

Tutkittu maa
- turvalliset elintarvikkeet
Viljavuustutkimus 50 vuotta -juhlaseminaari
Jokioinen, 24.9.2002

Risto Uusitalo ja Riitta Salo (toim.)



Maa- ja elintarviketalous 13
61 s.

**Tutkittu maa
– turvalliset elintarvikkeet**

**Viljavuustutkimus 50 vuotta –juhlaseminaari,
Jokioinen 24.9.2002**

Risto Uusitalo ja Riitta Salo (toim.)

ISBN 951-729-694-0 (Painettu)
ISBN 951-729-695-9 (Verkkójulkaisu)

ISSN 1458-5073 (Painettu)
ISSN 1458-5081 (Verkkójulkaisu)

www.mtt.fi/met/pdf/met13.pdf

Copyright

MTT

Kirjoittajat

Julkaisija ja kustantaja

MTT, 31600 Jokioinen

Jakelu ja myynti

MTT, Tietopalvelut, 31600 Jokioinen

Puhelin (03) 4188 2327, telekopio (03) 4188 2339

sähköposti julkaisut@mtt.fi

Julkaisuvuosi

2002

Kannen kuva

Jii Roikonen

Tutkittu maa – turvalliset elintarvikkeet

Risto Uusitalo ¹⁾ ja Riitta Salo ²⁾

¹⁾ MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Ympäristöntutkimus, 31600 Jokioinen, risto.uusitalo@mtt.fi

²⁾ MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Tutkimuspalvelut, 31600 Jokioinen, riitta.salo@mtt.fi

Tiivistelmä

Suomalaisen viljavuustutkimuksen 50-vuotista taivalta juhlistettiin Jokioisilla 24.9.2002 pidetyssä seminaarissa. Kuten tähän julkaisuun koottujen seminaariesitelmien teksteistä tulee ilmi, viljavuustutkimusta tehdään ja tulkitaan nykyään yhtä hyvin sadon kuin ympäristönhoidonkin parhaaksi.

Viisi vuosikymmentä sitten viljavuusanalyysissä määritettiin maalaji, multavuus, pH ja kolmen alkuaineen (Ca, K, P) pitoisuudet. Nyt mitattavia alkuaineita on paljon enemmän. Samanaikaisesti viljavuustutkimuksen tulosten tulkinta on laajentunut ja muuttunut, kun uusien määritysten ohella myös viljelyn taloudelliset edellytykset ovat muuttuneet ja viljelyn vaikutukset ympäristöön otetaan huomioon. Koska viljavuustutkimuksessa (asetaatti- ja asetataatti-EDTA-uutoissa) määritetään alkuaineiden helppoliukoisia muotoja, viljavuustutkimusta voidaan hyvällä syyllä soveltaa myös ympäristön tilan seuraamiseen. Löydät siitä esimerkin tästä julkaisusta.

Kansainvälisyyden ja standardisoinnin kaipuussa voimme tulla sokeiksi kotoperäisten sovellusten hyville puolille. Vaikka suomalainen viljavuustutkimus ei varmastikaan tule koskaan saamaan kansainvälisen standardin tunnusta, eivätkä ulkomaiset kollegamme ymmärrä tuon taivaallista analyysiemme lukuarvojen päälle, tulee meidän nähdä viljavuustutkimuksemme arvo. Millään muulla menetelmällä ei ole 50 vuoden aikana saatuihin kokemuksiin perustuvaa tulkintaa meikäläisissä oloissa; maan ominaisuudet ja ilmasto-olothan vaikuttavat ratkaisevasti tulosten tulkintaan.

Kun asiaa tarkemmin ajattelee, niin huomaa että meillähän taitaakin olla kelpo menetelmä viljelyn ja ympäristönhoidon menestyksen tukena! Jatketaan sen kehittämistä.

Avainsanat: viljavuustutkimus, kasvukunto, maaperä, ravinteet, fosfori, raskasmetallit, ympäristö

Sisällysluettelo

Peltojen ravinnetilan kehitys 50 vuoden aikana, <i>Väinö Mäntylahti</i>	5
Viljavuusanalyysi ympäristön tilan ohjauskeinona ja maan kasvukunnon ilmaisijana, <i>Martti Esala</i>	14
Kasveille käyttökelpoiset fosforivarat maassa, <i>Helinä Hartikainen</i>	20
Peltomaiden viljavuus ja helppoliukoiset raskasmetallit, <i>Ritva Mäkelä-Kurto, Jouko Sippola & Kaarina Grék</i>	30
Maan toiminnallinen viljavuus luomussa ja tavanomaisessa viljelyssä; <i>Ansa Palojärvi</i>	47
Maan kasvukunto ja viljelyn talous, <i>Sami Myyrä, Kyösti Pietola & Markku Yli-Halla</i>	53

Peltojen ravinnetilan kehitys 50 vuoden aikana

Väinö Mäntylähti

Viljavuuspalvelu Oy, PL 500, 50101 Mikkeli, vaino.mantylahti@viljavuuspalvelu.fi

Tiivistelmä

Viljavuustutkimuksia on Suomessa tehty säännönmukaisesti yli 50 vuoden ajan. Kertyneestä aineistosta, yli 5 miljoonaa maanäytettä, on tehty yhteenvetoja, jotka kuvaavat maiden viljavuuden kehittymistä. Seurannan on mahdollistanut osaltaan saman analyysimenetelmän käyttö koko tarkasteluajan. Maiden pH, useat makroravinnepitoisuudet ja booripitoisuus ovat kohonneet 1950-luvun alun tasosta yhdellä – kahdella viljavuusluokalla, ja ovat nykyisin tasolla ”Välttävä” – ”Tyydyttävä”. Kaliumin, kuparin, sinkin ja mangaanin osalta muutokset ovat olleet vähäisiä, lähinnä viljavuusluokan sisällä tapahtuneita pienehköjä muutoksia.

Avainsanat: viljavuus, tutkimus, maaperä, ravinnepitoisuus, näytteet

Johdanto

Suomen peltojen ravinnetilaa on analyysimenetelmin tutkittu yli 50 vuoden ajan. Suomessa käytössä oleva viljavuusanalyysi kehitettiin pääasiassa vuosina 1947-1950 Maatalouskoelaitoksen tutkimustyön tuloksena (Vuorinen & Mäkitie 1955), vaikkakin tähän liittyvää tutkimustyötä oli tehty jo 1920-luvulta asti (Tuorila ym. 1939, Kivinen 1941, Vuorinen 1946, 1952, 1953, Teräsvuori 1954). Analyysimenetelmän kuvasivat Vuorinen ja Mäkitie (1955) ja tulosten tukinnan Vuorinen ja Kurki (1953). Suomessa viljavuustutkimus otettiin laajasti käyttöön vuonna 1949 neuvontajärjestöjen vastatessa näytteenotosta ja Maatalouskoelaitoksen maantutkimusosaston vastatessa analyyseistä ja tulosten tulkinnasta (Kurki 1963).

Maan viljavuus määriteltiin maan sadontuottokyvyksi (Kurki 1963). Alkuvaiheessa analysointi kohdistui pääasiassa ns. perustutkimukseen sisältäen määrittelyt maalaji ja multavuus (aistinvaraisesti), pH(H₂O) sekä vaihtuva kalsium ja kalium sekä helppoliukoinen fosfori (Kurki 1963). Vuosien mittaan analytiikan kehityksessä termi viljavuustutkimus laajeni käsittämään makro- ja mikroravinnemäärittysten ohella ravinnereservejä, maan fysikaalisia ominaisuuksia ja kemiallisia kasvianalyysejä (Kurki 1972).

Vuonna 1952 viljavuustutkimuksen analysointityö siirtyi 18. päivänä huhtikuuta 1952 perustetulle Viljavuuspalvelu Oy:lle. Jo alun perin Viljavuuspalvelu Oy:n pyrkimyksenä oli tutkimuksista kertyneen tilastoaineiston käsittely. Tämä työ

sai vauhtia vuonna 1960, kun Kasvinravinteiden valmistajain valtuuskunta lähti tukemaan tilastointityötä (Kurki 1963). Tämän työn seurauksena viljavuustutkimuksen tuloksia on raportoitu alkaen vuodesta 1955. Tämän raportin tarkoituksena on luoda yleiskatsaus maan viljavuutta kuvaavien ominaisuuksien kehitykseen 1950-luvulta aina vuoteen 2000 asti.

Aineisto

Viljavuustutkimusaineisto pohjautuu julkaisuihin vuosilta 1955-86 (Kurki 1963, 1972, 1982, Kähäri ym. 1987) sekä tämän jälkeen alkaen vuodesta 1986 Viljavuuspalvelu Oy:n analysoimaan, mutta toistaiseksi julkaisemattomaan tilastoaineistoon.

Perustutkimuksen osalta analyysimenetelmä uuttonesteineen (0,5M $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, 0,5M CH_3COOH , pH 4,65) on koko ajan säilynyt samana (Vuorinen & Mäkitie 1955). Boori on uutettu kuumalla vedellä (Berger & Truog 1939). Kupari ja sinkki on vuoteen 1985 asti määritetty suolahappoon (2M HCl) liuotetusta tuhitetusta näytteestä (Lu Cheng & Bray 1953). Mangaani on määritetty vuoteen 1985 asti magnesiumnitraattiuutosta (0,5M $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, Steenbjerg 1933). Vuodesta 1986 alkaen kupari, sinkki ja mangaani on määritetty asetaatti/EDTA-uutosta (0,5M $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, 0,5M CH_3COOH , 0,02M Na_2EDTA , pH 4,65, Lakanen & Erviö 1971).

Tulokset ja niiden tarkastelu

Näytemäärä

Viljavuustutkimuksia on kuluneen 50 vuoden aikana tehty yhteensä yli 5 miljoonaa. Aloituskasvatusta ja viimeistä viisivuotiskautta lukuun ottamatta analysointi tiheys on pysynyt melko vakiona. Jos käytetään Suomen peltopinta-alana 2,5 milj. ha, niin näydetiheys vastaa noin 0,04 näytettä vuotta ja peltohehtaaria kohti (Taulukko 1). Näydetiheys lähestyy ympäristötukijärjestelmän edellyttämää miniminäydetiheyttä (0,04 näytettä/vuosi*ha, <http://lomake.mmm.fi/lomakkeet/sit02.pdf>), mutta kattaa heikosti mahdollisuuden arvioida lohkojen sisäistä vaihtelua (mm. Jokinen 1983).

Maalaji ja multavuus

Maalaji ja multavuus määritetään viljavuustutkimuksen yhteydessä aistinvaraisesti. Maalajimääritys pohjautuu Aaltosen ym. (1949) maalajiluokitteluun. Vuosien mittaan hietojen ja hiesujen osuus on kasvanut, savien ja multamaiden ja turvemaiden osuus vähentynyt (Taulukko 2). Osan maalajijakautuman muutoksesta selittää viljelyhistoria. Ohutturpeisten soiden viljelykseen otto on vähi-

tellen muuttanut nämä alun perin turvemaiksi luokitellut maat multamaiksi ja jankon ominaisuuksien mukaan edelleen pääasiassa hiedoiksi. Muokkaussyvyiden muutokset ovat osaltaan vaikuttaneet muokkauskerroksen maalajiin.

Taulukko 1. Viljavuustutkimuksen näytemäärät 1955-2000.

Tutkimuskaudet	Perustutkimuksia	Näytteitä kpl/ha*vuosi
1952-55	120 915	0,01
1956-60	396 940	0,03
1961-65	515 748	0,04
1966-70	431 084	0,03
1971-75	451 721	0,04
1976-80	602 894	0,05
1981-85	714 069	0,06
1986-90	638 241	0,05
1991-95	463 389	0,04
1995-2000	852 311	0,07
Yhteensä/keskimäärin	5 187 312	0,04

Multavuusluokittelu on tehty orgaanisen aineksen pitoisuuden perusteella. Turvemaiden ja multamaiden osuus on vähentynyt ja erittäin runsasmultaisten maiden osuus kohonnut (Taulukko 3). Tätäkin muutosta selittää viljelyhistoria samaan tapaan kuin maalajimuutokset. Ohutturpeiset turvemaat muuttuvat aluksi multamaiksi, sitten vähitellen erittäin runsasmultaisiksi maiksi ja edelleen entistä vähemmän orgaanista ainesta sisältäviksi maiksi. Oma vaikutuksensa maiden multavuuteen lienee orgaanisen aineksen taseella.

Perustutkimus

Viljelysmaiden pH on kohonnut tasaisesti 1950-luvulta aina 1990-luvulle saakka (Taulukko 4). Myönteisen kehityksen on mahdollistanut viljelysmaiden kalkitus. Viimeisen 5-vuotisjakson 1996-2000 aikana pH-keskiarvo on alentunut. Muutos voitaneen epäsuorasti vuositasen tarkastelun avulla päätellä johtuvaksi uuden aineiston mukaantulosta viljavuustutkimukseen. Oma osuutensa lienee aineiston kattavuuden muutoksilla.

Multavien karkeiden kivennäismaiden viljavuusluokittelun mukaan keskiarvo-pH asettuu viljavuusluokkaan ”Välttävä” (pH 5,4-5,8).

Taulukko 2. Eri maalajien osuus (%) viljavuustutkimuksissa 1955-2000.

Maalaji ¹⁾	1955-70 1 204 586 kpl	1971-80 885 060 kpl	1981-85 703 810 kpl	1986-90 621 322 kpl	1991-95 444 553 kpl	1996-2000 852 311 kpl
HkMr	1,1	1,4	1,5	1,4	1,9	1,3
HtMr	10,6	14,7	14,8	14,4	15,2	14,9
HsMr	0,1	0,3	0,1	0	0,1	0,1
SMr	0,0	0,0	0	0	0	0
KHk	0,2	0,1	0,1	0	0	0
HHk	0,8	0,9	0,7	0,4	0,4	0,2
KHt	14,9	12,6	12,7	12	17,2	15,5
HHt	18,0	18,3	21,1	23,1	20,7	26,7
Hs	11,3	10,8	10,8	11,2	14,6	14,9
HtS	7,9	8,5	7,8	9,8	5,6	4,9
HsS	1,7	1,8	2	3,3	1,5	0,5
AS	1,2	0,7	0,3	0,5	0,4	0,4
LjS	5,1	6,6	9,8	6,5	6,1	6,9
Lj	0,6	0,6	0,5	0,6	0,3	0,2
Jm	1,7	0,4	0,2	0	0	0
Mm	15,6	14,9	11,8	13,4	12,7	10,7
Ct	1,3	1,0	1,1	1,6	2	1,4
LCt	4,1	3,6	2,9	1,2	0,6	0,8
SCt	1,8	1,6	1,0	0,3	0,4	0,3
CSt	0,4	0,4	0,3	0	0,1	0
LSt	0,9	0,4	0,2	0	0	0
St	0,6	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2

¹⁾ HkMr = hiekkamoreeni, HtMr = hietamoreeni, HsMr = hiesumoreeni, SMr = savimoreeni, KHk = karkea hiekka, HHk = hieno hiekka, KHt = karkea hieta, HHt = hieno hieta, Hs = hiesu, HtS = hietasavi, HsS = hiesusavi, AS = aitosavi, LjS = liejusavi, Jm = järvimuta, Mm = multamaa, Ct = saraturve, LCt = metsäsaraturve, SCt = rahkasaraturve, CSt = sararahkaturve, LSt = metsärahkaturve, St = rahkaturve

Taulukko 3. Viljavuustutkimusten jakautuminen eri multavuusluokkiin 1961-2000.

Multavuusluokka ¹⁾ , orgaaninen aines %	1961- 70	1971- 75	1976- 80	1981- 85	1986- 90	1991- 95	1996- 2000
vm, < 3%	6,9	2,1	1,4	3,2	6,1	6,1	5,1
m, 3-6 %	43,1	45,8	41,7	44,6	45,8	47,5	45,7
rm, 6-12 %	20,3	23,5	26,3	24,4	21,7	23,3	29,8
erm, 12-20 %	3,1	6,2	7,5	8,7	7,3	7,7	7,7
Mm, 20-40 %	15,4	15,0	14,8	11,6	13,0	12,7	10,7
Tm, > 40 %	11,2	7,5	8,3	7,3	5,9	3,3	1,0

¹⁾ vm = vähämultainen, m = multava, rm = runsasmultainen, erm = erittäin runsasmultainen, Mm = multamaa, Tm = turvemaa, OM = orgaaninen aines

Taulukko 4. Maan viljavuus 1955-2000.

Määrittys	1955- 60	1961- 65	1966- 70	1971- 75	1976- 80	1981- 85	1986- 90	1991- 95	1996- 2000
Perustutkimus									
PH	5,50	5,55	5,59	5,66	5,70	5,84	5,87	5,84	5,72
Ca mg/l	1400	1390	1433	1473	1434	1448	1511	1639	1668
P mg/l	5,4	5,0	7,7	10,7	11,1	11,8	12,3	12,4	13,9
K mg/l	120	123	140	141	148	151	146	149	144
Mg mg/l	-	188	177	189	189	212	234	265	254
Hivenravinteet									
B mg/l	-	-	0,41	0,45	0,48	0,64	0,66	0,74	0,74
Cu									
- (HCl) mg/l	7,3	7,2	6,4	6,7	7,7	7,5			
- (AAAc/EDTA) ¹⁾ mg/l							4,7	5,1	5,0
Zn									
- (HCl) mg/l	-	-	-	-	-	19,3			
- (AAAc/EDTA) ¹⁾ mg/l							6,2	4,8	4,4
Mn									
- (Mg(NO ₃) ₂) mg/l			8,2	9,1	10,3	9,2			
- (AAAc/EDTA) ¹⁾							37	49	51

¹⁾ AAAC/EDTA = hapan ammoniumasetaatti-EDTA.

Viimeisen viisivuotiskauden ja vuoden 2001 tuloksista on tehty lohko-kohtaisia parivertailuja. Ne osoittavat, että vertailulohkoilla pH on noussut keskiarvosta pH 5,8 arvoon pH 6,1 (n=1600 kpl). Tämä koskee lohkoja, jotka ovat olleet jo pidempään viljavuustutkimuksen kohteena.

Viljelysmaiden vaihtuvan kalsiumin pitoisuus on kohonnut hyvin hitaasti vuosikymmenien kuluessa (Taulukko 4). Kun suhteellisen niukasti kalsiumia sisältävien hienojen hietojen osuus on kasvanut ja samanaikaisesti suhteellisen runsaasti kalsiumia sisältävien savimaiden ja multamaiden osuus on vähentynyt, ei maiden keskimääräinen kalsiumpitoisuus ole kohonnut odotetulla tavalla, vaikka samanaikaisesti on käytetty huomattava määrä kalsiumia sisältäviä maanparannusaineita.

Karkeiden kivennäismaiden tulkinnan mukaan keskiarvo asettuu viljavuusluokkaan ”Tyydyttävä” (Ca 1400-2000 mg/l).

Maiden liukoisen fosforin pitoisuus on kohonnut noin 2,5-kertaiseksi lähtötasoon verrattuna (Taulukko 4). Muutoksille on osoitettavissa perusteluina väkilannoitteet, karjanlannan käyttö, maalajikohtaiset muutokset ja fosforin pidätyskapasiteetin täyttymisasteen muutokset. Muutokset keskiarvotuloksissa johtuvat osittain myös maalajijakautuman muutoksista. Kun erityisesti hietojen osuus on kohonnut ja vastaavasti savien ja multamaiden osuus vähentynyt,

Taulukko 5. Hienojen hietojen, hietasavien ja multamaiden fosforipitoisuudet viisivuotiskausittain 1981-2000.

	1981-85	1986-90	1991-95	1996-2000
Hienot hiedat P mg/l	11,5	12,4	14,9	15,9
Hietasavet P mg/l	10,9	8,2	11,3	11,6
Multamaat P mg/l	8,0	6,3	8,5	10,1
Kaikki maat P mg/l	11,8	12,3	12,4	13,9

näkyä muutos myös fosforipitoisuuden keskiarvossa. Hienoissa hiedoissa muutokset ovat olleet huomattavasti keskiarvokehitystä suurempia (Taulukko 5).

Multavien karkeiden kivennäismaiden tulkinnan mukaan keskiarvon mukainen fosforipitoisuus vastaa viljavuusluokkaa ”Tyydyttävä” (P 12-20 mg/l).

Viimeisen viisivuotiskauden ja vuoden 2001 tuloksista on tehty lohko kohtaisia parivertailuja fosforipitoisuudesta. Ne osoittavat, että vertailulohkoilla liukoisien fosforin määrä on alentunut lukuarvosta 12,7 mg/l arvoon 11,7 mg/l (n=1600 kpl). Viljavuustutkimuksen parissa olleilla lohkoilla muutos on ollut halutun suuntainen.

Viljelysmaiden kaliumpitoisuus on kohonnut vertailujakson alusta, mutta on sitten 1980-luvun alun jälkeen kääntynyt lievään laskuun (Taulukko 4). Muutokset saattavat olla peräisin savimaiden osuuden vähenemisestä.

Karkeiden kivennäismaiden luokittelun mukaan kaliumpitoisuuden keskiarvo vastaa viljavuusluokkaa ”Tyydyttävä” (K 120-200 mg/l).

Magnesiummääritys on otettu ns. perustutkimukseen mukaan vasta 1986 (Taulukko 4). Tätä ennen magnesiummäärityksiä tehtiin harkintaan perustuen. Tämä lienee nähtävissä magnesiumtason nousuna alkaen vuodesta 1986. Muuten maiden magnesiumpitoisuudet ovat pysyneet lähes muuttumattomina. Mahdollisten magnesiumpitoisten maanparannusaineiden vaikutus ei näy tilastoissa, joten tilanne on melko samansuuntainen kuin kalsiuminkin kohdalla.

Karkeiden kivennäismaiden tulkinnan mukaan magnesiumpitoisuuden keskiarvo asettuu viljavuusluokkaan ”Hyvä” (Mg 200-400 mg/l).

Hivenravinteet

Viljelysmaiden booripitoisuudesta on tilastotietoja käytettävissä vuodesta 1966 alkaen (Taulukko 4). Booripitoisuus on kohonnut tasaisesti vastaten nyt kiven-

näismaiden ja eloperäisten maiden viljavuusluokkaa ”Tyydyttävä” (B 0,6-0,9 mg/l).

Kupari-, sinkki- ja mangaanimäärittysten uuttomenetelmä on muuttunut 1986 (Taulukko 4). Tästä johtuen lukujen vertailemiseksi ne tulee muuttaa viljavuusluokiksi. Ennen vuotta 1986 käytössä olleen tulkinnan mukaan maiden kupari-pitoisuuden keskimääräinen viljavuusluokka on ollut ”Välttävä” ja menetelmämuutoksen jälkeen ”Tyydyttävä” (Cu 2,7-5,0 mg/l). Jaksolta 1981-85 peräisin oleva sinkin keskiarvo 19,3 mg/l luokitellaan viljavuusluokkaan ”Huono”, mutta menetelmämuutoksen jälkeen taso on ”Tyydyttävä” (Zn 2,0-6,0 mg/l). Mangaanin tulokset on vuoteen 1985 asti luokiteltu viljavuusluokkaan ”Hyvä” ja tämän jälkeen luokkaan ”Tyydyttävä” (Mn 25-75).

Johtopäätökset

Viljavuustutkimuksen tulosten kehityksen vertailu on tärkeää useastakin syystä. Näitä tietoja tarvitaan mm. tuotekehitykseen, kehityksen ja muutoksien havainnointiin ja tuotantopanosten ohjaukseen. Viime vuosina on korostunut tarve kytkeä maatalouden tuotantopanosten käytön seuranta tuotantoympäristössä tapahtuviin muutoksiin. Viljavuustutkimusten määrä on suuri. Suuri ja laaja aineisto ei kuitenkaan aina takaa vertailtavuutta, joten johtopäätösten teossa on syytä varovaisuuteen.

Pääsääntöisesti viljavuus on kehittynyt myönteisesti vuosikymmenien kuluessa. Happamuus on vähentynyt ja kasveille tärkeiden ravinteiden pitoisuudet ovat kohonneet. Myönteisenä kehityksenä voidaan myös pitää maan liukoisen fosforin pitoisuuden kääntymistä laskusuuntaan viimeisen viisivuotisjakson aikana. Tämä kehitys ei suoraan näy keskiarvoista, mutta muutos sen sijaan näkyy lohko-kohtaisissa parivertailuissa.

Hivenravinteista maiden booripitoisuus on kehittynyt myönteisesti. Muiden hivenravinteiden osalta selvää kehityssuuntaa ei ole nähtävissä.

Kirjallisuus

Aaltonen, V.T., Aarnio, B., Hyypä, E., Kaitera, P., Keso, L., Kivinen, E., Kokkonen, P., Kotilainen, M.J., Sauramo, M., Tuorila, P. & Vuorinen, J. 1949. Maaperäsanaston ja maalajien luokituksen tarkistus v. 1949. Summary: A critical review of soil terminology and soil classification in Finland in the year 1949. Maataloustieteellinen aikakausikirja 21: 37-66.

Berger, K.C. & Truog, E. 1939. Boron determination in soils and plants. Industrial and engineering chemistry. Analytical edition II: 540-545.

- Jokinen, R. 1983. Variability of topsoil properties and number of samples needed for estimation of soil properties. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 55: 109-117.
- Kivinen, E. 1941. Tutkimuksia maan lannoitustarpeen määräämisestä. Referat: Beiträge zur Bestimmung des Düngungsbedürfnisses des Bodens. *Agrogeologisia julkaisuja* 52: 1-37.
- Kurki, M. 1963. Suomen peltojen viljavuudesta vuosina 1955-1960 Viljavuuspalvelu Oy:ssä tehtyjen tutkimusten perusteella. Referat: Über die Fruchtbarkeit des finnischen Ackerbodens auf Grund der in den Jahren 1955-1960 durchgeführten Bodenfruchtbarkeitsuntersuchungen. Helsinki: Viljavuuspalvelu Oy. 107 s.
- Kurki, M. 1972. Suomen peltojen viljavuudesta. II. Referat: Über die Fruchtbarkeit des finnischen Ackerbodens auf Grund der in den Jahren 1955-1970 durchgeführten Bodenfruchtbarkeitsuntersuchungen. Helsinki: Viljavuuspalvelu Oy. 182 s.
- Kurki, M. 1982. Suomen peltojen viljavuudesta. III. Summary: On the fertility of Finnish tilled fields in the light of investigations of soil fertility carried out in the years 1955-1980. Helsinki: Viljavuuspalvelu Oy. 181 s.
- Kähäri, J., Mäntylähti, V. & Rannikko, M. 1987. Suomen peltojen viljavuus 1981-1985. Summary: Soil Fertility of Finnish Cultivated Soils in 1981-1985. Helsinki: Viljavuuspalvelu Oy. 105 s.
- Lakanen, E. & Erviö, R. 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. *Acta Agriculturae Fenniae* 122: 223-232.
- Lu Cheng, K. & Bray, R.H. 1953. Two specific methods of determining copper in soil and in plant material. *Analytical Chemistry* 25: 655-659.
- Steenbjerg, F. 1933. Undersøgelser over manganinholdet i dansk Jord. I det ombyttelige mangan. *Tidsskrift for Planteavl* 39: 401-436.
- Teräsvuori, A. 1954. Über die Anwendung saurer Extraktionslösungen zur Bestimmung des Phosphordüngerbedarfs des Bodens, nebst theoretischen Erörterungen über den Phosphorzustand des Bodens. *Valtion Maatalouskoelaitoksen Julkaisuja* 141: 1-64.
- Tuorila, P., Tainio, A. & Teräsvuori A. 1939. Suomen viljelysmaiden kalkitustarpeesta. I. Referat: Über den Kalkdüngungsbedarf der finnischen Böden. Ergebnisse der staatlichen Landwirtschaftlichen Versuchstätigkeit von den Jahren 1928-1938. Erster Teil. *Valtion Maatalouskoelaitoksen Julkaisuja* 104: 1-529.

- Vuorinen, J. 1946. Viljelyksen vaikutuksesta maaperän viljavuuteen. Summary: The influence of cultivation on the fertility of soil. *Agrogeologia julkaisuja* 56: 1-60.
- Vuorinen, J. 1952. Koetilojen peltojen viljavuudesta. Summary: On the fertility of soils on experimental farms in Finland. *Agrogeologia julkaisuja* 59: 1-59.
- Vuorinen, J. 1953. Koulutilojen peltojen viljavuudesta. Summary: On the fertility of soils on school farms in Finland. *Agrogeologia julkaisuja* 60: 1-44.
- Vuorinen, J. & Kurki, M. 1953. Viljavuustutkimustulosten tarkennettu tulkintaohje v. 1953-1954. Appendix to "Viljavuuskarttojen hyväksikäyttö viljelysuunnitelmaa laadittaessa". Helsinki: Maatutkimusosasto. 4 s.
- Vuorinen, J. & Mäkitie, O. 1955. The method of soil testing in use in Finland. *Agrogeologia julkaisuja* 63: 1-44.

Viljavuusanalyysi ympäristön tilan ohjauskeinona ja maan kasvukunnon ilmaisijana

Martti Esala

MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Ympäristöntutkimus, 31600 Jokioinen, martti.esala@mtt.fi

Tiivistelmä

Viljavuusanalyysi mittaa maan kemiallisia ominaisuuksia, muun muassa tärkeimpien ravinteiden kasveille käyttökelpoiset varat ja happamuuden. Periaatteessa määrittäminen on pysynyt samanlaisena 50 vuoden ajan, vaikka määritettäviä ravinteita on tullut lisää ja määrittysten tulkintaa on muutettu kulloistenkin vaatimusten mukaan. Viljavuustutkimuksesta tuli entistä tärkeämpi, kun siitä vuonna 1995 tuli ehto maatalouden ympäristötuen saamiselle. Fosforilannoitus-suosituksia alennettiin huomattavasti jo ennen tätä, kun oli huomattu fosforin rehevöittävän vesiä. Näiden toimien ansiosta viljavuustutkimuksesta on muodostunut merkittävä maatalouden vesistökuormituksen vähentämiskeino. Maan kasvukunnon kannalta viljavuustutkimuksessa on kuitenkin myös puutteita. Siitä puuttuvat riittävän luotettavat ja yksinkertaiset menetelmät typpilannoitustarpeen määrittämiseksi, maan rakenteen ja biologisten toimintojen mittaamiseksi sekä fosforin ja kaliumin ravinnereservien arvioimiseksi. Viljavuustutkimuksen tulo ympäristötuen ehtoihin on toisaalta saattanut vähentää lohkolta otettavia näytemääriä, eikä sitä aina hyödynnetä lannoituksen suunnittelussa. Viljavuustutkimusta tekevien laboratorioden valvontaa tulisi lisätä, ja Suomen pitäisi pitää kiinni oikeudestaan käyttää meidän maaperäämme soveltuvia määrittämenetelmiä EU:n yhtenäistämispaineista huolimatta.

Avainsanat: viljavuustutkimus, maaperä, fosfori, ympäristötuki, typpilannoitus, maan rakenne, laatu

Johdanto

Kasvien kasvuun ja sadontuottoon vaikuttavia tekijöitä kutsutaan kasvutekijöiksi. Vesi, valo ja ravinteet ovat niistä tärkeimpiä. Näistä veden ja ravinteiden optimaalinen saatavuus riippuu suurelta osin maaperän tilasta. Tällä hetkellä tunnetaan 16 kasveille välttämätöntä ravinnettä, sekä muutama ravinne, jotka saattavat olla hyödyllisiä sadontuoton kannalta tai tiettyjen kasvien tiettyjen toimintojen kannalta. Myös ihmisten ja eläinten ravitsemuksen kannalta tietyillä ravinteilla on merkitystä ja niiden puute tai haitallisen korkea pitoisuus voi vaikuttaa elintarvikkeiden ja rehun laatuun. Veden saatavuus riippuu paitsi sademääristä myös maaperän kyvystä varastoida ja luovuttaa vettä kasvien käyttöön sekä johtaa liiallinen vesi pois maasta, eli käytännössä maan rakenteesta.

Maan biologiset toiminnot ovat keskeisiä ravinteiden kierron ja saatavuuden sekä maan hyvän rakenteen kannalta.

Viljavuustutkimuksen perustutkimuksessa määritetään maalaji, multavuus, happamuus, johtoluku sekä kasveille käyttökelpoiset ravinteet; vaihtuva kalsium, heppoliukoinen fosfori, vaihtuva kalium, vaihtuva magnesium. Hivenravinteista määritetään useimmiten kasveille käyttökelpoisen boorin, kuparin sinkin ja mangaanin pitoisuudet. Erikoistapauksissa voidaan määrittää myös rikki, natrium, rauta ja boori. Määritettävien ravinteiden valikoima perustuu ravinnetilaan Suomen viljelymaissa suhteessa viljeltävän kasvin tarpeisiin.

Määritysten tueksi on laadittu kenttäkokeisiin pohjautuen ohjeet siitä, miten tulos muutetaan lannoitus- ja kalkitus-suositukseksi viljelijälle. Perusmenetelmät ovat pysyneet melko muuttumattomina 50 vuotta, mutta niihin on lisätty monia keskeisiä lähinnä hivenravinteita kuvaavia menetelmiä. Myös suosituksia on muutettu muuttuneen viljelyteknologian, viljelykasvien ja lajikkeiden ja esimerkiksi ympäristövaatimusten mukaan, ja niitä päivitetään jatkuvasti tarpeen mukaan yhteistyössä tutkimuksen, neuvonnan, lannoiteteollisuuden sekä maatalous- ja ympäristöhallinnon kanssa.

Viljavuustutkimus ohjannut lannoitusta ympäristöystävällisempään suuntaan

Viljavuustutkimuksen merkitys lisääntyi huomattavasti, kun se tuli mukaan maatalouden ympäristötuen ehtoihin vuonna 1995. Vuoden 1998 toukokuun loppuun mennessä oli kaikilla tuen piirissä olevilla tiloilla oltava voimassa oleva viljavuustutkimus. Peltojen viljavuus on määritettävä nykyisten ohjeiden mukaan viiden vuoden välein. Jo aiemmin, 1990-luvun alussa tapahtui merkittävä muutos lannoituksen suhteessa ympäristöön, kun fosforin käyttösuosituksia alennettiin oleellisesti, kun oli huomattu fosforin haitallisuus vesistöissä ja se, että kasvit tulevat toimeen vähäisemmälläkin fosforilla. Tavoitteeksi asetettiin fosforitila tyydyttävän ja hyvän väliltä. Nämä toimet ovat johtaneet varsinkin lannoitteiden korkeimpien käyttömäärien alentumiseen ja maan fosforitilan kehittymiseen toivotulla tavalla Viljavuuspalveluun tulleissa näytteissä, eli korkeimmat viljavuusfosforiluvut ovat alentuneet ja alimmat hiukan nousseet. Fosforitilan kehityksen pitäisi näkyä ennen pitkää myös vesistökuormituksen alentumisena.

Viljavuustutkimus ei pysty vastaamaan kaikkiin maan kasvukuntoa koskeviin kysymyksiin. Kemiallisesti vapautuvat kasvinravinteet pystytään määrittämään sillä melko hyvin kasvin tarpeita vastaavasti, mutta typpilannoituksen tueksi sekä maan biologisten toimintojen ja rakenteen kuvaamiseen ei ole riittävästi menetelmiä. Myös fosforin ja kaliumin vaikealiukoisempien ns. reservivarojen sekä muokkauskerroksen alapuolella pohjamaassa olevien ravinteiden merki-

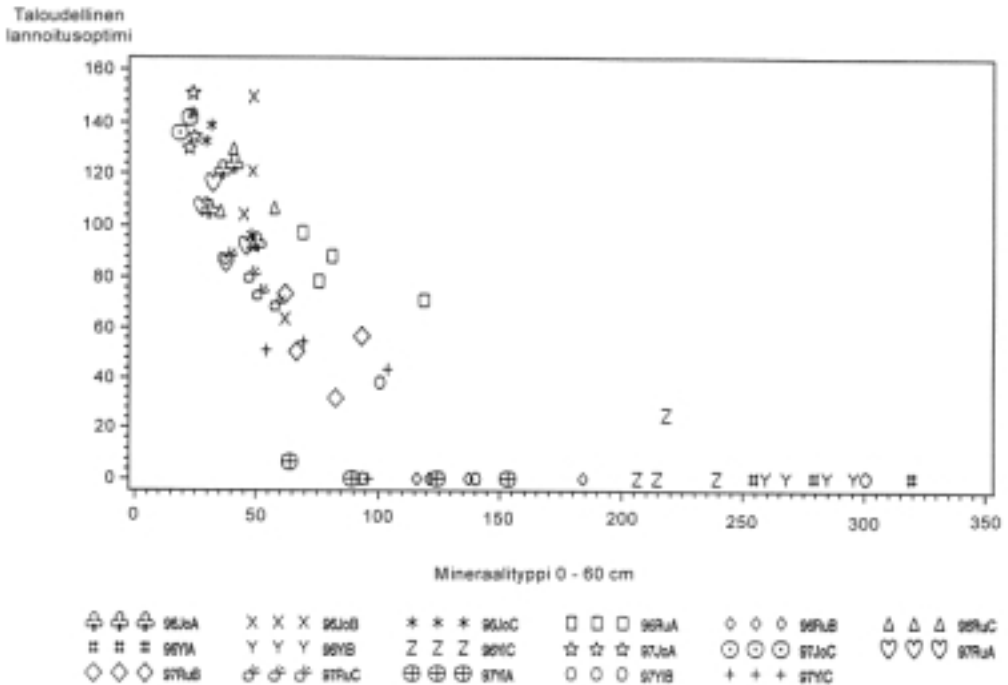
tystä kasveille ja niiden huomioon ottamista viljavuustutkimuksessa pitäisi kehittää.

Typellekin tarvitaan määrittäminen

Typelle ei ole voitu kehittää viljavuusanalyysin kaltaista menetelmää lannoitus-tarpeen ennakoimiseksi samaan tapaan kuin muilla ravinteilla. Pääasiallinen syy tähän on se, että typen vapautuminen maasta kasveille käyttökelpoiseen muotoon on enemmän riippuvainen maaperän biologisista prosesseista kuin muiden ravinteiden. Nämä puolestaan riippuvat pitkälle maan lämpötilasta ja kosteudesta. Tästä syystä kasveille käyttökelpoista typpeä ei myöskään voida määrittää edullisesti muiden ravinteiden mukana kuivatuista näytteistä, vaan sitä varten tarvitaan tuoret näytteet, näytteiden kylmäsäilytys ja erillinen analyysi, mikä nostaa määrittäminen hintaa ja rajoittaa siihen käytettävissä olevaa aikaa. Käytännössä analyysi olisi tehtävä noin parin viikon aikana keväällä ennen kylvöä, mikä kaupallisessa mittakaavassa on mahdotonta. Typpilannoitusta ennakoiva järjestelmä onkin rakennettava toiselle pohjalle. Tähän saakka typpilannoitusta koskeva neuvonta on annettu lannoitus-suositustaulukoissa, jotka on laadittu mm. viljelykasvin, lajikkeen, odotettavissa olevan satotason, maalajin, ilmasto-vyöhykkeen, esikasvin perusteella.

Aikaisemmin on katsottu, että Suomen ilmasto-oloissa maan kasveille käyttökelpoisen ns. mineraalitypen määrittäminen keväällä ja sitä koskevan tiedon huomioon ottaminen lannoituksessa ei ole perusteltua. Aiempien tutkimusten mukaan mineraalitypen määrä maassa on keväällä vain 10 – 20 kg/ha ja sen vaihtelu on vähäistä jatkuvassa viljanviljelyssä (Sippola & Ylärinta 1985). Viljanviljelyssä on katsottu, että parempi menetelmä on määrittää typpi kasvustosta kasvukauden aikana ja antaa se täydennyslannoituksena.

Leppänen ja Esala (1995, 1999) kuitenkin osoittivat, että toisin kuin jatkuvassa viljanviljelyssä mm. karjanlannan levityksen jälkeen, nurmiviljelyssä, vihannetiljelyssä sekä eräiden muiden kasvien viljelyn jälkeen voi maassa olla niin suuria määriä mineraalityppeä, että se tulisi ottaa huomioon lannoitusta suunniteltaessa. Joillakin maalajeilla ja alueilla voi mineraalityppeä myös esiintyä keväällä suurempia määriä, lähinnä maan keski- ja pohjoisosissa. Alustavat tutkimukset osoittivat lisäksi, että kevään mineraalitypen määrä voidaan ottaa suoraan huomioon lannoitusta mitoitettaessa (Kuva 1). Pika-analyysimenetelmien on todettu soveltuvan maan typpisisällön mittaamiseen, vaikka ne ovatkin vielä melko työläitä tilalla käytettäviksi. Vihannestiloilla pikamäärittäminen perustuva tarkennettu lannoitus on jo nyt mukana maatalouden ympäristötukiohjelman toimenpiteissä. Mallasohralla on valkuaispitoisuuden nouseminen liian korkeaksi jatkuvasti ongelmana ja sen typpilannoitus-tarpeen ennustamiseksi olisi tarpeen kehittää menetelmä.



Kuva 1. Keväällä maassa olevan mineraalitypen (kg/ha 0 - 60 cm syvyydellä, x-akseli) vaikutus typpilannoitusoptimiin (kg/ha, y-akseli). Kuvan selitteet: koevuosi; -96 ja -97, koepaikka; Jo = Jokioinen, Ru = Ruukki, Yi = Ylistaro ja typpilannoituskäsittely; A = 80/40 m³, B = 40/20 m³, C = 0 m³ naudan (Jokioinen ja Ruukki) tai sian (Ylistaro) lietelantaa (Leppänen & Esala 1999).

Joissakin maissa on myös kehitetty malleihin, taseisiin ja muuhun tiedonkeruuseen perustuvia päätöksentekojärjestelmiä typpilannoitustarpeen ennustamiseksi (Chambers ym. 2000, Denuit ym. 2001, Jeoffroy ym. 2001, Machet ym. 2001, Meynard ym. 2001). Esille on tullut myöskin muutamia lupaavia menetelmiä potentiaalisesti mineralisoituvan typen mittaamiseksi mm. viljavuustutkimusta varten otetuista kuivatuista näytteistä suhteellisen edullisesti (Velthof & Oenema 2001).

Maan rakenteen ja biologisten toimintojen muodostama laatu

Maan rakenteen ja biologisen viljavuuden määrittelemiseksi on kehitetty erilaisia käsitteitä, mm. maan laatu (soil quality) tai maan terveys (soil health) (Karlen & Andrews 2000, USDA/NRSD/SQI 2002). Käsitteillä pyritään määrittelemään maan toimintaa pellolla, tilojen välillä tai valuma-alueilla mitattuna erilaisilla fysikaalisilla, kemiallisilla tai biologisilla mittareilla. Koska yksinker-

taisia, halpoja ja yksiselitteisiä laboratoriomenetelmiä ei ole, pyritään maan laatua määrittelemään mm. maan laatu –korteilla, joihin kerätään tietoa maan toimintaa kuvaavista tekijöistä, jotka sitten pisteytetään.

Ympäristöohjaus aiheuttaa myös ongelmia

Viljavuustutkimuksen mukaantulo ympäristötuen ehtoihin on tehnyt siitä käytännössä pakollisen viljelijälle. Haittana on se, että maatalouden kustannuspaineissa "pakollinen" määräitys tehdään vain minimitavoitteiden mukaisena. Lohkolta saatetaan ottaa vähemmän näytteitä kuin aiemmin, ja tutkimuksen tulosta ei käytetä täysimääräisesti lannoituksen suunnittelussa. Näytemäärän lisääntyessä alalle on syntynyt myöskin useampia laboratorioita. Ottaen huomioon määrittelyn merkitys sekä taloudellisesti että ympäristön kannalta olisi laboratorioiden valvonta saatettava riittävän kattavalle pohjalle. EU:n puolelta tulee paineita määrittelymenetelmien yhdenmukaistamiseksi eri maissa. Meille on tärkeää voida käyttää omia menetelmiä, sillä muualla käytetyt menetelmät soveltuvat huonommin suomalaisten maiden viljavuuden määrittämiseen.

Kirjallisuus

Chambers, B., Nicholson, F., Smith, K. & Lord, E. 2000. MANNER: A decision support system for predicting manure nitrogen availability and losses. Teoksessa: Eurosoil 2000, Reading, Englanti, 4.–6. syyskuuta 2000. Abstracts. British Soil Science Society.

Denuit, J., Goffaux, M., Maes, B., Hallaux, B., Olivier, M., Destain, J., Herman, J., Goffart, J. & Frankiert, M. 2001. Proposal of new strategies of nitrogen fertilization on cereals and potato crops in Belgium. Teoksessa: 11th Nitrogen workshop, Reims, Ranska, 9.–12. syyskuuta 2001. Book of Abstracts. s. 399-400.

Jeoffroy, M., Bouchard, C., Meynard, J. & Recous, S. 2001. Azodyn: a tool to adapt N-fertilization strategies to farmers' objectives. Teoksessa: 11th Nitrogen workshop, Reims, Ranska, 9.–12. syyskuuta 2001. Book of Abstracts. s. 465 - 466.

Karlen, D. & Andrews, S. 2000. The soil quality concept: A tool for evaluating sustainability. NJF seminar Soil Stresses, Quality and Care, Ås, Norja, 10.-12. huhtikuuta 2000. Abstracts. 35 s.

Leppänen, A & Esala, M. 1995. Keväisen mineraalityypianalyysin käyttö lannoitustarpeen ennustamisessa. Esitutkimus. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 1/95. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 29 s.

- Leppänen, A & Esala, M. 1999. Keväisen mineraalityypianalyysin käyttö lannoitustarpeen ennustamiseen. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 65. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 25 s.
- Machet, J., Dubrulle, P., Damay, N. & Recous, S. 2001. Azofert: a decision support tool for fertilizer N recommendations based on a new version of the predictive balance sheet method.
- Teoksessa: 11th Nitrogen workshop, Reims, Ranska, 9.–12. syyskuuta 2001. Book of Abstracts. s. 487-488.
- Meynard, J., Cerf, M., Guichard, L., Jeuffroy, M. & Makowski, D. 2001. Nitrogen decision support and environmental management. Teoksessa: 11th Nitrogen workshop, Reims, Ranska, 9.–2. syyskuuta 2001. Book of Abstracts. s. 389-390.
- Sippola, J. & Ylärinta, T. 1985. Mineral nitrogen reserves in soil and nitrogen fertilization of barley. *Annales Agriculturae Fenniae* 24: 117 – 124.
- USDA/NRSD/SQI 2002. Soil Quality – Managing soil for today and tomorrow. US Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Soil Quality Institute. Päivitetty maaliskuussa 2002. Viitattu 29.8.2002. Saatavissa internetistä: <http://www.statlab.iastate.edu/survey/SQI/>.
- Velthof, G. & Oenema, O. 2001. Comparison indices for nitrogen mineralization in soil. Teoksessa: 11th Nitrogen workshop, Reims, Ranska, 9.–12. syyskuuta 2001. Book of Abstracts. s. 469-370.

Kasveille käyttökelpoiset fosforivarat maassa

Helinä Hartikainen

Helsingin yliopisto, Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto, helina.hartikainen@helsinki.fi

Tiivistelmä

Maassa olevan fosforin määrä ja laatu vaihtelevat. Maan fosforivaroihin vaikuttavat lähtöaineikseen olleen kallioperän laatu, lajitekoostumus, maan kehitystasaste ja viljelyhistoria. Biologisen käyttökelpoisuuden mukaan fosforireservit voidaan jakaa karkeasti kolmeen luokkaan: 1) aktiivinen eli liukoinen, 2) labiili eli helposti mobilisoituva ja 3) stabiili eli erittäin huonosti käytettävissä oleva fosfori. Kaikissa näissä luokissa fosfori esiintyy sekä epäorgaanisessa että orgaanisessa muodossa. Rapautumattoman kiviaineksen apatiitti ja humuksen vaikeasti hajoavat fosforyyhdisteet muodostavat pääosan stabiilista fosforiluokasta. Kasvit ottavat fosforin epäorgaanisessa muodossa ja kilpailevat fosforista tehokkaiden kemiallisten pidätymsreaktioiden kanssa. Orgaaninen fosfori on käytettävissä vasta mineralisoitumisen jälkeen. Maavedessä liukoisena oleva fosfori on helpoiten kasvien käytettävissä, mutta sen määrä ei riitä kuin hetkellisesti tyydyttämään niiden tarpeen. Hiukkaspinnoilta labiilista fosforiluokasta tapahtuva mobilisoituminen turvaa fosforin saannin jatkumisen. Fosforireservien käyttökelpoisuus määräytyy näin ollen pitkälti maaveden liukoisen ja hiukkaspinnoille pidättyneen fosforin välisen tasapainon perusteella. Pidättyneen fosforin mobilisoitumistaipumus puolestaan riippuu oksidien pinnan täytymisasteesta, kilpailevien ionien läsnäolosta ja maanesteen suolapitoisuudesta. Maassa voi olla käyttökelpoista fosforia, jonka biologista saatavuutta voidaan edistää muokkaamalla maan kemiallisia ominaisuuksia. Käytön tehokkuus puolestaan määräytyy reservien saavutettavuuden mukaan, mikä riippuu juurten kasvuun vaikuttavista fysikaalisista tekijöistä.

Avainsanat: fosfori, maaperä, kasvinravinteet, makroravinteet

Johdanto

Jo yli 150 vuotta sitten oltiin selvillä siitä, että kaikki maassa esiintyvä fosfori ei ole kasvien käytössä. Noilta ajoilta on peräisin vanhin luokittelu, jossa fosfori jaettiin kahteen kategoriaan: "active" ja "dormant". Jako oli hyvin yksinkertainen ja varsin epämääräinen, koska fosforin kemia tunnettiin huonosti. Vaikka sana "dormant" voidaan kääntää ilmaisulla hyödyttömänä oleva, se viittaa kuitenkin enemmän uinuvaan. Ehkäpä kuvatessaan toista kategoriaa tällä sanalla tuon ajan tutkijat viestittivät aavistuksenomaista käsitystään siitä, että maassa on

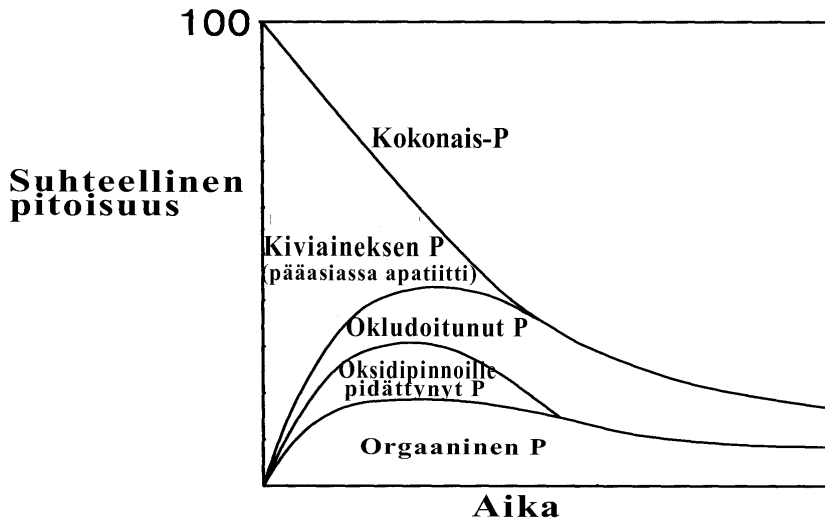
aktiivisten ja välittömästi käyttökelpoisten varojen lisäksi myös potentiaalisesti hyödynnettävissä olevia reservejä.

Tutkimusmenetelmien kehittymisen myötä tieto maan fosforin esiintymismuodoista ja reaktioista vähitellen lisääntyi. Merkittävä edistysaskel otettiin 1960-luvun lopussa, kun päästiin selville fosforin spesifisestä pidättymismekanismista (ks. Hingston ym. 1967). Teoreettinen perusta systematisoi fosforin kemiaa ja alettiin ymmärtää, miten maa-aineksen omat ominaisuudet ja ulkoiset olosuhteet vaikuttavat fosforin sitoutumiseen ja vapautumiseen ja miten tasapaino eri fosforipoolien välillä määräytyy. Samalla käsitys eri fosforireservien biologisesta käyttökelpoisuudesta alkoi tarkentua. Nykyisin luokittelussa käytetään erilaisia lähestymistapoja; ryhmittely voi tapahtua esim. kemiallisen esiintymismuodon tai biologisen saatavuuden perusteella. Teoreettisen tiedon lisääntymisen myötä kemialliset ja biologiset testimenetelmät ovat parantuneet, sillä mitä paremmin jonkin menetelmän toiminta voidaan mekanistisesti perustella, sitä relevantimpänä sillä saatua tulosta voidaan pitää.

Fosforin esiintyminen maassa

Luontaiset fosforivarat vaihtelevat määrällisesti hyvin paljon maaperän lähtöaineksena olleen kallioperän laadun sekä maan tekstuurin ja kehitysasteen mukaan. Luonnontilaisilla alueilla Suomessa pitoisuudet ovat pieniä karkeissa ja podsoloituneissa maissa, mutta myös tropiikin ja subtropiikin pitkälle rapautuneet savespitoiset maat voivat olla varsin köyhiä. Eniten fosforia on nuorissa maissa, jotka ovat syntyneet runsaasti fosforia sisältävästä kiviaineksesta kuten basaltista. Globaalissa mittakaavassa maannostumisprosessien edetessä maan kokonaisfosforin määrä kuitenkin pitkien aikojen kuluessa hiljalleen pienenee ja fosforin jakauma muuttuu (Kuva 1).

Luonnonoloissa kehityskulku näyttää vievän suuntaan, jossa maaperän fosforin biologinen saatavuus todennäköisesti rapautumisen ja muiden pedologisten prosessien seurauksena aluksi kasvaa, mutta alkaa lopulta vähitellen heiketä. Viljelytoimenpiteet kuitenkin muuttavat kehityksen kulkua ja voivat hyvinkin tuntuvasti ohjalla reaktioiden suuntaa. Erityisen tuntuva vaikutus on ollut lannoituksella. Se on ollut tarpeen viljelymailla yleisesti esiintyvän fosforin puutteen takia.



Kuva 1. Maannostumisen myötä tapahtuvat maan kokonaisfosforin ja eri fosforimuotojen (P) muutokset (Smeckin 1985 mukaan).

Fosfori on kuitenkin ravinne, josta kasvit samoin kuin maan mikrobitkin joutuvat kilpailemaan kemiallisten sitoutumisreaktioiden kanssa. Tehokas pidättymisen vähentää fosforin huuhtoutumista maaprofiilissa alaspäin vajoavan veden mukana, mutta alentaa samalla sen käyttökelpoisuutta kasveille. Pidättymistapumuksen suhteen fosfori eroaa ratkaisevasti typestä. Ravinteiden saannin turvaamiseksi annetusta lannoitefosforista huomattava osa on sitoutunut kemiallisesti ja maan pintakerrokseen on kertynyt käyttämättä jäänyttä fosforia. Pidätpintoina toimivat alumiinin ja raudan oksidit, joita syntyy rapautumisen tuloksena. Hienojakoisissa savimaissa näitä komponentteja on paljon enemmän kuin karkeissa kivennäismaissa, minkä vuoksi savimaiden fosforinsitomiskapasiteetti on tunnetusti suuri. Koska turvemaissa on tavallisesti hyvin vähän oksidiainesta, liukoiset fosforilannoitteet huuhtoutuvat niistä helposti. Maalajien väliset erot myös kokonaisfosforin suhteen ovat melko selkeitä: lajitekoostumuksen muuttuessa hienojakoisempaan suuntaan kasvaa samalla fosforipitoisuus.

Fosforireservien luokittelu

Paitsi eri maalajien myös maaprofiilin eri kerrosten välillä fosforifraktioiden määrälliset ja laadulliset erot voivat olla hyvin suuria. Orgaanisen fosforin osuus on luonnollisesti suhteellisen suurempi pintakerroksissa kuin syvemmissä horisonteissa. Alla olevassa luokittelussa fosforivarat on jaettu viiteen ryhmään lähinnä esiintymismuodon ja sitoutumistavan mukaan:

- 1) liukoinen fosfori maavedessä joko epäorgaanisessa tai orgaanisessa muodossa
- 2) hiukkaspinnoille sorptioreaktioilla sitoutuneet reservit
- 3) maan orgaanisen aineksen sisältämä fosfori
- 4) kemiallisina saostumina esiintyvä fosfori
- 5) rapautumattomassa kiviaineksessa oleva fosfori

Maassa tapahtuvat kemialliset ja biologiset prosessit muokkaavat kuitenkin jatkuvasti fosforireservejä. Fosfori voi siirtyä poolista toiseen, joskin eri poolien välisten reaktioiden nopeus voi vaihdella melkoisesti. Kemiallisten saostumien merkitystä maan fosforitaloudessa pidetään nykyisin varsin pienenä. Kaikki maassa tapahtuvat prosessit kuitenkin vaikuttavat enemmän tai vähemmän fosforin biologiseen käyttökelpoisuuteen, joka määräytyy viime kädessä sitoutumislajuuden tai yhdisteiden liukoisuuden ja hajoamisherkyyden mukaan. Kuvassa 2 on esitetty yksinkertaistettu luokitus, jossa fosforivarat on ryhmitelty käyttökelpoisuuden mukaan. On kuitenkin huomattava, että myös eri pooleissa olevan fosforin käyttökelpoisuudessa voi olla sisäistä vaihtelua.

<i>Aktiivinen/ liukoinen P:</i> maanesteessä epäorgaanisena tai orgaanisena	<i>Labiili pooli:</i> oksidien pinnoilla/ helposti hajoavassa orgaanisessa aineksessa	<i>Stabiili pooli:</i> mineraalirakenteissa/ humuksessa/ okludoituneena eli oksidien sisäosiin sulkeutuneena
--	--	---

Tasapaino:	←	→
	→	←
	nopea!	hidas

Reservit pienet (suhteellinen koko: 1)	Määrä vaihtelee (100)	Reservit suuret (5000)
--	-----------------------	------------------------

<i>Pääosin heti käyttökelpoista</i>	<i>Potentiaalisesti käyttökelpoista</i>	<i>Käytännössä käyttökeltvotonta</i>
-------------------------------------	---	--------------------------------------

Kuva 2. Maan fosforireservien yleispiirteinen luokittelu käyttökelpoisuuden mukaan, fosforin suhteellinen määrä eri pooleissa sekä poolien välisten reaktioiden nopeudet.

Eri fosforipoolien käyttökelpoisuus kasveille

Stabiili pooli

Stabiilissa poolissa oleva fosfori on käytännöllisesti katsoen käyttökeltvotonta. Suurimman osan siitä muodostaa apatiitti, josta lähes kaikki luonnossa kiertävä fosfori on peräisin. Se on erittäin vaikeasti rapautuva mineraali. Vaikka kasvit pystyvät jossain määrin liuottamaan apatiitista fosfaatti-anioneja juurten mykorrhizasienien avulla, reaktiolla voidaan katsoa olevan merkitystä lähinnä luonnontilaisissa maissa. Viljelykasvien fosforin tarpeen tyydyttämiseksi rapautumisreaktiot ovat aivan liian hitaita. Apatiittisen fosforin suhteellisen suuri osuus Suomen maaperässä kertoo siitä, että 10 000 vuotta on ollut lyhyt aika näiden reservien kiertoon saattamiseksi. Sedimentistä alkuperää oleva apatiitti on mikrokiteistä ja helpommin liukenevaa kuin suomalaisten maiden magmaattista alkuperää oleva. On myös huomattava, että kaikki rapautumisessa maaveteen vapautuneet fosfaatti-ionit altistuvat kemiallisille pidättymisreaktiolle. Rapautumisessa samanaikaisesti tuotetut oksidit sitovat pinnoilleen maavedestä fosforia ja sillä tavalla siirtävät fosforia ns. pidättyneeseen pooliin, jossa oleva fosfori on kontaktissa maaveden kanssa ja siten mahdollisesti hyödynnettävissä.

Myös humusainekseen rakentuneen fosforin voidaan katsoa kuuluvan huonosti käyttökelpoiseen stabiiliin pooliin, sillä varsinainen humus on erittäin kestävää mikrobiologista hajotusta vastaan monimutkaisen rakenteensa takia. Humuksen puoliintumisajat voivat vaihdella vuosikymmenistä satoihin, jopa tuhanteen vuoteen, mikä tekee siitä käytännössä huonosti käytettävissä olevan ravinnevaraston. Kailan vuonna 1948 esittämä käsitys, että humifioituneen aineksen sisältämä fosfori on varsin huonosti kasvien käytettävissä, on edelleen vallitseva.

Labiili pooli

Oksidien pinnoille spesifisesti pidättynyt fosfori tulee kasvien käyttöön erilaisen mobilisointireaktioiden kautta. Helposti maaveteen mobilisoituvaa fosforia sanotaan labiiliksi pooliksi. Se muodostaa tärkeän osan käyttökelpoisen fosforin varastosta, sillä liukoisen poolin koko on niin pieni, ettei se pysty kuin hetkellisesti tyydyttämään kasvien fosforin tarpeen. Dynaaminen tasapaino liukoisen ja hiukkaspintojen labiiliin poolin välillä turvaa fosforin saannin jatkuvuuden.

Tämän tasapainon ylläpidossa keskeisessä roolissa ovat sorptio- ja desorptioreaktiot, joiden avulla maa pyrkii vastustamaan maaveden fosforipitoisuuden muutoksia. Toisin sanoen maaveden fosforipitoisuuden äkisti kasvaessa esimerkiksi lannoituksen seurauksena, osa liukoisesta fosforista siirtyy pidätyspinnalle eräänlaiseen välivarastoon. Reaktio vastustaa liukoisen fosforin pitoisuuden nousua ja samalla lisää kiintoainekseen pidättyneen fosforin määrää. Kun fosfo-

ripitoisuus maavedessä pienenee esimerkiksi kasvien ravinteiden oton tai ohivirtaavan tulvaveden vaikutuksesta, maa-aines pyrkii luovuttamaan fosforia takaisin liuosfaasiin vastustaakseen pitoisuuden pienenemistä. Osa lujemmin oksidipinnoille sitoutuneesta fosforista voidaan saada biologiseen kiertoon mm. mykorritsasienten avulla. Etenkin viljelymailla mykorritsasienet mobilisoivat todennäköisesti etupäässä sekundaarisia pidättyneitä fosforivaroja ja vähemmän primaarista apatiitin fosforia.

Kansainvälisen kirjallisuuden mukaan orgaanisen fosforin osuus kokonaisfosforista on yleensä 25-65 %. Turvemailla osuus on luonnollisesti kaikkein suurin. Koska on kysymys näinkin huomattavasta ravinnereservistä, on valitettavaa, että sitä ei ole Suomessa juuri lainkaan tutkittu. Merkittävin alalta tehty tutkimus on professori Armi Kailan väitöskirja vuodelta 1948. Helposti hajoava orgaaninen karike- ja jättemateriaali toimii ravinnevarastona, jonka sisältämä fosfori on potentiaalisesti käyttökelpoista ja vapautuu mikrobien ja sienten tuottamien entsyymien avulla. On kuitenkin huomattava, että orgaanisten fosforiyhdisteiden sitoutuminen oksidipinnoille tai Ca-yhdisteeksi tekee niistä vaikeasti hajoavia. Tällä reaktiotaipumuksella lienee kuitenkin varsin vähän merkitystä, sillä vain hyvin pieni osa biologisiin kiertoihin osallistuvasta fosforista akkumuloituu maahan orgaanisessa muodossa. Tästä on osoituksena, että vaikka karjanlannan mukana maahan lisätään huomattavia määriä orgaanista fosforia, maahan sitä ei välttämättä mainittavasti kerry (esim. Redding 2001). Orgaaninen fosfori on selvästi vähemmän yhteydessä orgaaniseen hiileen kuin typpi ja rikki. Tämä näkyy mm. siinä, että C/P-suhde on tavallisesti 100 - 1000, mikä on noin 10 -100 kertaa suurempi kuin C/N-suhteen vaihteluväli (Dalal 1977).

Liukoinen fosfori

Teknisten ja analyttisten hankaluuksien takia maaveden kemiallinen tutkimus on ollut suhteellisen vähäistä ja käsitys maaveden fosforin luonteesta jokseenkin epätarkka. Koska kasvit ottavat ravinteensa maavedestä, liukoisena olevan fosforin on yleisesti katsottu olevan käyttökelpoista. Tarkkaan ottaen kuitenkin vain maaveden epäorgaaninen fosfori on välittömästi kasvien saatavissa, orgaaninen fosfori tulee käyttöön hitaammin entsyymaattisten pilkkoutumisreaktioiden jälkeen. Viime aikoina on käynyt yhä ilmeisemmäksi, että orgaaniset ja kondensoituneet fosforiyhdisteet voivat olla dominoivia fosforijakeita maavedessä (esim. Ron Vaz ym. 1993, Shand ym. 1994a,b). Itse asiassa havainto ei ole aivan uusi, sillä Kaila totesi jo vuonna 1948, että liuenneen epäorgaanisen ja orgaanisen fosforin arvot on pidettävä erillään arvioitaessa biologisesti käyttökelpoisen fosforin määrää. Myöhemmin tähän käsitykseen on yhtynyt mm. Coventry ym. (2001).

Fosforipoolien väliset reaktiot

Hiukkaspinnoille pidättyneestä labiilista fraktiosta pääosa on epäorgaanista. Orgaaniset fosforyyhdisteet pystyvät sitoutumaan epäorgaanisen fosforin tavoin, mutta tällöin niiden mikrobiologinen hajoaminen merkittävästi hidastuu ja ne voivat muuttua osaksi stabiilia poolia. Toisaalta on huomattava, että hiukkaspinnoille pidättynyttä epäorgaanista fosforia voi ajan mittaan siirtyä oksidien pinnoilta niiden huokosiin sisäosiin, jossa se sitoutuu erittäin vaikeasti vapautuvaan muotoon ja poistuu siten aktiivisesta kierrosta. Tämä reaktio voi heikentää esimerkiksi vuosien mittaan käyttämättä jääneen lannoitefosforin jäännösvaikutusta. Toisin sanoen rapautumisen, lannoituksen ja mikrobiologisen hajoitusreaktioiden tuottamat fosfaatti-ionit kasvattavat labiilia poolia, mutta ionien vähittäinen diffuusio oksidien sisäosiin pienentää sitä.

Pidättyneen fosforin mobilisoituminen

Pidättyneen fosforin vapautumista säätelevä sitoutumislujuus määräytyy sen mukaan miten täynnä oksidipinnat ovat. Pintojen täytyessä fosfaatti-anionien sitoutumislujuus pienenee kahdesta syystä. Ensiksi, oksidipinnan negatiivinen sähkövaraus kasvaa, kun sitoutuvat anionit liittyvät osaksi pintaa ja vievät sille mukanaan oman negatiivisen sähkövarauksensa. Negatiivisen pintavaruksen kasvu vähitellen vaikeuttaa uusien anionien pidättymistä. Toiseksi, fosforin sitoutumistapa muuttuu pinnan vähitellen täytyessä. Kun vapaata sitomispintaa on paljon, fosfaatti voi kiinnittyä oksidipinnalla yhtä aikaa kahteen keskuskatiooniin, jolloin syntyy luja kompleksi (ns. kaksihampainen sidos). Pinnan täytyessä pidättyminen tapahtuu yhä enemmän yhdellä sidoksella (ns. yksihampainen sidos), jolloin sitoutumislujuus pienenee. Tämä merkitsee käytännössä sitä, että lannoituksella aikaansaatu fosforireservien kasvu edistää myöhemmin lisättävän lannoitefosforin hyväksikäyttöä

Samasta pidätyspinnasta kilpailevat anionit heikentävät fosforin sitoutumismahdollisuuksia miehittämällä oksidipintoja. Muun muassa humuksen orgaaniset anionit voivat edistää fosforin saatavuutta tämän mekanismin kautta. Fosforin sitoutuminen on tunnetusti erityisen tehokasta happamissa maissa (ks. esim. Hartikainen & Simojoki 1997), mutta kalkituksella voidaan kuitenkin jonkin verran parantaa fosforin saatavuutta (Salonen 1946, Füleky 1978). Kalkituksen edullinen vaikutus voidaan selittää monen biologisen ja kemiallisen mekanismin kautta. Yhtenä vaikuttavana tekijänä on pH:n nousun aiheuttama pidätyspinnan negatiivisen varauksen kasvu (tai OH-ionien aiheuttama kilpailu). Toisaalta mikrobiologinen aktiivisuus lisääntyy ja sitä kautta orgaanisen fosforin mobilisoituminen voi parantua. Kuonakalkkeja käytettäessä maahan saadaan lisäksi liukoisia silikaatti-anioneja, jotka pyrkivät sitoutumaan oksidipinnoille ja kilpailullaan edistävät fosfaatin saatavuutta (Kanerva 2002). Urean (virtsan) joutuminen maahan nostaa paikallisesti maan pH:n erittäin korkeaksi, minkä on

havaittu aiheuttavan maan orgaanisen aineksen liikkeellelähtöä ja edistävän voimakkaasti fosforin liukoisuutta (Hartikainen & Koivunen 1990, Hartikainen & Yli-Halla 1995).

Myös maaveden suolapitoisuus voi vaikuttaa potentiaalisesti käyttökelpoisten fosforivarojen saatavuuteen. Suolapitoisuuden nousu edistää pidättymistä ja ainakin hidastaa fosforivarojen vapautumista maaveteen (mm. Ryden & Syers 1975, Barrow ym. 1980). Toistaiseksi on kuitenkin varsin vähän selvitetty maanesteen koostumuksen käytännön merkitystä kasvien fosforin saannin kannalta, vaikka teoreettisten tutkimusten mukaan sillä on vaikutusta liukoisen ja labiilin poolin väliseen tasapainoon. On mahdollista, että keväällä lannoiterivien läheisyydessä korkea suolapitoisuus heikentää fosforin saatavuutta ainakin ohimenevästi. Lisäksi tiedetään, että suuri 2-arvoisten kationien pitoisuus maavedessä hidastaa fosforin mobilisoitumista hiukkaspinoilta (Ryden & Syers 1975).

Mikrobiologisissa reaktioissa voi syntyä yksinkertaisia orgaanisia happoja. Niistä oltiin varsin kiinnostuneita erityisesti puoli vuosisataa sitten (esim. Struthers & Sieling 1950, Dalton ym. 1952). Jensenin tutkimus vuodelta 1917 oli ensimmäisiä, joissa raportoitiin joidenkin orgaanisten yhdisteiden parantavan fosforin käyttökelpoisuutta. On kuitenkin syytä korostaa, että jo 1950-luvun tutkimuksissa selvisi, että positiivinen vaikutus perustuu hiukkaspinoille pidättyneen labiilin fosforin mobilisoitumiseen eikä vaikeasti rapautuvan apatiitin reaktioihin. Näin ollen labiilin poolin kertyminen on myös mikrobiologisen happotuotannon hyväksikäytön edellytys.

Yhteenvetona voidaan todeta, että vaikka fosforin esiintymismuoto on keskeinen potentiaaliseen käyttökelpoisuuteen vaikuttava tekijä, käytännössä reservien hyödynnettävyys riippuu myös muista maaperätekijöistä. Hiukkaspinoilla oleva fosfori on potentiaalisesti käyttökelpoista, mutta sen mobilisoitumisherkkyys riippuu mm. pidättävien pintojen täyttymisasteesta, maa-aineksen happamuudesta, kilpailevien ionien läsnäolosta, maaveden suolapitoisuudesta ja maan biologisesta aktiivisuudesta. Maaperäolosuhteita säätelemällä on siis mahdollista vaikuttaa ainakin jossain määrin maan fosforireservien hyödynnettävyyteen. Fosfori on maassa dynaamisessa tilassa ja olosuhteiden muutokset voivat heijastua muutoksina käyttökelpoisen poolin määrässä. Koska fosfori liikkuu maassa huonosti, maan fysikaalisilla ominaisuuksilla on tärkeä merkitys sen saannin turvaamisessa, sillä ne vaikuttavat juurten kasvuun ja siten reservien saavutettavuuteen.

Kirjallisuus

- Barrow, N.J., Bowden, J.W., Posner, A.M. & Qiurk, J.P. 1980. Describing the effects of electrolyte on adsorption of phosphate by a variable surface. *Australian Journal of Soil research* 18: 395-404.
- Coventry, J.L., Halliwell, D.J. & Nash, D.M. 2001. The orthophosphate content of bicarbonate soil extracts. *Australian Journal of Soil Research* 39: 415-421.
- Dalal, R.C. 1977. Soil organic phosphorus. *Advances in Agronomy* 29: 83-117.
- Dalton, J.D., Russell, G.C. & Sieling, D.H. 1952. Effect of organic matter on phosphate availability. *Soil Science* 73: 173-181.
- Füleky, Gy. 1978. Available phosphorus content of soil affected by P fertilization and its change in time. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 9: 851-863.
- Hartikainen, H. & Koivunen, M. 1990. Mobilization of soil phosphorus as induced by urea hydrolysis. *Teoksessa: Transactions of 14th International Congress of Soil Science. Vol 2. Commission 2. s. 204- 209.*
- Hartikainen, H. & Simojoki, A. 1997. Changes in solid- and solution-phase phosphorus in soil on acidification. *European Journal of Soil Science* 48: 493-498.
- Hartikainen, H. & Yli-Halla, M. 1995. Solubility of soil phosphorus as influenced by urea. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 159: 327-332.
- Hingston, F.J. Atkinson, R.J., Posner, A.M. & Quirk, J.P. 1967. Specific adsorption of anions. *Nature* 215: 1459-1461.
- Jensen, C.A. 1917. Effect of decomposing organic matter on the solubility of certain inorganic constituents. *Journal of Agricultural Research* 9: 253-268.
- Kaila, A. 1948. Viljelysmaan orgaanisesta fosforista. (Summary: On the organic phosphorus in cultivated soils). *Valtion maatalouskoetoiminnan julkaisuja* 129. Helsinki. Valtioneuvoston kirjapaino. 118 s.
- Kanerva, S. 2002. Maahan pidättyneiden fosforireservien käyttökelpoisuuden parantaminen. *Pro Terra* 10: 1- 78.
- Redding, M.R. 2001. Pig effluent-P application can increase the risk of P transport: two case studies. *Australian Journal of Soil Research* 39: 161-174.
- Ron Vaz, M.D., Edwards, A.C., Shand, C.A. & Cresser, M.S. 1993. Phosphorus fractions in soil solution: Influence of soil acidity and fertilizer additions. *Plant Soil* 148: 175-183.

- Ryden, J.C. & Syers, J.K. 1975. Rationalization of ionic strength and cation effects on phosphate sorption by soils. *Journal of Soil Science* 26: 395-406.
- Salonen, M. 1946. Kalkituksen vaikutuksista maaperän orgaaniseen ja helpo-liukoiseen fosforiin. *Journal of Scientific Agricultural Society of Finland* 18: 1-10.
- Shand, C.A., Macklon, A.E.S., Edwards, A.C. & Smith, S. 1994a. Inorganic and organic P in soil solutions from three upland soils. I Effect of soil solution extraction conditions, soil type and season. *Plant Soil* 159: 255-264.
- Shand, C.A., Macklon, A.E.S., Edwards, A.C. & Smith, S. 1994b. Inorganic and organic P in soil solutions from three upland soils. II Effect of defoliation and fertilizer application. *Plant Soil* 160: 160-171.
- Smeck, N.E. 1985. Phosphorus dynamics in soils and landscapes. *Geoderma* 36: 185.
- Struthers, P.H. & Sieling, D.H. 1950. Effect of organic anions on phosphate precipitation by iron and aluminium as influenced by pH. *Soil Science* 69: 205-213.

Peltomaiden viljavuus ja helppoliukoiset raskasmetallit

Ritva Mäkelä-Kurtto, Jouko Sippola ja Kaarina Grék

MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Ympäristöntutkimus, 31600 Jokioinen,
ritva.makela-kurtto@mtt.fi

Tiivistelmä

Tämä tutkimus on osa pitkäaikaisesta seurantatutkimuksesta, jonka tavoitteena oli tuottaa aikaan ja paikkaan sidottua tietoa viljelymaiden kemiallisista ominaisuuksista ja niissä ajan myötä tapahtuneista muutoksista. Kirjoituksessa esitetään tuloksia peltojen viljavuudesta ja raskasmetalleista vuodelta 1998. Tuolloin tapahtui seurantapisteiden kolmas ja viimeisin näytteidenkeruu runsaalta 700 peltolohkolta, jotka oli valittu tutkimukseen mukaan vuonna 1974 ja jotka edustivat koko Suomen viljeltyä aluetta kattavasti. Maanäytteistä määritettiin maala-ji, pH, humuspitoisuus, johtoluku, tilavuuspaino, helppoliukoiset pää- ja hivenravinteet sekä helppoliukoiset raskasmetallit. Määrittämiin käytettiin tavanomaisen viljavuustutkimuksen maa-analyysi- menetelmiä. Saadut viljavuusluvut (analyysitulokset) ryhmiteltiin seitsemään viljavuusluokkaan, jotka ovat huono, huononlainen, välttävä, tyydyttävä, hyvä, korkea ja arveluttavan korkea. Tavoiteltava viljavuusluokka normaaliviljelyssä on tyydyttävä.

Viljavuustutkimuksen tulkinnan mukaan huomattava osa suomalaisista viljelymaista oli vuonna 1998 edelleen melko happamia ja vähäravinteisia sekä pääettä hivenravinteiden osalta. Noin puolet peltojen pH- ja fosforiluvuista sijoittui nykyisen tavoitetason, viljavuusluokka tyydyttävän, alapuolelle. Kalium-, kalsium- ja booriluvuista 60-70 prosenttia ja magnesium-, mangaani-, molybdeeni-, kupari- ja sinkkiluvuista 30-40 prosenttia oli tavoitetason alapuolella. Myös suhteellisen paljon oli peltoja, joiden ravinnepitoisuudet olivat viljavuustutkimuksen tulkinnan mukaan tarpeettoman suuria. Useimpien pää- ja hivenravinteiden pitoisuusluvuista sekä myös pH-luvuista noin neljännes oli nykyisen tavoitetason, viljavuusluokka tyydyttävän, yläpuolella. Kalium- ja booriluvuista noin 10 prosenttia, fosforiluvuista lähes 20 prosenttia ja rikkiluvuista lähes 70 prosenttia sijoittui tavoitetason yläpuolelle. Neljä prosenttia fosforiluvuista oli arveluttavan korkeita. Haitallisten raskasmetallien, kadmiumin, lyijyn, kromin ja nikkelin, helppoliukoiset pitoisuudet olivat alhaisia verrattuna eräiden muiden Euroopan maiden vastaaviin pitoisuuksiin.

Avainsanat: viljelymaa, ravinteet, mikroravinteet, raskasmetallit, happamuus, humuspitoisuus, viljavuustutkimus

Johdanto

Maaperän suojeleminen ja seuranta on kansainvälisellä tasolla noussut keskeiseksi asiaksi ja seurantatiedon tarve on viime vuosina huomattavasti lisääntynyt. Tietoa suomalaisten viljelymaiden tilasta ja kehityssuunnista tarvitaan muun muassa maataloudellisten ja ympäristöllisten toimenpiteiden vaikuttavuuden seurantaan ja kansallisten ja EU:n säädösten valmisteluun. Maaperän seuranta on myös olennainen osa ympäristöllisten ja terveydellisten riskien hallintaa. Kansallisen laatustrategian (Maa- ja metsätalousministeriö 1999) mukaisesti kaikki elintarvikkeiden tuotantoketjuun kuuluvat toimijat, myös maatilat, on tarkoitettu saattamaan laatuajattelunsa vuoteen 2006 mennessä. Elintarvikkeiden laatuasetus (Maa- ja metsätalousministeriö 2002) edellyttää tietoja tuotteiden alkuperästä ja tuotanto-oloista. Parhaillaan tällaisia tietoja kerätään kehittyneillä olevaan laatuinformaatio- ja tietotekniikkaan (Penttilä & Korpela 2002). Myös ympäristöviranomaisten pyrkimys edistää jätteiden hyötykäyttöä maanviljelyssä (Ympäristöministeriö 2001) lisää merkittävästi peltomaiden tilan seurantarvetta. Ajantasainen tutkimustieto viljelymaan laadusta palvelee viljelijää, kuluttajaa, teollisuutta, kauppaa, tutkimusta, neuvontaa ja hallintoa eli kaikkia elintarvikealan toimijoita.

Kansainvälisellä tasolla väestön kasvu ja ihmisen toiminnat uhkaavat maaperän ja viljelymaiden tuotantokykyä ja sitä kautta myös ravinnon riittävyttä, terveellisyttä ja turvallisuutta. Maaperä on ihmiskunnalle arvokas luonnonvara, sillä jopa 95 prosenttia ravinnosta arvioidaan olevan joko suoraan tai epäsuoraan peräisin maasta ja loput vedestä (Botkin & Keller 1995). Näin ollen ravinnontuotanto ja myös koko ihmiskunnan säilyminen maapallolla riippuvat suuresti maaperän tuotantokyvystä. Lisäksi viljelymaiden tila vaikuttaa huomattavasti myös vesien, ilman ja jopa ilmaston laatuun.

MTT on seurannut samojen, kattavasti koko viljellyn Suomen alueella sijaitsevien, peltolohkojen kemiallista tilaa lähes neljännesvuosisadan ajan alkaen vuodesta 1974. Koko seurantajakson aikana on maanäytteiden analysointiin käytetty viljavuustutkimusta, joka ohjaa käytännön maanviljelyssä kalkitusta ja lannoitusta ja nykyisin myös maatalouden ympäristötukiehtojen mukaista ravinteiden käyttöä. Näitä MTT:ssä (Vuorinen & Mäkitie 1955, Lakanen & Erviö 1971) peltojen viljavuustutkimusta varten kehitettyjä maa-analyysimenetelmiä on käytetty myös MTT:n maapallonlaajuudessa FAO:n rahoittamassa tutkimuksessa (Sillanpää 1982, 1990, Sillanpää & Jansson 1992). Tulokset viljelymaidemme tilasta vuosina 1974 ja 1987 sekä viljelymaiden tilan muutoksista kyseisellä aikavälillä on julkaistu (Sippola & Tares 1978, Erviö ym. 1990). Sama koskee myös seurantaan kuuluneen timotein laatua (Paasikallio 1978, Mäkelä-Kurtti ym. 1993). Muutokset peltomaiden tilassa vuodesta 1987 vuoteen 1998 aiotaan julkaista MTT:n tieteellisessä sarjassa (Agricultural and Food Science in Finland). Tässä kirjoituksessa esitetään oleelliset tutkimustulokset peltojen viljavuudesta ja raskasmetalleista vuodelta 1998, jolloin tehtiin MTT:n seurantaan kuuluvien peltolohkojen viimeisin ja järjestyksessä kolmas

näytteidenkeruu. Tulosaaineiston pohjalta laaditut peltojen valtakunnalliset viljavuus-, hivenaine- ja raskasmetallikartat on nähtävissä MTT:n internet-sivuilla (Mäkelä-Kurto ym. 2002).

Viljelymaiden tilan valtakunnallinen tutkimus vuonna 1998

Peltolohkot ja maanäytteet

Vuonna 1998 peltojen viljavuus- ja raskasmetallitilaa selvitettiin tutkimalla MTT:n valtakunnalliseen seurantajärjestelmään kuuluvaa 705 näytepistettä, jotka oli jo alunperin vuonna 1974 valittu niin, että ne edustivat mahdollisimman hyvin tavanomaista viljeltyä maaseutua ja että tunnettuja saastelähteitä, kuten teollisuuslaitoksia, vilkasliikenteisiä rautateitä ja autoteitä, voimalinjoja, yms., pyrittiin määrätietoisesti väistämään. Näytepisteiden kattavuutta täydennettiin 15 uudella peltolohkolla, joista kahdeksan oli lounaisen ja seitsemän itäisen Suomen alueella. Kaikista, yhteensä 720 tutkittavasta peltolohkosta (Kuva 1) otettiin näytteet (Sippola & Tares 1978, Erviö ym. 1990) kasvukauden aikana timotein tullessa täyteen tähkään. Myös timoteikasvustosta otettiin näyte analysoitavaksi, mikäli tätä kasvia oli peltolohkolla viljelyksessä. Tällaisia peltolohkoja oli noin 200 kpl. Timoteita koskevat tulokset julkaistaan erikseen. Maanäytteet otettiin muokkauskerroksesta (0-0,20 m) neljänä osanäytteenä aarin (10 m x 10 m) alalta. Osanäytteet sekoitettiin huolellisesti. Sen jälkeen otettiin analyysijä varten 0,6 litran kokoomanäyte, joka kuivattiin 30 °C:ssa ilmavirrassa, homogenoitiin ja seulottiin seulan läpi, jonka silmäkoko oli 2 mm.

Maa-analyysit

Maanäytteistä määritettiin maalaji, pH, humuspitoisuus, johtoluku, tilavuuspaino, helppoliukoiset pää- ja hivenravinteet sekä helppoliukoiset raskasmetallit. Analyysimenetelmät olivat kansallisen viljavuustutkimuksen mukaisia (Maatalouden tutkimuskeskus 1986). Fosfori, kalium, kalsium, rikki ja magnesium uutettiin maanäytteistä happamaan (pH 4,65) ammoniumasetaattiin (1:10, 1 h), joka oli 0,5 M ammoniumasetaatin ja myös etikkahapon suhteen (Vuorinen & Mäkitie 1955), kun taas alumiini, kadmium, koboltti, kromi, kupari, rauta, mangaani, molybdeeni, lyijy ja sinkki uutettiin (1:10, 1 h) happamaan ammoniumasetaattiin, joka oli lisäksi myös 0,02 M natriumetyleenidiamiinitetraetikkahapon (Na₂EDTA) suhteen (Lakanen & Erviö 1971). Boorin ja selenin määrittämiseksi maanäytteet uutettiin kuumaan veteen (1:2, 5 min, 1:4, 30 min, vastavasti). Johtoluku ja pH mitattiin vesiuutteesta (1:2,5). Orgaanisen hiilen määrittämiseen käytettiin automaattista kuivapolttomenetelmää (LECO CR-12, St. Joseph, MI, USA). Kun orgaanisen hiilen pitoisuus kerrottiin arvolla 1,724, saatiin tulokseksi humuspitoisuus. Alkuaineiden pitoisuudet ilmoitetaan yksi-

kössä milligrammaa litrassa ilmakeivää maata, mutta poikkeuksen tekee seleeni, joka ilmoitetaan yksikössä mikrogrammaa litrassa ilmakeivää maata. Humuspitoisuus ilmoitetaan yksikössä prosenttia maan kuiva-aineessa.

Viljelymaiden tila vuonna 1998

Vuonna 1998 tutkitusta 720 peltolohkosta 498 kpl (69 %) edusti karkeita kivennäismaita (hiekat ja hiesut), 107 kpl (15 %) savia (savespitoisuus > 30 %) ja 115 kpl (16 %) eloperäisiä maita (humuspitoisuus > 20 %). Kasvinviljelyvyöhykkeittäin näytepisteet jakautuivat seuraavasti: 55 kpl I vyöhykkeelle, 141 kpl II vyöhykkeelle, 324 kpl III vyöhykkeelle, 159 kpl IV vyöhykkeelle ja 41 kpl V vyöhykkeelle. Näytepisteiden maalajiryhmä ja sijainti käy ilmi kartasta (Kuva 1). Yksityiskohtaisia tunnuslukuja peltomaiden analyysituloksista on taulukossa 1. Kaikkien tutkittujen peltolohkojen keskimääräinen humuspitoisuus oli 12,9 % maan kuiva-aineessa ja vastaavasti maalajiryhmittäin pitoisuus oli karkeissa kivennäismaissa 6,3 %, savissa 5,4 % ja eloperäisissä maissa 48,8 %.

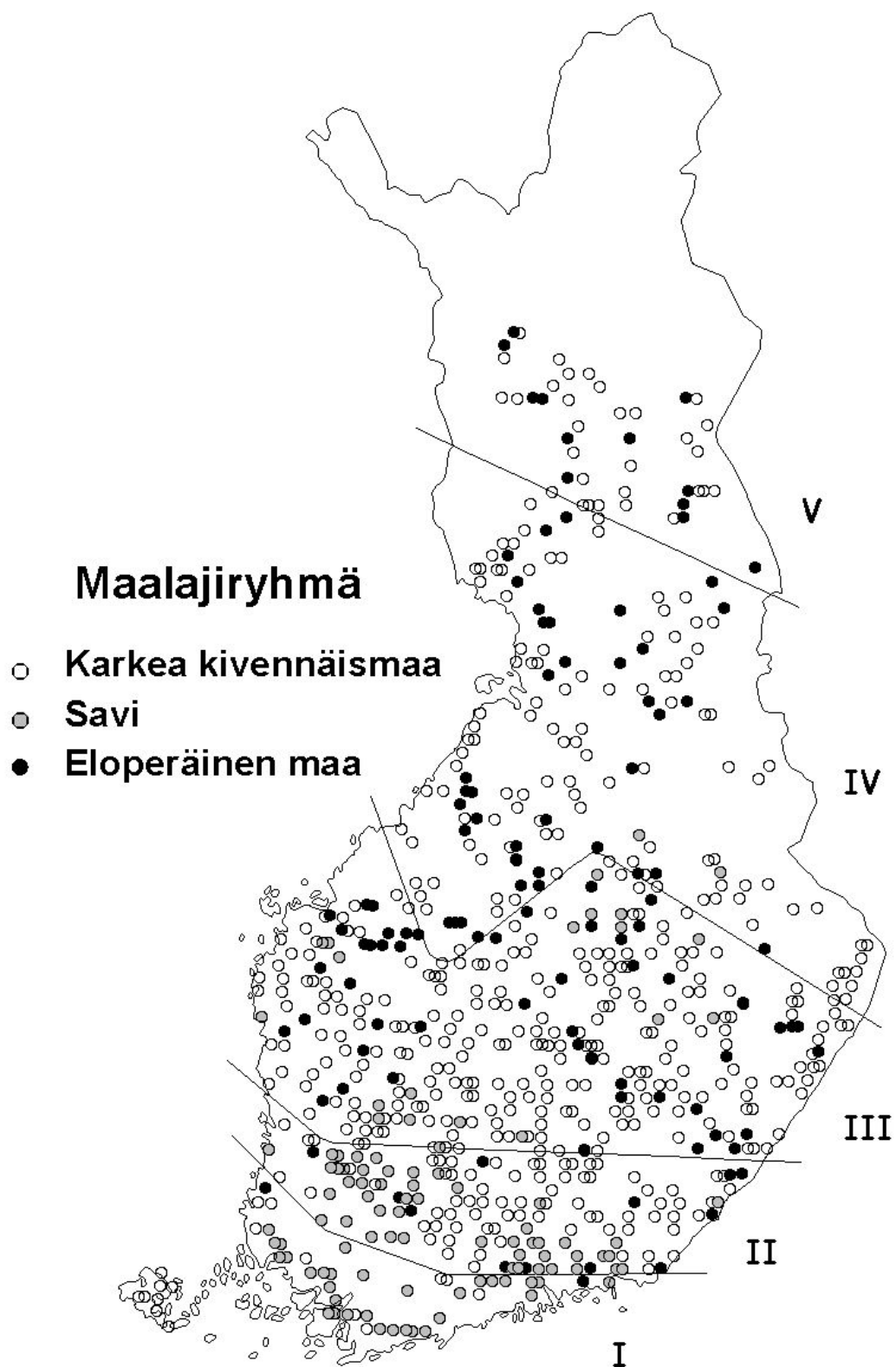
Viljavuus

Viljavuustutkimukseen oleellisena osana kuuluva analyysitulosten tulkinta osoittaa maan viljavuusluokan, joka puolestaan ilmaisee maan lannoitus- tai kalkitustarvetta. Lopullinen pellon kalkitus- ja lannoitustarve riippuu lisäksi viljeltävästä kasvilajista ja -lajikkeesta, sen pH- ja ravinnevaatimuksista, kasvinviljelyvyöhykkeestä sekä myös tavoitteeksi asetetusta satotasosta ja sovi- tuista tukiehdoista. Normaaliviljelyssä viljavuuden tavoitetasona pidetään luokkaa tyydyttävä.

Viljavuustutkimuksen tulkinnan (Viljavuuspalvelu 2000) mukaan lähes puolet peltujen pH-luvuista kuului viljavuusluokkiin huono, huononlainen tai välttävä (Taulukko 2). Vajaalla 30 prosentilla pelloista pH-tila oli tyydyttävä ja runsaalla 20 prosentilla hyvä tai sitä parempi (Kuva 2). Vain kuudessa tapauksessa pH oli arveluttavan korkea. Tulokset osoittavat, että lähes joka toinen peltolohko vuonna 1998 olisi tarvinnut lisäkalkitusta, jotta niiden pH olisi saatu tyydyttävälle tasolle. Peltujen pH-luku on yksi tärkeimmistä maaperätekijöistä, sillä se vaikuttaa pää- ja hivenravinteiden sekä myös haitallisten raskasmetallien liukoi- suuteen maassa ja saatavuuteen kasveille.

Yli 60 prosentilla tutkituista pelloista kalsiumtila oli huono, huononlainen tai välttävä (Taulukko 2) osoittaen, että kalkitustarve näillä pelloilla oli suuri. Tyydyttävä kalsiumtila oli vain vajaalla neljänneksellä pelloista. Runsas 10 prosenttia pelloista edusti hyvää tai sitä parempaa kalsiumtilaa (Kuva 2).

Näytepisteet (720 kpl) 1998



Taulukko 1. Vuonna 1998 tutkittujen peltojen (720 kpl) analyysitulosten tunnuslukuja ja analyysitulosten jakautuminen fraktiileihin (prosenttiosuuksiin). Esimerkiksi 25 %:n fraktiili jakaa kalsiumin tulosaineiston kahteen osaan siten, että 25 prosenttia arvoista on pienempiä ja 75 prosenttia suurempia kuin 25 %:n fraktiilin osoittama luku, 821 mg l⁻¹. Vastaavasti 50 %:n fraktiilin osoittama kalsiumluku, 1257 mg l⁻¹, jakaa kalsiumaineiston kahteen yhtä suureen osaan ja on kyseisen tulosaineiston keskimäinen luku eli mediaani.

Maan ominaisuus	Pienin		Fraktiilit						Suurin		Keski-arvo
	luku	5 %	10 %	25 %	50 %	75 %	90 %	95 %	luku		
pH(H ₂ O)	3,89	4,92	5,08	5,41	5,76	6,12	6,45	6,65	7,72	5,76	
Humus, %	1,4	2,8	3,2	4,2	5,6	9,9	39,0	57,4	86,0	12,9	
Tilavuuspaino, kg l ⁻¹	0,24	0,46	0,58	0,88	1,02	1,09	1,17	1,21	1,42	0,95	
Johtoluku, 10 ⁻⁴ S cm ⁻¹	0,13	0,39	0,48	0,66	0,93	1,36	1,93	2,37	7,94	1,1	
Kalsium, mg l ⁻¹	116	431	543	821	1257	1822	2521	3185	10880	1441	
Kalium, mg l ⁻¹	14	27	33	54	92	144	216	266	605	111	
Magnesium, mg l ⁻¹	7	28	46	90	164	270	419	562	1072	205	
Fosfori, mg l ⁻¹	0,9	3,0	3,7	5,4	8,5	14,6	25,9	35,8	131,3	13,0	
Rikki, mg l ⁻¹	6	9	11	13,8	18	25,9	38	54	678	24	
Alumiini, mg l ⁻¹	24	165	208	293	435	617	834	1005	2008	490	
Boori, mg l ⁻¹	0,07	0,23	0,28	0,39	0,52	0,71	0,98	1,16	2,16	0,59	
Kadmium, mg l ⁻¹	0,01	0,03	0,04	0,050	0,073	0,099	0,14	0,15	0,295	0,080	
Koboltti, mg l ⁻¹	0,06	0,17	0,20	0,30	0,52	0,85	1,22	1,53	5,64	0,64	
Kromi, mg l ⁻¹	0,01	0,11	0,14	0,20	0,28	0,46	0,64	0,80	4,32	0,36	
Kupari, mg l ⁻¹	0,16	0,91	1,24	2,06	3,62	5,76	8,30	10,92	34,97	4,50	
Rauta, mg l ⁻¹	114	196	234	320	520	889	1523	1943	6505	741	
Mangaani, mg l ⁻¹	1	10	13	23	44	74	115	146	1620	58	
Molybdeeni, mg l ⁻¹	0,001	0,01	0,014	0,022	0,038	0,066	0,109	0,145	0,978	0,056	
Nikkeli, mg l ⁻¹	0,08	0,23	0,27	0,38	0,62	1,19	2,08	3,02	8,59	0,99	
Lyijy, mg l ⁻¹	0,37	0,96	1,09	1,48	1,92	2,63	3,42	3,93	15,57	2,15	
Sinkki, mg l ⁻¹	0,35	0,80	0,99	1,67	2,95	5,47	8,90	12,39	40,87	4,28	
Seleen, µg l ⁻¹	2,9	5,1	5,9	7,5	9,5	12,0	15,4	17,6	69,3	10,4	

Neljänneksellä tutkituista pelloista fosforitila oli tyydyttävä (Kuva 2), joka on nykyisin kasvintuotannossa riittäväksi katsottu fosforipitoisuus. Sen sijaan yli puolella pelloista fosforitila oli tätä huonompi (Taulukko 2). Tulkinnan mukaan näiden peltojen fosforitilaa olisi pitänyt parantaa. Hyvään, korkeaan ja arveluttavan korkeaan viljavuusluokkaan kuului runsas 10 prosenttia peltolohkoista. Noin neljällä prosentilla (31 kpl) tutkituista pelloista fosforiluku oli arveluttavan korkea. Fosforipitoisuudeltaan varsinkin tavoitetason alapuolella olevia peltoja on paljon, ja myös tarpeettoman runsaasti fosforia sisältäviä peltoja esiintyy jonkin verran. Näyttää siltä, että viljavuustutkimuksen tulkintaa ja sen osoittamia fosforinkäyttösuosituksia ei oltu vielä riittävän tehokkaasti hyödynnetty.

Peltojen kaliumtila oli melko heikko (Kuva 2). Lähes 70 prosentilla pelloista kaliumtila vaihteli huonosta välttävään, runsaalla 20 prosentilla tila oli tyydyttävä ja loppuilla, vajaalla 10 prosentilla, tyydyttävää parempi (Taulukko 2).

Taulukko 2. Vuonna 1998 tutkittujen peltojen (720 kpl) viljavuuslukujen (analyysitulosten) jakautuminen viljavuustutkimuksen tulkinnan nykyiselle tavoitetasolle (viljavuusluokka tyydyttävä) sekä sen alapuolisiin (huono, huononlainen ja välttävä) ja yläpuolisiin viljavuusluokkiin (hyvä, korkea ja arveluttavan korkea). Lisäksi erikseen esitetään arveluttavan korkeaan viljavuusluokkaan kuuluvien viljavuuslukujen osuudet.

Maan ominaisuus	Viljavuuslukujen jakautuminen viljavuustutkimuksen tulkinnan mukaan							
	Tavoitetason alapuolella		Nykyisellä tavoitetasolla		Tavoitetason yläpuolella		Arveluttavan korkeita	
	%	kpl	%	kpl	%	kpl	%	kpl
pH(H ₂ O)	48	346	29	211	23	163	0,8	6
Kalsium	64	464	22	161	13	95	0,3	2
Fosfori	57	409	25	183	18	128	4,3	31
Kalium	68	491	24	172	8	57	0,3	2
Magnesium	38	273	30	218	32	229	0,0	0
Rikki	8	59	23	168	68	493	0,6	4
Boori	67	485	23	163	10	72	0,3	2
Kupari	36	257	33	239	31	224	0,8	6
Mangaani	28	205	47	338	25	177	0,1	1
Molybdeeni	37	266	34	242	29	212	0,4	3
Sinkki	33	237	46	328	22	155	0,0	0
Keskimäärin	44		31		25		0,7	
Yhteensä		3492		2423		2005		57

Noin 60 prosentilla pelloista magnesiumtila vaihteli tyydyttävästä korkeaan (Kuva 2). Arveluttavan korkean magnesiumtilan omaavia peltoja ei ollut yhtään. Tyydyttävää huonommassa tilassa oli runsas kolmannes peltomaista (Taulukko 2).

Peltojen rikkipitoisuudet olivat korkeahkoja (Taulukko 2). Selvästi yli 80 prosenttia pelloista kuului rikkiviljaltaan luokkiin tyydyttävä ja hyvä (Kuva 2). Yksikään tutkituista pelloista ei kuulunut luokkaan huono tai huononlainen ja vain vajaa 10 prosenttia kuului luokkaan välttävä. Viljavuusluokkaan korkea kuuluvia peltoja oli viisi prosenttia ja viljavuusluokkaan arveluttavan korkea kuuluvia peltoja neljä kappaletta.

Maiden alhaisten booripitoisuuksien johdosta lähes 70 prosenttia pelloista luokiteltiin viljavuudeltaan huonoiksi, huononlaisiksi tai välttäviksi (Kuva 3). Tyydyttävään viljavuusluokkaan kuuluvia peltoja oli runsas 20 prosenttia ja sitä korkeampiin luokkiin kuuluvia peltoja noin 10 prosenttia. Arveluttavan korkeaan viljavuusluokkaan sijoittui vain kaksi peltolohkoa (Taulukko 2).

Yksi kolmannes pelloista kuului tyydyttävään kupariluokkaan (Kuva 3), vajaa yksi kolmannes tyydyttävää parempaan ja runsas yksi kolmannes tyydyttävää huonompaan luokkaan. Arveluttavan korkeaan kupariluokkaan kuului kuusi peltolohkoa (Taulukko 2).

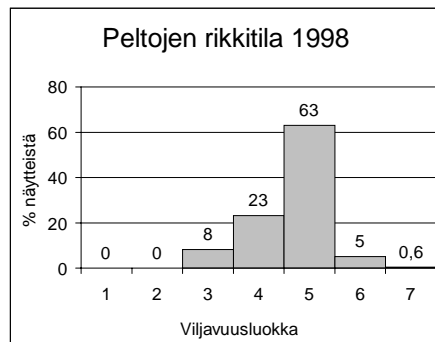
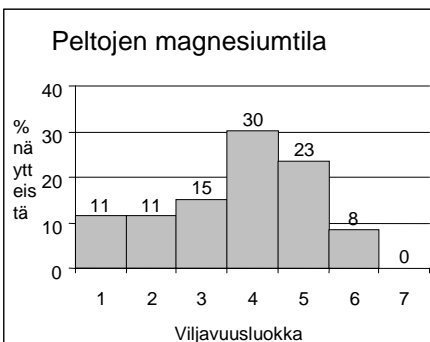
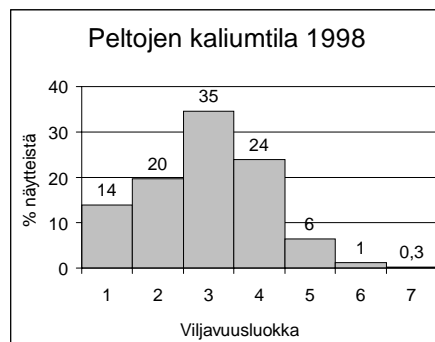
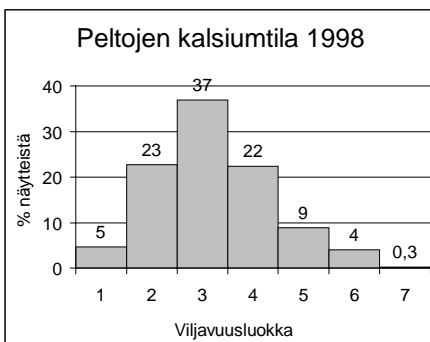
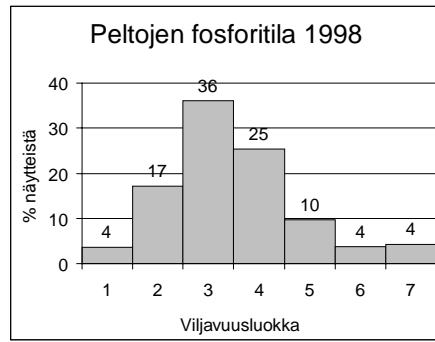
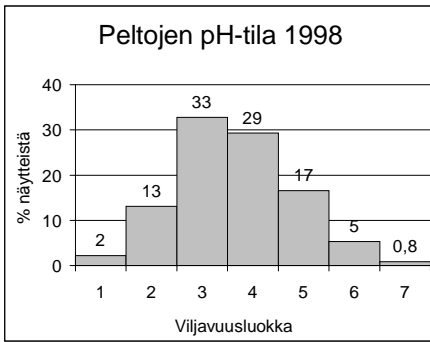
Tutkittujen peltojen mangaanitila oli suhteellisen hyvä, koska lähes puolet sijoittui luokkaan tyydyttävä ja vajaa neljännes luokkaan hyvä (Kuva 3). Luokkaan korkea tai arveluttavan korkea kuuluvia maita oli vain muutamia kappaleita. Vajaa 30 prosentilla pelloista mangaanitila oli tyydyttävää heikompi (Taulukko 2).

Tyydyttävässä kunnossa sinkin osalta oli 46 prosenttia pelloista (Kuva 3). Runsaalla 30 prosentilla sinkkitila oli tyydyttävää heikompi ja runsaalla 20 prosentilla tyydyttävää parempi (Taulukko 2). Yhdelläkään peltolohkolla sinkkitila ei ollut arveluttavan korkea.

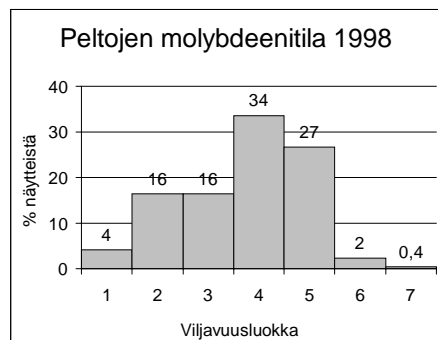
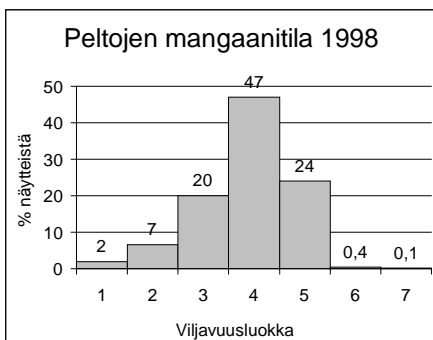
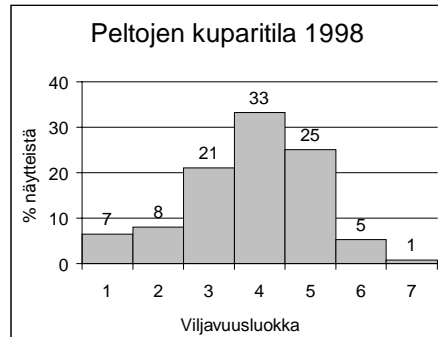
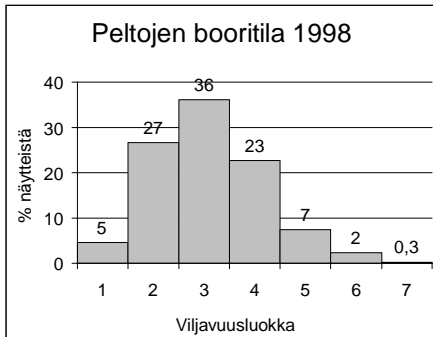
Molybdeenin osalta peltolohkot jakautuivat lähes kolmeen yhtä suureen ryhmään: tyydyttävään, tyydyttävää heikompaan ja tyydyttävää parempaan ryhmään (Kuva 3). Arveluttavan korkeita molybdeenilukuja havaittiin vain kolmella peltolohkolla (Taulukko 2).

Raudan osalta tutkitut pellot edustivat 90-prosenttisesti pitoisuusluokkaa keskinkertainen (Kuva 4). Loput, noin 10 prosenttia, olivat luokkaa korkea.

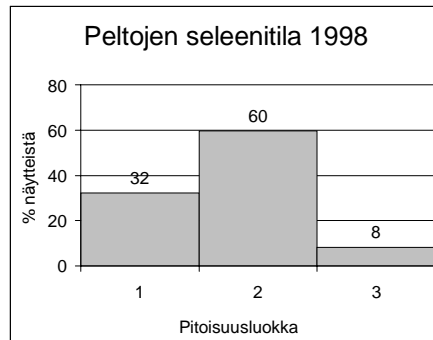
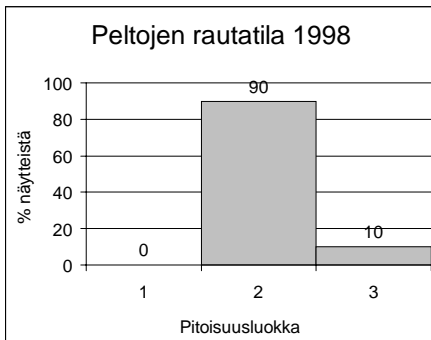
Suurin osa, eli 60 prosenttia, pelloista kuului seleenin osalta pitoisuusluokkaan keskinkertainen, runsas 30 prosenttia luokkaan matala ja vajaa 10 prosenttia luokkaan korkea (Kuva 4).



Kuva 2. Vuonna 1998 tutkittujen peltojen (720 kpl) jakautuminen pH-, fosfori-, kalsium-, kalium-, magnesium- ja rikkiluvun mukaan viljavuusluokkiin: 1 = huono; 2 = huonolainen; 3 = välttävä; 4 = tyydyttävä; 5 = hyvä; 6 = korkea; 7 = arveluttavan korkea.



Kuva 3. Vuonna 1998 tutkittujen peltojen (720 kpl) jakautuminen boori-, kupari-, mangaani-, molybdeeni ja sinkkiluvun mukaan viljavuusluokkiin: 1 = huono; 2 = huononlainen; 3 = välttävä; 4 = tyydyttävä; 5 = hyvä; 6 = korkea; 7 = arveluttavan korkea.



Kuva 4. Vuonna 1998 tutkittujen peltojen (720 kpl) jakautuminen rauta- ja seleenilukujen mukaan pitoisuusluokkiin: 1 = matala; 2 = keskinkertainen; 3 = korkea.

Helppoliukoiselle koboltille (Taulukko 1) ei toistaiseksi ole olemassa tulkintaa. Tästä peltoaineistosta todetut kobolttipitoisuudet olivat maapallonlaajuisesti melko alhaisia (Sillanpää & Jansson 1992) ja keskimäärin hyvin lähellä MTT:n tutkimusasemilta vuotta aiemmin kerättyjen maanäytteiden kobolttipitoisuuksia (Sippola ym. 2001).

Myöskään helppoliukoiselle alumiinille (Taulukko 1) ei ole olemassa tulkintaa. Maan alumiinin liukoisuus on sitä suurempi mitä happamampi on maa. Tässä tutkittujen viljelymaiden keskimääräinen alumiinipitoisuus oli suurin piirtein samaa tasoa kuin on havaittu MTT:n tutkimusasemien peltomaista (Urvas 1995, Sippola ym. 2001).

Viljavuusluvuissa oli havaittavissa eroja maalajiryhmittäin. Karkeat kivennäismaat sisälsivät vähemmän kalsiumia, magnesiumia, kobolttia ja kuparia kuin muut maalajiryhmät keskimäärin. Saville oli tyypillistä muita maalajiryhmiä suuremmat kalium-, magnesium- ja kobolttipitoisuudet sekä alhaisemmat alumiini- ja sinkkipitoisuudet. Eloperäisille maille ominaisia piirteitä olivat muita maita korkeampi johtoluku sekä muita maita korkeammat alumiinin, rikin, raudan, molybdeenin ja sinkin pitoisuudet, mutta sen sijaan muita maita alhaisempi pH ja mangaanipitoisuus. Fosfori- ja booripitoisuuksissa ei ollut havaittavissa selviä maalajiryhmien välisiä eroja.

Tarkasteltaessa analyysituloksia viljelyvyöhykkeittäin voitiin todeta, että pH, kalsium-, kalium-, ja seleeniluku laskivat etelästä pohjoiseen, kun taas orgaanisen hiilen pitoisuus, sinkki-, rikki- ja alumiiniluku nousivat pohjoista kohti. Keskimäärin korkein fosfori- ja booriluku oli eteläisimmällä vyöhykkeellä ja keskimäärin korkein mangaaniluku pohjoisimmalla vyöhykkeellä. IV vyöhykkeellä oli keskimäärin vähiten kobolttia ja molybdeeniä, mutta eniten rautaa. Erot viljavuusluvuissa vyöhykkeiden välillä usein johtuivat maalajieroista.

Viljavuustutkimuksen tulkinnan (Viljavuuspalvelu 2000) mukaan huomattava osa suomalaisista viljelymaista oli vuonna 1998 edelleen melko happamia ja vähäravinteisia sekä pää- että hivenravinteiden osalta. Kussakin tutkitussa peltolohkossa oli keskimäärin 4-5 sellaista viljavuuslukua, jotka eivät täyttäneet nykyisen tavoitetason, viljavuusluokka tyydyttävän, vaatimuksia ja 2-3 viljavuuslukua, jotka olivat tavoitetason yläpuolella. Arveluttavan korkeita viljavuuslukuja löytyi 48 peltolohkosta, joista kahdessa tapauksessa arveluttavan korkeita lukuja oli kolme ja neljässä tapauksessa kaksi ja muissa tapauksissa yksi. Yhteensä noin seitsemällä prosentilla tutkituista peltolohkoista oli ainakin yksi arveluttavan korkea viljavuusluku.

Haitalliset raskasmetallit

Viljelymaiden helppoliukoiselle kadmiumille, lyijylle, kromille ja nikkelille ei toistaiseksi ole olemassa virallisia tulkintoja tai luokituksia kotimaassa eikä myöskään ulkomailla. Kansalliset (Ympäristöministeriö 1998) ja kansainväliset suositukset metallien tavoite-, ohje- tai raja-arvoiksi, samoin kuin viljelymaan raja-arvot puhdistamolietettä käytettäessä (VNp 282/1994) ja Viljavuuspalvelun laatumaaluokitus (Mäntylahti 2002), perustuvat metallien ”kokonaispitoisuuksiin”, joiden määrittämiseen käytetään vahvoja happoja. Esimerkiksi kansainväliseen käyttöön standardisoidussa menetelmässä (ISO 11466) metallit uutetaan maasta väkevän suolahapon ja väkevän typpihapon seoksella eli kuningasvedellä. Tässä tutkimuksessa saatujen analyysitulosten tunnuslukuja ja pitoisuuksien jakautumista eri prosenttiosuuksiin esitetään taulukossa 1.

Ravintoketjun haitallisimpana pidetyn raskasmetallin, kadmiumin, pitoisuudet tutkituissa viljelymaissa olivat vuonna 1998 alhaisia muuhun Eurooppaan verrattuna. Muun muassa Unkarissa ja Italiassa viljelymaiden kadmiumpitoisuudet olivat keskimäärin noin kaksinkertaisia, Belgiassa ja Maltalla noin kolminkertaisia (Sillanpää & Jansson 1992). Kaupunkien viljelypalstat sisältävät yleensä huomattavasti enemmän raskasmetalleja kuin maaseudun viljelymaat. Helsingin puutarhapalstojen kadmiumpitoisuudet olivat keskimäärin lähes viisinkertaisia tässä todettuihin pitoisuuksiin verrattuna (Sinervo & Ahonen 1990). Viljelymaiden kadmiumpitoisuudet olivat samaa tasoa kuin on esitetty muissa kotimaisissa tutkimuksissa (Sippola ym. 2001). Peltolohkojen kadmiumpitoisuudet jakautuivat melko tasaisesti pitoisuusalueelle 0,03-0,1 mg l⁻¹ (Kuva 5), ja kaikista peltolohkoista 75 % jäi alle pitoisuustason 0,10 mg l⁻¹ (Taulukko 1). Kadmiumin ympäristö- ja terveysriskit on arvioitu Suomen kasvintuotantoympäristössä ja todettu vähäisiksi (Louekari ym. 2000).

Myös lyijypitoisuudet olivat erittäin alhaisia eurooppalaisittain tarkastellen. Esimerkiksi Belgian, Italian, Unkarin ja Maltan viljelymaiden lyijypitoisuudet olivat keskimäärin 3-15 -kertaisia (Sillanpää & Jansson 1992) ja Helsingin puutarhapalstojen jopa 20-kertaisia (Sinervo & Ahonen 1990) tässä tutkimuksessa saatuihin pitoisuuksiin verrattuna. Tutkittujen viljelymaiden lyijypitoisuu-

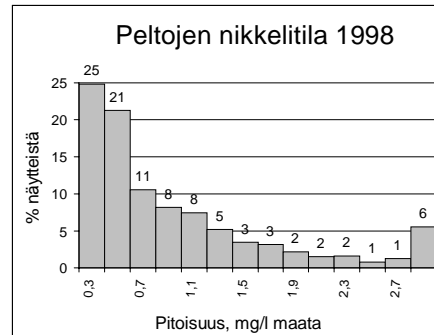
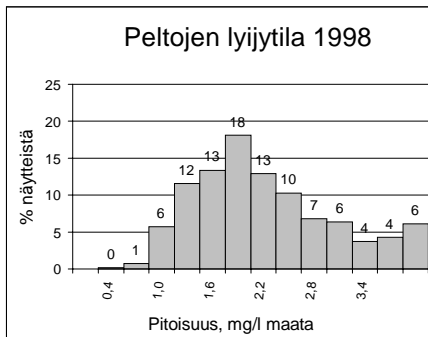
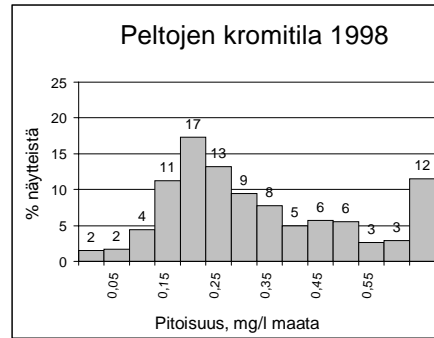
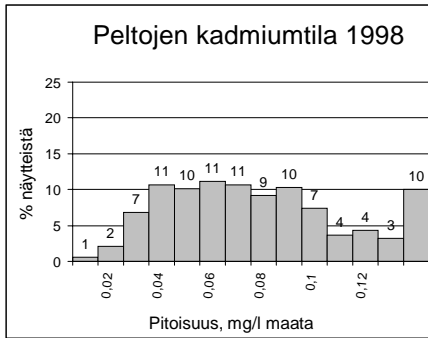
det olivat suunnilleen samaa tasoa kuin on todettu muissa selvityksissä (Sippola ym. 2001). Lyijypitoisuudet painoutuivat suhteellisen kapealle pitoisuusalueelle, 1-3 mg l⁻¹ (Kuva 5) ja yli 95 prosentilla peltolohkoista pitoisuus oli alle 4 mg l⁻¹ (Taulukko 1).

Peltojen keskimääräinen kromipitoisuus Suomessa oli tämän ja myös toisen selvityksen (Sippola ym. 2001) mukaan välillä 0,3-0,5 mg l⁻¹. Helsingin viiden palsta-alueen kromipitoisuuksien keskiarvo oli 1990-luvun loppupuolella 1,4 mg l⁻¹ (Ranta 1999) eli 3-4-kertainen viljelymaiden vastaaviin pitoisuuksiin verrattuna. Noin puolet tutkituista peltolohkoista sijoittui kromin pitoisuusalueelle 0,15-0,30 mg l⁻¹ (Kuva 5) ja yli 75 prosentilla peltolohkoista pitoisuus jäi alle 0,5 mg l⁻¹ (Taulukko 1).

Viljelymaiden nikkelpitoisuudet olivat keskimäärin hieman alhaisempia kuin eräässä pienemmässä tutkimuksessa saadut vastaavat pitoisuudet (Sippola ym. 2001). Vuonna 1998 tutkittujen peltolohkojen nikkelpitoisuudet olivat selvästi alhaisempia kuin puutarhapalstojen keskimääräinen nikkelpitoisuus, 3,4 mg l⁻¹, Helsingissä vuonna 1985 (Sinervo & Ahonen 1990). Tämän tutkimusaineiston nikkelpitoisuudet painoutuivat selvästi hyvin pienten pitoisuuksien alueelle (Kuva 5) siten, että 75 prosentilla tapauksista nikkelpitoisuus oli alle 1,2 mg l⁻¹ (Taulukko 1).

Maalajiryhmien välinen vertailu osoitti, että karkeissa kivennäismaissa oli vähemmän kadmiumia, lyijyä ja nikkeliä kuin muissa maalajiryhmissä. Nikkeliä oli keskimäärin eniten savissa. Sen sijaan kromipitoisuuksissa ei voitu havaita selviä maalajiryhmien välisiä eroja.

Kun raskasmetallipitoisuuksia tarkasteltiin viljelyvyöhykkeittäin todettiin, että eteläisessä Suomessa tavattiin korkeampia kadmium-, lyijy- ja nikkelpitoisuuksia kuin pohjoisosassa maata johtuen sekä maalaji- että laskeumaeroista. Sen sijaan kromipitoisuudet olivat hieman korkeampia pohjoisessa kuin etelässä. Viljelymaiden valtakunnalliset raskasmetallikartat on nähtävissä MTT:n internet-sivuilla (Mäkelä-Kurto ym. 2002).



Kuva 5. Vuonna 1998 tutkittujen peltojen (720 kpl) jakautuminen kadmium-, kromi-, lyijy- ja nikkelpitoisuuksien mukaan eri pitoisuusalueille.

Johtopäätökset

Viljelymaiden tilan seurantahankkeen ansiosta MTT:llä on valtakunnallisesti arvokasta tietoa samojen peltolohkojen happamuudesta, ravinne- ja raskasmetallipitoisuuksista ja niissä tapahtuneista muutoksista jo lähes 25 vuoden ajalta.

Huolimatta viljelymaiden tilan paranemisesta vuosikymmenien aikana peltojen happamuutta ja vähäravinteisuutta niin pää- kuin hivenravinteidenkin osalta esiintyi vielä hyvin runsaasti. Happamilla ja vähäravinteisilla pelloilla ei päästä optimisatoihin, ja heikko kasvusto käyttää ravinteita vajavaisesti. Viljavuustutkimuksen tulkinna mukaan monien suomalaisten peltomaiden pää- ja hivenravinteikkuutta sekä pH:ta tulisi edelleen selvästi nostaa, mikäli tavoitteena pidetään viljavuusluokkaa tyydyttävä.

Viljavuustutkimuksen tulkinna nykyisen tavoitetason yläpuolella olevia pää- ja hivenravinnepitoisuuksia todettiin tutkimusaineistosta myös melko paljon. Näissä tapauksissa peltojen ravinnepitoisuudet ovat tavallisimpien viljelykasvien tarvetta suuremmat, mikä voi lisätä pelloilta tulevaa ravinnekuormitusta. Tämä koskee erityisesti fosforia. Näillä pelloilla ravinteiden käyttöön tulee kiinnittää entistä enemmän huomiota.

Haitallisten raskasmetallien pitoisuudet peltomaissa olivat vuonna 1998 kansainvälisesti pieniä ja näiden osalta elintarvikkeiden ja niiden raaka-aineiden tuotantoympäristö on turvallinen.

Kirjallisuus

Botkin, D. & Keller, E. 1995. World food supply. Environmental Science – Earth as a Living Planet. New York: John Wiley & Sons, Inc. s. 176-196. ISBN 0-471-54548-1.

Erviö, R. Mäkelä-Kurtto, R. & Sippola, J. 1990. Chemical characteristics of Finnish agricultural soils in 1974 and in 1987. Teoksessa: Kauppi, P. ym. (toim.). Acidification in Finland. Berlin: Springer-Verlag. s. 217-234. ISBN 3-540-52213-1.

ISO 11466. 1995. Soil quality – Extraction of trace elements soluble in *aqua regia*. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. 5 s.

Lakanen, E. & Erviö, R. 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. Acta Agriculturae Fenniae 128: 223-232.

Louekari, K., Mäkelä-Kurtto, R., Pasanen, J., Virtanen, V., Sippola, J. & Malm, J. 2000. Cadmium in fertilizers – Risks to human health and the environment. Ministry of Agriculture and Forestry in Finland, Publications 4/2000. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. 119 s. ISBN 952-453-020-1.

Maa- ja metsätalousministeriö 1999. Kansallinen laatustrategia: Suomen elintarviketalouden laatustrategia ja –tavoitteet. Viitattu 21.3.2002. Saatavissa internetistä:
http://www.mmm.fi/maatalous/maatalouspolitiikka/laatu_alkupera/strategia/strategia1.htm

Maa- ja metsätalousministeriö 2002. Elintarvikkeiden laatuketju. Viitattu 22.7.2002. Saatavissa internetistä: <http://www.laatuketju.fi>

Maatalouden tutkimuskeskus 1986. Methods of soil and plant analysis. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 45 s. ISBN 951-729-285-6.

Mäkelä-Kurtto, R., Erviö, R. & Sippola, J. 1993. Macro- and microelement concentrations of Finnish timothy in 1974 and 1987. Agricultural Science in Finland 2: 337-344.

Mäkelä-Kurtto, R., Sippola, J., Grék, K. & Hakala, O. 2002. Peltojen valtakunnalliset viljavuus- ja raskasmetallikartat. Saatavissa 24.9.2002 alkaen internetistä: http://www.mtt.fi/lva/peltojen_tila.html

- Mäntylähti, V. 2002. Laatumaa – luokittelurajat käytäntöön. Mikkeli: Viljavuuspalvelu Oy. Viitattu 15.8.2002. Saatavissa internetistä:
<http://www.viljavuuspalvelu.fi/article1.htm>
- Paasikallio, A. 1978. The mineral element contents of timothy (*Phleum pratense* L.) in Finland II: The elements aluminium, boron, molybdenum, strontium, lead and nickel. *Acta Agriculturae Scandinavica, Supplementum* 20: 40-52.
- Penttilä, P-L. & Korpela, M. 2002. Elintarviketalouden laatutietojärjestelmän kehittämisselvitys. MMM:n julkaisuja 5/2002. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. 33 s.
- Ranta, E-L. 1999. Helsingin viljelypalsta-alueiden raskasmetallipitoisuudet. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 10/99. Helsinki: Helsingin kaupungin ympäristökeskus. 13 s.
- Sillanpää, M. 1982. Micronutrients and the nutrient status of soils: a global s study. *FAO Soils Bulletin* 48. Rooma: FAO. 444 s.
- Sillanpää, M. 1990. Micronutrient assessment at the country level: an international study. *FAO Soils Bulletin* 63. Rooma: FAO. 208 s.
- Sillanpää, M. & Jansson, H. 1992. Status of cadmium, lead, cobalt and selenium in soils and plants of thirty countries. *FAO Soils Bulletin* 65. Rooma: FAO 195 s.
- Sinervo, T. & Ahonen, S. 1990. Viljelymaan ja kasvien raskasmetallipitoisuudet Helsingin alueella 1985. Helsingin kaupungin terveystieteiden raportteja. Sarja B. Raportti 49/1990. Helsinki: Helsingin kaupungin ympäristökeskus. 10 s.
- Sippola, J., Kivistö, P. & Mäkelä-Kurtto, R. 2001. Tutkimusasemien viljelymaiden ravinne- ja raskasmetallipitoisuuksien seuranta. Muutokset aikavälillä 1992-1997. MTT:n julkaisuja. Sarja B 27. Jokioinen: MTT. 13 s.
- Sippola, J. & Tares, T. 1978. Soluble content of mineral elements in cultivated soils. *Acta Agriculturae Scandinavica, Supplementum* 20: 11-25.
- Urvas, L. 1995. Viljelymaan ravinne- ja raskasmetallipitoisuuksien seuranta. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 15/95. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 23 s.
- Viljavuuspalvelu 2000. Viljavuustutkimuksen tulkinta peltoviljelyssä. Mikkeli: Viljavuuspalvelu Oy. 31 s.
- VNp 282/1994. Valtioneuvoston päätös puhdistamolietteen käytöstä maanviljelyksessä. (Council of State decision on using the sewage sludge in agriculture). Helsinki 14.4.1994. FINLEX, Sähköinen Suomen säädöskokoelma. Viitattu 1.8.2002. Saatavissa internetistä:
<http://www.finlex.fi/linkit/sd/19940282>, 6 s.

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

Ympäristöministeriö 1998. Ehdotus Valtioneuvoston päätökseksi maa-alueen ja sen maaperän saastuneisuuden selvittämisestä ja puhdistustarpeen arvioinnista. Muistio 8.10.1998. Helsinki: Ympäristöministeriö. 15 s.

Ympäristöministeriö 2001. Ehdotus tarkistetuksi valtakunnalliseksi jätesuunnitelmaksi vuoteen 2005 perusteluineen. Ympäristöministeriön työryhmän ehdotus 29.6.2001. Helsinki: Ympäristöministeriö. 52 s.

Maan toiminnallinen viljavuus luomussa ja tavanomaisessa viljelyssä

Ansa Palojärvi

MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Ympäristötutkimus, 31600 Jokioinen, ansa.palojarvi@mtt.fi

Tiivistelmä

Nykyinen viljavuustutkimus mittaa kasveille suoraan käyttökelpoisten liukoissa muodossa olevien ravinteiden määriä. Huomiotta jäävät kasvin ja maan välinen vuorovaikutus sekä maan muu toiminnallisuus. Erityisesti luonnonmukaisen viljelyn parissa onkin noussut esille tarve sellaiseen viljavuustutkimukseen, joka huomioisi maa-kasvi –systeemin toiminnallisuuden ja hahmottaisi maaperää toiminnallisena kokonaisuutena. Maaperän ominaisuudet voidaan jakaa kemiallisiin, fysikaalisiin ja biologisiin. Maaperän luontaiset ominaisuudet, maalaji ja topografia, määräävät ilmaston ja iän ohella suuresti pellon ominaisuuksista. Maan hoidolla ja viljelytoimenpiteillä voidaan kuitenkin parantaa esimerkiksi ravinteisuutta, happamuutta, kuivatusta, vesitaloutta ja eloperäisen aineksen määrää. Luonnonmukaisen ja tavanomaisen viljelymenetelmän vaikutuksia maaperän ominaisuuksiin ei ole Suomessa kovin paljon tutkittu. Tehyjen tutkimusten perusteella voidaan todeta, että viljelymenetelmä ei välttämättä oleellisesti muuta maaperän ominaisuuksia. Luonnonmukainen viljely joutuu kuitenkin tukeutumaan tavanomaista viljelyä enemmän maaperän toimintoihin. Näitä ovat esimerkiksi symbioottisten mikrobien toiminta kasvien ravinnehuollossa ja ravinteiden vapauttaminen eloperäisestä aineksesta. Toistaiseksi käytössä ei ole sopivia testimenetelmiä, joilla maaperän toiminnallisuutta voitaisiin mitata. Tutkimusta tarvitaan keskeisten mittareiden tunnistamiseen ja testimenetelmien koostamiseen eri tarkoituksiin viljelijästä kansalliseen seurantaan.

Avainsanat: maaperä, viljavuus, kasvukunto, toiminnallinen viljavuus, viljelymenetelmät, luonnonmukainen viljely, luomu

Johdanto

Nykyinen viljavuustutkimus kertoo liukoisessa muodossa olevien kasveille käyttökelpoisten ravinteiden määrän sekä maan happamuuden. Jos viljelijämme kasveja steriilissä liuosviljelmässä, ei muita tietoja tarvittaisikaan. Maa on kuitenkin monimutkainen kasvuympäristö – niin hyvässä kuin pahassa. Viljavuustutkimuksessakin on mukana kuvaus maalajista ja maan multavuudesta, joilla on merkitystä ravinteiden vapautumiselle ja sitoutumiselle.

Kemiallisen sitoutumisen ja vapautumisen lisäksi maassa tapahtuu runsaasti erilaisia reaktioita, joiden toiminnasta vastaavat maaperän eliöt. Myös maan

rakenteella on merkitystä maan toimintaan vesi- ja kaasutalouden kautta. Erityisesti luonnonmukaisen viljelyn piirissä onkin noussut esille tarve sellaiseen viljavuuden mittaamiseen, joka huomioisi maaperän toiminnallisena kokonaisuutena.

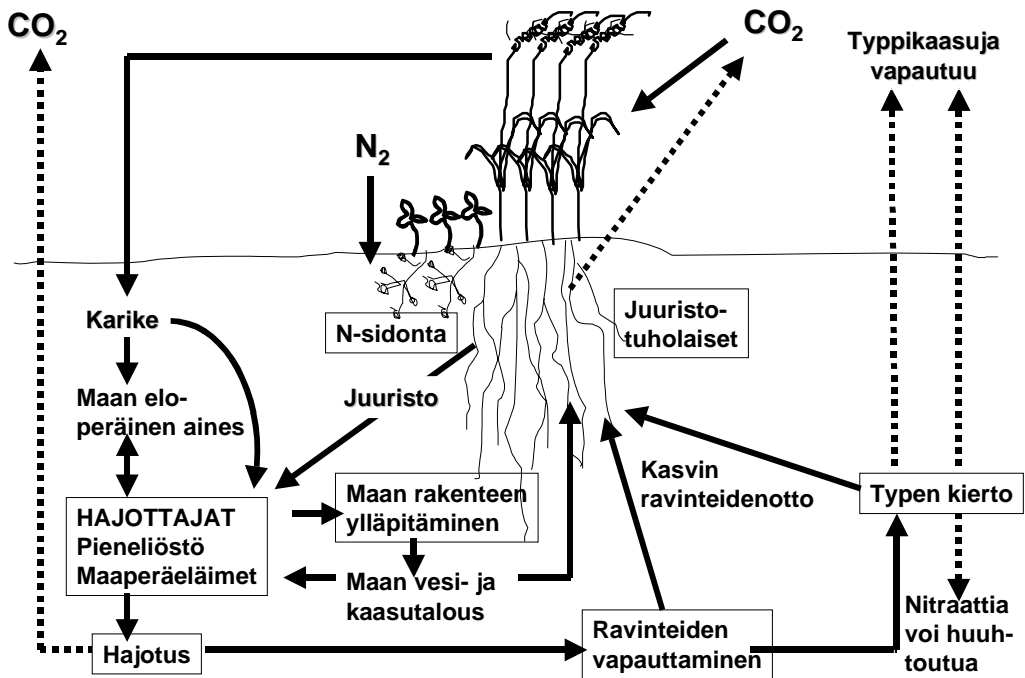
Määritelmiä ja maaperäominaisuuksia

Maan viljavuus (engl. soil fertility) on yleisesti käytetty termi, mutta sille ei ole yksiselitteistä määritelmää. Usein maan kasvukuntoa, sadontuottokykyä tai maan toimimista satopotentialinsa mukaisesti on käytetty synonyyminä viljavuudelle. Kun korostetaan maa-kasvi –systemin toiminnallisuutta, jota nykyinen viljavuustutkimus ei ota huomioon, puhutaan *maan toiminnallisesta viljavuudesta*. Termi ei ole suoraan käännettävissä englanniksi, ja sille ei vielä ole vakiintunutta määritelmää.

Kansainvälisessä kirjallisuudessa maan toiminnallista viljavuutta lähinnä on käsitte *maan laatu* (engl. soil quality). Doran ja Parkin (1994) määrittelivät sen ”maan kyvyksi toimia”. Tarkennetun määritelmän mukaan (Karlen ym. 1997) maan laatu on ”tietyntyypin maan kyky toimia ekologisten tai maankäytön mukaisten raamiensa sisällä ylläpitäen kasvien ja eläinten tuottavuutta, säilyttää veden ja ilman laadun ja edistää ihmisten hyvinvointia ja elinoloja”. Määritelmien perusteella maan laatua voitaisiin pitää laajennetun maan kasvukuntokäsitteen synonyyminä.

Maaperän ominaisuudet voidaan jakaa kemiallisiin, fysikaalisiin ja biologisiin, mutta ne liittyvät läheisesti toisiinsa. Nykyinen viljavuustutkimus keskittyy ainoastaan tiettyihin kemiallisiin ominaisuuksiin. Maaperän kemiallisilla ja biologisilla ominaisuuksilla on tiivis vuorovaikutussuhde. Esimerkiksi typen kierto kokonaisuudessa on lähinnä mikrobien varassa. Maaperässä on kasvien kanssa symbioosin muodostavia pieneliöitä. Tärkeimpiä niistä ovat *Rhizobium*-suvun bakteerit, jotka muodostavat tyypeä sitovia juurinyströitä palkokasvien juuristoon, ja kasvien ravinteiden, erityisesti fosforin, ottoa edistävät sienijuuren muodostavat mykorritsa-sienet. Mikrobien tuottamat enstyymit osallistuvat myös monien muiden ravinteiden vapauttamiseen.

Maaperän fysikkaalisilla ominaisuuksilla on vuorovaikutus sekä kemiallisiin että biologisiin maaperäominaisuuksiin. Maan rakenne säätelee maan vesi- ja kaasutaloutta, ja fysikaaliset ominaisuudet vaikuttavat kasvien ja maaperäorganismien kasvuun ja elinmahdollisuuksiin maassa. Toisaalta eliöstö vaikuttaa maan makrohuokoston syntymiseen ja pintamaan mururakenteen kestävyuteen.



Kuva 1. Kaaviokuva maaperäeliöstön tehtävistä maassa (laatikot) sekä biologisten, kemiallisten ja fysikaalisten tekijöiden vuorovaikutuksesta (piirros Wardle ym. (1999) mukaan, muokattu).

Maata olisikin syytä tarkastella kokonaisuutena, sillä moniin sen toimintoihin vaikuttavat useat ominaisuudet. Viljelyvarmuuden kannalta tärkeitä koko maaperäsystemin yhteisiä toimintoja ovat maan palautumiskyky (eli resilienssi) erilaisten käsittelyjen tai häiriöiden jälkeen ja vastustuskyky (eli resistenssi) hetkellisille muutoksille. Viljelymaan luontaiset ominaisuudet, maalaji ja topografia, määräävät ilmaston ja iän ohella suuresti pellon ominaisuuksia.

Viljelymenetelmät ja toiminnallinen viljavuus

Maan hoidolla voidaan parantaa pellon kuivatusta ja säätää happamuutta. Viljelytoimenpiteillä voidaan vaikuttaa orgaanisen aineksen määrään ja laatuun sekä maan ravinteisuuteen. Maan rakenteeseen vaikutetaan muokkauksella ja peltoliikenteen ajoituksella. Vierasaineiden, kuten torjunta-aineet ja raskasmetallit, joutuminen maahan voi osaltaan vaikuttaa maaperän eliöstöön, samoin kuin viljelykasvivalinta ja kasvinvuorotus.

Viljelymenetelmät, luonnonmukainen ja tavanomainen viljely, eroavat maanhoidon kannalta toisistaan ennenkaikkea siinä, että luomussa ei sallita teollisesti valmistettuja väkilannoitteita eikä synteettisiä torjunta-aineita. Kasvinvuorotus, jossa on mukana tyypeäsitovia palkokasveja, on luomuviljelyn ehdoton välttämättömyys. Luomutuotannon sisällä toteutustavoissa voi kuitenkin olla suuria eroja. Nykymuotoisessa luomutuotannossa viljantuotannon ja karjatalouden eriytyminen on mahdollista. Tavanomaisessa viljelyssä toteutustapojen kirjo on luomuakin suurempi ja erikoistuminen yleisempää.

Suomessa viljelymenetelmien vaikutuksia maaperäominaisuuksiin on tutkittu melko vähän. Suihtien viljelyjärjestelmäkokeessa (Suomen maataloustieteellinen seura 1990) ja Joensuun yliopiston toteuttamassa karjanlannan käytön optimoinnin tutkimuksessa (Kuusela ym. 2001) tehtiin joitakin mittauksia. Hiljattain julkaistiin raportti peltoparivertailusta (Palojärvi ym. 2002), jossa oli mitattu laaja kirjo maaperän kemiallisia, biologisia ja fysikaalisia ominaisuuksia viljelijöiden pelloilla. Myös Vestberg ym. ovat vertailleet viljelymenetelmiä kenttäkokeessa, jonka tulokset julkaistaan MTT:n tieteellisessä sarjassa (Agricultural and Food Science in Finland).

Viljelymaan toiminnallisen viljavuuden mittaamisen tarve on noussut ennenkaikkea luomuviljelyn piirissä. Onko luonnonmukaisesti viljelty maa siis toiminnaltaa erilaista kuin muu pelto? Edellä mainittujen tutkimusten tulosten perusteella luomumaa ei suuresti poikkea viljelymaasta yleensä. Selkeimmät erot ovat liukoisten ravinteiden määrissä (P, S, lannoituksen jälkeen myös N) siten, että ne useimmiten ovat korkeammat tavanomaisesti viljellyissä pelloissa. Jos eroja biologisissa ominaisuuksissa havaittiin, olivat arvot yleensä korkeampia luomuviljelyssä. Luomuviljely onkin tavanomaista viljelyä riippuvaisempi maaperän toiminnoista. Symbionttiset mikrobit ja eloperäistä ainesta hajottavat ja siitä ravinteita vapauttavat eliöt ovat välttämättömiä viljelyssä, jossa liukoisessa muodossa olevia ravinteita ei käytetä. Synteettisten torjunta-aineiden sijasta kasvitautien ja tuholaisten torjunnassa on käytettävä hyväksi viljelykiertoa ja luontaisen bitorjunnan mahdollisuuksia.

Toiminnallisen viljavuuden mittaaminen

Maan toiminnalliselle viljavuudelle ei ole olemassa valmista mittaristoa. On kuitenkin ilmeistä, että nykyistä viljavuustutkimusta tulisi laajentaa biologiseen ja fysikaaliseen suuntaan. Keskeisiä biologisia toimintoja maaperässä ovat eloperäisen aineksen hajotus, ravinteiden vapauttaminen, typensidonta, juuristorhivoria ja maan rakenteen ylläpitäminen. Hyvä rakenteisen maan toiminnallisia tuntomerkkejä ovat vedenläpäisevyys, kantavuus, muokkautuvuus ja liettymättömyys.

Mittaamisessa olisi syytä kehittää tapoja erilaisiin tarpeisiin. Maan ja veden laadun mittaamista voidaan verrata: eri käyttötarkoituksiin tarvitaan erilaiset

laatukriteerit. Viljelijäkäyttöön suunnatut kyselykaavakkeet ja testivälinesarjat (Romig ym 1996, Seybold ym. 2002, Gustafson-Bjuréus & Karlsson 2002) herättävät mielenkiintoa maaperän hyvinvointiin ja tuottavat tietoa viljelijän omien peltolohkojen muutosten seurantaan. Laboratoriossa tehtäviä mittauksia viljelijöiden ja tutkimuksen tarpeisiin on ehdotettu (Stenberg 1999, Svensson 2002), mutta kotimaista tarkastelua ei ole vielä tehty. Myös kansallisella tasolla seurannan laajentaminen olisi paikallaan. Luotettavien mittareiden tuottamiseksi tarvitaan lisää mittaustuloksia taustatiedoksi ja pitkäaikaiskientä seurannan varmistamiseksi. Sopivien mittareiden valinta olisi syytä tehdä aluekohtaisesti viljelymaan käyttötarkoitus huomioiden. Keskeistä olisi kokonaisuutta hahmottava näkökulma.

Yhteenveto

Nykyinen viljavuustutkimus mittaa kasveille suoraan käyttökelpoisten liukoissa muodossa olevien ravinteiden määriä. Huomiotta jäävät kasvin ja maan välinen vuorovaikutus, ja maan muu toiminnallisuus. Viljelymenetelmä ei välttämättä oleellisesti muuta maaperän ominaisuuksia. Luonnonmukainen viljely on kuitenkin tavanomaiseen viljelyyn verrattuna selkeästi riippuvaisempi maaperän toiminnoista. Näitä ovat esimerkiksi symbioottisten mikrobin toiminta kasvien ravinnehuollossa ja ravinteiden vapauttaminen eloperäisestä aineksestä. Toistaiseksi käytössä ei ole sopivia testimenetelmiä, joilla maaperän toiminnallisuutta voitaisiin mitata. Tutkimusta tarvitaan keskeisten mittareita tunnistamiseen ja testimenetelmien koostamiseen eri tarkoituksiin viljelijästä kansalliseen seurantaan.

Kirjallisuus

- Doran, J.W. & Parkin, T.B. 1994. Defining and assessing soil quality. Teoksessa: Doran, J.W. ym. (toim.). Defining Soil Quality for Sustainable Environment. SSSA Special Publication No. 35. Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America, Inc. and American Society of Agronomy, Inc. s. 3-21.
- Gustafson-Bjuréus, A. & Karlsson, J. 2002. Markstrukturindex - utvärdering av en metod att bedöma odlingsystemets uthållighet och jordarnas fysikaliska status. Communications 02:2. Uppsala, Ruotsi: Swedish University of Agricultural Science, Department of Soil Sciences, Division of Agricultural Hydrotechnics. 167 s.
- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F. & Schuman 1997. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. Soil Science Society of America Journal 61: 4-10.

- Kuusela, E., Vuorinen, A. & Nuutinen, V. 2001. Karjanlannan käytön optimointi omavaraisessa maidontuotannossa. 1997-2000. Loppuraportti, kesäkuu 2001. Joensuu: Joensuun yliopisto. 16 s. Moniste.
- Palojärvi, A., Alakukku, L., Martikainen, E., Niemi, M., Vanhala, P., Jørgensen, K. & Esala, M. 2002. Luonnonmukaisen ja tavanomaisen viljelyn vaikutukset maaperään. Maa- ja elintarviketalous 2. Jokioinen: MTT. 88 s.
- Romig, D.E., Garlynd, M.J. & Harris, R.F. 1996. Farmer-based assessment of soil quality: a soil health scorecard. Teoksessa: Doran, J.W. & Jones, A.J. (toim.). *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA Special Publication No. 49. Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America, Inc. s. 39-60.
- Seybold, C.A., Hubbs, M.D. & Tyler, D.D. 2002. On-farm tests indicate effects of long-term tillage systems on soil quality. *Journal of Sustainable Agriculture* 19: 61-73.
- Stenberg, B. 1999. Monitoring soil quality of arable land: Microbiological indicators. Review article. *Acta Agriculturæ Scandinavica Section B, Soil and Plant Science* 49: 1-24.
- Suomen maataloustieteellinen seura 1990. *Journal of Agricultural Science in Finland* 62 (4). Vammala: Suomen Maataloustieteellinen Seura. s. 293-367. ISSN 0782-4386.
- Svensson, K. 2002. Microbial indicators of fertility in arable land. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Agraria* 330. Uppsala, Ruotsi: Swedish University of Agricultural Sciences. 53 s.. ISBN 91-576-6170-7.
- Wardle, D.A., Giller, K.E. & Barker, G.M. 1999. The regulation and functional significance of soil biodiversity in agroecosystems. Teoksessa: Wood, D. & Lenné, J.M. (toim.). *Agrobiodiversity: characterization, utilization and management*. Wallingford, UK: CABI Publishing. 490 s. ISBN 0-85199-377-0.

Maan kasvukunto ja viljelyn talous

Sami Myyrä¹⁾, Kyösti Pietola¹⁾ ja Markku Yli-Halla²⁾

¹⁾MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Taloustutkimus, Luutnantintie 13, 00410 Helsinki, sami.myyra@mtt.fi, kyosti.pietola@mtt.fi

²⁾MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Ympäristöntutkimus, 31600 Jokioinen, markku.yli-halla@mtt.fi

Tiivistelmä

Tässä artikkelissa esitetään alustavia pohdintoja siitä, millä tavoin epävarmuus pellon hallintaoikeudesta vaikuttaa maan perusparannuksiin. Ajatuksena on se, että Suomessa vallitsevien, lyhytaikaisten ja kiinteähintaisten vuokrasopimusten aiheuttama epävarmuus pellon hallintaoikeudesta alentaa vuokramiehen kannusteita investoida maan perusparannuksiin. Tämän vuoksi vuokramies sijoittaa perusparannuksiin vähemmän kuin mitä olisi yhteiskunnan kannalta optimaalista. Ongelma on merkittävä, koska nykyisin lähes kolmannesta Suomen peltoista viljellään vuokrattuina ja vuokrauksen odotetaan edelleen lisääntyvän. Pellon vuokrauksen lisääntyessä voimakkaasti epävarmuus pellon hallintaoikeudesta voi alentaa Suomen peltojen tuottoa ja kotimaisten elintarvikkeiden tarjontaa. Ongelman ratkaisu edellyttää vuokrasopimusten kehittämistä niin, että vuokramiestä tai maanomistajaa kannustetaan toimimaan yhteiskunnan kannalta optimaalisesti.

Avainsanat: pellot, tilusjärjestelyt, perusparannus, vuokraus, sopimukset, kasvukunto, maaperä

Johdanto

Pellon kasvukunnolla on ratkaiseva vaikutus luonnon resurssien hyödyntämiseen, maatalouden ympäristökuormitukseen, elintarvikkeiden tarjontaan ja näin myös koko yhteiskunnan hyvinvointiin. Yhteiskunnan kannalta onkin tärkeää, että viljelyssä olevan pellon kasvukunnosta huolehditaan niin, että sen tuottavuus pysyy hyvänä.

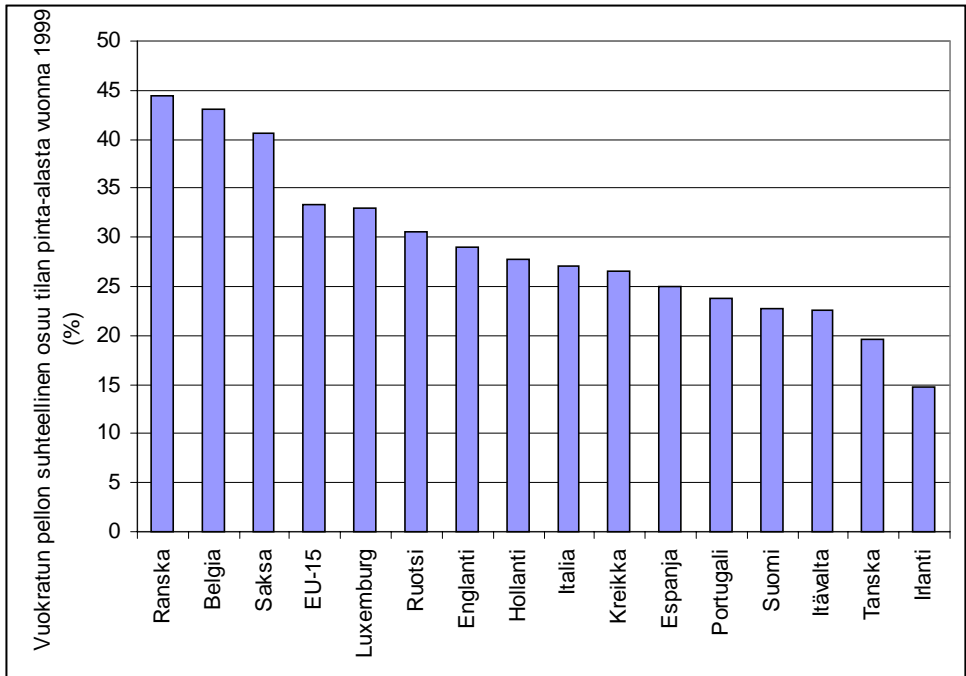
Viljelijät ovat kuitenkin joutuneet uuteen tilanteeseen, jossa tuotteiden hinnat ovat laskeneet merkittävästi suhteessa tuotantotarvikkeiden hintoihin. Useiden maatalousekonomian alan tutkimusten perusteella voidaan epäillä, ettei viljelijöillä ole uudessa toimintaympäristössä samanlaisia kannusteita maan kasvukunnosta huolehtimiseen kuin aikaisemmin. Toisaalta pellon perusparannuksista saadut hyödyt eivät liity vain sadon arvoon, vaan myös kustannuksiin, kuten tarvikkeiden hintoihin ja tarvikkeiden käyttömääriin. Perusparannuksilla voidaan oleellisesti vaikuttaa tuotantopanosten käyttöön ja saada edelleenkin mer-

kittäviä taloudellisia hyötyjä vaikka sadon arvo onkin laskenut. Esimerkiksi kevätiljojen jälkiversonnasta aiheutuvat lisäkustannukset voivat olla nykyisin korkeammat kuin aikaisemmin, koska energian hinta on noussut. Myös tuottovaihtelu ja riskit ovat viljelijän taloudessa edelleen merkittäviä ja niitä voivat aiheuttaa paitsi sadon arvon vaihtelu niin myös tuotantopanosten, kuten energian ja lannoitteiden, hintojen vaihtelu.

Nopean rakennekehityksen myötä yhä suurempaa osaa Suomen pelloista viljellään vuokrattuina. Vuonna 1999 viljelyssä olleesta pellosta noin 23 % oli Suomessa vuokrattua, kun vuonna 2001 vuokrapellon osuus oli noussut jo 29 %:iin (TIKE. Tommi Kujala. 17.1.2002.). Muihin Euroopan maihin verrattuna vuokrapellon osuus viljelyalasta on Suomessa edelleenkin alhainen ja on odotettavissa, että sen osuus kasvaa tulevaisuudessa (Kuva 1). Vuokrapellon osuuden lisääntymisellä voi olla merkittäviä vaikutuksia maan kasvukuntoon ja perusparannusten talouteen. Aikaisemmat ulkomaiset tutkimukset antavat viitteitä siitä, että vuokrapeltojen epävarma hallintaoikeus alentaa viljelijän kannusteita investoida pellon kasvukuntoon merkittävästi (Lynne ym. 1987, Easter & Cotner 1981).

Tämän artikkelin pohdintojen tavoitteena on havainnollistaa sitä, millä tavoin epävarmuus pellon hallintaoikeudesta vaikuttaa maan perusparannuksiin. Hallintaoikeuden pituuden vaikutuksia optimaalisiin perusparannuksiin havainnollistetaan dynaamisen ohjelmointirutiinin antamalla tuloksilla fosforilannoituksesta ja kalkituksesta. Mallien parametrisointi ja näin myös niiden antamat tulokset ovat erittäin alustavia, mutta ne riittävät osoittamaan sen, kuinka selvästi lyhytaikaisten ja kiinteähintaisten vuokrasopimusten aiheuttama epävarmuus pellon hallintaoikeudesta alentaa viljelijän kannusteita investoida maan perusparannuksiin. Vuokraviljelijällä voi olla kannusteet laiminlyödä perusparannukset, vaikka ne olisivat yhteiskunnan kannalta katsottuina kannattavia. Kysymys on tärkeä, koska pellon vuokraus lisääntyy ja epävarmuus pellon hallintaoikeudesta voi merkittävästi alentaa Suomen peltojen tuottokykyä ja kotimaisten elintarvikkeiden tarjontaa. Karkealla analyysillä pyritään edistämään ideointia vuokrasopimusten kehittämiseksi niin, että ne antavat joko vuokramiehelle tai maanomistajalle oikeat kannusteet investoida maan perusparannuksiin.

Artikkeli perustuu MTT:ssä meneillään olevaan pellon kasvukunnon taloutta käsittelevään tutkimushankkeeseen. Nyt esiteltyjä alustavia malleja tullaan kehittämään ja ne tullaan tarkemmin parametrisoimaan hankkeen edetessä.

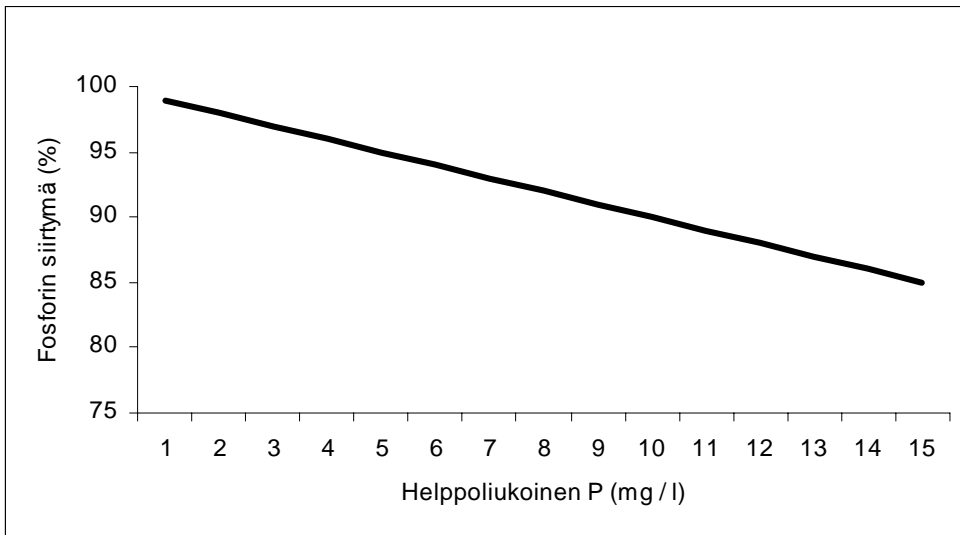


Kuva 1. Vuokrapellon osuus maatilojen hallinnassa olevasta pelto-alasta EU:ssa vuonna 1999 (European Communities 2002).

Fosforilannoitus

Optimaalisia fosforilannoitustasoja pellon hallinta-ajan suhteen selvitettiin käyttäen seuraavia lähtötietoja:

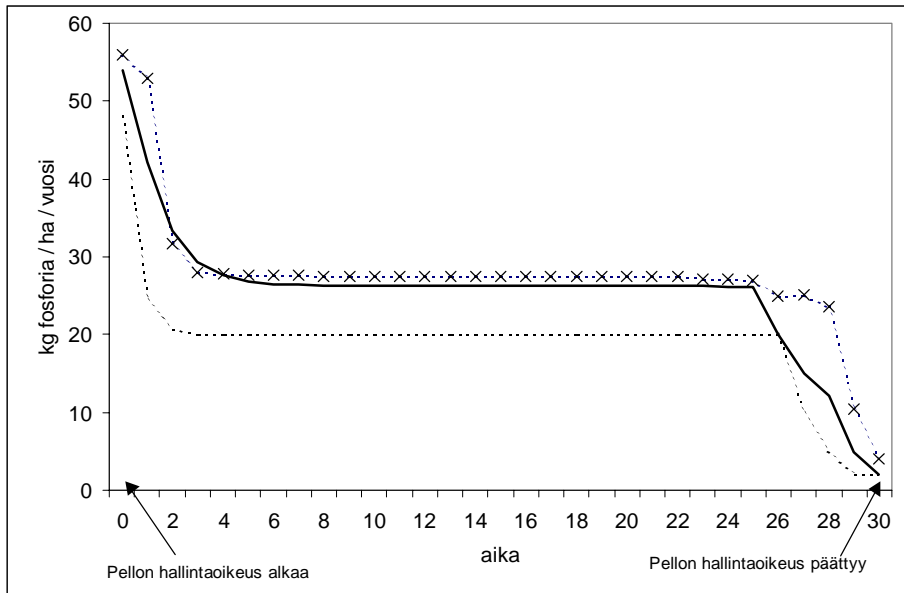
- maalaji on hietasavi ja viljelykasvi on ohra
- sadon arvo on 100 €/tonni
- lannoitefosforin hinta on 1220 €/tonni
- lannoitefosforin käyttö rajoittamaton, ei esim. ympäristöohjelmien rajoituksia.
- laskentakorkokanta on 5 %
- maan fosforitilanne 30 vuoden suunnittelukauden alussa on 8 mg/l. Lähtötaaso menettää merkityksensä suunnittelujakson ollessa riittävän pitkä, sillä maan fosforitila hakeutuu optimaaliselle tasolle.
- maan fosforitilan vaikutus satoon ja fosforilannoituksen vaikutus satoon maan fosforitilanteen suhteen (aineisto: Saarela ym. 1996, s. 66-67).
- yksi lannoitefosforikilo nostaa maan fosforilukua +0,05 mg/l
- maan fosforivaranto kuluu sadon ja valuman vaikutuksesta kuvassa 2 esitetyllä tavalla. Esimerkiksi jos maassa 10 mg fosforia, niin sadon ja valuman mukana poistuu 1 mg eli 10 %. Lannoitus korjaa varannon pienemistä, kuten edellä on esitetty.
- maan fosforitilanne ei vaikuta pellon arvoon suunnittelukauden lopussa.



Kuva 2. Maassa olevan helppoliukoisen fosforin siirtyminen vuodesta (t) vuoteen (t+1) maan fosforitilanteen suhteen.

Ohran optimaalinen fosforilannoitus ratkaistiin pellon hallintaoikeuden funktiona kolmella eri hintatasolla (Kuva 3). Nykyisellä ohran ja fosforin hinnalla (paksu yhtenäinen viiva) fosforilannoitus alkaa nopeasti alentua, kun pellon hallintaoikeutta on jäljellä kuusi vuotta. Esimerkiksi viiden vuoden vuokrasopimuksella fosforilannoitustaso ei ole pitkän aikavälin optimissa yhtenäkkään vuonna. Kahtena viimeisenä sopimusvuonna lannoitemäärä jää lähelle nolaa ja vastannee käytännössä vain pientä starttilannoitusta.

Ohran hinnan nousu ja fosforin hinnan lasku (tähditetty katkoviiva) ei näyttäisi oleellisesti muuttavan pitkän aikavälin optimaalista fosforilannoitustasoa. Sen sijaan ohran hinnan edelleen laskiessa ja fosforin hinnan noustessa (katkoviiva) taloudellisesti optimaalinen fosforilannoitustaso laskee selvästi. Ohran hinnan lasku ja fosforin hinnan nousu vaikuttavat myös vuokramiehen taloudellisesti optimaaliseen fosforilannoitukseen niin, ettei vuokrasopimuksen kolmena viimeisenä vuonna kannata käyttää fosforia pientä starttilannoitusta enempää.



Kuva 3. Ohran fosforilannoitus pellon hallintaoikeuden keston mukaan. Hallintaoikeus on enimmillään 30 vuotta. Jäljellä olevan hallintaoikeuden kesto lyhenee, kun siirytään aikajanaa (x-akselia) vasemmalta oikealle. Kuvan selitteet: paksu jatkuva käyrä: fosforin hinta 1220 euroa/t ja ohran hinta 100 euroa/t, tähditetty (ylin) katkoviiva: fosforin hinta 20 % alennettu ja ohran hinta 20 % korotettu sekä ohut (alin) katkoviiva: fosforin hinta 20 % alennettu ja ohran hinta 20 % alennettu.

Kalkitus

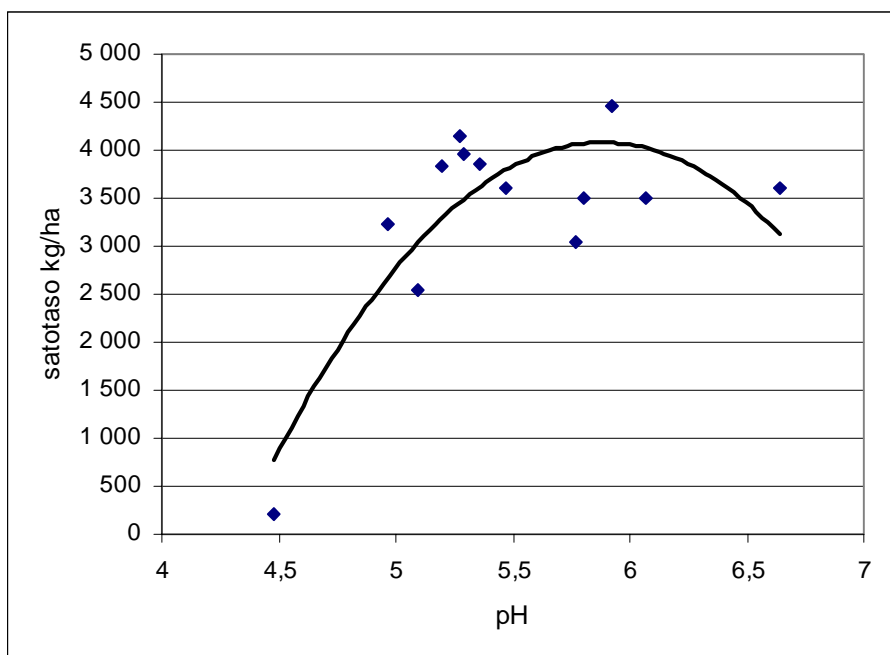
Optimaalista kalkitusta pellon hallinta-ajan suhteen selvitettiin seuraavin lähtötiedoin:

- maalajeina savimaat ja kivennäismaat
- viljelykasvi on ohra
- sadon arvo on 100 €/tonni
- kalkituksen verottomat hinnat kuten taulukossa 1 (Mikko Lauronen, Nordkalk. 12.08.2002)
- vuotuinen kalkitus on rajoittamaton välillä 0-15 t/ha, kuitenkin niin, että pienten kalkkimäärien (3t/ha tai vähemmän) levityksestä aiheutuu ylimääräisiä kustannuksia (n. 9 €/t).
- laskentakorkokanta on 5 %
- maan pH on 30 vuoden suunnittelukauden alussa 5,9
- maan pH:n vaikutus ohransatoon (aineisto: Kempainen ym. 1993, s. 24, Taulukko 6) (tuloksista estimoitu funktio on esitetty kuvassa 4).
- Kalkituksen vaikutus maan pH-tasoon 0,049 pH-yksikköä / tonni kalkkia (Kempainen ym 1993, s. 28, Taulukko 13).

Taulukko1. Kalkituskustannus (keskiarvohinnat).

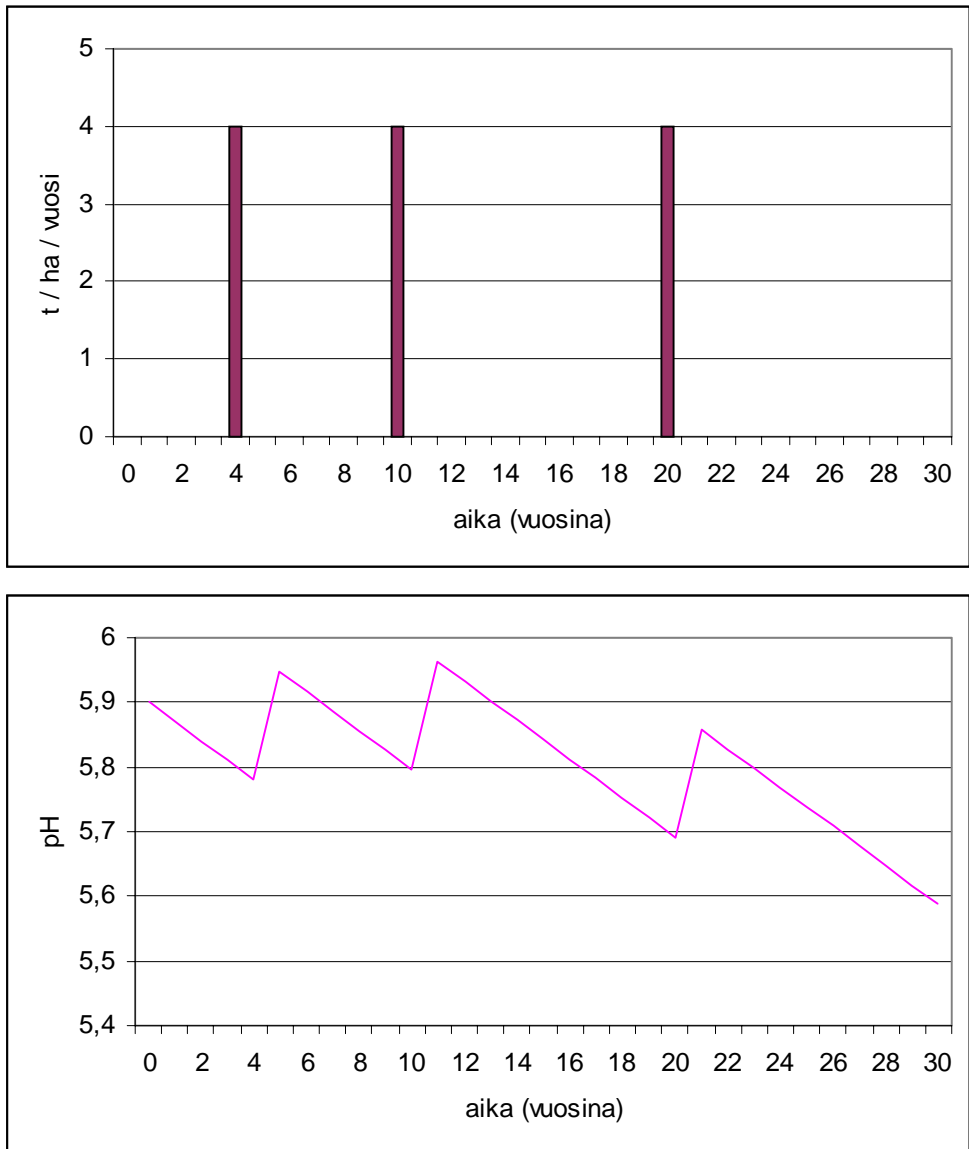
Verotonnat hinnat

	mk/t	€/t
kalkki	135,00	22,69
levitys 4-15 t/ha	25,00	4,20
levitys 1-3 t/ha		13,28
rahti	40,00	6,72

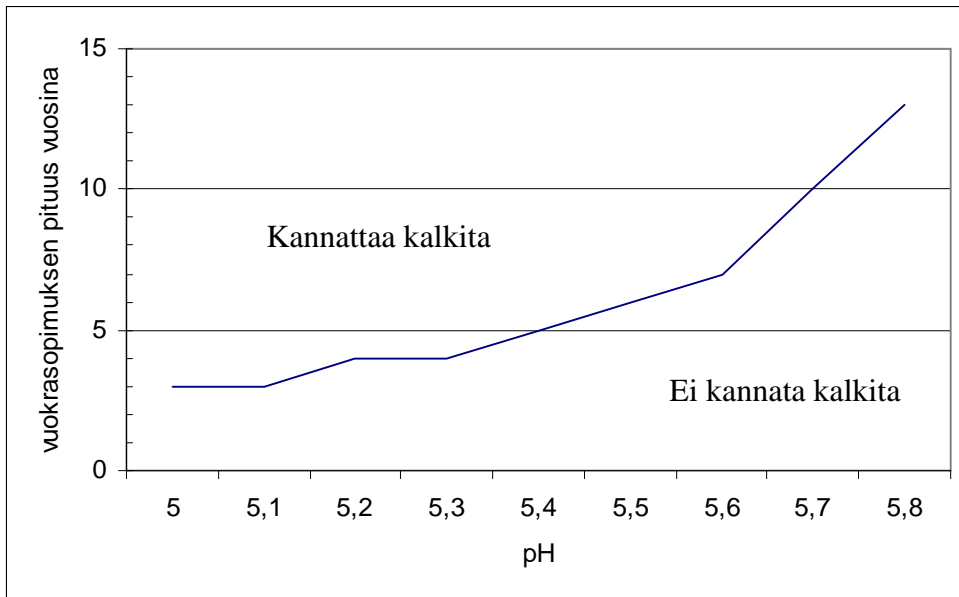


Kuva 4. Maan pH:n vaikutus ohran satoon (Kemppainen ym. 1993, s. 24, Taulukko 6:n mukaan).

Optimaalinen kalkitusmäärä näyttäisi alenevan nopeasti kun pellon hallintaoikeus lyhenee (Kuva 5). Esimerkiksi viiden vuoden vuokrasopimuksella pellon pH:n pitää olla ohran viljelyssä alle 5,4:n, jotta se kannattaa kalkita (Kuva 6). Kannusteet kalkita nousevat nopeasti pellon hallintaoikeuden pidentyessä.



Kuva 5. Optimaalinen kalkitus ja pH ajan ja pellon hallintaoikeuden funktiona.



Kuva 6. Maan pH:n ja hallintaoikeuden (vuokrasopimuksen) keston vaikutus optimaaliseen kalkitukseen eli milloin kannattaa kalkita ja milloin ei.

Johtopäätökset

Alustavien ja parametriarvoiltaan vielä viimeistelemättömien optimointirutiinien tulokset riittävät osoittamaan kuinka selvästi pellon hallintaoikeuteen liittyvä epävarmuus alentaa kannusteita tehdä peltojen perusparannuksia. Hallintaoikeuden pidentyessä ja varmentuessa perusparannusten määrä lähestyy kohti pitkän aikavälin tasapainoa. Kuten odotettua, hallintaoikeuden merkitys on sitä selvempi mitä pidempiaikaisista perusparannuksista on kysymys.

Vuokramiehen alhaiset kannusteet tehdä perusparannuksia perinteisin, kiintein käteisvuokrin vuokratuilla pelloilla on merkittävä ongelma etenkin lyhytaikaisissa sopimuksissa. Jotta vuokrattuina viljeltyjen peltojen viljavuus saadaan pysymään yhteiskunnan kannalta riittävän korkealla, vuokrasopimuksia tulisi kehittää perusparannuksien tekemistä kannustavaan suuntaan.

Kirjallisuus

Easter, K. W. & Cotner, M. L. 1981. Evaluation of current soil conservation strategies. University of Minnesota. Staff paper P81-14. 36 s.

- European Communities 2002. FADN (Farm Accountancy Data Network).
Viitattu 19.3.2002. Saatavissa internetistä:
<http://europa.eu.int/comm/agriculture/rica/>
- Kemppainen, E. Jaakkola, A. & Elonen, P. 1993. Peltomaiden kalkitustarve ja kalkituksen vaikutus viljan ja nurmen satoon. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 15/93. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 44 s.
- Lynne, G.D., Shonkwiler, J.S. & Rola, L.R. 1987. Attitudes and farmer conservation behavior. *American Journal of Agricultural Economics* 70(1): 12-19.
- Saarela, I., Järvi, A., Hakkola, H., & Rinne, K. 1995. Fosforilannoituksen porraskokeet 1977-1994. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 16/95. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 94 s.

Maa- ja elintarviketalous -sarjassa ilmestyneet julkaisut

Esitelmät

- 13 Tutkittu maa – turvalliset elintarvikkeet. Viljavuustutkimus 50 vuotta – juhlaseminaari, Jokioinen 24.9.2002. *Uusitalo & Salo (toim.)* 13. 61 s. Hinta 20,00 euroa.
- 7 Suurenevien tilojen haasteet Ylistaro, 7.-8.8.2002. *Heikkilä & Salo (toim.)*. 103 s. Hinta 15,00 euroa.

Ympäristö

- 12 Luonnonmukaisen ja tavanomaisen viljelyn typpi- ja fosforihuuhtoumat. Kirjallisuuskatsaus. *Ylivainio ym.* 74 s. Hinta 20,00 euroa.
- 5 Agri-environmental and rural development indicators: a prosal. *Yli-Viikari ym.* 102 s. Hinta 25,00 euroa.
- 2 Luonnonmukaisen ja tavanomaisen viljelyn vaikutukset maaperään. *Pa-lojärvi ym.* 88 s. Hinta 20,00 euroa.

Talous

- 11 Franchisingsopimukset sikatalouden hintariskien hallinnassa. *Uusitalo & Pietola.* 35 s. Hinta 15,00 euroa

Kasvintuotanto

- 10 Biotorjunta osana ekologista kasvinsuojelua. *Tiilikkala (toim.)*. 78 s. (verkkojulkaisu osoitteessa: <http://www.mtt.fi/met/pdf/met10.pdf>).
- 9 Kestorikkakasvit kevätiljantuotannon uhkana. Pelto-ohdake, peltovalvatti ja juola-vehnä. Kirjallisuuskatsaus. *Lötjönen ym.* 118 s. Hinta 25,00 euroa.
- 3 Uuden perunaruton epidemiologia ja kemiallinen torjunta. *Kurppa & Segerstedt (toim.)*, 66 s. Hinta 20,00 euroa.
- 1 Ruokohelven viljely ja korjuu energian tuotantoa varten. *Pahkala ym.*. 20 s. Hinta 15,00 euroa.

Teknologia

- 4 Digitaalikuvausten ja vesiherkän paperin käyttö perunan ruiskutustutkimuksessa. *Suomi & Haapala.*. 70 s. Hinta 20,00 euroa.

