

SUOMEN MAALAJIEN FOSFORINPIDÄTYSOMINAISUUDET JA NIIDEN MERKITYS VESIEN KUORMITUKSEN KANNALTA

Jouko Sippola ja Into Saarela
Maatalouden tutkimuskeskus

Tiivistelmä

Maan fosforinpidätyskapasiteetti ja liukoisen fosforin tasapainokonsentraatio sekä kokonaisfosfori samoin kuin happamaan ammoniumoksalaattiin ja happamaan ammoniumasetaattiin uuttuva fosfori määritettiin runsaasti liukoista fosforia sisältävästä maanäyteaineistosta. Lisäksi tutkittiin runsaan kalkituksen vaikutusta lisätyn fosforin pidättymiseen sekä maan pinnalle rakeisessa lannoitteessa levitetyn liukoisen fosforin pidättymistä pinta- ja tulvaveteen huuhtoutumattomaksi.

Välitöntä huuhtoutumisriskiä hyvin osoittava liukoisen fosforin tasapainokonsentraatio maanesteessä kasvoi happamaan ammoniumasetaattiin uuttuvan viljavuustutkimuksen helpoliukoisen fosforin pitoisuuden kasvaessa. Arveluttavan korkea konsentraatio 0,5 mg/l liuosta saavutettiin savimaissa fosforipitoisuudessa 70 mg/l maata, karkeissa kivennäismaissa kohdassa 53 mg/l ja eloperäisissä maissa tasolla 14 mg/l, joka on paljon pienempi kuin nykyinen arveluttavan korkean raja. Fosforin huuhtoutumisen estämiseksi viljavuustutkimuksen tulkintaa ja fosforilannoitusta tulisi tarkistaa erityisesti eloperäisten maiden osalta.

Turvemaiden suurempaa kyllästyneisyyttä ja huuhtoutumisen alkamista osoittivat myös niiden jankosta löytyneet korkeat liukoisen fosforin pitoisuudet. Kivennäismaiden jankossa tasapainokonsentraatio oli yleensä pieni huolimatta kyntökerroksen hyvinkin korkeista viljavuusluvuista. Siten esimerkiksi voimakkaasti lannoitetuilla sokerijuuri-kasmailla huuhtoutumisriski näyttää verrattain vähäiseltä ainakin maalajin ollessa hienoa kivennäismaata. Maan fosforinpidätyskapasiteetti riippuu suuresti määritysvasta, erityisesti pidättymisen mittauksessa käytettävästä liuoksen fosforikonsentraatiosta. Maksimaalinen pidätys on suuri, kaikilla maalajeilla keskimäärin yli tuhat kiloa fosforia hehtaarilla kyntökerroksessa.

Kalkituksen vaikutus huuhtoutuvan fosforin pitoisuuteen vaihteli maalajeittain ja maanesteen fosforikonsentraation mukaan. Savimaissa ja niukasti liukoista fosforia sisältävissä karkeissa kivennäismaissa maanesteen fosforipitoisuus kasvoi pH-luvun noustessa, mutta pitkälle kyllästyneissä karkeissa maissa ja eloperäisissä maissa kalkki aiheutti liukoisen fosforin pidättymistä huuhtoutumattomaksi. Maan pinnalle levitetty liukoinen fosfori oli altista huuhtoutumaan, mutta maan fosforinpidätyskapasiteettiin verrattuna kohtuulliset määrät pidättyivät kosteaan maahan melko hyvin muutamassa viikossa.

Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Fosforin kokonaiskäyttö peltoviljelyssä Suomessa on ollut 40-luvun lopulta lähtien suurempi kuin satojen fosforin otto. Seurauksena on ollut maan fosforipitoisuuden jatkuva lisääntyminen. Samalla riski fosforin huuhtoutumisesta vesistöihin on lisääntynyt. Riski on suuri erikoiskasvien kuten sokerijuurikkaan ja perunan viljelyssä. Näille kasveille suositellaan huomattavan paljon fosforia. Riski on erityisen suuri

hyvin läpäisevillä ja fosforia heikosti pidättävillä mailla kuten hiekoilla ja turpeilla. Esimerkkejä fosforin alkaneesta huuhtoutumisesta on olemassa.

Tutkimuksen tavoitteena oli määrittää lannoitefosforin pidättymistä eri maalajeilla kuvaavia tunnuslukuja kuten fosforinpidätyskapasiteettia ja liukoisen fosforin määrää. Myös kokonaisfosfori, happamaan ammoniumoksalattiin liukeneva fosfori ja viljavuustutkimuksen helppoliukoinen fosfori määritettiin. Näiden perusteella pyrittiin saamaan kuvaa fosforin huuhtoutumisen riskiasteesta ja luomaan menetelmiä sen määrittämiseen. Pyrittiin myös selvittämään tulisiko viljavuustutkimuksen tulkintaa tarkentaa haitallisen korkean fosforipitoisuuden rajan kohdalla.

Maan kalkitus parantaa usein kasvien fosforin saantia, mutta tämä voi johtua myös happaman maan myrkyllisyyden poistumisen aikaansaamasta juuriston kasvun ja toiminnan tehostumisesta eikä välttämättä edellytä fosforin liukoisuuden lisääntymistä. Liukoisuuden kasvua pH-luvun noustessa osoittavat tilastolliset tutkimukset ovat myös syy ja seuraussuhteiltaan epävarmoja. Eräissä suomalaisilla mailla aikaisemmin tehdyissä laboratoriotutkimuksissa on käytetty pH:n muuttamiseen vahvoja happoja ja emäksiä, jotka eivät nykyisten tietojen valossa lainkaan vastaa maataloudessa käytettäviä kalkitusaineita. Kalkituksen ympäristövaikutusten tarkempaa arviointia varten pyrittiin selvittämään runsaan kalkituksen vaikutusta fosforin pidättymiseen eri maalajeilla.

Huuhtoutumistutkimuksissa on mitattu suhteellisen runsasta fosforin huuhtoutumista nurmilla, joilla fosforipitoisia lannoitteita on levitetty maan pinnalle. Pintalannoituksen aiheuttaman vesistökuormituksen arviointia ja estämistä varten tutkittiin maan pinnalle rakeisessa lannoitteessa levitetyn fosforin muuttumista pinta ja tulvaveteen huuhtoutumattomaksi.

Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksen aineistoksi Maatalouskeskusten neuvojat keräsivät viljavuusnäytteiden oton yhteydessä kaikkiaan 146 peltolohkolta näytteet muokkauskerroksesta ja jankosta. Tavoitteena oli saada näytteet keskimääräistä korkeamman fosforipitoisuuden omaavista maista, jotta mahdollisista fosforin huuhtoutumiseen liittyvistä tekijöistä saataisiin selkoa. Lisäksi analysoitiin aikaisemmin maaperäkartoituksen yhteydessä kerättyjä näytteitä, joita oli kaikkiaan 85. Ne oli otettu kolmesta kerroksesta, muokkauskerroksesta, jankosta ja pohjamaasta. Tämän aineiston avulla voitiin verrata pohjamaan fosforinpidätysominaisuuksia muokkauskerroksen vastaaviin ominaisuuksiin.

Näytteiden pH mitattiin vesilietoksesta ja viljavuustutkimuksen fosforiluku hapanammoniumasetaattiuutteesta. Fosforin tasapainokonsentraation ja fosforin pidätyskapasiteetin laskemiseksi tarvittavien maaerien tasapainottamiseen käytettyjen fosforiliuosten pitoisuudet olivat seuraavat: 0,01, 0,03, 0,1, 0,3, 1, 3, 10, 30 ja 100 mg/l. Eräiden näytteiden fosforinpidätyksen maksimi ei näillä pitoisuuksilla tullut vielä ilmi, minkä takia käytettiin lisäksi 200 ja 400 mg/l fosforia sisältäviä liuoksia. Liuokset valmistettiin monokaliumfosfaatista 0.005 molaariseen kalsiumkloridiliuokseen. Pidättymiskoetta varten mitattiin 5 ml maata 100 ml muovipulloon ja 50 ml liuosta lisättiin. Pulloa ravisteltiin koneellisesti tunnin ajan. Sen jälkeen pullot sentrifugoitiin ja kirkkaasta tasapainoliuoksesta mitattiin fosforipitoisuus askorbiinihappomenetelmällä. Tasapainokonsentraatio laskettiin regressioanalyysillä ottaen huomioon tasapainotilan lähellä olevat tulokset. Fosforin pidättymisen maksimi laskettiin KUO:n (1988) esittämän Langmuirin adsorptioyhtälön muunnoksen mukaan.

Maahan aiemmin pidättynyt lannoitefosfori määritettiin uuttamalla happamalla ammoniumoksalatilla, mikä liuottaa amorfisiin oksideihin pidättyneen fosforin. Osasta näytteitä määritettiin kokonaisfosfori.

Runsas kalkituksen vaikutusta tutkittiin laboratoriokokeessa 22 maalla, jotka olivat peräisin aikaisemmasta astiakokeesta. Maihin sekoitettiin kalsiumkarbonaattia (5 g/l, osalla myös 10 g/l maata) ja dikaliumfosfaattia (200 mg P/l, osalla lisäksi 1000 mg/l). Maita pidettiin kenttäkapasiteettia vastaavassa kosteudessa ja niistä mitattiin fosforin pidätymsaste 0.005 molaarisella kalsiumkloridiliuoksella uuttaen 7 vrk, 1 kk ja 4 kk kokeen alusta. Sen jälkeen maat peitettiin 0.005 molaarisella kalsiumkloridiliuoksella ja niitä pidettiin +5 asteen lämpötilassa. Liuoksen fosforipitoisuus mitattiin 1 vrk, 19 vrk ja 63 vrk lisäyksen jälkeen.

Pinta ja tulvaveden aiheuttamaa huuhtoutumisriski tutkittiin laboratoriossa levittämällä rakeista lannoitetta kostean maan pinnalle eripituisia aikoja ennen maan peittämistä vedellä, jonka fosforipitoisuuden muutoksia seurattiin. Kahdessa vaiheessa ja +5 asteen lämpötilassa tehdyssä kokeessa tutkittiin yhteensä seitsemää maata.

Tulokset

Näyteaineistojen fosforipitoisuus

Neuvojen keräämässä aineistossa muokkauskerroksen näytteistä 23 % kuului viljavuusluokkaan "arveluttavan korkea". Vastaavaan viljavuusluokkaan kuului Viljavuuspalvelu Oy:n vuosina 1981–85 analysoimista näytteistä runsas 1 %. Samoin maaperäkartoituksen yhteydessä kerätyistä näytteistä 19 % oli "arveluttavan korkeassa" viljavuusluokassa, joten tutkimuksen aineisto oli fosforipitoisuudeltaan huomattavasti keskimääräistä korkeampi.

Aitosaven muokkauskerroksen fosforipitoisuus oli yksittäisistä maalajeista suurin, keskimäärin 93 mg/l maata (Kuva 1). Tosin tämän ryhmän näytteitä oli vain 2, joten ryhmä ei voi olla tyypillisesti edustettuna, sillä yleensä aitosaven fosforipitoisuus on maalajeista alhaisimpia. Pohjamaan suhteen on aitosavi normaali vertailussa muihin maalajeihin tässä aineistossa keskiarvon ollessa 3 mg/l. Turvemaitten jankon fosforipitoisuus poikkeaa verraten vähän muokkauskerroksen näytteiden pitoisuudesta verrattuna muihin maalajeihin, mikä on osoitus fosforin heikosta pidätymsestä muokkauskerrokseen ja huuhtoutumisesta syvempiin kerroksiin.

Näytteiden kokonaisfosforipitoisuus

Analysoitujen muokkauskerroksen näytteiden kokonaisfosforipitoisuus vaihteli 0,4–3,6 g/kg maata (Taulukko 1). Hiekkamaat sisälsivät vähiten kokonaisfosforia keskiarvon allessa 0,7 g/kg. Hienot hiedat sisälsivät eniten kokonaisfosforia, keskimäärin 2 g/kg.

Tasapainokonsentraatio ja fosforin huuhtoutumisriski

Esimerkkejä yksittäisten näytteiden fosforin tasapainokonsentraatiosta on esitetty kuvassa 2. Muokkauskerroksen tasapainokonsentraatio on selvästi jankon ja pohjamaan

konsentraatiota korkeampi. Siten lannoitefosforilla rikastetusta muokkauskerroksesta liukenee veteen paljon enemmän fosforia kuin syvemmistä kerroksista. Korkeimmat tasapainokonsentraatiot olivat eloperäisillä mailla ja hiekalla keskiarvon ollessa yli 1 mg/l (Taulukko 2). Mikäli arvioidaan 200 mm sademäärää vastaavan vesimäärän tasapainottuvan maan kanssa ko. konsentraatioon, merkitsee tämä 2 kg/ha veteen liuennutta fosforia. Mikäli tällainen vesi virtaa sorasilmäkkeitä pitkin ojastoon ilman, että se joutuu enemmälti kosketukseen fosforiköyhän pohjamaan kanssa, huuhtoutuu fosforia vesistöihin paljon.

Jankon tasapainokonsentraatio on paljon muokkauskerroksen tasapainokonsentraatiota alempi turvemaita lukuunottamatta (Taulukko 3). Siten fosfori pidättyy tehokkaasti veden suotautuessa maan läpi. Kun kasvit ottavat fosforia jonkin verran myös jankosta, muutaman kilon vuotuinen huuhtoutuma kyntökerroksesta syvempiin kerroksiin ei kasvata niiden fosforipitoisuutta lainkaan. Veden virtaaminen kyntökerroksessa ojien kohdalle ja halkeamia ja madonreikiä pitkin salaojiin saattaa kuitenkin aiheuttaa huomattavaa huuhtoutumista, vaikka suurin osa jankosta olisi hyvinkin tehokasta fosforin pidättäjä.

Tasapainokonsentraatio ja viljavuustutkimuksen fosforiluku

Tasapainokonsentraatio ja viljavuustutkimuksen fosforiluku olivat keskinäisessä riippuvuussuhteessa. Tämä antaa mahdollisuuden arvioida viljavuustutkimuksen tulkinnessa esitettyjen arveluttavan korkean viljavuusluokan rajojen oikeellisuutta ympäristövaikutusten kannalta. Nykyisen tulkin mukaan savien ja karkeiden kivennäismaiden arveluttavan korkean viljavuusluokan raja on 70 mg fosforia litrassa maata. Savimailla tätä vastaava tasapainokonsentraatio oli 0,5 mg/l fosforia maan kanssa tasapainossa olevassa liuoksessa (Kuva 3). Tätä tasapainokonsentraatiota vastaava viljavuustutkimuksen fosforiluku karkeilla kivennäismailla oli 53 mg/l maata eli selvästi alempi kuin tämän maalajin nykyinen raja 70 mg/l maata. Samaa tasapainokonsentraatiota vastaava viljavuustutkimuksen fosforiluku oli eloperäisillä mailla 14 mg/l. Eloperäisten maiden aineisto oli pieni ja epähomogeeninen, mutta silti tulos osoittaa, että arveluttavan korkean viljavuusluokan raja-arvoa on syytä tarkistaa. Huuhtoutumisriski näytti olevan suurin vähän hienoa kivennäisainesta sisältävissä löyhissä turpeissa.

Fosforin pidätyskapasiteetti ja sen kyllästyminen

Fosforinpidätyskapasiteetin määritykset osoittivat, että kivennäismaiden muokkauskerrokseen saattoi vielä pidättyä keskimäärin puolet siitä fosforimäärästä, joka voitiin uuttaa happamalla ammoniumoksaalilla. Ammoniumoksaalilla uuttuvan fosforin voidaan ajatella olevan lannoituksesta maan oksideihin pidättynyttä ja siten edustavan vuosien kuluessa tapahtunutta fosforin kertymistä. Ääritapauksissa fosforia saattoi vielä pidättyä 20 % jo pidättyneestä määrästä. Eloperäisiin maihin sensijaan fosforia saattoi vielä pidättyä yllättävästi lähes kaksinkertainen määrä oksalaattiliukoiseen määrään verrattuna, vaikka näiden maiden pidätyskapasiteetti on alhainen. Pidättyminen tapahtui kuitenkin hyvin suuressa tasapainokonsentraatiossa, joka ei käytännössä tule kysymykseen. Fosforin huuhtoutumisen kannalta onkin oleellisempaa tasapainokonsentraation arvo, joka suurenee arveluttavaksi jo ennen pidätyskapasiteetin kyllästymistä.

Kalkituksen vaikutus fosforin pidättymiseen

Huuhtoutuvan fosforin konsentraation muutos kalkituksella vaihteli maalajin ja maan fosforitilan mukaan. Savimaissa pH-luvun nostaminen kalsiumkarbonaatilla lisäsi maanesteen fosforikonsentraatiota pitkäaikaisen tasapainotuksen jälkeen myös konsentraation ollessa korkea (Kuva 4). Karkeissa kivennäismaissa kalkitus lisäsi liukoisuutta alhaisella fosforitasolla, mutta korkealla fosforitasolla vaikutus oli päinvastainen. Eloperäisissä maissa kalkki pidätti liukoista fosforia huuhtoutumattomaan muotoon. Suurehko fosforilisäys (500 kg P/ha) pidättyi useimpiin maihin melko täydellisesti, vain happamissa turpeissa jäi siitä liukseen (uuttosuhteella 1:1) yli yksi prosentti vielä 6 kk:n tasapainotuksen jälkeen.

Yhdessä aikaisemmin samoilla mailla suoritetun astiakokeen kanssa tulokset osoittavat, että kasvien fosforin saannin paraneminen kalkittaessa ei johdu pelkästään maanesteen fosforipitoisuuden kohoamisesta, vaan suurelta osin parantuneiden kasvuolosuhteiden tehostamasta fosforin otosta. Kivennäismailla kalkki suurentaa viljavuustutkimuksen osoittamaa maan fosforipitoisuutta ja vähentää sitä kautta automaattisesti lannoitusta ja samalla myös ympäristölle haitallista fosforin kertymistä maahan. Kalkitus ei siten savimaillakaan lopulta suurennakaan huuhtoutuvan fosforin pitoisuutta, vaan pienentää vaikealiukoista fraktiota.

Maan pinnalle levitetyn fosforin pidättyminen

Laboratorio-olosuhteissa tehty tulvituskoee osoitti, että rakeisessa lannoitteessa maan pinnalle levitetty liukoinen fosfori on levityksen jälkeen altista huuhtoutumaan pintaveteen, mutta kostean maan pinnalla rakeet liukenevat ja fosfori imeytyy ja pidättyy maahan aika hyvin jo muutamassa viikossa (Kuva 5). Pintalannoitus näytti korostavan maan fosforinpidätysominaisuuksien merkitystä, koska vain ohuen pintakerroksen pidätyskapasiteetti tulee käyttöön. Maan fosforinpidätyskapasiteettiin verrattuna liian suuret fosforimäärät kyllästävät maan pinnan eivätkä siten voi pidättyä kunnolla. Pienehköt määrät pidättyvät pintaan levitettyinäkin melko täydellisesti eivätkä kuormita paljonkaan vesistöjä, ellei pintavaluntaa aiheuttava sadekuuro satu kovin pian levityksen jälkeen.

Maan pinnalle levitetyn fosforin pidättymisen tarkempi arviointi ja huuhtoutumisen minimointi vaihtelevissa kosteusolosuhteissa kentällä edellyttäisi jatkotutkimuksia. Saatuja tuloksia on kuitenkin jo sovellettu lannoitusohjeiden tarkistuksessa suosittelemalla vuotuisen fosforilannoituksen antamista nurmille kokonaan kasvukauden alussa, jolloin pintavaluntaa aiheuttavia ukkoskuuroja ei tavallisesti esiinny. Pintalannoituksessa tarvittavia fosforimääriä on voitu lisäksi vähentää lisäämällä nurmea perustettaessa annettavaa lannoitusta.

Taulukko 1. Muokkauskerroksen näytteiden kokonaisfosfori.

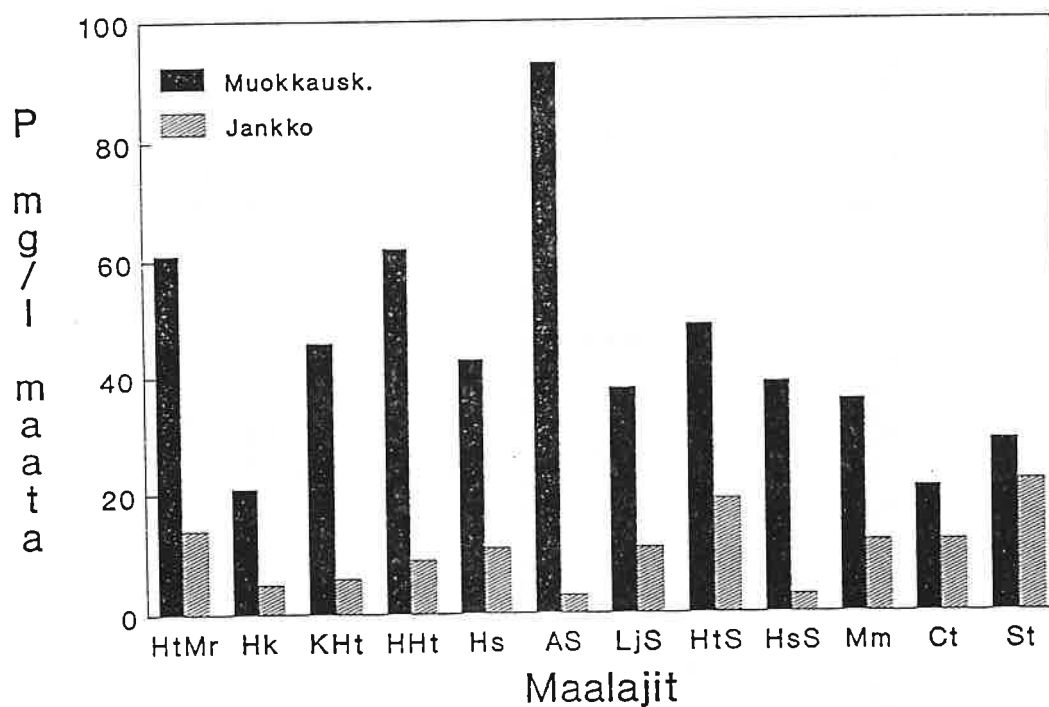
Kokonais-P mg/kg maata					
	Count	KA	MED	MIN	MAX
Kerros 0-20 cm					
Maalaji					
HTMR	4	2019	1891	1390	2902
HK	3	725	820	406	948
KHT	4	1251	1142	802	1916
HHT	6	2045	1939	1305	3531
HS	3	1323	1259	1086	1623
AS	2	1902	1902	1660	2144
LJS	5	1844	1786	1512	2375
HTS	4	1541	1085	998	2996
HSS	4	1362	1400	1126	1524
MM	5	1728	1526	1061	2589
CT	5	1688	1627	1396	2104
ST	3	1816	1824	1560	2065
LST	2	1370	1370	1090	1649

Taulukko 2. Muokkauskerroksen näytteiden tasapainokonsentraatio mg/l liuosta.

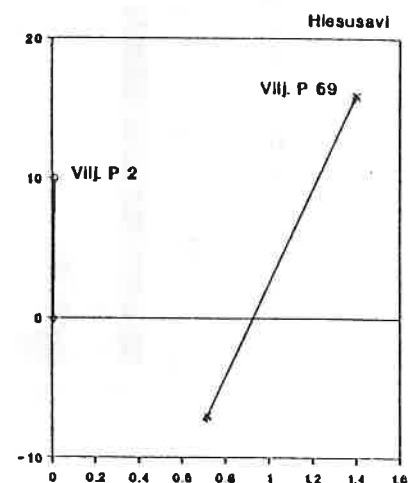
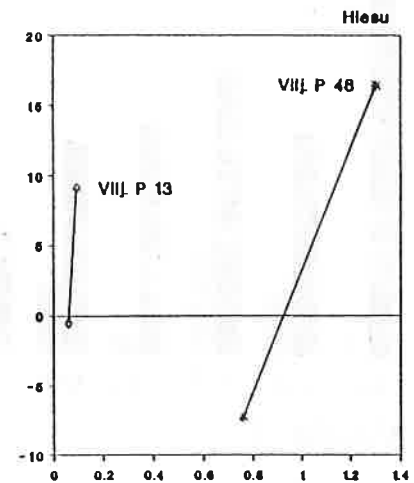
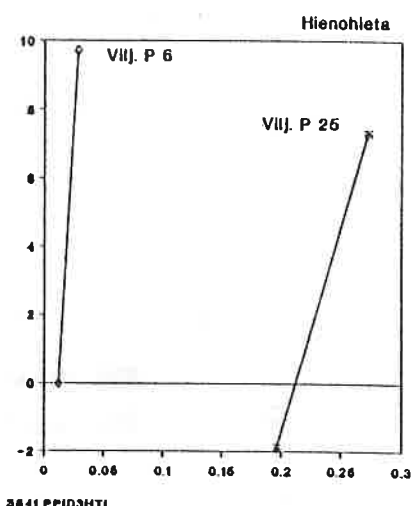
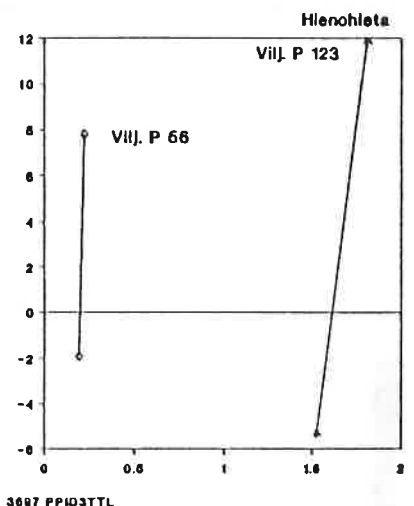
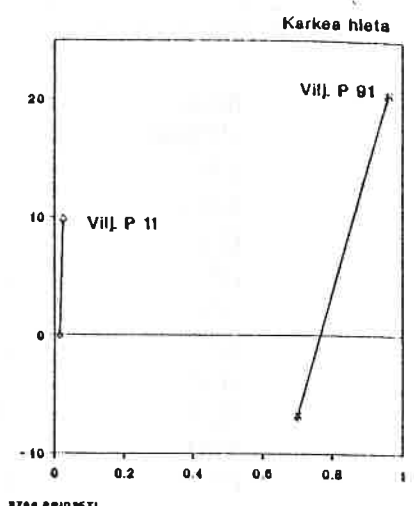
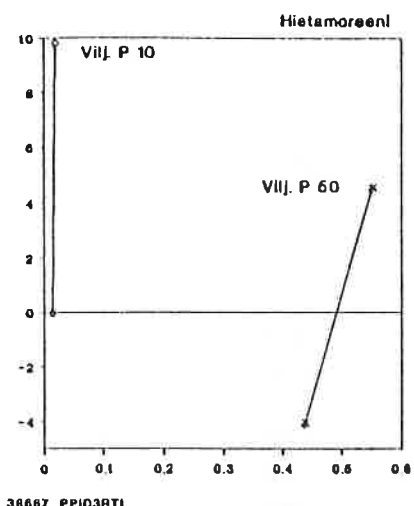
Tasapainokonsentraatio					
	Count	KA	MED	MIN	MAX
Kerros 0-20 cm					
Maalaji					
HTMR	29	,63	,425	,02	2,06
HK	3	1,72	,225		4,92
KHT	15	,69	,304	,04	3,46
HHT	30	,41	,225	,02	1,61
HS	13	,28	,196	,02	,94
AS	2	,99	,992	,48	1,51
LJS	13	,23	,194	,04	,66
HTS	22	,55	,276	,06	2,47
HSS	7	,33	,126	,07	,91
MM	10	1,56	,440		8,75
CT	9	2,89	1,553	,01	9,68
ST	5	4,57	,669	,08	17,04

Taulukko 3. Jankkonäytteiden tasapainokonsentraatio mg/l liuosta.

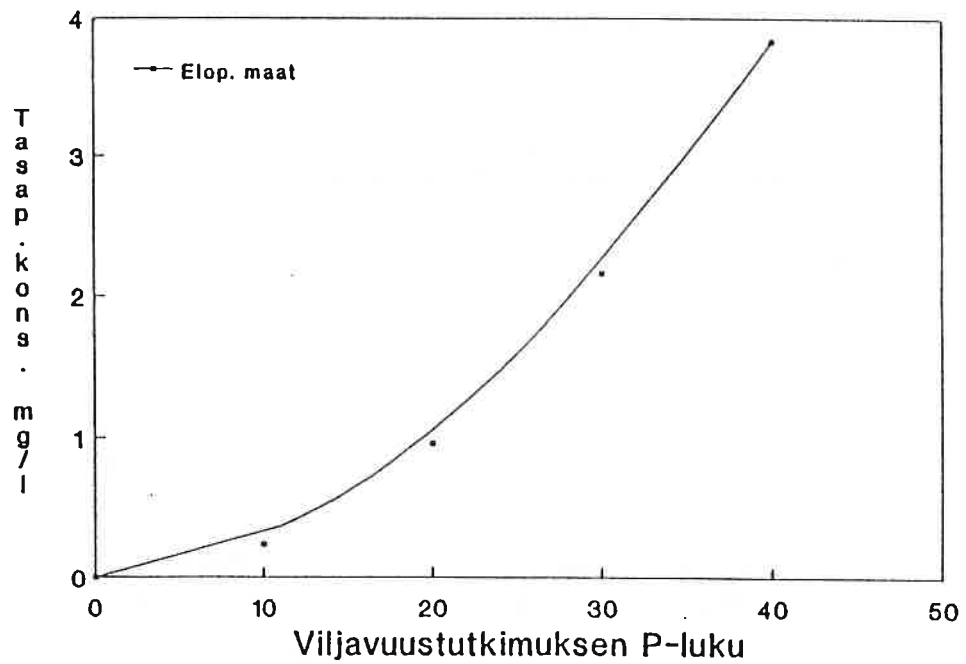
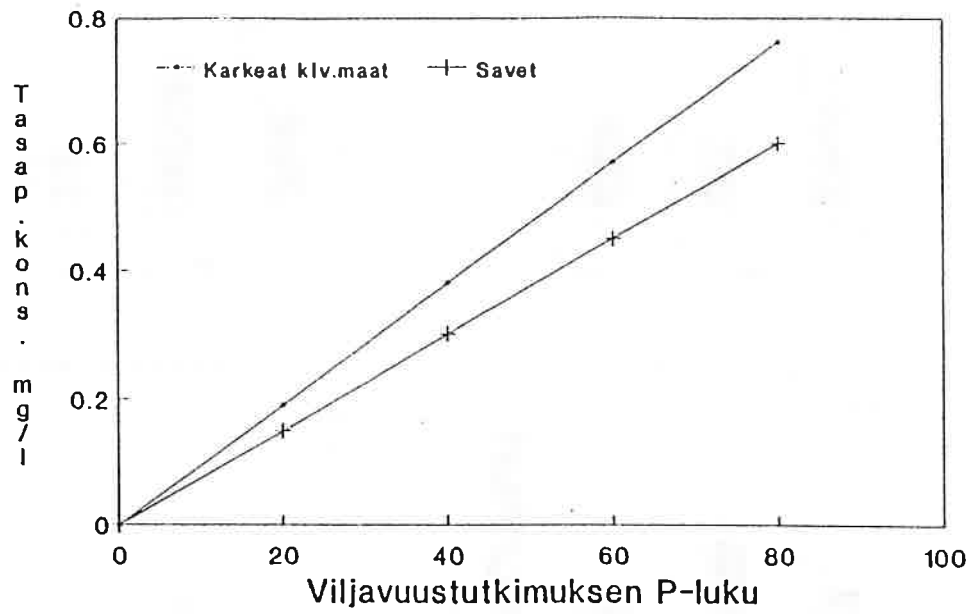
	Tasapainokonsentraatio				
	Count	KA	MED	MIN	MAX
Kerros 0-20 cm					
Maalaji					
HTMR	23	,15	,010		1,52
HK	5	,01	,010		,02
KHT	12	,01			,03
HHT	27	,03	,010		,20
HS	19	,02			,08
AS	3				
LJS	13	,04	,010		,24
HTS	21	,18	,020		1,80
HSS	8	,01			,07
MM	2	,09	,092	,02	,16
CT	12	2,82	,716		10,51
ST	5	5,34	4,059	,13	13,00



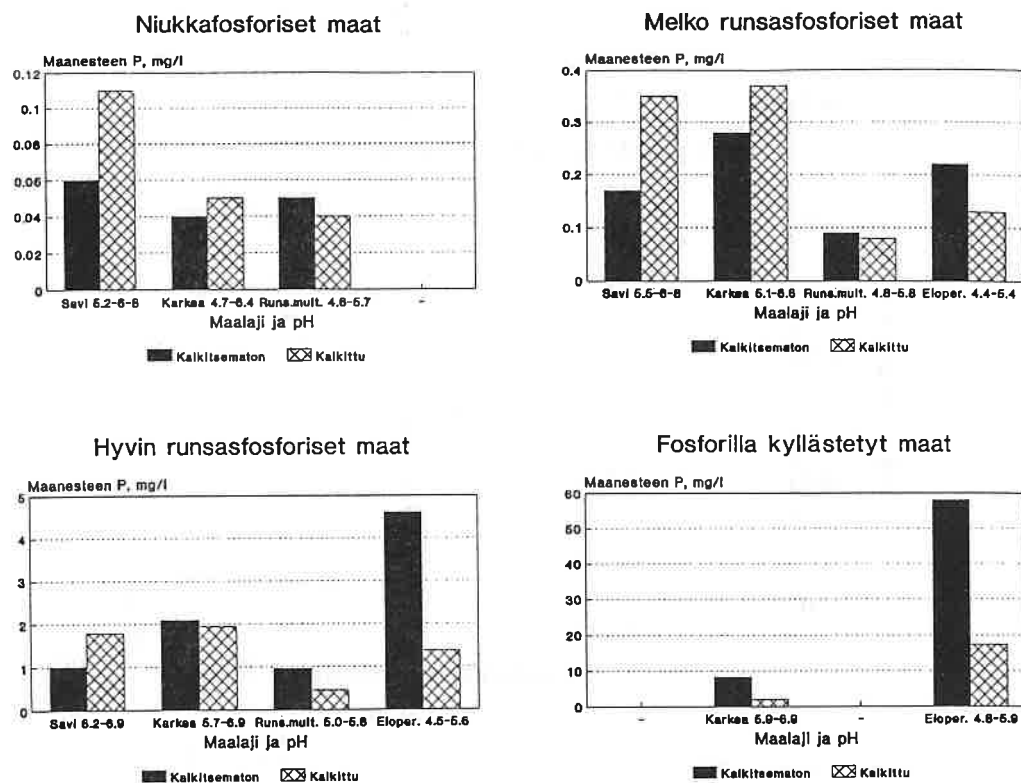
Kuva 1. Viljavuustutkimuksen P-luku.



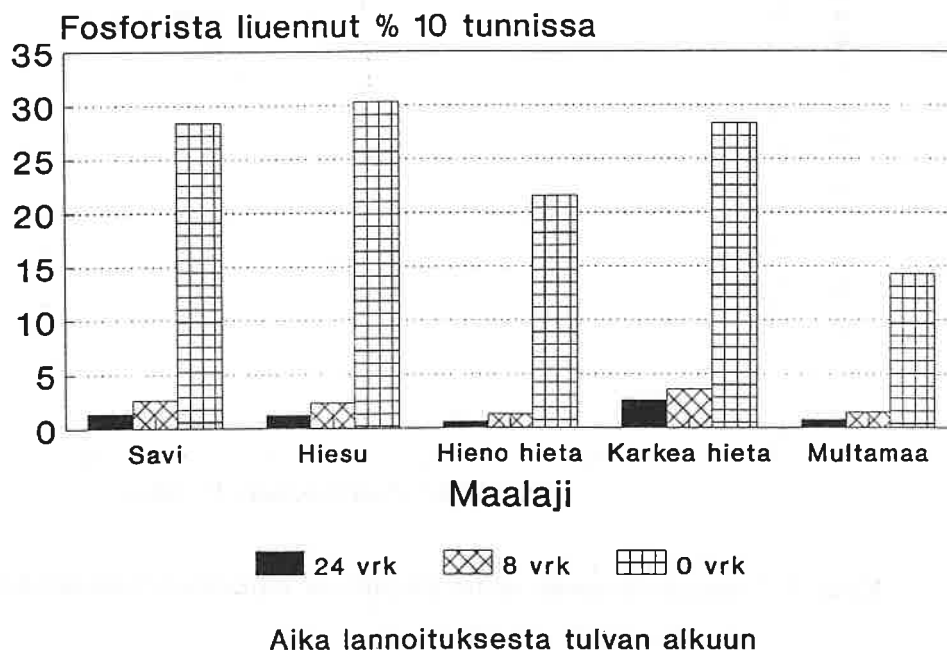
Kuva 2. Fosforin tasapainokonsentraatio eräissä muokkauskerroksesta ja jankosta otetuissa näytteissä.



Kuva 3. Tasapainokonsentraation riippuvuus viljavuustutkimuksen P-luvusta.



Kuva 4. Kalkituksen vaikutus maanesteen fosforipitoisuuteen kuusi kuukautta kalkin ja fosforilannoitteen lisäämisen jälkeen. Tulokset ovat usean maan keskiarvoja.



Kuva 5. Vesiliukoisin fosforin liukeneminen maata peittävään veteen lisättäessä rakeinen lannoite kostean maan pinnalle eri aikoina ennen tulvan alkua.