ja kapillaarisuus on ilmeisesti pitänyt lannoiterivit kosteampina, jolloin juuret ovat kasvaneet lähemmäksi lannoiterakeita ja saaneet niistä

liukenevaa fosforia paremmin. Toholammin hiesuisella hiedalla kokeessa 22 vuonna 1992 NPK-lannoitteen fosforin teho oli hyvä, mutta se ei kuitenkaan kokonaan tasoittanut suuria satoeroja.

Myös runsasfosforisella Jokioisten savimaalla kokeessa 14 NPK-lannoitus tuotti vuonna 1994 tilastollisesti merkitsevästi parempia kevätehnäsatoja kuin NK-lannoitus (kuva 27). Kalkitus näytti poistavan fosforilannoituksen tarpeen, mutta pellon epätasaisuuden takia kalkittujen ruutujen tulokset eivät ole täysin johdonmukaisia (liite 8). Jotta voitaisiin tarkemmin selvittää kalkituksen aiheuttaman fosforin saannin paraneminen, koetta tulisi jatkaa muutamalla vuodella ja lisätä siihen toinen kalkitustaso. Tämä käsittely voidaan tehdä puolittamalla alkuperäiset 24 metrin pituiset ruudut.

Aikaisempien vuosien fosforilannoituksen jälkivaikutuksen jatkuminen myös NPK-lannoituksen kanssa korostaa maan viljavuuden ylläpidon merkitystä. Kolmessa kokeessa kolmena vuonna runsaalla fosforilla (45 - 60 kg/ha) saatu parinsadon kilon sadonlisäys verrattuna niukka (15 - 30 kg P/ha) lannoitukseen suurentaa taloudellisesti edul-



lisinta fosforimäärää huomattavasti. Yhdeksän satoa kolmelta koepaikalta käsittävä aineisto on kuitenkin suppea yleistettäväksi.

Pitkäaikaisen runsaan fosforilannoituksen edullisen vaikutukseen liittyvien tekijöiden perusteellinen selvittäminen ei ole käytössä olevien tietojen avulla mahdollista, mutta joitakin perusteltuja oletuksia voidaan esittää. Maan viljavuuden kehityksellä on varmasti vaikutusta tuloksiin. Kyntökerroksen alapuolisen maan fosforipitoisuuden muutokset (taulukko 8, liite 2) saattavat olla niiden hitaudesta ja osittain epävarmaksi jääneestä määrittämisestä huolimatta tärkeitä. Riittävän pitkän ajan kuluessa saattaa olla merkitystä jopa syvempien kerrosten ravinteiden säästymisellä kyntökerroksen hyvän viljavuuden ansiosta (KÄRBLANE 1971).

Syvältä kosteasta maasta saatava fosfori on ilmeisesti tärkeää pitkinä poutakausina, jolloin kuivan kyntökerroksen ravinnevarat eivät ole kasvien saatavilla. Maan kuivuminen haittaa pahiten fosforin kaltaisten lujasti maahan pidättyvien ravinteiden ottoa (NYE ja TINKER 1977, BARBER 1984). Joki-

oisten savimaan kokeessa 14/14,5 vuonna 1992 koiranheinän heikon toisen sadon fosforipitoisuus oli pieni mutta typpipitoisuus suuri. Sadon N/P-suhde oli siten paljon normaalia suurempi eli noin 13. Pitkinä kuivina kausina kasvit voivat kärsiä fosforin puutetta, vaikka kyntökerroksen fosforipitoisuus olisi hyvinkin suuri.

Kun juurten kasvu lisäksi painottuu eri syvyyksiin paljolti niiden fosforitilan mukaisesti, syvempien kerrosten fosforipitoisuuden lisäys saattaa suurentaa sinne kasvavan juuriston osuutta ja parantaa näin kasvien poudankestävyyttä. Satojen suureneminen pohjamaan fosforitilan parantuessa on siten teoreettisesti mahdollista siinäkin tapauksessa, ettei fosforin niukkuus lainkaan rajoita kasvua. Jälkivaikutukseen ei liity väkevien lannoitteiden aiheuttamia myrkyvaikutuksia, jotka voivat olla joissakin oloissa merkittäviä (JOKINEN ja SIMOJOKI 1972, BAILEY ja GRANT 1990, SAARELA ja SAARIKKO 1993).

Pitkäaikaisissa kenttäkokeissa toistuva muokkaus aiheuttaa pintamaan sekoittumista viereisten ruutujen kesken (SIBBESEN 1986). Aikaisempina vuosi-

na annetun fosforin kulkeutumisella viereisiltä lannoitetuilta kaistoilla on saattanut olla lopussa jonkin verran merkitystä vertailuruuduilla, joita viljeltiin fosforia lisäämättä. Ilman maan sekoittumista satoerot olisivat olleet lopussa jonkin verran suurempia. Nettoruutujen väliin korjaamatta jätetyt kaistat ovat kuitenkin vähentäneet tämän virheen ilmeisesti melkein merkityksettömäksi.

3.3.5 Jälkivaikutus perunalla NK- ja NKP-lannoituksella

Perunalla verrattiin NK- ja NPK-lannoitusta osaruuduilla pitkäaikaisessa kokeessa vuosina 1990 ja 1992 eli koevuosina 10 ja 12. Typpi ja fosfori sijoitettiin istutuksen yhteydessä oulunsalpietarina ja raedappina siemenmukuloiden kummallekin puolelle noin kymmenen senttimetriä sivulle ja vähän niitä syvemmälle. Kaliumin lähteenä käytetty kaliumsulfaatti sijoitettiin erillisellä ajolla rivilannoittimella. Vuosina 1987 - 1989 tehdyissä kokeissa (koe 35) käytettiin superfosfaattia, oulunsalpietaria ja kaliumsulfaattia, jotka sijoitettiin rivilannoittimella. Kukin fosforitaso sisälsi kolme kaliumtasoa ja siten kaikkiaan 12 kerrannetta. Koe oli vuosina 1987 - 1988 samalla paikalla ja vuonna 1989 uudella paikalla. Perunakokeiden tulokset on esitetty liitteessä 6.

Monivuotisessa kokeessa 25 esiintyi ensimmäisenä koevuonna eli sadekesänä 1981 magnesiumin puutoksen oireita. Vuonna 1982 annetun magnesiumlannoituksen (100 kg Mg/ha) ja suuren kaliumpitoisuuden pienenemisen jälkeen näkyvää magnesiumin puutosta ei esiintynyt. Vuosina 1990 - 1991 sadon magnesiumpitoisuus oli kuitenkin jopa pienempi kuin alussa (liite 6). Aikaisemmissa lannoituskokeissa perunoiden magnesiumpitoisuudet ovat olleet suurempia (VARIS 1972c, JAAKKOLA ja VOGT 1978a, 1978b, SYVÄLAHTI ja KORKMAN 1978a, 1978b).

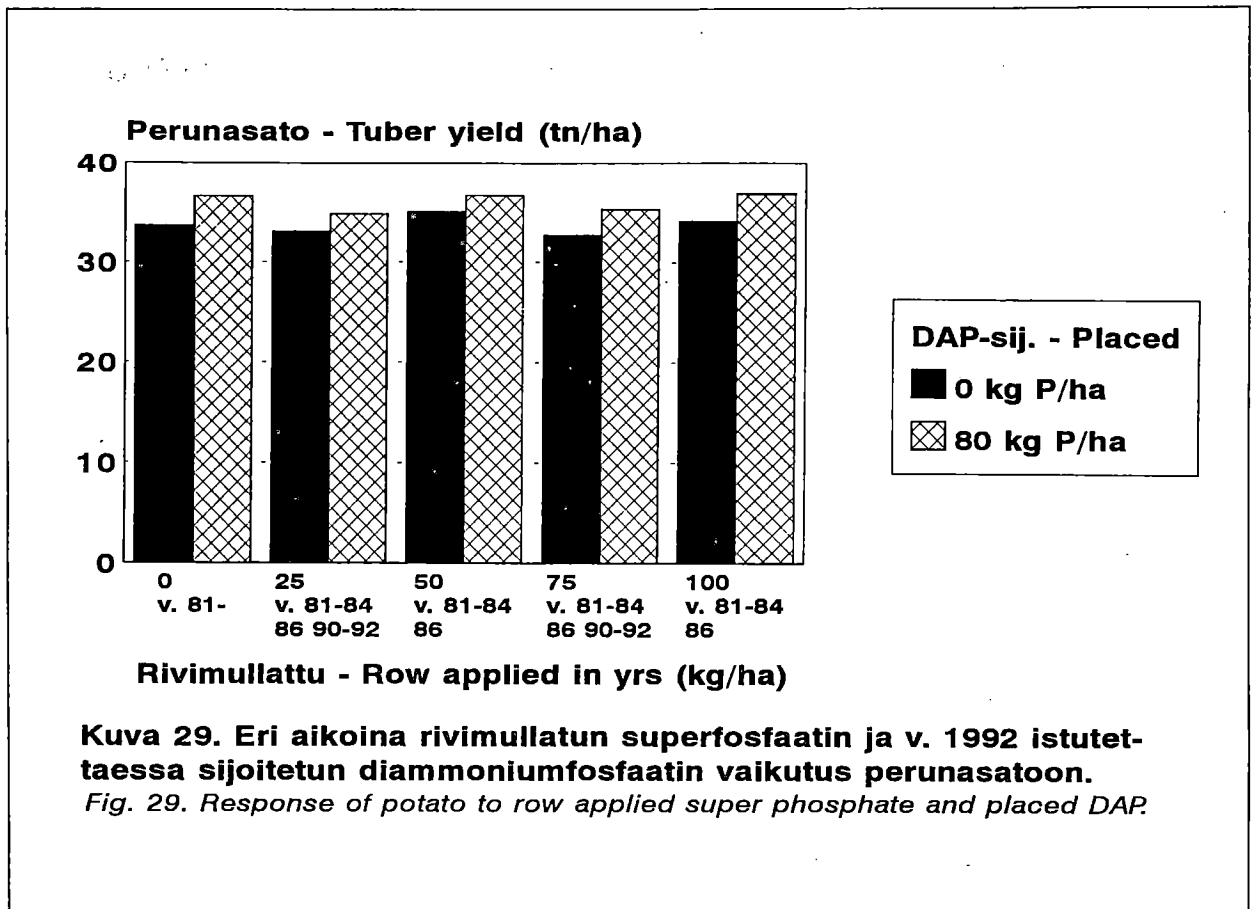
Vuonna 1990 perunoiden tärkkelyspitoisuus oli ammoniumfosfaattia sisältävää raedappia käytettäessä 1,1 prosenttiyksikköä pienempi kuin oulunsalpietaria käytettäessä, ja osaruutukokeen ansiosta ero oli tilastollisesti erittäin merkitsevä (todennäköisyys yli 99,9 %). Raedapin aiheuttama tärkkelyspitoisuuden pieneneminen johtui ilmeisesti pääosin ammoniumina olevasta tyypestä, joka pienensi mukuloiden magnesiumpitoisuutta merkittävästi verrattuna oulunsalpietarilla kasvatettuun satoon.

Myös runsas superfosfaatin käyttö pienensi mukuloiden magnesiumpitoisuutta vuosina 1990 ja 1991, jolloin se pienensi magnesiumin ja kaliumin suhdetta perunasadossa noin viidellätoista prosentilla ja tilastollisesti merkitsevästi. Näiden kationien suhteen muutos maassa ja kasvissa on saattanut huonontaa superfosfaatin vaikutusta kokeen lopussa. Se on siten mahdollinen selitys satoerojen kehittymiseen useimmista muista kokeista poikkeavalla tavalla. Suurimmat superfosfaattimäärät pienensivät sadon magnesiumpitoisuutta selvästi joissakin nurmikokeissa (liite 7). Tämä vaikutus on mahdollinen selitys tilastollisesti merkitseviin sadonvähennyksiin myös viljalla niissä tapauksissa, joissa magnesiumin saanti on ollut niukka (ohra kokeessa 15 sateisena vuonna 1984 ja kokeessa 18 vuonna 1986).

Kuivana vuonna 1992 kahdenarvoisten magnesium-kationien saanti maasta oli parempi ja sadon magnesiumpitoisuus suurempi, mutta fosfaatti-ionien saanti vaikeampaa ja sadon fosforipitoisuus pienempi. Tällöin ammoniumfosfaatti suurensi mukula- ja tärkkelyssatoa lähes kymmenellä prosentilla ja tilastollisesti erittäin merkitsevästi (kuva 29). Lyhytaikaisessa kokeessa 35 fosforilannoituksen vaikutus satoon oli alle viisi prosenttia (liite 6). Fosforin tarve oli pienin sateisena kesänä vuonna 1987. Vuosien 1988 ja 1989 yhdistetyissä tuloksissa sekä mukula- että tärkkelyssadon lisäykset olivat tilastollisesti merkitseviä yli 98 prosentin todennäköisyydellä.

Osittain jopa negatiivisista fosforilannoituksen vaikutuksista huolimatta tulokset vahvistavat aikaisemmin esitettyä käsitystä siitä (SAARELA 1987), että tehokkaana sadontuottajana mutta heikkojuurisena kasvina (SALONEN 1949) peruna kaipaa hyvää ravinteiden saatavuutta. Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasemalla viljeltiin tämän tutkimuksen kokeen 30 vieressä perunaa. Samankaltaisissa olosuhteissa, joissa viljoista vaateliain aikainen ohra tuotti suurimmat sadot fosforimäärällä 15 - 20 kg/ha, peruna on tarvinnut tätä ravinnetta 75 kg/ha (HAKKOLA 1990). Aikaisemmin perunan suuri fosforin tarve on ilmennyt VARIKSEN (1972a, 1972b) tutkimuksissa.

Kansainvälinen kirjallisuus antaa perunan vaateliaisuudesta hyvin yksiselitteisen kuvan. Hollantilaisien tutkimusten mukaan (van NOORDWIJK ym.



1990) peruna vaatii sipulin ja pensaspavun ohella kaikkein suurimpia maan vesiliukoisen fosforin pitoisuuksia eli hiukan viljavampaa maata kuin sokerijuurikas. Vehnälle riittävä maan vesiliukoisen fosforin pitoisuus on hollantilaisten mukaan vain kolmannes perunan vaatimasta.

Ruotsalaisissa kokeissa peruna on tarvinnut 98 prosentin suhteelliseen satoon maan fosforiluokassa II (2 - 4 mg P/100 g) tätä ravinnetta 80 kg/ha, mutta viljoilla, öljykasveilla ja nurmilla vastaava tulos on saatu 8 - 11 fosforikilolla (HAHLIN ja ERICSSON 1981). Ruotsissa suositellaan perunalle tätä ravinnetta niukkafosforisilla mailla 120 kg/ha, mutta öljykasveille ja viljoille enintään 35 kg/ha ja sokerijuurikkaallekin vain 90 kg/ha (Anon. 1993). Tämä tutkimus osoitti perunan vaateliaisuuden myös magnesiumin suhteen.

3.4 Maan fosforin ja muiden tekijöiden vaikutus fosforilannoituksen tarpeeseen

3.4.1 Maan fosforilukujen korjaus happamuuden ja maalajin mukaan

Koealueille määritettiin fosforilannoituksen vaikutuksen perusteella biologinen viljavuus. Sen laske-
misessa käytettiin monen tekijän regressioanalyysia, jossa riippumattomina muuttujina olivat maa-analyysilukujen lisäksi kasvilaji ja kokeen kestoaikaa. Kasvien vertailussa sovellettiin jyvä- ja rehuyksikkösatoja. Nurmen kuiva-ainekilon laskettiin vastaavan kehitysasteen mukaan 0,6 - 0,8 rehuyksikköä. Perunatonnin laskettiin vastaavan 140:tä rehuyksikköä tai viljakiloa ja yhden rypsikilon kahta viljakiloa. Kasvilajeille valittiin sellaiset numeeriset kertoimet, että lasketut sadonlisäykset vastasivat punnitsemalla mitattuja sadonlisäyksiä (ruis = 0,1, syysvehnä = 0,2, kevätvehnä = 0,3, ohra = 1,05, kaura = 0,7, rypsi = 0,9, peruna = 2,

1. v. nurmi = 1,1/2. v. nurmi = 2,0/3. v. nurmi = 1,9/4. v. nurmi = 1,7).

Lukuisten erilaisten kokeilujen jälkeen regressioyhtälöksi vakiintui seuraava muoto:

Fosforilannoituksen vaikutus satoon =

$$\begin{aligned} & a * (\text{maan Prev} * \text{koevuosi} * \text{kasvikerroin}) \\ & + b * \text{kasvikerroin} \\ & + c * \text{maan P} \\ & + d * \text{maan Prev} \\ & + f \end{aligned}$$

jossa maan Prev = 1/maan P.

Korjattuja/alkuperäisiä maan fosforilukuja käyttämällä yhtälön kertoimiksi saatiin koko aineistosta: $a = 193,0/216,1$, $b = 53,3/138,8$, $c = -2,84/-4,80$, $d = 413,2/303,0$ ja $f = 43,3/66,3$. Ilman fosforilannoitusta saatuja suhteellisia satoja vastaavat kertoimet ovat: $a = -5,56/-6,05$, $b = 2,7/-0,3$, $c = 0,4/0,12$, $d = -21,9/-14,6$ ja $f = 96,0/95,6$.

Regressiomalli selvitti fosforilannoituksen aiheuttamasta satoerojen vaihtelusta pitkäaikaisissa kokeissa 60 prosenttia korjatuilla fosforiluvuilla ja 40 prosenttia alkuperäisillä luvuilla. Suhteellisia satoja osittavien yhtälöiden selvitysasteet olivat korjatuilla ja alkuperäisillä fosforiluvuilla 56 ja 31 prosenttia.

Maan fosforilukujen happamuuskorjauksessa sovellettiin aikaisempaa tutkimusta (SAARELA 1992b). Kivennäismailla ja multamailla korjauskerroin oli muotoa:

$$1 - a * (b - c * \log(\text{org-\%} + 4) - \text{pH})^2$$

jossa kerroin $a = 0,22$

$$\begin{aligned} b &= 7,8 \text{ savimailla kauralla ja heinillä} \\ &= 8,0 \text{ savimailla muilla kasveilla} \\ &= 7,7 \text{ karkeilla mailla kauralla} \\ &\quad \text{ja heinillä} \\ &= 7,9 \text{ karkeilla majilla muilla kasveilla} \\ c &= 1,2 \text{ savimailla} \\ &= 1,1 \text{ karkeilla mailla} \end{aligned}$$

Turvemailla korjauskertoimen yhtälö oli:

$$1 - 1,0 * (d - \text{pH})^2$$

jossa kerroin $d = 4,9$ kauralla ja heinillä
 $= 5,1$ muilla kasveilla

Turvemaiden kerroin on tällaisena käyttökelpoinen vain kapealla pH-alueella. Jotta korjattujen ja alkuperäisten pitoisuuksien keskiarvot pysyivät samalla tasolla, korjatut kertoimet kerrottiin vielä luvulla 1,2.

Maan fosforin happamuuskorjauksen perustana olevat saveksen ja orgaanisen aineksen pitoisuudet ja pH-luvut sekä niiden mukaan lasketut kertoimet nähdään kokeittain liitteestä 9 ja maalajeittain taulukosta 9. Biologisen viljavuuden mukainen korjauskerroin jaettiin kokeittain pH-kertoimella, jolloin saatiin muista maan ominaisuuksista kuin happamuudesta (tai muista tulokseen vaikutaavista tekijöistä) johtuvat korjauskerroimet, joista laskettiin keskiarvot maalajeittain.

Tarkasteluun otettiin mukaan myös aikaisemmin selostetut lyhytaikaiset nurmikokeet (SAARELA ja ELONEN 1982). Ne vahvistavat erityisesti pitkäaikaisissa kokeissa vain yhdellä paikalla olleen karkean hiedan eroa hienoihin ja savespitoisiin hietoihin verrattuna. Nurmikokeet osoittavat lisäksi, että vähän hienoa kivennäisainesta sisältävät maat ovat suhteellisen heikkoja myös silloin, kun niiden multavuus on runsasta, jopa multamaaksi luokiteltavaa (liite 9). pH-kerroin vaihtelee välillä 0,6 ja 1,2 ja maalajikerroin välillä 0,42 ja 2,0 (taulukko 9, liite 9). Näiden kertoimien tulo eli korjauskerroin vaihtelee välillä 0,36 ja 2,1. Happamuuden ja maalajin vaikutus oli siis suurimmillaan yli viisinkertainen.

Koepaikkojen pienen määrän takia yksittäisten maalajien kertoimen eivät ole kovin luotettavia. Esimerkiksi kokeissa 22 ja 28 heikko fosforin saanti johtui osittain maan kemiallisista ominaisuuksista ja vesiliukoisesta fosforin pienestä pitoisuudesta. Suurissa ryhmissä maalajin vaikutusta voidaan kuitenkin pitää hyvin luotettavana. Kokeiden pitkäaikaisuus parantaa oleellisesti niiden tarkkuutta ja luotettavuutta, kun suuren vuotuisvaihtelun vaikutus on tehokkaasti tasoitettu. MUNK ja REX (1990) ovat osoittaneet monivuotisten kokeiden paljon paremman tarkkuuden yksivuotisiin kokeisiin verrattuna hyvin selvästi.

Maalajikertoimet ovat suurimpia jäykällä savimailalla, joiden mururakenne kestää jatkuvaa muokkausta, sekä savisilla ja hietaisilla multamailla. Kaikkein suurimmat kertoimet ovat runsasmultaisilla savisilla hiedoilla, jotka aikaisemmin ovat olleet

Taulukko 9. Maan fosforilukujen korjaus pH-luvun ja maalajin mukaan.

Table 9: Correction of soil test P values according to pH and soil type.

Maalaji <i>Soil type</i>	Org. aines % <i>Org. matter %</i>	Saves % <i>Clay %</i>	pH-luku (H ₂ O) <i>pH value (H₂O)</i>	pH- kerroin <i>pH coefficient</i>	Maalaji- kerroin <i>Soil coefficient</i>	Korjaus- kerroin <i>Correction coeffic.</i>	P-AAC alkuper. P-AAC <i>original</i>	P-AAC korjattu P-AAC <i>corrected</i>
Jäykkä savi <i>Heavy clay</i>	3.4	68.0	6.4	1.11	1.45	1.61	4.5	7.3
Hieta- ja hiuesavi <i>Sandy and loamy clay</i>	4.4	40.7	6.4	1.10	1.02	1.12	44.5	52.6
Savinen hieta <i>Sandy loam</i>	3.3	19.2	5.7	0.80	1.56	1.25	6.5	8.2
Runsasmult. sav. hieta <i>Sandy loam rich in OM</i>	12.8	26.2	5.6	1.00	2.00	2.00	7.2	14.6
Hiesuinen hiesusavi <i>Silty clay</i>	5.1	33.9	6.1	1.02	0.60	0.61	9.2	6.2
Hiesu, hiesuinen hieta <i>Silt, silty loam</i>	4.9	14.6	5.9	0.92	0.55	0.51	14.6	8.4
Runsasmultainen hiesu <i>Silt rich in OM</i>	17.0	22.0	5.5	0.97	0.60	0.58	6.9	4.0
Hieno (savinen) hieta <i>Fine (clayey) sand</i>	4.5	8.1	6.0	1.01	1.10	1.11	23.5	28.2
Karkea hieta <i>Fine sand</i>	7.3	2.8	5.6	0.90	0.42	0.38	9.9	3.8
Runsasm. karkea hieta <i>Sand rich in OM</i>	10.0	2.0	5.3	0.86	0.60	0.51	4.8	2.5
Savinen multamaa <i>Clayey mull</i>	37.8	..	5.5	1.10	1.47	1.62	8.8	14.2
Hietainen multamaa <i>Fine sandy mull</i>	31.0	..	4.7	0.60	1.55	0.94	14.8	13.9
Hiekkainen multamaa <i>Sandy mull</i>	26.3	..	5.8	1.18	0.60	0.71	7.3	5.2
Hiekkainen turve <i>Sandy peat</i>	34.0	..	6.2	0.72	0.50	0.36	13.2	4.8
Turvemaa <i>Peat</i>	44.4	..	4.8	0.96	0.85	0.82	7.0	5.6
Keskiarvo — Mean	14.8	(21.2)	5.7	0.98	1.09	1.06	14.6	16.0

turvemaita. Savisten hietojen eli hiukeiden kertoimet ovat huomattavan suuria myös multavuuden ollessa pieni. Vähän hienoa ainesta sisältävät karkeat hiedat samoin kuin hiesut ovat kasvien fosforin saannin kannalta oleellisesti huonompia riippumatta multavuudesta. Ruokamullan kivennäismaa ja jankon maalaji olivat tärkeitä myös multamailla. Multavuuden verrattain vähäinen näennäinen hyöty hiesu- ja hiekkamailla saattaa johtua osittain siitä, että ruokamultakerros on näillä fysikaalisesti ongelmallisilla mailla keskimääräistä ohuempi.

Maalajien vaikutus fosforin saantiin liittyy pitkälti niiden fysikaalisiin ominaisuuksiin. Hyvä maan rakenne ja vesitalous tehostavat fosforin ottoa helpottamalla juurten kasvua ja toimintaa. Huonorakenteisilla mailla, joilla juurten kasvu on vaikeata, fosforia otetaan tehokkaasti vain pienestä osasta maan tilavuutta. Heikosti vettä pidättävillä karkeilla mailla fosforin liikkuminen maasta juuren pinnalle on hidasta lyhyenkin poutakauden aikana.

Maan fysikaalisiin ominaisuuksiin liittyvien tekijöiden merkitys on selvitetty sekä teoreettisesti (NYE ja TINKER 1977, BARBER 1984) että kokeellisesti (PRUMMEL 1975, RILEY ja STEENBERG 1985). Tämän tutkimuksen koekentiltä otetuilla mailla tehdyssä astiakokeessa, jossa päivittäinen kastelu vähensi fysikaalisten ominaisuuksien vaikutusta, maa-analyysi ennusti fosforin saantia hyvin ilman maalajikorjausta (SAARELA ja SIPPOLA 1987, SAARELA 1992b).

3.4.2 Maan fosfori ja lannoituksen vaikutus

Taulukossa 9 ja liitteessä 9 esitetyt maa-analyysit osoittavat kokeen alkutilannetta. Liitteessä 10 esitetään kokeittain satovuosien määrät ja koeajan keskimääräiset maan fosforiluvut ilman fosforilannoitusta viljelyiltä ruuduilta sekä satotuloksia. Punnitsemalla mitattujen sadonlisäysten rinnalle on merkitty maaperätietojen, kasvilajin ja kokeen kestoajan perusteella teoreettisesti saadut sadonlisäykset, jotka on laskettu sekä pH- ja maalajikorjauksen kanssa että ilman. Samat tulokset on esitetty liitteessä 11 maalajeittain ja kasveittain ja liitteessä 12 koe- ja kalenterivuositain.

Viljavuustutkimuksen helppoliukoisen fosforin pitoisuuden ja fosforilannoituksen vaikutuksen välinen riippuvuus esitetään kuvissa 30 ja 31. Maan fosforiluvut ovat lannoittamattomien ruutujen kes-

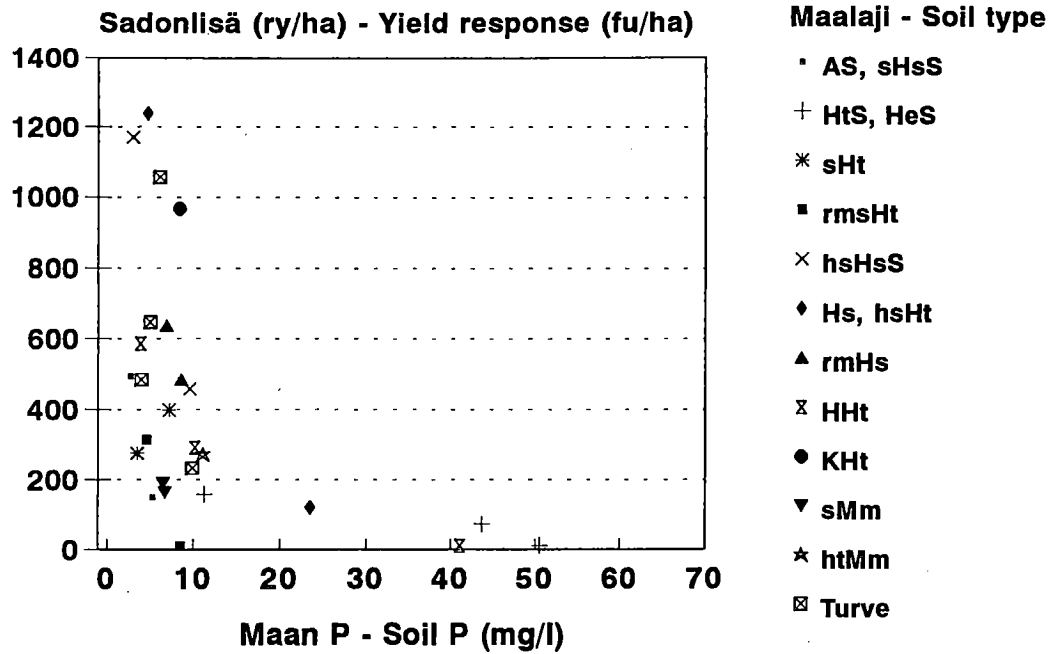
kiarvoja koko koeajalta. Alkuperäisillä fosforiluvuilla hajonta oli selvästi suurempi kuin pH- ja maalajikorjauksen jälkeen. Korjaamattomilla fosforiluvuilla ja niiden käänteisluvuilla regressioyhtälön selvitysaste oli 66 prosenttia ja vastaavilla korjatuilla maan fosforiluvuilla 90 prosenttia. Kasvilajin ja kokeen kestoajan vaikutusta ei ole otettu huomioon kuvissa 30 ja 31.

Nämä lannoituksen tehokkuuteen vaikuttavat tekijät ovat mukana kuvissa 32 ja 33. Näissä verrataan maaperätietojen sekä kasvilajin ja koevuoden perusteella laskettuja sadonlisäyksiä punnitsemalla mitattuihin sadonlisäyksiin. Kasvilajin ja koevuoden ottaminen mukaan malliin korosti fosforiluvun korjauksen merkitystä. Suoraviivaisen yhden muuttajan regressioyhtälön selvitysaste nousi ilman happamuus- ja maalajikorjausta saadusta 78 prosentista 98 prosenttiin.

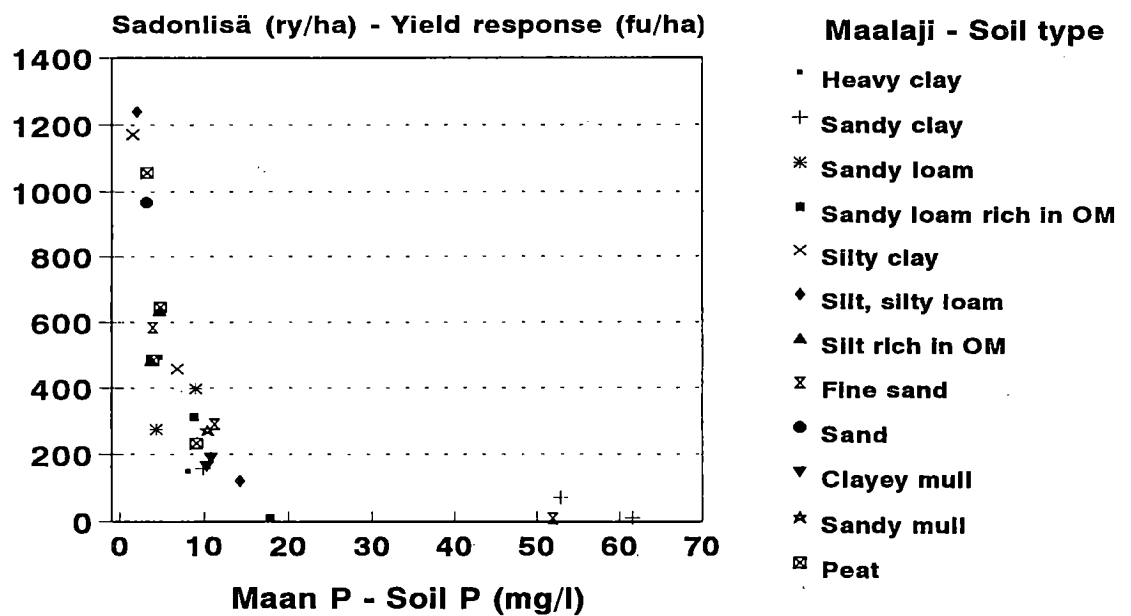
Saman maalajin sisäinen hajonta oli suurin runsasmultaisilla hiesumailla. Fosforilannoituksen vaikutus oli ohralla Kymijoen varressa kokeessa 23 suurempi kuin timoteilla Lestijoen varressa kokeessa 24, ja suhteellisia satoja tarkasteltaessa ero on vielä suurempi (kuva 2). Happamuutta paremmin siedävä ja pitkään juuristoa kasvattava timotei sai fosforia runsasmultaisesta happamasta hiesusta suhteellisen hyvin. Avo-ojitetussa kokeessa 23 ohran juurten kasvua ja ravinteiden ottoa häyttasi todennäköisesti myös erittäin tiivis jankko. Tiiviillä hiesuisilla mailla juuristo jää paljon matalammaksi kuin hyvärakenteisilla ja kuivuessaan halkeilevilla savimailla (SALONEN 1949).

Ilman fosforilannoitusta saadut suhteelliset sadot verrattuna biologisesti optimaalisella fosforimäärällä (45 - 60 kg/ha) saatuihin satoihin esitetään maan fosforiluokittain ja jaksoittain kuvissa 34 ja 35. Kuvissa oikealla oleva jakso JV 1 - 6 tarkoittaa koevuosina 13 - 18 ilman fosforilannoitusta saatuja satoja niiltä ruuduilta, joille koevuosina 1 - 12 annettiin fosforia 30 tai 60 kg/ha. Nämä lannoituksen lopettamisesta 1 - 6 vuonna saadut tulokset vastaavat siten lähinnä vasemmalla olevaa jaksoa koevuosilta 1 - 4.

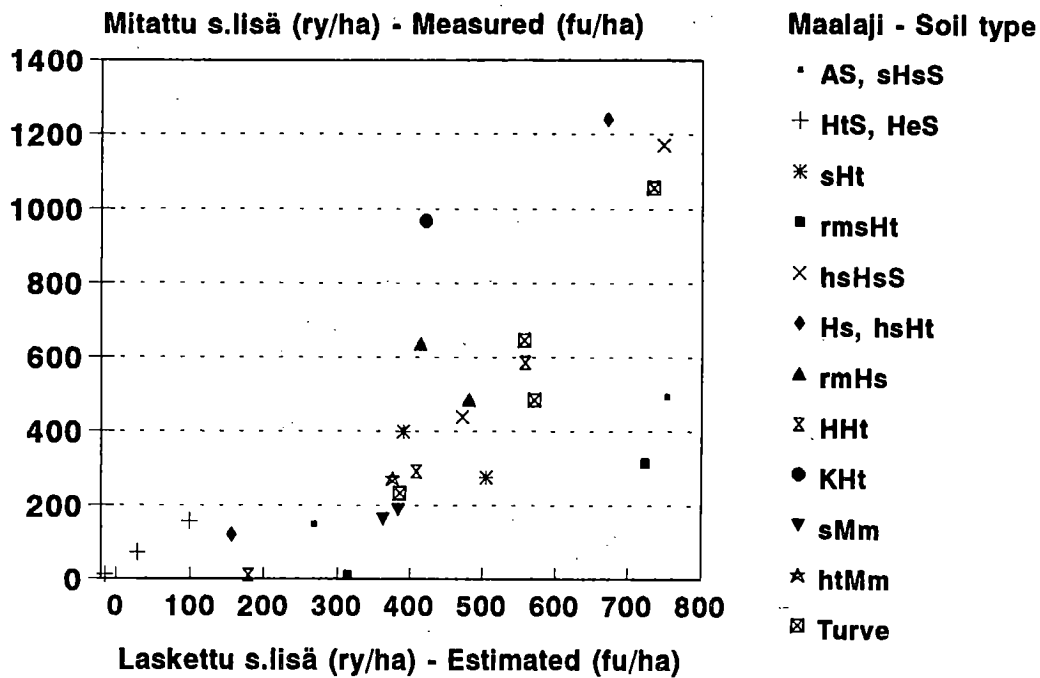
Kuvassa 34 luokitus perustuu pH:n ja maalajin mukaan korjattuihin ja kuvassa 35 alkuperäisiin maan fosforilukuihin, jotka on mitattu ilman fosforilannoitusta viljelyiltä ruuduilta kyseisinä vuosi-



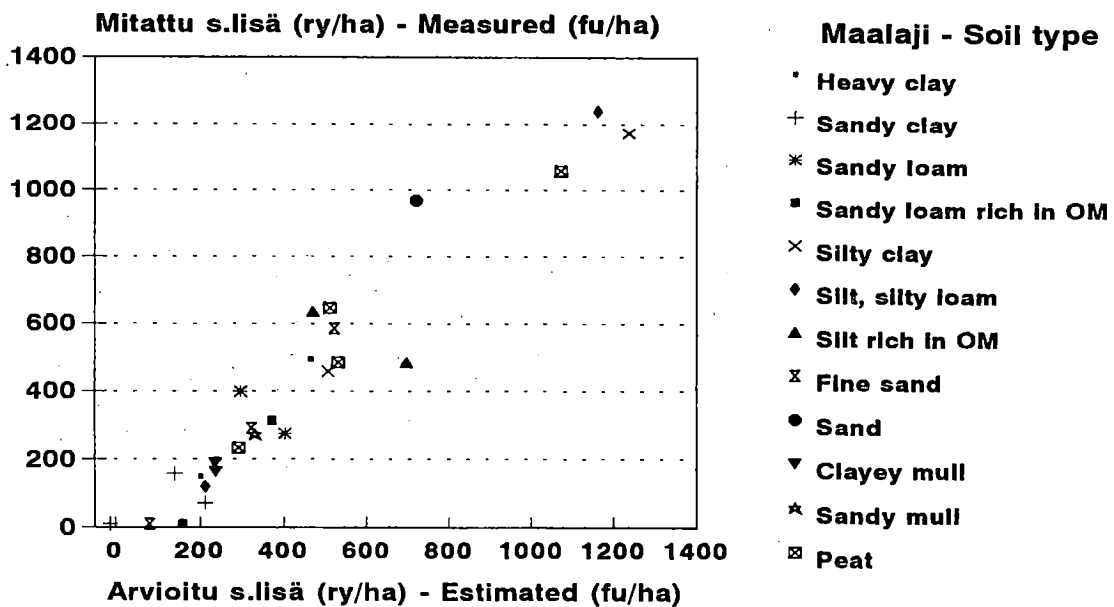
Kuva 30. Fosforilannoituksen tuottama sadonlisäys ja alkuperäinen maan fosfori (for soil types see Fig. 31)
Fig. 30. Yield response to P application vs. original soil test P.



Kuva 31. Fosforilannoituksen tuottama sadonlisäys ja korjattu maan fosfori (maalajit kuvassa 30).
Fig. 31. Yield response to P application vs. corrected soil test P.



Kuva 32. Maan alkuperäisen fosforin sekä viljelyskasvin ja kokeen kestoajan mukaan laskettu ja punnitsemalla mitattu sadonlisäys (soil types in Fig. 33).
 Fig. 32. Yield response estimated with original soil test P vs. measured response.



Kuva 33. Maan korjatun fosforin sekä viljelyskasvin ja kokeen kestoajan mukaan laskettu ja punnitsemalla mitattu sadonlisäys (maalajit kuvassa 32).
 Fig. 33. Yield response estimated with corrected soil test P vs. measured response.

na. Viljavuusluokassa hyvä (16 - 30 mg/l) tuloksia on alkuperäisiltä P0-ruuduilta vähän (0 - 6 koetta/jakso) mutta jälkivaikutusruuduilla enemmän (18 koetta). Viljavuusluokan huono (0 - 2 mg/l) muutamat tulokset on yhdistetty luokkaan huononlainen (2 - 4 mg/l).

Ensimmäisellä neljän vuoden jaksolla fosforilannoituksen vaikutus oli parempia maita selvästi suurempi vain huonoimmassa maan fosforiluokassa (0 - 4 mg/l), mutta sen jälkeen sekä välttävässä (4 - 8 mg/l) että tyydyttävässä luokassa (8 - 16) suhteellinen sato pieneni ilman fosforilannoitusta selvästi (kuva 34). Aikaisemman lannoituksen jälkivaikutus antoi huonoissa luokissa vähän huonompia suhteellisia satoja kuin alussa saatiin. Runsaamman lannoituksen (60 kg/ha) jälkivaikutus oli hiukan tehokkaampi kuin puolta pienemmän fosforimäärän, kun maan fosforipitoisuudet olivat lannoituksen jälkeen yhtä suuret. Maan fosforiluokassa hyvä (16 - 30 mg/l) lannoitus ei lisännyt satoa juuri lainkaan.

Ilman pH- ja maalajikorjausta suhteelliset sadot olivat huonoimmissa luokissa suurempia mutta keskimmaisissa luokissa pienempiä kuin korjatussa fosforiluokissa (kuva 35). Tarkennettu luokitus oli tärkeintä fosforilukujen ollessa pieniä. Korjaamattomassa luokassa välttävä (4 - 8 mg/l) oli lopussa epäjohdonmukaisesti jopa suurempia satoeroja kuin huonoimmassa luokassa. Maan fosforilukujen korjaus lisäsi huonoimman luokan painoa myös lisäämällä siihen sijoittuvien kokeiden määrää. Viljavuusluokassa hyvä (16 - 30 mg/l) fosforilannoituksen merkitys oli vähäinen myös ilman pH- ja maalajikorjausta.

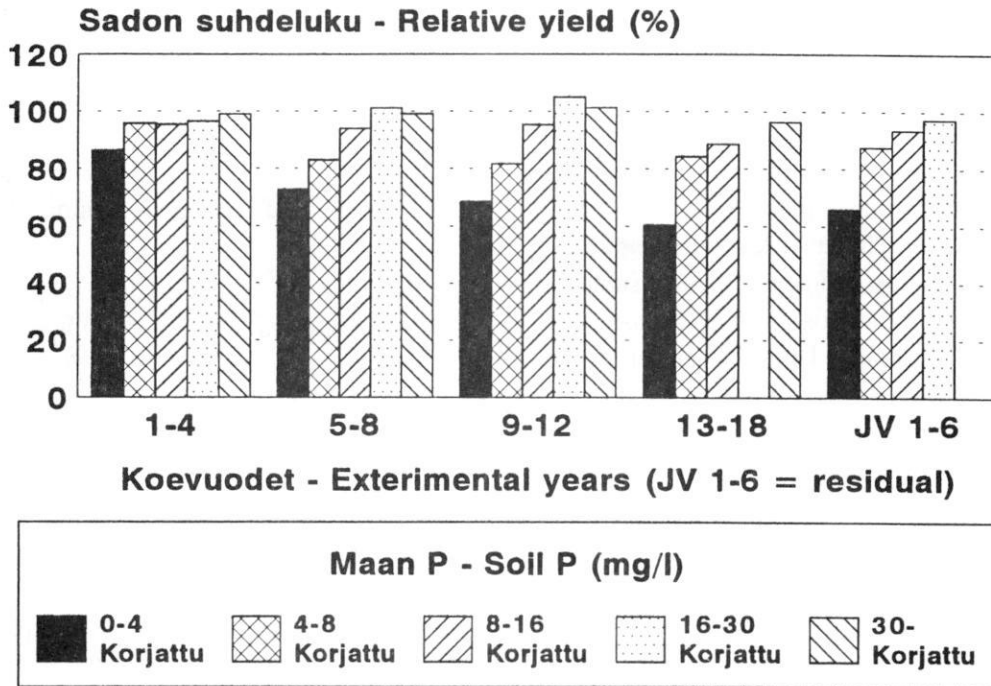
Kuvissa 36 ja 37 esitetään fosforilannoituksen aiheuttamia viljasadon lisäyksiä. Sadonlisäykset vastaavat melko tarkkaan edellisten kuvien suhteellisia satoja. Lannoituksen vaikutus ei kuitenkaan suurentunut ajan mukana jatkuvasti, vaan oli koevuosina 5 - 8 jopa suurempi kuin koevuosina 9 - 12. Kiloina mitattujen satoerojen pienuus jälkimmäisellä jaksolla johtui vuosien 1987 ja 1988, osittain myös vuoden 1989 heikoista sadoista sekä fosforitilaltaan huonon kokeen 28 päättymisestä ja hiesuisen kokeen 19 kylvämisestä nurmelle. Edelliseen jaksoon sijoittuvana vuonna 1982 fosforilannoituksen vaikutus oli toisaalta erityisesti Etelä-Suomessa poikkeuksellisen suuri.

Kaikkein parhaat lannoituksen tehokkuudet saavutettiin viimeiseen jaksoon sijoittuvina vuosina 1990 ja 1992, jolloin keskimääräinen viljasadon lisäys oli yli tuhat kiloa hehtaarilta. Niukkafosforisten kokeiden osuus oli suurin vuosina 1990 - 1992, mutta aivan alussa vuosina 1977 - 1979 keskimääräinen maan fosforipitoisuus oli vain hiukan suurempi (liite 12). Yli 12 vuotta jatketuissa kokeissa satoerot lisääntyivät lopussa hyvien satojen takia selvemmin kiloina kuin suhdelukuina ilmaistuina.

Alkaisemman fosforilannoituksen jälkivaikutuksella satoerot olivat lopussa suurempia kuin alussa eli ennen koetta annetun fosforin jälkivaikutuksella (kuvat 36 ja 37). Matemaattiset mallit, joita laskettaessa jälkivaikutuskokeet eivät olleet mukana, aliarvioivat fosforilannoituksen lopettamisen vaikutusta satoon. Kun maan korjattu fosforiluku on alle 4 mg/l, oli satoero jatkuvasti annettuun 45 kg/ha fosforimäärään verrattuna 1080 kg/ha mutta mallin ennuste oli vain 400 kg/ha. Fosforiluokassa 4 - 8 mg/l satoero oli 410 ja ennuste 250 kg/ha. Luokassa 8 - 16 mg/l satoero oli 280 kg/ha ja ennuste 170 kg/ha. Viljavuusluokassa 16 - 30 mg/l mitattu tulos oli sama kuin mallin ennuste eli 130 kg/ha.

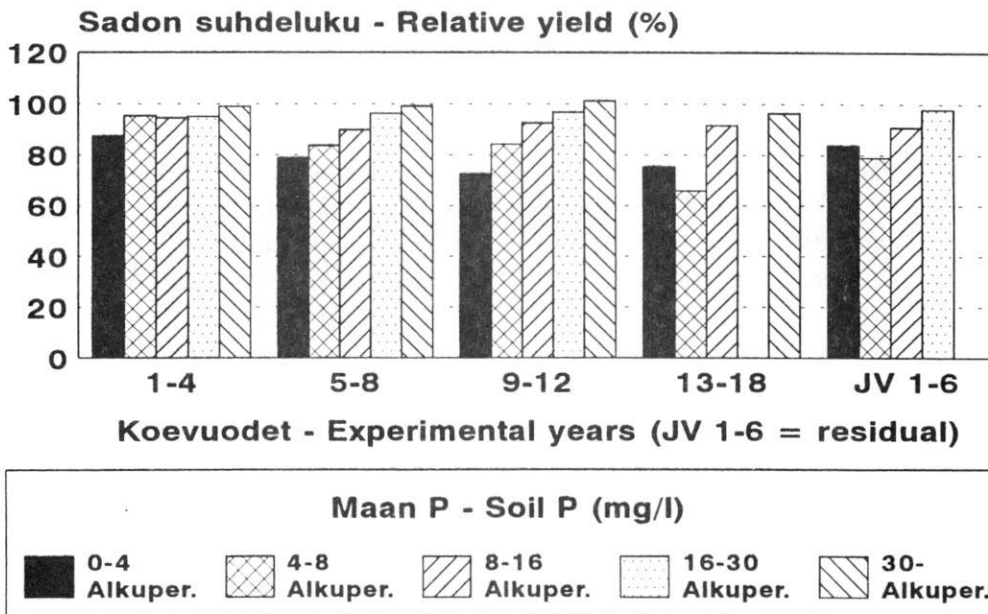
Fosforimäärän 30 kg/ha jälkeen mitattu satoero (520 kg/ha) ylitti mallin ennustaman vaikutuksen (240 kg/ha) enemmän kuin puolta suuremmalla lannoituksella, jolla mitattu satoero oli 240 kg/ha ja ennuste 190 kg/ha. Yksittäisissä kokeissa satoero suureni mallin ennustamaan tulokseen verrattuna enitein niukkafosforisilla hiesuisilla mailla. Mouhijärven hiesusavella kokeessa 20 fosforilannoituksen lopettaminen pienensi satoa 730 kg/ha, kun ennuste oli 320 kg/ha, ja Toholammin hiesuisella hiedalla kokeessa 22 mitattu satoero oli 850 kg/ha ja ennuste 400 kg/ha. Mietoisten savisella hietamaalla kokeessa 15 enusteen suhteellinen virhe oli suuri, kun satoero oli 490 kg/ha ja ennuste 160 kg/ha.

Mietoisten aitosavella kokeessa 11 ja Maaningan hietamaalla kokeessa 26 fosforilannoituksen jälkivaikutus oli ennusteen mukainen. Ruukin multaamalla kokeessa 30 jälkivaikutusvuosien satoero oli vain 50 kg/ha eli pienempi kuin mallin ennustama 150 kg/ha. Jälkivaikutusvuosina vallinneet aikaisempaa kuivemmat kasvukaudet näyttävät korostaneen fosforin merkitystä Etelä-Suomessa. Pohjois-Suomessa, jossa lämpötilalla on suurempi



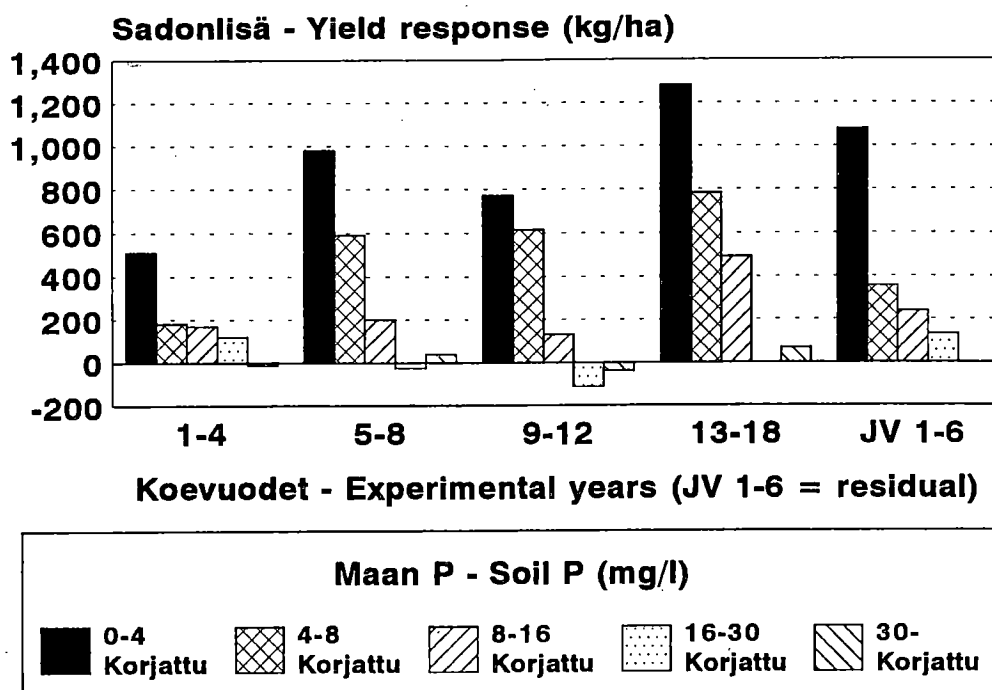
Kuva 34. Ilman fosforilannoitusta saadut suhteelliset sadot korjatuissa maan fosforiluokissa kaikista kasveista.

Fig 34. Relative yields from all crops by no P control with corrected soil P.



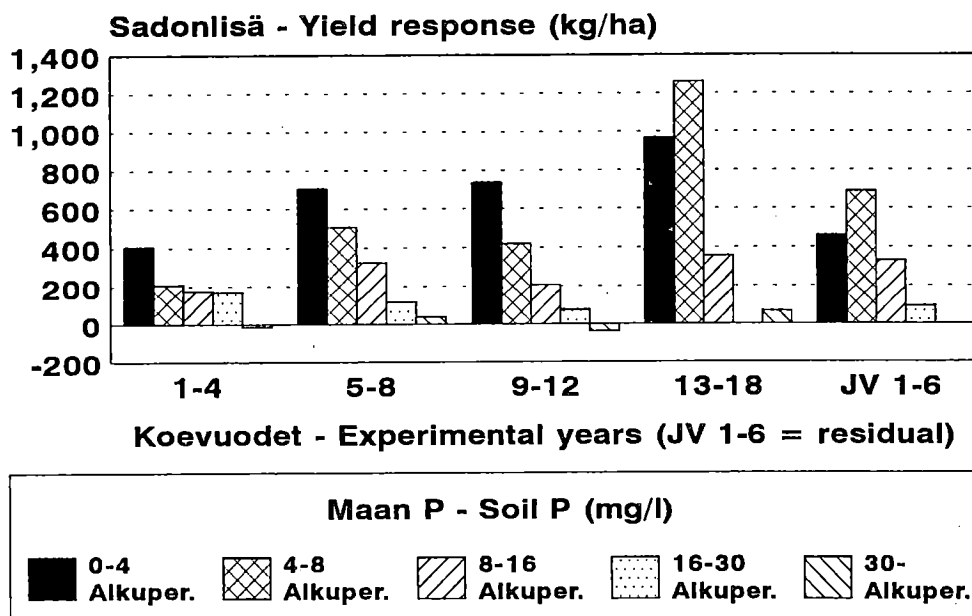
Kuva 35. Ilman fosforilannoitusta saadut suhteelliset sadot alkuperäisissä maan fosforiluokissa kaikista kasveista.

Fig. 35. Relative yield from all crops by no P control with original soil P.



Kuva 36. Fosforilannoituksen vaikutus viljasatoon korjatuissa maan fosforiluokissa jaksoittain.

Fig. 36. Yield response of cereals to P fertilization with corrected soil P.



Kuva 37. Fosforilannoituksen vaikutus viljasatoon alkuperäisissä maan fosforiluokissa jaksoittain.

Fig. 37. Yield response of cereals to P fertilization with original soil P.

Pohjois-Suomessa, jossa lämpötilalla on suurempi merkitys, fosforin tarve on ollut samoina vuosina keskimääräistä pienempi.

Kuvissa 38 ja 39 esitetään sadonlisäyksiä, jotka saatiin lisäämällä lannoituksen fosforimäärä 15 kg:sta/ha biologiseen optimiin (45 - 60 kg/ha). Maan fosforin viljavuusluokitus on tehty tällöin lannoitustasolla 15 kg/ha. Huonoimmassa maan fosforiluokassa lannoituksen fosforimäärä vaikutti satoon alusta saakka. Fosforitilaltaan paremmilla mailla lannoituksen vaikutus kasvoi ajan mukana ja väheni maan viljavuusluokan parantuessa, mutta ei aivan säännöllisesti varsinkaan korjaamattomissa luokissa.

3.4.3. Lannoitustaso ja suhteellisten satojen kehitys

Viljalle on suositeltu viljavuustutkimuksen perusteella fosforia viime vuosina (ELONEN ym. 1991) maan fosforiluokassa 2 - 4 mg/l 40 kg/ha, luokassa 4 - 8 mg/l 30 kg/ha ja luokassa 8 - 16 mg/l 20 kg/ha. Luokkien rajat vaihtelevat maalajeittain, mutta käytetyt luvut ovat lähellä maalajien keskiarvoja. Lannoituksen muutosten vaikutusten laskemista varten kokeet jaettiin näihin luokkin kunkin vuonna mitatun tai läheisten vuosien maa-analyysitulosten mukaan laskettujen maan fosforipitoisuuksien perusteella.

Luokkaan 0 - 4 mg/l kuuluvat ne kokeet (joissa pH:n ja maalijin mukaan korjattu) maan fosforipitoisuus oli lannoituksella 35 kg/ha alle 4,0 mg/l. Lannoitusta 35 kg/ha vastaava maan fosforipitoisuus on saatu viereisten lannoitustasojen painotettuna keskiarvona ($0,67 * 30 + 0,33 * 45$). Luokan 4 - 8 mg/l yläraja on määritetty vastaavasti lannoituksella 25 kg/ha, luokan 8 - 16 mg/l yläraja lannoituksella 15 kg/ha ja luokan 16 - 30 mg/l yläraja lannoituksella 5 kg/ha.

Suosittelun mukaisella fosforimäärällä saadut sätotulokset on valittu kokeittain kultakin vuodelta erikseen. Maan fosforiluokan 0 - 4 mg/l lannoitus-suositusta 40 kg/ha vastaava tulos on laskettu fosforimäärillä 30 ja 45 kg/ha saaduista tuloksista sätotokäyrän mukaisella interpoloinnilla. Muiden luokkien tulokset sekä suosituksia suurempien ja pienempien fosforimäärien vaikutukset on laskettu samalla tekniikalla. Sätotuloksina on käytetty suh-

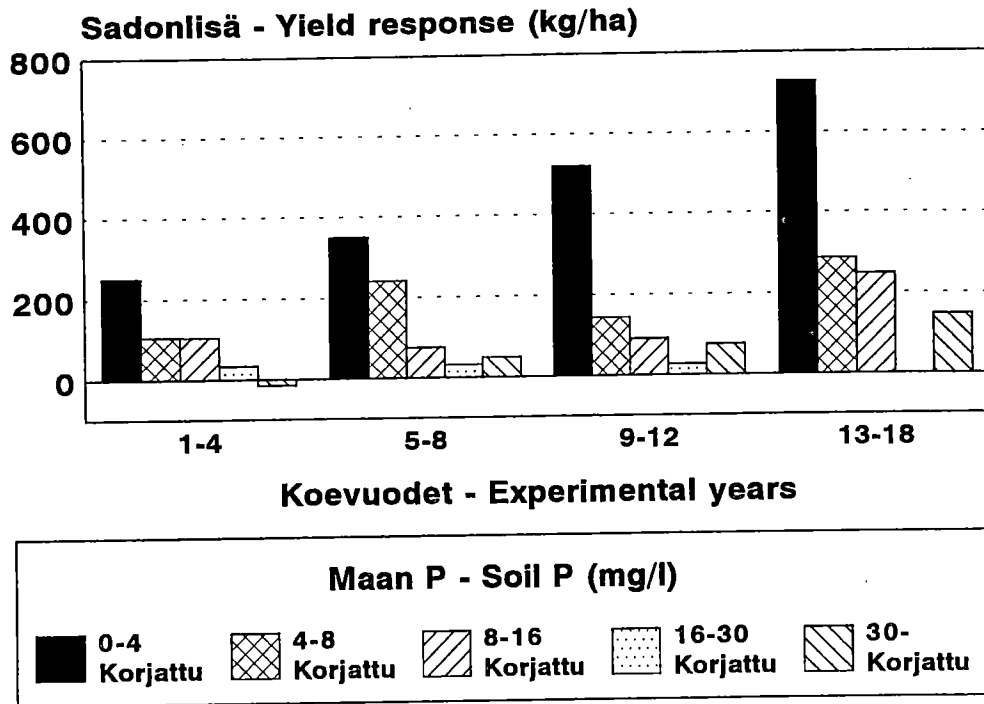
teellisia satoja, joiden kehitys oli säännöllisempää kuin sätoterojen kehitys.

Pitkäaikaisissa kokeissa koevuosina 1 - 18 saatujen tulosten yhdistelmät esitetään kuvissa 40 ja 41. Tässä aineistossa ovat mukana kokeet, joissa maan fosforiluku oli alle 16 mg/l eli suositeltu fosforilannoitus vähintään 20 kg/ha. Lannoitustaso 30 kg/ha alle suositusten sisältää vain kokeet, joissa maan fosforipitoisuus oli alle 8 mg/l ja lannoitus-suositus vastaavasti vähintään 30 kg/ha. Viimeisten vuosien tuloksia on yhdistetty, jotta kaikki keskiarvot sisältäisivät suunnilleen yhtä monta koetta ja niiden mukainen trendi olisi tilastollisesti harhaton.

Suhteelliset sätot ovat hyvin samanlaisia sekä kaikki kasvit sisältävässä aineistossa että viljoilla, koska toiseksi suurimman kasviryhmän eli nurmen ja viljojen suhteelliset sätot ovat samankaltaisia. Suosituksen ylittäminen ei suurentanut satoja alussa lainkaan, mutta lopussa suhteellinen sato jäi suositellulla fosforimäärällä noin neljä prosenttia täyden sätotan alle. Suosituksen ylitys kymmenellä kilolla, joka vastaa 1980-luvulle saakka käytettyjä suosituksia, tuotti käytännössä täyden sätotan. Lopussa havaittu loivasti laskeva trendi ei ole tilastollisesti merkitsevä.

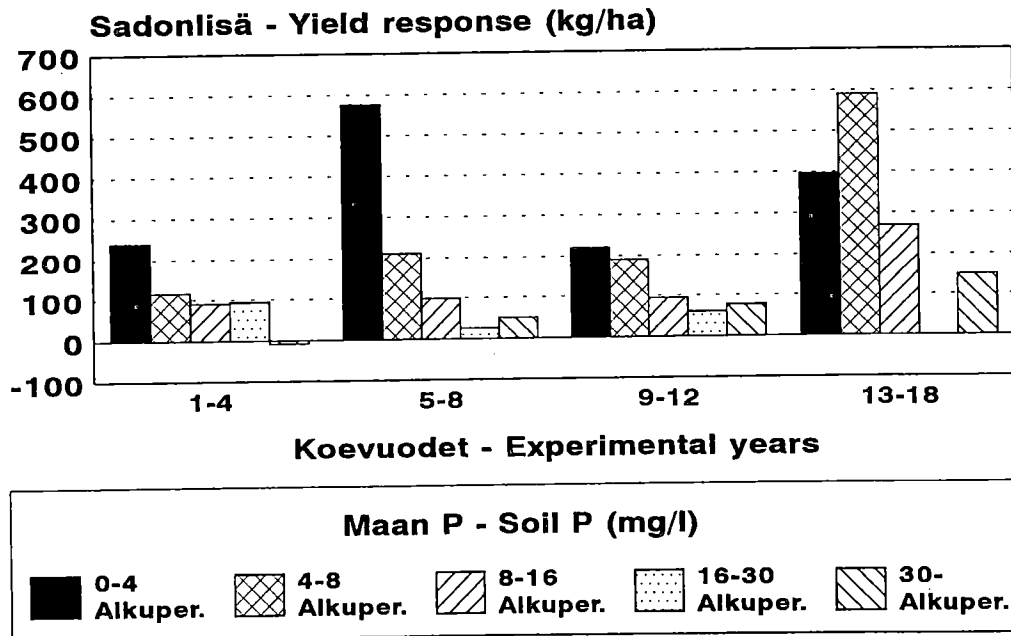
Suosittelua pienempien fosforimäärien käyttö pienensi satoja alussa vain vähän, mutta sätoterot kasvoivat selvästi kokeen aikana (kuvat 40 ja 41). Lannoituksen vähentäminen näille maille suositellulta tasolta (keskimäärin 27 kg/ha) kymmenellä kilolla vähensi satoa alussa vain noin prosentilla, mutta lopussa noin neljällä prosentilla eli yli sadalla kilolla hehtaarilta. Sätotan väheneminen biologisesta optimista oli kaksi kertaa niin suuri kuin suositusten mukaisella lannoituksella eli alussa pari prosenttia ja lopussa kahdeksan prosenttia. Tämä merkitsee vajaan kolmensätotan kilon sätoteroa.

Fosforimäärien vähentäminen kahdellakymmenellä kilolla suosituksista merkitsee tyydyttävillä maille lannoituksen lopettamista. Huonommilla maille vuotuiset annokset ovat 10 - 20 kiloa, jotka ovat näillä maille keskimäärin lähellä sätotissa poistuvia ravinnemääriä. Alussa suhteellinen sato oli näinkin vähäisellä lannoituksella yli 95 prosenttia mutta lopussa vain 85 prosenttia. Lannoituksen ollessa 30 kiloa alle suositusten fosforia käytetään



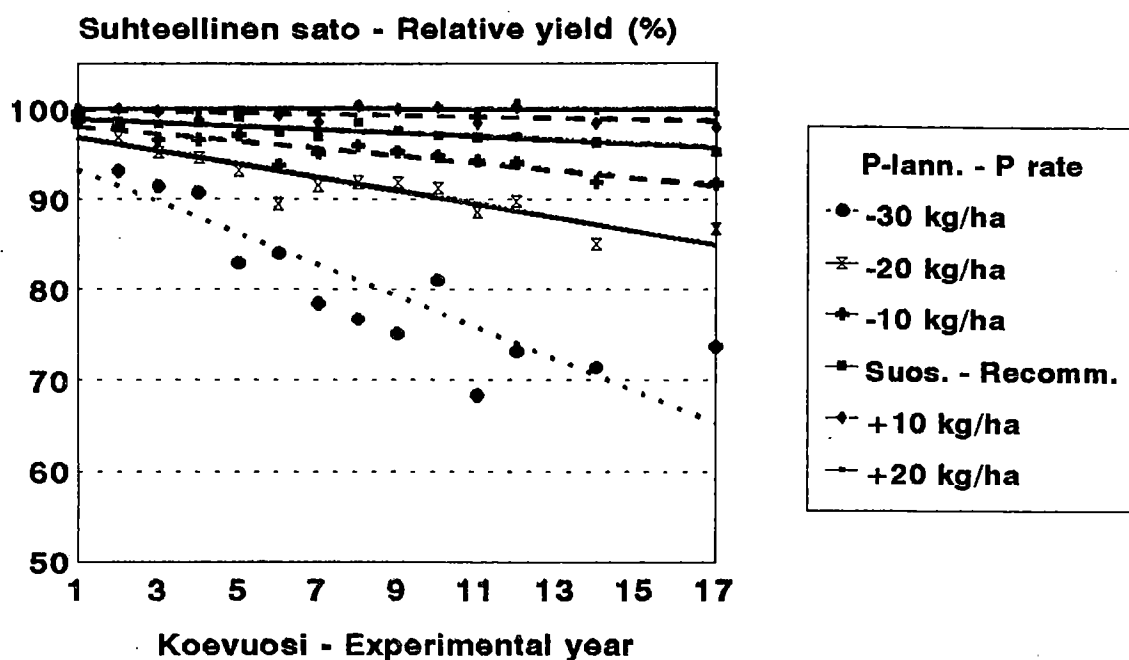
Kuva 38. Viljasadon lisäys korjatuissa maan fosforiluokissa jaksoittain lisättäessä fosforilannoitus 15 kg:sta/ha 45-60 kg:aan/ha.

Fig. 38. Response of cereals to P between 15 and 45 or 60 kg/ha with corrected soil P.

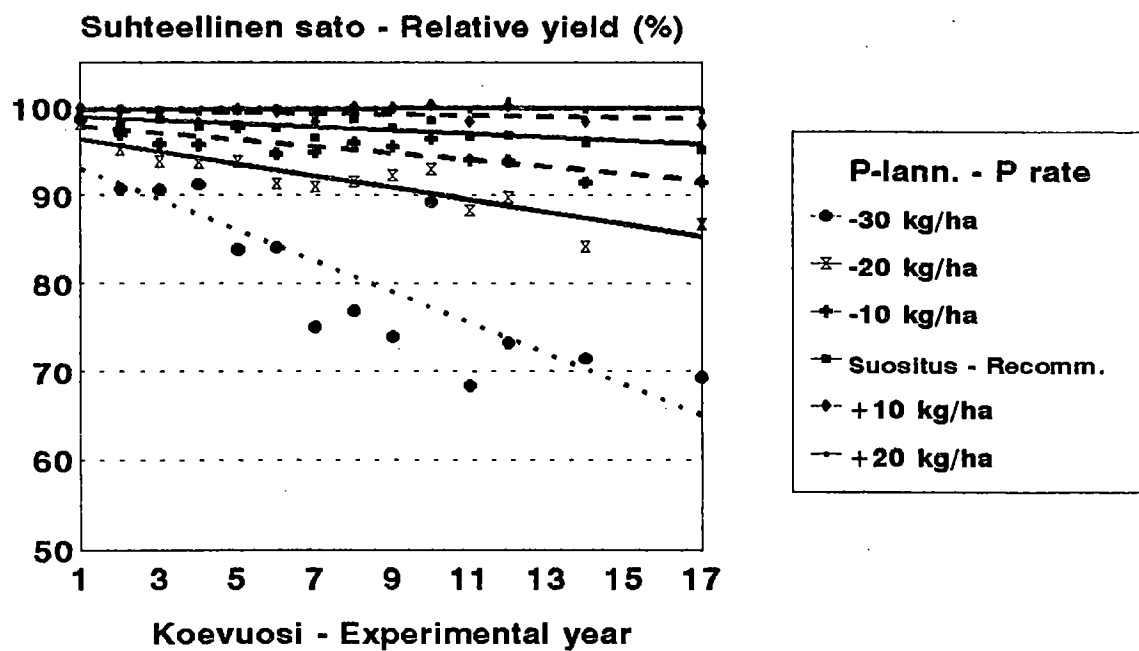


Kuva 39. Viljasadon lisäys alkuperäisissä maan fosforiluokissa jaksoittain lisättäessä fosforilannoitus 15 kg:sta/ha 45-60 kg:aan/ha.

Fig. 39. Response of cereals to P between 15 and 45 or 60 kg/ha with original soil P.



Kuva 40. Suhteelliset sadot koevuosittain maan P-luokan mukaan suositellulla (27 kg/ha) ja lisätyllä/vähennetyllä P-lannituksella (279 satoa, maan P 0-16 mg/l).
 Fig. 40. Relative yields with recommend. (av. 27 kg/ha) and reduced/increased P rates.



Kuva 41. Suhteelliset viljasadot fosforiluokan mukaan suositellulla (keskim. 27 kg/ha) sekä lisätyllä ja vähennetyllä fosforilannoituksella (227 satoa, maan P 0-16 mg/l).
 Fig. 41. Relative grain yields with recommended (av. 27 kg/ha) and reduced/increased P rates.

Suosituksen mukaisella ja sitä 10 - 20 kg/ha niukemmalla fosforilannoituksella yksi vuosi vastaa suunnilleen yhden kilon eroa hehtaarin lannoituksessa (kuvat 40 ja 41). Kymmenen kilon fosforimäärä vastaa paitsi kymmentä vuotta myös yhtä maan viljavuusluokkaa. Suurin osa kokeista oli koko kokeen ajan samassa viljavuusluokassa. Muutama koe siirtyi maan fosforipitoisuuden nousun takia lopussa parempaan luokkaan, ja yksi koe (19) siirtyi maan fosforipitoisuuden laskun takia huonompaan luokkaan. Suositusten mukaisen lannoituksen keskiarvo vaihteli vuosien välillä kuitenkin vain parilla kilolla, joten sen muutoksilla ei ollut suurta vaikutusta kehitykseen.

Sekä suhteellisten satojen suuruus alussa että niiden nopea pieneneminen selittyvät koepaikkojen viljelyhistorialla ja suomen maaperän ominaisuuksilla. Aiemmin niukkafosforisten peltojen viljavuus oli parantunut runsaan lannoituksen takia ennen kokeiden perustamista aika nopeasti, mutta ravinnetila näytti heikkenevän vähitellen ilman riittävää ylläpitolannoitusta. Viljavuustutkimuksessa käytetty asetaattimenetelmä ei ilmeisesti osoittanut maan fosforin saatavuuden muutoksia oikein. Kasvin fosforin saanti näytti heikkenevän joissakin kokeissa selvästi, vaikka maan heppoliukoisen fosforin pitoisuus ei pienentynyt.

Aikaisemmin tarkastellut maan fosforitilan muutokset osoittivat, että lähellä maanäytteiden ottoa lisätty fosfori suurentaa maan liukoisen fosforin pitoisuutta enemmän kuin vanhempi jäännös. Kasvien fosforin saanti huononee ajan mukana ilmeisesti vielä enemmän kuin kemiallinen analyysi osoittaa. Hapan ammoniumasetaatti uuttaa joistakin maista runsaasti vaihtumatonta alumiinia (MÄKITIE 1968) ja sen mukana ilmeisesti vaikealiukoista fosforia. Vesiuuttomenetelmä (SIPPOLA ja JANSSON 1979, HARTIKAINEN 1982, 1989a, 1989b) ja muut sitä läheisesti muistuttavat uudet menetelmät osoittavat kivennäismaiden fosforitilan muutoksen paremmin kuin nykyinen viljavuustutkimus (SAARELA 1992b). Tarkemmat menetelmät ovat kuitenkin ainakin toistaiseksi analyytisesti vaikeampia ja siten kalliimpia kuin nykyinen maa-analysimenetelmä.

Myös ruotsalaiset tutkimukset osoittavat, että sadon pienenemisen estämiseen tarvitaan fosforia hiukan enemmän kuin ammoniumlaktaattimenetel-

mällä määritetyn maan fosforipitoisuuden ylläpitoon (MATTSSON ja HÄHLIN 1991). Kasvien fosforin saantiin ja satojen kehitykseen on saattanut vaikuttaa myös maan fysikaalisen tilan vähittäinen heikkeneminen. Kasvitautilien merkittävää lisääntymistä ei todettu yksipuolisesta viljelystä huolimatta. Lopussa viljellyt uudet lajikkeet ovat saattaneet hyötyä runsaasta fosforin käytöstä enemmän kuin alussa käytetyt vanhat lajikkeet. Kasvikausien säät näyttivät myös korostavan tämän ravinteen merkitystä koekauden lopussa.

Erityisesti niukkafosforisilla mailla sadon pieneneminen oli niin jyrkkä, että se selittyy ainoastaan maan fosforitilan oleellisella heikkenemisellä. Fosforilannoituksen tarve näyttää olevan Suomen pelloilla jatkuvasti suurempi kuin luonnostaan viljavammilla mailla Keski-Euroopassa. Siellä on saatu parhailla mailla ilman fosforilannoitusta hyviä sokerijuurikas- ja viljasatoja jopa 60 - 80 vuotta ilman fosforilannoitusta viljellyiltä ruuduilta (WECHSUNG ja PAGEL 1993) eikä fosforin käytön lopettaminen kolmeksi vuodeksi ole vaikuttanut satoon normaalisti viljellyillä pelloilla iankaan (BAUMGÄRTEL 1989) ja 15-vuotisissa kokeissa saoterot ovat jääneet kahteen prosenttiin (JUNGK ym. 1993).

Maaailman vanhimmissa edelleen käynnissä olevissa lannoituskokeissa Englannissa jatkuva fosforin ryöstö on pienentänyt sadot heikoiksi, mutta yli sata vuotta sitten annettu karjanlanta on pitänyt sadot viime vuosinakin suomalaisittain tyydyttävinä (JONSTON ja POULTON 1992). Kotieläinten lantaa käytettäessä kasvien fosforinsaanti on pysynyt parempana kuin annettaessa fosforia saman verran superfosfaattina.

Tutkimuksen lopussa saadut satotulokset (SAARELA ja JÄRVI 1993) ja edellä esitetyt aikaisempaa tarkemmat laskelmat sekä maa-analysitulosten kriittinen tarkastelu ovat osoittaneet eräät aikaisemmat arviot kestävässä viljelyssä tarvittavasta fosforilannoituksen määrästä (SAARELA 1991c) liian alhaisiksi. Toisaalta näköpiirissä on mahdollisuuksia tehostaa maan ravinnevarojen ja lannoituksen hyväksikäyttöä mm. sijoittamalla fosforilannoite siemeniin nähden edullisemmin kuin nykyisellä tekniikalla tehdään (SAARELA 1992d, SAARELA ja SAARIKKO 1993, JÄRVI 1995).

nykyisellä tekniikalla tehdään (SAARELA 1992d, SAARELA ja SAARIKKO 1993, JÄRVI 1995).

3.4.4 Fosforilannoituksen vaikutus eri satotasoilla ja alueilla

Satotason ja alueen mukaan ryhmiteltyjä viljakokeiden tuloksia esitetään taulukossa 10. Sadon ollessa hyvin pieni lannoituksen vaikutuskin on jäänyt tavallista huonommaksi ja mallin ennustamaa vähäisemmäksi. Parhaat sadot ovat vastaavasti suurentuneet lannoituksella enemmän kuin malli ennusti. Keskimääräistä vähän pienemmät sadot ovat hyötyneet fosforista kuitenkin enemmän kuin keskimääräistä suuremmat sadot.

Keskimmäisten luokkien epäjohdonmukainen järjestys johtuu eri viljalajien ja maalajien sekä alueiden satoeroista. Fosforilannoituksen vaikutus oli suurempi fysikaalisesti huonoilla, heikkosatoisilla mailla kuin parempia satoja kasvattavilla hyväraenteisillä ja kosteussuhteiltaan edullisilla pelloilla. Fosfori lisäsi satoa enemmän ohraa viljeltäessä kuin kauran ja leipäviljojen viljelyssä ja pohjoisilla alueilla enemmän kuin eteläisillä. Koetulosten mukaan laskettu malli, jossa satotaso ei ole mukana, ei ennustanut lannoituksen vaikutusta pienimpiin ja suurimpiin satoihin oikein, mutta keskimääräisissä luokissa korjattujen maan fosforilukujen mukaan laskettu tulos ja mitattu vaikutus olivat yhtä suuria.

Tulosten ryhmittelyssä käytetyssä alueellisessa jaossa Etelä-Suomeen sisältyy ensimmäinen vyöhyke ja toisen vyöhykkeen eteläosa, Keski-Suomeen luettiin toisesta vyöhykkeestä Mouhijärvi (SAH) ja Mikkeli (SAH) sekä kolmas vyöhyke. Pohjois-Suomi tarkoittaa neljättä vyöhykettä. Ilman fosforilannoitusta tuotetut viljasadot olivat Etelä-Suomessa 15 prosenttia suurempia kuin Keski-Suomessa ja 39 prosenttia suurempia kuin Pohjois-Suomessa (taulukko 10). Riittävä lannoitus pienensi vastaavat erot kuuteen ja kuuteentoista prosenttiin eli alle puoleen.

Fosforilannoituksen tuottama sadonlisäys oli Etelä-Suomessa seitsemän prosenttia, Keski-Suomessa seitsemäntoista prosenttia ja Pohjois-Suomessa kaksikymmentäkahdeksan prosenttia ilman fosforilannoitusta saadusta sadosta. Kiloina mitattunakin alueiden väliset erot ovat yli kaksinkertaisia. Erot johtuivat paljolti eteläisten koepaikkojen pa-

remmasta viljavuudesta, mitä korjaamattomat maan fosforiluvut eivät täysin ennakoineet. pH-luvun ja maalajin perusteella korjatut fosforiluvut sen sijaan osoittavat hyvin satoerojen ja ravinnetarpeen kasvun etelästä pohjoiseen (kuva 42). Korjaamattomissa viljavuusluokissa sadonlisäykset ovat pohjoisessa selvästi suurempia kuin etelässä samoissa luokissa (kuva 43).

Aikaisemmissa tutkimuksissa fosforin merkitys on ollut Oulun ja Lapin lääneissä selvästi suurempi kuin etelämpänä (SALONEN 1962). Tässä tutkimuksessa runsasta fosforilannoitusta tarvitsevia alueita löytyi joitakin toiseltakin vyöhykkeeltä (Mouhijärvi, Mikkeli) ja yksi myös Etelä-Suomesta ensimmäiseltä vyöhykkeeltä (Anjala). Hyvin niukkafosforisten peltojen lisäksi (SAARELA 1995b) fosforin merkitys on Etelä-Suomessakin tavallista suurempi fysikaalisesti ja kemiallisesti ongelmallisilla mailla kuten happamalla hiesusavella (YLI-HALLA 1989).

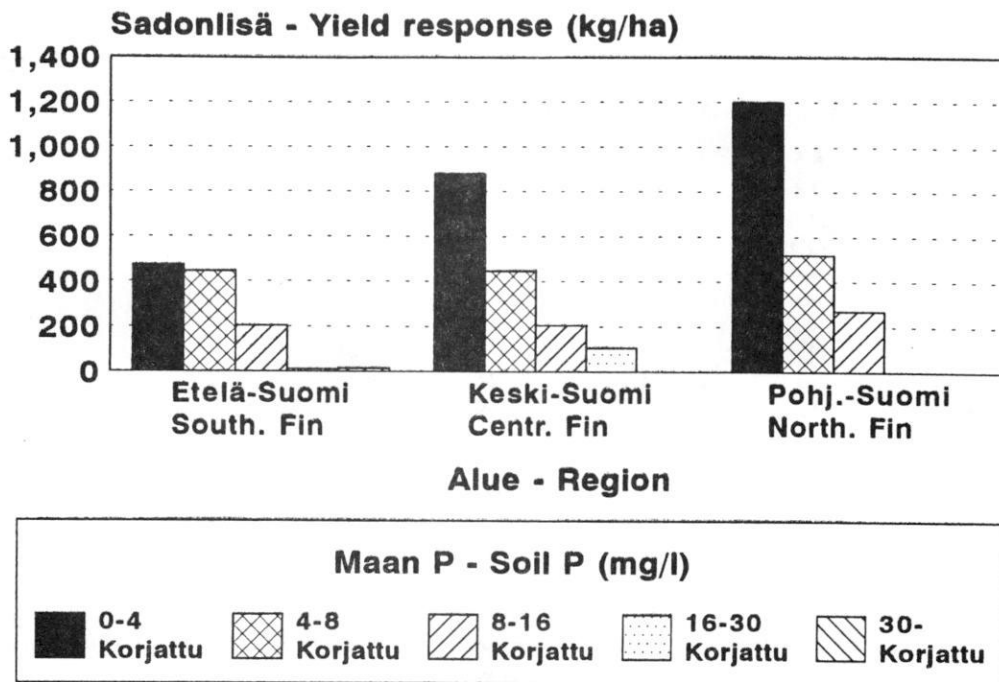
Fosforin tarve näyttää riippuvan ensisijaisesti maan ominaisuuksista. Alueelliset erot johtuvat siten paljolti eri maalajien yleisyydestä. Koska vaihtelu on suuri myös vanhojen maalajiryhmien sisällä, tarkennettu maalajiluokitus on viljavuustutkimuksen fosforilukujen tulkinnassa lannoituksen alueellisen painotuksen kannalta tärkeä. Fosforin merkitys näyttää kasvavan etelästä pohjoiseen siirryttäessä jonkin verran myös samanlaisilla mailla, ainakin jos tarkastellaan suhteellisia satoa. Pohjoisessa menestyvät aikaiset lajikkeet ovat fosforin suhteen vaateliaita (SAARELA 1992d).

Satotaso, joka vaikuttaa ympäristötukeen oikeuttavaan lannoitukseen (ELONEN ym. 1995), on fosforin osalta ongelmallinen lannoitustarpeen osoittaja. Perussatotason, jonka ylitys lisää ja alitus vähentää lannoitusta, tulisi vaihdella ainakin alueellisesti ja ehkä myös maalajeittain. Kiinteä perustaso lisää fosforin käyttöä edullisilla alueilla ja hyvillä mailla, joilla fosforin merkitys on tavallista pienempi ja vähentää lannoitusta epäedullisilla alueilla ja heikosti tuottavilla, fysikaalisesti ongelmallisilla mailla, joilla fosforin tarve on keskimääräistä suurempi.

Samalla perustasolla fosforilannoituksen satokorjaus (+3 kg/viljatonna) on Etelä-Suomessa tämän tutkimuksen satojen mukaan keskimäärin kaksi ki-

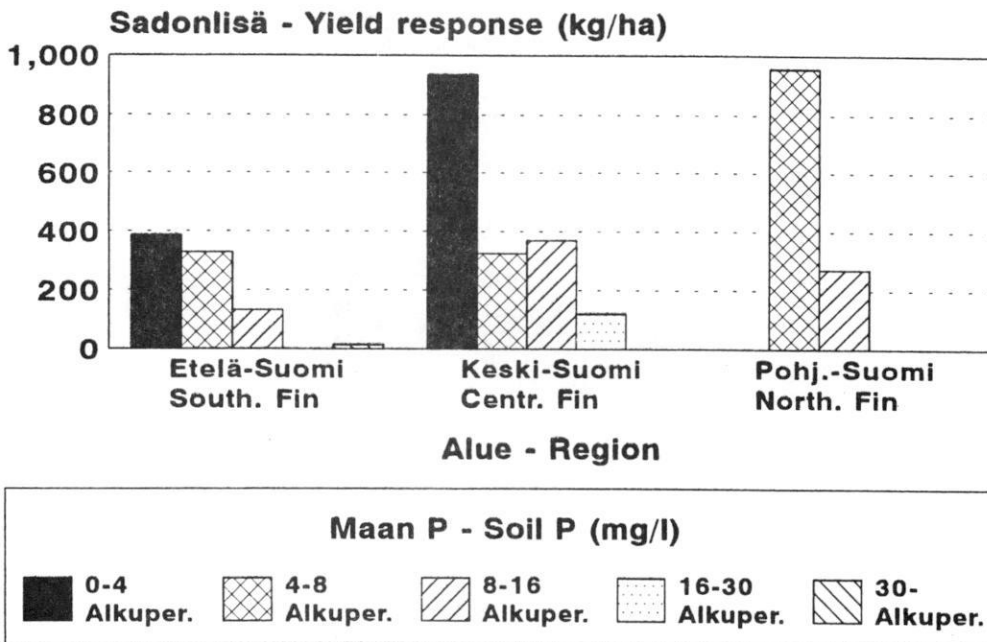
Taulukko 10. Fosforilannoituksen vaikutus viljasatoon (kg/ha) eri satotasoilla ja alueilla.
Table 10. Effect of phosphorus fertilization on grain yield of cereals (kg/ha) with yield levels by region.

Koesatoja	Maan fosfori, mg/l		Sato Yield ilman P No P	Sadonlisäys fosforilla			
	No of yields	Alkuper. Original		Korjattu Corrected	Mitattu Measured	M-korj. E-corr.	M-alkup. E-orig.
Satotaso (kg/ha) — Yield level (kg/ha; Alle=less than, Yli=higher than)							
Alle 2000	21	8.5	7.5	1304	210	404	349
2000-3500	107	9.8	9.7	2347	500	509	451
3500-5000	114	11.6	13.8	3756	354	351	377
Yli 5000	29	14.4	17.6	5121	436	270	374
Alue — Region (Etelä, E=South, Keski, K=Central, Pohja, P=North)							
Etelä, E	133	14.0	17.7	3476	244	240	319
Keski, K	93	8.3	7.1	3015	507	528	471
Pohja, P	45	7.2	5.9	2499	697	664	514
Satotaso ja alue — Yield level and region							
Alle 2000 E	12	7.3	8.2	1441	99	227	259
Alle 2000 K	5	13.0	8.1	1186	304	521	409
Alle 2000 P	4	6.1	4.6	1040	424	790	543
2000-3500 E	44	12.0	14.9	2597	246	277	339
2000-3500 K	36	9.2	6.5	2199	606	632	507
2000-3500 P	27	6.9	5.6	2140	774	722	561
3500-5000 E	56	15.9	20.6	3944	214	212	311
3500-5000 K	46	7.3	7.3	3620	446	469	445
3500-5000 P	12	8.2	6.6	3398	654	548	424
Yli 5000 E	21	17.2	21.3	5236	403	242	335
Yli 5000 K	6	6.8	8.2	4803	545	350	514
Yli 5000 P	2	7.9	7.6	4875	453	331	366
Viljalaji ja alue — Crop and region (Leipä=Bread grain, Ohra=Barley, Kaura=Oates)							
Leipä E	51	15.0	17.9	3217	180	156	171
Leipä K	3	3.9	2.4	2770	185	615	339
Ohra E	58	14.8	18.7	3370	327	314	431
Ohra K	53	9.7	7.7	2888	536	586	510
Ohra P	41	7.3	5.9	2380	747	706	542
Kaura E	24	10.1	14.9	4286	181	239	364
Kaura K	37	6.6	6.5	3216	490	437	427
Kaura P	4	6.1	5.2	3720	181	240	229



Kuva 42. Fosforilannoituksen vaikutus viljasatoon alueittain korjatuissa maan fosforiluokissa.

Fig. 42. Yield response of cereals to P by regions with corrected soil P.



Kuva 43. Fosforilannoituksen vaikutus viljasatoon alkuperäisissä maan fosforiluokissa alueittain.

Fig. 43. Yield response of cereals to P by regions with original soil P.

loa suurempi (vähennystä 1 kg) kuin Pohjois-Suomessa (vähennystä 3 kg). Maan fosforilukujen korjaus tarkennetun maalajiluokituksen mukaisesti on kuitenkin fosforilannoituksen alueellisen painottamisen kannalta tärkeämpi kuin satotasoa.

Vaativattomia satoja tuottavilla hiesuisilla mailla, joilla fosforin tarve oli tavallista suurempi (liite 11), alhaisesta sadosta johtuva lannoituksen vähennys on 3 - 5 kiloa. Tällaisilla mailla tulisi ilmeisesti ainakin kevätiljajien lannoitusta lisätä suhteessa satotasoon. Monivuotisten nurmien fosforin saanti ei näytä olevan yhtä riippuvainen maan rakenteesta. Tarkennettu maalajiluokitus lisää siten ympäristötukeen oikeuttavaa fosforin käyttöä nurmien osalta riittävästi ilman perussatotason muutosta.

3.4.5 Sadon laatu ja ravinnetaseet maan fosforiluokittain

Fosforilannoituksen vaikutuksia sadon laatuun ja pellon fosfori- ja typpitaseeseen tarkasteltiin edellä kappaleessa 3.1. Liitteessä 13 esitetään viljan, rypsin ja nurmen sadon laatu sekä pellon ravinnetaseet maan fosforiluokan mukaan. Viljavuusluokitus on sama, jota käytettiin edellä kappaleessa 3.4.3.

Sadon laadun vaihtelu on yleensä vähäistä sekä eri fosforilannoitemäärien että maan viljavuusluokkien välillä. Rypsin ja nurmen viljelyssä lannoitus suurensi kuitenkin sadon fosforipitoisuutta enemmän kuin viljaa viljeltäessä. Kaikkein eniten pitoisuudet nousivat turvemaalla kasvaneessa heinässä. Heikosti fosforia pidättävässä turpeessa suuri osa lisätystä fosforista pysyy vesiliukoisena (SIPPOLA ja SAARELA 1992), jolloin tehokkaasti maanestestä fosforia ottavan tiheäjuurisen heinäkasvin fosforipitoisuus voi nousta kaksinkertaiseksi (TÄHTINEN 1979, FÖHSE, ym. 1988). Tällaisilla mailla tarpeettoman runsas fosforin käyttö on arveluttavaa paitsi ympäristön myös tasapainoisen kasvinravitsemuksen ja sadon laadun kannalta. Niukka-fosforisilla nurmilla fosforilannoitus tehosti typenottoa noin 25 kiloa hehtaaria kohti.

Ohralla laadun vaihtelua aiheuttivat sekä maan fosforiluokka että lannoituksen fosforimäärä enemmän kuin muilla viljoilla (liite 13). Sekä hehtolitraino että jyväkoko olivat pienempiä niukka-fosforisilla mailla, ne ja kasvoivat fosforilannoituksella vielä, kun pitoisuus oli luokassa tyydyttävä. Ohran jyväsadon fosforipitoisuutta lannoitus

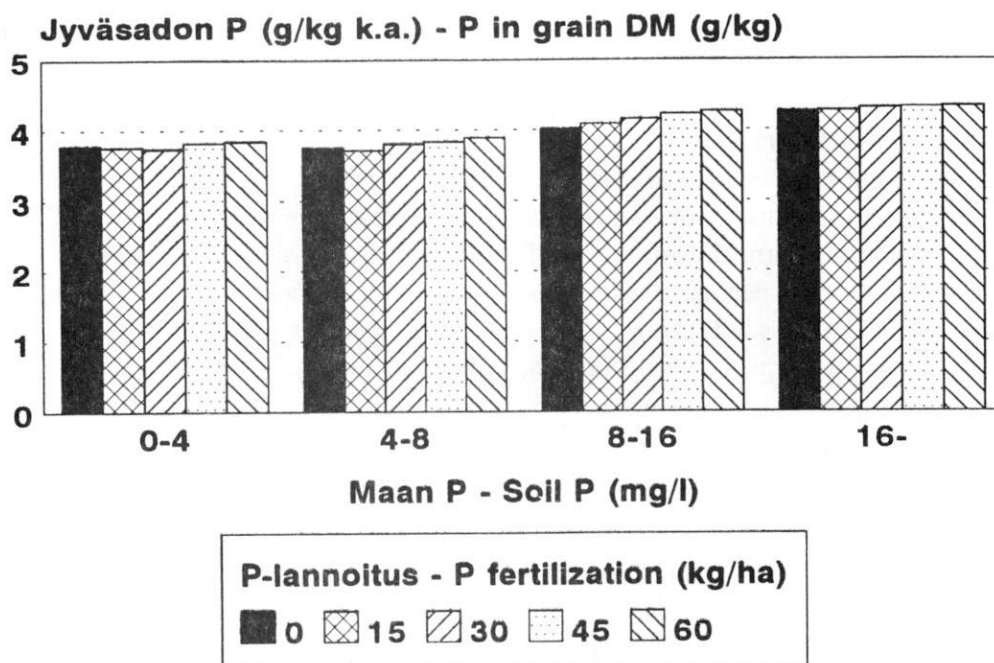
suurensi, kun maan fosforipitoisuus oli keskinertainen eli luokissa välttävä ja tyydyttävä (kuva 44). Pienin fosforimäärä oli kuitenkin välttävässä luokassa tehoton, ja niukka-fosforisilla mailla vasta runsaimmat lannoitukset nostivat pitoisuutta ohran jyvissä. Kun maan fosforipitoisuus oli yli 16 mg/l eli luokissa hyvä ja korkea, lannoitus ei enää vaikuttanut, mutta keskimääräinen pitoisuus oli 12 prosenttia suurempi kuin niukka-fosforisilla mailla.

Ohran fosforilannoitus tehosti merkittävästi myös typenottoa ja typen siirtymistä jyviiin. Laskennallinen jäännöstyyppi väheni niukka-fosforisessa luokassa 13 kg/ha, välttävässä luokassa vajaat kymmenen kiloa ja tyydyttävässäkin luokassa vielä viittisen kiloa hehtaarilla (kuva 45). Niukka-fosforisilla mailla myös lannoitefosforin määrä vaikutti jäännöstypen määrään muutamia kiloja hehtaaria kohti. Riittäväällä fosforilannoituksella on siten edullinen vaikutus pellon typpitalouteen sekä maatalouden että ympäristön kannalta.

3.4.6 Fosforin vaikutus satoon muissa tutkimuksissa

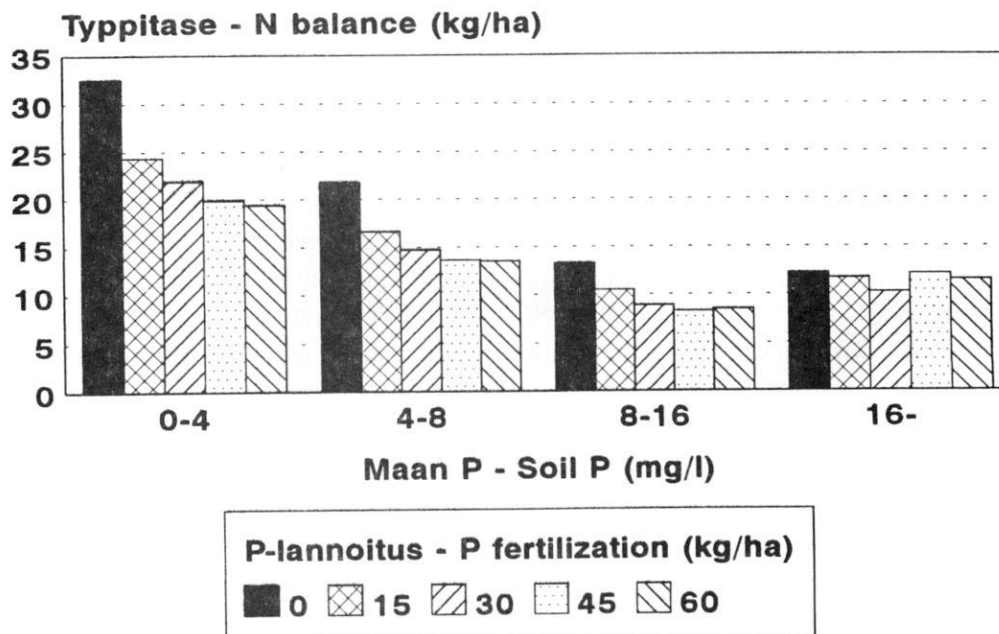
Lannoitefosforin määrän vaikutus viljasatoon kasvoi koejakson aikana myös Tikkurilan lannoitevertailukokeissa v. 1969 - 1980, jotka tehtiin fosforin osalta hyväkuntoisella savisella hiedalla ja hietasavella (LARPES 1977, SAARELA 1983). Sadan typpikilon lannoituksella typpirikas Y-lannos (vanha typpirikas Y-lannos, 29 kg P/ha) tuotti alussa vain kuivina vuosina pienempiä ohra- ja kevävehnäsatoja kuin runsaammin fosforia sisältävät lannoitteet. Kokeen lopussa koostumukseltaan muuttuneen lannoitteen 22 fosforikiloa kasvattivat 200 kg/ha pienempiä satoja kuin fosforirikas Y-lannos, jossa tätä ravinnetta tuli 83 kg/ha. Näillä koepaikoilla maan heppoliukoisen fosforin pitoisuus oli alussa 18,0 mg/l ja lopussa typpirikasta Y-lannosta käytettäessä 15,9 mg/l.

Kun nämä fosforiluvut sijoitetaan edellä esitettyyn malliin, saadaan (maalajikertoimella 1) 12 vuoden keskimääräiseksi sadonlisäykseksi vehnällä 110 kg/ha ja ohralla 220 kiloa eli hiukan vähemmän kuin punnittu vaikutus. Kun fosforilannoitusta lisätään 15 kg:sta/ha, tällaisella maalla vehnän sato kasvaa mallin mukaan 60 kg/ha ja ohran 90 kg/ha. Fosforin saatavuus näytti olleen Tikkurilan koe-kentillä huonompi kuin muualla samoilla maala-jeilla. Osittain tuloksen selittävät 1970-luvun lu-



Kuva 44. Fosforilannoituksen vaikutus ohran jyväsadon fosforipitoisuuteen korjatuissa maan fosforiluokissa.

Fig. 44. P content of barley grains with corrected soil P by P fertilization.



Kuva 45. Fosforilannoituksen vaikutus ohrapellon typpitaseeseen korjatuissa maan fosforiluokissa.

Fig. 45. N balance of barley fields with soil P by P fertilization.

kuisat kuivat kasvukaudet, jolloin fosforin merkitys korostui (LARPES 1977).

Tikkurilassa tutkittiin samoina vuosina kahdella koekentällä eri lannoitustasoja ja -menetelmiä ohrralla ja kevätvehnällä (ESALA ja LARPES 1984, 1986). Lannoitteena käytetyssä typpirikkaassa Y-lannoksessa annettiin tyypeä 0 - 200 kg/ha ja fosforia 0 - 44 kg/ha. Näissä kokeissa maan fosforipitoisuus oli jonkin verran pienempi kuin eri määriä fosforia sisältävien lannoitteiden vertailussa. Toinen koekentistä oli hiesusavea ja vahvasti hapana. Sen pH-luvun ja maalajin mukaan korjattu fosforiluku oli alussa seitsemän ja lannoittamatta viljelyssä ruuduissa lopussa viisi. Tämä pelto muistutti sekä kemiallisesti että fysikaalisesti YLI-HALLAN (1989) selostaman Vihdin kokeen hiesusavea, joka oli vahvasti hapanta ja niukkafosforista ja jolla fosforilannoitus lisäsi viljasatoa 12-vuotisen koejakson lopussa yli tuhat kiloa hehtaarilta.

Fosforilannoituksen vaikutus Tikkurilan hiesusavikokeen satoon oli mallin mukaan kevätvehnällä 230 kg/ha ja ohrralla 450 kg/ha. Kun lannoituksen määrä kasvaa 15 kg:sta/ha biologiseen optimiin, saadaan kevätvehnän sadonlisäykseksi 100 kg/ha ja ohran 180 kg/ha. Kun vielä otetaan huomioon hajalevitetyn fosforin huono tehokkuus 1970-luvulla vallinneissa kuivissa oloissa (LYNGSTAD ja STABBETORP 1981, DIBB ym. 1990), lannoitusmenetelmän ja -määrän vaikutukset eivät ole voineet johtua pelkästään tyypeistä, kuten eräissä taloudellisissa analyyseissä on oletettu (SUMELIUS 1993).

Edellä esitetyt tulokset on saatu pelloilla, joita aikaisemmin on viljelty runsaalla fosforilannoituksella. Koska hyvin niukkafosforiset maat puuttivat pitkäaikaisista kokeista kokonaan, tuloksia ei voida suoraan soveltaa aikaisemmin lannoittamattomien tai hyvin niukasti lannoitettujen peltojen viljelyyn. Aikaisemmin julkaistuissa lyhytaikaisissa nurmikokeissa (SAARELA ja ELONEN 1982) oli mukana yksi hyvin niukkafosforinen saraturvema Pihtiputaalla. Tällä maalla timotein sato väheni ilman fosforilannoitusta viljeltäessä jo toisena vuonna runsaaseen puoleen siitä määrästä, joka saatiin käytettäessä fosforia riittävästi.

Jokioisten niukkafosforisella savimaalla vuosina 1991 - 1994 (SAARELA 1995b) runsas fosforilan-

noitus lisäsi viljasatoa keskimäärin 1720 kg/ha, mikä on noin 600 kg/ha enemmän kuin pitkäaikaisten kokeiden mukaan lasketun mallin ennakoima tulos. Kun fosforilannoitusta lisättiin 15 kg:sta/ha, viljasato kasvoi 780 kg/ha eli 340 kg/ha enemmän kuin malli ennusti. Hyvin niukkafosforisella polttoturvesuon jättöalueella Tohmajärven Valkeasuolla (VIRKAJÄRVI ja HUHTA 1993) fosforilannoituksen vaikutus timotein satoon ylitti mallin ennustuksen alkuvuosina vielä enemmän. Pitkäaikaisten kokeiden mukainen sadonlisäys oli ensimmäisen neljän vuoden jakson aikana vain puolet mitatusta. Seuraavina viitenä vuotena lasketut ja punnitut satotulokset osuivat lähelle toisiaan.

Neljällä koepaikalla vuosina 1983 - 1988 suorituissa nurmen peruslannoituskokeissa (SAARELA ym. 1988) superfosfaatti lisäsi suojaviljana olleen ohran jyväsatoa paljon enemmän kuin pitkäaikaisissa kokeissa ensimmäisenä vuonna yhtä viljavilla pelloilla. Maan fosforiluokka oli kaikissa kokeissa välttävä ja keskimääräinen pitoisuus 5,7 mg/l (pH- ja maalajikorjauksen jälkeen 5,2). Riittävän fosforilannoituksen tuottama viljasadon lisäys oli mallin mukaan 320 kg/ha, mutta sijoittaen annettu superfosfaatti (50 kg P/ha) lisäsi satoa lähes kolme kertaa niin paljon eli 920 kg/ha, ja suuri äestäen mullattu fosforiannos (200 kg/ha) kasvatti jyväsatoa edelleen 400 kg/ha.

Kokeellinen malli aliarvioi lannoituksen tehokkuutta eniten tiiviillä Jokioisten multamaalla, missä liiallisten sateiden kellastuttamien oraiden toipumisessa fosforilla oli vuonna 1983 poikkeuksellisen suuri merkitys. Vaalan Pelsonsuon saraturpeella runsas fosforilannoitus näytti vähentävän maan happamuuden haitallisuutta erityisen tehokkaasti. Toholammin hiedalla ja Mietoisten aitosavella ohrasadon lisäykset olivat ennakoitun suuruisia. Fosforilannoituksen vaikutus timotein satoon oli kolmen nurmivuoden aikana (1984 - 1986) hiukan suurempi kuin malli ennusti.

Vuosina 1990 - 1994 tehdyissä nurmen peruslannoituskokeissa pitkäaikaisten fosforilannoituskokeiden perusteella laadittu malli ennusti sadonlisäyksiä hyvin viidellä koepaikalla. Tutkimuksen niukkafosforisimmassa kokeessa, Sotkamon hiekoitetulla saraturpeella, fosforin vaikutus timotein satoon oli 1 560 rehuyksikköä/ha eli paljon suurempi kuin mallin ennustama 680 ry/ha.

Taulukko 11. Fosforilannoituksen vaikutus peltokasvien satoon fosforilannoituksen porraskokeissa ja muissa vuoden 1970 jälkeen suoritetuissa kokeissa maan fosforiluokittain.

Table 11. Effect of phosphorus fertilization on yields of field crops in experiments with different rates of phosphorus fertilization and in other experiments since 1970.

Maan P-luokka mg/l <i>Soil P class mg/l</i>	Satoja kpl % <i>Number of yields</i>	Maan P Mg/l <i>Soil P mg/l</i>	Suht. sato Ilman P Relative <i>no P yield</i>	Sadonlisä ry/ha <i>Response fu/ha</i>	Osuus vaikutuk- sesta, % <i>Share of effect</i>
pH:n ja maalajin mukaan korjattu P — <i>Soil P corrected for pH and soil type</i>					
0-2	40 (8)	1.4	57.5	1547	27
2-4	91 (19)	3.2	75.9	863	34
4-8	117 (24)	5.7	88.3	388	21.5
8-16	157 (33)	10.7	93.4	256	16
16-30	34 (7)	20.6	98.2	95	1.0
30-	42 (9)	55.7	99.3	32	0.5
Alkuperäinen maan fosfori — <i>Original soil phosphorus</i>					
0-2	16 (3)	1.2	49.2	2046	12
2-4	79 (16)	3.2	78.9	768	26
4-8	173 (36)	6.2	84.4	526	43
8-16	140 (29)	10.6	92.3	330	17
16-30	31 (7)	17.7	96.9	115	1.5
30-	42 (9)	45.4	99.3	32	0.5

Edellä mainituissa lyhytaikaisissa kokeissa sekä hyvin niukkafosforisella polttoturpeen jättöalueella Tohmajärven Valkeasuolla tehdyssä pitkäaikaisessa kokeessa maan fosforipitoisuus oli P₀-vertailuruuduissa keskimäärin 6,3 mg/l. Näissä kokeissa maan fosforipitoisuus oli siten paljon pienempi kuin pitkäaikaisissa fosforilannoituksen porraskokeissa, joissa vastaava keskiarvo oli 12,0. Koko tarkastellun aineiston koevuosien lukumäärällä painotettu maan fosforipitoisuuden keskiarvo oli 11,0 mg/l eli hiukan valtakunnallista keskiarvoa pienempi.

Pitkäaikaisissa fosforilannoituksen porraskokeissa lannoitus lisäsi keskimääräistä hehtaarisatoa 420 rehuyksiköllä, joka saatiin 405 sadon keskiarvona. Muissa tarkastelluissa kokeissa vastaava vaikutus oli 76 koesadon keskiarvon mukaan 890 rehuyksikköä, ja kaikkien 481 sadon keskimääräinen lisäys oli 510 rehuyksikköä hehtaarilta. Niukkafosforisilla mailla fosforilannoituksen vaikutus oli siten monta kertaa tehokkaampi kuin pitkäaikaisissa kokeissa vastaavina koevuosina. Fosforitiltaan heikoilla mailla satoerot olivat useita kymmeniä prosentteja heti ensimmäisinä vuosina.

Pitkäaikaisten kokeiden loppupuolella saadut tulokset näyttävät osoittavan lannoitustarpeen melko hyvin myös pelloilla, jotka ovat alusta saakka niukkafosforisia. Maa-analyysitulosten tarkennettu

tulkinta pH-luvun ja maalajin perusteella oli pitkäaikaisissa porraskokeissa tärkeä. Suositeltuja fosforimääriä käytettäessä alkuperäiset maan fosforiluvut sijoittuivat Keski- ja Pohjois-Suomen ongelmallisilla mailla luokkaan välttävä, mikä ei vastaa niiden biologisesti heikkoa fosforitilaa.

Koko tarkastellun aineiston koesatojen lukumäärät sekä ilman fosforilannoitusta saadut suhteelliset sadot ja fosforilannoituksen aiheuttama sadonlisäys nähdään taulukosta 11. Maan fosforilukujen tarkennettu tulkinta korosti huonoimpien luokkien merkitystä lisäämällä niihin sijoittuvien kokeiden lukumäärää. Samalla välttävän luokan (4 - 8 mg/l) osuus pieneni sekä kokeiden määrän että lannoituksen keskimääräisen vaikutuksen vähentyessä. Maan fosforilukujen korjaus pienensi lannoituksen vaikutusta hiukan myös luokissa tyydyttävä (8 - 16 mg/l) ja hyvä (16 - 30 mg/l).

Viljavuuspalvelussa vuosina 1986 - 1990 analysoiduista 638 423 maanäytteestä 16 043 eli 2,5 prosenttia on sijoittunut luokkaan 0 - 2 mg/l (MÄNTYLÄHTI 1994). Tämä osuus on lähellä lannoituskokeiden alkuperäisten fosforilukujen vastaavaa prosenttilukua (taulukko 11) kuten muissakin luokissa. Koko maan näytteissä luokan huononlainen (2 - 4 mg/l) osuus on kuitenkin pienempi eli 11 prosenttia ja luokan hyvä (16 - 30 mg/l) suurempi eli 14 prosenttia.

3.5 Fosforilannoituksen määrän vaikutus satoon viljavuusluokittain

3.5.1 Sadonlisäys lannoituksen fosforimäärän funktiona

Laskettaessa vuotuisen fosforilannoituksen määrän suhdetta sadonlisäykseen lisättiin käytetty fosforimäärä tekijäksi edellä kappaleessa 3.4.1 esitettyyn malliin. Monen tekijän regressioanalyysissä fosforimäärä oli mukana sekä muuntamattomana että neliöön korotettuna ja neliöjuurena. Kun käytettiin kokeen alussa mitattuja maan fosforilukuja, jotka oli korjattu pH-luvun ja maalajin mukaan, osoitti fosforilannoituksen tuottamaa sadonlisäystä seuraava monen tekijän regressioyhtälö:

sadonlisäys =

$$\begin{aligned} & 24,0 * \text{n.juuri P-lann.} \\ & - 0,367 * \text{maan P} * \text{n.juuri P-lann.} \\ & - 0,132 * \text{maan Prev} * \text{P-lannoitus} * \text{P-lannoitus} * \text{koevuosi} * \text{kasvikerroin} \\ & + 12,4 * \text{maan Prev} * \text{P-lannoitus} * \text{koevuosi} * \text{kasvikerroin} \\ & + 6,97 \end{aligned}$$

Sadonlisäyksen yksikkönä on ry/ha, ja fosforilannoitus on ilmoitettu kiloina hehtaarelle. N.juuri P-lann. on fosforimäärän neliöjuuri. Maan Prev ja kasvikerroimet ovat samat kuin edellä kappaleessa 3.4.1. Vaikka riippumattomia muuttujia on neljä, niiden vaikutukset sisältyvät neljään kertoimeen, joista kahdessa ovat mukana kaikki neljä tekijää. Mallin selvitysaste oli 60,1 prosenttia ja keskivirhe 289 ry/ha. Lannoituksen vaikutuksesta malli selvitti 99,8 prosenttia. Korjaamattomia maan fosforilukuja käytettäessä vastaavan mallin selvitysaste oli 46,9 prosenttia ja keskivirhe 337 kg/ha:

sadonlisäys =

$$\begin{aligned} & 21,7 * \text{n.juuri P-lann.} \\ & - 0,414 * \text{maan P} * \text{n.juuri P-lann.} \\ & - 0,173 * \text{maan Prev} * \text{P-lannoitus} * \text{P-lannoitus} * \text{koevuosi} * \text{kasvikerroin} \\ & + 16,2 * \text{maan Prev} * \text{P-lannoitus} * \text{koevuosi} * \text{kasvikerroin} \\ & + 5,85 \end{aligned}$$

Käyrän tulisi lähteä nolasta, koska lannoitus ei lisää satoa, ellei ole lannoitettu. Epäjohdonmukaisilta näyttävillä ja tilastollisesti epävarmoilla vakiotermeillä on kuitenkin luonnollinenkin selitys: lannoitefosforia kulkeutuu muokkauksessa liikku-

van maan mukana lannoitetuilta ruuduilta lannoittamattomille vertailuruuduille. Kuuden kilon vakiotermit ovat vain pari prosenttia 15 fosforikilon vaikutuksesta, joten ne vastaavat vajaata puolta kiloa lannoitefosforia hehtaarelle. Viimeisinä vuosina viereisten käsittelyjen reunavaikutus on todennäköisesti ollut tätä suurempi.

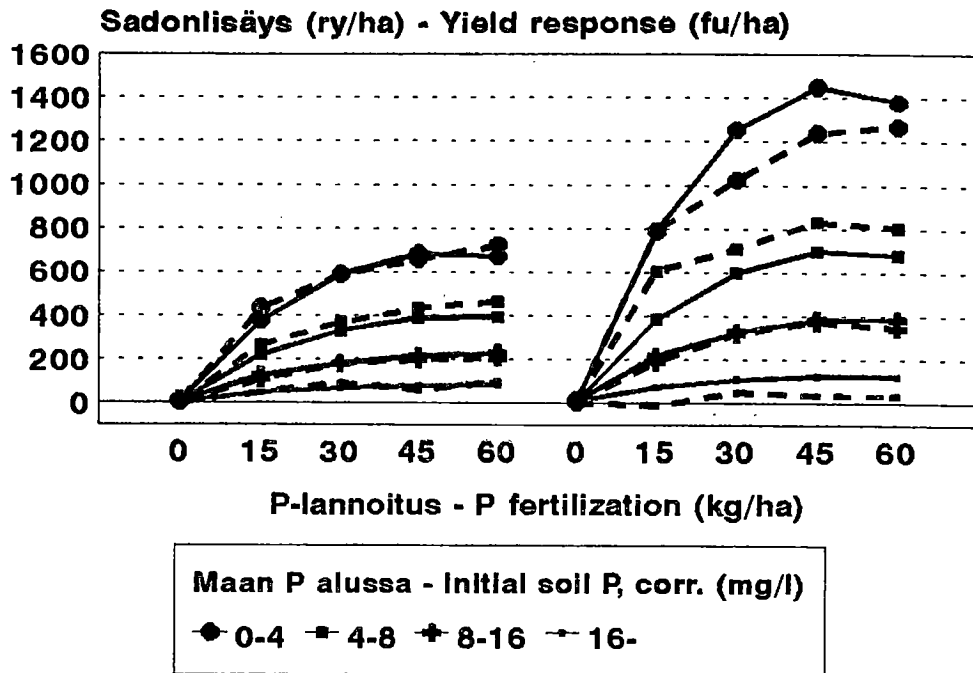
Reunavaikutus näkyi kasvustossa silmävaraisestikin mm. Jokioisten multamaalla kokeessa 29, jossa maata tarttui kynnettäessä auran siipeen, mikä lisäsi sekoittumista. Kuuden kilon hehtaarisadon eroa tuskin voi nähdä kasvustosta. Vaikka punnittu nettosato korjattiin ruutujen keskeltä 1,5 - 2,3 m leveältä kaistalta, virhettä ei voitu kokonaan estää joka vuosi kynnetyissä pitkäaikaisimmissa kokeissa. Eri fosforimäärien välisiin satoeroihin lannoitefosforin kulkeutuminen ei todennäköisesti ole vaikuttanut käytännöllisesti katsoen lainkaan.

Koetulosten perusteella lasketun mallin mukaiset käyrät ja vastaavat punnitut satotulokset on esitetty maan fosforiluokkien mukaisesti ja jaksoittain kuvissa 46 ja 47. Korjattujen maan fosforipitoisuuksien mukaan lasketut vaikutukset ja punnitut tulokset olivat alussa jokseenkin yhtä suuria kaikissa luokissa, mutta aloitusnäytteistä mitattujen maan fosforilukujen soveltaminen lisäsi virhettä lopussa (kuva 46). Alkuperäisiä aloitusnäytteiden fosforipitoisuuksia käytettäessä alemmat luokat eivät erottuneet selvästi toisistaan (kuva 47).

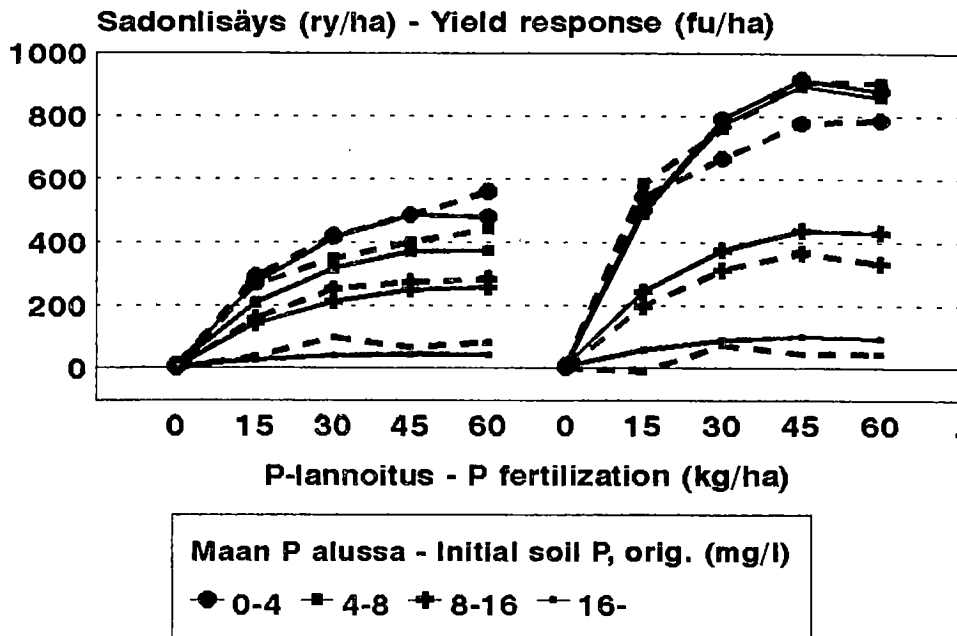
Juoksevia maan fosforipitoisuuksia käytettäessä regressioyhtälö muodostui monimutkaisemmaksi, koska maan fosforiluvut muuttuivat sekä ajan että lannoituksen mukaan. pH-luvun ja maalajin mukaan korjattuja maan fosforipitoisuuksia sovellettaessa saatiin seuraava yhtälö:

sadonlisäys =

$$\begin{aligned} & 2,51 * \text{P-lannoitus} \\ & + 14,9 * \text{maan Prev} * \text{P-lannoitus} * \text{koevuosi} * \text{kasvikerroin} \\ & - 0,000695 * \text{maan P} * \text{P-lannoitus} * \text{P-lannoitus} \\ & - 0,281 * \text{maan Prev} * \text{P-lannoitus} * \text{P-lannoitus} \\ & + 0,0287 * \text{maan Prev} * \text{P-lannoitus} * \text{P-lannoitus} * \text{koevuosi} \\ & + 9,99 * \text{maan Prev} * \text{P-lannoitus} * \text{kasvikerroin} \\ & - 0,166 * \text{maan Prev} * \text{P-lannoitus} * \text{P-lannoitus} * \text{koevuosi} * \text{kasvikerroin} \\ & - 1,43 \end{aligned}$$



Kuva 46. Peltokasvien sadonlisäykset koev. 1-7 (vas.) ja 8-18 korjatulissa kok. alun P-luokissa. Lasketut vaikutukset yhtenäisillä, mitatut katkoviivoilla.
Fig. 46. Calculated (solid) and observed resps of field crops in yrs 1-7 (left) and 8-18.



Kuva 47. Peltokasvien sadonlisäykset koev. 1-7 (vas.) ja 8-18 alkuperäisissä kok. alun P-luokissa. Lasketut vaikutukset yhtenäisillä, mitatut katkoviivoilla.
Fig. 47. Calculated (solid) and observed resps of field crops in yrs 1-7 (left) and 8-18.

Mallin selvitysaste oli kaikki kasvit sisältävässä aineistossa (liite 14) 59,2 prosenttia ja keskivirhe 292 ry/ha. Tarkkuus ei siten parantunut lainkaan käytettäessä alkutilanteen sijasta satovuosia vastaavia maa-analyysituloksia. Lannoituksen keskimääräisestä vaikutuksesta tämä yhtälö selvitti 99,88 prosenttia. Malliin huonosti sopiva vakiotermi oli paljon pienempi kuin aloitus-maanäytteitä käytettäessä. Satovuosia vastaavat maa-analyysit näyttävät siten kattavan myös viereisten ruutujen reuna-vaikutuksen.

Alkuperäisiä satovuosien fosforilukuja käytettäessä selvitysaste oli alempi eli 43,4 prosenttia ja keskivirhe vastaavasti suurempi eli 344 kg/ha, mutta lannoituskäsittelyjen välinen selvitysaste oli vielä korkeampi eli 99,91 prosenttia. Alkuperäisiä satovuosien maa-analyysilukuja käytettäessä sadonlisäyksen yhtälö oli:

sadonlisäys =

$$\begin{aligned}
 & 2,00 * P\text{-lannoitus} \\
 & - 0,00497 * \text{maan } P * P\text{-lannoitus} * \text{koevuosi} \\
 & + 8,12 * \text{maan Prev} * P\text{-lannoitus} * \text{koevuosi} \\
 & \quad * \text{kasvikerroin} \\
 & - 1,06 * \text{maan Prev} * P\text{-lannoitus} * P\text{-lannoitus} \\
 & \quad * \text{kasvikerroin} \\
 & - 37,5 * \text{maan Prev} * P\text{-lannoitus} \\
 & + 4,51 * \text{maan Prev} * P\text{-lannoitus} * \text{koevuosi} \\
 & + 95,8 * \text{maan Prev} * P\text{-lannoitus} * \text{kasvikerroin} \\
 & - 1,23
 \end{aligned}$$

Satovuosia vastaavien, pH-luvun ja maalajin mukaan korjattujen maan fosforipitoisuuksien perusteella lasketut lannoituksen vaikutukset olivat lähellä punnittuja satoeroja. Lasketut ja kokeelliset tulokset muistuttavat toisiaan sekä käyrän korkeuden että muodon mukaan (kuva 48). Korkeimmassa maan fosforiluokassa laskettu satoero oli kuitenkin jälkimmäisellä jaksolla paljon suurempi kuin mallin ennustama vaikutus. Virhe on suurin tähän ryhmään kuuluvassa runsasmultaisen hiuemaan kokeessa 17, jossa fosforilannoitus pikemminkin pienensi satoja lopussa (liite 3).

Korjaamattomia satovuosien maa-analyysituloksia sovellettaessa luokkaan 0 - 4 mg/l sijoittui alussa vain muutama tulos. Niitä esittävät käyrät on merkitty kuvaan 49 muita ohuemmilla viivoilla. Jälkimmäisellä jaksolla tätä luokkaa ei ollut ollenkaan, koska sen alarajaa vastaava fosforilannoitus 35 kg/ha nosti maan fosforipitoisuudet korkeampaan luokkaan. Jälkimmäisellä jaksolla laskettujen

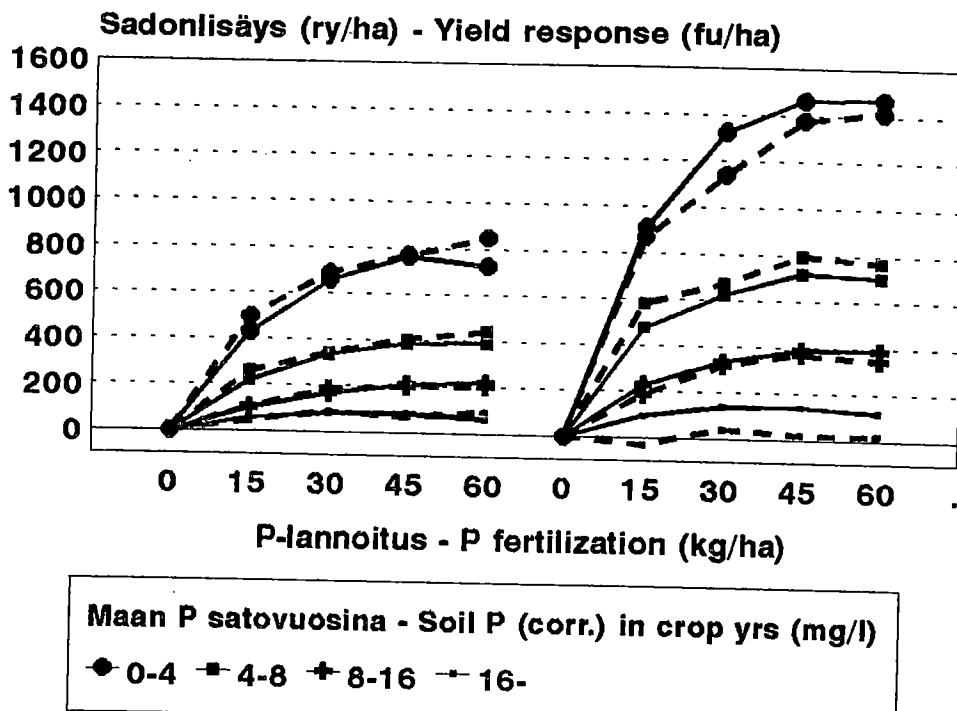
käyrien korkeus ja muoto vastasivat hyvin punnittuja satotuloksia.

Viljasatoja esittävä kuva 50 muistuttaa vastaavaa kaikkia kasveja koskevaa kuvaa 48, mutta laske-malla ja mittaamalla saadut käyrät olivat viljako-keissa lopussa vähän lähempänä toisiaan. Ohran osalta malli vastasi vielä tarkemmin punnittuja satoja muissa tapauksissa, mutta lopussa virhe oli vähän tuloksia sisältävässä alhaisessa maan fosfori-luokassa suurempi (kuva 51). Kuvissa 48, 50 ja 51 esitetyt tulokset ovat numeroina liitteessä 14.

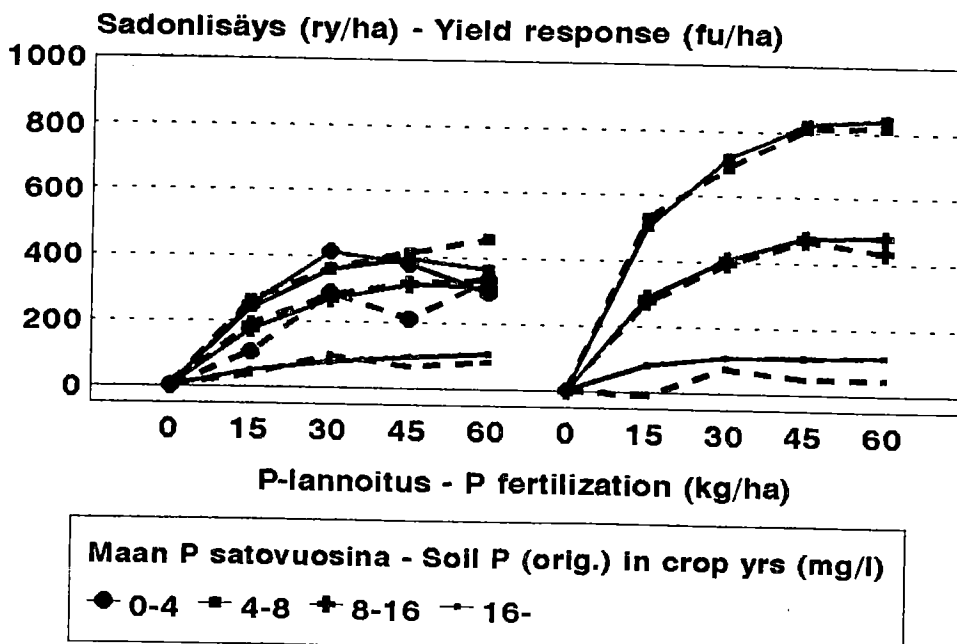
Eri peltokasvien lasketut ja mitatut satokäyrät esitetään kuvassa 52. Siitä nähdään, että alunäytteiden mukaan lasketut käyrät ovat yleisesti jonkin verran huipukkaampia kuin kokeelliset käyrät. Huipukkuuden korostuminen on ominaista lannoitemäärän neliöön perustuvilla malleilla (SUMELIUS 1993). Lannoituksen logaritmiin perustuvissa käy-rissä sadon maksimi ja sen jälkeen tässäkin aineis-tossa todettu sadon pieneneminen taas puuttuvat kokonaan (DAHNIKE 1993). Edellä esitetty laajaan koesarjaan perustuva yhdistetty malli vastaa mitat-tuja tuloksia tarkasti muihin tutkimuksiin verrat-tuna.

Kokeellisiin havaintoihin verrattuna käyrän muo-tovirhe on suurin rypsilä, jolla se vastaa noin vii-den kilon eroa fosforilannoituksessa ja paria pro-senttia sadossa. Ohran, kauran ja nurmen sadossa virhe on samansuuntainen mutta puolta pienempi. Kevätvehnällä, jonka tuloksista suurempi osa saa-tiin savimailta, malli poikkesi kokeellisista tulok-sista lievästi päinvastaiseen suuntaan. Kun myös rypsiä viljeltiin usein savimailloilla, kevätvehnä ja rypsi näyttivät reagoivan lannoituksen muutoksiin selvästi eri tavoin. Rypsi hyötyi pienestä fosfori-määrästä suhteellisesti enemmän kuin kevätvehnä.

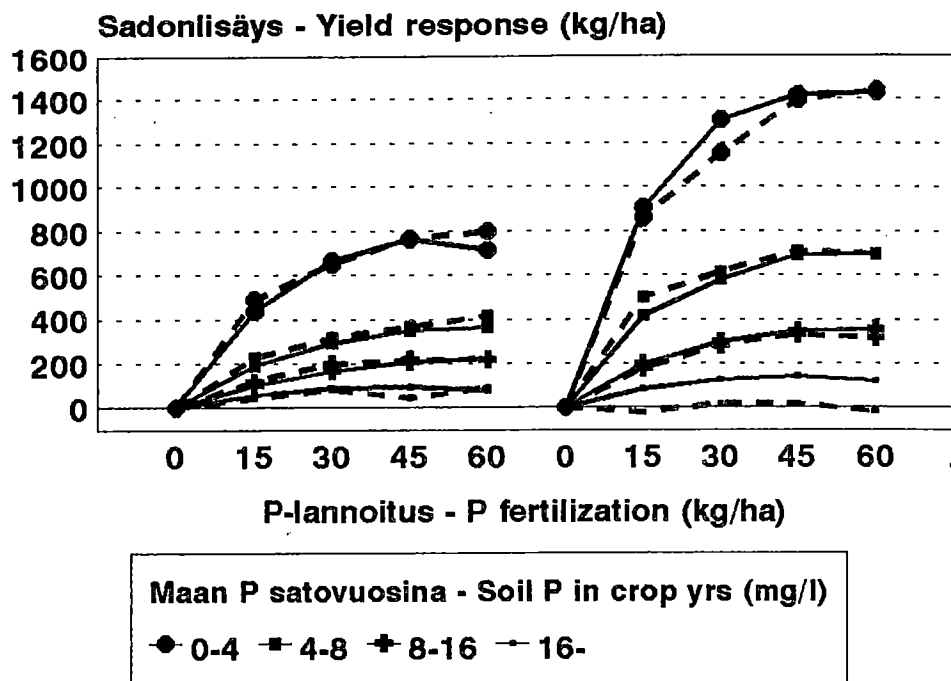
Kuvissa 53 ja 54 esitetään mallin mukaisia ja ko-keellisia kaikkien kasvien satokäyriä alueittain. Sa-tovuosia vastaavien korjattujen maan fosforipitoi-suuksien mukaan lasketut vaikutukset osoittavat hyvin fosforilannoituksen merkityksen kasvun ete-lästä pohjoiseen siirryttäessä (kuva 53). Alkupe-räisten maa-analyysien mukaiset mallit sen sijaan ennustivat liian suuria sadonlisäyksiä Etelä-Suo-meen ja vastaavasti liian pieniä lannoituksen vai-ikutuksia Pohjois-Suomeen (kuva 54). Tämä virhe oli suurin alle 10 % orgaanista ainetta sisältävillä



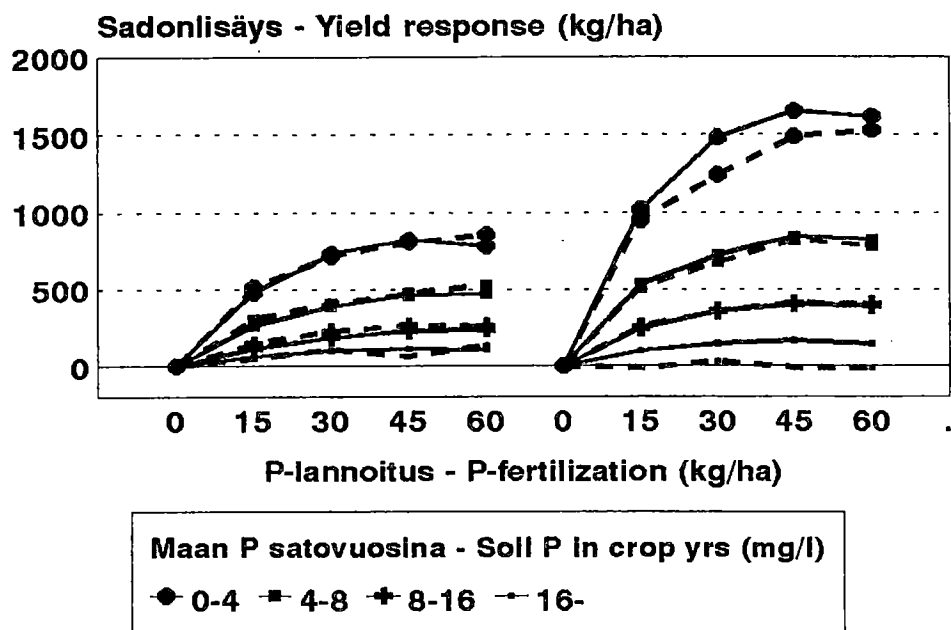
Kuva 48. Peltokasvien sadonlisäykset koevuosina 1-7 (vas.) ja 8-18 korjatulissa satovuosien P-luokissa. Lasketut vaikutukset yhtenäisillä, mitatut katkoviivoilla.
 Fig. 48. Calculated (solid) and observed resps of field crops in yrs 1-7 (left) and 8-18.



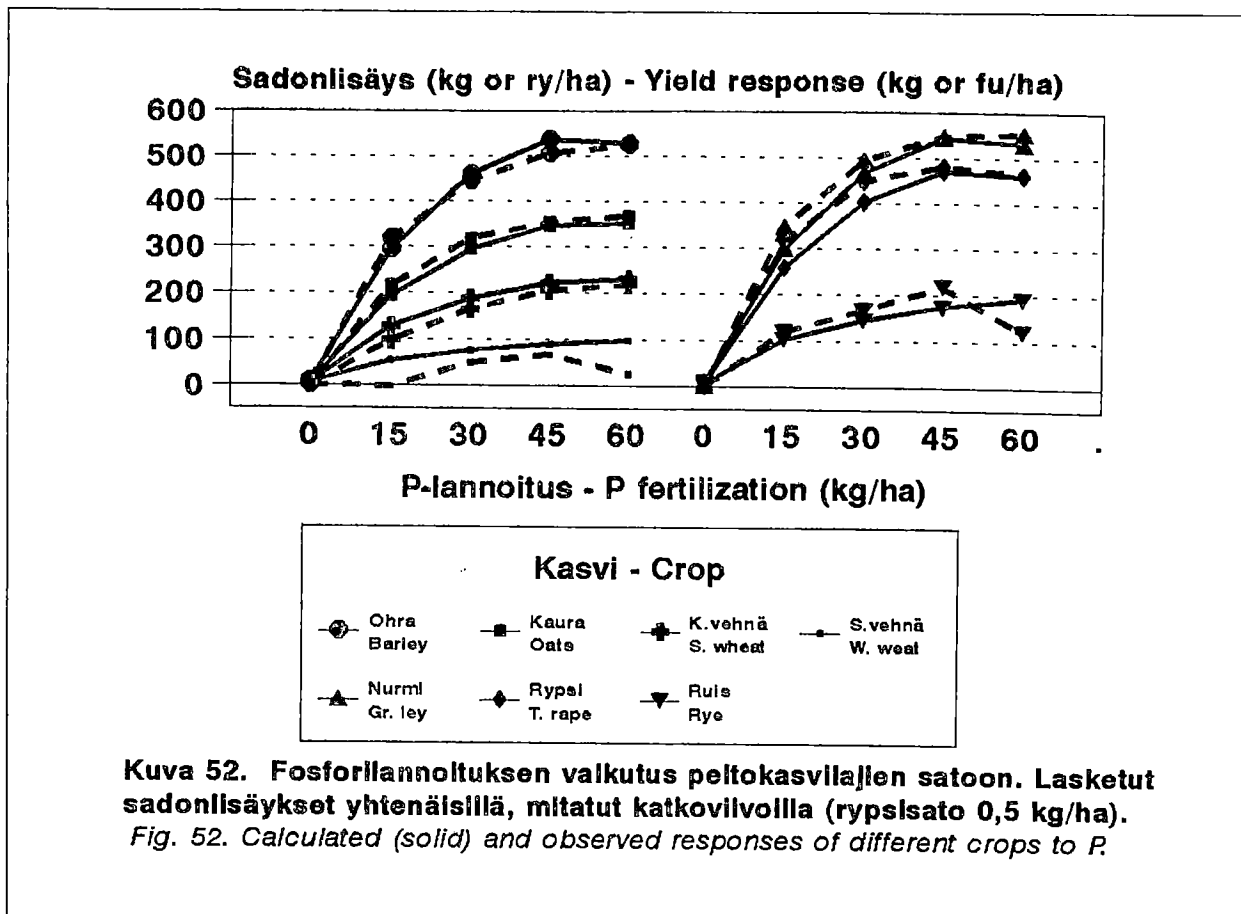
Kuva 49. Peltokasvien sadonlisäykset koev. 1-7 (vas.) ja 8-18 alkuperäisissä satov. P-luokissa. Lasketut vaikutukset yhtenäisillä, mitatut katkoviivoilla.
 Fig. 49. Calculated (solid) and observed resps of field crops in yrs 1-7 (left) and 8-18.



Kuva 50. Viljasadon lisäykset koevuosina 1-7 (vas.) ja 8-18 korjatulissa sato-
vuosien P-luokissa. Lasketut vaikutukset yhtenäisillä, mitatut katkoviivoilla.
Fig. 50. Calculated (solid) and observed resps of cereals in yrs 1-7 (left) and 8-18.



Kuva 51. Ohrasadon lisäykset koevuosina 1-7 (vas.) ja 8-18 korjatulissa sato-
vuosien P-luokissa. Lasketut vaikutukset yhtenäisillä, mitatut katkoviivoilla.
Fig. 51. Calculated (solid) and observed resps of barley in yrs 1-7 (left) and 8-18.



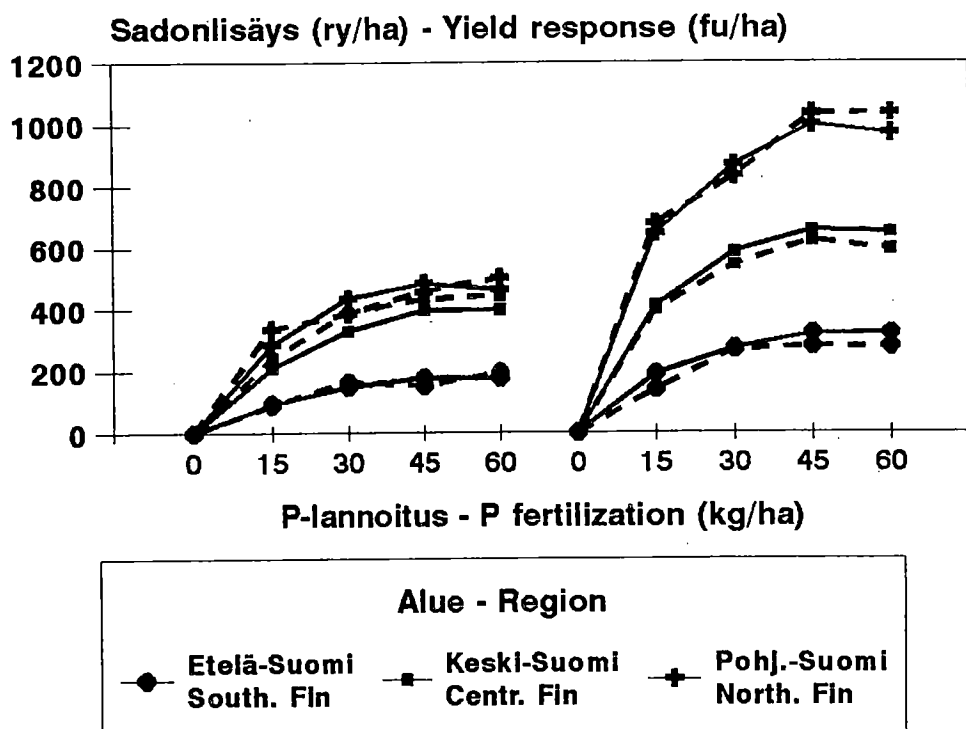
kivennäismailla. Keski-Suomessa mallien keskiarvoilla ei ollut eroa, mutta kivennäismaat olivat tälläkin alueella huonompia ja satoerot suurempia kuin korjaamattomat fosforiluvut ennustivat. Kummankin mallin muoto vastasi alueittain hyvin kokeellisia mittauksia.

3.5.2 Lannoitefosforin hinta ja nettosato

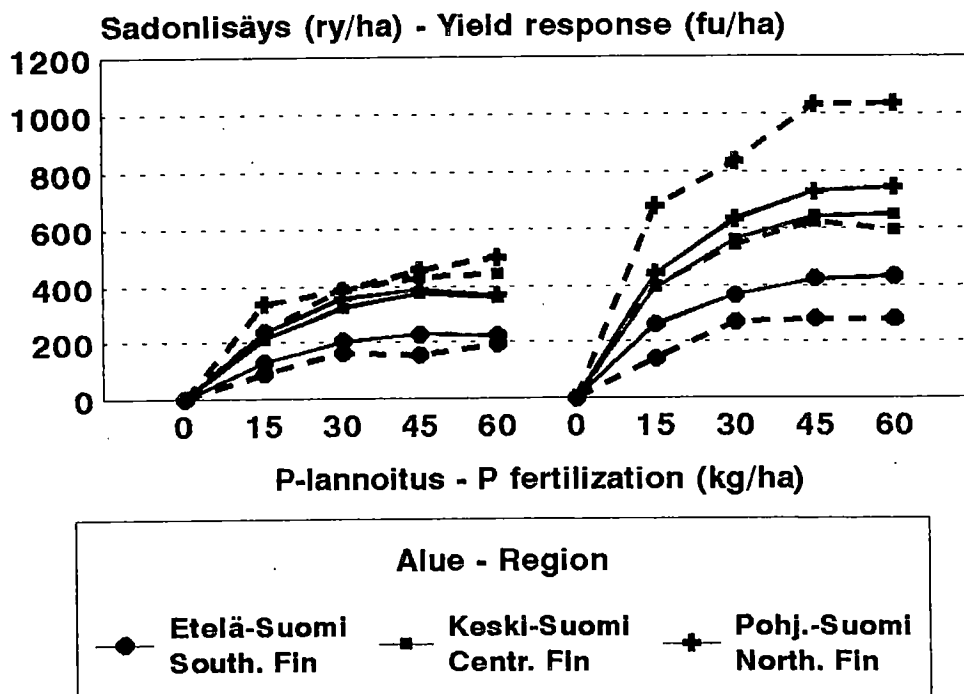
Fosforilannoitteen hinnan osuudella vähennettyä nettosatoa laskettaessa rehuviljan kilohintana ja nurmisadon rehuyksikköhintana käytettiin 64 penniä, joka vastaa kohtuulliset käsittely- ja rahtikustannukset huomioon ottaen syksyn 1995 markkinatilannetta. Leipäviljan kilohintana on käytetty 90 penniä ja rypsin hintana 120 penniä. Lannoitefosforin hintana oli 9,0 markkaa kilolta, joka vastaa NP- ja NPK-lannoitteiden fosforin keskihintaa syksyllä 1995. Arvonlisäveron (22 %) palautuksen jälkeen jäävä lannoitefosforin nettohinta on siten noin 7,0 markkaa kilolta. Yhden lannoitefosforikilon maksuun tarvitaan sen mukaan 11 kiloa rehuviljaa, 11 rehuyksikköä nurmirehua, 8,0 kiloa leipäviljaa tai 5,8 kiloa rypsiä.

Superfosfaatin hinta on ravinnekiloa kohti korkeampi eli 13,00 mk/kg. Fosforin hinta vaihtelee myös Y-lannosten välillä. Kun typpi hinnoitellaan oulunsalpietarin mukaan ja kalium kalisulolan mukaan, fosforin kilohinnaksi jää vähäkalisessa ja typpirikkaissa Y-lannoksissa 9,4 - 16,3 markkaa, mutta fosforirikkaassa Y-lannoksessa vain 7,4 markkaa. Jos typpirikas Y-lannos 1 vaihdetaan vähäkaliseen Y-lannokseen, tulee lisäfosforin kilohinnaksi 5,4 markkaa. Jos taas typpirikas Y-lannos 3 vaihdetaan fosforirikkaaksi Y-lannokseksi, maksaa lisäfosforikilo 5,8 markkaa. Jos sadonlisäyksen yksikköhinta (kg tai ry) on 64 penniä, yhden fosforikilon tulee tuottaa 6,6 - 25,5 yksikköä, jotta kustannukset saadaan takaisin. Leipäviljaa tulee saada lisättyä fosforikiloa kohti eri tapauksissa 4,7 - 18,1 kiloa.

Koetuloksiin perustuvan mallin mukaisia sadonlisäyksiä sekä arvonlisäverottomalla lannoitefosforin keskihinnalla 7,0 mk/kg vähennettyjä nettosatoja esitetään kuvissa 55 - 58 ja liitteessä 14. Kokeen alussa ensimmäisten seitsemän vuoden aikana fosforilannoitus lisäsi taloudellista nettosatoa



Kuva 53. Peltokasvien sadonlisäykset alueittain koevuosina 1-7 (vas.) ja 8-18. Korjattujen satovuosien P-lukujen mukaan lasketut vaikutukset yhtenäisillä; mitatut katkoviivoilla.
Fig. 53. Calculated (solid) and observed resps by regions in yrs 1-7 (left) and 8-18 (corr. P).



Kuva 54. Peltokasvien sadonlisäykset alueittain koev. 1-7 (vas) ja 8-18. Alkuperäisten satovuosien P-lukujen mukaiset vaikutukset merkitty yhtenäisillä, mitatut katkoviivoilla.
Fig. 54. Calculated (solid) and observed resps in yrs 1-7 (left) and 8-18 by regions (orig. P.)

nykyisillä hintasuhteilla niukkafosforisillakin maila vain muutamalla sadalla kilolla hehtaarilta ja keskinkertaisissa ja paremmissa maan fosforiluokissa nettosato ei kasvanut lainkaan (kuva 55). Kokeen lopussa nettosadon lisäys oli huomattavasti suurempi, enimmillään 1000 ry/ha, mutta paremmissa luokissa lisäys oli edelleen pieni tai täysin olematon.

Kuvassa 55 maan fosforiluokitus perustuu pH-luvun ja maalajin mukaan korjattuihin maan fosforipitoisuuksiin. Alkuperäisiin maan fosforilukuihin perustuvalla luokituksella, jolla niukkafosforisin luokka ei erottunut paremmista maista, suurimmat luokkien keskimääräiset sadonlisäykset jäivät pienemmiksi (kuva 56). Alussa lannoitus ei lisännyt viljavuusluokittaisia nettosatoja juuri lainkaan, ja lopussakin suurimmat sadonlisäykset olivat paljon pienempiä kuin tarkennetulla maa-analyysien tulokinnalla. Fosforilannoitus lisäsi nettosatoa ohraa viljeltäessä hiukan enemmän kuin kaikilla kasveilla keskimäärin (kuva 57). Fosforin käyttö oli Pohjois-Suomessa kannattavampaa kuin Etelä-Suomessa (kuva 58).

Taloudellisesti edullisin fosforimäärä vaihteli nolasta noin 40 kiloon hehtaarille. Tarkennetulla maan fosforilukujen tulokinnalla saatu suurempi sadonlisäys osoittaa, että lannoituksen oikea kohdentaminen parantaa kannattavuutta. Tulokset osoittivat lisäksi, että tavallisessa peltoviljelyssä maan fosforianalyysi ei vanhene kovin nopeasti. Kokeen alussa tehty analyysi ennusti satotuloksia koko koejakson ajan jokseenkin yhtä hyvin kuin kolmen vuoden välein toistettu analyysi. Fosforilannoituksen ja satojen mukaisen pellon fosforitaseen puutteellinen tunteminen voi kuitenkin lyhentää maa-analyysin luotettavaa käyttöikää käytännön maataloudessa etenkin karjatililla.

3.5.3 Sadon ja fosforilannoituksen muutosten suhde

Taloudellisesti edullisin on se fosforimäärä, joka tuottaa parhaan nettosadon lannoituskustannusten vähentämisen jälkeen. Parhaiten kannattavat fosforimäärät nähdään koejaksoittain ja maan fosforiluokittain kuvissa 55 - 58. Edullisin lannoitus vaihtelee kuitenkin paitsi maan viljavuuden ja ajan mukaan myös lannoitefosforin ja satotuotteiden hintasuhteen muuttuessa.

Lannoituksen tehokkuuteen vaikuttavat tekijät, fosforimäärä, maan fosforipitoisuus ja aika kokeen alusta, ovat matemaattisessa mallissa jatkuvia muuttujia. Niiden vaikutus voidaan siten laskea millä tahansa arvolla. Tulosten luotettavuus on paras kunkin muuttujan ääriarvojen keskivaiheilla. Fosforilannoituksen kasvaessa yli 60 kg:aan/ha sadonlisäys laskee mallin mukaan ilmeisesti paljon nopeammin kuin käytännössä. Ajan suhteen pienin mielekäs muutos on tavallisesti yksi vuosi, vaikka myös tarkempi jako voi tulla kysymykseen esimerkiksi useita satoja vuodessa tuottavilla nurmilla ja eri aikoina annetun lannoituksen jälkivaikutusta laskettaessa.

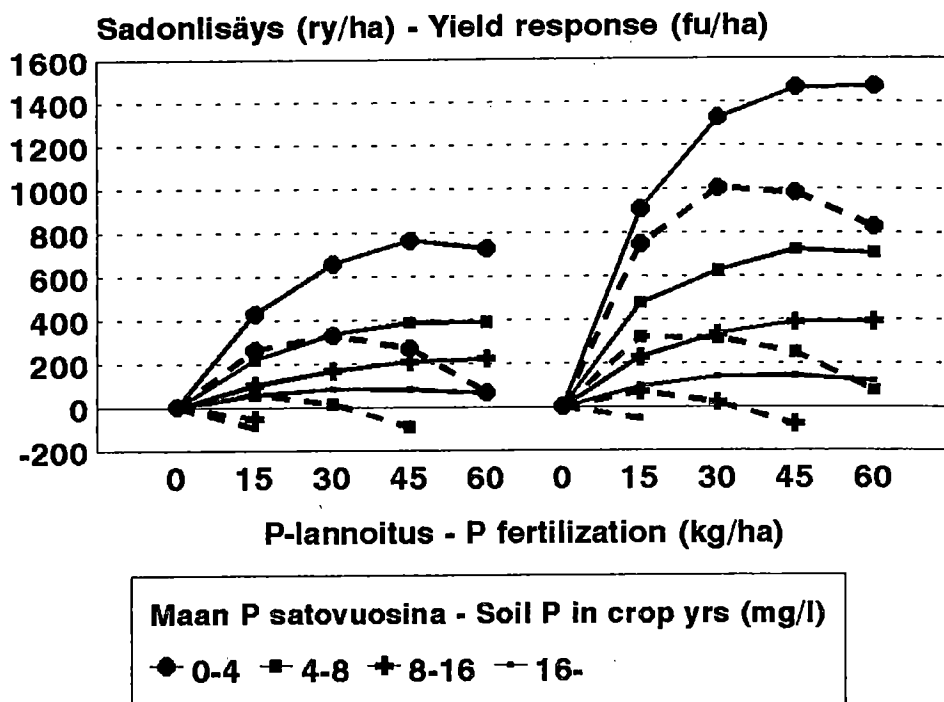
Jatkuvien muuttujien muutoksen ja sadonlisäyksen suhde saadaan satoyhtälöstä matemaattisesti osittaisderivaatoilla, jotka osoittavat satokäyrän tangenttia eli kulmakerrointa. Tangentin jyrkkyys vaihtelee paitsi lannoitemäärän myös maan fosforipitoisuuden, koevuoden ja kasvikerroimen mukaan. Satovuosia vastaavia maan fosforipitoisuuksia käyttäen saatuja fosforilannoituksen ja koeajan derivaattoja esitetään liitteessä 14. Yhden koevuoden vaikutus oli välttävissä maan fosforiluokassa (4 - 8 mg/l) 39 - 84 ry/ha ja tyydyttävässä luokassa (8 - 16 mg/l) 15 - 39 ry/ha.

Lannoituksen fosforimäärän osittaisderivaatat ovat etenkin jälkimmäisellä jaksolla suurempia kuin mallin kulmakertoimet, joihin sisältyy myös maan fosforipitoisuuden negatiivinen vaikutus, kun vuosittain toistettu lannoitus lisäsi maan fosforipitoisuutta ja pienensi sen osittaisderivaattaa. Lannoituksen fosforimäärän ja sadonlisäyksen suhteen laskemiseen soveltuu siten paremmin aloitusnäytteiden fosforipitoisuuksiin perustuva yhtälö. pH-luvun ja maalajin mukaan korjattuihin alkunäytteisiin perustuvan yhtälön osittaisderivaatta fosforilannoituksen suhteen on seuraava:

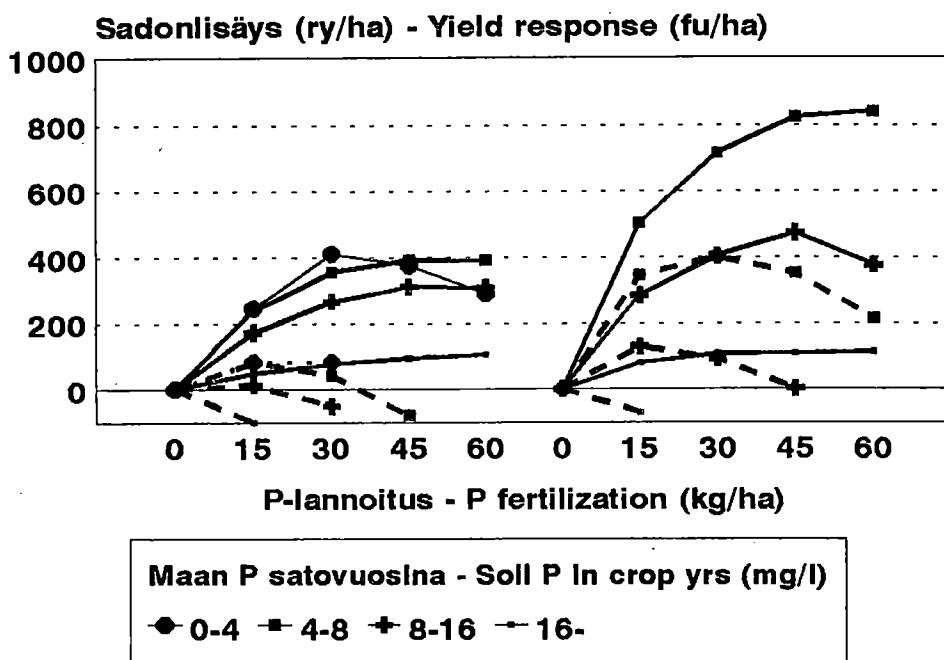
sadon määrän muutos =

$$\begin{aligned} & 0,5 * 24,0 * 1/n, \text{juuri P-lann.} \\ & - 0,5 * 0,367 * 1/n, \text{juuri P-lann.} * \text{maan P} \\ & - 2 * 0,152 * \text{maan Prev} * \text{P-lannoitus} * \text{koevuosi} \\ & \quad * \text{kasvikerroin} \\ & + 12,4 * \text{maan Prev} * \text{koevuosi} * \text{kasvikerroin} \end{aligned}$$

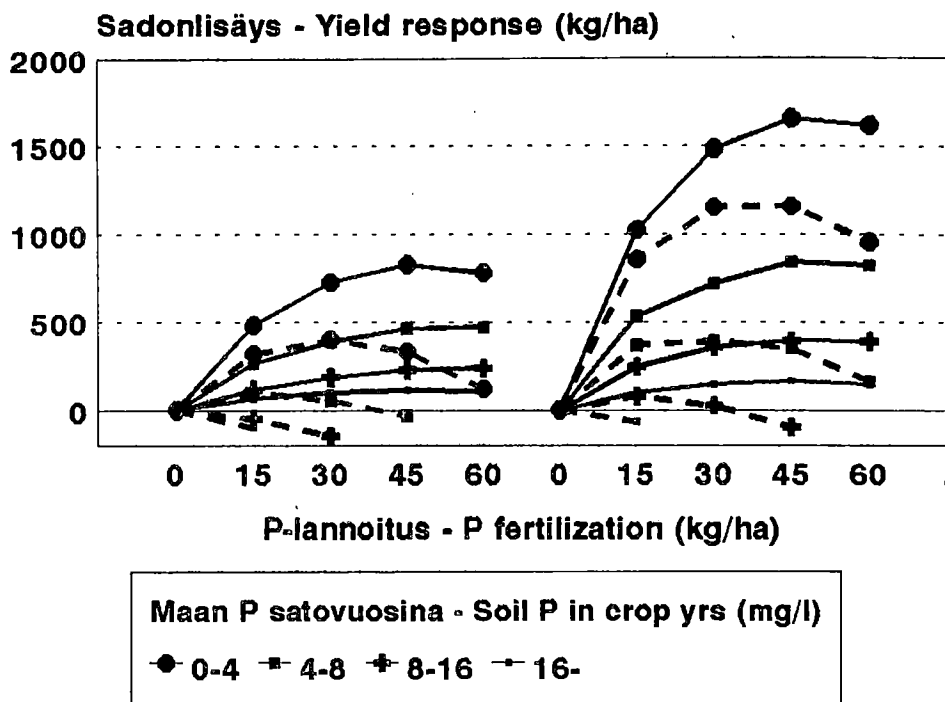
Tämä yhtälö osoittaa satokäyrän jyrkkyyttä eli sitä, kuinka paljon sadon määrä muuttuu fosforilannoituksen lisääntyessä yhdellä kilolla. Yhden fosforikilon vaikutuksia kaikilla kasveilla keskimäärin



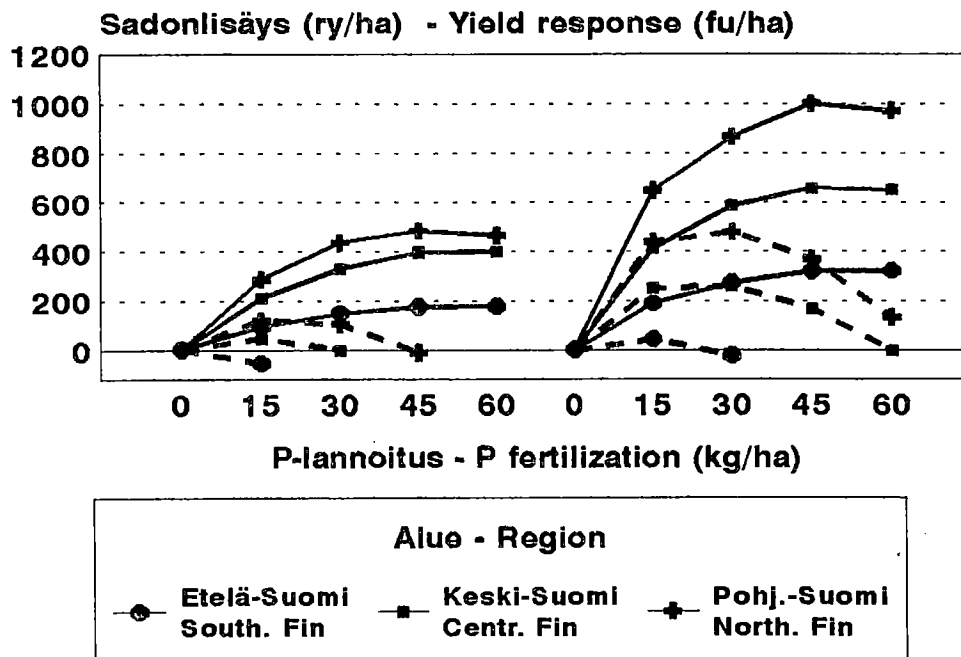
Kuva 55. Peltokasvien satojen (yhten. viivat) ja P-lannoitteen hinnalla vähennettyjen nettosatojen (katkov.) lisäykset koev. 1-7 (vas.) ja 8-18 korjatulissa P-luokissa.
 Fig. 55. Total (solid) and net yield responses to P in yrs 1-7 (left) and 1-18 by corr. P.



Kuva 56. Peltokasvien satojen (yhten. viivat) ja P-lannoitteen hinnalla vähennettyjen nettosatojen (katkov.) lisäykset koev. 1-7 (vas.) ja 1-18 alkuper. P-luokissa.
 Fig. 56. Total (solid) and net yield responses in yrs 1-7 (left) and 8-18 by original P.



Kuva 57. Ohran jyväsadon (yhten. viivat) ja P-lannoitteen hinnalla vähennetyn nettosadon (katkov.) lisäykset koev. 1-7 (vas.) ja 8-18 korjatuissa P-luokissa.
 Fig. 57. Total (solid) and net resps of barley in yrs 1-7 (left) and 8-18 by corrected P.



Kuva 58. Peltokasvien satojen (yhten. viivat) ja P-lannoitteen hinnalla vähennettyjen nettosatojen (katkov.) lisäykset alueittain koev. 1-7 (vas.) ja 8-18.
 Fig. 58. Total (solid) and net yield responses by regions in yrs 1-7 (left) and 8-18.

(kasvikerroin = 1) eri koevuosina on esitetty kuvissa 59 ja 60 ja eri kasvien tuloksia kuvissa 61 ja 62. Käyrät esittävät maan fosforiluokkien keskikohtia vastaavia vaikutuksia, eivät todellisia tuloksia. Aineiston sivuille sijoittuvat ja harvoihin havaintoihin perustuvat käyrät on merkitty kuviin ohuilla viivoilla. Katkoviivat osoittavat syksyn 1995 hintoja vastaavaa lannoituksen taloudellista optimia.

Käyrät ovat derivaattojen mukaan melko samanlaisia sekä pH-lukujen ja maalajien perusteella korjatuilla että alkuperäisillä maan fosforipitoisuuksilla laskettuina (kuvat 59 ja 60). Korjaamattomien maa-analyysien mukaiset käyrät ovat jonkin verran ylempänä pienillä maan fosforipitoisuuksilla, jotka sijoittuvat kokeellisen aineiston vaihtelun rajalle tai ulkopuolelle. Kokeen kestoajan vaikutus fosforilannoituksen rajatuottoon on erittäin merkittävä. Toisen ja kahdennentoista koevuoden ero vastaa noin kahta viljavuusluokkaa. Suurimman sadon tuottava fosforimäärä, jonka jälkeen käyrä kääntyy laskuun, pysyy samalla tasolla. Maan viljavuusluokkien erot ovat sitä suurempia mitä suurempi lannoituksen vaikutus on eli mitä jyrkemmin satokäyrät nousevat (kuvat 45 - 54 ja 59 - 62).

Kevätvehnää viljeltäessä lannoituksen vaikutus oli vähäisempi kuin ohran ja kauran viljelyssä (kuva 61). Leipäviljalle maksettava lisähinta ei paranna vehnän lannoituksen kannattavuutta aivan rehu-kauraakaan vastaavaksi. Muihin kasveihin verrattuna kevätvehnän tulos ei ehkä ole valtakunnallisesti edustava, vaikka se perustuikin 35 satoon. Jopa huonoimmista maan fosforiluokissa saadut pienet vaikutukset johtuivat paljolti keunoista sadoista, joita tästä kasvista korjattiin useissa niukka-fosforisissa kokeissa.

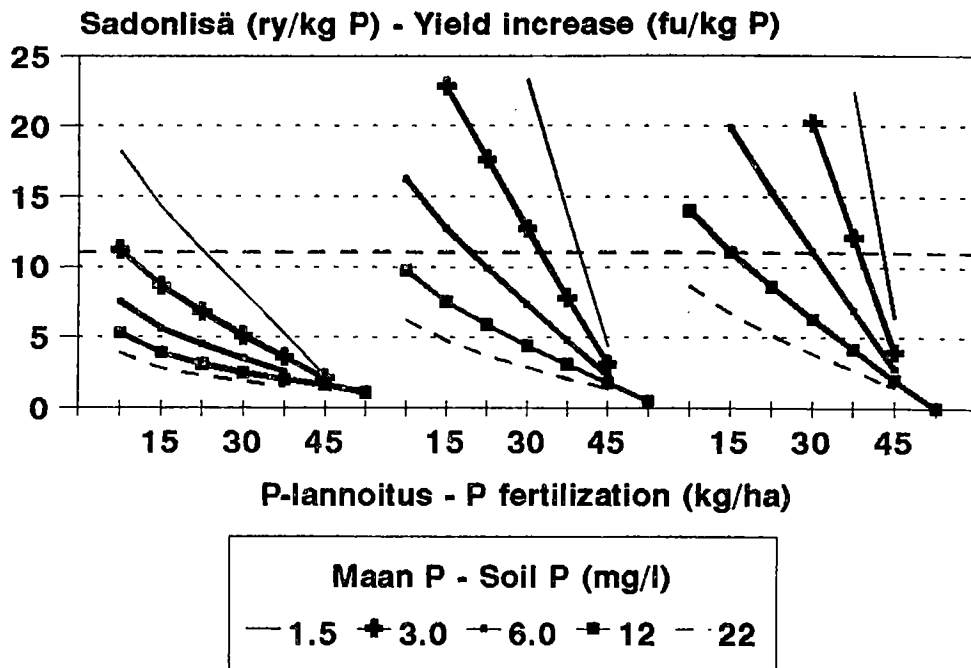
Kevätvehnän hehtaarisato oli 980 kg kokeessa 23 v. 1989, 1000 kg kokeessa 11 v. 1987, 1650 kg kokeessa 20 v. 1988 ja 2120 kg kokeessa 16 v. 1981 (liite 1). Muiden viljalajien sadot ja niiden vaihtelu fosforimäärien välillä olivat samoissa kokeissa muina vuosina huomattavasti suurempia. Lannoitteiden vertailukokeessa Tikkurilassa vuosina 1969-1980 (LARPES 1977, SAARELA 1983) fosfori lisäsi satoja kevätvehnää viljeltäessä lähes yhtä paljon kuin viljeltäessä ohraa, jolla esiintyi runsaammin lakoa. Jokioisten niukkafosforisella savimaalla v. 1991 - 1994 fosforilannoituksen vaikutus satoon oli kevätvehnällä lähes yhtä suuri kuin ohralla

(SAARELA 1995b), ja kevyt muokkaus vielä lisäksi vehnän fosforilannoituksen tarvetta (SAARELA 1994b). Astiakokeessa, jossa oraiden alkukehityksen merkitys korostui, tämän ravinteen vaikutus oli vehnällä jopa suurempi kuin muilla kevätiljoilla (SAARELA 1992d).

Kauran satoa fosforilannoitus lisäsi saman verran kuin vehnän satoa yhtä viljavuusluokkaa huonommilla maan fosforipitoisuuksilla. Ohran ero kauraan vastasi suunnilleen yhtä viljavuusluokkaa ja kevätvehnään jopa kohta viljavuusluokkaa (kuva 61). Rypsin satoon fosforimäärän vaikutus oli hiukan pienempi kuin ohran satoon (kuva 62), mutta mitattujen ja laskettujen rypsisatojen eron takia (kuva 52) todellinen vaikutus oli pienillä fosforimäärillä rypsilä yhtä suuri kuin ohralla mutta suurilla määrillä huomattavasti pienempi. Ohralle suositellaan fosforia enemmän kuin muille viljoille mm. Hollannissa (HOUBA ym. 1992).

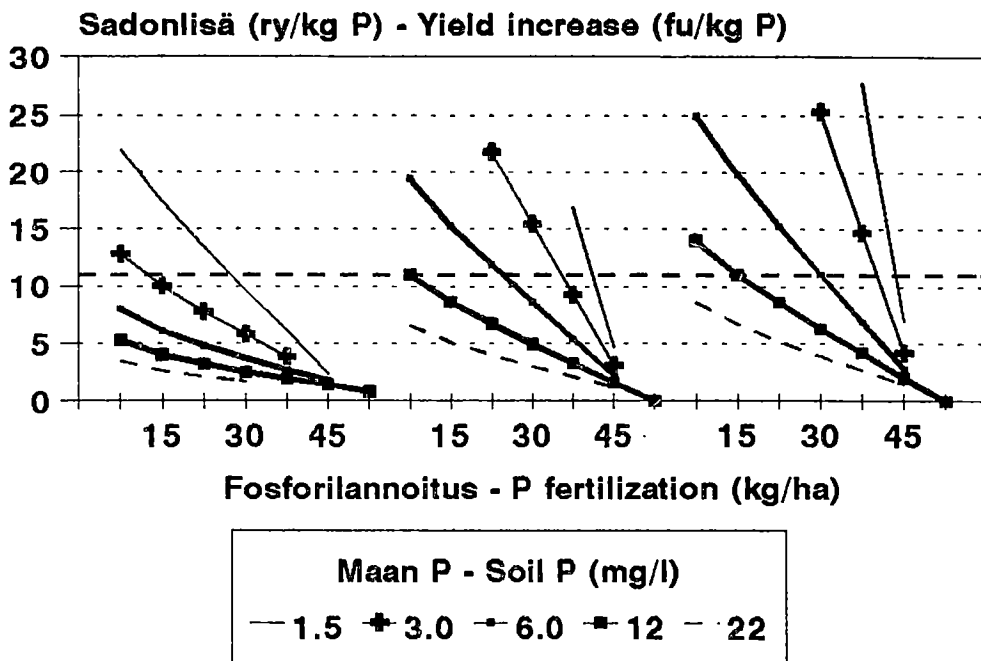
Ensimmäisen vuoden nurmella fosforin vaikutus satoon oli yhtä suuri kuin ohralla, mutta vanhemmilla nurmilla satoero oli huomattavasti suurempi (kuva 62). Kahta vuotta vanhemmilla nurmilla satoero ei enää suurentunut enempää kuin koevuosien kertyminen edellytti, mutta vanhojen nurmien pienempien satojen takia suhteelliset satoerot kasvoivat edelleen kolmantena ja neljäntenä vuonna. Nurmivuosien tulokset vastaavat fosforin saannin suhteen aikaisempia tutkimuksia, joissa fosforin otto väheni nurmen iän mukana (SILLANPÄÄ ja RINNE 1975). Nurmen peruslannoituskokeissa suo-javiljana olleen ohran fosforin tarve oli suhteellisesti jonkin verran suurempi kuin tässä aineistossa (SAARELA ym. 1988).

Kauran ja nurmen suhteellista fosforin tarvetta samalla maan fosforitasolla lisää hiukan niillä käytetty alhaisempi pH-luku maan fosforipitoisuuksia muunnettaessa (kappale 3.4.1). Samalla pH-vaatimuksella kaura sijoittuisi hiukan lähemmäksi vehnää mutta poikkeaisi enemmän ohrasta ja nurmen sadonlisäykset pienenisivät viljoihin verrattuna. Kaura sai fosforia erityisen hyvin runsasmultaisista ja eloperäisistä maista. Niukkafosforisilla Sisä-Suomen kivennäismailla kokeissa 20 ja 27 kaura hyötyi runsaasta fosforista melkein yhtä paljon kuin ohra. Nurmiheinien tiheä juuristo tehostaa fosforin ottoa (SALONEN 1949, FÖHSE ym. 1988), mutta useat vuotuiset niitot lisäävät nurmen ravin-



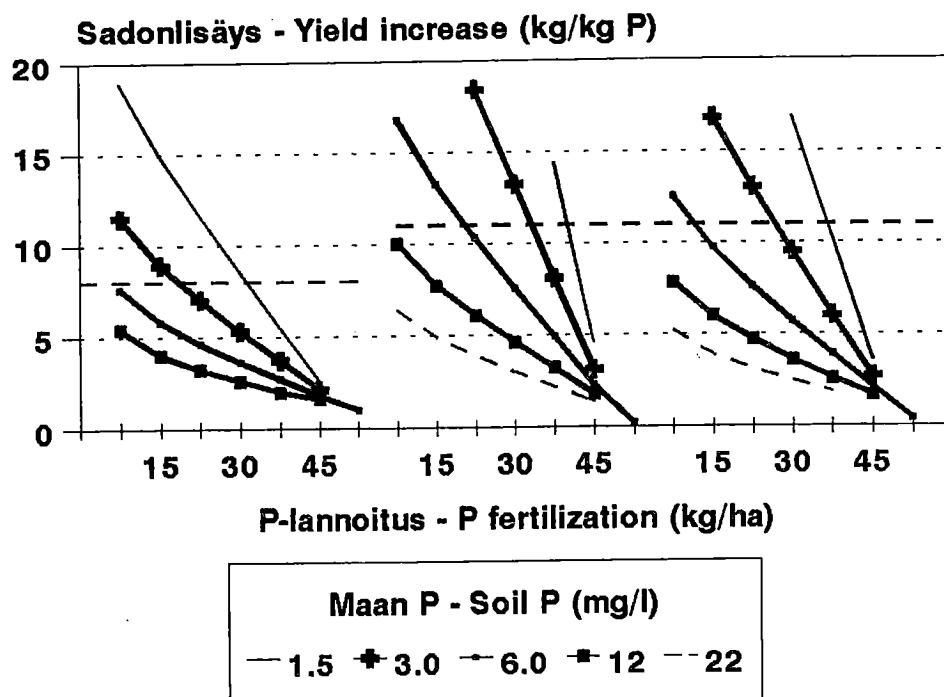
Kuva 59. Yhden lannoite-P-kilon tuottama sadonlisäys toisena (vas.), seitsemäntenä (kesk.) ja 12. koevuonna (olk.) korjatulussa maan P-luokissa.

Fig. 59. Yield increase per kg of P by corrected soil P in yrs 2 (left), 7 and 12.

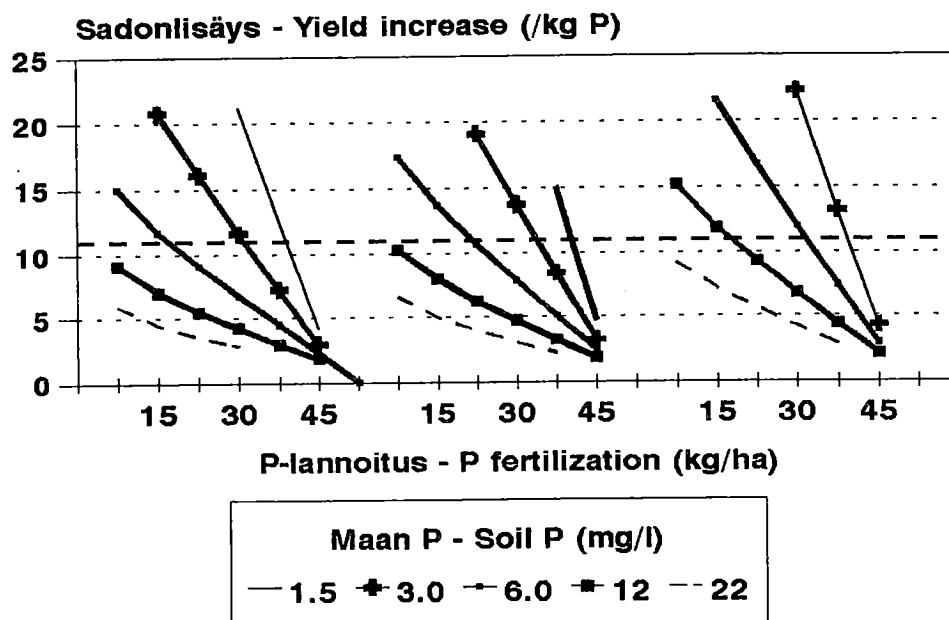


Kuva 60. Yhden lannoite-P-kilon tuottama sadonlisäys toisena (vas.), seitsemäntenä (kesk.) ja 12. koevuonna (olk.) alkuperäisissä maan P-luokissa.

Fig. 60. Yield increase per kg of P by original soil P in yrs 2 (left), 7 and 12.



Kuva 61. Yhden lannoite-P-kilon tuottama sadonlisäys 7. koevuonna kevätvehnällä (vas.), ohralla (kesk.) ja kauralla (oik.) korjatuissa maan P-luokissa.
Fig. 61. Yield increase per kg of P in s. wheat (left), barley and oats by soil P.



Kuva 62. Yhden lannoite-P-kilon tuottama sadonlisä 7. koevuonna rypsilä (vas., 0,5 kg) sekä 1. v. (kesk.) ja 2.-4. v. nurmella (ry) korj. P-luokissa.
Fig. 62. Yield increases per kg of P in t. rape (left), ley 1 and ley 2-4 by soil P.

netarvetta. Fosfori vahvistaa kasveja talven rasi-
tuksia varten ja parantaa vaurioista toipumista ke-
vällä. Nurmiviljelyssä riittävä fosforilannoitus on
tärkeä sadon laadun kannalta. Kun pellon fosforiti-
la on tyydyttävä, heinät saavat tiheällä juuristol-
laan maasta fosforia yleensä riittävästi sekä hyvää
kasvua että laatua varten, mutta huonommissa fos-
foriluokissa sekä vanhojen nurmien tuotto että sa-
don laatu puoltavat runsaampaa fosforin käyttöä.
Nurmien suuri fosforin tarve johtuneen osittain lan-
noitusmenetelmästä, kun fosforia ei tavallisesti si-
joiteta. Nurmisadon tilakohtaiset korjuu- ja varas-
toitinkustannukset voivat olla suurempia kuin
laskelmissa käytettiin. Todellisten kustannusten
vähentäminen sadonlisäyksen arvosta voi siten pie-
nentää nurmen edullisinta lannoitusta (SAARELA ja
ELONEN 1982).

3.5.4 Fosforilannoituksen taloudellinen optimi

Suurimpia nettosatoja tuottavia fosforimääriä esi-
tetään taulukoissa 12 ja 13. Edellinen esittää pelto-
kasvien keskiarvoja maan fosforiluokittain eri hin-
tasuhteilla ja koevuosina, jälkimmäisessä verrataan
kasveja. Käytetyt fosforipitoisuudet ovat viljavuus-
luokkien keskiarvoja, esim. 6 mg/l vastaa väliä 4-8
mg/l eli luokkaa välttävä. Lannoitefosforin ja sa-
don hintasuhte 5 vastaa aikaisemmin suljetuilla
kansallisilla markkinoilla vallinnutta tilannetta.
Hintasuhteen ja maan fosforitilan lisäksi käsittely-
jen toisto eli kokeen kesto aika vaikuttaa lannoituk-
sen kannattavuuteen erittäin oleellisesti. Aikaisem-
millä hinnoilla nykyisiä suosituksia ja käytännössä
annettavia määriä jonkin verran runsaampi lannoi-
tus olisi edullisempi jo viidennestä koevuodesta al-
kaen.

Hintasuhte 8 vastaa keskimäärin leipäviljoja ja
halvimpia lannoitefosforin hintoja hyödynnettäessä
mallasohraa. Tällöin vuoteen 1995 noudatetut lan-
noitussuositukset (ELONEN ym. 1987) vastaavat
yleisimmissä viljavuusluokissa (6 ja 12 mg/l) kes-
kimäärin yhdeksän koevuoden lukuja (taulukko
12). Ensimmäisinä vuosina yli 15 kilon fosfori-
määriä kannattaa käyttää välittömän vaikutuksen
perusteella vain niukkafosforisilla pelloilla. Seitse-
männän vuoden optimi on keskimäärin noin 20 ki-
loa hehtaarille.

Rehuviljan uusia hintoja vastaavalla fosforin ja sa-
don hintasuhteella 11 välittömät sadonlisäykset
peittävät alussa vain pienehkön starttilannoituksen

kustannukset niukkafosforisilla mailla. Alhaisissa
viljavuusluokissa edullisimmat fosforimäärät kas-
tavat kuitenkin nopeasti. Välttävissä luokassa (6
mg/l) sadon fosforisisältöä vastaava taso saavute-
taan viidentenä vuonna. Tyydyttävissä luokassa
(12 mg/l) optimilannoitus vastaa poistuvaa ravin-
nemäärää yhdenkymmenen koevuonna.

Ajan vaikutusta voidaan laskea koetulosten mukai-
sella mallilla vielä pitemmälle, vaikka tulosten luot-
tavuus ei ole yhtä hyvä. Koevuonna 14 fosfori-
lannoituksen optimimäärät ovat hintasuhteella 11
samat kuin hintasuhteella 5 neljäntenä koevuonna.
Koevuoden 11 fosforimäärät hintasuhteella 8 vas-
taavat koevuoden 18 fosforimääriä hintasuhteella
11. Kokeen eri vaiheissa vallinneet säätyypit saat-
toivat suurentaa jonkin verran ajan vaikutusta. Lo-
pussa viljellyt uudet lajikkeet todennäköisesti hyö-
tyivät fosforilannoituksesta enemmän kuin alussa
viljellyt pitkä- ja heikkokortiset lajikkeet. Edellä
esitellyt jälkivaikutuskokeet korostivat fosforilan-
noituksen pitkäaikaisvaikutuksen merkitystä. Vielä
pitemmän ajan kuluessa lannoituksen kannattavuus
paranee todennäköisesti ainakin runsasfosforisilla
mailla, joilla 10 - 20 vuoden optimilannoitus ei
korvaa kasvien maasta ottamia ravinnemääriä.

Keskimääräiset lannoitusoptimit vastaavat ohran,
rypsin ja ensimmäisen vuoden nurmen tuloksia.
Leipäviljojen ja kauran lannoitusoptimi on alhai-
sempi ja yli vuoden ikäisen nurmen korkeampi
(taulukko 13). Edellisessä kappaleessa tarkastellut
kevätvehnän tulokset eivät kuitenkaan ole ehkä
edustavia, ja vielä vaatimattomampien syysviljojen
melkein kaikki tulokset ovat hyvin viljavilta mail-
ta. Vehnänviljelyalueella kaura ei ollut sanottavasti
kevätvehnää vaateliaampi, koska kauran fosforin
tarve perustui paljolti hiukan pohjoisempiin kokei-
siin. Kauraakaan ei tutkittu viljelyalueensa poh-
joisrajalla saakka, jossa ohran fosforin tarve oli
suurimmillaan. Siellä menestyvät aikaiset ohrala-
jikkeet olivat myös Etelä-Suomessa viljoista kaik-
kein vaateliaimpia.

Sadon määrän kannalta kriittinen jyväluvun mää-
räytymisvaihe on aikaisilla lajikkeilla aikaisemmin
ja siten viileämmällä säällä kuin myöhäisillä lajik-
keilla. Kauran parempi menestyminen niukkafos-
forisilla eloperäisillä mailla aikaisiin ohriin verrat-
tuna saattaa johtua suurelta osin kauran ravinteiden
oton jatkumisesta pitempään ja painottumisesta

Taulukko 12. Taloudellisesti edullisin viljojen, öljykasvien ja nurmien fosforilannoituksen määrä (kg/ha) maan fosforiluokittain ja koevuosittain erilaisilla fosforin ja sadon hintasuhteilla.

Table 12. Optimal rate of phosphorus fertilization (kg/ha) for cereals, oilseed rapes and grass leys by soil P classes in experimental years, with different P per crop price ratios.

Maan P mg/l	Hintasuhde 5 Price ratio 5				Hintasuhde 8 Price ratio 8				Hintasuhde 11 Price ratio 11			
	Koevuosi Exp. year				Koevuosi Exp. year				Koevuosi Exp. year			
Soil P mg/l	2	4	7	12	2	4	7	12	2	4	7	12
1,5	38	43	44	46	30	38	42	44	23	34	40	43
3	30	38	42	44	18	30	37	41	8	23	33	38
6	19	30	38	41	7	17	28	36	2	8	19	30
12	9	18	27	35	3	5	13	24	0	2	5	15
22	3	7	14	24	0	2	4	10	0	0	0	4

lämpimämpään maahan. Keski- ja Pohjois-Suomessa eniten viljellyn nurmen tuloksissa ei ollut merkittäviä alueellia eroja.

Taulukossa 13 esitettävät koevuodet 4 ja 11 vastaavat kuvien 46 - 58 jaksojen keskiarvoja. Sekä kasvien että maan fosforiluokkien lannoitustimit olivat lähimpänä toisiaan alhaisella fosforin ja sadon hintasuhteella kokeen lopussa. Kevätvehnän (hintasuhde 8) ja kauran (hintasuhde 11) fosforimäärät olivat vasta koevuosina 11 - 12 keskimäärin yhtä suuria kuin sadoissa poistuvat ravinmäärät. Rehuohralla ja nurmella (hintasuhde 11) samanlainen fosforitaseen ja lannoitustimitin suhde saavutettiin koevuosina 6 - 7 ja mallasohralla koevuosina 3 - 4.

Alkuvuosina fosforilannoituksen optimimäärät ovat ympäristötukeen oikeuttavien ylärajojen alapuolella (ELONEN ym. 1995). Lannoitustimiti saavutti tukirajan mallasohran viljelyssä kahdeksassa ja rehuviljojen viljelyssä noin kymmenessä vuodessa. Vuoteen 1995 saakka käytössä olleet lannoitussuosituksot, jotka olivat optimaalisia aikaisempien koetulosten ja vanhojen hintojen mukaan, saavutetaan syksyn 1995 hinnoilla mallasohralla ja rehuviljoilla vasta 14 - 17 vuodessa. Leipäviljoilla tukiraja vastaa tämän tutkimuksen tulosten mukaan noin 17 vuoden optimia. Kun myös leipäviljasatojen laatu riippui hyvin vähän fosforilannoituksesta, niiden lannoitussuosituksia tulisi jonkin verran pie-

mentää suhteessa muihin peltokasveihin. Edellä selostetutuista alhaisista sadoista saadut tulokset sekä fosforin niukkuuden aiheuttama viljan tuleentumisen viivästyminen tulee kuitenkin ottaa huomioon myöhäisten viljalajikkeiden viljelyssä. Tarve edistää tuleentumista puoltanee hiukan runsaampaa fosforin käyttöä myös rehuviljoilla niiden viljelyalueen pohjoisrajalla.

Maan fosforiluokkien väliset optimilannoituksen erot kasvoivat fosforin ja sadon hintasuhteen kasvaessa. Alkuvuosina erot olivat suurimpia alhaisen maan fosforiluokkien välillä. Lopussa varsinkin vaateliaimmilla kasveilla eli ohralla ja nurmella suurimmat erot löytyivät korkeampien maan fosforipitoisuusluokkien välillä. Huonoimpien luokkien tasaisuutta on pidettävä osittain keino-tekoisena koejärjestelyn ja kokeiden aloitusnäytteisiin perustuvien tilastollisten laskentamenetelmien tuloksena. Kaikkien niukkafosforisimpien maiden edullisimman lannoituksen vähäinen riippuvuus fosforin ja sadon hintasuhteesta on kuitenkin hyvin selvä ja luotettava tulos.

Yli kymmenen kertaa toistettu runsas lannoitus tasoitti alussa mitattujen fosforipitoisuuksien eroja ja paransi niukkafosforisten maiden viljavuutta koejakson lopussa. Lannoituksen fosforimäärän derivaatan jyrkkä lasku nollaan ja sen alle (kuvat 59 - 62) ei osoita, että 45 kiloa fosforia antaisi maksimisatoja hyvin niukkafosforisillakin mailla

Taulukko 13. Taloudellisesti edullisin fosforilannoituksen määrä (kg/ha) maan fosforiluokittain erilaisilla fosforin ja sadon hintasuhteilla neljäntenä ja seitsemäntenä koevuonna kasvilajeittain (v = kevätvehnä, k = kaura, o = ohra, n = 2. vuoden nurmi).

Table 13. Optimal rates of phosphorus fertilization (kg/ha) by soil P classes with different P per crop price ratios for crop species in the 4th and 11th experimental years (w = spring wheat, o = oats, b = barley, g = grass ley 2).

Maan P mg/l	Hintasuhde 5 Price ratio 5				Hintasuhde 8 Price ratio 8				Hintasuhde 11 Price ratio 11			
	Kasvilaji Crop				Kasvilaji Crop				Kasvilaji Crop			
	v	k	o	n	v	k	o	n	v	k	o	n
Soil P mg/l	w	o	b	g	w	o	b	g	w	o	b	g
Neljäs koevuosi — 4th experimental year												
1,5	33	41	43	45	12	35	39	43	12	29	35	41
3	23	35	38	42	9	24	31	38	4	15	24	33
6	12	24	31	38	4	10	18	29	2	4	8	21
12	6	12	18	28	2	4	5	15	0	2	2	6
22	2	5	7	15	0	0	0	4	0	0	0	1
Yhdestoista koevuosi — 11th experimental year												
1,5	42	45	46	46	37	43	44	45	32	40	43	44
3	36	42	44	45	27	38	41	44	18	34	38	42
6	27	38	41	43	13	30	35	40	5	22	30	37
12	14	22	34	40	4	15	23	33	2	5	14	27
22	6	15	23	33	2	4	8	22	0	2	3	12

heti enismmäisinä vuosina. Sadonlisäykset olivat kokeen alusta asti joka vuosi toistetun lannoituksen tulosta. Lannoituksen vähentäminen alkuvuosi- na vähentäisi satoa koko kokeen ajan. Vaikka yh- den vuoden lannoituksen merkitys on vähäinen, vuosittain käytettyjen annosten kertyminen paran- taa vaikutusta ja suurentaa vähitellen satoeroja, ku- ten TENNBERG (1960) on havainnoillisesti piirroksella esittänyt. Pitkän ajan optimilannoitus on ilmeisesti aina suurempi kuin lyhyen ajan edulli- simmat fosforimäärät.

3.5.5 Maan fosforianalyysin tulkinta

Kemiallisen maa-analyysin tuloksia tulkittaessa maanäyteistä määritetyt ravinnepitoisuudet jae- taan tavallisesti luokkiin. Yksinkertaisimmassa tul- kinnassa viljavuusluokkien rajat ovat kaikilla maalajeilla samat. Suomessa happamalla am- moniumasetaatilla uutetun helppoliuokkoisen fosfo- rin tulkinnassa maat jaetaan kolmeen ryhmään. Tä- män tutkimuksen mukaan maalajiryhmitys on hyvin hyödyllinen, mutta aikaisempien ryhmien si-

säinen vaihtelu on tarkkaan lannoitukseen pyrittä- essä liian suuri. Myös maan fosforiluokkien väliset optimaalisen fosforilannoituksen määrän erot ovat suuria. Viime vuosina on otettu tarkkojen ana- lyysimenetelmien tulkinnassa käyttöön useampia viljavuusluokkia, esimerkiksi Hollannissa vesi- liukoinen fosfori jaetaan 16 luokkaan (HOUBA ym. 1992). Satotulosten mukaan kehitetyllä mallilla voidaan laskea fosforimääriä portaattomasti mitä tahansa maan fosforipitoisuutta käyttäen.

Analyysitulosten muuntaminen biologista vilja- vuutta vastaaviksi lienee teknisesti yksinkertaisin tapa tarkentaa tulosten tulkintaa. Erillisten luokka- rajojen määrittely kullekin maalajiryhmälle vastaa kuitenkin totuttua käytäntöä ja helpottaa siten tu- losten vertaamista aikaisempiin. Tarkennettua maalajin ja multavuuden mukaista tulkintaa varten (ELONEN ym. 1995) luokkarajat jaettiin eri maala- ji- ja multavuusluokkia vastaavilla maalajikerto- milla (taulukko 9). Esimerkiksi luokkien välttävä ja tyydyttävä keskimääräinen raja 8 mg/l vastaa ar- voa 6 mg/l maalajikertoimen ollessa 1,33 ja arvoa

12 mg/l maalajikertoimella 0,67. Näin saatuja tuloksia ryhmiteltiin ja muunneltiin vielä harkinnan mukaan eri perusteilla.

Tämän tutkimuksen korkeimpia savisten hietojen ja alhaisimpia hiekka- ja hiesumaiden kertoimia näiden maalajien erilaiset luokkarajat eivät täysin vastaa. Karkeiden kivennäismaiden fosforianalyysin tulkinta kaipaasi ehkä vielä tarkennusta. Etelä-Suomessa esiintyvien savisten hietojen eli hiukeiden luokkarajoja voitaisiin laskea. Nämä maat näyttivät olevan kemiallisten ja fysikaalisten ominaisuuksiensa perusteella paljon parempia kuin Sisä-Suomessa yleiset hiesuiset hiedat, jotka myös ovat hiukeita. Saviset hiedat ovat päälajitteen mukaan usein karkeita hietoja. Vähän hienoa ainesta sisältävät karkeat hiedat taas muistuttavat hiekkää ja ovat fosforin saannin kannalta huonompia kuin enemmän hienoa ainesta sisältävät hietamaat.

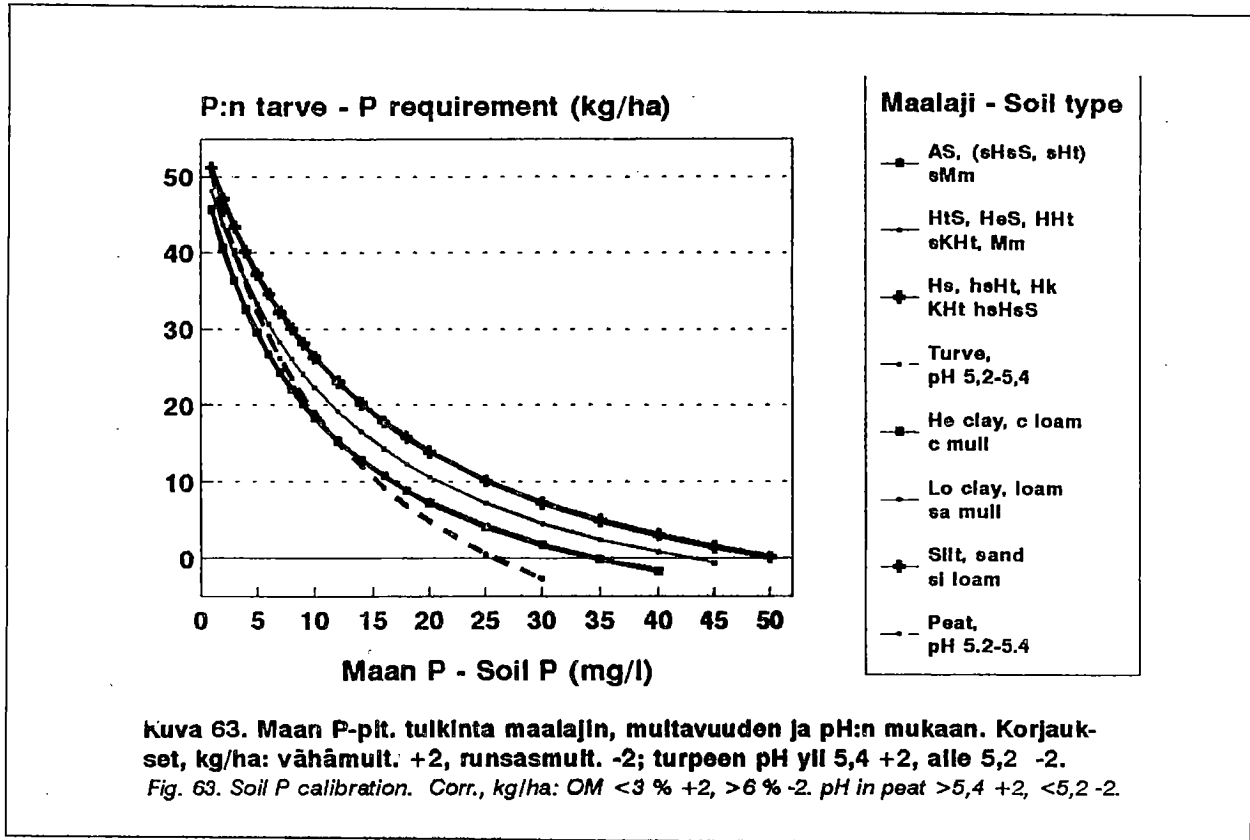
Fosforinsaannin kannalta edulliset Etelä-Suomen tasankojen jäykät savet vastaavat ilmeisesti hollantilaisen luokituksen "merisavea" ja Sata-Hämeen koepaikkojen kaltaiset hiesusavet "jokisavea". Vesiliukoisien fosforin pitoisuuden tulee jälkimmäisissä olla korkeampi, jotta fosforinsaanti olisi yhtä hyvä kuin edellisissä (HOUBA ym. 1992). Myös karkeiden maiden savesfraktio on rannikon savi-alueilla todennäköisesti hienompaa ja siten maan ominaisuuksia tehokkaammin parantavaa kuin järvi-alueella, jossa karkeiden maiden hienoin aines on usein enimmäkseen hiesua. Vesiliukoinen tai sitä vastaava fosforifraktio osoittaisi ilmeisesti erilaisten karkeiden maiden fosforilannoituksen tarpeen oleellisesti tarkemmin kuin nykyinen hapan ammoniumasettiutuutto (SIPPOLA ja JANSSON 1979, SIPPOLA ja JAAKKOLA 1980, SAARELA ja ELONEN 1982, HARTIKAINEN 1982, 1989a, 1989b, SIPPOLA ja SAARELA 1984, 1986, SAARELA 1992b).

Runsaasti fosforia tarvitsevilla Sisä-Suomen kivennäismailla vesiliukoisien fosforin pitoisuus on usein alhainen verrattuna asetaattiin uutuvaan määrään, mutta tuloksia on toistaiseksi liian vähän varmojen päätelmien tekoon. Siilinjärven apatiit-tiesiintymää lähellä sijaitsevan kokeen 26 maanäyttö poikkeavan muista Järvi-Suomen kivennäismaista. Alhaisimmat tutkimuksessa mitatut vesiliukoisien fosforin pitoisuudet, alle 2 mg/l, vaatisivat hollantilaisten suositusten mukaan ohralle

fosforia jopa 80 kg/ha (HOUBA ym. 1992). Tätä suuruusluokkaa oleva annos olisi ilmeisesti Suomessakin tarpeen biologisen optimin saavuttamiseksi, mikäli lannoitteet levitettäisiin pintaan maan ja mullattaisiin äestäen. Maan viljavuus paranisi näin suurilla fosforimääriä käytettäessä nopeasti, ja lannoitustarve vähenisi myöhemmin vuosina.

Lähellä rannikkoa ja merenpinnan tasoa sijaitsevat maat ovat olleet lyhyemmän ajan alttiina rapautumiselle. Niihin ei ole ehtinyt kertyä fosforia pidättäviä alumiini- ja rautayhdisteitä yhtä paljon kuin korkeiden alueiden geologisesti vanhempiin maihin (HARTIKAINEN 1992). Etelä-Suomen pelloista suuri osa on ilmeisesti ollut luonnontilassa lehtomaista, lehtipuuvaltaista ja ruohoista metsää, jossa muodostuu viljavampaa multaa kuin pohjoisempaan yleisissä kangasmetsissä, joissa kasvaa enemmän havupuita, varpuja ja sammalia. Karkeiden kivennäismaiden alueelliset erot ja niiden mukainen lannoitustarpeen vaihtelu olisi mahdollinen luokitusperuste Suomessa käytössä olevalla asetaattimenetelmällä määritettyjen fosforipitoisuuksien tulkinnan tarkentamiseksi.

Kuvassa 63 esitetään tarkennettu maalajin mukainen fosforianalyysin tulkinta graafisesti. Kuvan käyrät esittävät viljan fosforintarvetta maan fosforipitoisuuden funktiona. Siinä käytetty lannoitustaso vastaa vanhojen hintojen mukaista optimaalista suunnilleen viidentenä koevuonna. Nykyisillä hintasuhteilla näin runsas lannoitus on edullinen vasta noin 15 vuoden jälkeen. Luokkarajoja osoittavat pisteet, joissa käyrät leikkaavat kahden luokan keskiarvon mukaiset fosforimäärät eli 5, 15, 25, 35, ja 45 kg/ha. Tässä versiossa on neljä eri maalajiryhmää vastaavaa käyrää, joihin tehdään korjauksia kivennäismaiden multavuuden ja turvemaiden pH-luvun mukaan. Kun äärimmäisten käyrien väli on kivennäis- ja multamailla yleisissä pitoisuuksissa noin 8 kg/ha ja multavuuskorjaukset ovat +/-2 kg/ha, on niiden yhteinen vaikutus noin 12 kg/ha, mikä on hiukan suurempi kuin yhden viljavuusluokan ero. Tämä korjaus vastaa kuvassa 30 näkyvää maalajien välistä vaihtelua.



3.6 Fosforilannoitus, ympäristö ja kestävä viljely

3.5.6 Fosforilannoitus ja ympäristö

Turvemailla lannoitustarve pienenee kuvassa 63 maan fosforipitoisuuden kasvaessa jyrkemmin kuin kivennäismailla. Happamissa, vain vähän kivennäisainesta sisältävissä turpeissa on helppoliukoiseen fraktioon verrattuna vesiliukoista fosforia paljon enemmän kuin kivennäismaissa (SIPPOLA ja SAARELA 1992). Tarpeettoman runsas lannoitus voi jopa kohottaa turvemaalla kasvavan heinän fosforipitoisuuden eläinten ruokinnan kannalta arveluttavan korkeaksi (TÄHTINEN 1979). Turvemaan yllannoitusta pitää kuitenkin välttää ennen muuta vesistöille haitallisen huuntuutumisen välttämiseksi. Paksuturpeisista soista on huuhtoutunut Saksassa jopa sata kertaa niin paljon fosforia kuin kivennäismaista (KUNTZE ja SCHEFFER 1979, FINCK 1992b).

Happamien, laihojen turpeiden heikko fosforinpidätyskyky on Suomessa todettu laboratoriokokeissa (KAILA 1959a, SIPPOLA ja SAARELA 1992), lysimetrikokeissa (KEMPPAINEN 1994) ja huuhtoutumiskentän salaojavesistä (HUHTA ja

JAAKKOLA 1993). Myös PUUSTISEN ym. (1994) peltojen kuivatustilatutkimuksen tulokset ovat samansuuntaisia. Maanesteen mukana liikkuvan fosforin pitoisuus voi olla arveluttavan korkea, vaikka asetaattiliukoisen fosforin pitoisuus on alle 20 mg/l (SIPPOLA ja SAARELA 1992). Kalkitus tehostaa happaman turpeen fosforinpidätyskykyä ja vähentää huuhtoutumisriskiä (KUNTZE 1979, SIPPOLA ja SAARELA 1992), mutta voi vaikeuttaa kasvien fosforin saantia ja lisätä lannoitustarvetta. Turvemaiden lannoitustarvetta on siksi kuvassa 63 lisätty pH:n noustessa. Myös superfosfaatin lisäys voi aktivoida fosforia pidättäviä yhdisteitä (KAILA 1959b), mutta fosforinpidätyskyvyn kasvu ei riitä pidättämään kaikkea tässä lannoitteessa tulevaa fosforia. Voimaperäisesti viljeltyjen turvemaiden fosforipitoisuus tulisi selvittää myös kyntökerroksen alta, jotta huuhtoutumisen eteneminen havaitaan. Maan heikko fosforinpidätyskyky ja sen kyllästyminen suurentavat fosforilannoituksen hyväksikäyttöastetta ja vähentävät lannoitustarvetta.

Tiiviillä mailla liukoista fosforia huuhtoutuu eniten maan pintaa pitkin valuvassa vedessä, mutta halkeilevilla savimailla sitä voi päästä myös salaojiin (TURTOLA ja JAAKKOLA 1985, 1987, 1995). Nurmen pintalannoitus voi merkittävästi lisätä maan

pinnalla olevan veden fosforipitoisuutta (SAARELA 1995c), savimailla myös salaojaveden pitoisuuksia (TURTOLA ja JAAKKOLA 1995). Pintavaluntaa aiheuttavan sadekuuron sattuessa pian levityksen jälkeen liukoista fosforia voi huuhtoutua suoraan lannoiterakeista. Lannoitteen multauksen puuttessa kivennäismaan pinnan fosforipitoisuus nousee noin kymmenen kertaa niin paljon kuin samalla lannoituksella vuosittain kynnetyllä maalla (SAARELA ym. 1988). Fosforin pintalevityksen vähentämiseksi osa nurmen tarvitsemasta fosforista suositellaan nykyisin annettavaksi jo perustamisvaiheessa (ELONEN ym. 1995). Huonosti vettä läpäisevillä kivennäismailla tätä periaatetta olisi ehkä syytä soveltaa pitemmällekin kuin nykyisin suositellaan, varsinkin Etelä-Suomen savimailla.

Tässä tutkimuksessa sadot pienenevät ilman fosforilannoitusta kaikkein hitaimmin juuri Etelä-Suomen savi- ja hieumailla. Pellon fosforiluokan ollessa näillä mailla tyydyttävä (8 - 16 mg/l), pintalannoituksesta voitaisiin luopua kohtuullisen peruslannoituksen turvin kokonaan kolmeksi vuodeksi. Savimailla fosforinsaanti on vaikeinta kuivina kausina, jolloin kyntökerroksen kuivuminen voi estää sen lähes täydellisesti. Tällöin maan pintaan levitetty fosfori olisi jokseenkin tehotonta. Lannoitus ei siis vaikuta juuri lainkaan silloin, kun sitä kaikkein eniten tarvittaisiin. Voimaperäisessä nurmiviljelyssä savimaiden hyvä fosforitila on edullinen sekä viljelyn että ympäristön kannalta, sillä maan fosforivarat korvaavat nurmen pinnalle levitettyä fosforia, joka kuormittaa vesistöjä ja on kriittisinä kuivina kausina heikkotehoinen.

Turvemailla nurmen peruslannoitusta ei pidä lisätä nykyisiä suosituksia suuremmaksi huuhtoutumisriskin takia. Sisä-Suomen karkeilla, niukkafosforisilla mailla kohtuullinen peruslannoitus taas ei turvaa nurmikasvien riittävää fosforinsaantia yhtä hyvin kuin Etelä-Suomen savilla ja savisilla hie-doilla (SAARELA ym. 1988, SAARELA 1992c). Hyvin vettä läpäisevillä mailla pintalannoituksen aiheuttama huuhtoutumisriski on myös pienempi kuin tiiviillä mailla. Viljavuusluokassa hyvä (16 - 30 mg/l) lyhytikäisen nurmen fosforilannoitus ei yleensä ole lainkaan tarpeellista millään maalajilla.

Tarkennettujen suositusten (ELONEN ym. 1995) mukainen lannoitus estänee maan kyllästymisestä johtuvan fosforin huuhtoutumisen kaikilla kiven-

näismailla. Runsas huuhtoutuminen vältetään ympäristötuen ehdot täyttävällä lannoituksella myös perunan ja sokerijuurikkaan viljelyssä, jolla 1980-luvulle saakka käytössä olleet suositukset olivat ympäristön kannalta selvästi liian korkeita. Syvempiin kerroksiin ulottuva maan kyllästymisen ja fosforin huuhtoutumisen vähitellen pohjaveteen saakka on teoreettisten hollantilaisten laskelmien mukaan mahdollista, vaikka maan vesiliukoisen fosforin pitoisuus ei ole korkeampi, kuin mitä vaati-aiden kasvien maksimisatoon tarvitaan (van NOORDWIJK ym. 1990). Maahiukkasten pinnalla olevat fosfaatinpidätyspaikat eivät ilmeisesti kuitenkaan Suomen kivennäismaissa täyty yhtä helposti kuin Hollannissa.

Vähäfosforisilla viljelymailla tarvittava ja suositeltu lannoitus ylittää satojen mukana poistuvat ravinnemäärät ja kasvattaa vähitellen maan fosforipitoisuutta. Kun kyntökerroksessa on luonnon fosforia keskimäärin noin kaksi tonnia ja lannoitefosforia on kertynyt kymmenien vuosien aikana vajaa tonni hehtaaria kohti, lannoitus suurentaa kyntökerroksen kokonaisfosforin määrää tavallisesti alle prosentin vuodessa, mutta tämänkin määrän lisää vähitellen veden kuljettaman maa-aineksen mukana pelloilta vesistöihin kulkeutuvia fosforimääriä merkittävästi.

Lannoitefosforin vähittäinen kertyminen maaperään ei selitä pelloilta kulkeutuvien fosforimäärien nopeaa kasvua 1970- ja 1980-luvuilla (REKOLAINEN 1993), sillä kasvun on arvioitu olevan jopa kymmenen kertaa nopeampaa kuin fosforin kertyminen samoina vuosina. Osittain kehitystä selittää veden kuljettaman maa-aineksen määrän eli vesieroosion kasvu, jota lannoitus ei ole voinut lisätä. Lannoituksen aiheuttaman huuhtoutumisen kokonaisuuden arviointi pelloilta kulkeutuvien ravinnemäärien perusteella edellyttäisi vesieroosion kehityksen tarkkaa tuntemista. Veden kuljettaman kiintoaineksen määrän vaihtelu on selittänyt hyvin fosforin huuhtoutumisen kasvua Mustionjoessa (LAINE 1988).

Maatalouden fosforinkäyttöä ja sen ympäristövai- kutuksia on tarkasteltu myös kansainvälisesti, ja haitallisten vaikutusten vähentämiseen on Itämeren piirissä sitouduttu sopimuksin. Maatalouden fosforipäästöjen vähentäminen on valtioneuvoston vahvistama virallinen tavoite (ANON. 1988). Suomen

muihin Pohjoismaihin verrattuna runsasta lannoitefosforin käyttöä on kehoitettu jopa erikoisveroilla pakottaen rajoittamaan. Väkilannoitefosforin käyttöä vähennettiin aikaisemmin pääasiassa siksi, että peltojen fosforipitoisuus suureni ja parantuneen viljavuuden aiheuttama lannoitustarpeen väheneminen osoitettiin tutkimuksilla. Viime vuosina fosforilannoitusta on vähennetty entistä nopeammin tutkimuksilla todettujen ja oletettujen ympäristöhaittojen vähentämiseksi.

3.5.7 Fosforin tarve kestävässä viljelyssä

Suomessa käytetyissä peltolannoitteissa ja kotoisissa lannoissa tulee fosforia edelleen noin kaksi kertaa niin paljon kuin korjatuissa sadoissa poistuu. Siitä huolimatta liukoisen fosforin pitoisuuksien koko maan keskiarvo on kääntynyt laskuun (KÄHÄRI 1995). Tämä kehitys heijastaa Suomen maaperän tehokasta fosforinpidätyskykyä. Vähäinen keskiarvon lasku ei ole vaarallista, mikäli se johtuu korkeimpien pitoisuuksien pienenemisestä. Mutta 1980-luvulla yleistyivät valitettavasti alhaisimmat fosforiluokat (MÄNTYLÄHTI 1994). Lannoitusta ei ole ilmeisesti kohdistettu riittävästi tämän ravinteen suhteen köyhimmille maille, mikä olisi entistä tärkeämpää, kun fosforin käyttöä on vähennetty. Erityisesti Sisä-Suomen happamilla kivennäismailla kasvien fosforin saanti näytti heikenevän vähitellen myös silloin, kun happamaan ammoniumasetaattiin uuttuvan helppoliukoisen fosforin pitoisuus pysyi ennallaan.

Fosforilannoituksen aiheuttamien satoerojen nopea kasvu kokeiden aikana johtui hyvästä lähtötilanteesta ja käytetystä mittarista, kun ilman fosforilannoitusta saatuja satoja verrattiin riittäväillä fosforimäärillä saatuihin maksimisatoihin. Kun lannoittamattomien vertailuruutujen suhteellinen sato pienenee esimerkiksi 95 prosentista 85 prosenttiin, suhteelliset satoerot kasvavat 200 prosenttia, mutta suhteelliset sadot pienenevät vain 11,8 prosenttia. Satoerot ja niistä lasketut lannoituksen vaikutukset ja optimaaliset fosforimäärät kasvavat siten suhteellisesti paljon nopeammin kuin vastaavat sadot pienenevät.

Suomessa tarvitaan tuotettuun satomäärään verrattuna edelleen runsaampaa fosforilannoitusta kuin eteläisemmissä Euroopan maissa, koska lisätty fosfori pidätty happamaan maaperäämme tiukasti. Myös lyhyt ja viileä mutta valoisa kasvukausi ja

siihen sopeutuneet aikaiset lajikkeet sekä ankara talvi korostavat tämän ravinteen merkitystä. Sadon mukana poistuvan fosforin korvaava lannoitus tuottaa Keski-Euroopan viljavilla mailla jatkuvasti täysisiä satoja (BAUMGÄRTEL 1989, JUNGK ym. 1993). Ruotsalaisissa lannoituskokeissa on alhaisimmassa maan fosforiluokassa saatu 20 fosforikilolla viljaa yli 98 prosenttia suurimmasta mahdollisesta sadosta. Paremmissa viljavuusluokissa samanlainen satotulos on saatu alle kymmenellä fosforikilolla, mutta vastaavat lannoitussuosituksot ovat yli kaksinkertaisia (HAHLIN ja ERICSSON 1981, ANON. 1993). Peruna on hyötynyt suuremmista fosforimääristä ja sille suositellaan tätä ravinnettä Ruotsissa jopa 120 kg/ha (ANON. 1993).

Kansainvälinen kasvintuotantotutkimuksen arviointiryhmä piti tämän tutkimuksen kuluessa annettuja lannoitussuosituksia ruotsalaiseen käytäntöön viitaten liian suurina (VARIS ym. 1991). Suomessa suositeltu runsaampi fosforilannoitus johtunee kuitenkin pääasiassa maaperän ominaisuuksia heijastavista koetuloksista eikä niiden tulkinasta. Arvioinnin jälkeen saadut koetulokset sekä pelto maiden fosforipitoisuuksien nousun pysähtyminen (MÄNTYLÄHTI 1994, KÄHÄRI 1995) osoittavat fosforintarpeen olevan kestävässä viljelyssä suurempi kuin kokeen alussa yleisesti oletettiin. Kokeiden lopussa tämän ravinteen tärkeys on korostunut erityisesti Keski- ja Pohjois-Suomessa. Myös Etelä-Suomessa todettu suhteellisten satojen hidaskasvu lannoituksen alittaessa suosituksen osoitti fosforilannoituksen merkityksen maataloudelle pitkällä aikavälillä. Hehtaarisatojen pieneneminen tai niiden kasvun hidastuminen liian niukan lannoituksen seurauksena lisää yhtä suureen kokonaistuotantoon tarvittavaa peltoalaa ja voi siten välillisesti lisätä myös vesistöjen ravinnekuormitusta.

Vaikka laajaan koeaineistoon perustuvat tulokset ovat tavallista luotettavampia, niitä ei voi yleistää luonnonvakioiden tapaan. Aikaisempiin tutkimuksiin verrattuna paljon suuremmat fosforilannoituksen aiheuttamat sadonlisäykset (SALONEN ja TAINIO 1957, TENNBERG 1960, SALONEN 1962, JAAKKOLA 1980, SAARELA ja ELONEN 1982) johtuivat osittain entistä satoisammista lajikkeista ja viljelytekniikan kehittymisestä. Avoviljelyssä käytetty rivi- tai sijoituslannoitus paransi pienten fosforimäärien tehoa. Pintaan levitetyn ja äestämättömän fosforin välitön vaikutus olisi todennä-

köisesti noin puolta heikompi (BAILEY ja GRANT 1990, MALHI ym. 1993), eikä sijoittamisen vaikutusta voi aina korvata edes lannoitemäärää lisäämällä (LYNGSTAD ja STABBETORP 1981, DIBB ym. 1990). Eriäinen multaustapa on tärkein syy siihen, miksi lannan fosfori ei ole yhtä helposti kasvien saatavilla kuin lannoitteiden fosfori. Kuivina vuosina matalaan mullatun lannan fosforin vaikutus voi olla etenkin kriittisessä orasvaiheessa lähes olematon. Kivennäismaiden viljavuuden parantajana ja ylläpitäjänä lanta on kuitenkin jopa hiukan tehokkaampaa kuin sama fosforimäärä vesiliukoisissa kivennäislannoitteissa (SAARELA 1993).

Fosforilannoituksen tehokkuutta ja kasvien alkukehitystä voidaan parantaa sijoittamalla lannoite lähemmäksi siemeniä kuin nykyisin. Kosteissa olosuhteissa pieni starttifosforiannos voidaan antaa samoista vantaista siementen kanssa. Tällöin lannoitefosforin tehokkuus voi jopa kaksinkertaistua normaaliin kylvölannoitukseen verrattuna (JÄRVI 1995). Kuivissa oloissa ja happamilla mailla siemenriveihin annettu lannoite voi haitata pienisiemenisen rypsin taimettumista ja suurentaa myös viljan puintikosteutta (BAILEY ja GRANT 1990, SAARELA ja SAARIKKO 1993). Kevätkuivuudelle herkillä Etelä-Suomen savimailla starttifosfori tulisi sijoittaa kylvöalustaa rikkomatta vähän syvemmälle kuin siemenet. Tällaista lannoitusta on kokeiltu Jokioisissa tekemällä kylvölannoittimen lannoitevantaisiin siivekkeet, jotka jakavat lannoitteen kolmeen riviin. Tällaisilla lannoitevantaila lähelle siemeniä sijoitettu fosfori nopeutti suuresti ohran ja rypsin alkukehitystä ja tuleentumista niukkafosforisella savimaalla v. 1994 - 1995. Myös sadot paranivat merkittävästi, vaikka kosteussuhteiltaan edulliset kasvukaudet tasottivat heikkoa alkukehitystä.

Vuosittain annetun lannoituksen välittömän vaikutuksen kaksinkertaistuminen vähentää fosforintarvetta noin kolmanneksella vielä kymmenentenä vuonna, jolloin tavanomaisia sijoitusmenetelmiä käytettäessä puolet koko vaikutuksesta johtuu aikaisempina vuosina annetusta fosforista. Tarkentamalla lannoitteen sijoitusta oraiden hyvä alkukehitys voidaan varmistaa entistä useammin sadoissa poistuvia fosforimääriä käyttämällä, jolloin maan fosforipitoisuuden kasvu pysähtyy. Alkukehityksen varmistaminen pellon fosforitaseen ollessa

nolla onnistuu sitä paremmin mitä korkeampi sato-taso on. Viiden tonnin jyväsadon sisältämä lähes kahdenkymmenen kilon fosforimäärä parantaa oraiden kasvua oleellisesti tehokkaammin kuin kolmen tonnin sadon runsaat kymmenen fosforikiloa.

Fosforitaseen ollessa nolla maan fosforipitoisuus ei tavallisella kyntömuokkauksella nouse merkittävästi, vaikka kasvien syvemmältä maasta ottamat ravinteet jättävätkin vastaavan ylimäärän kyntökerrokseen. Matala muokkaus nopeuttaa lannoitefosforin kertymistä maan pintaan (PITKÄNEN 1988). Aurattomassa viljelyssä syvemmät kerrokset köyhtyvät vähitellen ja muokattu pintakerros rikkastuu, kun lannoitteesta annettu ja sadoissa poistuva fosforimäärä ovat yhtä suuret. Ympäristön kannalta ihanteellinen menetelmä olisi fosforin sijoittaminen muokatun kerroksen alle, jolloin huuhtoutumiselle ja eroosiolle alttiin maan pinnan fosforipitoisuus vähitellen pienenesi.

Tutkimuksen tulokset osoittavat, että kasvintuotannon kustannuksia voidaan alentaa ja ympäristöhaittoja vähentää tehostamalla fosforilannoituksen hyväksikäyttöä lannoitusmenetelmiä edelleen kehittämällä. Optimaalisen lannoitteen sijoituksen ja riittävän kalkituksen avulla satojen mukana poistuvan fosforin korvaava tai sitä hiukan runsaampi fosforimäärä näyttää riittävän kestäväan viljelyyn parhaiten Etelä-Suomessa. Hyväkenteisten savimaiden ohella myös saviset ja runsasmultaiset Etelä-Suomen ja Pohjanmaan hietamaat olivat fosforinsaannin kannalta parempia kuin Sisä-Suomessa yleiset hiesuiset ja karkeat maalajit. Keski- ja Pohjois-Suomen kivennäismailla fosforia tarvitaan edelleen yleisesti enemmän kuin sitä satojen myötä poistuu. Lohkoittainen lannoitustarve voidaan selvittää luotettavasti kemiallisella maa-analyysillä eli viljavuustutkimuksella.

4 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Suomen peltojen luonnostaan heikko fosforitila parani runsaan lannoituksen ansiosta nopeasti 1960- ja 1970-luvuilla. Viljavuudeltaan parannetuilla mailla tarvittavaa peltokasvien fosforilannoitusta selvitettiin Maatalouden tutkimuskeskuksessa Jokioisissa ja tutkimusasemilla monivuotisilla kenttäkokeilla vuosina 1977 - 1994. Kokeissa verrattiin viittä erilaista vuotuisen fosforilannoituksen mää-

rää, joka vaihteli viljaa, öljykasveja ja nurmea viljeltäessä nollasta 60 kiloon hehtaarille 15 kilon portain ja perunaa viljeltäessä nollasta sataan kiloon hehtaarille 25 kilon portain.

Monivuotisia kenttäkokeita tehtiin kaikkiaan 37 koepaikalla. Näistä kokeista 23 jatkui vähintään yhdeksän vuotta ja 20 koetta kesti 12 - 18 vuotta. Tutkimuksessa seurattiin käytettyjen fosforimäärien vaikutuksia maan viljavuuden sekä sadon määrän ja laadun kehitykseen. Kasvien maasta ottamat ravinnemäärät ja pellon ravinnetaset laskettiin satoanalyysien perusteella. Taloudellisessa ja kestävässä viljelyssä erilaisissa olosuhteissa tarvittavia fosforimääriä selvitettiin kemiallisilla kasvi- ja maa-analyyseillä. Maan fosforipitoisuuksien tulkintaa tarkennettiin maalajin, maan happamuuden ja multavuuden sekä kasvilajin ja satotason perusteella.

4.1 Pellon fosforitase ja viljavuuden kehitys

Koekentistä määritettiin happamaan ammoniumasetaattiin uuttuvan eli helppoliukoisen fosforin pitoisuus kyntökerroksesta ja jankosta kolmen vuoden välein. Fosforilannoitus vaikutti kyntökerroksen liukoisen fosforin pitoisuuteen kaikilla koepaikoilla, ja käytettyjen fosforimäärien väliset erot kasvoivat kokeen kestäessä aika säännöllisesti. Kun lähtötaso oli alhainen, pitoisuudet olivat lopussa suurinta lannoitusta käytettäessä yli kaksi kertaa niin korkeita kuin ilman fosforilannoitusta viljellyillä ruuduilla. Alhainen lähtötaso pysyi suunnilleen ennallaan, kun lannoitus korvasi satojen mukana poistuneen fosforin. Korkean lähtötason ylläpitoon lannoitefosforia tarvittiin huomattavasti enemmän kuin kasvit tätä ravinnetta maasta ottivat.

Lannoituksessa annettujen ja korjatuissa sadoissa poistuneiden fosforimäärien erotus eli pellon fosforitase osoittaa tämän ravinteen kokonaismäärän muutoksia maassa melko hyvin, koska fosforin huuhtoutuminen on suhteellisen vähäistä. Koko koeajalta lasketun fosforitaseen ja liukoisen fosforin pitoisuuden muutosten mukaan lisäystä fosforista oli kokeen lopussa helppoliukoisena eri koepaikoilla 1 - 9 prosenttia, keskimäärin runsaat kaksi prosenttia. Liukoisen fosforin osuus taseesta vaihteli niukkafosforisissa maissa saven yhdestä eloperäisten maiden kahteen prosenttiin. Kokeen

alussa mitatun fosforipitoisuuden kasvaessa liukoisena pysyneen fosforin osuus kasvoi lähes kaksinkertaiseksi yhtä viljavuusluokkaa kohti.

Kyntökerroksen alla olevan jankon liukoisen fosforin pitoisuudet olivat kivennäismaissa tavallisesti alhaisia, mutta turvemaissa pitoisuudet eivät pienentyneet syvemmälle mentäessä yhtä jyrkästi muokatun kerroksen alla. Myös fosforilannoituksen vaikutus ulottui muokkausta syvemmälle turvemaissa paljon selvemmin kuin kivennäismaissa. Lannoituskäsittelyt vaikuttivat kuitenkin kivennäismaidenkin pohjamaahan tilastollisesti merkittävästi sellaisillakin koepaikoilla, joilla lisätty fosfori pidättyi tehokkaasti maahan. Hyvin runsasfosforisessa hietamaassa liukoista fosforia oli jankossa suurehkoina pitoisuuksina jo kokeen alussa.

Fosforilannoitteena käytetty superfosfaatti suurensi maan vaihtuvan kalsiumin pitoisuuksia mutta pienensi samalla kalium- ja mangesiumpitoisuuksia. Vaihtuvien kationien suhde muuttui eniten karkeilla kivennäismailla, joilla vaikutus ulottui vähämultaiseen jankkoon saakka. Kalsiumpitoiset fosforilannoitteet kohottivat nurmiheinien kalsiumpitoisuutta selvästi erityisesti happamilla mailla. Joidenkin kokeiden pohjamaasta löytyi superfosfaatin liukoista rikkiä melko runsaasti. Fosforilannoituksen vaikutus maan happamuuteen ja muihin viljavuuslukuihin oli vähäinen.

4.2 Fosforilannoituksen hyväksikäyttö

Lannoitefosforin hyväksikäyttöä tutkittiin lannoituksen aiheuttaman sadon fosforimäärän suurenmisen ja annetun fosforimäärän suhteen perusteella. Tämä ns. näennäinen hyväksikäyttö oli fosforilannoituksella 15 kg/ha keskimäärin 7,1 prosenttia ja fosforimäärällä 45 kg/ha 4,8 prosenttia. Lannoituksen hyväksikäyttöaste suureni kokeen loppua kohden etenkin viljanviljelyssä, jossa se oli tiukasti sidoksissa sadon määrän eroihin. Fosforilannoitus suurensi tämän ravinteen ottoa siten enemmän niukkafosforisilla kuin runsasfosforisilla mailla. Yhdessä viljatonnissa oli fosforia 3,5 kiloa ja nurmirehussa tuhatta rehuyksikköä kohti keskimäärin hiukan enemmän. Sadon fosforipitoisuuden kasvu lannoituksen lisääntyessä paransi fosforin hyväksikäyttöä rypsilä jonkin verran enemmän ja nurmella paljon tehokkaammin kuin viljoilla. Kaikkein tehokkainta annetun fosforin hyväksikäyttö oli turvemaiden nurmilla.

4.3 Fosforilannoituksen vaikutus sadon laatuun ja määrään

Lannoitus vaikutti sadon laatuun eniten nurmiviljelyssä, jossa fosfori suurensi sadon kivennäispitoisuuksia lähemmäksi eläinten tarvetta. Ohran viljelyssä fosforilannoitus suurensi sekä tuhannen siemenen painoa että hehtolitrapainoa enemmän kuin muiden viljojen viljelyssä. Lannoituksen lisääminen sadon määrän kannalta tarpeettoman runsaaksi ei parantanut viljasadon laatua. Fosforin niukkuus vähensi kasvien typenottoa ja lisäsi siten korjuun jälkeen maahan jääneen laskennallisen typen määrää. Fosforilannoitus suurensi valkuaisaitoja mutta pienensi yleensä hiukan sadon valkuaispitoisuuksia.

Fosforilannoitus lisäsi keskimääräistä nurmen kiviainesaitoa 830 kg/ha (11 %), joka vastaa noin 580 rehuyksikköä hehtaarilta. Ohran hehtaarisaitoa fosforilannoitus suurensi 510 kg (17 %), kaurasaitoa 350 kg/ha (10 %), kevätvehnäsaitoa 210 kg/ha (7 %), ruissaitoa 210 kg/ha (8 %) ja rypsisaitoa 240 kg/ha (13 %). Yhdessä kokeessa neljänä vuonna viljellystä herneestä sekä runsasfosforisilla mailla viljellystä syysvehnästä ei saatu fosforilannoituksella merkitseviä sadonlisäyksiä. Perunantuotannossa merkitseviä vaikutuksia mitattiin kokeen lopussa osaruuduille sijoitetulla fosforilla.

Perunalla ja yli yhden vuoden ikäisellä nurmella fosforintarve ja lannoitusoptimi olivat suurempia kuin peltokasveilla keskimäärin. Leipäviljat ja kaura taas olivat vaatimattomia, ja niiden edullisin lannoitus oli niukempi. Ohran, rypsin ja ensimmäisen vuoden nurmen fosforintarve ja lannoitusoptimi vastasivat peltokasvien keskitasoa.

4.4 Fosforilannoituksen aiheuttamien satoerojen kasvu

Fosforin vaikutus satoon ja sen edullisin määrä kasvoivat kokeiden aikana maan viljavuuden kehityksen mukaisesti. Erityisesti happamilla Sisä-Suomen kivennäismailla fosforinsaanti näytti heikenevän enemmän kuin asetaattiin uuttuvan fosforin pitoisuus laski. Lannoituksen vähentäminen suosituksista (keskimäärin 27 kg/ha) kymmenellä kilolla hehtaarilla alensi niukka- ja keskifosforisten maiden satoa kokeen alussa vain prosentin mutta lopussa neljä prosenttia, jolloin ero biologiseen optimiin kasvoi kahdeksaan prosenttiin. Myös

kokeiden lopussa tutkittu aikaisemmin annetun fosforin jälkivaikutus korosti fosforilannoituksen aiheuttamien sadonlisäysten pitkäaikaisuutta.

Niukkafosforisilla mailla, joiden pH:n ja maalajin mukaan korjattu fosforipitoisuus oli alle 4 mg/l, ohran sato pieneni ilman fosforilannoitusta 15 vuodessa alle puoleen. Tällöin optimilannoitus oli nykyisillä hinnoilla noin 40 kg/ha, mikä fosforimäärä lisäsi satoa 1400 kg/ha. Keskinertasilla mailla (fosforipitoisuus 4 - 16 mg/l) lannoituksen vaikutus ja kannattavuus olivat kokeen alussa heikkoja, mutta lopussa satoerot suurensivat 400 - 800 kiloon tai rehuyksikköön hehtaarilta. Tällöin vanhojen suositusten mukaiset fosforimäärät, 20 - 30 kg/ha, olivat alentuneilla viljan EU-hinnoilla optimaalisia. Runsasfosforisilla mailla satoerot olivat pieniä ja fosforilannoitus välittömän sadonlisäyksen perusteella kannattamatonta kokeiden loppuun saakka.

4.5 Viljavuustutkimuksen fosforianalyysin tulkinta

Biologisesti niukkafosforiset pellot, joissa lannoitustarve oli poikkeuksellisen suuri, eivät erottuneet keskinkertaisista koepaikoista maan alkuperäisen korjaamattoman fosforipitoisuuden perusteella. Tähän ryhmään kuuluvia maita olivat hiesuiset maalajit, hiesuisesta hiesusavesta hiesuiseen hieetaan, sekä karkeat kivennäismaat pitkälle lajittuneesta karkeasta hiedasta alkaen. Helppoliukoisien fosforin pitoisuuteen verrattuna biologisesti parempia maalajeja taas olivat aitosavi ja muut hyvärakenteiset savet, jotka vanhastaan on tiedetty hyviksi. Tässä tutkimuksessa kasvit saivat fosforia myös runsasmaisista hiedoista ja Etelä-Suomen savisista hiedoista paremmin kuin kemiallinen testi ennusti. Alhainen pH-luku huononsi fosforin saantia erityisesti kivennäismaista.

Biologisen fosforitilan poikkeaminen helppoliukoisien fosforin pitoisuuden osoittamasta fosforinsaannista johtui osittain maan fysikaalisista ominaisuuksista, jotka vaikuttivat juurten kasvuun ja ravinteidenoton tehokkuuteen. Kemiallisena syynä oli happamuuden ohella todennäköisesti fosforin vesiliukoisuus, joka näytti olevan Sisä-Suomen happamissa kivennäismaissa alhainen verrattuna helppoliukoisien fosforin pitoisuuteen. Kemiallisesti määritettyjen maan fosforipitoisuuksien tarkennettu tulkinta pH-luvun, maalajin ja

multavuuden perusteella kohdistaa siten lannoitusta alueellisesti paremmin tarvetta vastaavaksi.

4.6 Päätelmät

Maan luontainen fosfori ei Suomen oloissa riitä laadultaan ja määrältään tyydyttävien satojen tuottamiseen. Vesiliukoisien fosforin voimakkaasta pidättymisestä johtuvan lannoituksen heikon hyväksikäytön takia tätä ravinnetta tarvitaan niukka-fosforisilla mailla huomattavasti enemmän kuin kasvit sitä maasta ottavat.

Runsaalla fosforilannoituksella erityisesti 1960- ja 1970-luvulla parannetuilla mailla saadaan useita vuosia lähes täysiä satoja ilman fosforilannoituksen uusimista. Suurimman sadon tuottava biologisesti optimaalinen lannoitteen määrä on kuitenkin myös keskinkertaisilla mailla suurempi kuin satojen mukana poistuva fosforimäärä. Lukuun ottamatta kaikkein runsasfosforisimpia maita, joilla sadonlisäystä ei saada lainkaan, biologisesti optimaalinen fosforilannoitus on tehokkaasti viljelyillä pelloilla 2 - 5 kertaa niin suuri kuin korjatuissa sadoissa poistuu eli 30 - 50 kg/ha.

Niukka-fosforisilla mailla fosforilannoitus tuottaa kannattavia sadonlisäyksiä heti ensimmäisinä vuosina, mutta välittömän sadonlisäyksen perusteella fosforilannoituksen taloudellisuus on myös keskinkertaisilla mailla aluksi heikko. Vuosittain toistetun fosforilisäyksen jälkivaikutus parantaa kuitenkin oleellisesti pitkän ajan vaikutusta ja kannattavuutta. Sadon sisältämää fosforimäärää jonkin verran runsaampi lannoitus on siten fosforitaltaan keskinkertaisilla mailla pitkällä aikavälillä taloudellisesti edullisinta.

Korjatuissa sadoissa poistuvan fosforin korvaaminen pitää happamaan ammoniumasetaattiin uuttuvan eli heppoliukoisien fosforin pitoisuuden maassa ennallaan lähtötason ollessa alhainen, mutta korkeiden pitoisuuksien ylläpitoon tarvitaan huo-

mattavasti runsaampi lannoitus. Happamalla kivennäismailla kasvien fosforinsaanti saattaa heikentyä, vaikka viljavuustutkimuksen heppoliukoisien fosforin pitoisuus pysyy muuttumattomana.

Viljavuustutkimus ennusti kasvien fosforinsaantia maasta ja lannoitustarvetta luotettavasti. Suomessa käytettävä hapan ammoniumasetaatti-menetelmä ei kuitenkaan erottanut biologisesti poikkeuksellisen huonoja Sisä-Suomen happamia kivennäismaita keskinkertaisista koepaikoista. Etelä-Suomen jäykkien savien sekä savisten ja runsasmultaisten hietojen fosforitila taas oli parempi kuin kemiallinen testi ennusti. Viljavuustutkimuksen tarkkuutta voidaan siten parantaa tarkentamalla fosforilukujen tulkintaa maalajin ja multavuuden sekä pH-luvun perusteella.

Vesiuutto ja sitä vastaavat uudet menetelmät osoittavat kivennäismaiden fosforitilaa ja lannoitustarvetta alustavien tutkimusten mukaan tarkemmin kuin nykyinen menetelmä. Täsmälannoitusta varten tarpeellisten nykyistä tarkempien menetelmien kehittäminen on siten tärkeä jatkotutkimusten aihe.

Kiitokset. Tämä tutkimus on tehty useiden kymmenien henkilöiden yhteisin voimin. Siihen on tarvittu tuhansia tunteja erikoiskoulutettujen ammattilaisten huolellista työtä sekä eri puolilla Suomea sijaitsevilla koekentillä että laboratorioissa. Parhaat kiitokset hyvästä yhteistyöstä kaikille tutkimukseen osallistuneille. Kiitokset myös tutkimuksen aikana saadusta asiallisesta kritiikistä.

Acknowledgements. This research project was carried out by combined forces of tens of persons. It required thousands of hours of careful work by specially trained experts in the experimental fields in different parts of Finland and at the laboratories. Warm thanks for good cooperation to all those who contributed to the research work. Thanks are also expressed for the constructive criticism given during the project.

KIRJALLISUUS

- ANON. 1988. Vesiensuojelun tavoiteohjelma vuoteen 1995. Ympäristöministeriö, sarja B 12/1988: 1–41.
- ANON. 1993. Riktlinjer för gödning och kalkning 1994. Jordbruksverket, rapport 1993/19: 1–31.
- BAILEY, L. D. & GRANT, C. A. 1990. Fertilizer placement studies on calcareous and non-calcareous chernozemic soils: growth, P-uptake, oil content and yield of Canadian rape. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 21: 2089–2104.
- BAUMGÄRTEL, G. 1989. Phosphat-Dungerbedarf von Getreide und Zuckerruben in sudniedersächsischen Lössgebiet. *Z. Pflanzenern. Bodenk.* 152: 447–452.
- BARBER, S. 1984. Soil nutrient bioavailability. John Wiley & Sons, New York. 398 p.
- BLUME, H.-P. 1982. Prozesse der Bodenentwicklung. In: Scheffer, F. & Schachtschabel, P. (eds.). *Lehrbuch der Bodenkunde*, 11. Aufl. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart. p. 328–349.
- BRUMMER, V. 1959. Lannoituksen vaikutuksesta sokerijuurikkaan satoon. *Acta Agraria Fennica* 94: 201–236.
- DAHNIKE, W. C. 1993. Soil test interpretation. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24: 11–27.
- DIBB., D. W., FIXEN, P. E. & MURPHY, L. S. 1990. Balanced fertilization with particular reference to phosphates: interaction of phosphorus with other inputs and management practices. *Fertilizer Research* 26: 29–52.
- ELONEN, P. & MÄNTYLÄHTI, V. ym. 1987. Viljavuustutkimuksen tulkinta peltoviljelyssä. Viljavuuspalvelu Oy, Helsinki 1987. 70 p.
- & MÄNTYLÄHTI, V. ym. 1991. Viljavuustutkimuksen tulkinta peltoviljelyssä. Viljavuuspalvelu Oy, Helsinki 1991. 70 p.
- & MÄNTYLÄHTI, V. ym. 1995. Viljavuustutkimuksen tulkinta peltoviljelyssä. Viljavuuspalvelu Oy, Mikkeli 1995. 30 p.
- ERVIÖ, R. 1995. Viljelymaan humuksen väheneminen kolmen vuosikymmenen aikana. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 11/95: 5–12.
- ESALA, M. & LARPES, G. 1984. Kevätviljojen sijoituslannoitus savimaalla. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 2/84: 1–35.
- & LARPES, G. 1986. Effect of the placement technique and amount of fertilizer on spring wheat and barley grown on clay soils. II. Effect on the quality and mineral contents of grain yield. *Ann. Agric. Fenn.* 25: 169–175.
- FINCK, A. 1992a. Phosphatic fertilization and crop quality. *Proc. 4th Intern. IMPHOS Conf.*, Ghent, Belgium. p. 231–255.
- 1992b. *Dunger und dungung: Grundlagen und Anleitung zur Dungung der Kulturpflanzen*. 2. Aufl. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim. 488 p.
- FÖHSE, D., CLAASSEN, N. & JUNGK, A. 1988. Phosphorus efficiency of plants. 1. External and internal requirement and P uptake efficiency of different plant species. *Plant and Soil* 110: 101–109.
- GUNNARSSON, O. 1987. Den långsiktiga fosfordynamiken i de skånska bördihetsförsöken. *Kungl. Skogs- och Lantbruksadamiens tidskrift, Suppl.* 19: 71–92.
- HAHLIN, M. & ERICSSON, J. 1981. Fosfor och fosforgödning. *Aktuellt från lantbruksuniversitetet* 294: 1–21.
- HAKKOLA, H. 1990. Perunan fosfori- ja kaliumlannoitus. *Koetoiminta ja Käytäntö* 47: 1.
- HANSSON, A.-C., ANDREN, O. & STEEN, E. 1991. Root production of four arable crops in Sweden and its effect on abundance of soil organisms. In: Atkinson, D. (ed.). *Plant Root Growth, an ecological perspective*, Spec. Publ. 10 of Brit. Ecol. Soc., Oxford. p. 247–266.
- HARTIKAINEN, H. 1982. Water soluble phosphorus in Finnish mineral soils and its dependence on soil properties. *J. Agric. Soc. Finl.* 54: 89–98.
- 1989a. Effect of cumulative dressings of the phosphorus status of mineral soils. I. Changes in inorganic phosphorus fractions. *J. Agric. Sci. Finl.* 61: 55–59.
- 1989b. Effect of cumulative dressings of the phosphorus status of mineral soils. II. Comparison of two phosphorus testing methods. *J. Agric. Sci. Finl.* 61: 61–66.
- 1992. Maaperä. In: Heinonen, R. (ed.). *Maa, viljely ja ympäristö*. WSOY, Porvoo. p. 9–89.
- HIIVOLA, S.-L. 1991. Viljojen kalkituskokeita Etelä-Pohjanmaalla. *Kalkitusopas. Tieto tuottamaan* 55: 37–41.
- HOUBA, V. J. G., NOVOZAMSKY, I. & van der LEE, J. J. 1992. Soil testing and plant analysis in western Europe. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 23: 2029–2051.
- HUHTA, H. & JAAKKOLA, A. 1993. Viljelykasvin ja lannoituksen vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen turvemaasta Tohmajärven huuhtoutumiskentällä v. 1983–87. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 20/93: 1–66.
- HUIKARI, O., MUOTIALA, S. & WÄRE, M. 1964. *Ojitusopas*. Kirjayhtymä, Helsinki. 242 p.
- HUOKUNA, E. & HIIVOLA, S.-L. 1974. The effect of heavy nitrogen fertilization on sward density and winter survival of grasses. *Ann. Agric. Fenn.* 13: 88–95.
- JAAKKOLA, A. 1978. Peltojen lannoitus. In: Köppä, P. (ed.). *Kasvinviljelyoppi 1*. Kirjayhtymä, Helsinki. p. 145–191.
- 1980. Astiakoe ohran typpi-, fosfori- ja kaliumlannoitustarpeen osoittajana. Maatalouden tutkimuskeskus, maanviljelyskemian ja fysiikan laitos, Tiedote 13: 1–23.
- 1992. Kasvinravitseminen. In: Heinonen, R. (ed.). *Maa, viljely ja ympäristö*. WSOY, Porvoo. p. 173–254.
- , HAKKOLA, H., KÖYLJÄRVI, J. & SIMOJOKI, P. 1977. Effect of liming on phosphorus fertilizer requirement in cereals and ley. *Ann. Agric. Fenn.* 16: 207–219.
- , SYVÄLAHTI, J. & SAARI, E. 1982. Contents of mineral elements in Finnish straw. *J. Scient. Agric. Soc. Finl.* 54: 385–394.
- & VOGT, P. 1978a. Lannoituksena maahan annettujen kivennäisainesten vaikutus satojen pitoisuuksiin. *Kehittyvä Maatalous* 40: 35–40.

- & VOGT, P. 1978b. The effect of mineral elements added to Finnish soils on the mineral contents of cereal, potato and hay crops. I. Calcium, magnesium, phosphorus, potassium, copper, iron, manganese, sodium and zinc. *Acta Agric. Scand. Suppl.* 20: 53–68.
- JANSSON, H., YLÄRANTA, T. & SILLANPÄÄ, M. 1985. Macronutrient contents of different plant species grown side by side. *Ann. Agric. Fenn.* 24: 139–148.
- JANSSON, S. 1983. Tjugofem års bördighetstudier i Sverige. *Inst. för markvetenskap, Avd. för växtnäringlära, Rapport* 151: 1–16.
- JOHNSTON, A. E. & POULTON, P. R. 1992. The role of phosphorus in crop production and soil fertility: 150 years of field experiments at Rothamsted, United Kingdom. *Proc. 4th Intern. IMPHOS Conf., Ghent, Belgium.* p. 539–575.
- JOKINEN, R. & SIMOJOKI, P. 1972. Diammoniumfosfaatti lannoitteena. *Kehittyvä Maatalous* 8: 11–21.
- JUNGK; A., CLAASSEN, N., SCHULZ, V. & WENDT, J. 1993. Pflanzenverfügbarkeit der Phosphatvorräte ackerbaulich genutzter Böden. *Z. Pflanzenern. Bodenk.* 156: 397–406.
- JÄRVI, A. 1995. Ohralle ja kauralle fosforia kylvörievihin. *Koetoiminta ja Käytäntö* 52: 10.
- KAILA, A. 1959a. Retention of phosphate by peat samples. *J. Scient. Agric. Soc. Finl.* 31: 215–225.
- 1959b. Effect of superphosphate on the retention of phosphorus by peat soil. *J. Scient. Agric. Soc. Finl.* 31: 259–267.
- 1963. Dependence of the phosphate sorption capacity on the aluminium and iron in Finnish soils. *J. Scient. Agric. Soc. Finl.* 35: 165–177.
- KEMPPAINEN, E. 1994. Naudan liettelannan ja ketun lannan ravinteiden huuhtoutuminen lysimetrikokeessa. *Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote* 16/94: 1–46.
- JAAKKOLA, A. & ELONEN, P. 1993. Peltomaiden kalkitustarve ja kalkituksen vaikutus viljan ja nurmen satoon. *Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote* 15/93: 1–44.
- KUISMA, P. 1990. Perunan lannoitustapa. *Koetoiminta ja käytäntö* 47: 4.
- 1992. Muokkaus ja lannoitus. *Perunan tuotanto. Tieto tuottamaan* 64: 45–54.
- KUNTZE, H. & SCHEFFER, B. 1979. Die Phosphatmobilität im Hochmoorboden in Abhängigkeit von der Dungung. *Z. Pflanzenern. Bodenk.* 142: 155–168.
- KURKI, M. 1977. Viljavuustutkimuksen hyväksikäyttö. *Viljavuuspalvelu Oy, Helsinki.* 20 p.
- 1979. Suomen peltojen viljavuuden kehityksestä. *Viljavuuspalvelu Oy, Helsinki.* 41 p.
- 1982. Suomen peltojen viljavuudesta III. *Viljavuuspalvelu Oy, Helsinki.* 181 p.
- KÄHÄRI, J. 1995. Peltojen fosfori väheni. *Haastattelu. Maaseudun Tulevaisuus* 23.3.1995. p. 1, 3.
- , MÄNTYLÄHTI, V. & RANNIKKO, M. 1987. Suomen peltojen viljavuus 1981–1985. *Viljavuuspalvelu Oy, Helsinki.* 105 p.
- & NISSINEN, H. 1978. The mineral element contents of timothy (*Phleum pratense* L.) in Finland. I. Calcium, magnesium, phosphorus, potassium, chromium, cobalt, copper, iron, manganese, sodium, and zinc. *Acta Agric. Scand. Suppl.* 20: 26–39.
- & PAASIKALLIO, A. 1978a. Timoteihin kivennäispitoisuudet Suomessa. *Kehittyvä Maatalous* 40: 20–34.
- & PAASIKALLIO, A. 1978b. Timotein kivennäispitoisuudet Suomessa kunnittain. *Maatalouden tutkimuskeskus, maanviljelyskemian ja -fysiikan laitos, Tiedote* 7: 1–19.
- KÄRBLANE, H. 1969. Superfosfaadi kasvatuskoeitsiendi määrämise meetodite võrdlus. *Eesti maaviljeluse ja maaparanduse teadusliku uurimise instituut, Teaduslike tööde kogumik XVI:* 115–122.
- 1970. Superfosfaadi multaviimise sygavuse mõju taimede arengule ja fosfori tarbimisele. *Eesti maaviljeluse ja maaparanduse teadusliku uurimise instituut, Teaduslike tööde kogumik XX:* 100–110.
- 1971. Sygavamates mullahorisontides sisalduva fosfori omastatavusest ja mõjust saagile. *Eesti maaviljeluse ja maaparanduse teadusliku uurimise instituut, Teaduslike tööde kogumik XXII:* 70–83.
- 1974. Eesti NSV muldade fosforisisaldus. *Eesti maaviljeluse ja maaparanduse teaduslike uurimise instituut, Teaduslike tööde kogumik XXXVI:* 113–131.
- LAINEN, J. 1988. Typpi, fosfori ja kiintoaine Mustionjoessa. *Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja* 126: 1–97.
- LARPES, G. 1977. Lannoitteiden vertailu kevätviljanviljelyssä savimaalla. *Koetoiminta ja Käytäntö* 25.1.1977.
- LYNGSTAD, I. & STABBETORP, H. 1981. Radgjödning av superfosfat. *Summary: Placement of superphosphate. Forskning og Forsök i Lantbruket* 32: 97–103.
- MALHI, S. S., NYBORG, M., PENNEY, D. C., KRYZANOWSKI, L., ROBERTSON, J. A. & WALKER, D. R. 1993. Yield response of barley and rapeseed to P fertilizer: influence of soil test P level and method of placement. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24: 1–10.
- MATTSSON, L. & HAHLIN, M. 1991. Vad händer om vi slutar PK-gödsel? *Sveriges lantbruksuniversitetet, fakta mark/växter* Nr 5, 1991: 1–4.
- MUNK, H. 1985. Ermittlung wirtschaftlich optimaler Phosphatgaben auf Löss- und Geschiebelehm Böden auf Basis der CAL-Methode. *Z. Pflanzenern. Bodenk.* 148: 193–213.
- & REX, M. 1990. Zur Eichung von Bodenuntersuchungsmethoden auf Phosphat. *Agrobiol. Res.* 43: 164–174.
- MÄKELÄ-KURTTO, R., ERVIÖ, R. & SIPPOLA, J. 1993. Macro- and microelement concentrations of Finnish timothy in 1974 and 1987. *Agric. Sci. Finl.* 2: 337–344.
- MÄKITIE, O. 1968. Aluminium, extractable from soil samples by the acid ammonium acetate soil testing method. *J. Scient. Agric. Soc. Finl.* 40: 54–59.
- MÄNTYLÄHTI, V. 1994. Peltojen viljavuus 1986–90. *Julkaisemattomia tietoja viljavuustutkimusten tuloksista. Viljavuuspalvelu Oy, Mikkelä.*
- NILSSON, L. G. & MATTSSON, L. 1993. Gödsling och odling - hur påverkas åkermarkens bördighet? *Sveriges lantbruksuniversitetet, fakta mark/växter* Nr 14, 1993: 1–4.

- NOORDWIJK, M. van, WILLIGEN, P. de, EHLERT, P. A. I. & CHARDON, W. J. 1990. A simple model of P uptake by crops as a possible basis for P fertilizer recommendations. *Netherl. J. Agric. Sci.* 38: 317–332.
- NYE, P. H. & TINKER, P. B. 1977. Solute movement in the soil-root system. *Blackwell Sci. Publ. Studies in Ecology* 4: 1–342.
- PESSI, Y. 1970. Väkilannoitteet ja niiden käyttö peltoviljelyssä. WSOY, Porvoo. 214 p.
- PITKÄNEN, J. 1988. Aurattoman viljelyn vaikutukset maan fysikaalisiin ominaisuuksiin ja maan viljavuuteen. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 21/88: 62–162.
- PRUMMEL, J. 1975. Effect of soil structure on phosphate nutrition of crop plants. *Netherl. J. Agric. Sci.* 23: 62–68.
- PUUSTINEN, M., MERILÄ, E., PALKO, J. & SEUNA, P. 1994. Kuivatustila, viljelykäytäntö ja vesistökuormitukseen vaikuttavat ominaisuudet Suomen pelloilla. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A 198: 1–323.
- REKOLAINEN, S. 1993. Assessment and mitigation of agricultural water pollution. *Publ. Water Environm. Res. Inst., Nat. Board Water Environm., Finl.* 12: 1–34.
- RILEY, H. & STEENBERG, K. 1985. Fosfor til korn på bakkeplanert leirjord. Summary: P-fertilization of cereals on levelled clay subsoils. *Forskning og Forsök i Landbruket* 36: 177–183.
- RINNE, S.-L., SILLANPÄÄ, M., HUOKUNA, E. & HIIVOLA, S.-L. 1974. Effects of heavy nitrogen fertilization on potassium, calcium, magnesium and phosphorus contents in ley grasses. *Ann. Agric. Fenn.* 13: 96–108.
- SAARELA, I. 1983. Lannoitteet ja runsasravinteiset maat. *Koetoiminta ja Käytäntö* 40: 49.
- 1986. Viljan, öljykasvin ja nurmen fosforilannoitus. *Koetoiminta ja Käytäntö* 43: 26.
- 1987. Perunan lannoitus runsasravinteisellä maalla. *Koetoiminta ja Käytäntö* 44: 18.
- 1989a. Fosforilannoitus tarpeen mukaan. Ylimäärä turhaa ympäristökuormitusta. *Koetoiminta ja Käytäntö* 46: 12.
- 1989b. Riittääkö rikki peltokasveille päästöjen vähentäessä. *Koetoiminta ja Käytäntö* 46: 48.
- 1990a. Inorganic leaf phosphorus as indicator of phosphorus nutrition in cereals. In: Van Beusichem, L. M. (ed.). *Plant nutrition. Physiology and applications. Devel. Plant Soil Sci.* 41: 779–784.
- 1990b. Öljykasvien rikki- ja boorilannoitus. *Koetoiminta ja Käytäntö* 47: 34.
- 1991a. Optimum phosphorus fertilization in respect to soil fertility and environment. *FAO/ECE symposium on methods and concept for the use of organic and chemical fertilizers, Geneve.* 14 p.
- 1991b. Fosforilannoitus tarkemmaksi - happamuus, maalaji ja multavuus avuksi. *Koetoiminta ja Käytäntö* 48: 63.
- 1991c. Edullisin fosforimäärä 20 kiloa viljahehtaarille. *Maaseudun Tulevaisuus* 14.11.1991. p. 2.
- 1992a. Response of field crops to P application in diverse soils in Finland. *Proc. 4th Intern. IMPHOS Conf., Ghent, Belgium.* p. 656–658.
- 1992b. A simple diffusion test for soil phosphorus availability. *Plant and Soil* 147: 115–126.
- 1992c. Agronomic efficiency and environmental effects of large doses of phosphorus with establishment vs. annual topdressing in leys. *Proc. 14th Gen. Meet. Europ. Grassl. Feder., Lahti, Finland.* p. 528–530.
- 1992d. Fosforilannoitustarpeen vähentäminen. *Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja* 359: 147–152.
- 1993. Kotieläinten lannat ja puhdistamoliete fosforilannoitteina. *Koetoiminta ja Käytäntö* 50: 27.
- 1994a. Peltokasvien fosforilannoitus. *Agro-Food '94, Tampere, tutkimusposterit B41.* 2 p. MTT/MKF, Jokioinen, Mimeogr. 8 p.
- 1994b. Muokkauksen vaikutus kasvien fosforin saantiin. *Koetoiminta ja Käytäntö* 51: 44.
- 1995a. Phosphorus balances - consequences of reduced fertilization. *Nordisk Jordbruksforskning* 77: 74.
- 1995b. Niukkafosforisten maiden lannoitus. *Koetoiminta ja Käytäntö* 52: 11–12.
- 1995c. Fosfori pidättyy alumiini- ja rautayhdisteisiin. *Leipä leveämmäksi* 43, 2: 14–15.
- & ELONEN, P. 1982. Fosforilannoituksen porraskokeet 1977–1981. *Maatalouden tutkimuskeskus, maanviljelyskemian ja -fysiikan laitos, Tiedote* 16: 1–55.
- & HAHTONEN, M. 1994. Sulphur nutrition of field crops in Finland. *Norw. J. Agric. Sci. Suppl.* 15: 119–126.
- , HAKKOLA, H., LINNOMÄKI, H. & KÖYLJÄRVI, J. 1981. Nurmen pintakalkitus, sadetus, typpi- ja kaliumlannoitus. *Monitekijäkokeiden tuloksia. Maatalouden tutkimuskeskus, maanviljelyskemian ja -fysiikan laitos, Tiedote* 15: 1–36.
- & JÄRVI, A. 1993. Fosforilannoituksen vaikutus maahan, satoon ja katetuottoon. Jälkivaikutus parantanut kannattavuutta 15-vuotuisissa kokeissa. *Koetoiminta ja Käytäntö* 50: 24.
- & KÖYLJÄRVI, J. 1989. Öljykasvien fosfori-, kalium-, rikki- ja boorilannoitus sekä muiden ravinteiden ja kalkituksen tarve. *Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote* 11/89: 52–60.
- , KÖYLJÄRVI, J., JÄRVI, A. & VUORINEN, M. 1988. Perustettavan nurmen fosforilannoitus. *Koetoiminta ja Käytäntö* 45: 36.
- & SAARIKKO, R. 1993. Lähelle siemeniä sijoitettu starttilannoitus. *Koetoiminta ja Käytäntö* 51: 9.
- & SIPPOLA, J. 1987. Kalkituksen vaikutus kasvien fosforin saantiin. *Koetoiminta ja Käytäntö* 44: 52.
- & SIPPOLA, J. 1990. Inorganic leaf phosphorus and soil tests as indicators of phosphorus nutrition of cereals. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 21: 1927–1943.
- & SIPPOLA, J. 1993. Nutrient utilization, soil fertility and yields in Finnish experiments with different rates of P fertilizer for 15 years. *Rothamsted 150th anniversary conference, Harpenden, England. Abstracts.* 2 p.
- SALONEN, M. 1949. Tutkimuksia viljelykasvien juurten sijainnista Suomen maalajeissa. *Acta Agralia Fennica* 70, 1: 1–91.
- 1962. Lannoitus. In: *Majaniemi, I. (ed.). Maanviljelysoppi I.* WSOY, Porvoo. p. 178–228.

- & TAINIO, A. 1957. Fosforilannoitusta koskevia tutkimuksia. Selostus kiinteillä kentillä vuosina 1931–54 suoritetuista lisättyjen fosforimäärien kokeista. Valt. Maatkoetoin. Julk. 164: 104 p.
- SIBBESSEN, E. 1986. Soil movement in long-term field experiments. *Plant and Soil* 91: 73–85.
- SILLANPÄÄ, M. 1961. Fixation of fertilizer phosphorus as a function of time in four Finnish soils. Selostus: Lannoitefosforin pidättymisestä maahan ajan funktiona. *Agrogeologia julkaisuja* 80: 1–22.
- & RINNE, S.-L. 1975. The effect of heavy nitrogen fertilization on the uptake of nutrients and on some properties of soils cropped with grasses. *Ann. Agric. Fenn.* 14: 210–226.
- SIPPOLA, J. 1980a. The dependence of yield increases obtained with phosphorus and potassium fertilization on soil test values and soil pH. *Ann. Agric. Fenn.* 19: 100–107.
- 1980b. Viljavuustutkimuksen tulosten tarkastelu. Maatalouden tutkimuskeskus, maantutkimuslaitos, Tiedote 10: 1–13.
- & JAAKKOLA, A. 1980. Maasta eri menetelmillä määritetyt typpi, fosfori ja kalium lannoitustarpeen osoittajina astia- ja kenttäkokeissa. Maatalouden tutkimuskeskus, maanviljelyskemian ja -fysiikan laitos, Tiedote 13: 24–41.
- & JANSSON, H. 1989. Soil phosphorus test values obtained by acid ammonium acetate, water and resin extraction as predictors of phosphorus content in timothy (*Phleum pratense* L.). *Ann. Agric. Fenn.* 18: 225–230.
- & MARJANEN, H. 1980. Viljavuusluokittaiset sadonlisäykset paikallisissa nousevien fosfori- ja kaliummäärien kokeissa. Maatalouden tutkimuskeskus, maantutkimuslaitos, Tiedote 3: 1–16.
- & SAARELA, I. 1984. Eräät maa-analyysimenetelmät fosforilannoitustarpeen ilmaisijoina. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 11/84: 1–20.
- & SAARELA, I. 1986. Some extraction methods as indicators of need for phosphorus fertilization. *Ann. Agric. Fenn.* 25: 265–271.
- & SAARELA, I. 1992. Suomen maalajien fosforinpidätysominaisuudet ja niiden merkitys vesien kuorituksen kannalta. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 359: 27–36.
- SYVÄLAHTI, J. & KORKMAN, J. 1978a. The effect of applied mineral elements on the mineral content and yield of cereals and potato in Finland. *Acta Agric. Scand. Suppl.* 20: 80–89.
- & KORKMAN, J. 1978b. Lannoituksen ja siinä annettujen kivennäisainesten vaikutus viljan ja perunan kivennäisainepitoisuuteen ja satoon Suomessa. *Kehittyvä Maatalous* 40: 49–60.
- SUMELIUS, J. 1993. A response analysis of wheat and barley to nitrogen in Finland. *Agric. Sci. Finl.* 2: 465–479.
- TENNBERG, F. 1960. Fosforilannoituksen vaikutus satomääriin Suomessa. Rikkihappo- ja superfosfaattitehtaat Oy 40 vuotta. Rikkihappo- ja superfosfaattitehtaat Oy, Helsinki. p. 145–181.
- TERÄSVUORI, A. 1954. Maan fosforilannoituksen tarpeen määrittämisestä kemiallisin keinoin. *Maatalous ja Koetointi VIII*: 27–34.
- TUNNEY, H. 1992. Some environmental implications of phosphorus use in the European community. *Proc. 4th Int. IMPHOS Conf., Ghent, Belgium.* p. 347–359.
- TURTOLA, E. & JAAKKOLA, A. 1985. Viljelykasvin ja lannoitustason vaikutus typen ja fosforin huuhtoutumiseen savimaasta. *Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote* 6/85: 1–38.
- & JAAKKOLA, A. 1987. Viljelykasvin vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen savimaasta Jokioisten huuhtoutumiskentällä v. 1983–1986. *Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote* 22/87: 1–34.
- & JAAKKOLA, A. 1995. Loss of phosphorus by surface runoff and leaching from a heavy clay soil under barley and grass ley in Finland. *Acta Agric. Scand. Sect. B* 45: 159–165.
- TÄHTINEN, H. 1979. Säilörehunurmen typpi- ja kaliumlannoitus. Maatalouden tutkimuskeskus, maanviljelyskemian ja -fysiikan laitos, Tiedote 9: 1–42.
- VARIS, E. 1972a. The effect of increasing NPK rates on the yield and quality of the Pito potato. I. Tuber yield, starch content and starch yield. *Acta Agralia Fennica* 128, 1: 1–19.
- 1972b. The effect of increasing NPK rates on the yield and quality of the Pito potato. II. External and internal quality. *Acta Agralia Fennica* 128, 2: 1–23.
- 1972c. The effect of magnesium and potassium on the chemical composition and yield of the potato. *Acta Agralia Fennica* 128, 3: 1–12.
- 1973. NPK-lannoituksen vaikutus perunoiden kemialliseen koostumukseen. *J. Scient. Agric. Soc. Finl.* 45: 468–482.
- , JANSSON, S., JENSEN, H., KORNER, A., PESSI, Y. & SALLASMAA, S. 1991. Evaluation of research of field crop production at the Agricultural Research Centre of Finland. *Agricultural Research Centre, Jokioinen.* 75 p.
- VARO, P., NUURTAMO, M., SAARI, E. & KOIVISTOINEN, P. 1980a. Mineral element composition of Finnish foods. III. Annual variations in the mineral element composition of cereal grains. *Acta Agric. Scand. Suppl.* 22: 27–35.
- , LÄHELMÄ, O., NUURTAMO, M., SAARI, E. & KOIVISTOINEN, P. 1980b. Mineral element composition of Finnish foods. VII. Potato, vegetables, fruits, berries, nuts and mushrooms. *Acta Agric. Scand. Suppl.* 22: 89–113.
- WECHSUNG, G. & PAGEL, H. 1993. Akkumulation und Mobilisation von Phosphaten in einer Schwarzerde im Statischen Dauerversuch Lauchstädt - Betrachtung der P-Bilanz nach 84 Versuchsjahren. *Z. Pflanzenern. Bodenkn.* 156: 301–306.
- VIRKAJÄRVI, P. & HUHTA, H. 1993. Nurmen viljely polttoturvesoiden jättöalueilla. Timoteinurmen fosforilannoitus Tohmajärven Valkeasuolla. *Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote* 7/93: 1–27.
- YLI-HALLA, M. 1989. Effect of different rates of P fertilization on the yield and P status of the soil in two long-term field experiments. *J. Agric. Sci. Finl.* 61: 361–370.

Liite 1. Kokeissa vuosittain viljellyt kasvit, nurmen niittokerrat, typpilan-
noitus ja lakoisuus sekä eri fosforimäärillä saadut sadot. Satoerojen merkit-
sevyys (p): - = >0.05, * = 0.05-0.01, ** = 0.01-0.001, *** = <0.001. Merkintä
0' osoittaa ilman kyseisenä vuonna annettua fosforia saatua jälkivaikutusta.
Appendix 1. Crop species and varieties, numbers of cuts in ley, rate of nit-
rogen fertilization and lodging as well as yields with different rates of phos-
phorus fertilization in experimental years. Significances of the effect of P (p):
- = >0.05, * = 0.05-0.01, ** = 0.01-0.001, *** = <0.001. The marks 0' indicate
residual effects obtained without P applications in that year. Crops translated
in Summary. (see Table 4.)

Koe Exp.	Kasvi Crop Year	Lajike (Laji) Variety (Spec.)	N-lann.		Sato eri fosforimäärillä (kg/ha)					Merkit- sevyys Signi- ficance
			Kg/ha N rate kg/ha	% Lodg. %	0 0	15 15	30 30	45 45	60 60	
11.77	K.vehnä	Ruso	100	0	3390	3580	3680	3670	3670	-
78	K.vehnä	Tähti	99	0	3090	3250	3230	3280	3380	-
79	Ohra	Suvi	99	0	1570	1590	1890	1730	2030	**
80	Ohra	Suvi	99	13	4720	4710	5110	4990	5260	***
81	K.vehnä	Ruso	99	0	3250	3510	3510	3660	3730	..
82	Kaura	Puhti	99	10	4590	4690	5020	4930	4880	*
83	Ohra	Suvi	99	64	4760	4950	4980	5120	4970	-
84	K.vehnä	Ruso	99	0	4840	4950	5020	5050	5010	*
85	Rypsi	Emma	99	38	1900	2160	2180	2200	2210	***
86	Ohra	Ida	99	0	3730	4300	4510	4640	4760	***
87	K.vehnä	Lujja	99	36	950	1000	970	970	970	-
88	K.vehnä	Tapio	110	7	3110	3250	3180	3360	3300	*
89	Ohra	Kustaa	110	0	1620	1970	1980'	2230	2420'	-
90	K.vehnä	Kadett	110	0	2150	2730	2540'	3090	2880'	***
91	Ohra	Kustaa	110	0	3680	4520	4190'	4780	4470'	***
92	Rypsi	Kulta	115	0	1250	1570	1210'	1700	1540'	**
93	K.vehnä	Satu	115	44	3880	4110	4190'	4520	4090'	-
94	K.vehnä	Manu	115	8	3850	4280	4150'	4240	4390'	*
12.77	Herne	Jo 9161	50	95	1660	1510	1570	1580	1400	-
78	Herne	Jo 9161	50	0	2990	2970	3150	2860	2980	-
79	Herne	Rondo	50	80	2530	2270	2370	2270	2490	-
80	K.vehnä	Tähti	50	11	3280	3420	3330	3230	3570	-
81	Kaura	Puhti	83	7	3710	3930	3970	3990	4040	*
82	Herne	Proco	50	16	540	820	860	910	980	*
83	K.vehnä	Tähti	50	0	3820	3990	3630	4100	4060	-
84	K.vehnä	Tapio	99	0	4890	4880	5070	5040	5220	-
85	K.vehnä	Lujja	99	0	4370	4270	4380	4370	4350	-
86	Rypsi	Emma	99	0	1490	1460	1680	1680	1730	-
87	Ohra	Kustaa	99	26	3060	2810	3090	3190	3270	-
88	K.vehnä	Kadett	100	5	2980	3020	3090	3210	3270	-
13.78	Ruis	Voima	124	23	2630	3160	3290	3340	3010	-
79	Ruis	Voima	124	63	2600	2700	2620	2760	2720	-
80	S.vehnä	Vakka	124	0	3360	3590	3650	3820	3560	-
81	Ruis	Voima	124	0	670	750	830	890	930	-
82	S.vehnä	Aura	150	0	4140	3940	3900	3950	3810	-
83	Ruis	Voima	124	36	3290	3290	3220	3260	3110	-
84	Ohra	Suvi	124	99	5440	5700	5660	5650	5780	-
85	Ruis	Voima	124	59	3350	3650	3800	3840	3850	***
86	S.vehnä	Vakka	124	0	3690	3610	3540	3620	3600	-
87	Ruis	Voima	133	0	1030	1200	1350	1330	1260	*
88	S.vehnä	Ilves	132	0	2660	2830	2830	2930	2970	-
89	Ruis	Voima	129	0	2000	1760	1730	1760	1770	-
14.80	Ohra	Pomo	100	5	4530	4120	4510	4320	4380	-
Ca	Ohra	Pomo	100	5	4290	4350	4720	4200	4560	-
81	Ohra	Pomo	100	55	3660	3670	3610	3650	3440	-
Ca	Ohra	Pomo	100	55	3570	3610	3700	3620	3750	-
82	Ohra	Pomo	100	23	5600	5740	5630	5690	5520	-
Ca	Ohra	Pomo	100	23	5580	5600	5640	5370	5670	-
83	S.vehnä	Vakka	160	0	4430	4450	4640	4590	4480	-
Ca	S.vehnä	Vakka	160	0	4530	4670	4740	4390	4550	-
84	Kaura	Puhti	100	100	4720	4770	4730	4840	4990	-
Ca	Kaura	Puhti	100	100	4230	4330	4330	4390	4300	-
85	Rypsi	Emma	110	20	2390	2410	2460	2430	2390	-
Ca	Rypsi	Emma	110	20	2430	2390	2480	2440	2380	-

Liite 1.
Appendix 1.

Koe Vuosi Exp. Year	Kasvi Crop Year	Lajike (Laji) Variety (Spec.)	N-lann.		Sato eri fosforimäärillä (kg/ha)					Merkit- sevyys Signi- ficance
			Kg/ha N rate kg/ha	Lako % Lodg. %	0	15	30	45	60	
14.86	K.vehnä	Luja	110	0	2630	2890	3070	3100	2770	-
	Ca K.vehnä	Luja	110	0	2900	2550	2820	2740	2690	-
87	Ohra	Pomo	90	100	3840	3920	3900	3860	3880	-
	Ca Ohra	Pomo	90	100	3780	3790	3860	3810	3850	-
88	K.vehnä	Luja	90	0	2020	2130	2350	2480	2140	-
	Ca K.vehnä	Luja	90	0	2530	2170	2320	2250	2160	-
89	Ohra	Arra	60	0	3310	3500	3720'	3750	3460'	-
	Ca Ohra	Arra	60	0	3860	3460	3790'	3410	3480'	-
90	Nurmi 1	Apila-kh.	100	..	8600	8200	8500'	8300	8600'	-
	Ca Nurmi 1	Apila-kh.	100	..	8300	8400	8600'	8500	8300'	-
91	Nurmi 2	Koiranh.	230	..	10700	10600	11000'	11000	10700'	-
	Ca Nurmi 2	Koiranh.	230	..	10300	10900	11000'	10700	10500'	-
92	Nurmi 3	Koiranh.	200	..	2800	2500	3000'	2800	2900'	-
	Ca Nurmi 3	Koiranh.	200	..	2400	2700	2900'	2900	2900'	-
93	S.vehnä	Aura	170	100	6200	6160	6130'	6060	6150'	-
	Ca S.vehnä	Aura	170	100	6100	5840	6000'	6280	5940'	-
94	K.vehnä	Satu	120	0	5170	5320	5400'	5420	5360'	*
	Ca K.vehnä	Satu	120	0	5440	5270	5400'	5420	5380'	-
15.77	Ohra	Karri	83	83	2960	3080	3000	3110	3100	-
78	Kaura	Hannes	83	89	4070	4000	3910	4080	4500	-
79	K.vehnä	Ruso	83	17	3100	3100	3280	3270	3250	-
80	Kaura	Puhti	83	78	5400	5370	5300	5410	5310	-
81	Kaura	Puhti	83	38	3140	3240	3220	3120	3120	-
82	Ohra	Suvi	83	16	4020	4640	5220	5500	5600	***
83	K.vehnä	Ruso	83	3	2820	2940	3010	2980	3090	-
84	Ohra	Eero	83	96	5550	5470	5460	5090	4940	**
85	Kaura	Puhti	83	97	4840	4860	4690	4800	4790	-
86	K.vehnä	Luja	83	0	2730	2680	2750	2900	2880	-
87	Ohra	Eero	83	78	2670	2600	2560	2690	2690	-
88	K.vehnä	Kadett	83	80	3310	3200	3530	3770	3650	-
89	Ohra	Ida	83	0	4110	4260	4190'	4610	4490'	***
90	Kaura	Veli	83	0	4010	4120	4150'	4480	4310'	***
91	Ohra	Ida	83	0	3650	4110	3990'	5050	4660'	*
92	K.vehnä	Satu	92	0	2670	2870	2890'	3530	3320'	-
93	Kaura	Yty	92	55	6080	6360	6240'	6780	6160'	*
94	Rypsi	Kulta	92	10	1430	1690	1520'	1940	1670'	-
16.78	Ohra	Pomo	55	0	2640	2850	3010	2660	3090	-
79	Kaura	Heikki	55	62	3930	3790	4010	4030	4080	*
80	Ohra	Pomo	55	4	3550	3870	3950	3890	4010	*
81	K.vehnä	Tähti	55	..	1860	1940	2060	1890	2120	*
82	Kaura	Puhti	55	40	4820	5000	5110	5270	5280	-
83	Ohra	Otra	55	75	3750	4030	4000	3920	3850	-
84	K.vehnä	Tapio	55	0	3930	4350	4240	4270	4420	***
85	Kaura	Puhti	55	3	3280	3790	3740	3590	3530	*
87	Ohra	Silja	55	95	3150	3410	3230	3400	3350	-
88	K.vehnä	Luja	55	0	2600	2730	2730	2740	2720	-
89	Kaura	Puhti	55	2	3960	4630	4550	4340	4430	-
90	K.vehnä	Luja	55	0	3220	3670	3560	3490	3620	*
17.78	Ohra	Birgitta	53	75	3320	3620	3650	3330	3650	-
79	Ohra	Suvi	53	40	3930	3990	4140	3840	4180	-
80	Ohra	Suvi	41	0	2750	2850	2830	2840	2970	-
81	Kaura	Puhti	41	18	2570	2680	2600	2770	2580	-
82	Kaura	Puhti	40	10	4090	3960	3830	3810	3940	-
83	Ohra	Suvi	41	37	4360	4420	4430	4480	4600	-
85	Ohra	Suvi	41	36	3190	3060	3200	3140	3160	-
86	Kaura	Puhti	41	25	4400	4300	4330	4340	4250	-
87	Ohra	Kustaa	41	4	1770	1630	1570	1580	1670	-
88	Kaura	Puhti	41	4	2820	2630	2730	2650	2810	-
89	K.vehnä	Luja	60	2	3460	3450	3470	3530	3410	-

Liite 1.
Appendix 1.

Koe Exp.	Kasvi Vuosi Crop Year	Lajike (Laji) Variety (Spec.)	N-lann. Kg/ha N rate kg/ha	Lako % Lodg. %	Sato eri fosforimäärillä (kg/ha)					Merkit- sevyys Signi- ficance
					0	15	30	45	60	
18.77	Kaura	Tiitus	55	26	4050	3980	4310	3920	4160	-
78	Kaura	Tiitus	55	13	3720	3720	3800	3870	3950	-
79	Kaura	Tiitus	55	5	3850	3830	4000	4000	4070	-
80	Kaura	Tiitus	55	..	4060	3970	4210	4000	3950	-
81	Kaura	Tiitus	55	36	3290	3840	3720	3660	3700	***
82	Kaura	Tiitus	55	5	4550	4810	5080	5080	5180	**
83	Kaura	Veli	55	0	5140	4860	5090	5140	5150	-
84	Kaura	Veli	55	9	4890	4690	4710	4630	4700	-
85	Kaura	Veli	55	6	4460	4520	4710	4580	4620	-
86	Ohra	Arra	55	10	4600	4460	4380	4140	4190	*
87	Rypsi	Emma	55	37	1590	1750	1640	1760	1720	*
88	Ohra	Arra	55	..	4510	5190	5520	5470	5580	***
89	Nurmi 1	Timot. 2	186	..	13000	13300	12900	13800	14100	-
90	Nurmi 2	Timot. 2	186	..	12800	13800	14600	14300	14900	***
91	Nurmi 3	Timot. 2	186	..	9100	9700	11800	11200	11500	***
19.78	Ohra	..	80	..	5500	5700	5700	5710	5680	-
79	Nurmi 1	Api-t. 3	240	..	6300	6600	6700	6600	6100	*
80	Nurmi 2	Api-t. 3	240	..	6300	6700	6700	6600	6700	-
81	Nurmi 3	A-tim. 3	240	..	7900	8800	8700	8800	9000	**
82	Kaura	..	82	..	2230	2690	3180	2920	3250	***
83	Ohra	..	82	..	3940	4120	4550	4540	4650	-
84	Ohra	..	82	..	3490	3840	4020	4050	4100	**
85	Nurmi 1	Koirh. 2	200	..	6900	7000	7800	7800	6900	-
86	Nurmi 2	Koirh. 2	200	..	10400	10400	11000	10900	10400	-
87	Nurmi 3	Koirh. 2	200	..	7800	8000	8600	8200	8100	-
88	Nurmi 4	Koirh. 2	200	..	8300	8400	9200	9000	9200	-
89	Kaura	..	83	..	3840	4180	4440	4420	4290	**
90	Ohra	..	83	..	1270	2100	2410'	2960	2770'	***
91	K.vehnä	..	83	0	2970	3090	3130'	3130	3130'	-
92	Ohra	..	83	0	2250	2700	2770'	2940	2770'	**
93	Nurmi 1	Api-h. 2	110	..	8520	8630	8790'	8110	8950'	-
20.79	Ohra	..	80	..	2780	3020	3190	3140	3330	*
80	Ohra	Suvi	80	..	1380	1670	1860	2050	2050	***
81	Kaura	..	80	..	3520	3520	3410	3580	3460	-
82	Kaura	..	80	..	2220	2840	2870	3320	3330	***
83	Ohra	..	82	..	1780	2980	3170	3520	3510	***
84	Ohra	..	82	..	1980	2620	2730	2990	2970	***
85	Ohra	..	82	..	1580	2400	2850	3350	3380	***
86	Kaura	..	82	..	1090	1700	1970	2130	2280	***
87	Rypsi	..	100	..	840	1590	1570	1630	1650	***
88	K.vehnä	..	100	..	1250	1360	1580	1520	1650	**
89	Ohra	..	83	..	1910	2960	3240	3680	3630	***
90	Kaura	..	83	..	1000	2120	2440	3050	2860	***
91	Ruis	..	90	0	4090	4050	4040'	4150	4210'	-
92	Ohra	..	90	0	970	1810	1570'	2500	2150'	*
93	Kaura	Veli	90	..	1160	2510	1720'	3640	2520'	***
21.77	Kaura	Tiitus	82	..	2230	2200	2230	2190	2290	-
78	Ohra	Otra	82	..	3560	3750	3600	3770	3750	-
79	Ohra	Otra	82	..	3030	3210	3470	3380	3500	**
80	Kaura	Tiitus	68	..	2650	2660	2690	2680	2740	-
81	Ohra	Pomo	68	..	2280	2300	2260	2280	2230	-
82	Ohra	Pomo	68	..	2850	2910	3050	3010	3220	**
83	Ohra	Pomo	68	..	2650	2780	2820	2780	2790	-
84	Ohra	Pomo	68	..	2920	3070	2980	3010	3000	-
85	Kaura	Veli	68	..	3560	3600	3660	3650	3600	-
86	Ohra	Arra	68	..	1520	1600	1700	1670	1720	-
87	Ohra	Arra	68	..	1860	1900	1930	2000	1920	-
88	Kaura	Veli	69	0	970	870	1010	910	950	-

Liite 1.
Appendix 1.

Koe Exp.	Kasvi Vuosi Crop Year	Lajike (Laji) Variety (Spec.)	N-lann. Kg/ha N rate kg/ha	Lako % Lodg. %	Sato eri fosforimäärillä (kg/ha) \bar{y}					Merkit- sevyys Signi- ficance
					0	15	30	45	60	
22.77	Ohra	Otra	61	24	3140	3410	3680	3580	3650	**
78	Ohra	Otra	61	60	3160	3650	3990	4160	4320	***
79	Ohra	..	61	0	2410	2660	2890	2930	3110	***
80	Ohra	..	61	71	2530	2630	2800	2880	2890	-
81	Ohra	Otra	61	41	910	1700	1790	1980	1810	***
82	Ohra	..	61	21	1660	2550	2600	2880	3120	***
83	Ohra	..	61	68	2360	3370	3300	3210	3210	**
84	Ohra	..	61	0	2490	3670	3750	3850	3810	***
85	Ohra	Arra	61	0	1140	1820	2100	2480	2650	***
86	Ohra	..	61	1	2220	2810	2840	3070	3030	**
87	Ohra	..	61	..	180	470	670	810	950	***
88	Ohra	..	83	..	1780	2530	2950	2890	3050	***
89	Ohra	..	83	..	1100	2560	2160'	3480	2800'	***
90	Ohra	..	83	0	420	1820	1330'	2470	2010'	***
91	Ohra	..	83	0	530	1360	990'	2200	2030'	***
92	Ohra	..	85	0	1650	3450	2210'	4200	3170'	***
23.77	Ohra	Pomo	80	75	2530	2670	2530	2650	2590	-
78	Ohra	Pomo	55	0	1220	1450	1500	1680	1770	**
79	Ohra	Pomo	55	0	1760	2060	2010	2020	2100	-
80	Ohra	Pomo	55	0	2580	3000	3080	3080	2960	**
81	Ohra	Pomo	55	0	1880	1880	2010	1880	2170	-
82	Ohra	Pomo	52	0	3810	4090	4710	5070	5420	*
84	Ohra	Pomo	55	0	970	1540	1670	2230	2420	***
85	Ohra	Pomo	55	25	1290	1700	2040	2010	2090	***
86	Ohra	Pomo	55	..	1730	2640	2920	3160	3190	***
87	Ohra	Arra	55	30	2080	2470	2810	2670	2590	***
88	Ohra	Arra	55	0	1770	1930	2130	2090	2140	*
89	K.vehnä	Luja	138	0	610	740	760	980	750	-
24.78	Kaura	Tiitus	61	0	3530	4010	3880	3970	3890	-
79	Nurmi 1	Timot. 3	200	..	3600	3700	3600	3100	3900	-
80	Nurmi 2	Timot. 2	120	..	8600	8700	8000	8800	8400	-
81	Nurmi 3	Timot. 3	250	..	7000	7100	7600	7400	7300	-
82	Nurmi 4	Timot. 2	200	..	4200	4500	4800	5000	5000	**
83	V.kau+tim	K-tim. 2	200	..	4000	4700	4700	5800	5100	***
84	Nurmi 1	Timot. 2	200	..	10400	11000	10700	11500	11200	-
85	Nurmi 2	Timot. 2	200	..	4700	5400	5200	5700	5500	*
86	Nurmi 3	Timot. 2	200	..	6300	6800	7100	7500	7600	*
25.81	Peruna \bar{y}	Pito	90	..	25900	24600	25900	2760	2630	-
82	Peruna \bar{y}	Pito	90	..	32900	32900	33800	3210	3400	-
83	Peruna \bar{y}	Pito	90	..	28000	30800	31100	3130	3080	-
84	Peruna \bar{y}	Pito	90	..	30100	30000	30200	2950	3090	-
85	K.vehnä	Luja	100	..	3320	3190'	3280'	3120'	3280'	-
86	Peruna \bar{y}	Pito	90	..	34800	36000	35700	3560	3570	-
87	Ohra	Arra	60	..	4100	3990'	4070'	4060'	3980'	-
88	Nurmi 1	Ap-tim. 2	45	..	6300	6500'	6500'	6200'	6600'	-
89	Nurmi 2	Ap-tim. 2	45	..	7700	7700'	8200'	7000'	8200'	-
90	Peruna \bar{y}	Pito	90	..	33100	30700	33600'	31300	33000'	*
91	Peruna \bar{y}	Pito	90	..	29400	27800	28900'	27400	27800'	-
92	Peruna \bar{y}	Pito	60	..	33600	33000	35000'	32700	34100'	-
\bar{y} P-määrät 0, 25, 50, 75, 100 kg/ha - 0, 25, 50, 75, 100 kg P/ha										
26.77	Ohra	Vigdis	80	95	3730	3720	3720	3820	3670	-
78	Ohra	Vigdis	80	93	2810	2600	2710	2660	2440	*
79	Ohra	Vigdis	60	100	3700	3770	4030	3730	3900	-
80	Ohra	Eero	50	0	4290	4550	4490	4850	4690	*
81	Ohra	Eero	50	0	2440	2660	2600	2730	2710	-
82	Ohra	Eero	80	17	4060	4040	4270	4280	4180	-
83	Ohra	Eero	80	0	4430	4680	4730	4840	4770	-
84	Ohra	Eero	80	0	4420	4510	4630	4660	4740	-
85	Ohra	Arra	80	64	3410	3580	3530	3570	3550	-
86	Ohra	Eero	80	0	3730	4050	4170	4280	4280	**
87	Ohra	Eero	80	23	3560	3840	3870	3840	3850	-

Liite 1.
Appendix 1.

Koe Exp.	Kasvi Crop Year	Lajike (Laji) Variety (Spec.)	N-lann. Kg/ha N rate kg/ha	Lako % Lodg. %	Sato eri fosforimäärillä (kg/ha)					Merkit- sevyys Signi- ficance
					0	15	30	45	60	
26.88	Ohra	Eero	80	80	1570	2180	2260	2320	2020	***
89	Ohra	Eero	80	19	4160	4260	4310'	4410	4170'	-
90	Ohra	Eero	80	2	3150	3980	3720'	3940	3760'	**
91	Ohra	Eero	80	11	3440	3650	3670'	3680	3540'	-
92	Ohra	Pohto	57	15	3020	2920	3020'	3270	3300'	*
93	Ohra	Pohto	57	..	4930	5120	5150'	5370	5180'	*
94	Kaura	Veli	57	..	4760	5040	5060'	4980	5040'	**
27.77	Kaura	..	75	55	3840	3790	3800	3720	3800	-
78	Kaura	Tiitus	75	2	3760	3850	4010	3970	4030	-
79	Kaura	Tiitus	75	0	2910	2830	3430	3230	3390	*
80	Kaura	..	75	..	3870	4150	4530	4550	4600	**
81	Kaura	..	75	13	2940	3460	3720	3750	3740	***
82	Kaura	..	75	..	4190	4790	5230	5150	5300	***
83	Ohra	Otra	75	..	2990	3290	3530	3440	3400	*
84	Kaura	Veli	75	0	3610	4120	4480	4570	4750	***
85	Ohra	Arra	75	60	2930	3590	3600	3750	3560	***
86	Ohra	Arra	75	66	2410	2320	2440	2520	2270	-
87	Ohra	..	75	36	1450	2120	2120	2240	1870	**
88	Kaura	..	75	9	1940	2630	3020	3040	3080	***
28.78	Ohra	Eero	55	0	1830	1920	2030	2100	1940	-
79	Nurmi 1	Timot. 2	200	..	7700	7700	8300	8200	8300	-
80	Nurmi 2	Timot. 3	300	..	5300	5300	6100	5800	6300	*
81	Nurmi 3	Timot. 3	300	..	8600	10000	10200	10600	10500	***
82	Nurmi 4	Timot. 3	300	..	6300	8100	8600	8700	9000	***
83	Ohra	Arra	60	23	3560	4000	4510	4380	4240	***
84	Ohra	Etu	60	0	3460	3890	4190	4220	4260	***
85	Ohra	Etu	60	0	3050	3830	3990	4170	4270	***
86	Ohra	Etu	60	0	1340	1950	2160	2490	2530	***
29.80	Ohra	Pomo	55	5	3880	3720	3910	3910	3980	-
Ca	Ohra	Pomo	55	5	3930	3930	3920	3990	4030	-
81	Ohra	Pomo	47	11	2100	2320	2380	2340	2190	-
Ca	Ohra	Pomo	47	14	2180	2240	2190	2200	2170	-
82	Ohra	Pomo	40	24	4300	4310	4630	4660	4610	-
Ca	Ohra	Pomo	40	11	4360	4600	4690	4740	4820	*
83	Rypsi	Emma	80	20	2390	2180	2380	2310	2320	-
Ca	Rypsi	Emma	80	20	2410	2490	2480	2440	2400	-
84	K.vehnä	Luja	80	29	1840	1930	1920	1740	1780	-
Ca	K.vehnä	Luja	80	38	1890	1830	1560	1650	1650	*
85	Kaura	Veli	45	38	4180	4150	4310	4250	4230	-
Ca	Kaura	Veli	45	21	4300	4520	4650	4540	4520	-
86	Ohra	Etu	40	23	4220	4140	4330	4160	4110	-
Ca	Ohra	Etu	40	11	4550	4780	4460	4690	4380	-
87	Ohra	Etu	40	37	1820	2140	2020	2020	1980	-
Ca	Ohra	Etu	40	5	2030	2230	2370	2310	2350	*
88	Kaura	Veli	40	23	3600	3590	3940	3730	3740	-
Ca	Kaura	Veli	40	25	3910	4120	4160	4280	3950	-
89	Kaura	Veli	40	0	6010	6190	6250	6290	6280	-
Ca	Kaura	Veli	40	0	6200	6370	6370	6440	6430	-
90	Ohra	Arra	40	4	5150	5800	5980	6060	5920	***
Ca	Ohra	Arra	40	10	5240	6000	6110	6240	6180	***
91	Ruis	Jo 9161	30	10	3660	3820	3950	3960	3820	-
Ca	Ruis	Jo 9161	30	25	3810	3940	3900	4020	3720	-
30.77	Ohra	Otra	75	97	2490	2560	2450	2530	2720	-
78	Ohra	Otra	75	94	4180	4380	4720	4400	4650	-
79	Ohra	Hja 673	75	80	4030	3810	4240	3990	4230	-
80	Ohra	Hja 673	75	14	2550	2620	2680	2760	2800	-
81	Ohra	Hja 673	75	97	2420	2660	2620	2690	2760	**
82	Ohra	Hja 673	75	49	4000	4410	4180	4360	4230	-

Liite 1.
Appendix 1.

Koe Exp.	Kasvi Crop Year	Lajike (Laji) Variety (Spec.)	N-lann. Kg/ha N rate kg/ha	Lako % Lodg. %	Sato eri fosforim rill (kg/ha)					Merkit- sevyys Signi- ficance
					0	15	30	45	60	
30.83	Ohra	Hja 673	75	73	2970	3410	3210	3340	3270	-
84	Ohra	Hja 673	75	99	2770	2980	3220	3260	3250	*
85	Ohra	Arra	75	1	3040	3300	3160	3260	3310	-
86	Ohra	Arra	75	45	2980	3040	3130	3160	3150	-
87	Ohra	Arra	75	24	970	1140	1050	1050	1140	-
88	Ohra	Arra	75	3	3540	3660	3540	3720	3600	-
89	Ohra	Arra	75	73	4530	4990	4950'	5240	5270'	**
90	Ohra	Arra	75	86	3370	3760	3800'	3720	3660'	**
91	Ohra	Hja 673	80	0	3470	3460	3770'	3460	3890'	-
92	Ohra	Hja 673	60	40	2930	3040	2970'	3060	2830'	-
93	Ohra	Hja 673	60	8	3610	3840	3680'	4170	4000'	*
31.78	Ital. rh	R.hein 2	160	..	4600	4600	4100	4500	4100	-
79	V.kau+tim	K.tim. 2	160	..	4800	4600	4800	4800	4800	-
80	Nurmi 1	Timot. 2	160	..	9600	10100	10400	10200	10400	-
81	Nurmi 2	Timot. 2	160	..	6900	8500	8400	8400	8600	*
82	Nurmi 3	Timot. 2	160	..	6000	7300	7800	8300	8400	***
83	V.kau+tim	K-tim. 2	160	..	4700	5300	5400	5600	5500	-
84	Nurmi 1	Timot. 2	160	..	10500	11700	11900	11700	12200	-
85	Nurmi 2	Timot. 2	160	..	4800	8300	7600	8200	8000	***
86	Nurmi 3	Timot. 2	160	..	5000	7200	7600	8400	8300	***
87	Nurmi 4	Timot. 2	160	..	4300	5800	5700	6400	5800	-
32.78	Kaura	Tiitus	61	90	2060	1930	1710	2110	1760	-
79	Kaura	Tiitus	61	0	5220	5110	5110	5390	5440	-
80	Kaura	..	60	79	4070	4290	4360	4310	4340	-
81	Ohra	..	60	52	2100	2140	1910	1960	2010	-
82	Ohra	..	41	29	2570	2860	2880	2810	2910	-
83	Ohra	..	41	36	2330	2890	2930	3090	3090	*
84	Ohra	..	41	18	2050	2840	3110	3360	3390	***
85	Ohra	Arra	41	0	1510	2280	2660	2870	2960	***
86	Ohra	..	41	0	2360	2560	2750	2930	2890	*
87	Vih.ohra	..	41	..	1290	2190	2390	2960	3170	**
88	Ohra	..	55	..	1650	2250	2420	2710	2780	..
89	Ohra	..	55	..	1480	1880	2200	2360	2340	*
33.77	Kaura	..	55	97	3250	3080	3040	3010	3070	-
78	Kaura	Tiitus	55	88	3530	3650	3500	3630	3390	-
79	Kaura	Tiitus	55	15	3870	3950	3840	3950	3950	-
80	Kaura	Tiitus	55	50	4210	4470	4480	4550	4540	-
81	Ohra	..	55	58	2120	2890	2730	2930	2730	-
82	Ohra	..	55	34	3170	3250	3360	3250	3230	-
83	Ohra	Otra	55	0	1950	2630	2630	2960	2680	**
84	Kaura	Veli	55	48	3430	4050	3880	3940	3990	-
85	Kaura	Veli	55	..	1860	2560	2530	2590	2510	*
86	Ohra	..	55	25	3040	3490	3290	3520	3270	-
87	Ohra	..	55	..	330	1120	1170	1230	1330	**
88	Kaura	..	55	1	1760	2520	2570	2720	2730	**
89	Kaura	Veli	55	16	2800	3580	3530	3760	3680	*
34.79	Nurmi 1	Timot. 2	180	..	10800	10600	10700	11800	12000	***
80	Nurmi 2	Timot. 2	180	..	10400	10000	10100	10200	10000	-
81	Nurmi 3	Timot. 2	180	..	7800	7500	8100	8100	8000	-
82	Nurmi 4	Timot. 2	180	..	7800	8200	8000	8400	8200	-

Liite 2. Maan viljavuus kokeen alussa ja lopussa eri fosforimäärillä kyntökerroksessa, jankossa ja pohjamaassa: KK = 0-20 cm, JA = 20-40 cm, JY = 20-30 cm, JM = 30-40 cm, PM = 40-60 cm. Lannoituksen ja kalkituksen (Ca) vaikutuksen tilastollinen merkitsevyys (p): - = >0.05, * = 0.05-0.01, ** = 0.01-0.001, *** = <0.001.

Appendix 2. Initial and final soil fertility in plough layer (KK), subsurface (JA), upper subsurface (JY), lower subsurface (JM) and subsoil (PM) with different rates of annual P fertilization (P-lann.) and liming (Kalkki, Ca). Significances of the effects of P and liming (p): - = >0.05, * = 0.05 - 0.01, ** = 0.01-0.001, *** = <0.001.

Koe Vuosi Kerros Exp. Year Layer	P-lann. kg/ha P-fert. kg/ha	pH (H ₂ O)	P mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	S mg/l	Johto- luku Electrical conductivity
11 KK 77	0	6.5	3.9	360	2545	890		
91	0	6.7	2.4	312	2080	797	10.2	0.6
	15	6.6	3.6	302	2096	747	14.0	0.6
	30	6.6	3.5	305	2123	755	11.9	0.6
	45	6.6	6.8	300	2171	752	15.1	0.6
	60	6.7	5.2	300	2192	737	11.7	0.6
		-	***	-	-	-	***	-
JA 77	0	7.0	.5	362	1900	1417		
JY 91	0	6.7	2.5	316	2019	831	12.7	0.6
	15	6.7	3.5	317	2059	801	17.8	0.6
	45	6.6	4.9	304	2116	759	17.9	0.6
		-	***	-	-	-	***	-
JM 91	0	6.8	2.5	318	2037	837	13.6	0.6
	15	6.7	2.3	310	1918	858	17.5	0.7
	45	6.8	2.9	313	2010	901	21.7	0.7
		-	-	-	-	-	***	-
12 KK 77	0	6.2	5.5	322	2040	514		
88	0	6.3	6.1	261	1760	371		
	15	6.3	5.9	265	1839	410		
	30	6.3	8.7	259	1963	381		
	45	6.3	7.5	272	1888	388		
	60	6.3	9.1	261	2086	382		
		-	-	-	-	-		
JA 77	0	6.5	.6	296	1668	920		
88	0	6.4	4.2	289	1728	512		
	15	6.4	3.7	299	1679	557		
	30	6.4	4.7	288	1763	517		
	45	6.4	5.3	285	1791	510		
	60	6.4	6.4	282	1789	455		
		-	*	-	-	-		
13 KK 78	0	5.8	14.1	218	1450	262		
88	0	5.8	9.9	229	1292	303		
	15	5.9	11.3	224	1303	300		
	30	5.9	12.1	224	1356	289		
	45	5.9	13.7	217	1415	280		
	60	5.9	15.4	214	1422	287		
		-	***	*	-	-		
JA 78	0	6.8	.7	212	1790	806		
88	0	6.1	5.2	226	1485	507		
	15	6.0	6.4	228	1447	450		
	30	6.0	6.3	226	1445	450		
	45	6.0	8.1	222	1480	404		
	60	6.0	7.9	225	1462	442		
		-	*	-	-	-		

Liite 2.
Appendix 2.

Koe Vuosi Kerros Exp. Year Layer	P-lann. kg/ha P-fert. kg/ha	pH (H ₂ O)	P mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	S mg/l	Johto- luku Electrical conductivity
14 KK 80	0	6.6	56.6	370	2870	368		
91	0	6.7	31.5	261	2921	357	5.0	0.5
	15	6.7	41.3	260	3004	349	2.2	0.5
	30	6.6	40.5	253	3034	343
	45	6.7	59.7	261	3132	350	4.8	0.6
	60	6.7	41.6	242	3003	328
	0 Ca	7.1	46.0	269	3629	346	2.6	0.6
	15 Ca	7.0	38.7	254	3405	328	3.4	0.5
	30 Ca	7.1	62.1	261	3755	323
	45 Ca	7.0	64.9	254	3567	320	4.2	0.6
	60 Ca	7.0	63.9	253	3572	305
	Kalkki	***	-	-	**	*	-	-
	P-lann.	-	***	-	-	-	-	-
JA 80	0	6.7	3.8	234	3010	901		
JY 91	0	6.9	6.0	247	2830	789	2.5	0.4
	15	7.0	7.8	254	2838	643	1.6	0.4
	45	6.9	11.7	248	3030	678	3.8	0.4
	0 Ca	7.2	11.5	247	3180	643	2.0	0.4
	15 Ca	7.1	9.9	235	2859	526	2.7	0.3
	45 Ca	7.1	7.4	239	3093	650	3.9	0.4
	Kalkki	-	-	-	*	-	-	-
	P-lann.	-	-	-	-	*	-	-
14 JM 91	0	7.0	1.0	221	3037	1279	4.0	0.3
	15	7.1	1.5	220	2959	1153	3.6	0.4
	45	7.0	1.5	201	2950	1080	6.7	0.4
	0 Ca	7.2	1.3	227	3118	1212	2.7	0.3
	15 Ca	7.2	1.1	228	3078	1122	3.9	0.3
	45 Ca	7.2	1.2	209	3040	1186	7.9	0.3
	Kalkki	-	-	-	-	-	**	*
	P-lann.	-	-	-	-	-	-	-
PM 91	0	7.3	.8	205	2729	1423	4.9	0.4
	15	7.4	.9	200	2723	1365	5.7	0.3
	45	7.3	.9	208	2771	1368	11.6	0.5
	0 Ca	7.3	.8	203	2717	1398	5.6	0.3
	15 Ca	7.2	.9	203	2717	1382	6.9	0.4
	45 Ca	7.3	.9	202	2710	1415	14.0	0.4
	Kalkki	-	-	-	-	-	-	-
	P-lann.	-	-	-	-	-	-	-
15 KK 77	0	5.7	8.9	238	1110	123		
91	0	5.7	6.8	200	866	105	22.6	0.4
	15	5.7	9.6	188	897	107	26.2	0.4
	30	5.7	8.4	191	860	98	25.1	0.5
	45	5.7	19.1	165	933	93	22.3	0.5
	60	5.7	12.4	174	910	90	16.5	0.4
		-	***	-	-	-	-	-
JA 77	0	5.4	1.8	122	812	246		
JY 91	0	5.7	6.3	195	827	99	25.8	0.5
	15	5.7	7.9	191	851	105	29.9	0.5
	45	5.7	12.7	163	887	87	23.6	0.5
		-	**	*	*	-	-	-
JM 91	0	5.7	4.3	154	688	100	30.2	0.4
	15	5.6	5.5	140	671	95	27.2	0.4
	45	5.7	6.9	127	734	86	24.2	0.4
		-	-	-	-	*	-	-
PM 91	0	5.7	4.7	164	770	207	35.5	0.4
	15	5.6	4.5	166	793	254	48.6	0.4
	45	5.6	4.5	190	968	345	61.5	0.6
		-	-	-	*	*	**	*

Liite 2.
Appendix 2.

Koe Vuosi Kerros Exp. Year Layer	P-lann. kg/ha P-fert. kg/ha	pH (H ₂ O)	P mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	S mg/l	Johto- luku Electrical conductivity
16 KK 78	0	5.6	3.0	147	1110	44		
90	0	5.5	2.4	243	1032	42		
	15	5.4	5.6	227	1086	40		
	30	5.4	5.6	231	1046	39		
	45	5.4	9.1	215	1172	39		
	60	5.4	9.6	229	1056	33		
		-	***	-	-	*		
JA 78	0	6.0	.1	91	565	47		
90	0	5.7	1.6	173	817	37		
	15	5.5	2.2	158	864	35		
	30	5.6	2.9	183	870	35		
	45	5.6	3.2	161	869	33		
	60	5.5	3.6	167	814	30		
		-	*	-	-	-		
17 KK 78	0	5.7	9.1	176	1850	93		
89	0	5.5	7.1	154	1614	108		
	15	5.6	8.4	146	1630	106		
	30	5.6	9.4	136	1650	104		
	45	5.5	10.5	134	1644	100		
	60	5.6	12.7	131	1724	97		
		-	***	*	-	**		
JA 78	0	4.6	6.3	91	760	138		
89	0	4.8	6.5	121	863	108		
	15	4.7	7.5	116	803	101		
	30	4.7	9.7	123	855	105		
	45	4.7	8.5	129	795	88		
	60	4.6	8.8	119	748	85		
		-	-	-	-	-		
18 KK 77	0	5.4	5.8	177	815	103		
91	0	5.7	3.9	133	1329	174	53.6	1.1
	15	5.7	5.4	100	1329	163	61.7	1.1
	30	5.7	7.8	95	1495	164	64.7	1.2
	45	5.6	10.5	94	1419	149	66.6	1.3
	60	5.7	12.7	85	1587	156	70.7	1.2
		-	***	**	*	-	*	-
JA 77	0	4.6	3.7	87	260	61		
JY 91	0	5.4	3.9	86	987	129	107.8	1.2
	15	5.2	4.5	88	926	113	135.6	1.4
	45	5.3	6.8	84	1093	114	155.8	1.6
		-	***	-	-	-	*	*
JM 91	0	4.5	3.5	88	355	65	219.7	1.2
	15	4.4	3.5	92	378	64	241.5	1.4
	45	4.5	4.2	93	410	62	261.0	1.8
		-	*	-	-	-	-	***
PM 91	0	4.1	3.6	105	203	50	273.4	1.5
	15	4.1	4.0	105	206	52	283.5	1.8
	45	4.2	5.1	104	247	52	276.0	2.0
		-	*	-	**	-	-	*

Liite 2.
Appendix 2.

Koe Vuosi Kerros Exp. Year Layer	P-lann. kg/ha P-fert. kg/ha	pH (H ₂ O)	P mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	S mg/l	Johto- luku Electrical conductivity
19 KK 78	0	6.5	15.2	200	1940	158		
92	0	6.1	5.7	156	1586	145		
	15	6.1	9.2	164	1678	145		
	30	6.1	11.2	164	1765	149		
	45	6.0	14.5	161	1643	136		
	60	6.0	14.4	157	1655	131		
		-	***	-	-	-		*
JA 78	0	6.5	3.0	129	1470	302		
JY 92	0	6.2	2.8	122	1189	234		
	15	6.3	3.8	131	1370	232		
	30	6.3	6.4	133	1519	225		
	45	6.3	6.1	131	1394	227		
	60	6.2	3.9	128	1279	238		
		-	-	-	-	-		-
JM 92	0	6.5	1.6	105	1371	494		
	15	6.6	1.5	107	1480	480		
	30	6.5	2.0	115	1622	481		
	45	6.4	2.3	116	1414	462		
	60	6.4	1.9	115	1475	526		
		-	-	-	-	-		-
20 KK 79	0	5.7	3.7	96	1350	186		
93	0	5.8	2.3	110	1302	209		
	15	5.8	3.7	113	1277	200		
	30	5.8	4.8	110	1366	202		
	45	5.8	7.7	107	1353	195		
	60	5.8	8.9	109	1422	207		
		-	***	-	-	-		-
JA 79	0	6.0	.9	90	1400	377		
JY 93	0	6.1	1.4	96	1421	401		
	15	6.3	1.2	94	1380	431		
	30	6.2	1.3	104	1444	424		
	45	6.2	1.2	96	1439	422		
	60	6.3	1.6	106	1502	470		
		-	-	-	-	-		-
JM 93	0	6.6	.3	109	1558	636		
	15	6.9	.4	103	1486	404		
	30	6.7	.3	115	1611	693		
	45	6.7	.4	103	1541	632		
	60	6.8	.5	116	1603	473		
		-	-	-	-	-		-
21 KK 77	0	6.2	27.8	114	1682	230		
88	0	6.4	18.5	75	1480	185		
	15	6.5	24.9	78	1583	198		
	30	6.4	25.7	77	1542	183		
	45	6.4	34.3	77	1622	186		
	60	6.3	39.3	78	1643	181		
		*	***	-	*	-		-
JA 77	0	6.7	2.6	64	1140	245		
88	0	6.6	5.6	58	1144	247		
	15	6.5	16.0	69	1408	219		
	30	6.5	11.2	62	1264	228		
	45	6.4	16.9	64	1351	221		
	60	6.7	12.8	62	1259	211		
		-	-	-	-	-		-

Liite 3. Sato ja ravinnetase jaksoittain. Jakso 1=koevuodet 1-6, 2=kv 7-12, 3=kv 13-18
Appendix 3. Yield and nutrient balance by periods. 1=years 1-6, 2=7-12, 3=13-18

Koe, Jakso	Koe- jäsen	P-lann. kg/ha	Sato kg/ha	Valksat kg/ha	Sadon P kg/ha	P-tase kg/ha	Lisä-P %/P-1.	Sadon N kg/ha	N-tase kg/ha
Exp. Period	Treatm.	P-fert. kg/ha	Yield kg/ha	Protein kg/ha	P yield kg/ha	P bal. kg/ha	App. P util. ‡	N yield kg/ha	N bal. kg/ha
11001.00	0.00	0.0	3429	352	11.7	-11.7	-	59	40
	1.00	15.0	3553	375	11.8	3.2	1	63	36
	2.00	30.0	3738	393	12.6	17.4	3	66	33
	3.00	45.0	3702	388	12.8	32.2	2	65	34
	4.00	60.0	3828	391	13.3	46.7	3	65	34
11002.00	0.00	0.0	3218	346	11.3	-11.3	-	58	43
	1.00	15.0	3437	366	12.1	2.9	5	61	40
	2.00	30.0	3483	364	12.4	17.6	4	61	40
	3.00	45.0	3565	371	12.7	32.3	3	62	39
	4.00	60.0	3543	372	12.8	47.2	2	62	39
11003.00	0.00	0.0	2725	302	9.3	-9.3	-	51	61
	1.00	15.0	3179	350	11.2	3.8	13	59	53
	2.00	0.0	3030	326	10.5	-10.5	-	55	57
	3.00	45.0	3408	367	12.1	32.9	6	62	50
	4.00	0.0	3281	355	11.4	-11.4	-	60	53
12001.00	0.00	0.0	2452	373	8.7	-8.7	-	61	-5
	1.00	15.0	2486	373	8.8	6.2	1	61	-5
	2.00	30.0	2542	378	9.0	21.0	1	61	-6
	3.00	45.0	2476	372	8.8	36.2	0	60	-5
	4.00	60.0	2579	382	9.3	50.7	1	62	-7
12002.00	0.00	0.0	3435	385	11.4	-11.4	-	66	25
	1.00	15.0	3407	377	11.5	3.5	1	65	26
	2.00	30.0	3491	395	12.1	17.9	2	68	23
	3.00	45.0	3597	402	12.7	32.3	3	69	22
	4.00	60.0	3649	410	12.9	47.1	3	70	21
13001.00	0.00	0.0	2784	269	9.2	-9.2	-	47	81
	1.00	15.0	2906	273	9.7	5.3	3	48	80
	2.00	30.0	2919	275	9.7	20.3	2	48	80
	3.00	45.0	3004	278	10.1	34.9	2	49	80
	4.00	60.0	2856	268	9.7	50.3	1	47	81
13002.00	0.00	0.0	3029	281	9.7	-9.7	-	48	80
	1.00	15.0	3125	284	10.5	4.5	5	48	79
	2.00	30.0	3151	289	10.4	19.6	2	49	78
	3.00	45.0	3188	289	10.7	34.3	2	49	79
	4.00	60.0	3203	295	10.8	49.2	2	50	78
14001.00	0.00	0.0	4222	475	17.8	-17.8	-	77	35
	1.00	15.0	4190	471	17.9	-2.9	1	76	35
	2.00	30.0	4262	491	18.4	11.6	2	80	32
	3.00	45.0	4254	484	18.4	26.6	1	79	33
	4.00	60.0	4198	469	17.8	42.2	0	76	36
14002.00	0.00	0.0	5213	780	19.0	-19.0	-	127	-13
	1.00	15.0	5236	787	19.4	-4.4	3	128	-15
	2.00	15.0	5448	808	20.1	-5.1	7	131	-18
	3.00	45.0	5368	790	20.2	24.8	3	129	-15
	4.00	30.0	5271	780	19.6	10.4	2	127	-13
14003.00	0.00	0.0	4674	642	15.4	-15.4	-	110	53
	1.00	10.0	4646	636	15.1	-5.1	-3	109	54
	2.00	0.0	4804	659	15.9	-15.9	-	113	50
	3.00	30.0	4677	635	16.0	14.0	2	109	54
	4.00	0.0	4705	643	15.9	-15.9	-	110	53
14501.00	0.00	0.0	4103	458	17.6	-17.6	-	74	37
	1.00	15.0	4156	466	17.7	-2.7	1	76	36
	2.00	30.0	4266	480	18.4	11.6	3	78	34
	3.00	45.0	4066	463	17.6	27.4	0	75	37
	4.00	60.0	4202	467	18.0	42.0	1	76	36
14502.00	0.00	0.0	5286	780	19.2	-19.2	-	127	-14
	1.00	15.0	5192	781	19.2	-4.2	0	127	-14
	2.00	15.0	5347	786	19.5	-4.5	2	128	-14
	3.00	45.0	5195	770	19.5	25.5	1	125	-12
	4.00	30.0	5197	772	19.4	10.6	1	125	-12
14503.00	0.00	0.0	4607	621	14.9	-14.9	-	107	57
	1.00	10.0	4542	629	14.9	-4.9	0	108	55
	2.00	0.0	4660	640	15.1	-15.1	-	110	53
	3.00	30.0	4824	667	15.7	14.3	3	114	49
	4.00	0.0	4689	639	15.1	-15.1	-	109	54

Liite 3.
Appendix 3.

Koe, Jakso Exp. Period	Koe- jäsen Treatm.	P-lann. kg/ha P-fert. kg/ha	Sato kg/ha Yield kg/ha	Valksat kg/ha Protein kg/ha	Sadon P kg/ha P yield kg/ha	P-tase kg/ha P bal. kg/ha	Lisä-P %/P-1. App. P util. %	Sadon N kg/ha N yield kg/ha	N-tase kg/ha N bal. kg/ha
15001.00	0.00	0.0	3782	434	12.6	-12.6	-	71	12
	1.00	15.0	3906	439	12.9	2.1	2	71	12
	2.00	30.0	3988	454	13.1	16.9	2	74	9
	3.00	45.0	4086	461	13.5	31.5	2	75	8
	4.00	60.0	4148	467	13.6	46.4	2	76	7
15002.00	0.00	0.0	3654	420	11.3	-11.3	-	70	13
	1.00	15.0	3625	409	11.3	3.7	0	68	15
	2.00	30.0	3666	413	11.4	18.6	0	69	14
	3.00	45.0	3707	417	11.8	33.2	1	70	13
	4.00	60.0	3672	405	11.8	48.2	1	68	15
15003.00	0.00	0.0	3643	432	12.3	-12.3	-	70	18
	1.00	15.0	3883	448	13.1	1.9	5	73	15
	2.00	0.0	3813	447	12.8	-12.8	-	72	15
	3.00	45.0	4377	500	15.2	29.8	6	81	6
	4.00	0.0	4083	469	14.1	-14.1	-	76	11
16001.00	0.00	0.0	3426	337	11.2	-11.2	-	55	0
	1.00	15.0	3579	334	11.8	3.2	4	54	1
	2.00	30.0	3692	347	12.3	17.7	4	56	-1
	3.00	45.0	3594	324	12.0	33.0	2	52	3
	4.00	60.0	3737	339	12.5	47.5	2	55	0
16002.00	0.00	0.0	3359	349	10.7	-10.7	-	58	-3
	1.00	15.0	3763	362	12.0	3.0	9	61	-6
	2.00	30.0	3675	349	11.7	18.3	3	59	-4
	3.00	45.0	3640	338	11.8	33.2	2	57	-2
	4.00	60.0	3677	343	11.9	48.1	2	58	-3
17001.00	0.00	0.0	3510	327	11.6	-11.6	-	52	-7
	1.00	15.0	3592	338	11.9	3.1	2	54	-9
	2.00	30.0	3586	338	11.8	18.2	1	54	-9
	3.00	45.0	3516	323	11.7	33.3	0	52	-7
	4.00	60.0	3658	344	12.4	47.6	1	55	-10
17002.00	0.00	0.0	3129	297	10.4	-10.4	-	48	-4
	1.00	15.0	3014	275	9.9	5.1	-3	45	0
	2.00	30.0	3061	275	10.1	19.9	-1	45	0
	3.00	45.0	3049	274	9.8	35.2	-1	45	0
	4.00	60.0	3061	277	10.1	49.9	-1	45	0
18001.00	0.00	0.0	3923	443	13.5	-13.5	-	71	-16
	1.00	15.0	4024	434	13.3	1.7	-1	69	-14
	2.00	30.0	4189	448	13.8	16.2	1	72	-17
	3.00	45.0	4090	422	13.5	31.5	0	67	-12
	4.00	60.0	4169	443	13.9	46.1	1	71	-16
18002.00	0.00	0.0	4200	499	15.0	-15.0	-	80	-25
	1.00	15.0	4244	499	15.3	-3	2	80	-25
	2.00	30.0	4344	499	15.7	14.3	2	80	-25
	3.00	45.0	4287	489	15.9	29.1	2	78	-23
	4.00	60.0	4328	494	15.8	44.2	1	79	-24
18003.00	0.00	0.0	11617	1321	21.1	-21.1	-	211	-25
	1.00	15.0	12253	1261	23.2	-8.2	15	202	-16
	2.00	30.0	13124	1357	27.0	3.0	20	217	-31
	3.00	45.0	13093	1318	29.2	15.8	18	211	-25
	4.00	60.0	13476	1412	31.8	28.2	18	226	-40
19001.00	0.00	0.0	5363	793	18.1	-18.1	-	127	34
	1.00	15.0	5784	846	19.9	-4.9	12	135	25
	2.00	30.0	5922	868	20.9	9.1	9	139	22
	3.00	45.0	5856	850	20.5	24.5	5	136	25
	4.00	60.0	5894	854	21.1	38.9	5	137	24
19002.00	0.00	0.0	6775	748	17.5	-17.5	-	120	41
	1.00	15.0	6961	793	19.0	-4.0	10	127	34
	2.00	30.0	7499	839	21.5	8.5	13	134	27
	3.00	45.0	7398	780	20.8	24.2	7	125	36
	4.00	60.0	7157	755	20.7	39.3	5	121	40
19003.00	0.00	0.0	3751	512	12.2	-12.2	-	84	6
	1.00	15.0	4130	563	13.4	1.6	8	92	-2
	2.00	0.0	4277	610	14.2	-14.2	7	99	-10
	3.00	45.0	4285	626	14.5	30.5	5	102	-12
	4.00	0.0	4404	618	14.5	-14.5	4	101	-11

Liite 3.
Appendix 3.

Koe, Jakso Exp. Period	Koe- jäsen Treatm.	P-lann. kg/ha P-fert. kg/ha	Sato kg/ha Yield kg/ha	Valksat kg/ha Protein kg/ha	Sadon P kg/ha P yield kg/ha	P-tase kg/ha P bal. kg/ha	Lisä-P %/P-l. App. P util. ‡	Sadon N kg/ha N yield kg/ha	N-tase kg/ha N bal. kg/ha
20001.00	0.00	0.0	2275	239	7.7	-7.7	-	38	42
	1.00	15.0	2777	292	9.2	5.8	10	47	34
	2.00	30.0	2872	304	9.7	20.3	7	49	32
	3.00	45.0	3100	322	10.5	34.5	6	51	29
	4.00	60.0	3111	327	10.6	49.4	5	52	28
20002.00	0.00	0.0	1278	183	5.0	-5.0	-	30	59
	1.00	15.0	2021	277	8.1	6.9	21	45	44
	2.00	30.0	2275	304	8.9	21.1	13	49	39
	3.00	45.0	2560	333	10.0	35.0	11	54	35
	4.00	60.0	2575	338	10.2	49.8	9	55	34
20003.00	0.00	0.0	2073	229	6.9	-6.9	-	39	51
	1.00	15.0	2789	318	9.8	5.2	19	53	37
	2.00	0.0	2442	267	8.9	-8.9	-	44	46
	3.00	45.0	3427	396	12.7	32.3	13	65	25
	4.00	0.0	2960	331	11.0	-11.0	-	55	35
21001.00	0.00	0.0	2769	287	10.1	-10.1	-	46	29
	1.00	15.0	2840	293	10.5	4.5	3	47	28
	2.00	30.0	2884	295	10.8	19.2	2	47	28
	3.00	45.0	2886	295	10.7	34.3	1	47	28
	4.00	60.0	2957	302	11.1	48.9	2	48	27
21002.00	0.00	0.0	2247	237	8.5	-8.5	-	38	30
	1.00	15.0	2302	240	8.8	6.2	2	38	30
	2.00	30.0	2350	247	8.9	21.1	1	40	29
	3.00	45.0	2337	241	9.0	36.0	1	39	30
	4.00	60.0	2329	244	9.0	51.0	1	39	29
22001.00	0.00	0.0	2303	198	7.3	-7.3	-	32	29
	1.00	15.0	2767	237	8.8	6.2	10	38	23
	2.00	30.0	2958	248	9.2	20.8	6	40	21
	3.00	45.0	3070	254	9.6	35.4	5	41	20
	4.00	60.0	3151	261	9.9	50.1	4	42	19
22002.00	0.00	0.0	1695	182	5.6	-5.6	-	29	36
	1.00	15.0	2445	244	7.8	7.2	15	39	26
	2.00	30.0	2601	252	8.4	21.6	9	40	24
	3.00	45.0	2717	274	9.0	36.0	8	44	21
	4.00	60.0	2783	273	9.3	50.7	6	44	21
22003.00	0.00	0.0	925	107	2.7	-2.7	-	17	66
	1.00	15.0	2297	241	6.3	8.7	24	39	45
	2.00	0.0	1672	179	4.9	-4.9	-	29	55
	3.00	45.0	3087	306	8.7	36.3	13	49	35
	4.00	0.0	2502	256	7.1	-7.1	-	41	42
23001.00	0.00	0.0	2512	226	8.6	-8.6	-	36	23
	1.00	15.0	2743	249	9.4	5.6	5	40	20
	2.00	30.0	2868	253	10.1	19.9	5	40	19
	3.00	45.0	2943	262	10.1	34.9	3	42	18
	4.00	60.0	3051	259	10.5	49.5	3	41	18
23002.00	0.00	0.0	1568	175	4.6	-4.6	-	28	27
	1.00	15.0	2056	225	5.8	9.2	8	36	19
	2.00	30.0	2312	254	6.9	23.1	8	41	14
	3.00	45.0	2433	260	7.3	37.7	6	42	13
	4.00	60.0	2486	267	7.5	52.5	5	43	12
24001.00	0.00	0.0	5093	704	13.7	-13.7	-	113	54
	1.00	15.0	5259	739	15.4	-4	11	118	48
	2.00	30.0	5264	745	16.3	13.7	9	119	47
	3.00	45.0	5510	784	17.1	27.9	8	125	41
	4.00	60.0	5335	770	17.3	42.7	6	123	43
24002.00	0.00	0.0	6300	1128	14.1	-14.1	-	180	20
	1.00	15.0	6830	1301	16.4	-1.4	15	208	-8
	2.00	30.0	7070	1253	17.3	12.7	11	200	0
	3.00	45.0	7480	1307	21.3	23.7	16	209	-9
	4.00	60.0	7620	1361	22.8	37.2	15	218	-18

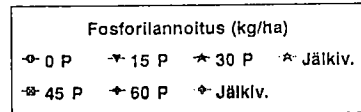
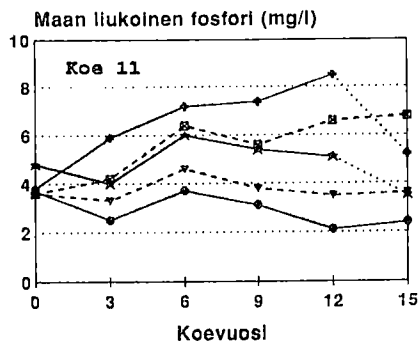
Liite 3.
Appendix 3.

Koe, Jakso Exp. Period	Koe- jäsen Treatm.	P-lann. kg/ha P-fert. kg/ha	Sato kg/ha Yield kg/ha	Valksat kg/ha Protein kg/ha	Sadon P kg/ha P yield kg/ha	P-tase kg/ha P bal. kg/ha	Lisä-P %/P-l. App. P util. %	Sadon N kg/ha N yield kg/ha	N-tase kg/ha N bal. kg/ha
25001.00	0.00	0.0	25844	560	16.2	-16.2	-	91	1
	1.00	20.8	26235	557	15.5	5.3	-3	90	2
	2.00	41.7	26658	577	16.9	24.8	2	94	-2
	3.00	62.5	26512	561	16.4	46.1	0	91	1
	4.00	83.3	26816	575	17.1	66.3	1	93	-1
25002.00	0.00	0.0	19584	684	17.5	-17.5	-	109	-44
	1.00	12.5	18713	649	17.6	-5.1	1	104	-39
	2.00	0.0	19922	722	18.2	-18.2	-	116	-51
	3.00	37.5	18687	659	17.9	19.6	1	106	-41
	4.00	0.0	19426	724	18.8	-18.8	-	116	-51
26001.00	0.00	0.0	3504	349	12.1	-12.1	-	56	11
	1.00	15.0	3558	359	12.7	2.3	4	57	9
	2.00	30.0	3636	360	13.1	16.9	3	58	9
	3.00	45.0	3678	370	13.5	31.5	3	59	7
	4.00	60.0	3599	357	13.4	46.6	2	57	10
26002.00	0.00	0.0	3521	320	11.1	-11.1	-	51	29
	1.00	15.0	3806	349	12.5	2.5	9	56	24
	2.00	30.0	3864	356	13.1	16.9	7	57	23
	3.00	45.0	3919	362	13.6	31.4	6	58	22
	4.00	60.0	3867	354	13.7	46.3	4	57	23
26003.00	0.00	0.0	3910	357	12.5	-12.5	-	57	11
	1.00	15.0	4161	370	13.6	1.4	7	59	9
	2.00	0.0	4156	370	13.7	-13.7	-	59	9
	3.00	45.0	4275	381	14.3	30.7	4	61	8
	4.00	0.0	4165	375	14.0	-14.0	-	60	9
27001.00	0.00	0.0	3586	374	11.6	-11.6	-	60	15
	1.00	15.0	3812	388	12.4	2.6	5	62	13
	2.00	30.0	4121	408	13.4	16.6	6	65	10
	3.00	45.0	4061	402	13.3	31.7	4	64	11
	4.00	60.0	4142	407	13.8	46.2	4	65	10
27002.00	0.00	0.0	2557	274	8.3	-8.3	-	44	31
	1.00	15.0	3014	330	10.1	4.9	12	53	22
	2.00	30.0	3198	346	11.0	19.0	9	55	20
	3.00	45.0	3262	346	11.3	33.7	7	55	20
	4.00	60.0	3156	341	11.2	48.8	5	55	20
28001.00	0.00	0.0	5557	961	16.8	-16.8	-	154	65
	1.00	15.0	6155	1045	17.8	-2.8	7	167	52
	2.00	30.0	6606	1113	20.4	9.6	12	178	41
	3.00	45.0	6622	1124	21.3	23.7	10	180	39
	4.00	60.0	6711	1138	21.7	38.3	6	182	37
28002.00	0.00	0.0	2615	256	7.6	-7.6	-	41	19
	1.00	15.0	3224	303	9.3	5.7	11	49	11
	2.00	30.0	3446	322	10.0	20.0	8	52	8
	3.00	45.0	3629	341	11.0	34.0	8	55	5
	4.00	60.0	3688	339	11.3	48.7	6	54	6
29001.00	0.00	0.0	3114	360	13.0	-13.0	-	58	0
	1.00	15.0	3101	348	13.0	2.0	0	56	1
	2.00	30.0	3254	379	13.7	16.3	2	61	-3
	3.00	45.0	3202	370	13.6	31.4	1	60	-2
	4.00	60.0	3184	372	13.5	46.5	1	60	-2
29002.00	0.00	0.0	4077	487	12.4	-12.4	-	79	-41
	1.00	15.0	4279	495	13.4	1.6	7	80	-42
	2.00	30.0	4412	516	14.3	15.7	6	83	-45
	3.00	45.0	4371	509	14.1	30.9	4	82	-44
	4.00	60.0	4309	503	14.2	45.8	3	81	-43
29501.00	0.00	0.0	3177	376	13.4	-13.4	-	61	-3
	1.00	15.0	3266	381	13.8	1.2	3	62	-4
	2.00	30.0	3246	382	13.8	16.2	1	62	-4
	3.00	45.0	3261	391	14.0	31.0	1	63	-5
	4.00	60.0	3264	382	14.0	46.0	1	62	-4
29502.00	0.00	0.0	4291	511	13.3	-13.3	-	83	-44
	1.00	15.0	4573	537	14.6	.4	9	87	-49
	2.00	30.0	4561	533	14.8	15.2	5	86	-48
	3.00	45.0	4663	546	15.6	29.4	5	88	-50
	4.00	60.0	4501	522	15.1	44.9	3	84	-46

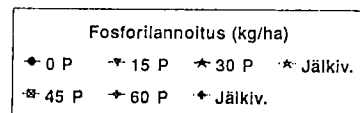
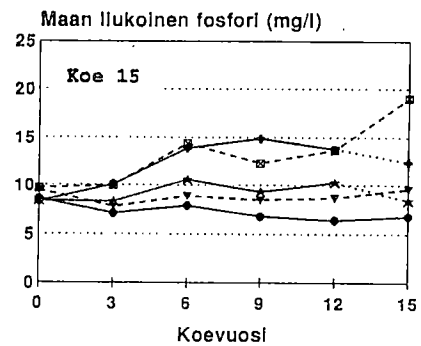
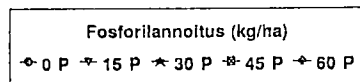
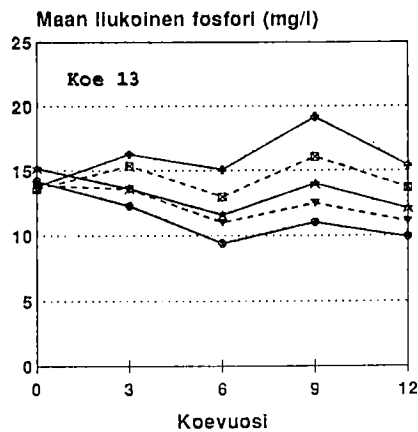
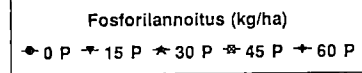
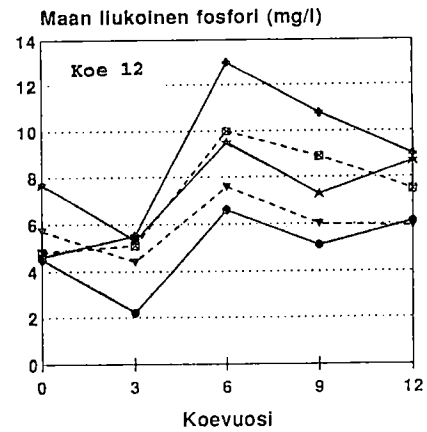
Liite 3.
Appendix 3.

Koe, Jakso Exp. Period	Koe- jäsen Treatm.	P-lann. kg/ha P-fert. kg/ha	Sato kg/ha Yield kg/ha	Valksat kg/ha Protein kg/ha	Sadon P kg/ha P yield kg/ha	P-tase kg/ha P bal. kg/ha	Lisä-P %/P-1. App. P util. %	Sadon N kg/ha N yield kg/ha	N-tase kg/ha N bal. kg/ha
30001.00	0.00	0.0	3279	310	11.8	-11.8	-	50	25
	1.00	15.0	3410	322	12.5	2.5	5	52	23
	2.00	30.0	3481	333	13.0	17.0	4	53	22
	3.00	45.0	3455	327	13.2	31.8	3	52	23
	4.00	60.0	3564	341	13.8	46.2	3	55	20
30002.00	0.00	0.0	2710	284	9.4	-9.4	-	45	30
	1.00	15.0	2923	299	10.7	4.3	9	48	27
	2.00	30.0	2885	303	11.0	19.0	5	49	26
	3.00	45.0	2965	311	11.4	33.6	4	50	25
	4.00	60.0	2953	323	11.7	48.3	4	52	23
30003.00	0.00	0.0	3562	364	12.3	-12.3	-	58	12
	1.00	15.0	3818	384	13.7	1.3	9	61	9
	2.00	0.0	3834	398	13.9	-13.9	-	64	6
	3.00	45.0	3930	407	14.9	30.1	6	65	5
	4.00	0.0	3930	408	14.6	-14.6	-	65	5
31001.00	0.00	0.0	6112	1076	19.2	-19.2	-	172	-12
	1.00	15.0	6720	1152	24.2	-9.2	33	184	-24
	2.00	30.0	6816	1130	27.4	2.6	27	181	-21
	3.00	45.0	6950	1193	29.3	15.7	22	191	-31
	4.00	60.0	6978	1157	30.3	29.7	19	185	-25
31002.00	0.00	0.0	6117	758	12.1	-12.1	-	121	39
	1.00	15.0	8250	1011	19.3	-4.3	48	164	-2
	2.00	30.0	8189	957	23.7	6.3	39	153	7
	3.00	45.0	8677	1018	26.3	18.7	32	163	-3
	4.00	60.0	8563	1015	27.6	32.4	26	162	-2
32001.00	0.00	0.0	3061	342	10.4	-10.4	-	55	-1
	1.00	15.0	3201	337	10.7	4.3	3	54	0
	2.00	30.0	3150	332	10.5	19.5	0	53	1
	3.00	45.0	3277	346	11.1	33.9	2	55	-1
	4.00	60.0	3259	348	11.1	48.9	1	56	-2
32002.00	0.00	0.0	1722	174	5.4	-5.4	-	28	18
	1.00	15.0	2333	214	6.8	8.2	9	34	11
	2.00	30.0	2587	238	7.5	22.5	7	38	8
	3.00	45.0	2865	256	8.1	36.9	6	41	5
	4.00	60.0	2922	264	8.5	51.5	5	42	4
33001.00	0.00	0.0	3359	366	11.1	-11.1	-	59	-4
	1.00	15.0	3549	372	12.1	2.9	7	60	-5
	2.00	30.0	3492	366	11.8	18.2	2	58	-3
	3.00	45.0	3555	371	12.4	32.6	3	59	-4
	4.00	60.0	3486	361	12.1	47.9	2	58	-3
33002.00	0.00	0.0	2169	254	5.4	-6.9	-	41	14
	1.00	15.0	2852	321	6.8	5.7	16	51	4
	2.00	30.0	2801	311	7.5	20.7	8	50	5
	3.00	45.0	2960	331	8.1	35.2	6	53	2
	4.00	60.0	2885	320	8.5	50.2	5	51	4
34001.00	0.00	0.0	9195	1246	25.0	-25.0	-	199	-19
	1.00	15.0	9075	1198	27.6	-12.6	17	192	-12
	2.00	30.0	9211	1197	29.0	1.0	13	192	-12
	3.00	45.0	9617	1301	31.5	13.5	14	208	-28
	4.00	60.0	9540	1276	31.2	28.8	10	204	-24

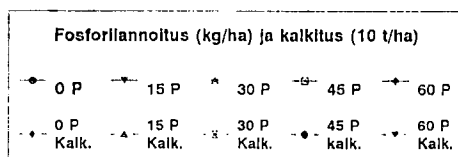
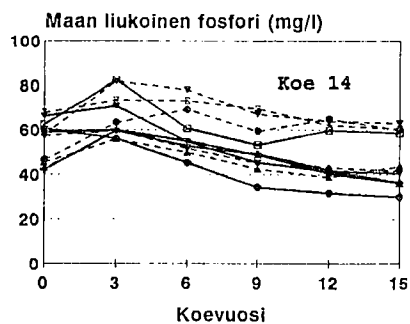
Liite 4. Maan fosforitilan kehittyminen kokeissa 11, 12, 13, 14 ja 15.
Appendix 4. Extractable soil phosphorus in experiments 11, 12, 13, 14 and 15.



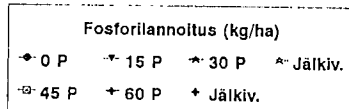
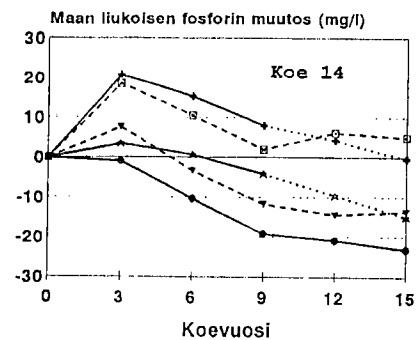
Fosforimäärät 30 ja 60 kg/ha annettu koevuosina 1-12
15. vuonna 15 ja 45 kg:n tilalla 34 ja 103 kg P/ha



Fosforimäärät 30 ja 60 kg/ha annettu koevuosina 1-12
15. vuonna 15 ja 45 kg:n tilalla 34 ja 103 kg P/ha

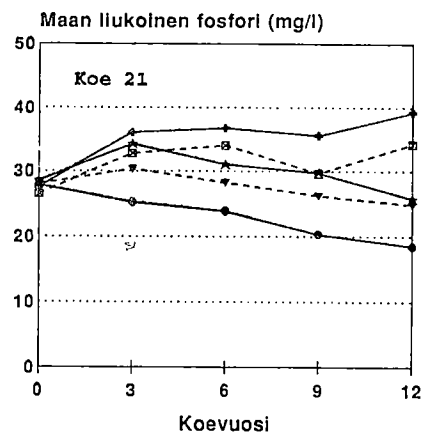
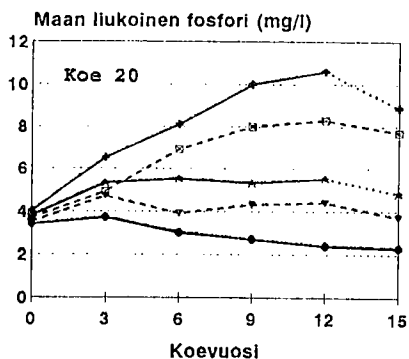
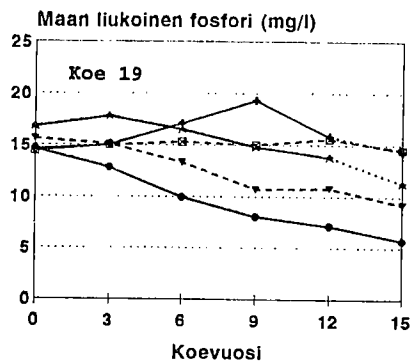
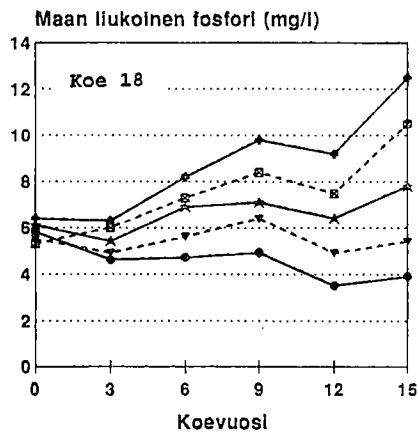
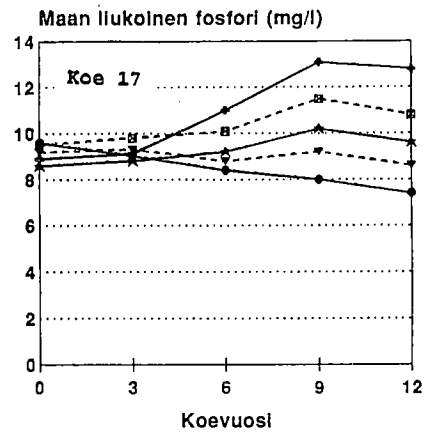
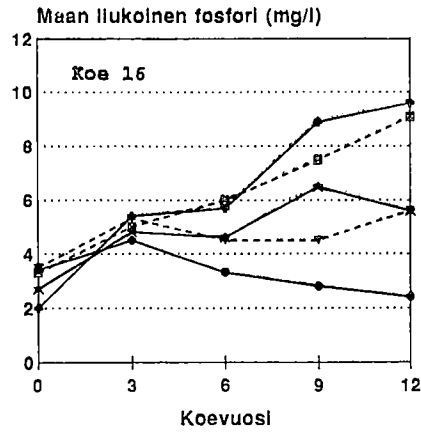


Fosforimäärät 30 ja 60 kg/ha annettu koevuosina 1-9, määrät 15 ja 45 v. 1-14.

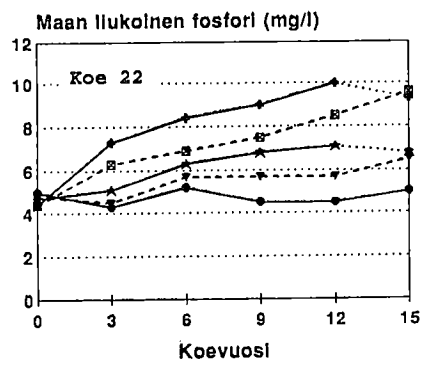


Fosforimäärät 30 ja 60 kg/ha annettu koevuosina 1-9, määrät 15 ja 45 v. 1-14.

Liite 4. Maan fosforitilan kehittyminen kokeissa 16, 17, 18, 19, 20 ja 21.
 Appendix 4. Extractable soil phosphorus in experiments 16, 17, 18, 19, 20 and 21.



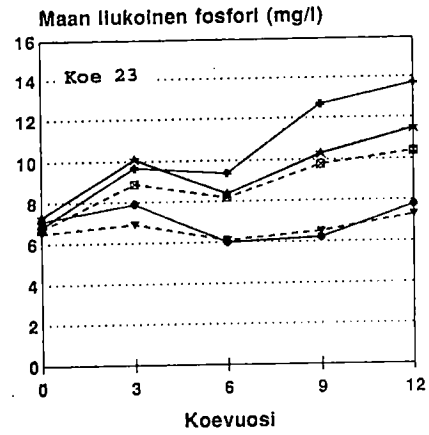
Liite 4. Maan fosforitilan kehittyminen kokeissa 22, 23, 25, 26, 27 ja 28.
 Appendix 4. Extractable soil phosphorus in experiments 22, 23, 25, 26, 27 and 28.



Fosforilannottus (kg/ha)

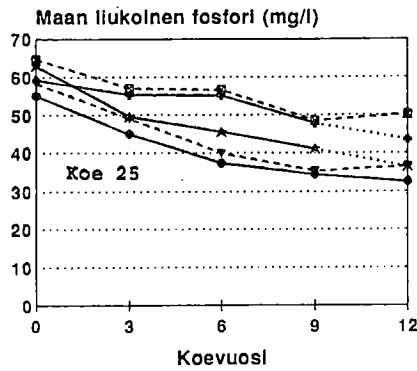
◆ 0 P ▲ 15 P ★ 30 P ☆ Jälkiv.
 ◐ 45 P ◆ 60 P ◆ Jälkiv.

Fosforimäärät 30 ja 60 kg/ha
 annettu koevuosina 1-12



Fosforilannottus (kg/ha)

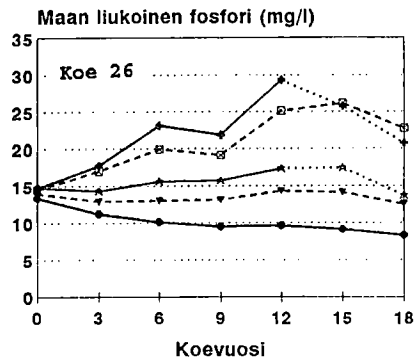
◆ 0 P ▲ 15 P ★ 30 P ◐ 45 P ◆ 60 P



Fosforilannottus (kg/ha)

◆ 0 P ▲ 25 P ★ 50 P ☆ Jälkiv.
 ◐ 75 P ◆ 100 P ◆ Jälkiv.

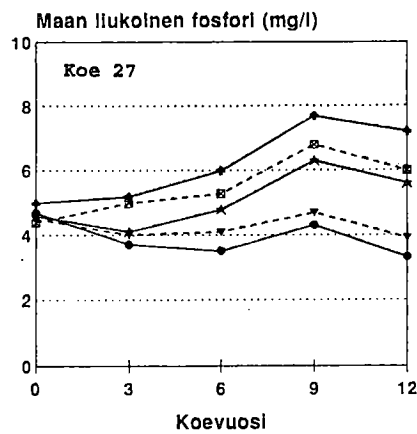
Koevuodet 5, 7, 8 ja 9 ilman P-lannottusta
 P-määrät 50 ja 100 kg/ha annettu koevuosina 1-4 ja 6



Fosforilannottus (kg/ha)

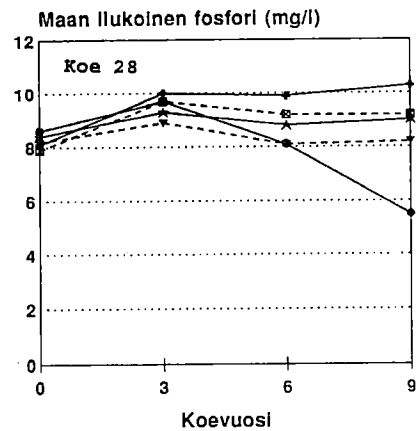
◆ 0 P ▲ 15 P ★ 30 P ☆ Jälkiv.
 ◐ 45 P ◆ 60 P ◆ Jälkiv.

Fosforimäärät 30 ja 60 kg/ha
 annettu koevuosina 1-12



Fosforilannottus (kg/ha)

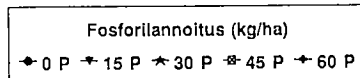
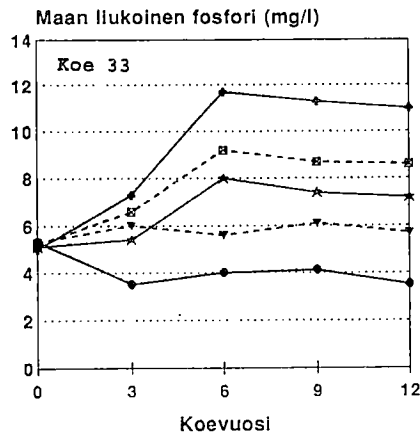
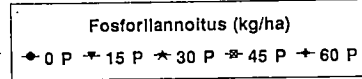
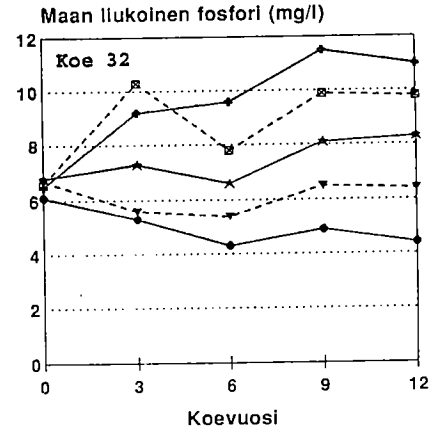
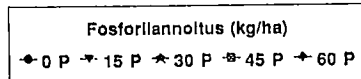
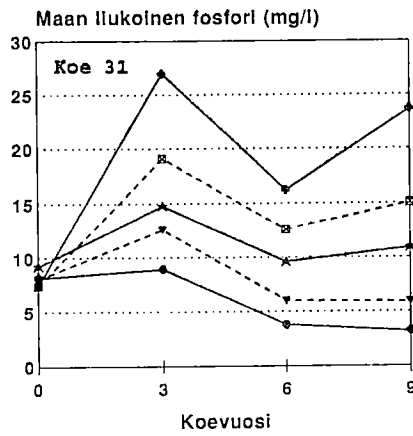
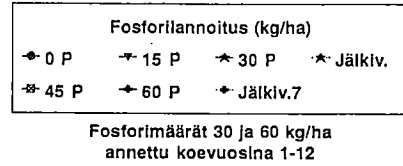
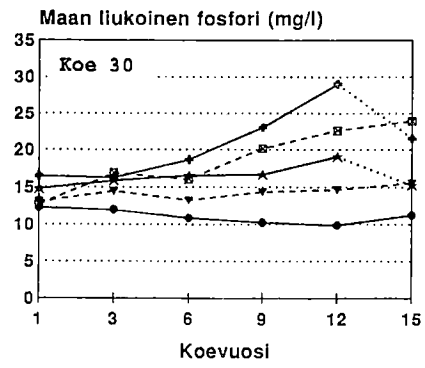
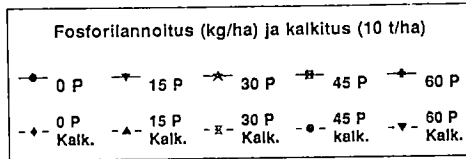
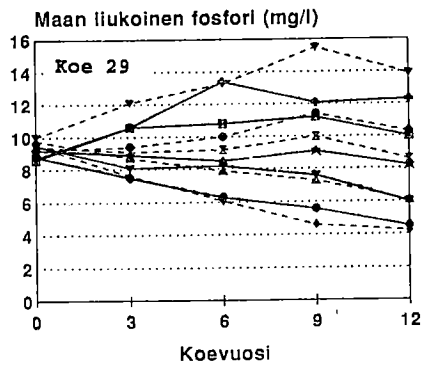
◆ 0 P ▲ 15 P ★ 30 P ◐ 45 P ◆ 60 P



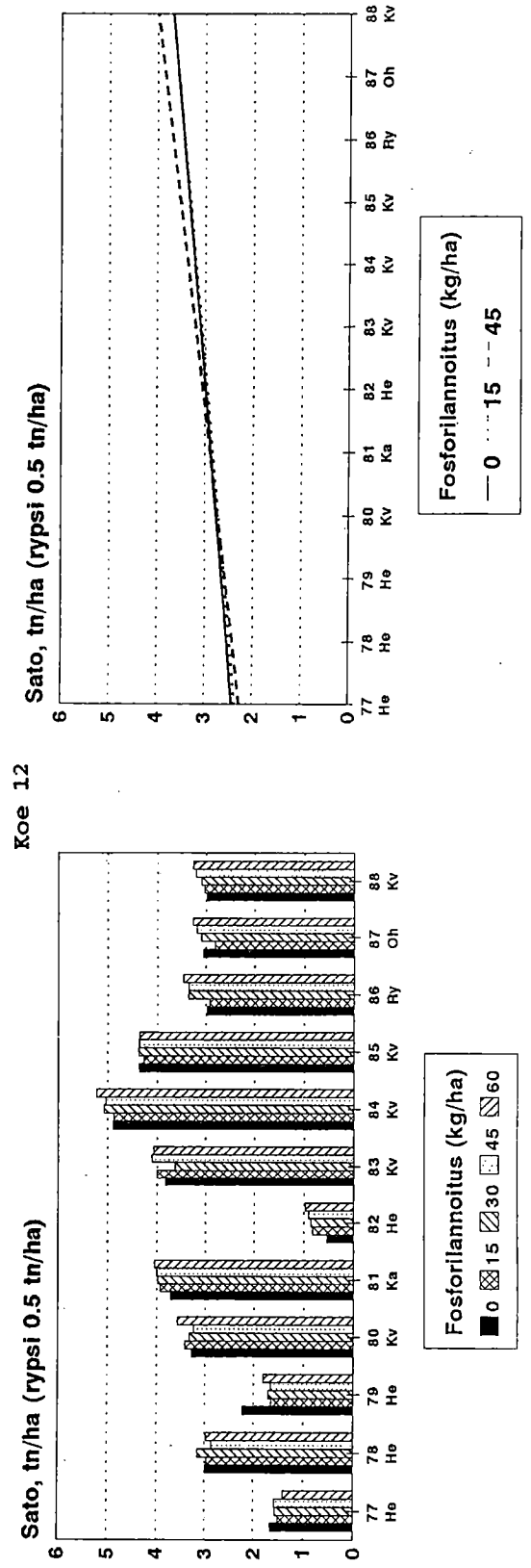
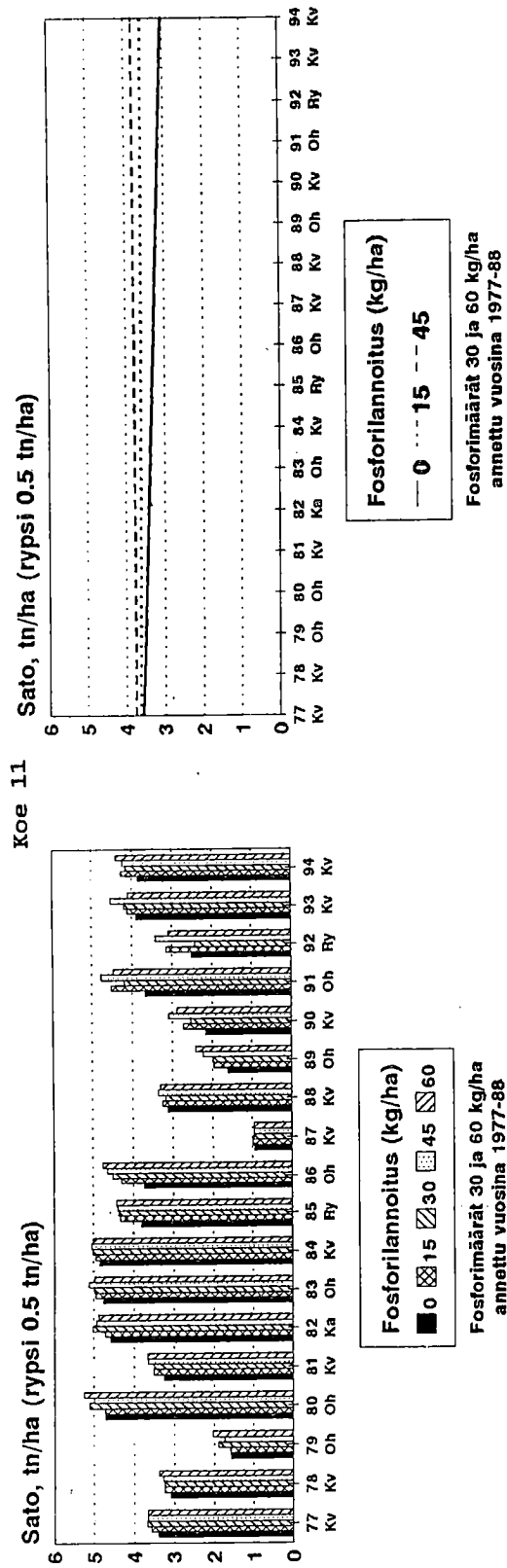
Fosforilannottus (kg/ha)

◆ 0 P ▲ 15 P ★ 30 P ◐ 45 P ◆ 60 P

Liite 4. Maan fosforitilan kehittyminen kokeissa 29, 30, 31, 32 ja 33.
 Appendix 4. Extractable soil phosphorus in experiments 29, 30, 31, 32 and 33.

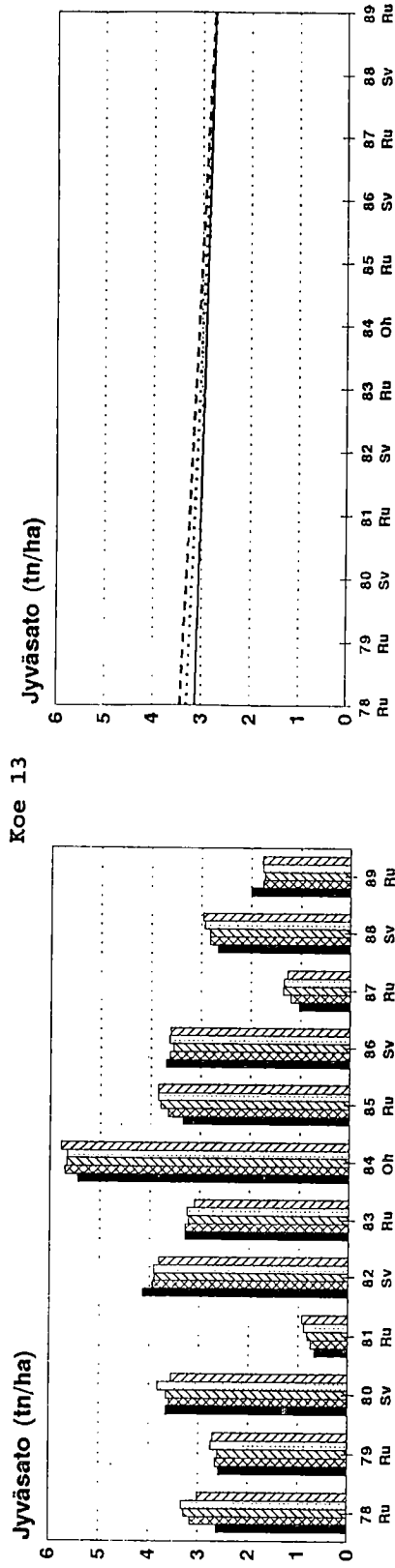


Liite 5. Satotason kehittyminen kokeissa 11 ja 12.
Appendix 5. Yields in experiments 11 and 12.

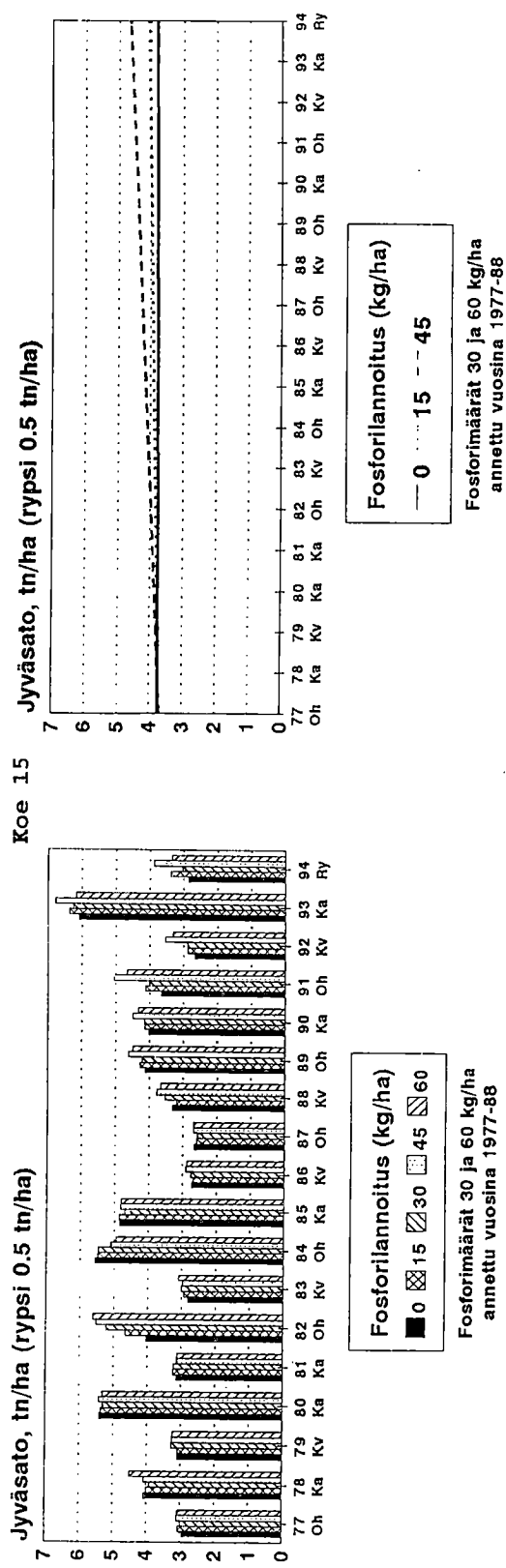


Liite 5. Satotason kehittyminen kokeissa 13 ja 15.
Appendix 5. Yields in experiments 13 and 15.

Koe 13



Koe 15



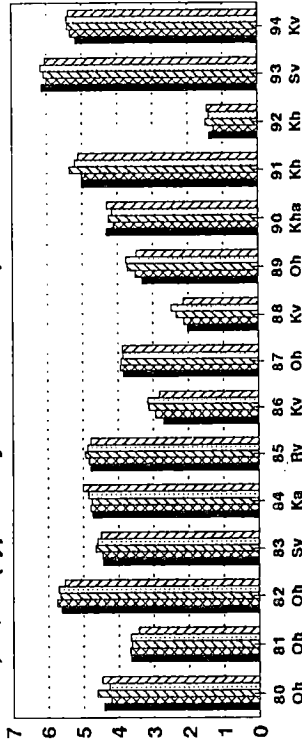
Jyväsaato (tn/ha)

Fosforilannoitus (kg/ha)
■ 0 ▨ 15 ▩ 30 ▧ 45 ▦ 60

Fosforilannoitus (kg/ha)
■ 0 ▨ 15 ▩ 30 ▧ 45 ▦ 60

Liite 5. Satotason kehittyminen kokeissa 14 ja 14,5.
Appendix 5. Yields in experiments 14 and 14,5.

Koe 14 Sato, tn/ha (rypsi 0.5 ja nurmi 2 tn/ha)

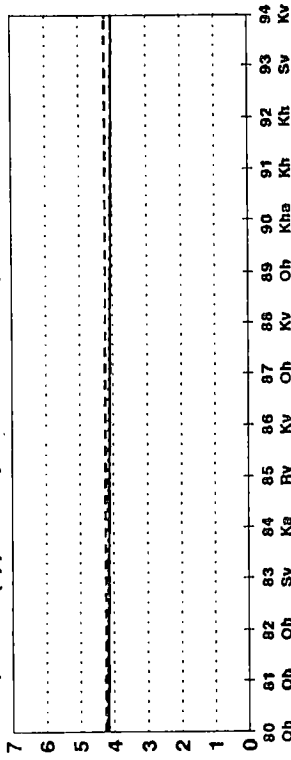


Fosforilannoitus (kg/ha)

■ 0 ▨ 15 ▩ 30 □ 45 60

Fosforimäärät 30 ja 60 kg/ha annettu vuosina 1980-88
Fosforimäärät 15 ja 45 kg/ha annettu vuosina 1980-93
Ei kalkittu

Koe 14 Sato, tn/ha (rypsi 0.5 ja nurmi 2 tn/ha)

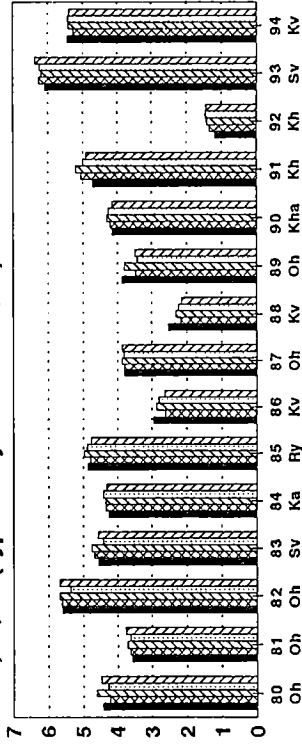


Fosforilannoitus (kg/ha)

— 0 ···· 15 - - 45

Fosforimäärät 30 ja 60 kg/ha annettu vuosina 1980-88
Fosforimäärät 15 ja 45 kg/ha annettu vuosina 1980-93
Ei kalkittu

Koe 14,5 Sato, tn/ha (rypsi 0.5 ja nurmi 2 tn/ha)

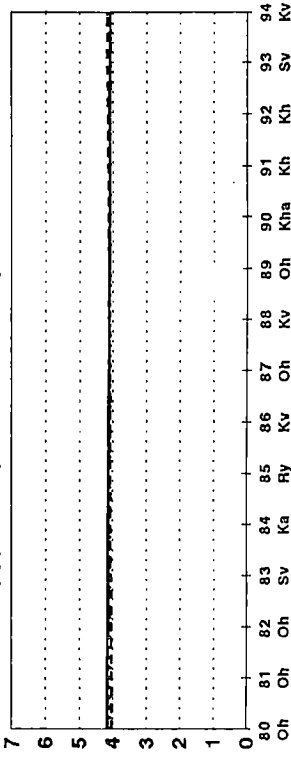


Fosforilannoitus (kg/ha)

■ 0 ▨ 15 ▩ 30 □ 45 60

Fosforimäärät 30 ja 60 kg/ha annettu vuosina 1980-88
Fosforimäärät 15 ja 45 kg/ha annettu vuosina 1980-93
Kalkkia 10 t/ha 1980

Koe 14,5 Sato, tn/ha (rypsi 0.5 ja nurmi 2 tn/ha)

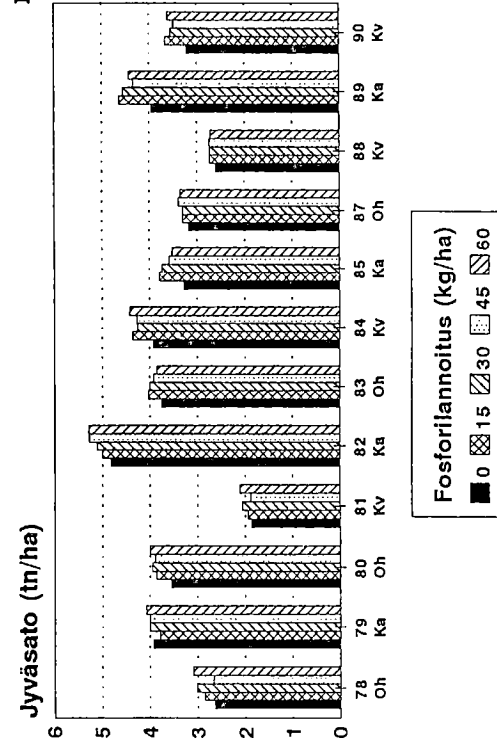
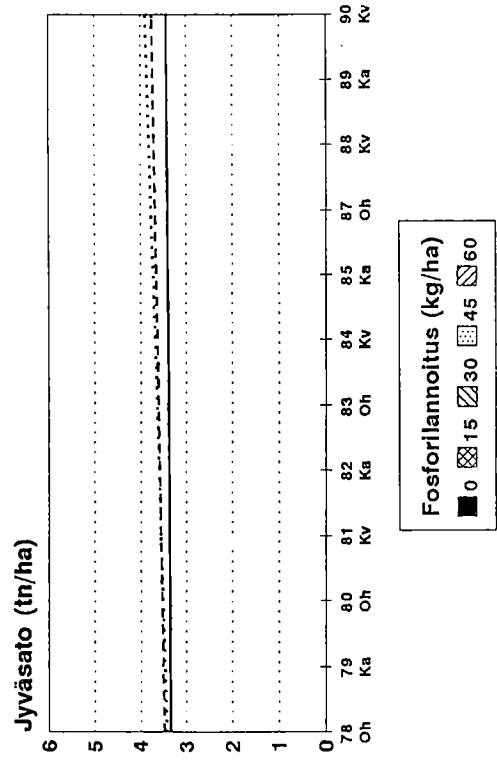
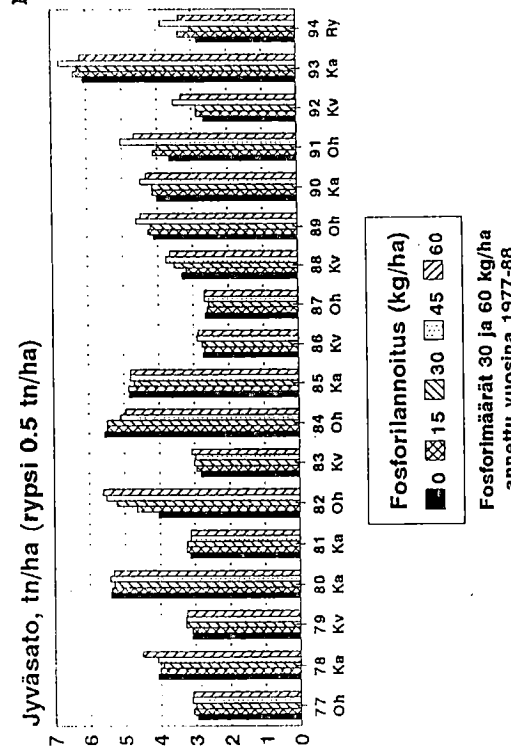
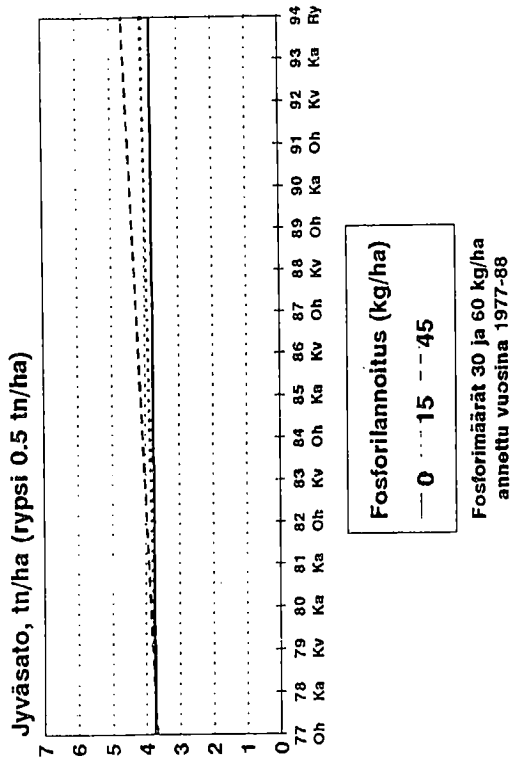


Fosforilannoitus (kg/ha)

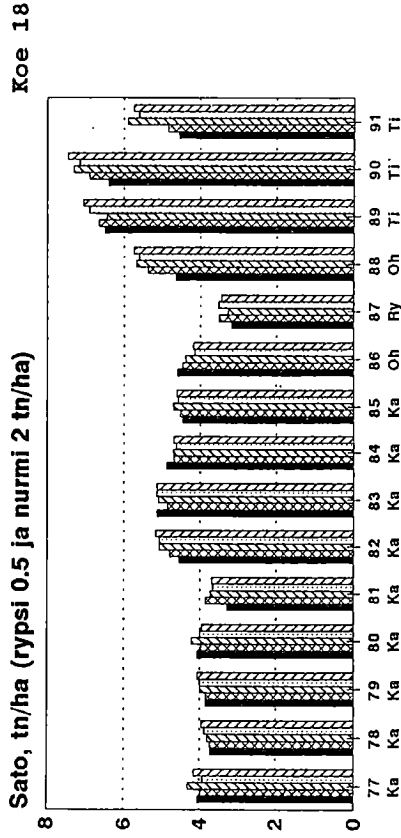
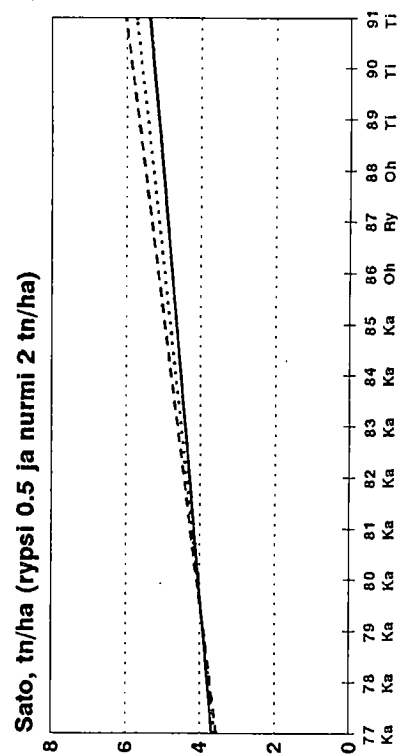
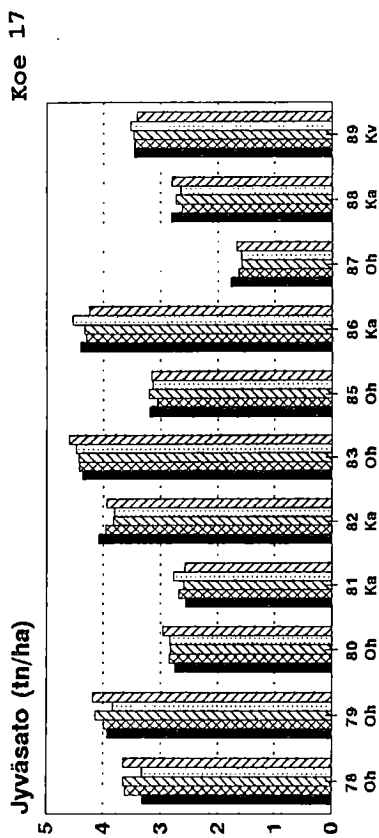
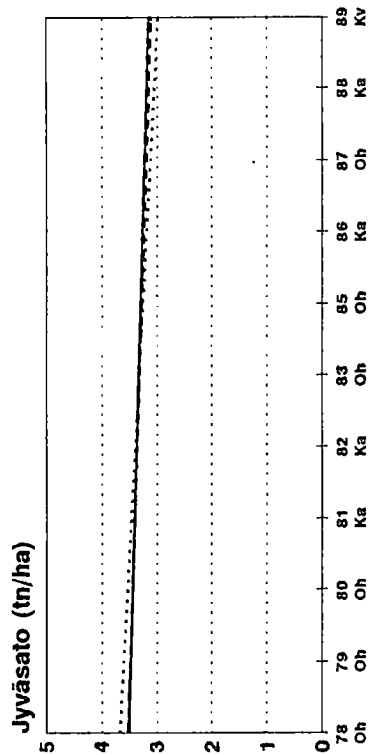
— 0 ···· 15 - - 45

Fosforimäärät 30 ja 60 kg/ha annettu vuosina 1980-88
Fosforimäärät 15 ja 45 kg/ha annettu vuosina 1980-93
Kalkkia 10 t/ha 1980

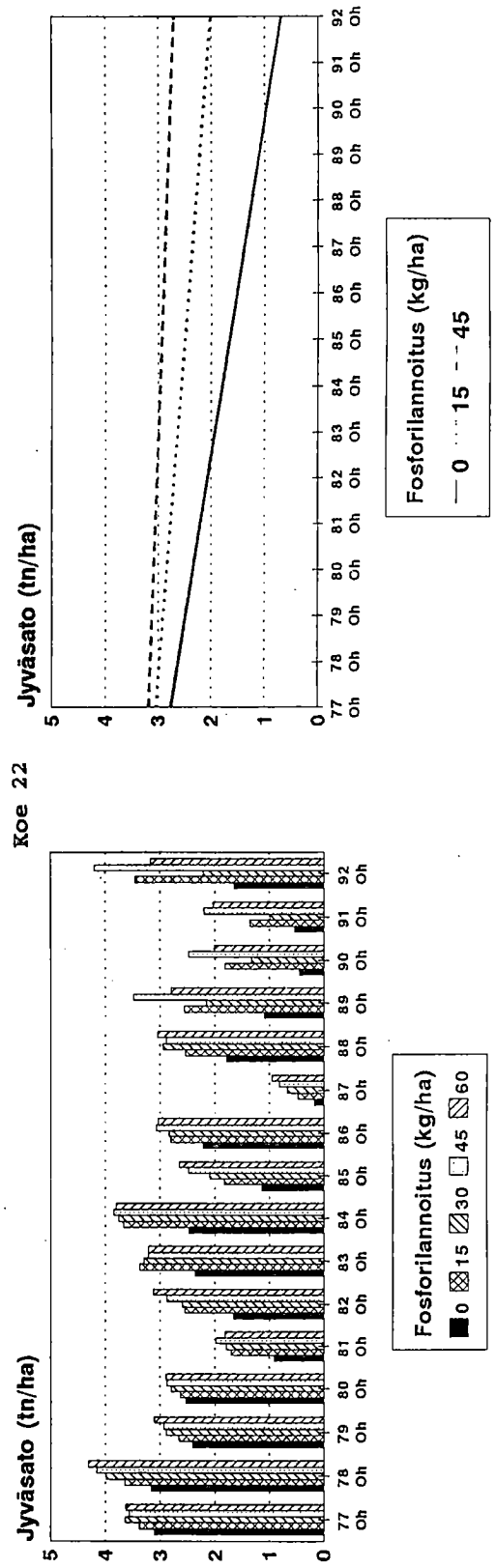
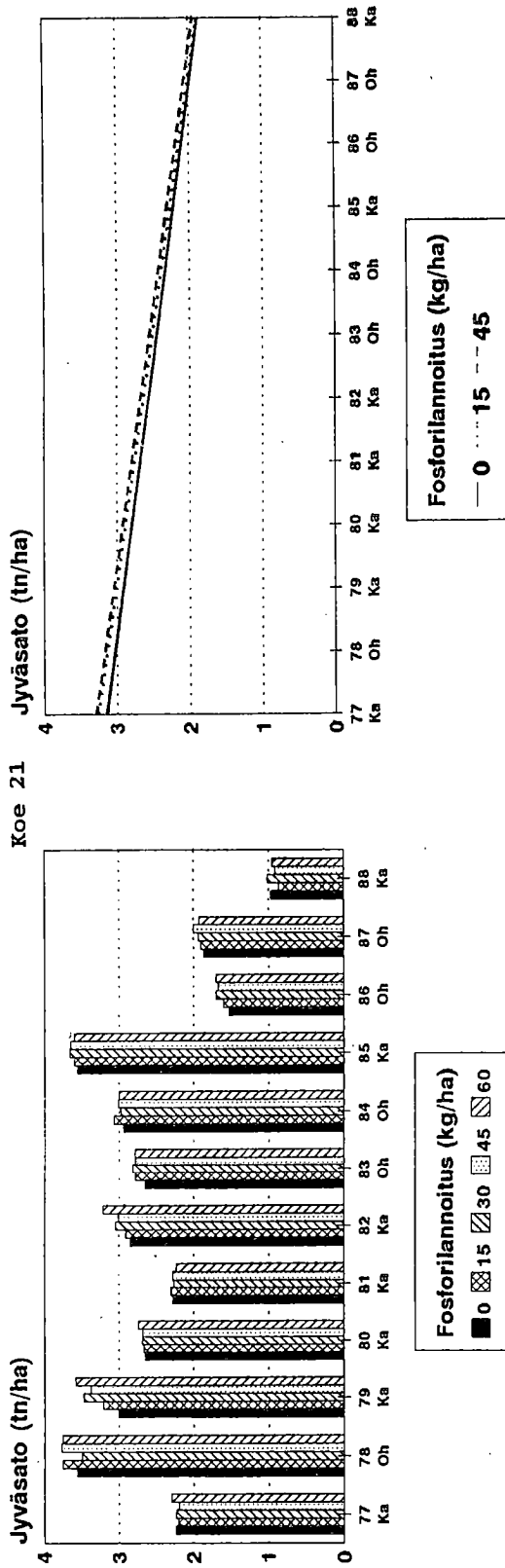
Liite 5. Satotason kehittyminen kokeissa 15 ja 16.
 Appendix 5. Yields in experiments 15 and 16.



Liite 5. Satotason kehittymisen kokeissa 17 ja 18.
Appendix 5. Yields in experiments 17 and 18.

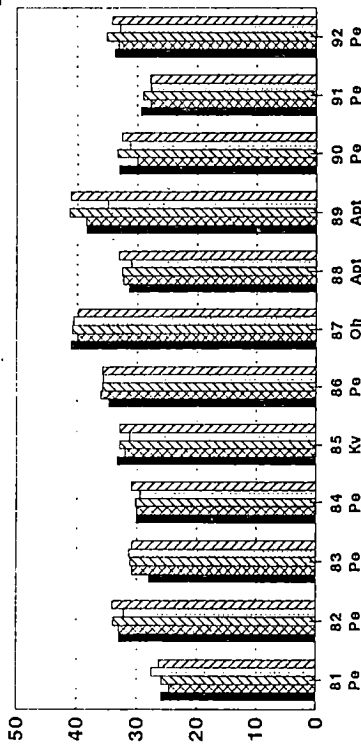


Liite 5. Satotason kehittyminen kokeissa 21 ja 22.
Appendix 5. Yields in experiments 21 and 22.



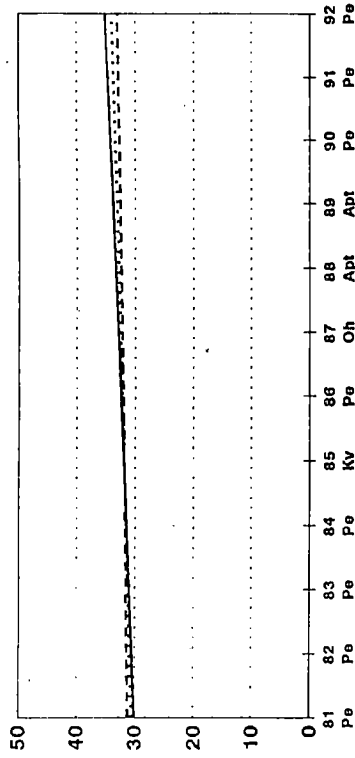
Liite 5. Satotason kehittymisen kokeissa 25 ja 26.
Appendix 5. Yields in experiments 25 and 26.

Koe 25



Fosforilannoitus (kg/ha)
 ■ 0 ▨ 25 □ 50 ▩ 75

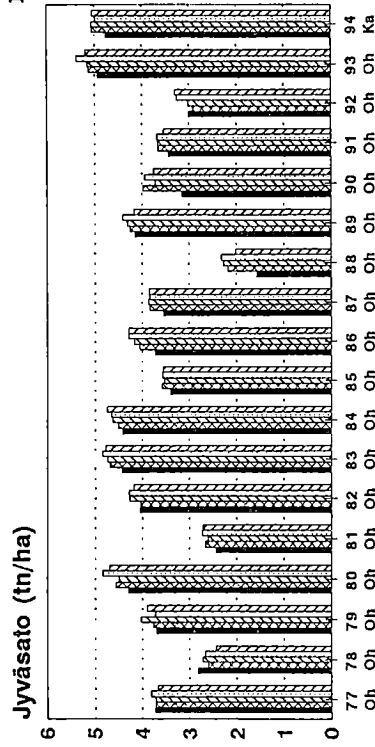
Vuodet 1985 ja 1987-89 ilman P-lannoitusta
 Fosforimäärät 50 ja 100 kg/ha pois v. 1990-92



Fosforilannoitus (kg/ha)
 — 0 - - - 25

Vuodet 1985 ja 1987-89 ilman P-lannoitusta
 Fosforimäärät 50 ja 100 kg/ha pois v. 1990-92

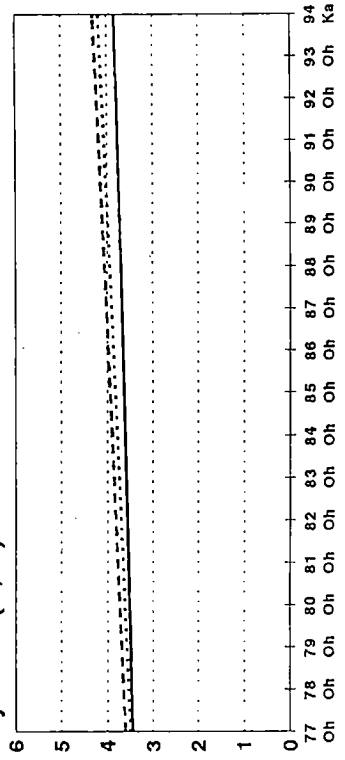
Koe 26



Fosforilannoitus (kg/ha)
 ■ 0 ▨ 15 □ 30 ▩ 45

P-määrät 30 ja 60 kg/ha annettu v. 1977-88

Jyväsato (tn/ha)

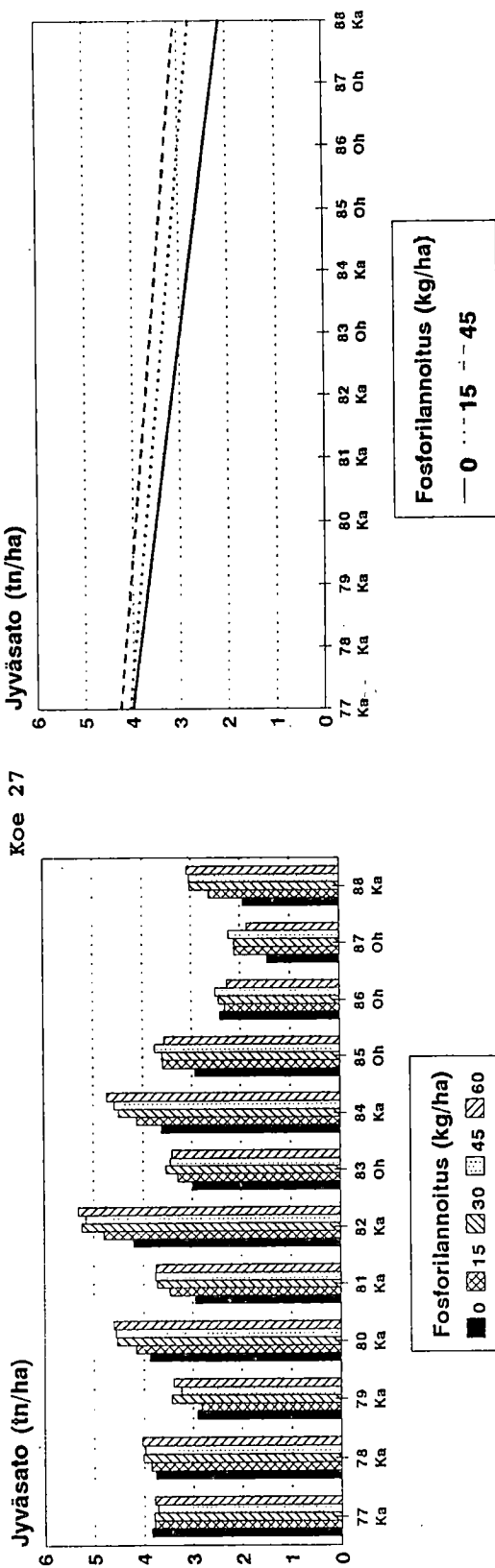


Fosforilannoitus (kg/ha)
 — 0 - - - 15

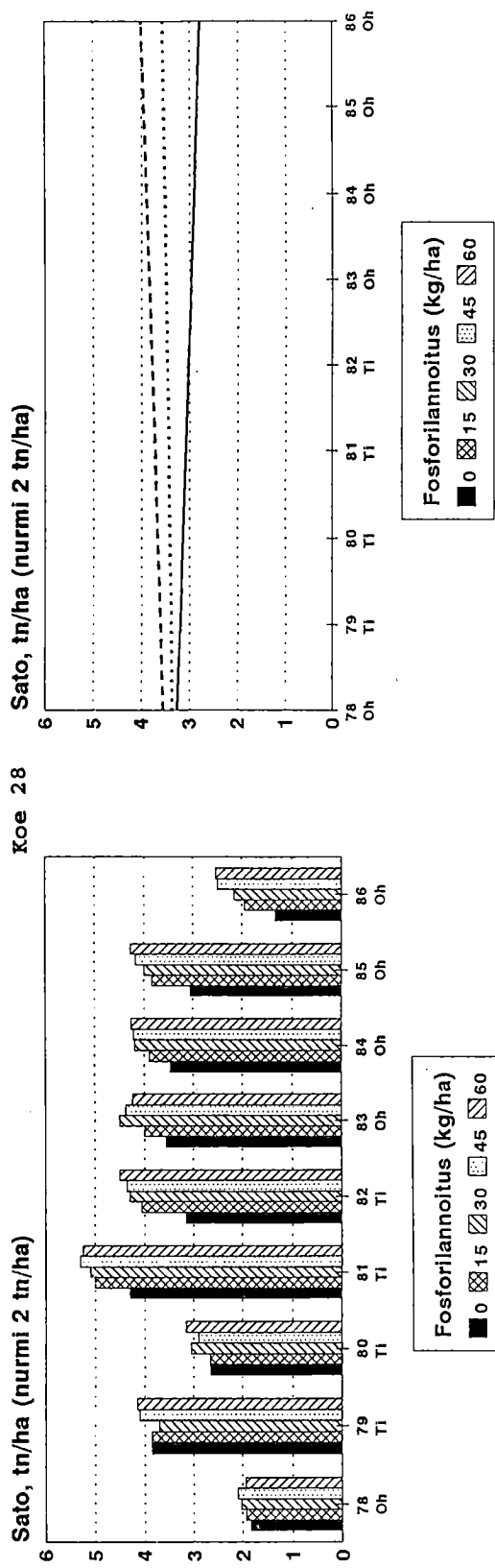
P-määrät 30 ja 60 kg/ha annettu v. 1977-88

Liite 5. Satotason kehittymisen kokeissa 27 ja 28.
 Appendix 5. Yields in experiments 27 and 28.

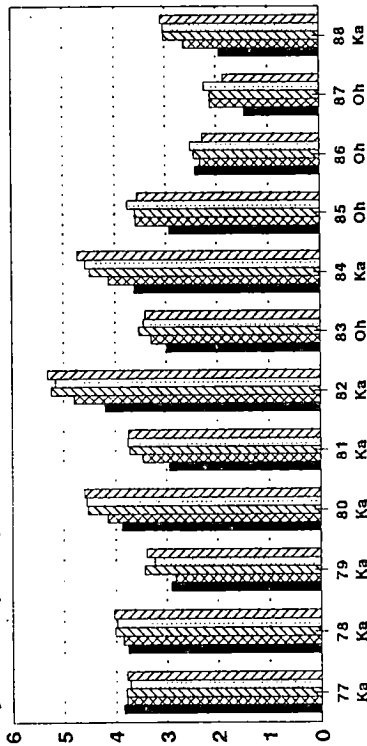
Koe 27



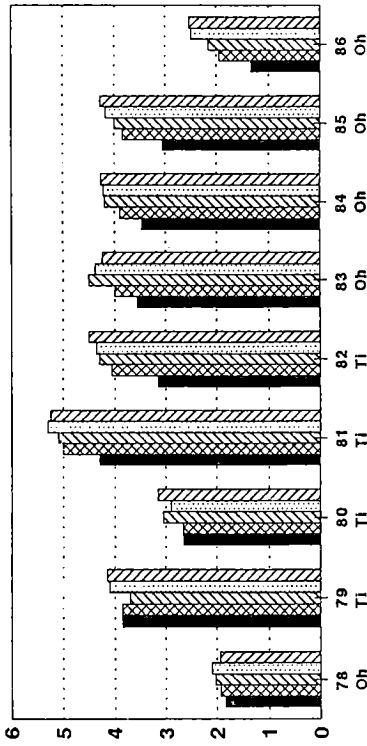
Koe 28



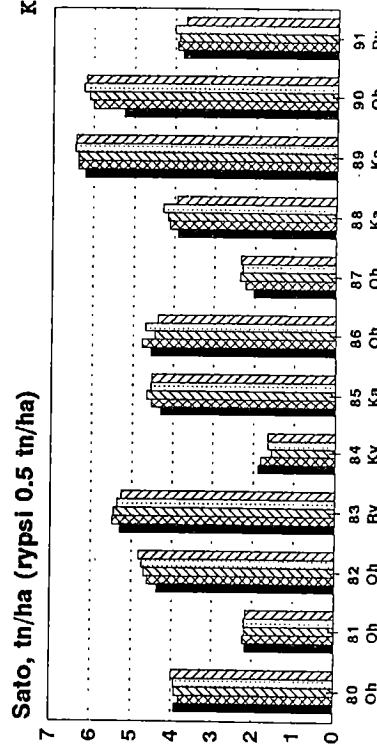
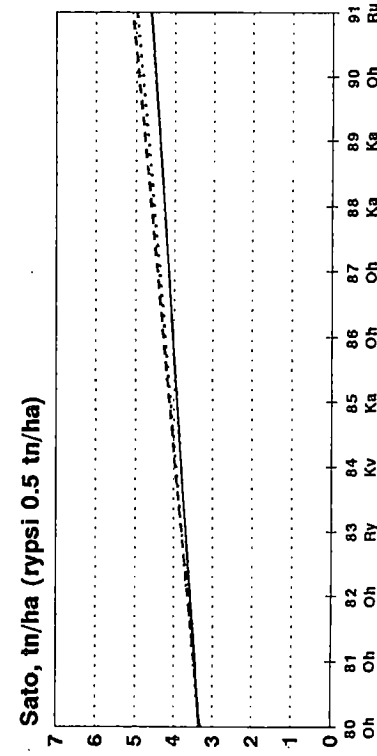
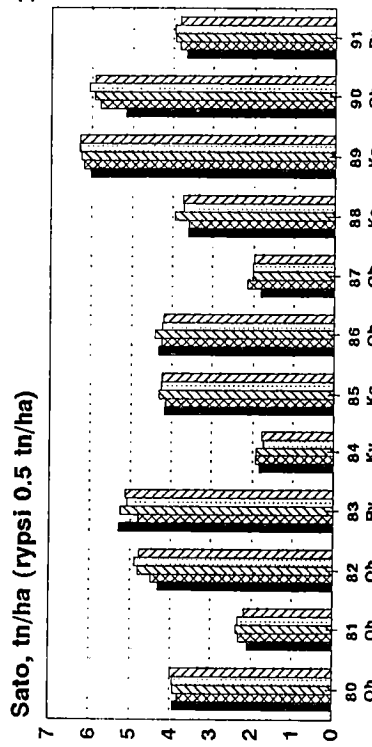
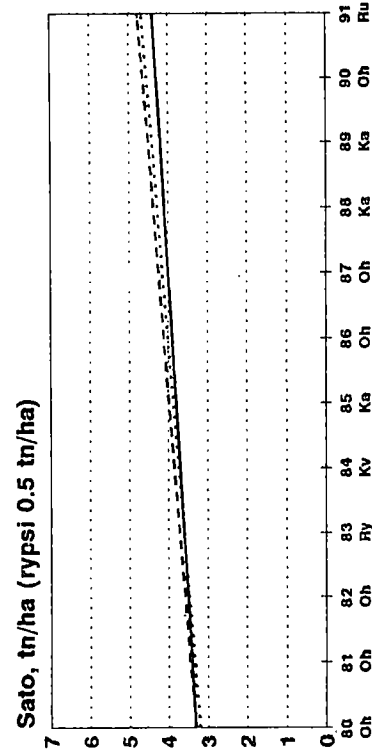
Jyväsaato (tn/ha)



Sato, tn/ha (nurmi 2 tn/ha)

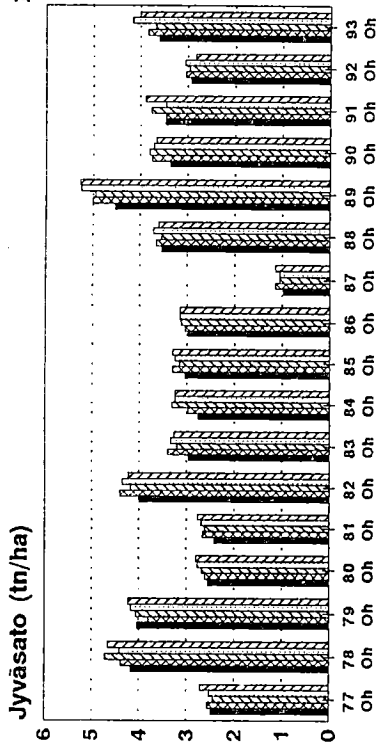
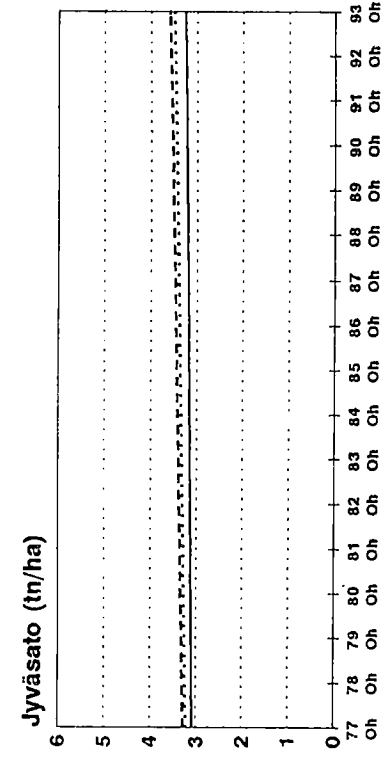


Liite 5. Satotason kehittyminen kokeissa 29 ja 29,5.
 Appendix 5. Yields in experiments 29 and 29,5.

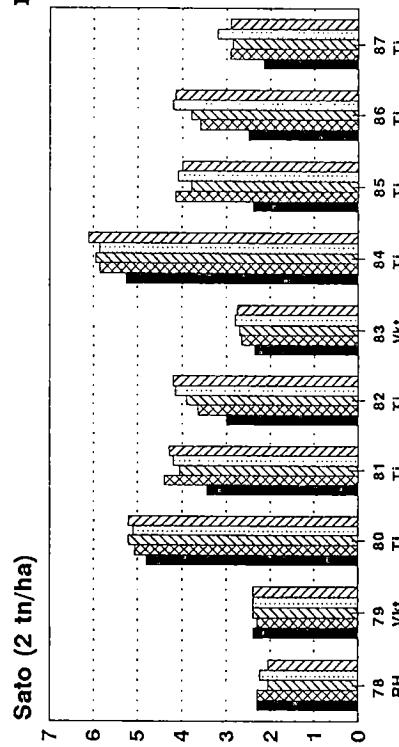
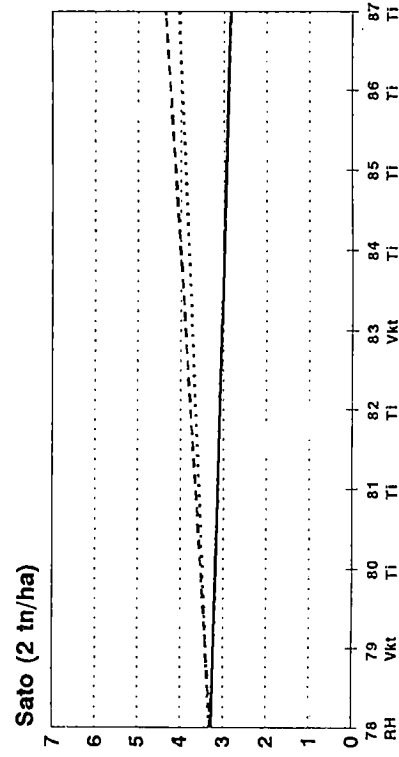


Liite 5. Satotason kehittyminen kokeissa 30 ja 31
 Appendix 5. Yields in experiments 30 and 31.

Koe 30

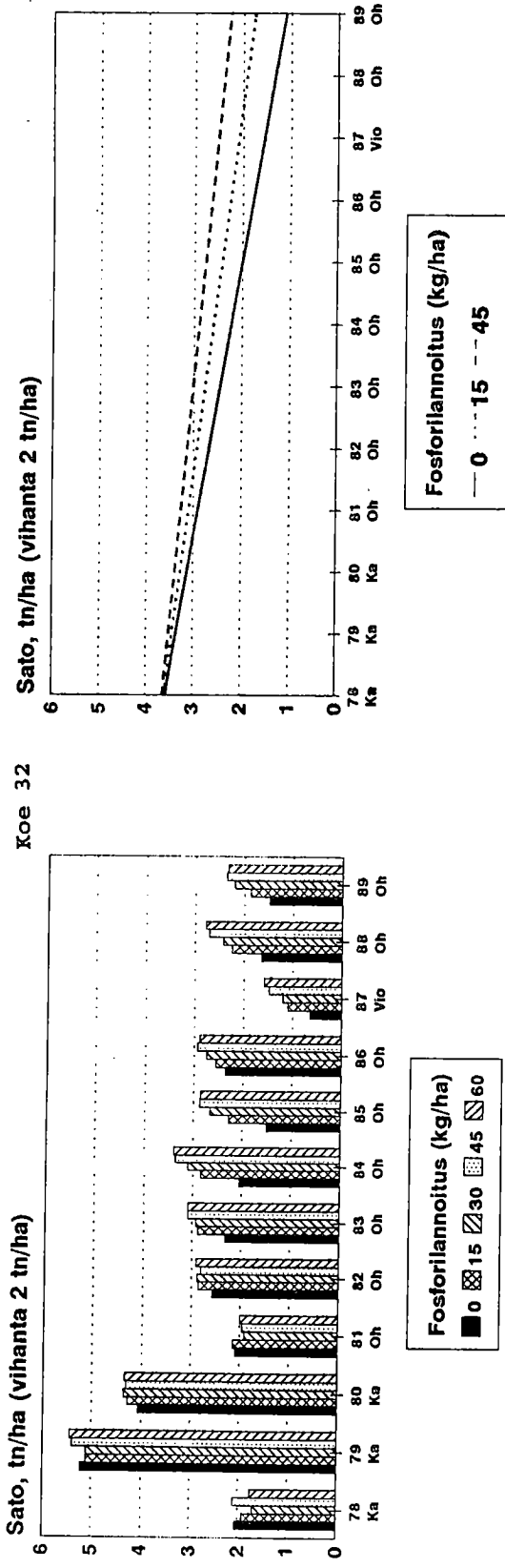


Koe 31

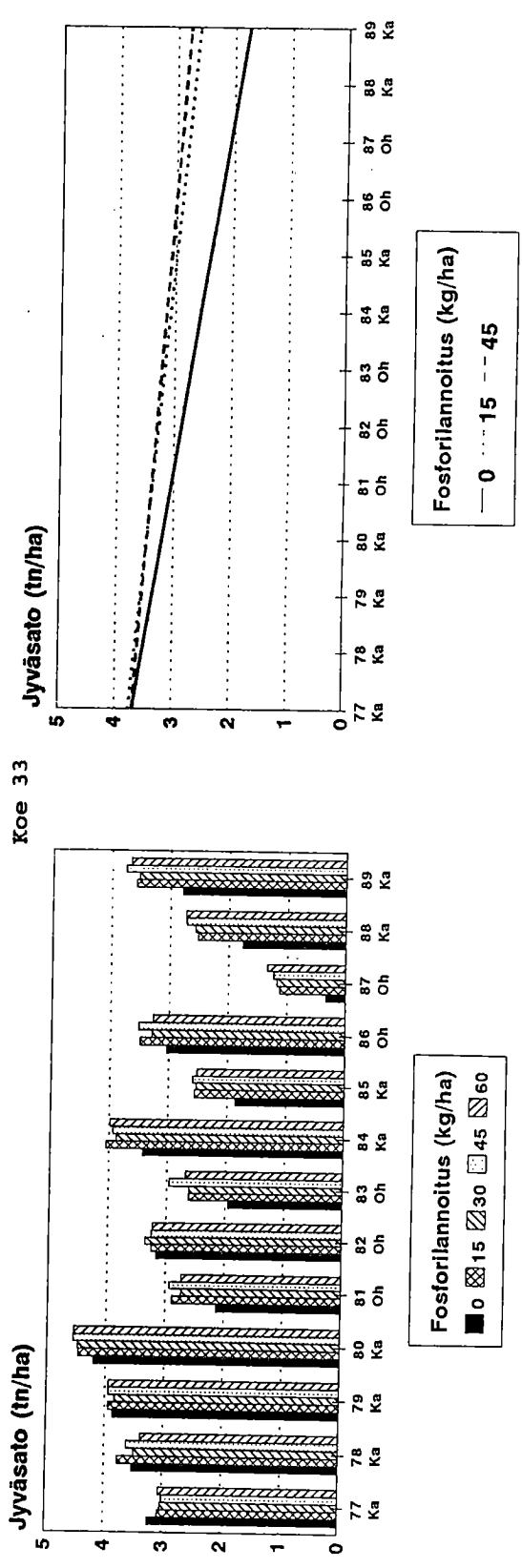


Liite 5. Satotason kehittymisen kokeissa 32 ja 33.
Appendix 5. Yields in experiments 32 and 33.

Koe 32



Koe 33



Liite 6. Perunan sato, ravinteet ja tärkkelys.
Appendix 6. Yield, nutrients and starch in potato.

Koe Exp.	vuosi year	P-lann. P sij. P fert. P pl.	kg/ha kg/ha kg/ha kg/ha	Sato Yield tons/ha	Sadon P P yield kg/ha	Sadon P P in DM g/kg	Sadon K K in DM g/kg	Sadon N N in DM g/kg	Sadon Mg Mg in DM g/kg	Tärkkelys % Starch %	kg/ha kg/ha
25	81	0	0	25.9	19.6	3.31	28.5	13.0	.93	17.0	4407
			25	24.6	16.5	2.91	28.4	13.4	.92	17.0	4186
			50	25.9	19.3	3.27	28.6	13.4	.96	17.2	4452
			75	27.6	19.9	3.11	28.1	12.5	.93	17.5	4836
			100	26.3	19.3	3.18	28.6	13.4	.91	17.1	4521
				26.1	18.9	3.15	28.4	13.1	.93	17.1	4480
25	82	0	0	32.9	19.1	2.59	28.5	14.0	1.04	18.7	6142
			25	32.9	18.4	2.47	27.8	13.5	1.00	18.6	6118
			50	33.8	20.4	2.70	30.2	13.6	1.08	18.7	6325
			75	32.1	19.1	2.65	28.2	14.0	1.03	18.6	5972
			100	34.0	20.9	2.76	29.4	14.3	1.08	18.6	6326
				33.1	19.6	2.63	28.8	13.9	1.04	18.6	6177
25	83	0	0	28.0	11.4	1.64	25.3	14.7	1.18	20.4	5720
			25	30.8	13.0	1.65	25.5	13.0	1.12	20.9	6432
			50	31.1	13.9	1.72	26.1	14.0	1.16	21.3	6633
			75	31.3	13.3	1.67	25.1	14.0	1.16	21.0	6549
			100	30.8	14.2	1.77	25.5	13.7	1.16	21.9	6762
				30.4	13.2	1.69	25.5	13.9	1.15	21.1	6419
25	84	0	0	30.1	12.5	2.02	25.1	14.9	1.23	18.4	5538
			25	30.0	12.4	1.99	23.9	14.9	1.14	19.0	5714
			50	30.1	13.6	2.13	25.7	14.1	1.23	18.5	5564
			75	29.5	13.8	2.21	25.4	14.2	1.21	19.0	5610
			100	30.9	14.5	2.26	24.3	14.8	1.18	18.4	5698
				30.1	13.4	2.12	24.9	14.6	1.20	18.7	5625
25	86	0	0	34.8	22.4	2.77	24.1	11.3	1.09	19.6	6821
			25	36.0	21.2	2.54	24.1	11.4	1.06	19.5	7039
			50	35.7	21.9	2.64	25.3	12.0	1.06	20.0	7126
			75	35.6	21.0	2.55	25.0	11.2	1.05	19.7	7026
			100	35.7	21.5	2.60	25.2	10.9	1.08	19.7	7012
				35.6	21.6	2.62	24.7	11.4	1.07	19.7	7005
25	90	0	0	33.0	17.3	1.92	18.4	10.4	.80	23.2	7665
			25	30.0	17.3	2.05	18.3	9.3	.80	23.1	6921
			0	33.3	17.6	1.94	17.9	9.7	.76	23.3	7752
			75	31.2	18.5	2.02	17.8	9.0	.74	23.5	7309
			0	32.5	18.9	2.09	17.9	9.2	.76	23.2	7540
				32.0	17.9	2.00	18.1	9.5	.77	23.3	7437
25	90	80	0	33.2	16.5	1.92	19.1	10.0	.76	22.4	7448
			25	31.4	16.4	1.99	18.8	9.6	.72	22.1	6922
			0	34.0	17.4	1.91	17.8	9.3	.69	22.1	7500
			75	31.5	16.8	1.97	17.8	8.5	.68	22.7	7143
			0	33.5	18.7	2.04	18.4	9.4	.71	22.2	7440
				32.7	17.2	1.97	18.4	9.3	.71	22.3	7291
25	91	0	0	29.4	17.5	2.21	21.8	11.1	.88	23.8	6980
			25	27.8	16.0	2.18	21.5	11.3	.86	23.4	6506
			0	29.0	16.4	2.13	22.1	12.5	.85	23.2	6710
			75	27.7	16.7	2.27	21.9	12.5	.85	22.8	6321
			0	27.8	16.9	2.23	21.5	13.3	.85	23.4	6525
				28.3	16.7	2.20	21.7	12.1	.86	23.3	6608

Liite 6.
Appendix 6.

Koe vuosi	P-lann.	Sato	Sadon P	Sadon P	Sadon K	Sadon N	Sadon Mg	Tärkkelys	
Exp. year	P fert.	Yield	P yield	P in DM	K in DM	N in DM	Mg in DM	%	kg/ha
P pl.	kg/ha	tn/ha	kg/ha	g/kg ka	g/kg ka	g/kg ka	g/kg ka	Starch	kg/ha
	kg/ha	tons/ha	kg/ha	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	%	kg/ha
25 92 0	0	33.6	17.8	1.99	22.3	9.2	.92	23.0	7721
	25	33.0	18.3	2.09	23.4	9.5	1.02	22.6	7446
	0	35.0	17.9	1.94	22.4	9.5	.98	22.9	8005
	75	32.7	18.8	2.16	23.7	9.4	1.00	22.9	7485
	0	34.1	19.7	2.23	23.9	9.5	1.02	22.5	7682
		33.7	18.5	2.08	23.1	9.4	.99	22.8	7668
25 92 80	0	36.6	22.5	2.34	23.7	8.8	.97	23.1	8461
	25	34.8	21.7	2.36	24.3	9.7	.98	23.3	8099
	0	36.7	22.9	2.29	23.1	8.5	.94	23.1	8499
	75	35.3	23.6	2.49	23.3	9.0	.98	22.9	8084
	100	36.9	22.9	2.29	22.9	8.5	.93	23.0	8502
		36.1	22.7	2.35	23.5	8.9	.96	23.1	8329
35 87 0	0	38.0	21.4	2.62	21.7	10.5	1.01	18.2	6896
	50	39.4	21.9	2.59	21.2	10.5	.99	18.2	7131
	100	38.5	21.3	2.53	20.9	10.2	.96	18.2	6983
		38.6	21.5	2.58	21.2	10.4	.99	18.2	7003
35 88 0	0	30.0	16.2	2.43	20.4	12.2	.94	17.7	5283
	50	31.0	17.8	2.61	20.9	12.3	.92	17.6	5446
	100	31.5	18.0	2.58	20.5	12.3	.91	17.8	5622
		30.8	17.4	2.54	20.6	12.3	.92	17.7	5450
35 89 0	0	35.6	18.2	2.04	18.9	10.5	.99	21.4	7606
	50	36.5	20.7	2.26	18.7	10.9	.99	21.1	7703
	100	36.8	21.4	2.33	18.6	10.9	.97	21.3	7831
		36.3	20.1	2.21	18.7	10.8	.98	21.3	7714

Liite 7. Nurmen kuiva-ainesato ja sen ravinteet. Lannoituksen vaikutuksen tilastollinen merkitsevyys tähdillä kuten liitteessä 2.
 Appendix 7. Dry matter yield and its nutrients in lay. Statistical significance with asterisks as in Appendix 2.

Koe Exp.	P-lann. kg/ha P fert. kg/ha	Koe- vuosi Exp. year	Sato kg/ha DM yield kg/ha	Sadon P kg/ha P yield kg/ha	P-pit. g/kg P cont. g/kg	N-pit. g/kg N cont. g/kg	K-pit. g/kg K cont. g/kg	Ca-pit. g/kg Ca cont. g/kg	Mg-pit. g/kg Mg cont. g/kg
14	0	12	7379	26.2	3.38	27.4	36.3	4.06	2.23
	15	12	7145	25.9	3.44	27.6	36.7	4.03	2.18
	30	12	7508	26.9	3.42	27.2	36.9	4.07	2.17
	45	12	7187	26.7	3.52	27.2	38.3	4.09	2.12
	60	12	7328	26.3	3.42	27.2	36.9	4.04	2.16
			-	-	**	-	**	-	-
14.5	0	12	6978	24.7	3.35	27.5	35.9	4.15	2.20
	15	12	7231	26.0	3.40	27.6	36.6	4.13	2.19
	30	12	7289	26.0	3.40	27.2	36.6	4.15	2.14
	45	12	7239	26.6	3.48	27.3	37.8	4.11	2.13
	60	12	7251	26.3	3.46	27.5	37.0	4.17	2.17
			*	**	*	**	-	-	-
18	0	14	11617	21.1	1.87	18.9	25.5	2.41	1.07
	15	14	12253	23.2	1.95	17.2	24.8	2.55	1.09
	30	14	13124	27.0	2.11	17.2	24.7	2.60	1.10
	45	14	13093	29.2	2.27	16.8	25.0	2.64	1.10
	60	14	13476	31.8	2.41	17.3	24.4	2.72	1.10
			***	***	***	***	-	**	-
19	0	3	6835	23.6	3.36	28.2	38.1	4.58	1.42
	15	3	7394	26.3	3.48	28.0	38.8	4.79	1.38
	30	3	7367	27.2	3.58	28.1	39.1	4.77	1.37
	45	3	7323	26.9	3.57	27.7	39.2	4.66	1.33
	60	3	7259	27.3	3.66	27.7	39.8	4.75	1.34
			*	***	***	-	*	-	**
19	0	10	8366	20.6	2.53	19.0	28.6	5.89	1.57
	15	10	8476	21.6	2.60	19.2	28.5	6.29	1.56
	30	10	9065	24.7	2.77	19.3	29.7	6.41	1.57
	45	10	8805	23.6	2.73	18.6	29.4	6.19	1.49
	60	10	8700	23.5	2.77	18.4	29.8	6.20	1.47
			*	**	***	-	-	-	**
24	0	3	5483	14.5	2.60	24.5	28.1	2.73	1.16
	15	3	5572	16.2	2.84	24.7	29.2	2.84	1.13
	30	3	5609	17.4	3.01	24.9	29.2	3.05	1.16
	45	3	5894	18.3	3.07	24.8	29.1	3.01	1.12
	60	3	5696	18.8	3.23	25.3	29.0	3.09	1.15
			-	**	**	-	-	**	-
24	0	9	6300	14.1	2.24	28.5	26.0	3.11	1.69
	15	9	6830	16.4	2.39	30.1	26.0	3.54	1.64
	30	9	7070	17.3	2.40	27.9	22.9	3.64	1.59
	45	9	7480	21.3	2.80	27.7	23.7	4.51	1.93
	60	9	7620	22.8	2.96	28.3	23.5	4.23	1.60
			***	***	***	-	*	***	-
25	0	8	6983	16.3	2.44	24.0	27.2	8.53	1.79
	15	8	7078	17.2	2.53	23.1	26.5	8.51	1.72
	30	8	7376	18.3	2.58	24.6	27.7	9.16	1.87
	45	8	6591	16.5	2.60	24.5	27.5	9.10	1.78
	60	8	7400	18.5	2.59	25.1	28.0	9.34	1.84
			-	-	-	-	-	-	-
28	0	3	6986	20.6	3.06	31.4	39.3	3.06	1.26
	15	3	7754	21.7	2.89	30.5	39.5	3.22	1.20
	30	3	8274	25.1	3.12	30.4	39.8	3.37	1.16
	45	3	8314	26.4	3.26	30.9	40.3	3.58	1.15
	60	3	8522	27.3	3.26	30.3	39.2	3.44	1.09
			***	***	**	***	-	***	*

Liite 7.
Appendix 7.

Koe Exp.	P-lann. kg/ha P fert. kg/ha	Koe- vuosi Exp. year	Sato kg/ha DM yield kg/ha	Sadon P kg/ha P yield kg/ha	P-pit. g/kg P cont. g/kg	N-pit. g/kg N cont. g/kg	K-pit. g/kg K cont. g/kg	Ca-pit. g/kg Ca cont. g/kg	Mg-pit. g/kg Mg cont. g/kg
31	0	4	7508	19.0	2.60	23.0	26.4	2.66	1.50
	15	4	8623	26.4	3.12	22.6	25.9	2.70	1.50
	30	4	8862	30.3	3.50	21.9	26.4	2.84	1.46
	45	4	8948	32.0	3.65	22.4	26.3	2.99	1.47
	60	4	9137	33.2	3.74	22.0	26.3	2.98	1.41
			***	***	***	*	-	***	-
31	0	8	6117	12.1	2.12	22.0	26.1	2.32	1.22
	15	8	8250	19.3	2.41	20.7	26.8	2.68	1.38
	30	8	8189	23.7	2.97	19.8	27.2	2.72	1.30
	45	8	8677	26.3	3.12	19.7	26.7	2.82	1.24
	60	8	8563	27.6	3.30	19.9	26.4	2.99	1.27
			***	***	***	-	-	***	-
34	0	2	9195	25.0	2.70	21.3	31.0	2.02	1.03
	15	2	9075	27.6	3.03	20.8	31.7	2.05	1.00
	30	2	9211	29.0	3.13	20.5	31.1	2.10	1.01
	45	2	9617	31.5	3.27	21.3	31.4	2.26	1.03
	60	2	9540	31.2	3.27	21.0	31.3	2.19	.99
			-	***	***	-	-	***	-

Liite 8. Rivilannoittimella erikseen sijoitetun superfosfaatin (P-SF) ja kylvölannoituksessa NPK-lannoitteena sijoitetun fosforin sekä vuosina 1977-1988 annetun superfosfaatin vaikutus vilja- ja rypsisatoon. Tilastollisesti alle 95 % todennäköisyydellä eroavat saman vuoden sadot merkitty samoilla kirjaimilla.

Appendix 8. Yields of cereals and turnip rape as affected by superphosphate row applied separately (P-SF) and NPK fertilizers placed in the same operation with seeds as well as residual phosphorus applied in 1977-1988. Yields of the same year differing with a probability of less than 95 % marked with common letters.

Koe Kasvi Exp. Year Crop	Vuosi Treat- ment	Fosforilannoitus, kg/ha/v			Sato, kg/ha		Sadon suhdeluku	
		1977-88 Phosphorus rates, 1977-88	P-SF P-SF	P-NPK P-NPK	NK Yield, kg/ha NK	NPK NPK	NK Relative yield NK	NPK NPK
11 1992 Rypsi	0	0	0	25	1260a	1430ab	75	85
	1	15	15	25	1570 b	1550 bc	93	92
	2	30	0	25	1210a	1580 bc	72	94
	3	45	45	25	1700 c	1680 c	101	100
	4	60	0	25	1550 bc	1590 bc	92	95
		30	12	25	1458	1566	87	93
11 1993 K.vehnä	0	0	0	20	3880a	4040ab	83	87
	1	15	15	20	4110ab	4210ab	88	90
	2	30	0	20	4190ab	4360ab	90	94
	3	45	45	20	4520 b	4660 b	97	100
	4	60	0	20	4090ab	4610 b	88	99
		30	12	20	4158	4376	89	94
11 1994 K.vehnä	0	0	0	25	3740a	4100b	86	94
	1	15	15	25	4040ab	4300b	93	99
	2	30	0	25	3980ab	4190b	91	96
	3	45	45	25	4260 b	4350b	98	100
	4	60	0	25	4200 b	4480b	97	103
		30	12	25	4044	4284	93	98
14 1994 K.vehnä	0	0	0	34	5070a	5290ab	94	98
	1	15	0	34	5270ab	5370 b	98	100
	2	30	0	34	5370 b	5430 b	100	101
	3	45	0	34	5470 b	5390 b	101	100
	4	60	0	34	5360 b	5370 b	99	100
		30	0	34	5308	5370	98	100
14.5 1994 K.vehnä	0	0	0	34	5380ab	5500 b	99	102
	1	15	0	34	5200a	5340ab	96	99
	2	30	0	34	5410ab	5400ab	100	100
	3	45	0	34	5430ab	5410ab	100	100
	4	60	0	34	5320ab	5440ab	98	101
		30	0	34	5348	5418	99	100
15 1992 K.vehnä	0	0	0	20	2670a	2930ab	75	83
	1	15	15	20	2870ab	2770ab	81	78
	2	30	0	20	2890ab	3100ab	82	88
	3	45	45	20	3550 b	3540 b	100	100
	4	60	0	20	3330ab	3390ab	94	96
		30	12	20	3062	3146	86	89
15 1993 Kaura	0	0	0	16	6040a	6460ab	92	99
	1	15	15	16	6360ab	6520ab	97	100
	2	30	0	16	6240ab	6380ab	95	98
	3	45	45	16	6780 b	6540ab	104	100
	4	60	0	16	6160ab	6630ab	94	101
		30	12	16	6316	6506	97	99
15 1994 Rypsi	0	0	0	18	1430a	1670bc	79	92
	1	15	15	18	1690 c	1750 cd	93	97
	2	30	0	18	1520ab	1660bc	84	92
	3	45	45	18	1940 d	1810 cd	107	100
	4	60	0	18	1670 bc	1820 cd	92	101
		30	12	18	1650	1742	91	96

Liite 8.
Appendix 8.

Koe Kasvi Exp. Year Crop	Vuosi Year	Koe- jäsen Treat- ment	Fosforilannoitus, kg/ha/v 1977-88 P-SF P-NPK Phosphorus rates, kg/ha/a 1977-88 P-SF P-NPK			Sato, kg/ha NK NPK Yield, kg/ha NK NPK		Sadon suhdeluku NK NPK Relative yield NK NPK	
22 Ohra	1992	0	0	0	25	1650a	3610 d	37	81
		1	15	15	25	3450 cd	4360 e	78	98
		2	30	0	25	2210b	4230 e	50	95
		3	45	45	25	4200 e	4440 e	95	100
		4	60	0	25	3170 c	4320 e	71	97
			30	12	25	2936	4192	66	94
26 Ohra	1992	0	0	0	20	3020ab	3050ab	91	92
		1	15	15	20	2920a	3100 b	88	94
		2	30	0	20	3020ab	3070ab	91	93
		3	45	45	20	3270 c	3310 c	99	100
		4	60	0	20	3300 c	3310 c	100	100
			30	12	20	3106	3168	94	96
26 Ohra	1993	0	0	0	20	4930a	5120a	94	98
		1	15	15	20	5120a	5250a	98	100
		2	30	0	20	5150a	5190a	98	99
		3	45	45	20	5370a	5230a	103	100
		4	60	0	20	5180a	5080a	99	97
			30	12	20	5150	5174	98	99
26 Ohra	1994	0	0	0	20	4760a	4850 b	97	99
		1	15	15	20	5040 b	5030 b	103	103
		2	30	0	20	5060 b	5040 b	103	103
		3	45	45	20	4980 b	4900ab	102	100
		4	60	0	20	5040 b	4980 b	103	102
			30	12	20	4976	4960	102	101

Liite 8. Kokeet 11, 15 ja 26 sekä vuodet 1992-94. (Rypsisadot kaksinkertaisina).
 Appendix 8. Experiments 11, 15 and 26, years 1992-94. (Oilseed yields doubled).

Koe Kasvi Exp. Year Crop	Vuosi jäsen Treat- ment	Fosforilannoitus, kg/ha/v			Sato, kg/ha		Sadon suhdeluku	
		1977-88 Phosphorus rates, 1977-88	P-SF P-SF	P-NPK P-NPK	NK Yield, kg/ha NK	NPK NPK	NK Relative yield NK	NPK NPK

Kokeet 11, 15 ja 26. Experiments 11, 15 and 26.

1992	0	0	0	22	2737	2947	81	87
	1	15	15	22	2977	2990	88	88
	2	30	0	22	2777	3110	82	91
	3	45	45	22	3407	3403	100	100
	4	60	0	22	3243	3293	95	97
		30	12	22	3028	3149	89	93
1993	0	0	0	19	4950	5207	90	94
	1	15	15	19	5197	5327	94	97
	2	30	0	19	5193	5310	95	97
	3	45	45	19	5557	5477	101	100
	4	60	0	19	5143	5440	94	99
		30	12	19	5208	5352	95	97
1994	0	0	0	21	3787	4097	87	95
	1	15	15	21	4253	4277	96	99
	2	30	0	21	4027	4183	93	97
	3	45	45	21	4373	4290	102	100
	4	60	0	21	4193	4367	97	102
		30	12	21	4107	4243	95	99

Vuodet 1992-94. Years 1992-94.

11	0	0	0	23	3380	3667	81	89
	1	15	15	23	3763	3870	92	94
	2	30	0	23	3530	3903	84	95
	3	45	45	23	4060	4123	99	100
	4	60	0	23	3797	4090	92	99
		30	12	23	3706	3931	90	95
15	0	0	0	18	3857	4243	82	91
	1	15	15	18	4203	4263	91	92
	2	30	0	18	4057	4267	87	92
	3	45	45	18	4737	4567	104	100
	4	60	0	18	4277	4553	94	99
		30	12	18	4226	4379	91	95
26	0	0	0	20	4237	4340	94	96
	1	15	15	20	4360	4460	96	99
	2	30	0	20	4410	4433	98	98
	3	45	45	20	4540	4480	101	100
	4	60	0	20	4507	4457	101	100
		30	12	20	4411	4434	98	99

Kokeet 11, 15 ja 26 vuosina 1992-94. Experiments 11, 15 and 26 in 1992-94.

0	0	0	20.4	3824	4083	86,2	92,1	
1	15	15	20.4	4109	4198	92,8	94,8	
2	30	0	20.4	3999	4201	89,7	95,1	
3	45	45	20.4	4446	4390	101,2	100,0	
4	60	0	20.4	4193	4367	95,4	99,2	
		30	12	20.4	4114	4247	93,7	96,7

Liite 9. Maan fosforilukujen korjaus pH-luvun ja maalajin mukaan.
Appendix 9. Correction of soil test P values according to pH and soil type. (For soil types, see Table 9.)

Maalaji	Koe	Org. aines %	Saves %	pH-luku (H ₂ O)	pH-kerroin	Maalajikerroin	Korjauskerroin	P-AAC alkuper.	P-AAC korjattu
Soil type	Exp.	Org. matter %	Clay %	pH value (H ₂ O)	pH coefficient	Soil coef. fic.	Corr. coef. fic.	P-AAC original	P-AAC corrected
<i>Monivuotiset kokeet - Long-term experiments</i>									
Jäykkä savi	11	3.3	74	6.5	1.15	1.45	1.66	3.9	6.5
	12	3.6	59	6.2	1.06	1.45	1.54	5.5	8.5
Hieta- ja hiuesavi	13	3.7	35	5.8	.86	1.02	.88	14.1	12.4
	14	4.7	43	6.6	1.19	1.02	1.21	56.6	68.4
	14.5	4.7	43	6.8	1.20	1.02	1.22	56.6	69.1
Savinen hieta	15	2.9	24	5.7	.81	1.56	1.26	8.9	11.3
	16	4.0	12	5.6	.79	1.56	1.24	3.0	3.7
Runsasmult. sav. hieta	17	14.0	25	5.7	1.05	2.00	2.10	9.1	19.1
	18	12.0	27	5.5	.97	2.00	1.93	5.8	11.2
Hiesuinen hiesusavi	19	5.0	33	6.5	1.18	.60	.71	15.2	10.8
	20	4.2	35	5.7	.86	.60	.51	3.7	1.9
Hiesu, hiesuinen hieta	21	4.6	26	6.2	1.10	.55	.61	27.8	16.8
	22	5.1	6	5.6	.79	.55	.43	4.7	2.0
Runsasmultainen hiesu	23	17.0	25	6.0	1.15	.60	.69	6.9	4.8
	24	17.0	18	4.9	.72	.60	.43	7.0	3.0
Hieno (savinen) hieta	25	4.7	10	6.4	1.15	1.10	1.26	60.0	75.8
	26	2.8	8	6.1	1.00	1.10	1.10	14.2	15.6
	27	6.1	5	5.6	.90	1.10	.99	4.6	4.6
Karkea hieta	28	8.0	3	5.5	.86	.42	.36	8.2	3.0
Savinen multamaa	29	39.0	..	5.3	1.05	1.47	1.54	9.2	14.2
	29.5	39.0	..	5.6	1.14	1.47	1.67	9.2	15.4
Hietainen multamaa	30	31.0	10	4.7	.60	1.55	.94	14.8	13.9
Turvemaa	31	26.0	..	4.6	.63	.85	.53	8.0	4.3
	32	43.0	..	4.8	1.12	.85	.96	6.5	6.2
	33	54.0	..	4.8	1.15	.85	.98	5.2	5.1
	34	49.0	..	4.6	1.09	.85	.93	11.2	10.4
Keskiarvo - Mean		14.0	(22.0)	5.7	.98	1.11	1.09	15.0	16.7
<i>Lyhytaikaiset nurmikokeet - Short-term experiments in leys</i>									
Hiesuinen hiesusavi	73	13.0	33	5.4	.97	.60	.58	3.0	1.8
Hieta	65	6.9	14	5.5	.90	1.10	.99	8.6	8.6
Karkea hieta	74	4.3	2	5.9	1.04	.42	.43	17.5	7.6
Runsasm. kark. hieta	75	10.0	2	5.3	.86	.60	.51	4.8	2.5
Savinen multamaa	72	23.0	42	5.9	1.19	1.47	1.75	3.9	6.8
Hiekkainen multamaa	67	28.0	4	5.8	1.18	.56	.66	5.7	3.8
	68	21.0	3	5.9	1.18	.56	.66	12.2	8.1
Hiekkainen turve	71	34.0	..	6.2	0.72	.50	.36	13.2	4.8
Turvemaa	66	54.0	..	5.5	.77	.85	.65	12.3	8.0
	69	54.0	..	5.6	.61	.85	.52	2.0	1.0
Keskiarvo - Mean		26.9	(9.3)	5.7	.92	.76	.72	7.9	5.2

Liite 10. Fosforilannoituksen vaikutus peltokasvien satoon (kg tai ry/ha) eri koepaikoilla suoran mittauksen ja maaperätietoihin perustuvien mallien mukaan.
 Appendix 10. Effect of phosphorus fertilization on yield of field crops (kg or feed units/ha) at experimental sites according to direct measurement and mathematical models based on soil parameters. (For soil types, see Table 9.)

Maalaji Soil type	Koe Exp.	Koe- satoja No of yields	Maan fosfori, mg/l Alkuper. Korjattu Soil P, mg/l Original Corrected	Sato ilman P Yield no P	Sadonlisäys fosforilla Mitattu M-korj. M-alkup. Yield response to P Measured E-corr. E-orig.			
<i>Pitkäaikaiset kokeet - Long-term experiments</i>								
Jäykkä savi	11	18	2.8	4.7	3304	493	465	753
	12	12	5.3	8.1	3068	149	202	268
Hieta-, hiuesavi	13	12	11.3	9.9	2905	158	141	99
	14	15	43.7	52.8	4571	72	21	29
	14.5	15	50.5	61.6	4565	11	-13	-15
Savinen hieta	15	18	7.2	9.0	3777	398	297	391
	16	12	3.5	4.3	3391	275	403	505
Runsasmult. sav. hieta	17	11	8.5	17.8	3333	10	159	314
	18	15	4.6	8.8	4749	313	371	724
Hiesuinen hiesusavi	19	16	9.6	6.8	4189	458	506	472
	20	15	3.0	1.5	1893	1171	1237	748
Hiesu, hiesuinen hieta	21	12	23.5	14.2	2507	120	212	156
	22	16	4.7	2.0	1730	1239	1161	671
Runsasmult. hiesu	23	12	6.9	4.7	1853	635	470	414
	24	9	8.6	3.7	4401	483	697	481
Hieno (savinen) hieta	25	12	41.1	51.9	4209	10	82	179
	26	18	10.2	11.2	3645	291	322	409
	27	12	3.9	3.9	3070	585	522	558
Karkea hieta	28	9	8.4	3.1	3951	967	721	421
Savinen multamaa	29	12	6.7	10.3	3795	164	237	363
	29.5	12	6.5	10.8	3935	189	236	384
Hietainen multamaa	30	17	11.1	10.4	3168	271	331	376
Turvemaa	31	10	6.1	3.2	4284	1057	1072	754
	32	12	5.0	4.8	2359	646	511	557
	33	13	4.0	3.9	2717	484	531	571
	34	4	9.9	9.1	5520	233	292	386
Keskiarvo - Mean		339	12.0	13.2	3432	421	429	427
<i>Lyhytaikaiset nurmikokeet - Short-term experiments in leys</i>								
Hiesuinen hiesusavi	73	2	2.9	1.7	4290	804	711	572
Hieta	65	3	8.1	8.0	5828	328	291	396
Karkea hieta	74	2	17.7	7.7	5298	276	262	244
Runsasm. karkea hieta	75	2	4.7	2.4	4453	463	537	442
Savinen multamaa	72	2	3.7	6.5	4908	293	289	496
Hiekkainen multamaa	67	3	5.0	3.6	4572	693	492	503
	68	1	12.8	9.1	3250	284	326	388
Hiekkainen turve	71	2	12.0	4.3	4501	707	418	340
Turvemaa	66	3	10.7	7.0	5850	683	320	353
	69	3	1.7	.9	3640	1346	1476	956
Keskiarvo - Mean		23	7.5	4.9	4775	631	543	487

Liite 11. Fosforin vaikutus peltokasvien satoon (kg tai ry/ha) suoran mittauksen ja maaperätietoihin perustuvien mallien mukaan.
Appendix 11. Effect of phosphorus fertilization on yield of field crops (kg or feed units/ha) according to direct measurement and mathematical models based on soil parameters.

	Koe- satoja No of yields	Maan fosfori, mg/l		Sato ilman P Yield No P	Sadonlisäys fosforilla		
		Alkuper. Soil P, mg/l Original	Korjattu Corrected		Mitattu Measured	M-korj. E-corr.	M-alkup. E-orig.
Kaikki kasvit - All crops							
Maalaji - Soil type							
Jäykkä savi	30	3.8	6.1	3210	355	360	559
Hieta- ja hiuesavi	42	36.9	43.7	4093	75	43	34
Savinen hieta	30	5.7	7.1	3623	349	340	436
Runsasm. savinen hieta	26	6.2	12.6	4150	184	282	550
Hiesuinen hiesusavi	33	6.2	4.1	3152	803	861	608
Hiesu, hiesuinen hieta	28	12.8	7.3	2063	760	754	450
Runsasmultainen hiesu	21	7.6	4.3	2945	570	567	443
Hieno (savinen) hieta	45	16.6	19.9	3788	297	309	386
Karkea hieta	11	10.1	3.9	4196	841	638	389
Runsasm. karkea hieta	2	4.7	2.4	4453	463	537	442
Savinen multamaa	26	6.4	10.2	3945	186	241	383
Hietainen multamaa	17	11.1	10.4	3168	271	331	376
Hiekkainen multamaa	4	7.0	4.9	4241	591	450	474
Hiekkainen turve	2	12.0	4.3	4501	707	418	340
Turvemaa	45	5.6	4.5	3489	703	673	603
Kasvi - Crop							
Ruis	10	9.3	8.7	2713	170	177	112
Syysvehnä	8	29.6	34.0	4389	46	40	-13
Kevätvehnä	36	12.4	15.6	3059	214	214	242
Ohra	152	11.0	11.4	2935	513	514	489
Kaura	65	7.9	9.5	3642	357	351	392
Herne	4	4.8	7.3	1930	4	121	108
Rypsi	10	14.2	18.3	3624	473	465	594
Peruna	8	42.7	53.6	4337	39	97	218
Nurmi 1	20	12.4	11.7	5842	364	357	336
Nurmi 2	22	12.1	10.7	5225	662	618	618
Nurmi 3	16	11.4	10.4	4268	769	771	722
Nurmi 4	5	7.7	4.6	4130	928	995	758
Viljat - Cereals							
Maalaji - Soil type							
Jäykkä savi	23	3.7	5.9	3447	378	371	580
Hieta- ja hiuesavi	34	35.9	42.2	3758	71	30	0
Savinen hieta	29	5.6	7.1	3649	326	332	425
Runsasm. savinen hieta	22	6.7	13.5	3808	84	207	380
Hiesuinen hiesusavi	22	5.3	3.3	2373	969	939	613
Hiesu, hiesuinen hieta	28	12.8	7.3	2063	760	754	450
Runsasmultainen hiesu	13	6.9	4.6	1982	617	457	397
Hieno (savinen) hieta	32	9.7	10.9	3433	377	377	439
Karkea hieta	5	7.6	2.6	2648	812	820	416
Savinen multamaa	22	6.5	10.4	3780	199	241	380
Hietainen multamaa	17	11.1	10.4	3168	271	331	376
Turvemaa	24	4.5	4.3	2613	533	512	551

(See Table 9.)

Ruis = rye

Syysvehnä = w. wheat

Kevätvehnä = s. wheat

Ohra = barley

Kaura = Oats

Herne = Pea

Rypsi = turnip rape

Peruna = potato

Nurmi = ley

Liite 12. Fosforin vaikutus viljasatoon (kg/ha) koevuosittain ja kalenterivuositain.
 Appendix 12. Effect of phosphorus fertilization on grain yield of cereals (kg/ha) in experimental and calendar years.

	Koe- satoja No of yields	Maan fosfori, mg/l		Sato ilman P Yield No P	Sadonlisäys fosforilla		
		Alkuper. Soil P, mg/l Original	Korjattu Corrected		Mitattu Yield response to P Measured	M-korj. E-corr.	M-alkup. E-orig.
Koevuosi - Experimental year							
1	22	13.5	14.4	3297	135	192	190
2	19	13.7	15.7	3246	217	205	212
3	19	13.3	15.1	3543	236	239	255
4	18	13.2	14.8	3251	252	265	258
5	22	13.5	15.6	2910	321	282	274
6	19	7.5	7.5	3610	563	413	413
7	22	12.3	13.4	3328	465	404	389
8	21	10.6	11.9	3240	438	407	415
9	19	10.8	12.2	3071	363	431	425
10	18	10.4	11.8	3059	238	446	480
11	17	6.6	6.9	2364	506	640	651
12	19	6.3	6.7	2555	518	494	483
13	8	5.7	5.3	2960	895	757	762
14	9	13.1	14.8	3260	703	725	547
15	9	13.5	15.2	3199	867	780	719
16	4	7.9	7.7	2568	948	780	621
17	4	7.4	8.5	4625	585	448	597
18	2	5.2	6.7	4305	305	446	643
Vuosi - Year							
77	10	9.4	8.8	3161	85	203	207
78	17	9.0	8.4	3212	256	228	224
79	15	8.1	8.1	3246	243	273	276
80	20	12.9	14.7	3594	244	261	274
81	20	12.8	14.8	2531	244	273	280
82	20	12.9	14.5	3841	498	299	323
83	19	12.9	14.0	3466	417	374	362
84	21	11.7	12.7	3515	437	388	358
85	19	8.9	9.9	3087	495	458	432
86	19	11.3	12.6	2941	362	499	482
87	18	13.1	15.1	2146	242	443	497
88	20	10.0	11.5	2514	413	435	451
89	17	9.9	11.4	3233	552	592	603
90	10	5.5	6.0	2898	1039	694	678
91	9	5.9	6.2	3256	546	594	599
92	6	6.6	6.0	2248	1002	1174	832
93	7	15.4	18.2	4566	694	539	504
94	4	22.4	27.3	4805	210	218	297

Liite 13. Sadon laatu ja ravinnetase maan fosforilukittain.
Appendix 13. Crop quality and nutrient balance by soil phosphorus levels.

Maan P-luokka Soil P level	Koe-jäsen Treatment	Sato-vuosia Crop years	Maan P mg/l Soil P mg/l	P-Pit. g/kg P cont. g/kg	Valku-ais-% Pro-tein %	Hl-paino g/hl Hl weight g/hl	1000 s paino, g 1000 seed weight g	P-tase kg/ha P ba-lance	N-tase kg/ha N ba-lance	
Ohra-Barley										
0-4	0	28	2.1	3.8	12.3	57.1	29.3	-6.4	37.2	
	1	28	2.4	3.7	11.7	58.7	31.5	6.5	27.1	
	2	28	2.7	3.7	11.6	58.6	31.7	16.9	26.4	
	3	28	3.1	3.8	11.4	59.1	32.7	35.2	21.7	
4	4	28	3.5	3.8	11.4	59.4	32.7	41.7	22.7	
	4-8	0	38	4.2	3.7	12.0	57.5	33.2	-7.3	25.8
		1	38	5.1	3.7	11.6	58.9	34.3	6.4	20.2
		2	38	6.5	3.8	11.6	59.0	34.5	17.8	18.8
3		38	7.3	3.8	11.4	59.1	34.8	35.5	17.1	
4	4	38	8.4	3.9	11.5	59.1	34.8	44.0	17.0	
	8-16	0	64	10.2	4.0	11.8	60.0	33.0	-11.6	14.5
		1	64	12.9	4.1	11.7	61.0	33.8	2.4	11.6
		2	64	15.3	4.1	11.8	60.9	33.9	11.0	10.1
3		64	17.6	4.2	11.9	61.1	34.2	31.6	8.9	
4	4	64	20.3	4.2	11.9	60.9	34.0	34.4	9.3	
	16-	0	23	38.0	4.3	11.9	61.8	34.3	-13.5	12.2
		1	23	39.7	4.3	11.9	61.7	34.1	.8	11.7
		2	23	45.4	4.3	11.9	61.8	34.4	12.1	10.2
3		23	45.1	4.3	11.9	61.9	34.4	29.3	12.1	
4	4	23	44.8	4.3	11.8	62.1	34.6	38.2	11.5	
	Kaura-Oats									
	0-8	0	28	3.9	3.9	13.7	52.4	34.0	-10.3	10.1
		1	28	4.8	3.9	13.2	53.1	33.6	3.3	4.8
2		28	5.4	3.9	13.1	53.0	33.5	17.0	4.7	
3		28	6.2	4.0	12.9	53.2	33.5	32.5	2.0	
4	4	28	6.9	4.0	12.9	53.2	33.5	45.4	3.2	
	8-	0	36	14.0	4.0	13.6	53.4	33.1	-13.7	-11.3
		1	36	16.3	4.0	13.3	53.7	32.9	1.2	-10.7
		2	36	18.5	4.0	13.3	53.7	32.9	13.4	-12.2
3		36	20.6	4.0	13.1	53.7	32.7	30.7	-11.3	
4	4	36	22.6	4.0	13.2	53.9	32.9	40.6	-11.7	
	Leipäviljat-Rye and wheats									
	0-8	0	15	4.0	4.0	12.7	75.9	32.9	-9.8	33.2
		1	15	5.4	4.0	12.7	76.3	33.8	4.5	29.2
2		15	7.1	4.0	12.6	76.3	34.1	11.5	29.9	
3		15	8.0	4.1	12.5	76.3	33.9	34.0	28.9	
4	4	15	9.5	4.0	12.4	76.4	33.9	33.1	28.6	
	8-	0	38	22.5	4.0	13.3	72.3	34.3	-11.3	39.8
		1	38	25.0	4.0	13.2	72.2	34.2	2.3	39.6
		2	38	29.2	4.0	13.2	72.2	34.3	12.7	38.3
3		38	32.1	4.0	13.1	72.1	34.4	29.4	38.0	
4	4	38	34.5	4.1	13.1	72.0	34.2	37.1	39.2	

Liite 13.
Appendix 13.

Maan P-luokka <i>Soil P level</i>	Koe- jäsen <i>Treat- ment</i>	Sato- vuosia <i>Crop years</i>	Maan P mg/l <i>Soil P mg/l</i>	P-Pit. g/kg <i>P cont. g/kg</i>	Valku- ais-% <i>Pro- tein %</i>	P-tase kg/ha <i>P ba- lance</i>	N-tase kg/ha <i>N ba- lance</i>	Öljy-% <i>Oil %</i>
<i>Rypsi-Turnip rape</i>								
0-8	0	2	2.7	8.0	22.2	-7.4	75.1	43.6
	1	2	4.0	8.8	21.1	2.7	60.6	45.9
	2	2	5.6	8.7	20.6	4.4	67.0	46.6
	3	2	7.5	8.8	20.6	32.1	59.2	45.9
	4	2	9.2	9.0	20.7	17.3	60.9	45.1
8-	0	8	22.2	8.1	22.1	-15.0	26.5	44.8
	1	8	24.9	8.5	21.5	-1.1	26.1	45.1
	2	8	29.1	8.6	21.6	9.7	24.4	45.3
	3	8	31.2	8.8	21.6	27.8	23.0	44.9
	4	8	33.1	8.8	21.7	35.7	24.3	45.1
<i>Nurmiheinät-Ley grasses</i>								
0-8	0	20	3.6	2.8	17.1	-17.1	32.9	
	1	20	4.2	3.0	17.0	-5.7	14.8	
	2	20	5.1	3.4	16.7	4.9	13.8	
	3	20	6.0	3.5	16.9	19.8	6.6	
	4	20	7.6	3.7	16.8	30.8	7.1	
8-	0	22	22.0	2.8	14.5	-22.5	-1.7	
	1	22	24.4	2.9	14.2	-10.5	-2.0	
	2	22	30.7	3.0	14.2	-6.9	-8.8	
	3	22	34.3	3.1	14.1	14.3	-5.2	
	4	22	33.4	3.1	14.2	11.4	-7.5	

Liite 14. Vuosittain annettujen fosforimäärien vaikutus peltokasvien rehuyksikkösattoon ja vastaavat mallin mukaiset sadonlisäykset sekä lannoituskustannusten osuudella vähennetyt nettovaikutukset samoin kuin lannoituksen rajatuotos fosforikiloa kohti ja koeajan vaikutus vuotta kohti.

Appendix 14. Effects of different rates of annually applied phosphorus on the feed unit yields of field crops with corresponding effect according to a model as well as net effects after reducing fertilizer costs, as well as the marginal changes in yields per kg P or one year.

Koe- vuosi	P-lk mg/l	P-lann. kg/ha	Koe- satoja	Maan P korj. mg/l	Maan P alkup. mg/l	Sadon- lisä ry/ha	Mallin mukaan ry/ha	Netto- vaik. ry/ha	P:n tuot. ry/kg	Ajan vaik. ry/v.
Exp. year	P class mg/l	P fert. kg/ha	Exp. yields	Soil P corr. mg/l	Soil P orig. mg/l	Yield incr. fu/ha	Model incr. fu/ha	Net incr. fu/ha	Effect of P fu/kg	Effect of time fu/year
v. 1-7, P 0-4		0.00	24	2.5	5.8	0	0	0	35.1	0.0
		15.00	24	2.5	5.9	496	428	263	24.3	94.0
		30.00	24	2.7	6.3	690	658	328	14.4	156.1
		45.00	24	2.9	6.6	766	763	268	6.3	197.7
		60.00	24	3.1	7.3	847	727	67	- .8	213.0
v. 1-7, P 4-8		0.00	49	4.5	5.3	0	0	0	19.3	0.0
		15.00	49	5.2	6.0	258	219	60	12.7	38.8
		30.00	49	5.9	7.0	341	333	14	7.8	61.9
		45.00	49	6.5	7.7	403	386	-92	4.1	76.7
		60.00	49	7.3	8.8	442	389	-249	1.0	84.0
v. 1-7, P 8-16		0.00	68	10.3	8.9	0	0	0	8.4	0.0
		15.00	68	11.6	10.1	105	102	-54	6.0	15.2
		30.00	68	12.9	11.2	184	166	-145	4.1	25.3
		45.00	68	13.6	11.7	204	208	-259	2.5	34.0
		60.00	68	14.8	12.6	204	220	-402	1.0	38.7
v. 1-7, P 16-		0.00	34	46.0	39.1	0	0	0	4.7	0.0
		15.00	34	48.6	41.6	46	56	-97	2.9	6.1
		30.00	34	53.1	45.6	88	83	-223	1.2	10.5
		45.00	34	55.4	47.2	57	82	-376	- .6	13.6
		60.00	34	54.0	46.3	94	63	-548	-2.1	16.2
v. 8-18, P 0-4		0.00	19	1.9	4.1	0	0	0	92.0	0.0
		15.00	19	2.5	5.5	865	907	746	54.2	75.9
		30.00	19	3.1	6.7	1138	1324	1002	33.8	113.7
		45.00	19	3.8	8.1	1377	1464	981	19.4	128.6
		60.00	19	4.5	9.5	1413	1469	825	9.2	132.0
v. 8-18, P 4-8		0.00	39	3.7	3.9	0	0	0	49.0	0.0
		15.00	39	5.2	5.3	581	476	319	28.4	40.0
		30.00	39	7.2	7.4	674	625	311	16.2	51.5
		45.00	39	8.5	8.7	794	720	249	10.0	59.7
		60.00	39	10.5	10.8	768	705	76	5.1	58.2
v. 8-18, P 8-16		0.00	73	8.7	7.8	0	0	0	21.8	0.0
		15.00	73	11.7	10.6	188	227	70	13.7	16.2
		30.00	73	14.7	13.2	318	333	20	8.7	23.6
		45.00	73	17.7	15.7	369	388	-81	5.4	27.8
		60.00	73	21.1	18.7	345	389	-238	2.6	28.3
v. 8-18, P 16-		0.00	28	39.5	32.0	0	0	0	7.8	0.0
		15.00	28	43.2	35.0	-11	94	-55	5.3	5.9
		30.00	28	53.0	43.0	31	138	-160	2.6	9.2
		45.00	28	58.3	47.2	10	141	-306	.2	11.0
		60.00	28	60.2	48.7	20	119	-477	-2.0	12.3

Liite 14. Vuosittain annettujen fosforimäärien vaikutus viljasatoon ja vastaavat mallin mukaiset sadonlisäykset sekä lannoituskustannusten osuudella vähennetyt nettovaikutukset samoin kuin lannoituksen rajatuotos fosforikiloa kohti ja koeajan vaikutus vuotta kohti.
 Appendix 14. Effects of different rates of annually applied phosphorus on grain yields of cereals with corresponding effect according to a model as well as net effects after reducing fertilizer costs, as well as the marginal changes in yields per kg P or one year.

Koe- vuosi	P-lk mg/l	P-lann. kg/ha	Koe- satoja	Maan P korj. mg/l	Maan P alkup. mg/l	Sadon- lisä kg/ha	Mallin mukaan kg/ha	Netto- vaik. kg/ha	P:n tuot. kg/kg	Ajan vaik. kg/v.
Exp. year	P class mg/l	P fert. kg/ha	Exp. yields	Soil P corr. mg/l	Soil P orig. mg/l	Yield incr. kg/ha	Model incr. kg/ha	Net incr. kg/ha	Effect of P kg/kg	Effect of time kg/year
v. 1-7, P 0-4		0.00	19	2.1	4.9	0	0	0	36.9	0.0
		15.00	19	2.3	5.2	487	437	272	24.9	94.9
		30.00	19	2.5	5.7	648	662	332	14.6	157.1
		45.00	19	2.7	6.0	762	760	265	6.4	199.7
		60.00	19	2.9	6.7	796	713	53	-6.6	215.8
v. 1-7, P 4-8		0.00	39	4.7	4.6	0	0	0	16.2	0.0
		15.00	39	5.3	5.1	224	189	31	11.0	33.0
		30.00	39	6.0	5.9	315	292	-24	7.0	54.0
		45.00	39	6.5	6.4	364	349	-126	3.9	69.7
		60.00	39	7.0	6.9	415	363	-269	1.3	80.1
v. 1-7, P 8-16		0.00	55	10.6	9.0	0	0	0	8.4	0.0
		15.00	55	12.0	10.2	120	101	-55	6.0	14.0
		30.00	55	13.2	11.2	196	165	-147	4.1	23.6
		45.00	55	14.1	11.9	215	206	-262	2.6	31.3
		60.00	55	15.5	12.9	218	219	-405	1.1	35.7
v. 1-7, P 16-		0.00	27	42.2	36.6	0	0	0	4.7	0.0
		15.00	27	44.2	38.7	43	57	-100	3.1	6.3
		30.00	27	48.4	42.5	71	87	-226	1.4	11.1
		45.00	27	49.7	43.3	53	92	-378	-2.2	14.7
		60.00	27	48.7	42.8	90	78	-549	-1.7	17.5
v. 8-18, P 0-4		0.00	17	1.8	4.0	0	0	0	92.2	0.0
		15.00	17	2.5	5.4	858	903	743	54.1	73.5
		30.00	17	3.1	6.6	1153	1304	985	33.7	109.1
		45.00	17	3.8	8.1	1396	1441	962	19.7	123.6
		60.00	17	4.6	9.7	1430	1429	790	9.9	125.3
v. 8-18, P 4-8		0.00	34	3.9	3.9	0	0	0	39.7	0.0
		15.00	34	5.3	5.2	498	415	259	25.1	33.6
		30.00	34	7.2	7.0	613	578	266	15.3	46.4
		45.00	34	8.5	8.1	708	689	221	10.0	56.3
		60.00	34	10.2	9.8	696	695	72	5.5	57.1
v. 8-18, P 8-16		0.00	62	9.0	8.2	0	0	0	18.6	0.0
		15.00	62	12.1	11.1	178	196	42	11.9	13.6
		30.00	62	15.2	13.7	281	296	-12	8.0	20.5
		45.00	62	18.4	16.5	330	345	-117	5.1	24.2
		60.00	62	21.9	19.6	314	353	-264	2.8	25.5
v. 8-18, P 16-		0.00	17	35.7	29.0	0	0	0	6.7	0.0
		15.00	17	39.6	32.3	-63	82	-65	4.7	5.1
		30.00	17	48.7	39.8	27	125	-168	2.6	8.5
		45.00	17	51.1	41.6	16	141	-298	.8	11.1
		60.00	17	55.0	44.6	-19	120	-466	-1.1	12.4

Liite 14. Vuosittain annettujen fosforimäärien vaikutus ohrasatoon ja vastaavat mallin mukaiset sadonlisäykset sekä lannoituskustannusten osuudella vähennetyt nettovaikutukset samoin kuin lannoituksen rajatuotos fosforikiloa kohti ja koeajan vaikutus vuotta kohti.
 Appendix 14. Effects of different rates of annually applied phosphorus on grain yields of barley with corresponding effect according to a model as well as net effects after reducing fertilizer costs, as well as the marginal changes in yields per kg P or one year.

Koe- vuosi	P-lk mg/l	P-lann. kg/ha	Koe- satoja	Maan P korj. mg/l	Maan P alkup. mg/l	Sadon- lisä kg/ha	Mallin mukaan kg/ha	Netto- vaik. kg/ha	P:n tuot. kg/kg	Ajan vaik. kg/v.
Exp. year	P class mg/l	P fert. kg/ha	Exp. yields	Soil P corr. mg/l	Soil P orig. mg/l	Yield incr. kg/ha	Model incr. kg/ha	Net incr. kg/ha	Effect of P kg/kg	Effect of time kg/year
v. 1-7, P 0-4		0.00	16	2.1	4.9	0	0	0	40.3	0.0
		15.00	16	2.2	5.2	510	480	315	27.4	102.3
		30.00	16	2.4	5.7	714	726	396	16.0	168.1
		45.00	16	2.6	6.1	804	826	331	7.1	210.0
		60.00	16	2.9	6.8	858	779	119	- .6	227.6
v. 1-7, P 4-8		0.00	19	4.4	4.9	0	0	0	22.7	0.0
		15.00	19	5.0	5.4	299	264	99	15.4	42.7
		30.00	19	6.1	6.7	406	386	56	9.2	63.8
		45.00	19	6.6	7.3	472	462	-33	5.1	79.9
		60.00	19	7.4	8.0	526	470	-190	1.5	86.7
v. 1-7, P 8-16		0.00	29	11.2	10.0	0	0	0	9.9	0.0
		15.00	29	12.9	11.6	145	116	-49	6.8	17.1
		30.00	29	14.1	12.9	226	185	-145	4.5	28.0
		45.00	29	14.9	13.5	263	228	-267	2.6	36.0
		60.00	29	16.3	14.7	257	237	-423	.8	39.2
v. 1-7, P 16-		0.00	16	38.8	34.4	0	0	0	5.4	0.0
		15.00	16	39.6	35.7	63	66	-99	3.6	8.2
		30.00	16	43.2	39.1	99	102	-228	1.8	14.0
		45.00	16	42.8	38.7	55	115	-380	.2	18.2
		60.00	16	41.5	38.0	123	108	-552	-1.2	21.1
v. 8-18, P 0-4		0.00	12	2.0	4.5	0	0	0	102.0	0.0
		15.00	12	2.6	5.9	953	1019	854	60.2	83.3
		30.00	12	3.1	7.0	1241	1479	1149	36.6	123.8
		45.00	12	3.7	8.2	1487	1652	1157	20.5	142.2
		60.00	12	4.3	9.6	1527	1615	955	8.6	141.8
v. 8-18, P 4-8		0.00	19	4.0	4.6	0	0	0	50.3	0.0
		15.00	19	5.1	5.8	509	530	365	31.3	43.7
		30.00	19	6.9	7.8	674	719	389	17.9	58.8
		45.00	19	7.9	8.8	817	842	347	10.7	70.0
		60.00	19	9.5	10.5	781	823	163	4.6	68.6
v. 8-18, P 8-16		0.00	35	9.4	9.0	0	0	0	24.0	0.0
		15.00	35	13.0	12.4	254	243	78	14.4	17.2
		30.00	35	16.3	15.5	354	355	25	8.9	24.8
		45.00	35	19.9	18.8	406	398	-97	5.0	27.8
		60.00	35	23.6	22.3	399	388	-272	1.9	27.4
v. 8-18, P 16-		0.00	7	36.2	29.9	0	0	0	8.3	0.0
		15.00	7	40.0	33.2	-14	99	-66	5.6	7.3
		30.00	7	50.6	41.9	20	146	-184	2.9	11.5
		45.00	7	50.3	41.7	- 6	166	-329	.7	14.5
		60.00	7	52.5	43.4	- 4	146	-514	-1.4	15.6

JAKELU: MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS
Kirjasto
31600 JOKIOINEN
puh. (916) 41881, telekopio (916) 4188 339

HINTA: 50 mk (+ alv.)