



Maan laadun arviointi tiloilla

Sanna Kukkonen, Laura Alakukku, Merja Mylly
ja Ansa Palojärvi



Maa- ja elintarviketalous 63
86 s.

Maan laadun arviointi tiloilla – kirjallisuuskatsaus

Sanna Kukkonen, Laura Alakukku, Merja Myllys ja
Ansa Palojärvi

ISBN 951-729-926-5 (Painettu)
ISBN 951-729-927-3 (Verkojulkaisu)
ISSN 1458-5073 (Painettu)
ISSN 1458-5081 (Verkojulkaisu)
www.mtt.fi/met/pdf/met63.pdf

Copyright

MTT

Sanna Kukkonen, Laura Alakukku, Merja Myllys ja Ansa Palojärvi

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

2004

Kannen kuvat

Risto T. Seppälä ja Sanna Kukkonen

Painopaikka

Data Com Finland Oy

Maan laadun arviointi tiloilla – kirjallisuuskatsaus

Sanna Kukkonen, Laura Alakukku, Merja Myllys ja Ansa Palojärvi

MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Ympäristötutkimus, Maaperä ja ympäristö, 31600 Jokioinen, sanna.kukkonen@mtt.fi, laura.alakukku@mtt.fi, merja.myllys@mtt.fi, ansa.palojarvi@mtt.fi

Tiivistelmä

Perinteisesti pelloilta on mitattu viljavuutta eli sadontuottokykyä maaperän ravinnepitoisuuksia määrittävän viljavuustutkimuksen avulla. Viime aikoina on tullut tarpeelliseksi mitata hetkellisen sadontuottokyvyn lisäksi maan kykyä ylläpitää oleellisia toimintojaan mahdollisimman pienin ympäristöhaitoin. Tämä on luonut tarpeen tuoda viljavuusmääritysten rinnalle maan rakennetta ja biologista toimintaa kuvaavia mittareita.

Tässä kirjallisuuskatsauksessa esitellään mittarisarjoja, joiden avulla tiloilla voidaan arvioida viljelymaan laatua tai ainakin joitakin sen kemiallisista, fysikaalisista tai biologisista osatekijöistä. Arviointi tarjoaa viljelijöille apua päätöksentekoon pellon kunnostus- ja viljelytoimenpiteitä valittaessa sekä opettaa maaperäasioiden merkitystä. Maan laatua mittaavia testisarjoja voidaan hyödyntää myös viljelyn ympäristövaikutusten arvioinnissa.

Tilakäyttöön tarkoitettujen testimenetelmien tulisi toimia pelto-olosuhteissa, olla helppokäyttöisiä ja kartoittaa luotettavasti maan ”kuntoa”. Kaikki maan laadun osatekijät tasapuolisesti huomioivia testisarjoja on kehitetty vielä verrattain vähän. Kemiallisia ominaisuuksia on perinteisesti testattu eniten. Näissä testeissä pelloilta otetut näytteet analysoidaan yleensä kaupallisessa laboratoriossa. Niitä täydentävät monissa maissa maan rakenteen testit. Biologisia mittareita on edelleen hyödynnetty suhteellisen vähän, koska ne tunnetaan huonosti ja mittaamenetelmät ovat usein työläitä. Joissakin testisarjoissa arvioinnin apuna käytetään epäsuoria mittareita, kuten viljelykasvin kasvuhavaintoja.

Yksinkertaisimmillaan tilatestit ovat arviointikortteja, joiden mittarit ovat yleisluontoisia eivätkä edellytä mittauksia. Hieman työläämpää on maakuopasta aistinvaraisesti tehtävä havainnointi ja vaativinta ovat mittavälineiden avulla tehtävät mittaukset. Aistinvaraiset menetelmät rajaavat helposti maan laadun seurannan tilan sisäiseksi, sillä tulokset riippuvat testajaista. Arvioinnin luotettavuuteen vaikuttavat valittujen mittareiden lisäksi mittauksen ajankohta sekä havaintopisteiden määrä ja sijoittelu. Tuloksia voidaan tulkita sekä testikohtaisesti että yhteenvetona. Oleellista on, että tulos saadaan viljelijälle käyttökelpoiseen muotoon.

Avainsanat: maaperä, maan laatu, viljavuus, kasvukunto, maan rakenne, maaperäeliöstö, ravinteet, mittaamenetelmät, maatilat, testit

Soil quality on-farm assessment – a review

Sanna Kukkonen, Laura Alakukku, Merja Myllyls and Ansa Palojärvi

MTT Agrifood Research Finland, Environmental Research, Soils and Environment, FIN-31600 Jokioinen, Finland, sanna.kukkonen@mtt.fi, laura.alakukku@mtt.fi, merja.myllyls@mtt.fi, ansa.palojarvi@mtt.fi

Abstract

In recent years, a need has arisen to expand the traditional concept of arable soil fertility to include soil quality. The difference is that whereas fertility includes factors promoting plant growth, soil quality includes the ability of soil to maintain its own functions and environmental quality. Additional indicators that measure not only the nutrient status of soil but also its structural and biological condition are therefore required.

This literature review summarizes and evaluates test kits developed around the world for on-farm assessment of soil quality components – chemical, physical and biological. The kits have two main purposes: to aid farmers in their decisions regarding maintenance and cultivation practices, and to serve as educational tools increasing awareness of soil quality. They can also be used to evaluate the environmental impact of cropping systems.

The challenge of on-farm test kits is to create a set of useful, easy-to-use and reliable indicators for use in field conditions. There are still relatively few test kits that take all aspects of soil quality into account. The testing of chemical soil properties is commonly arranged by sending soil samples to commercial soil testing laboratories. To supplement this procedure, many countries have introduced test kits for detecting soil structural properties. Biological indicators are not yet widely used partly due to a lack of knowledge about them and partly due to the difficulty of the measuring methods. Some test kits also use indirect indicators such as crop growth observations.

The simplest approach is to assess soil quality with scorecards that contain general indicators requiring no direct measurements. Slightly more demanding is the visual assessment of soil characteristics from a soil pit. Most demanding is the performance of instrumental measurements. Indicators based on sensory evaluation restrict the monitoring of soil quality to farm-level because the results often have a subjective bias. The reliability of the evaluation depends on the indicators used but also on appropriate timing and the number and placing of parallel samples. The results of the evaluation are interpreted either individually by each test or by calculating indices. In either case, the main purpose is to present the results of the assessment in a form that is useful on the farm.

Key words: soil quality, soil fertility, soil structure, soil biological activity, nutrients, indicators, on-farm assessment

Uppskattning av markens kvalitet utförd på fältet – en litteraturöversikt

Sanna Kukkonen, Laura Alakukku, Merja Myllys och Ansa Palojarvi

Forskningscentralen för jordbruk och livsmedelsekonomi, Mark och miljö, FIN-31600
Jokioinen, Finland, sanna.kukkonen@mtt.fi, laura.alakukku@mtt.fi, merja.myllys@mtt.fi,
ansa.palojarvi@mtt.fi

Sammanfattning

Åkers bördighet, dvs. dess produktionsförmåga, har traditionellt bestämts med markkarteringsanalys, som mäter markens innehåll av näringsämnen. På senaste tid har man funnit det nödvändigt att mäta inte enbart den kortvariga produktionsförmågan utan också markens förmåga att bibehålla väsentliga funktioner med så liten belastning av miljön som möjligt. Detta har skapat ett behov av att vid sidan av bördighetsbestämningar också introducera indikatorer för markstruktur och markbiologi.

I denna litteraturöversikt presenteras och evalueras indikatorserier, med vilka man kan på gården uppskatta markens kvalitet, eller åtminstone några av markens kemiska, fysikaliska eller biologiska komponenter. Evalueringen ger hjälp åt odlarna när de skall besluta vilka åtgärder är lämpliga vid iståndsättning åkermark och vid valet av odlingsmetoder. Dessutom ger evalueringen också allmän information om markegenskapernas betydelse. Testserier för markkvalitet kan också utnyttjas vid uppskattning av odlingens inverkan på miljön.

Testmetoder avsedda för bruk på gården måste fungera under fältförhållanden, vara lätta att använda och utgöra ett tillförlitligt mått på markens ”tillstånd”. Testserier som objektivt beaktar markens olika egenskaper är ännu relativt få. Traditionellt har de kemiska egenskaperna testats mest. I sådana tester analyseras markproverna för det mesta i kommersiellt laboratorium. I många länder kompletteras de kemiska analyserna med analyser av markstruktur. Biologiska indikatorer har tillsvidare utnyttjats relativt litet p.g.a. deras ringa kännedom och arbetsamma mätningmetoder. I några testserier används indirekta indikatorer såsom iakttagelser om odlingsväxtens tillväxt.

I sin enklaste form är gårdstesterna en kortevaluering, där indikatorerna är allmänna och behöver ej mätas. Visuellt gjorda iakttagelser från en grop kräver litet mera arbete, medan mätningar gjorda med mätinstrument är mera krävande. De visuella metoderna begränsar lätt uppföljningen av markens kvalitet till inom gården, ty resultaten är subjektiva. Evalueringens pålitlighet beror på valda indikatorer samt på valet av iakttagelsestidpunkt och iakttagelseställets mängd och läge på gården. Resultaten kan tolkas både som gällande för ett visst test och som sammandrag. Väsentligt är att resultatet fås i en form som odlaren kan utnyttja.

Referensord: mark, markkvalitet, bördighet, växtskick, markstruktur, markorganismer, näringsämnen, mätningmetoder, gårdar, tester

Alkusanat

MTT:ssa on perinteisesti ollut vahva osaaminen peltomaan kemiallisten ominaisuuksien mittaamisessa. Onhan nykyisin Suomessa käytössä oleva viljavuustutkimuskin pääosin MTT:n maaperätutkimuksen kehittämä. Viime vuosina MTT:n Maaperä ja ympäristö –vastuualue on vahvistanut osaamistaan myös maaperän fysikaalisten ja biologisten ominaisuuksien tutkimisessa. Samanaikaisesti on noussut kiinnostus viljavuustutkimuksen täydentämisestä. Maailmalla painotusta on haluttu siirtää maan sadontuottokyvyn mittaamisesta maan laadun mittaamiseen. Se sisältää maaperän kestävästä käytön ajatuksen ja täydentää peltomaan viljavuustutkimusta ottamalla huomioon maan rakenteeseen ja biologiseen toimintaan liittyviä tekijöitä.

Vuonna 2003 aloitettiin ProAgria Maaseutukeskusten liiton kanssa Maa- ja metsätalousministeriön rahoittama kehittämishanke ”Tilalla tapahtuva maan laadun mittaaminen”. Sen tavoitteena on kehittää suomalaisiin olosuhteisiin soveltuva testikokonaisuus tiloilla tapahtuvaa maan laadun mittaamista varten. Hankkeen alkuvaiheessa päätettiin tehdä kirjallisuuskatsaus eri puolilla maailmaa jo olemassa olevista testeistä. Erilaisia ratkaisumalleja ja lähestymistapoja sekä niistä saatuja kokemuksia voidaan hyödyntää kotimaista kokonaisuutta koostettaessa.

Jokioisissa elokuussa 2004

Ansa Palojärvi
vanhempi tutkija

Sisällysluettelo

1 Johdanto	9
1.1 Maan laadun määritelmä	9
1.2 Maan laadun osatekijät	11
1.3 Maan laatua uhkaavat tekijät	12
1.4 Maan laadun mittarit	15
1.5 Taustaa maan laadun arvioinnista tiloilla	18
1.6 Katsauksen tavoitteet	19
2 Esimerkkejä testisarjoista	20
2.1 Maan ravinnetilan mittaaminen (viljavuustutkimus)	20
2.2 Maan rakennetta kuvaavat testisarjat	22
2.2.1 Lapiodiagnoosi	22
2.2.2 Visual soil assessment (VSA)	24
2.2.3 SOILpak	26
2.2.4 Markstrukturindex (MSI)	29
2.3 Maan laatua kuvaavat testisarjat	30
2.3.1 Soil Quality Scorecards	30
2.3.2 Soil Quality Test Kit (SQTk)	32
2.3.3 Soil Quality Management System (SQMS)	35
3 Maan laadun arviointiin vaikuttavat tekijät ja niiden huomiointi testisarjoissa	37
3.1 Havaintoajankohdan valinta	37
3.2 Vertailualueen valinta	40
3.3 Havaintopisteiden valinta peltolohkolla	42
4 Maan laadun mittarit testisarjoissa	44
4.1 Maan kemialliset ominaisuudet	45
4.2 Maan fysikaaliset ominaisuudet	48
4.3 Maan biologiset ominaisuudet	53
4.4 Epäsuorat maan laadun mittarit	57
5 Testitulosten tulkinta	59
5.1 Tulosten esittämistapa	59
5.2 Vertailuarvot	62
5.3 Tulosten perusteella tehtävät johtopäätökset	63

6 Testisarjojen arviointia.....	65
7 Testisarjojen hyödyntämismahdollisuudet.....	69
8 Johtopäätökset.....	73
9 Kirjallisuus.....	74

1 Johdanto

1.1 Maan laadun määritelmä

Suomessa on jo pitkään käytetty termejä viljavuus ja kasvukunto määrittelemään peltomaan tilaa kasvintuotannon kannalta. Viljavuus käsittää periaatteessa kaikki kasvien kasvuun vaikuttavat maan ominaisuudet, kuten ravinteisuuden, rakenteen ja biologisen toiminnan (mm. Rajala 1991). Viljavuus on siis synonyymi kasvukunnolle, mutta käytännössä sillä on tarkoitettu lähinnä maan ravinteisuutta (Vuorinen & Mäkitie 1955). Viime aikoina onkin alettu käyttää termiä maan toiminnallinen viljavuus, kun halutaan korostaa maan ja kasvin välistä vuorovaikutusta sekä maan omien toimintojen merkitystä viljavuuden muodostumisessa (Palojärvi 2002). Maan laatu sen sijaan on suhteellisen uusi ja viljelijöiden keskuudessa vähemmän käytetty termi. Kansainvälisellä tasollakin maan laadun käsite on määritelty vasta suhteellisen hiljattain. Doranin ja Parkinin (1994) esittämä määritelmä on ehkä eniten käytetty ja suomennettuna se kuuluu: ”Maan kyky toimia maankäytön ja ekosysteemin asettamissa rajoissa ylläpitäen biologista toimintaa ja ympäristön laatua sekä edistäen kasvien, eläinten ja ihmisten terveyttä”.

Maataloudessa viljelykasvien kasvu ja terveys ovat luonnollisesti oleellisia tavoitteita. Tästä kertovat viljavuus- ja kasvukuntokäsitteet, joissa painotetaan maan hetkellistä sadontuottokykyä (Laatikko 1). Maan laadun määritelmä tuo kuitenkin tähän kestävyuden lisänäkökulman. Maan hyvää laatua ei voida keinotekoisesti ylläpitää pelkästään viljelytoimenpitein kuten epäorgaanisia lannoitteita käyttämällä. Maan laatua mitattaessa tulisikin huomioida maan kyky ylläpitää omia toimintojaan ja sadontuottokykyään. Nämä ovat ominaisuuksia, jotka hyödyttävät myös viljelijää pellon viljelyvarmuuden lisääntymisenä (satovaihtelut pienenevät). Lisäksi viljely tulisi voida toteuttaa niin, että siitä ei koidu merkittävää haittaa vesistölle tai ilman laadulle. Hyvälaatuisen maan pitäisi siis pystyä tuottamaan hyviä

Laatikko 1. Viljelymaan ominaisuuksia kuvaavia termejä:

- *viljavuus* (tai kasvukunto) - *engl.* soil fertility
= maan sadontuottokyky
- *toiminnallinen viljavuus* - *ei engl.* vastinetta
= maan sadontuottokyky, painotus maan omien toimintojen osuudessa
- *maan laatu* - *engl.* soil quality, soil health
= maan kyky toimia: ylläpitää omia toimintojaan ja sadontuottoa

satoja aiheuttamatta esim. ravinteiden huuhtoutumisen tai kasvihuonekaasupäästöjen lisääntymistä.

Mitä maan laadun käsitteessä tarkoittavat ekosysteemin ja maankäytön asettamat rajat? Miten ne tulisi huomioida maan laadun mittauksessa? Maalla on sekä suhteellisen muuttumattomia (luontaisia) ominaisuuksia että muuttuvia ominaisuuksia. Maan lajitekoostumus ja sen kerroksellisuus (maannos) ovat muodostuneet alueen historian aikana. Suuret muutokset eloperäisen aineksen määrässä tapahtuvat hyvin hitaasti (Hartikainen 1992). Maannosta, lajitekoostumusta ja eloperäisen aineksen määrää käytetäänkin maaperän luokitusperusteena (Aaltonen ym. 1949, Yli-Halla ym. 2003), koska niiden muuttuminen on inhimillisesti katsoen hidasta. Pieniä muutoksia eloperäisen aineksen määrässä tapahtuu viljelytoimenpiteiden vaikutuksesta, mutta eliötoiminta, huokos- ja mururakenne sekä ravinteisuus muuttuvat herkästi muokkauskerroksessa ihmistoiminnan ja sään vaikutuksesta. Luontaiset ominaisuudet ja paikallinen ilmasto antavat ne puitteet, joiden sisällä eliö- ja ihmistoiminta voi muuttaa maan ominaisuuksia. Suomen kylmemmän ilmaston vuoksi eloperäisen aineksen hajotus on talvella hitaampaa kuin Etelä-Euroopassa. Samalla tavalla myös erilaiset maankäyttötavat asettavat rajoituksia maan ominaisuuksille. Suomalaisessa savipitoisessa peltomaassa ojitus on saanut aikaan rakenteen muodostumista huomattavasti syvemmälle kuin luonnontilaisissa savimaissa (Yli-Halla ym. 2002). Uudessa Seelannissa tehdyn kartoituksen perusteella maannoslaji ja maan käyttö voivat selittää jopa 55-76% maan laadun vaihtelusta (Sparling & Schipper 2002). Maalajin, ilmaston ja maan käyttötavan asettamat rajoitukset tulisikin huomioida mittareiden valinnassa ja mittaustulosten tulkinnassa. Siksi suomalaista peltomaan laadun arvioitiin sopivien mittareiden valinnassa ei voida tukeutua täysin ulkomailla käytettyihin mittareiden ja samoja mittareita käytettäessäkin tulisi maiden erilaiset lähtökohdat huomioida raja-arvojen asettamisessa ja tulosten tulkinnassa.

Peltomaan laadun mittaamisen tarkoituksena on kuvata sellaisia ominaisuuksia, joihin viljelijällä on mahdollista vaikuttaa suhteellisen lyhyessä ajassa (Rapport 1997). Tällöin arvioinnin tuloksena syntyy viljelijälle käyttökelpoista tietoa pellon sadontuotokyvyn ylläpitämiseksi. Toisaalta maatalouden ympäristövaikutusten seuranta on noussut tärkeäksi tavoitteeksi ja maan laadun mittaamisen monipuolistaminen palvelee myös tätä tavoitetta. Parhaimmillaan maan laadun arviointi auttaa viljelijää suuntaamaan viljelytoimenpiteitään sekä kasvintuotannon että ympäristön kannalta kestävä maankäytön mukaisesti.

1.2 Maan laadun osatekijät

Maan laadun katsotaan koostuvan kolmesta osatekijästä, jotka ovat kemiallinen, fysikaalinen ja biologinen osa. Kemiallinen komponentti sisältää lähinnä happamuuden, kasvinravinteet ja maassa esiintyvät erilaiset kemialliset yhdisteet. Myös eloperäisen aineksen määrän katsotaan kuuluvan maan kemiallisiin ominaisuuksiin. Maaperäfyysiikka puolestaan käsittää lyhyesti sanottuna maan rakenteeseen ja vesitalouteen liittyvät asiat. Maan mikrobit ja eläimet muodostavat yhdessä kasvien juurten kanssa biologisen, elävän, osan maasta. Kaikki nämä muodostavat yhdessä maan ekosysteemin, jonka toiminta on riippuvainen kaikista osatekijöistään.

Kemialliset tekijät. Maan kemialliset ominaisuudet ovat yleensä tutuimpia, sillä maan ravinteisuutta, pH:ta ja eloperäistä ainesta on jo pitkään mitattu suomalaisista viljelymaista. Kasvintuotannon kannalta oleellista on huolehtia riittävästä ravinteiden saatavuudesta sekä pitää maan happamuus ja suolapitoisuus viljelykasville sopivalla tasolla. Helposti liukenevassa muodossa olevia ravinteita ei tulisi kuitenkaan olla maassa ylimäärin kasvien tarpeeseen nähden, jotta viljelyn ympäristöhaitat pysyisivät kurissa. Peltomaassa tulisi olla myös kohtuullinen määrä eloperäistä ainesta, sillä se tasaa ravinteiden määrässä, pH:ssa ja maan kosteudessa tapahtuvia vaihteluja. Kasvinjätteiden ja lannan hajotessa vapautuu kasveille käyttökelpoisia ravinteita, joita hitaimmin hajoava osa eloperäistä ainesta eli humus pystyy sitomaan, mutta jotka ovat tarvittaessa kasveille käyttökelpoisia (Hartikainen 1992). Kuolleen eloperäisen aineksen jatkuva saatavuus on myös edellytyksenä maan eliötoiminnan ylläpitämiseksi. Lisäksi eloperäinen aines auttaa maan mururakenteen muodostumisessa ja ilmavuuden säilyttämisessä (Heinonen 1992) ja vähentää haitallisten yhdisteiden myrkyllisyyttä (Martikainen 1995). Haitallisten aineiden, kuten raskasmetallien ja torjunta-aineiden, esiintyminen onkin yksi maan kemiallisen laadun mittareista.

Fysikaaliset tekijät. Maan fysikaaliset ominaisuudet kuvaavat maan rakennetta eli maahiukkasten keskinäisiä sidoksia ja ryhmittymiä sekä näiden väliin jääviä huokostiloja. Karkeissa kivennäismaissa maahiukkaset ovat pääasiassa irrallisia tai muodostavat vain löyhiä ryhmittymiä. Saveksen määrän kasvaessa murujen muodostuminen lisääntyy. Hiukkasten ja murujen väliin sekä murujen sisään jäävä tila (huokosto) vaikuttaa mm. maan vesi- ja kaasutalouteen. Maan rakenne muodostuu moninaisten fysikaalisten, kemiallisten että biologisten prosessien seurauksena, joista tarkempaa tietoa antaa mm. Heinonen (1992). Sitä voidaan kuvata mittaamalla esim. huokostilavuutta ja -jakaumaa, irtotiheyttä, vedenjohtavuutta tai murujen vedenkestävyyttä. Maan rakenne vaikuttaa oleellisesti pellon viljeltävyyteen ja viljelykasvien kasvuun. Tiiviissä maassa on vähän huokostilaa, johon juuristo voi levittäytyä ja jossa vesi ja kaasut voivat liikkua maan ollessa märkää. Maan tiivistyessä sen vedenläpäisevyys heikkenee ja eroosioriski kasvaa pintavalunnan lisääntyessä.

Biologiset tekijät. Maan eliötoiminta on tärkeässä osassa maan prosessien ja rakenteen ylläpitäjänä, joten sen mittaaminen on mitä suurimmassa määrin maan laadun määrittelmän mukaista maan toimintakyvyn mittaamista. Maaperäeliöiden merkitys korostuu etenkin ravinteiden kierrossa. Maassa elävät pieneliöt eli mikrobit sekä eläimet vastaavat pitkälti kasvinjätteiden hajotuksesta ja sitä kautta ravinteiden vapautumisesta. Vaikka mikrobit vastaavatkin suuresta osasta maahengitystä (eloperäisen aineksen sisältämän hiilen mineralisoitumisesta), maaperäeläimillä on huomattava välillinen vaikutus hajotusnopeuteen (Setälä & Huhta 1991). Erityisesti lierot ovat tässä suhteessa tärkeitä (Edwards 2000). Tällaisia maan toimintojen kannalta oleellisia eliöitä voidaan kutsua ns. avainlajeiksi (Laakso & Setälä 1999). Maaperän mikrobit vastaavat pitkälti typen kierrosta maassa ja hajottavat vierasaineita, kuten torjunta-aineiden jäämiä. Maan eliöt ja kasvien juuret osallistuvat maan muru- ja huokosrakenteen muodostamiseen. Esimerkiksi kastelierojen pystysuorat käytävät maassa toimivat suorina veden kulkureitteinä parantaen veden imeytymistä sateella (Lee & Foster 1991, Pitkänen & Nuutinen 1998). Maaperäeläimet tuottavat myös ulostekasoja, jotka toimivat raaka-aineena maamuruille, joita puolestaan pieneliötoiminta ja fysikaalis-kemialliset prosessit stabiloivat (Marinissen & Dexter 1990, Edwards & Shipitalo 1998). Maan eliötoiminta heijastuu kasvien kasvuun pääasiassa epäsuorasti, mutta suoriakin vaikutuksia sillä on. Esimerkiksi sienijuuri eli mykorrhitsa avustaa useita viljelykasveja ravinteiden, erityisesti fosforin, otossa. Samalla sienijuuri ja useat juuriston pinnalla elävät mikrobit suojaavat kasvia kasvitaudeilta eli toimivat biotorjuntaeliönä. Joillakin kasveilla puolestaan typen saannista vastaavat symbionttiset typensitojabakteerit.

1.3 Maan laatua uhkaavat tekijät

OECD:n (Organisation for Economic Co-operation and Development) maatalouden ympäristöindikaattoreja käsittelevän selvityksen mukaan maan laadun parantaminen, tai ainakin heikkenemisen pysäyttäminen, nähdään maatalouden tuottavuuden säilyttämisen edellytyksenä. Maailmanlaajuisesti peltomaiden laatua uhkaavat lähinnä seuraavat tekijät: i) fysikaalinen heikkeneminen eli eroosio ja tiivistyminen ii) kemiallinen saastuminen eli happamoituminen ja suolaantuminen sekä iii) eloperäisen aineksen vähenemisestä johtuva biologisten toimintojen heikkeneminen. (OECD 2001).

Viljelymaan tiivistyminen johtuu pääasiassa intensiivisestä viljelytekniikasta, joka perustuu painavien maatalouskoneiden käyttöön (Hadas 1994, Håkansson 1994). Eroosio, eli maa-aineksen poiskulkeutuminen, ohentaa maan pintakerrosta (ruokamultakerrosta) ja aiheuttaa maahiukkasiin kiinnittyneen fosforin häviötä. Sitä voi aiheuttaa sekä tuuli että vesi. Eroosion määrään voidaan vaikuttaa viljelytoimenpiteillä, erityisesti muokkaustavalla ja muokkauksen ajoituksella, suhteellisen paljon (Puustinen 1999). Eroosiota vähentää myös hyvä mururakenne, joka suojaa

maan pintaa liettymiseltä ja sitä kautta pintavalunnalta ja hienojakoisen aineksen kulkeutumiselta (Rhoton ym. 2002).

Viljelymaiden suolaantuminen johtuu pääasiassa intensiivisestä viljelystä suuren haihdunnan omaavilla alueilla (OECD 2001). Siksi suolaantumisen riski on kohonnut lähinnä subtrooppisella ja trooppisella viljelyvyöhykkeellä. Maan ja vesistöjen happamoituminen johtuu teollisuuden ja yhdyskuntien savukaasupäästöjen aiheuttamasta happamasta laskeumasta (Kauppi ym. 1990). Maan pH pyrkii laskemaan myös luontaisten prosessien, kuten nitrifikaation, seurauksena, mutta typen ja rikin oksidit kiihdyttävät happamoitumista.

Maan muokkauksen ansiosta eloperäinen aines hajoaa peltomaassa nopeammin kuin luonnontilaisessa maassa. Nykyisillä viljelymenetelmillä tätä hävikkiä ei enää tule riittävästi korvatuksi kasvinjätteen palauttamisen tai muun eloperäisen lannoituksen muodossa. Hajotettavan aineksen väheneminen rajoittaa maaperäeliöiden toimintaa ja määrää. Viljelymaassa on toisaalta hyvät edellytykset (esim. sopiva pH ja happitilanne) vilkkaalle hajotustoiminnalle, mutta ravinnonlähteen määrä ja jotkin viljelytoimet asettavat sille rajoituksia. Maan muokkaus ja yksipuolinen kasvilajisto rajoittavat monien maaeliöiden elinmahdollisuuksia ja sitä kautta monimuotoisuutta. Esim. kastelieroit vähenevät toistuvien kyntöjen myötä (Edwards & Lofty 1982).

Kylä-Setälä ja Assmuth (1996) arvioivat Suomen maaperän tilaa käsittelevässä selvityksessään, että maailmanlaajuisesti vertaillen Suomen maaperäongelmat ovat kohtuullisia. Eri vaurioitumistapojen merkityksestä esitetään korkeintaan karkeita arvioita, sillä riittävän kattavia selvityksiä ei ole tehty. Raportin perusteella maatalous näyttäisi aiheuttavan huomattavia maaperävaurioita muihin elinkeinoihin nähden, etenkin jos otetaan huomioon elinkeinon laaja-alaisuus. Maatalous vaurioittaa tai uhkaa erittäin huomattavasti maan rakennetta, monimuotoisuutta ja ekologista toimintaa. Lisäksi viljelystä koituu huomattavia muutoksia vesisuhteissa ja kasvupaikkaoloissa sekä maisemassa. Myös kemiallisen saastumisen riski on suuri ja hygieeninen kuormitus huomattava.

Maatalousmaan laatua uhkaavien yksittäisten tekijöiden merkitystä voidaan arvioida myös erillisten selvitysten pohjalta. Yli 50 vuoden aikana tehtyjen viljavuustutkimusten ja MTT:n lähes neljännesvuosisadan kestäneen seurannan perusteella voidaan arvioida kemiallisia tekijöitä. Niiden mukaan peltojen happamuus ja fosforin saanti rajoittavat edelleen peltojen sadontuottokykyä (Mäntylähti 2002, Mäkelä-Kurtto ym. 2002). Noin puolella peltoalasta kalkitus ei ole ollut riittävä happamoitumiseen nähden ja yleistä näyttäisi olevan puutteet myös pää- ja hivenravinteiden määrissä (Mäkelä-Kurtto ym. 2002). Toisaalta liiallista lannoitustakin esiintyy (Mäkelä-Kurtto ym. 2002), mikä lisää typen ja fosforin kulkeutumista vesistöihin (Ylivainio ym. 2002). Maatalous on suurin vesistöjen ravinnekuormituksen aiheuttaja,

se vastaa 62 % fosforin ja 51 % typen kuormituksesta (www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=29826&lan=FI).

Peltoajo aiheuttaa puolestaan riskin maan tiivistymiselle. Erityisen suuri riski on, kun ajetaan märällä maalla painavilla koneilla ja suurella rengaspaineella (Alakukku 2002). Alakukku (1997) sekä Alakukku ja Elonen (1995) havaitsivat merkkejä maan tiivistymisestä pohjamaassa saakka jo yhden ajokerran jälkeen, kun käytettiin raskaita maatalouskoneita. Eroosiota tapahtuu Suomessa pääasiassa veden vaikutuksesta: veden virtaileminen pellon pintaa pitkin (pintavalunta) ja maan läpi ojitusjärjestelmiin aiheuttaa eroosiota (Puustinen 1999, Turtola 1999). Puustinen (1999) arvioi, että eroosion mukana kulkeutuva maamäärä on Suomen oloissa yleensä vähäinen. Myös Kylä-Setälä ja Assmuth (1996) arvioivat eroosion olevan pieni riskitekijä koko Suomen maaperälle. Eroosioon liittyy kuitenkin vahvasti ravinteiden kulkeutuminen vesistöihin, mikä saattaa olla etenkin ajoittain, kuten lannoitteiden kevätleivityksen jälkeen, merkittävä viljelyn ympäristöhaitta (Puustinen 1999, Turtola 1999).

Erviö (1995) raportoi maan eloperäisen aineksen määrän vähentyneen MTT:n pelloilla noin neljänneksellä reilun 30 vuoden aikana. Syynä tähän nähtiin sekä kyntösyvyyyden kasvaminen että hajotuksen tai huuhtoutumisen lisääntyminen. Suomalaisen peltomaiden maaperäeliöstön koostumusta on tutkittu suhteellisen vähän. Lieroista on eniten tutkimuksia ja tiedetään, että kyntäminen on vähentänyt kastelierojen määrää (Haukka 1988, Pitkänen & Nuutinen 1998) ja että joidenkin kasvitautien ja hyönteisten torjunta-aineiden toistuva käyttö saattaa hävittää lierit kokonaan (Kukkonen & Vesalo 2000). Haitallisten aineiden merkityksestä maan laadulle voidaan esittää karkeita arvioita MTT:n tekemien tutkimusten perusteella. Mäkelä-Kurton ym. (2002) mukaan suomalaisten peltojen raskasmetallipitoisuudet ovat kansainvälisesti ottaen verrattain pieniä, joten elintarvikkeiden tuotantoympäristö on turvallinen. Toisaalta turvallisten pitoisuuksien rajoja ei maatalousmaalle ole määriteltä sen paremmin raskasmetallien kuin torjunta-aineidenkaan suhteen. Torjunta-aineiden muodostama huuhtoutumisriski vaihtelee suuresti aineittain sekä säästä, maalajista ja maan eloperäisen aineen pitoisuudesta johtuen (Laitinen ym. 1997). Huuhtoutumiskenttätutkimusten perusteella näyttäisi siltä, että lähinnä syksyn torjunta-aineruiskutukset voivat aiheuttaa huomattavia päästöjä pintavesiin (Laitinen ym. 1997).

Suomalaisten peltojen maan laatua uhkaavat eniten siis eloperäisen aineksen väheneminen ja tiivistyminen. Etenkin Etelä-Suomessa peltojen eloperäisen aineksen määrä on vähentynyt johtuen nurmen korvaamisesta yksivuotisilla kasveilla sekä viljelykierron yksipuolistumisesta (viljamonokulttuuri, kotieläintalouden ja viljanviljelyn alueellinen erottuminen). Tämä vaikuttaa myös maan rakenteeseen, jota uhkaavat lisäksi koneiden aiheuttama tiivistyminen ja voimakas maan mekaaninen muokkaus. Toisaalta päinvastaista kehitystäkin on havaittavissa: muokkauksen haittoja torjuu suorakylvön lisääntyminen ja eloperäisen aineksen häviötä viljelykierto.

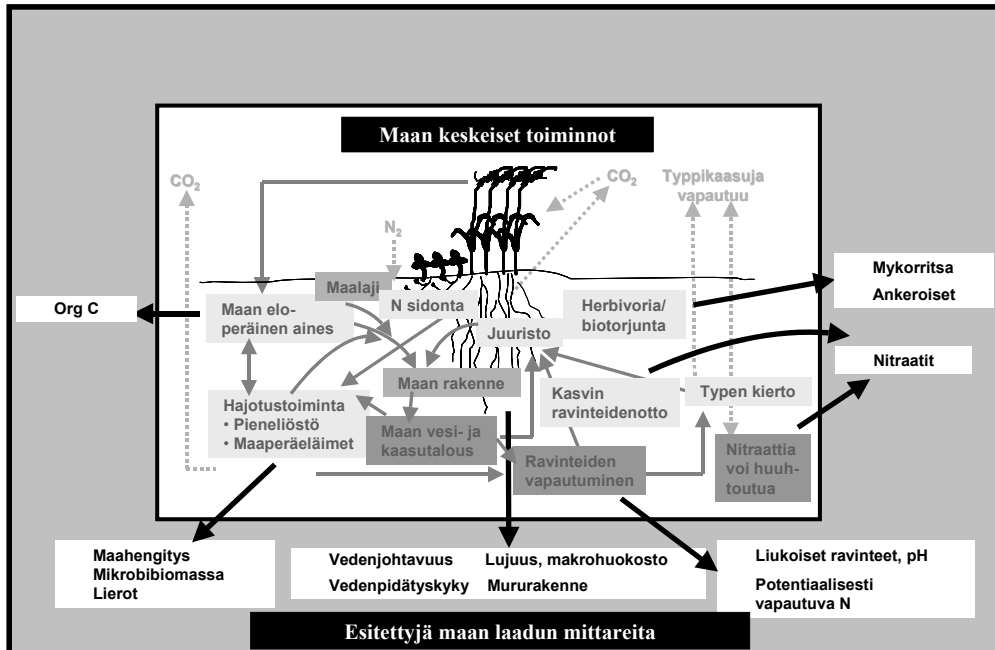
Tällä hetkellä yli 40% viljelyalasta on vuokraamaa, mikä muodostaa oman uhkansa maan laadulle, jos sitä ylläpitävät perustoimenpiteet (kalkitus ja ojitus) laiminlyödään (Myyrä ym. 2003).

1.4 Maan laadun mittarit

Maan laadun mittari on periaatteessa sellainen mitattavissa oleva maan ominaisuus tai toiminto, joka kertoo maan toiminnan kannalta oleellisesta tekijästä. Kuvaan 1 on koottu yleisimmin esitettyjä mittareita ja niiden liittymistä keskeisiin maan ominaisuuksiin ja toimintoihin. Doran ja Safley (1997) ovat esittäneet viisi kriteeriä, jotka maan laadun mittarin tulisi täyttää (Laatikko 2). Ensimmäinen edellytys on, että mittari korreloi riittävästi ekosysteemin toimintojen kanssa. Toisin sanoen sen tulee kertoa peltoekosysteemin toiminnalle oleellisesta ominaisuudesta, kuten viljelykasvin tuottavuudesta, kyvystä suojella ekosysteemiä pilaantumiselta tai pitää yllä monimuotoisuutta (Doran & Safley 1997). Mittareille on yleensä ominaista myös se, että niiden perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä maan ominaisuuksista tai toiminnoista, joita on vaikea suoraan mitata. Toivottavaa lisäksi olisi, että mittari pystyisi kertomaan yhtä aikaa fysikaalisista, kemiallisista ja biologisista tekijöistä. Mittarin tulisi reagoida maan käytössä ja ilmastossa tapahtuviin muutoksiin. Peltomaan laadun mittarissa tulisi siis havaita muutos, kun viljelymenetelmää muutetaan maan laatua parantavaan tai heikentävään suuntaan. Mittari ei kuitenkaan saa olla liian herkkä reagoimaan lyhytaikaisiin muutoksiin kuten säätilaan.

Laatikko 2. Maan laadun mittarin tulisi täyttää seuraavat viisi vaatimusta (Doran & Safley 1997)

- I liittyä kiinteästi ekosysteemin toimintoihin
- II kertoa sekä maan fysikaalisista, kemiallisista että biologisista ominaisuuksista ja toiminnoista sekä auttaa arvioimaan vaikeammin mitattavia ominaisuuksia
- III soveltua pelto-olosuhteissa käytettäväksi ja olla sekä asiantuntijoiden että viljelijöiden tulkittavissa
- IV olla tarpeeksi herkkiä viljelymenetelmien ja ilmaston aiheuttamille muutoksille, muttei liian herkkiä lyhytaikaisille muutoksille säässä
- V jos mahdollista, niin kuulua jo olemassa oleviin maan laadun tietokantoihin



Kuva 1. Maan keskeiset ominaisuudet ja toiminnot sekä esimerkkejä niitä kuvaavista mittareista (Wardle ym. 1999 ja Palojärvi 2002 mukailen).

Kansainvälisesti katsoen maan laadun mittaamiseen tähtäävä tutkimus on ollut vilkasta viimeisen reilun kymmenen vuoden aikana. Tutkimustarkoitukseen soveltuvia menetelmiä (mittareita) maan rakenteen ja toimintojen mittaamiseksi on jo olemassa aika laajalti. Maan laadun mittaaminen tutkimuksessa käytettävällä tarkkuudella on usein aikaa vievää ja vaatii ainakin osaksi laboratorioissa suoritettavia analyysejä. Doran ja Safley (1997) pitävät kuitenkin tärkeänä, että maan laadun mittaus olisi toteutettavissa myös pelto-olosuhteissa ja näin mittarit olisivat sekä asiantuntijoiden että viljelijöiden käytettävissä. Viljelijäkäyttöön sovellettavien testien tulisi antaa nopeasti luotettavia tuloksia, jotka on helppo tulkinta (Sarrantonio ym. 1996, Herrick ym. 2002). Jotkin tutkimuksen käyttämät mittarit täyttävät tämän vaatimuksen. Peltolierojen määrä voidaan arvioida erottelemalla lierot käsin maanäytteestä pellolla. Myös maan vedenjohtavuutta mitataan yleensä maahan upotettavan renkaan sisään kaadetun veden vajenemisnopeutena. Tällaiset menetelmät on helppo soveltaa myös viljelijäkäyttöiseksi tarkoitettuun testisarjaan. Myös monimutkaisempien menetelmien soveltaminen tilakäyttöisiksi eli ns. pikamääritysmenetelmien kehittäminen on usein mahdollista, mutta vaatii tutkimuspanosta ja innovaatioita.

Tilakäyttöön sopivien mittareiden valinta voidaan perustaa osaksi jo olemassa olevaan tutkimustietoon, mutta joskus joudutaan tarkoitukseen

sopivien mittarien tunnistamiseksi tekemään uusia tutkimuksia (Herrick ym. 2002). Toivottavaa mittareilta olisi, että ne sisältyisivät jo olemassa oleviin tietokantoihin (Doran & Safley 1997). Käytännössä tämä tarkoittaa tilastekokonaisuuksia laadittaessa pitäytymistä mahdollisimman pitkälle jo käytössä olevissa, tunnetuissa, mittareissa. Näin mm. tulosten vaihtelusta ja siihen vaikuttavista tekijöistä on kokemusta, mikä mahdollistaa tulosten tarkemman tulkinnan. Vain kokemuksen ja tutkimuksen kautta voidaan mittareille antaa ns. ohje- ja raja-arvoja. Näiden avulla tulos voidaan tulkita osoitukseksi hyvästä, keskinkertaisesta tai huonosta maan laadusta ja eri pelloja voidaan verrata toisiinsa. Tosin ilman ohje- ja raja-arvoja mittareita voidaan käyttää maan laadussa tapahtuvien muutosten seuraamiseen, mutta tällöin yleensä johtopäätöksiä voidaan tehdä vain peltolohko- tai tilakohtaisesti. Sarrantonio ym. (1996) katsovat, että tilalla käytettävien mittarien tulisi mitata vain sellaisia ominaisuuksia, jotka viljelijä helposti mieltää kuvaavan maan laatua.

Laatikko 3. Esitys maan laadun arvioinnissa tarvittavaksi minimitestisarjaksi (Doran & Parkin 1994):		
<i>Fysikaaliset mittarit:</i>	<i>Kemialliset mittarit:</i>	<i>Biologiset mittarit:</i>
<ul style="list-style-type: none"> • maalaji • pintamaan ja kasvien juuriston syvyys • vedenjohtavuus • irtotiheys • vedenpidätyskyky 	<ul style="list-style-type: none"> • eloperäinen aines • pH • johtokyky • liukoinen N, P ja K 	<ul style="list-style-type: none"> • mikrobibiomassa C ja N • potentiaalisesti mineralisoituva N • maahengitys

Mikään yksittäinen mittari ei voi riittävän kattavasti kuvata maan laatua (Elliott 1997). Tutkimus onkin pyrkinyt etsimään riittävää mittarisarjaa tai -kokoelmaa, jonka toteuttamalla voidaan maan laadun katsoa tulleen kattavasti arvioituksi. On esitetty erilaisia listauksia minimitestisarjoista (minimum data set, Larson & Pierce 1991, Doran & Parkin 1994). Doran ja Parkin (1994) esittävät yhteensä 11 maan fysikaalista, kemiallista ja biologista mittaria, jotka toimisivat tällaisena perustestisarjana (Laatikko 3). Perustestisarja soveltuu maan laadun arvioinnin perustaksi, mutta usein tarvitaan tapauskohtaisesti valittavia täydentäviä mittareita (Doran & Parkin 1994). Testisarjaa ei olekaan sovellettu missään sellaisenaan tilakäyttöön. Mittarisarjan täydentäminen voi olla tarpeen paikallisten olosuhteiden tai tavoitteiden vuoksi (Doran & Parkin 1994, Herrick ym. 2002). Palojärvi ja

Nuutinen (2002) ovat esitelleet maan laadun käsitettä sekä maan laadun mittaamista kansainvälisellä ja kansallisella tasolla.

1.5 Taustaa maan laadun arvioinnista tiloilla

Viljavuustutkimus muodostaa tärkeän perustan maatalousmaan laadun testauksessa. Myös suomalaisten viljelijöiden on jo yli 50 vuotta ollut mahdollista seurata peltonsa viljavuutta kaupallisissa laboratorioissa teetettävien ravinneanalyysien (ks. Uusitalo & Salo 2002). Peltojen säännöllinen ravinnetilan seuranta onkin meillä vakiintunut käytäntö ja nykyään myös pakollinen ympäristötukiehtojen vuoksi. Tulkintaa on vuosien varrella kehitetty palvelemaan yhä paremmin niin kasvinviljelyä kuin ympäristönhoitoakin. Viljavuustutkimus ei kuitenkaan kerro maan laadusta koko totuutta (Esala 2002) eikä tuloksiakaan aina hyödynnetä kovin tehokkaasti (Salonen 2002).

Sittemmin on tunnistettu maan rakenteellisten ongelmien olevan yleisiä pitkään viljelyssä olleilla pelloilla. Tämän vuoksi on kehitetty maan fysikaalisia ominaisuuksia mittaavia testisarjoja. Tällaisia paikallisiin viljelyoloihin sopeutettuja testisarjoja on kehitetty mm. Australiassa (mm. Daniells ym. 1994, McKenzie 1998a), Uudessa Seelannissa (Shepherd 2000) ja Ruotsissa (Berglund ym. 2002). Maan biologiset tekijät ovat vähiten tunnettuja, mutta niitä on jonkin verran hyödynnetty myös rakennetestien tukena. Varsinaisia maan laadun testejä, joissa tasapuolisesti tarkastellaan kaikkia maan laadun osatekijöitä (kemialliset, fysikaaliset ja biologiset), on kehitetty muutamia vasta viime vuosina. Tällaisia testisarjoja ovat USA:ssa 1990-luvulla viljelijöiden ja asiantuntijoiden käyttöön kehitetty Soil Quality Test Kit (USDA 1999b) ja Wisconsinin maan laadun arviointikortti. Myös Uudessa Seelannissa on hiljattain kehitetty maan laadun hallintaan tarkoitettu testi- ja tietopaketti Soil Quality Management System (Beare ym. 2001).

Kuten Esala (2002) viljavuustutkimuksen 50-vuotisjuhlaseminaarissa mainitsi, suomalaisesta viljavuustutkimuksesta puuttuu edelleen mm. maan rakenteen ja biologisten toimintojen mittarit. Kattava maan laadun arviointi vaatisi myös näiden tekijöiden huomioon ottamisen, sillä ne kertovat maan kyvystä toimia kasvintuotannon ja ympäristönsuojelun parhaaksi. Askel eteenpäin on ollut lapiodiagnoosin tuominen viljelijöiden työkaluksi maan rakenteessa esiintyvien ongelmien havaitsemiseksi (esim. Rajala 1991, Rajala 2002). ProAgria on pyrkinyt edistämään menetelmän käyttöä tiloilla viime vuosina. Myös Satafood ja Saarioinen ovat kehittäneet YMVI-hankkeessa viljelijöille soveltuvaa kyselylomaketta maan laadun kartoittamiseksi. Suomen Rehu puolestaan on kehittänyt maan rakenteen arviointiin liittyviä mittausmenetelmiä tilakäyttöön soveltuvaksi työkaluksi Iso vilja – hankkeessa. Kiinnostusta maan laadun arviointiin siis on, mutta yhtenäinen ohjeistus arvioinnista edelleen puuttuu Suomesta.

1.6 Katsauksen tavoitteet

Tämän kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on esitellä millaisia ratkaisuja tiloilla tapahtuvaan maan laadun tai sadontuottokyvyn arviointiin on kehitetty eri puolilla maailmaa. Julkaisussa keskitytään ns. testisarjoihin, jotka on kehitetty lähinnä neuvojien tai viljelijöiden välineeksi, tutkimuksen käyttämiin mittausmenetelmiin viitataan vain tarvittaessa. Esiteltäviksi testisarjoiksi on valittu sellaisia, joista on julkisesti saatavilla olevaa tietoa. Tietoa on haettu käyttäen apuna tutkimustietokantoja, internetiä ja tutkijoiden välistä tiedonvaihtoa, kuten kokousjulkaisuja ja henkilökohtaisia kontakteja. Valikoima ei käsitä kaikkia käytössä olevia maan laadun tilastetikokonaisuuksia, mutta toimii kattavana esimerkkinä erilaisista ratkaisutavoista. Katsauksessa esitettävää tietoa voidaan hyödyntää mm. kehittäessä kotimaista maan laadun testisarjaa tiloille. Sitä voidaan käyttää myös materiaalina maaperäasioiden opetuksessa ja koulutuksessa, sillä suomenkielistä kirjallisuutta aiheesta on hyvin vähän saatavilla.

Tavoitteena on luoda yleiskatsaus testisarjojen kehittämiseen ja sisältöön. Lisäksi käsitellään mitä maan arviointiin vaikuttavia seikkoja testisarjoissa otetaan huomioon ja millaisia mittareita niissä käytetään. Tavoitteena on myös vertailla kuinka testitulosten esittäminen ja tulkinta on eri tapauksissa ratkaistu. Testisarjoja pyritään myös arvioimaan sen perusteella kuinka luotettavia ja käyttökelpoisia ne ovat maan laadun arvioinnin välineinä.

2 Esimerkkejä testisarjoista

Tässä esiteltävät testisarjat on tarkoitettu lähinnä pelto- ja puutarhaviljelyssä olevan kivennäismaan arviointiin. Niiden avulla viljelijä voi itse tai asiantuntijan (kuten neuvojan) avustuksella arvioida peltojensa kuntoa. Kun testisarjoja vertaillaan, on syytä kuitenkin huomata, että niiden tavoitteet eroavat toisistaan (Taulukko 1). Tämä johtuu pitkälti peltomaan seurannan historiasta (ks. kappale 1.5).

2.1 Maan ravinnetilan mittaaminen (viljavuustutkimus)

Viljelymaan seuranta on maailmanlaajuisesti pitkään perustunut ravinnetilan ja joidenkin haitallisten aineiden seurantaan. Useimmissa maissa on vakiintunut käytäntö, että viljelijä seuraa peltojensa ravinnetilaa lähettämällä maanäytteitä analyysilaboratorioon. Tilatesteillä voidaankin tarkoittaa paitsi sellaisia testejä, jotka toteutetaan sananmukaisesti tilalla, mutta myös sellaisia jotka viljelijä voi tarvittaessa teettää palvelun tarjoajalla.

Ravinnemääritysten tarkoituksena on selvittää lähinnä kalkituksen ja lannoituksen tarve, mutta myös eloperäisten maanparannusaineiden tarvetta voidaan sen avulla arvioida. Laboratorioiden analyysimenetelmät perustuvat usein standardoituihin määrittäisiin ja antavat tarkan kuvan kasveille käyttökelpoisten ravinteiden määrästä. Määrittämenetelmät vaihtelevat kuitenkin maittain ja laboratorioittain. Näin ollen ulkomaisissa laboratorioissa tehtyjä analyysejä ei voida suoraan verrata suomalaisiin viljavuustutkimustuloksiin, sillä eri uuttoliuoksia käytettäessä ravinteista liukenee eri osuus. Viime aikoina on kehitetty myös pikatestimenetelmiä, joiden avulla viljelijä voi itse määrittää tärkeimpiä maan kemiallisia ominaisuuksia.

Viljavuustutkimus Suomessa

Viljavuustutkimus on ollut tarjolla viljelijöille jo yli 50 vuoden ajan (Mäntylähti 2002). Analyysipalvelu otettiin laajasti käyttöön vuonna 1949, jolloin neuvontajärjestö keräsi tarvittavat maanäytteet ja silloinen Maatalouskoelaitos (nyk. MTT) vastasi analyysien teosta (Kurki 1963). Vuonna 1952 perustettiin Viljavuuspalvelu Oy, jolle määrittäysten tekeminen siirtyi (Kurki 1963). Vuosikymmenten ajan viljelijät seurasivat maan ravinnetilaa tarpeen mukaan. Viljavuustutkimusten määrä peltohehtaaria kohti vuodessa pysyi suhteellisen vakiona (0,04) aina EU:iin liittymiseen saakka (Mäntylähti 2002). Viljavuustutkimuksen teettäminen on ollut vuodesta 1995 lähtien ympäristötukiehtoihin sidottua pakollista toimintaa. Ympäristötukiehtoihin ovat sitoutuneet lähes kaikki viljelijät, mikä tarkoittaa, että kunkin pellon (peltolohkon/lohkoryppään) ravinnetilaa seurataan vähintään viiden vuoden välein. Sinänsä näytteenottotiheys oli ympäristötukiehtojen tasolla jo ennen niihin sitoutumista, mutta ainakin

Taulukko 1. Esimerkkejä tilalla tapahtuvaa maan laadun arviointia varten kehitetyistä testisarjoista.

Käyttötarkoitus	Testisarjan nimi (lyhenne)	Maa	Viite	Pellolla tehtäviä havaintoja /mittauksia?	Mittareiden luonne
Kemiallisen laadun arviointi	Viljavuustutkimus	Suomi	www.viljavuuspalvelu.fi ym.	Ei lainkaan	Määrällinen
Pääasiassa maan rakenteen arviointi	Lapiodiagnoosi	Saksa/Suomi	Preuschen 1992, Rajala 2002	Kyllä, kaikki	Laadullinen
	Visual Soil Assessment (VSA)	Uusi Seelanti	Shepherd 2000 www.landcareresearch. co.nz/research/rurallandus e/soilquality/vsa_home.as p	Kyllä, kaikki	Laadullinen
	SOILpak for Cotton growers (SOILpak)	Australia	McKenzie 1998 www.agric.nsw.gov.au /reader/soil-pak	Kyllä, osittain	Laadullinen ja määrällinen
	Marksstrukturindex (MSI)	Ruotsi	Berglund ym. 2002 www.mv.slu.se/MSI	Kyllä, osittain	Laadullinen
Maan laadun yleisarviointi	Wisconsin Soil Health Scorecard	USA	Romig ym. 1996 soils.usda.gov/sqi /soil_quality/assessment/ cardguide.html	Kyllä, lähes kaikki	Laadullinen
	Soil Quality Test Kit (SQTk)	USA	USDA 1999b soils.usda.gov/sqi/ soil_quality/assessment/ki t2.html	Kyllä, kaikki	Määrällinen
	Soil Quality Management System (SQMS)	Uusi Seelanti	Beare ym. 2001 www.crop.cri.nz/psp/sqms /what.htm	Kyllä, osittain	Laadullinen ja määrällinen

alkuvaiheessa näytemäärät ovat lisääntyneet kattaen 0,07 näytettä peltohehtaaria kohti vuodessa (Mäntylähti 2002).

Viljavuustutkimusta varten otetaan maanäyte muokkauskerroksen syvyydestä joko kairalla tai muulla tarkoitukseen sopivalla välineellä (www.viljavuuspalvelu.fi). Näyte lähetetään viljavuustutkimuksia tarjoavaan analyysilaboratorioon, joita on Suomessa tällä hetkellä Viljavuuspalvelun lisäksi neljä. Analyysitulosten luotettavuutta seurataan laboratorioissa sertifioiduilla laatujärjestelmillä, joita on käytössä ainakin kolmessa yrityksessä (Mustonen 2004). Lisäksi laboratorioiden välistä vertailua

tehdään silloin tällöin. Viimeisin vertailu löytyy Käytännön maamiehen numerosta 1/2004.

Viljavuuden perustutkimus sisältää nykyisin maalajin ja multavuuden aistinvaraisen arvioinnin, maan pH:n ja johtoluvun mittaamisen vesilietoksesta sekä pääravinteiden määrittämisen happaman ammoniumasetaattiuuton jälkeen (Viljavuuspalvelu 1997). Multavuus kuvaa maan eloperäisen aineksen määrää karkeasti luokitellen. Perustutkimuksessa ei ole mukana maan liukoisen typen määrittystä, mutta sen voi useimmissa laboratorioissa teettää laajempien analyysipakettien osana tai erillisenä analyysinä. Pellolla vallitsevaa tilannetta edustavien näytteiden saaminen laboratorioon on kuitenkin hieman ongelmallista: pakastetut näytteet sulavat helposti postin kautta lähetettäessä. Hivenravinteiden seuranta suositellaan tehtäväksi joka kolmannesta näytteestä (www.viljavuuspalvelu.fi), mikä tarkoittaa käytännössä yleensä 15 vuoden välein. Uutena palveluna tarjotaan viljelijöille myös puhtaanmaan analyysiä, jossa selvitetään pellon raskasmetallipitoisuudet (kadmium, kromi, elohopea ja lyijy).

Koska maan ammonium- ja nitraattipitoisuus muuttuu nopeasti kasvukauden aikana, on typpitilan seurantaan kehitetty erillinen tilalla tapahtuva pikamääritys. Pikamääritykseen tarvittavat ohjeet ja välineistö sisältyy Kemiran valmistamaan typpilaukkuun (ks. www.kemira.com). Maan liukoisen typen pitoisuuden seuranta on pidetty hyödyllisenä etenkin avomaan vihannesten typpilannoitustarpeen määrittelyssä. Erityisen tarpeellinen määrittäminen on, jos kasvukausi on sateinen, jolloin typpeä voidaan olettaa huuhtoutuneen (Salo 1998). Puutarhatiloilla liukoisen typen seurantaan kannustavat myös ympäristötukiehdot. Mm. vihanneksia ja siemenmausteita viljeltäville lohkoille voi saada lisätukea sitoutumalla lisätoimenpiteenä typpilannoituksen tarkentamiseen. Typpilaukkuun on saatavana myös pH:n ja johtokyvyn pikamääritykseen tarvittava välineistö.

2.2 Maan rakennetta kuvaavat testisarjat

2.2.1 Lapiodiagnoosi

Käyttötarkoitus. Lapiodiagnoosin avulla on tarkoitus arvioida viljelymenetelmien aiheuttamia muutoksia maan rakenteessa ja sen pysyvyydessä. Rajala (2002) näkee menetelmän käyttökelpoisena, kun arvioidaan syitä maan vesitaloudessa tai muissa toiminnoissa esiintyviin ongelmiin. Havaintojen perusteella voidaan valita viljelytekniisiä toimenpiteitä tilanteen parantamiseksi (Rajala 2002). Beste (2002) esittää, että laajennettu lapiodiagnoosi voitaisiin ymmärtää yleisemmin maan toiminnan mittariksi. Myös Preuschen (1992) näkee menetelmän kuvaavan maan viljavuutta kokonaisuudessaan. Käytännössä siis liikutaan lähellä maan laadun määritelmää, kun mittareina käytetään myös maan biologisia ominaisuuksia. Lapiodiagnoosi on tässä kuitenkin luokiteltu maan rakenteen arviointimenetelmäksi, sillä se ei sisällä esim. maan ravinteisuuden

mittaamista. Preuschen (1992) perustelee tätä sillä, että viljelymaan ravinnetilaa on osattu seurata ja hoitaa jo vuosikymmeniä, mutta rakenteessa esiintyviin ongelmiin ei ole ollut välineitä.

Lapiodiagnoosi on varsin yleisluontoinen havainnointitapa, minkä vuoksi sitä on voitu soveltaa Suomen oloihinkin lähes muuttumattomana (Rajala 1991, Harmanen 1992, Kuokkanen 1994, Rajala 2002). Osa lapiodiagnoosin havainnoista (lähinnä mururakenteen kehittyneisyys ja kestävyys) on kuitenkin riippuvaisia maalajista ja Rajala (2002) esittääkin lapiodiagnoosin tulkinnan savi-, hiesu- ja hietamaiden osalta. Menetelmää voidaan Rajalan (2002) mukaan kuitenkin käyttää soveltuvilta osin myös karkeammilla ja toisaalta eloperäisillä mailla.

Historiaa. Lapiodiagnoosin kehitti Johannes Görbig Saksassa jo 1930-luvulla maan viljavuuden arvioimiseksi (Beste 1999). Preuschenin (1992) mukaan menetelmä kuitenkin unohtui, kun kemiallis-tekniset viljelymenetelmät tulivat käyttöön. Preuschen teki lapiodiagnoosia Saksassa tunnetuksi 1970-luvulta lähtien (Rajala 2001). Preuschen (1990) julkaisi menetelmän kuvauksen saksan kielellä ja opas on myöhemmin käännetty myös suomeksi (Preuschen 1992). Menetelmää on 1990-luvulla kehitetty ja tarkennettu myös tieteelliseen tutkimukseen paremmin sopivaksi (mm. Beste 1999, Beste ym. 2001). Tarkennettua menetelmää kutsutaan laajennetuksi lapiodiagnoosiksi (Extended Spade Diagnosis, Beste 1999). Menetelmästä on kirjoitettu useita kuvauksia myös kotimaisissa julkaisuissa (Rajala 1991, Harmanen 1992, Kuokkanen 1994). Kuvaus löytyy myös Maan rakenteen hoito -oppaasta (Rajala 2002).

Mittarit ja välineistö. Preuschenin (1992) kuvaama lapiodiagnoosi perustuu ehjästä maapaakusta tehtäviin aistinvaraisiin havaintoihin maan rakenteesta sekä kasvien juuristosta ja eliötoiminnasta. Havainnot ovat pääasiassa kuvailevia ja suhteellisia, minkä vuoksi menetelmän käyttö vaatii yleensä harjaantumista. Havainnointiin tarvittavat välineet ovat hyvin yksinkertaisia, käytännössä kaksi eri tyyppistä lapiota riittää maapaakun kaivamiseksi. Tässä lapiodiagnoosin alkuperäisessä kuvauksessa havainnoidaan maapaakusta i) karkearakennetta ii) hienorakennetta sekä iii) juuristoa ja maaperäeläimiä. Karkearakenteen kuvaamiseen kuuluu vallitsevan maalajin (hiekkä, hiesu, savi, kivisyys) määrittäminen sekä kerrostuneisuuden kuvaus (Preuschen 1992). Hienorakenne puolestaan käsittää käytännössä muru- ja huokosrakenteen aistinvaraisen tarkastelun. Lisäksi maan tiiviyyttä eri kerroksissa havainnoidaan karkeasti sen mukaan kuinka hyvin lapio työntyy maahan eri syvyyksissä sekä maapaakun hajoamisesta pudotustestissä. Tiiviyyttä voidaan havainnoida myös suoraan kuopan seinämästä ja arvioida epäsuorasti kasvinjätteiden hajoamisastetta yms. happea ja kosteutta vaativaa toimintaa havainnoimalla.

Lapiodiagnoosin alkuperäisen version mittarit eivät ole tarkasti rajattuja eikä havainnoille ole annettu valmiita luokituksia. Preuschen (1992) oppaassa kuvailtaan millainen hienorakenne, juuristo ym. hyvälaatuisessa ja toisaalta

huonorakenteisessa maassa on. Testin tuloksena kirjattu pöytäkirja on hyvin vapaamuotoinen ja havaintojen tarkkuus riippuu pitkälti testaajan kyvyistä. Laajennettuun versioon lapiodiagnoosista on lisätty tarkempia testejä kuvaamaan murujen kestävyyttä sekä maan kosteutta ja tiiviyyttä (Beste 1999). Lisäksi maapaakusta tehtäviä aistinvaraisia havaintoja on täsmennetty määrittämällä havainnoille luokat ja pisteyttämällä ne (Beste 1999). Maan leikkauslujuutta mitataan siipikairalla. Neljästä eri kerroksesta maaprofiilissa irrotetaan tai kairataan maanäytteitä testejä varten. Murujen kestävyyttä testataan yksinkertaisella vedenkestävyystestillä ja maan irtotiheyden avulla määritetään huokostilavuus ja kosteus.

Menetelmän työläys. Aistinvarainen maan rakenteen arviointi on suhteellisen nopea toteuttaa, etenkin kun kokemusta menetelmän käytöstä kertyy. Lapiodiagnoosin alkuperäinen versio ei juuri vaadi välineistöä, joten valmiudet sen toteuttamiseen löytyy helposti myös viljelijältä. Laajennettu versio vaatii yksinkertaisen välineistön kokoamista ja hieman enemmän aikaa, mutta myös sitä voidaan pitää viljelijäkäyttöön sopivana (Beste 1999). Arvioinnin toteutus on ilmeisen käyttökelpoinen ja useimmat seuraavaksi esiteltävistä testisarjoistakin ovat päättyneet, ilmeisesti toisistaan riippumatta, käyttämään samankaltaista ”kuoppatestiä” osana testisarjaa.

2.2.2 Visual soil assessment (VSA)

Käyttötarkoitus. Uuden Seelannin Landcare Research –tutkimuskeskuksen laatima ”Visual Soil Assessment” (Visuaalinen maan arviointi) –testisarja neuvoo yksinkertaisen tavan arvioida pelto- ja laidunmaan rakennetta. Testin kehittäjät, Shepherd ja Park (2003) perustelevat testin keskittymistä maan rakenteeseen mm. havainnoinnin helppoudella sekä tärkeydellä tilan tuottavuuden kannalta. Maan rakenteen heikkeneminen näkyy suoraan viljelyn kustannuksissa ja syntyneitä vaurioita on hidas korjata (Graham Shepherd, suull. tiedonanto).

VSA on pääasiassa maan rakenteen arviointiin tarkoitettu yleistesti, joka sopii kaikille maalajeille (Shepherd & Park 2003). Erilliset opastukset on kuitenkin laadittu pelto- ja laidunmaalle (Shepherd 2000) sekä metsätalouskäytössä olevalle ylämaalle (Shepherd & Janssen 2000). Testipakettiin sisältyy lisäksi opas (Shepherd ym. 2000), jossa annetaan ohjeita maan laadun ylläpitämiseksi ja parantamiseksi.

Historiaa. Menetelmän taustalla on paljon työtä, mutta siitä ei löydy paljoakaan julkaistua tietoa. Ilmeisesti kehitystyötä on tarvittu paitsi testimenetelmien kehittämisessä, myös tulosten laskennassa käytettävän indeksin määrittelyssä ja indeksiarvon tulkinnassa. Myös arvioinnin luotettavuutta on testattu käyttäjillä ja todettu menetelmä käyttövarmaksi (Shepherd & Park 2003). Työtä on myös tehty arvioinnin tuloksen liittämässä pellon satotasoon ja sitä kautta tilan taloudelliseen tuottavuuteen (Shepherd & Park 2003).

Mittarit ja välineistö. Testin sisältämät mittarit arvioivat maan rakennetta eli fysikaalisia ominaisuuksia aistinvaraisesti. Lisäksi kasvi-indikaattoreita käytetään täydentämään maasta tehtyjä havaintoja linkittäen ne kasvien kasvuun, tilan tuottavuuteen ja viljelytoimenpiteisiin. Maan kunnan mittarit ovat luokittelevia havaintoja ruokamultakerroksen syvyydeltä kaivetusta 20 cm leveästä maapaakusta (Shepherd 2000). Välineiksi riittää maapaakun kaivamiseen tarvittava lapio ja vati sekä vadin pohjalle asetettava jäykkä levy ja muovipussi. Maapaakku pudotetaan muutaman kerran rinnan korkeudelta vatiin ja arvioidaan paakusta irronneiden murujen ulkonäköä. Kukin ominaisuuden luokittelu tapahtuu vertaamalla mururakennetta oppaan havainnollisiin kuviin. Arviointi tapahtuu 3-portaisella asteikolla, mutta myös luokkien välejä voidaan tarvittaessa hyödyntää. Kasvimittarit käsittävät havaintoja viljelykasvin taimettumisesta, verson pituudesta, juuriston laajuudesta ja juuristotaudeista sekä sadosta (Shepherd 2000). Laitumilla puolestaan hyödynnetään havaintoja mm. nurmen kasvilajikoostumuksesta sekä laidunnuksen ja kuivuuden kestävydestä. Maa- ja kasvustohavainnot vedetään yhteen omiksi indekseikseen ja näitä kahta verrataan toisiinsa. Vertailun avulla voidaan päätellä onko pellon tuottavuus maan laadun mukaisella tasolla. Hyvä kasvusto huonolaatuiseksi todetussa pellossa voi kertoa, että heikkoa maan laatua on pyritty kompensoimaan runsaalla lannoituksella. Päinvastaisen tilanteen VSA puolestaan tulkitsee osoitukseksi siitä, että maan kasvupotentiaalia ei ole pystytty täysin hyödyntämään (Shepherd & Park 2003). Arvioinnin tuloksena saatavalle maan kunnan indekseille on määritelty raja-arvot, joiden avulla voidaan tulkita tulos osoitukseksi hyvästä, keskinkertaisesta tai heikosta maan kunnosta.

Menetelmän työläys. VSA on kehitetty maan arviointimenetelmäksi silmällä pitäen nopeutta, helppokäyttöisyyttä ja edullisuutta (Shepherd & Park 2003). Menetelmän kehittäjä ilmoittaa, että maasta tehtävät havainnot vievät yhdessä näytepisteessä noin varttitunnin verran ja kasvien havainnointi 5-10 min. Koska vähintään kolme rinnakkaista näytepistettä olisi hyvä havainnoida peltolohkolta, yhteensä aikaa kuluu tunnin verran. Menetelmä on siis työläydeltään verrattavissa lähinnä lapiodiagnoosiin.

Oheispalvelut. Menetelmän käyttökynnys on pyritty tekemään mahdollisimman matalaksi arvioinnin helppouden avulla sekä tarjoamalla käyttäjille havainnollista koulutusta (www.horizons.govt.nz/images/Visual%20Soil%20Assessment.pdf).

2.2.3 SOILpak

Käyttötarkoitus. SOILpak on australialaisille viljelijöille suunnattu tietopaketti lähinnä maan rakenteen arvioinnista ja hoidosta. Arvioinnin tavoitteeksi ilmoitetaan ”maan tilan määrittäminen” (diagnosis of soil/soil condition). SOILpakista on tehty kuusi eri viljelyvyöhykkeelle suunnattua versiota, jotka ovat vapaasti saatavana internetistä (www.agric.nsw.gov.au/reader/soil-pak). Opasta voidaan käyttää paitsi ohjeistuksena maan rakenteen ongelmien kartoittamisessa myös hakuteoksena yleisimmissä ongelmatilanteissa. SOILpak koostuu viidestä osasta, joista yksi opastaa kuinka maan kuntoa arvioidaan. Viljelijälle annetaan myös ratkaisuehdotuksia viljelyvyöhykkeelle tyypillisimmissä ongelmatilanteissa, esim. kuinka minimoida koneellisesta sadonkorjuusta aiheutuva koston maan tiivistyminen (McKenzie 1998a). Ilmeisesti juuri viljelyvyöhykkeiden erilaisista ongelmista johtuen eri versioiden julkaiseminen on katsottu tarpeelliseksi. SOILpakeissa annetaan myös runsaasti käytännönläheisiä ohjeita maan rakenteen ylläpitämisestä. Nopean ongelmanratkaisun lisäksi viljelijä voikin perehtyä laajemmin maan hoidon vaihtoehtoihin. Oppaasta löytyy viljelytoimenpidesuosituksia rakenteen kartoituksessa esille tulleiden ongelmien korjaamiseksi, kuten eroosion ja suolaantumisen haittojen vähentämiseksi sekä biologisen toiminnan edistämiseksi.

Historiaa. Australiassa aloitettiin 1980-luvulla kehitystyö, jonka tarkoituksena oli parantaa viljelijöiden ja neuvojen taitoja maan hoidosta (Daniells ym. 1996). Etenkin puuvillan viljelyä uhkasi maan rakenteen heikkeneminen ja tilanteen parantamiseksi katsottiin tarpeelliseksi luoda ohjeistus, jonka avulla viljelijä voi itse arvioida peltojensa maan rakennetta ennen maanparannustoimenpiteisiin ryhtymistä. Havaittiin, että tutkimustieto oli pääasiassa sellaisessa muodossa, että viljelijät eivät sitä pystyneet hyödyntämään. Maan rakennetta koskevien tieteellisten tutkimusten tietoa muokattiin viljelijöille käyttökelpoisempaan muotoon tutkijoiden, agronomien ja viljelijöiden yhteistyönä. Ohjeistuksessa hyödynnettiin pääasiassa tutkimustuloksia NSW Agriculture neuvonta- ja tutkimuskeskuksen koealueelta sekä asiantuntijoiden käytännön kokemusta (Daniells ym. 1996). Puuvillan viljelijöille annettiin 1980-luvun lopussa SOILpakin koeversio käytettäväksi ja vuonna 1991 julkaistiin ensimmäinen yleiseen käyttöön tarkoitettu SOILpak (Daniells & Larsen 1991). Vuonna 1994 käyttäjien keskuudessa tehdyn kyselyn perusteella ohjeistus vaati työstämistä ja jotkin maan hoidolliset toimenpiteet lisättiin oppaaseen (Daniells ym. 1996). Lisäksi testausosiossa käytettävää rakenneluokitusta kehitettiin siinä havaittujen puutteiden vuoksi (McKenzie 2001a). Oppaan uudistamista puolsi myös puuvillan viljelyä koskevan tiedon määrän lisääntyminen ja viljelyn kohtaamat uudet haasteet, kuten mahdollisuudet ympäristösertifiointiin (McKenzie 1998b). Puuvillan viljelijöiden ohjeistusta on kehitetty aina vuoteen 1998 saakka, jolloin ilmestyi kolmas ja viimeisin

versio (McKenzie 1998a, b). Ensimmäisenä puuvillan viljelijöille suunnattua SOILpakiä sovellettiin pohjoiselle viljavähyhykkeelle (Daniells ym. 1994). Koska SOILpak keskittyy lähinnä maan rakenteessa esiintyviin ongelmiin, pellon ravinnetilan hallitsemiseksi kehitettiin myöhemmin oma ohjeistuksensa (NUTRIpak) (Australian cotton CRC 2001). NSW Agriculture on rekisteröinyt SOILpakin tuotemerkikseen.

Mittarit ja välineistö. Maan rakenteen arviointi tapahtuu havainnoimalla maan profiilia ja tekemällä yksinkertaisia rakennetta kuvaavia testejä pellolle kaivettavasta suhteellisen syvästä maakuopasta. Tässä suhteessa SOILpak on lähellä lapiodiagnoosia, joskin tarkastelu ulottuu yleensä syvemmälle maaprofiilissa kuin lapiodiagnoosissa. Havainnointiosuus ei eroa paljoakaan eri viljelyvyhyhykkeille suunnatuissa oppaissa. Havainnointikuopan kaivamisesta on joissakin SOILpakeissa tarkempia ohjeita kuin toisissa, mutta syvyys määräytyy kuitenkin pääasiassa viljelijän mielenkiinnon ja käytettävissä olevan ajan mukaan. Kuopan ohjeelliseksi syvyydeksi annetaan jopa 1,2-1,5 m ja kaivuu suositellaan tehtäväksi koneellisesti (McKenzie 1998a). Näin syvää kuoppaa suositellaan ainakin syväjuurisille kasveille, kuten puuvilla, mutta myös muiden viljelijöiden on hyödyllistä havainnoida myös pohjamaan rakennetta. Kuopan kaivamiseen tarvittavien välineiden lisäksi rakenteen arvioinnissa ei juuri tarvita apuvälineitä.

Joissakin SOILpak –versioissa on esitetty havaintojen priorisointia (Daniells ym. 1994). Ensimmäisessä arvioinnissa kartoitetaan yleensä mahdollisia maan rakenteessa esiintyviä ongelmia, jolloin suositellaan kaikkien testien tekoa (Daniells ym. 1994). Jos taas testaajan mielenkiinnon kohteena on vain selvittää tarvitaanko syväkyntöä, riittää lähinnä maaprofiilin rakenteen aistinvarainen luokitus (Daniells ym. 1994). Muissa versioissa arvioijaa kehoitetaan tekemään päätös tarpeellisista havainnoista arvioinnin tarkoituksen perusteella (McMullen 2000). Viljelijä voi valitsemiensa havaintojen jälkeen arvioida vastasivatko tulokset hänen käsitystään pellon rakenteessa esiintyvistä ongelmista vai ovatko lisätetit aiheellisia (McMullen 2000).

Kuopasta tehtävät havainnot ja maanäytteistä tehtävät testit pyrkivät kuvaamaan pääasiassa maan rakennetta sekä sen pysyvyyttä ja palautumiskykyä (Daniells ym. 1996). Maan tiivistymistä arvioidaan ensin visuaalisin havainnoin. Maan pinnalta etsitään merkkejä tiivistymisestä, kuten traktorin pyörän painaamia tai kuorettumisalueita. Lisäksi arvioidaan viittaavatko viljelykasvin juuriston ja/tai versojen kasvutapa tiivistymisongelmaan. Tämän jälkeen tarkastellaan maan rakennetta pellolle kaivetusta kuopasta.

SOILpakin kehittäjät ovat luoneet oman rakenneluokituksen, joka muodostetaan muruista ja kokkareista tehdyistä 4-8 erilaisesta havainnosta (Daniells & Larsen 1991). Perustietona määritetään maalaji ja maan kosteus. Maan rakennetta havainnoidaan eri syvyyksiltä muruja aistinvaraisesti tarkastelemalla ja arvioidaan rakenteen pysyvyyttä erilaisin itse tehtävin

testein ja laboratoriossa teetetävin analyysin. Rakenteen kestävyuden arvioinnissa tärkeässä osassa ovat murujen vedenkestävyys- ja liettymistestit sekä kationien avulla määritettävät stabiilisuutta kuvaavat indeksit. Lisäksi opastetaan tarvittaessa lähettämään maanäytteitä pH:n ja ravinteiden määrittämiseksi. Puuvillan viljelijöiden oppaassa on myös runsaasti täydentäviä testejä, joita viljelijä voi kiinnostuksensa ja tarpeensa mukaan tehdä tai teettää laboratorioissa. Oppaassa ei ole ohjeistusta näiden lisätestien tekemiseen, vaan viljelijä joutuu konsultoimaan asiantuntijoita, jos haluaa testit suorittaa. Esimerkiksi pohjamaan infiltraatio (vedenjohtavuus) –testiä pidetään hyödyllisenä kuvaamaan veden suotautumista syvälle maahan, mutta testiä ei opasteta kaikkien oppaan käyttäjien tehtäväksi, koska se on tekijöiden mukaan aikaa vievä ja herkkä virhelähteille kuten testin suorittajasta johtuvalle vaihtelulle (McKenzie 1998a).

Menetelmän työläys. Havainnointiin kuluu aikaa ei ole SOILpak –oppaissa arvioitu, mutta menetelmä vaikuttaa hieman työlämmältä kuin lapiodiagnoosi tai VSA -menetelmä. Menetelmän hitain osa on ilmeisesti havainnointikuopan kaivaminen, joka ulottuu selvästi syvemmälle kuin muissa testisarjoissa. Toisaalta koneellinen kaivuu voi olla suhteellisen nopeaa. Kuopasta tehtävien ”pakollisten” perustestien määrä ei ole kovin suuri, mutta lisätestien kanssa havainnointiin vaikuttaisi kuluvan hyvinkin puoli päivää. Jos viljelijä ei ole saanut koulutusta testin suorittamiseen, saattaa oppaan ohjeiden seuraaminen hidastaa kenttätöitä. Testiosassa ei ole kovin selkeästi erotettu menetelmien kuvausta muusta taustatiedosta ja tulosten tulkinnasta. Lisäksi on huomattava, että kemialliset määritykset tehdään laboratoriossa, eikä kaikkia tuloksia saada koottua saman päivän aikana.

Oheispalvelut. Ainakin puuvillan viljelijöille suunnattujen SOILpak -oppaiden ilmestymisen yhteydessä on tuleville käyttäjille järjestetty koulutusta havaintojen tekoon (Daniells ym. 1996, McKenzie 1998b). Koulutus on katsottu tarpeelliseksi, koska viljelijät ja neuvojat hallitsevat yleensä viljelyyn liittyvät tekniset ja taloudelliset asiat sekä kasvinsuojelun, mutta tiedot maaperästä ovat usein puutteelliset (Daniells ym. 1996). Lisäksi ensimmäisen SOILpakin ympärille pystytettiin kolmivuotien projekti, jonka tarkoituksena oli tarjota käyttäjille teknistä tukea maan laadun arvioinnissa (Daniells ym. 1996). Projektin puitteissa tuettiin tiedonsiirtoa neuvojilta viljelijöille ja luotiin mm. opetusmateriaalia kentällä tapahtuvaa kurssitusta varten. Tämä loi hyvän perustan arvioinnille ja antoi eväät käyttää tuloksia toimenpidesuosituksen perustana. Christiansen ym. (2002) tekemän selvityksen mukaan SOILpakin ja NUTRIpakin käyttöaste näyttäisi korkealta (n. 60%) puuvillan tuottajien keskuudessa, mutta lisäkoulutusta menetelmien hyödyntämiseen edelleen toivotaan.

2.2.4 Markstrukturindex (MSI)

Käyttötarkoitus. Ruotsin maatalouskorkeakoulussa kehitetty Markstrukturindex ("Maan rakenneindeksi") on menetelmä, jolla arvioidaan maan fysikaalista tilaa ja siihen vaikuttavia viljelymenetelmiä (Berglund ym. 2002). Sen avulla arvioidaan, kuinka viljelijästä riippuvat tekijät vaikuttavat maan rakenteeseen ja maan fysikaalisiin ominaisuuksiin. Indeksiksi koostuu kolmesta osasta. Perusparannusosassa (1) arvioidaan perustavaa laatua olevat maan fysikaaliseen tilaan vaikuttavat tekijät kuten maan kuivatustila ja eloperäisen aineksen pitoisuus. Viljelymenetelmäosassa (2) arvioidaan viljelijän vuosittaisten toimenpiteiden vaikutus maahan. Lisäksi pellolla tehdään maan rakennetesti (3). MSI sopii kaikille maalajeille.

Testi on tarkoitettu viljelijän tai neuvojan käyttöön. Se on suunniteltu niin selkeäksi, että viljelijä pystyy tekemään itse kaikki osiot. Sen tarkoituksena on herättää viljelijän mielenkiinto maan rakenteen seuraamiseen ja tarjota siihen riittävän yksinkertainen väline. Testin tavoitteena on myös opettaa viljelijää tuntemaan maansa paremmin ja auttaa arvioimaan millaisia muutoksia viljelytoimien muutokset aiheuttaisivat maan rakenteeseen. Sitä voidaan myös soveltaen käyttää maatalousmaan ympäristövaikutusten seuraamiseen.

Historiaa. Markstrukturindeksin kehittämisessä on hyödynnetty Ruotsin maatalousyliopiston pitkäaikaista maaperäfyysiikan tutkimusta ja sen tuottamia tuloksia (mm. Johansson 1994) ja ohjelmia. Tulosten perusteella on valittu testissä tarkasteltavat tekijät ja saatu runsaasti aineistoa tukemaan tulosten laskemista ja tulkintaa. Testiä kehitettäessä on siis hyödynnetty olemassa olevaa tietoa. Testin kehittäminen on vielä kesken, mutta pellolla tehtävä maan rakennetesti on jo viljelijöiden käytettävissä ja tulostettavissa Internetissä osoitteesta www.mv.slu.se/MSI. Perusparannusosio on testin keskeneräisin osio, ja myös viljelymenetelmäosiossa on tarkoitus täsmentää muutamia kohtia. Lisäksi Excel-ohjelmaa, jolla indeksi lasketaan, on tarkoitus kehittää entistä käyttäjäystävällisemmäksi.

Mittarit ja välineistö. Testin kolmesta osasta kaksi, perusparannusindeksi ja viljelymenetelmäindeksi, määritetään tietokoneen ääressä täyttämällä Excel-taulukkoita. Siihen tarvitaan tietoja muun muassa tilan koneista, maalajeista, ojitustavoista ja -intensiteetistä, viljelykasveista eri vuosina, muokkaustavoista, lohkojen muodoista, maahan joutuvan eloperäisen aineksen määrästä ja kasvukauden oloista. Perusparannusosa antaa tulokseksi arviot kuivatustilasta ja hyvän rakenteen luontaisista edellytyksistä. Viljelymenetelmäindeksi on yksi luku, joko positiivinen tai negatiivinen sen mukaan, miten käytetyt viljelymenetelmät vaikuttavat maan rakenteeseen. Positiiviseen suuntaan vaikuttavat orgaanisen aineksen lisäys, juurten määrä ja se, kuinka pitkän ajan vuodesta maa on niin kuiva, että sen rakenne voi kehittyä. Negatiiviseen suuntaan vaikuttavat pitkä paljaan roudattoman maan aika, runsaat ajokerrat ja jankkoon asti ulottuva maan tiivistäminen (Berglund ym. 2002).

Kolmas osa on pellolla tehtävä kuusiosainen maan rakennetesti. Siinä 1) arvioidaan maan mekaanista vastusta lapion maahan painumisen avulla, 2) lasketaan näytteessä olevien lierojen määrä, 3) tehdään havainnot maan rakenteesta ja muruista, 4) tarkastellaan juuristoa, 5) määritetään huokosten koko ja määrä ja 6) mitataan maan vedenjohtavuus. Testiä varten maahan kaivetaan kuoppa, ja kaikki havainnot ja mittaukset tehdään kolmesta kerroksesta: ruokamultakerroksesta, kyntöanturasta ja jankosta. Testi suositellaan tehtäväksi kolmesta erilaisesta kohdasta lohkolta, hyvälaatuisesta, huonolaatuisesta ja tyyppillisestä. Tyyppillisen kohdan rakenteen muuttumista voidaan siten seurata vuosien varrella tarkastelemalla, ovatko sen tulokset siirtyneet lähemmäksi huonoa vai hyvää kohtaa (Berglund ym. 2002).

Maan rakennetestin välineistö on niin yksinkertainen, että kaikki tarvittava löytyy jokaiselta maatilalta. Testiä tehdessä havainnot ja mittaustulokset kirjataan selkeään havaintopöytäkirjaan. Ohjevihkosessa myös annetaan tuloksille ohjearvoja ja kannustetaan viljelijä pohtimaan tuloksia ja niiden merkitystä.

Menetelmän työläys. MSI:n kehittämisessä yhtenä päävaatimuksena on ollut, että menetelmän pitää olla niin yksinkertainen kuin mahdollista, ja siinä onkin onnistuttu hyvin. Työpöydän ääressä tehtävissä osioissa tarvittavat tiedot ovat sellaisia, että tiedot todennäköisesti löytyvät helposti jokaisen viljelijän viljelykirjanpidosta. Osa tarvittavista tiedoista voidaan noutaa testin datapankista, johon on koottu tilojen sijaintiin ja olosuhteisiin sopivia ”tyypillisiä” arvoja. Työpöydän ääressä tehtävät osiot tekee lähes samalla vaivalla useasta lohkokosta, mutta pellolla tehtävä rakennetesti vie aikaa arviolta päivän peltolohkoa kohti (kolme havainnointikohtaa). Testiohjeissa rakennetestin tekemiseen luodaan leppoisa asenne ja kehoitetaan tekemään testi kiireettömänä aikana, sellainen määrä yhtenä kesänä kuin tuntuu mukavalta jne. Ohjeissa koetetaan selkeästi saada viljelijät todella tekemään testejä ja tottumaan maan ominaisuuksien havainnointiin, vaikka vain vähän kerrallaan.

2.3 Maan laatua kuvaavat testisarjat

2.3.1 Soil Quality Scorecards

Käyttötarkoitus. Viljelijäkäyttöön on USA:ssa kehitetty yksinkertaistettu ja nopea maan laadun arviointimenetelmä, joka tunnetaan Soil quality score card tai Soil Health Scorecard (”Maan laadun arviointikortti”) –nimellä. Maan laatukortit on tarkoitettu lähinnä tilan sisällä peltolohkokohtaiseen maan laadun seurantaan (Ditzler & Tugel 2002, Tugel ym. 2001). Arviointi on luokitteleva ja subjektiivinen eikä eri viljelijöiden tekemiä arviointeja ole tarkoitus vertailla (USDA 1999a). Arviointikortit ovat hyödyllisiä viljelijöille, kun halutaan arvioida uusien viljelytoimenpiteiden aiheuttamia muutoksia pellon maan laadussa tai verrata toimenpiteiden aiheuttamia

muutoksia samantyyppisen maalajin omaavilla pelloilla (Ditzler & Tugel 2002). Paikalliset ympäristönsuojelutahot voivat myös hyödyntää arviointikortteja esim. lähtökohtana viljelijän kanssa käytäville keskusteluille tai tutkimustarpeiden arviointiin (USDA 1999a).

Vaikka maan laadun arviointikorttien yleensä ilmoitetaan mittaavan maan laatua, kaikkien osa-alueiden edustus korteissa ei ole välttämättä toteutunut. Terveyskortit laaditaan aina paikallisiin oloihin sopeuttaen viljelijöiden ja asiantuntijoiden yhteistyönä. Mittareiden valinta perustuu pitkälti kyseisen alueen viljelijöiden näkemykseen oleellisista maan laatuun vaikuttavista tekijöistä (Romig ym. 1996, USDA 1999a). Viljelijät myös määrittelevät mittarien asteikon eli ne kuvailevat termit, joilla määritetään huonon, keskinkertaisen tai hyvän maan ominaisuudet. Esimerkiksi Oregonin arviointikortissa maata kuvataan tiivistyneeksi, jos rautalanka taipuu maahan työnnettäessä ja kasvien juuristo mutkittellee. Viljelijöiden käsitys maan laadusta on yleensä vahvasti painottunut maan rakenteellisiin ominaisuuksiin, mikä näkyy fysikaalisten mittareiden suurena osuutena korteissa (Tugel ym. 2001).

Historiaa. Viljelijöiden ja tutkijoiden yhteistyönä syntyi ensimmäinen maan terveyden arviointikortti Wisconsinin alueen viljelijöille (Romig ym. 1995). Haastattelujen perusteella korttiin valittiin sellaisia maan terveyden mittareita, jotka viljelijät parhaiten mieltävät maan laatua kuvaaviksi (Garlynd ym. 1994, ks. Ditzler & Tugel 2002). Romig ym. (1995) päätyivät antamaan mittareille luokittelevan kolmiportaisen asteikon (järjestysasteikko), vaikka viljelijät haastatteluissa arvioivat maan ominaisuuksia lähinnä kaksijakoisesti. Wisconsinin korttia pidettiin niin käyttökelpoisena välineenä viljelijälähtöiseen maan laadun arviointiin, että 1990-luvun lopulla laadittiin useita paikallisiin viljelyoloihin sopeutettuja maan laadun arviointikortteja (USDA 1999a, Tugel ym. 2001). U. S. Department of Agriculture (USDA) on laatinut oppaan, jonka avulla paikalliset viranomais- ja viljelijätahot voivat yhteistyössä kehittää omalle alueelleen soveltuvan arviointikortin (USDA 1999a). Tugel ym. (2001) perustelevat paikallisten mittareiden valintaa sillä, että voidaan ottaa huomioon kyseisen alueen viljelyjärjestelmä ja maan ominaisuudet. Lisäksi ideana on saada paikalliset viljelijät ja ympäristönsuojeluviranomaiset sitoutumaan maan laadun arviointiin. On katsottu, että testisarjojen tulevien käyttäjien osallistuminen jo kehitystyöhön antaa hyvät mahdollisuudet maan laadun seuraamisen yleistymiselle. Kehitysryhmässä mukana olevat asiantuntijat vastaavat korttien tieteellisestä pätevyydestä (Tugel ym. 2001).

Mittarit ja välineistö. Wisconsinin arviointikortissa on yhteensä 43 mittaria, jotka perustuvat lähinnä aistinvaraisiin havaintoihin ja kokemuseräiseen tietoon maan ominaisuuksista. Mittareiden avulla arvioidaan maan ominaisuuksia (väri, rakenne, juuriston ulkonäkö, lierojen esiintyminen ym.) sekä kykyä suorittaa tiettyjä toimintoja (läpäistä vettä, hajottaa eloperäistä ainesta, kierrättää ravinteita ym.) (Romig ym. 1996). Koska Wisconsinin

alueen viljelijöiden näkemyksen mukaan pellon kasvusto on myös tärkeässä asemassa maan laatua arvioitaessa, valittiin mittareiksi myös havaintoja kasvien kasvusta ja satoisuudesta. Maan laatua arvioidaan epäsuorasti myös tilalla työskentelevien ihmisten ja eläinten hyvinvoinnin avulla. Useimmat mittarit itse asiassa summaavat viljelijälle jo kertynyttä kokemusta maan ominaisuuksista kuten veden imeytymisestä sateen jälkeen. Havaintojen suorittamista ei kortissa opasteta, vaikka joidenkin mittareiden arviointi vaatii ainakin havaintokuopan kaivamista. Kunkin mittarin asteikko on periaatteessa 3-portainen luokitteluasteikko, mutta viljelijä voi tarvittaessa arvioida tuloksen myös luokkien välille. Analogisesti ihmisen terveyden kanssa, mittarien luokat kuvaavat ”tervettä”, heikentyneitä tai ”epätervettä” maan laadun tilaa. Luokat määritellään sanallisen kuvauksen perusteella, vain kolmen mittarin kohdalla (pH, eloperäinen aines, sato) on luokkarajat määritelty mitattuihin numeroarvoihin perustuen (Romig ym. 1996). Rakennetta ja tiivistymistä arvioidaan esimerkiksi kynnön helppoutta, mururakennetta ja kovuutta kuvailemalla.

Paikallisia maan laadun arviointikortteja laadittaessa on päädytty yhteensä 32 fysikaaliseen, 12 biologiseen, 9 kemialliseen ja 15 kasvi-mittariin (Ditzler & Tugel 2002). Useat mittarit kuvaavat itse asiassa samoja maan ominaisuuksia, mutta eri alueiden viljelijät ovat kuvanneet kyseistä ominaisuutta hieman eri tavalla (Ditzler & Tugel 2002). Useimmat paikallisista maan laadun pisteytyskortteista koostuvat korkeintaan kymmenestä havainnosta, jotka kuvaavat pääasiassa maan fysikaalisia ominaisuuksia (Tugel ym. 2001). Kaikissa arviointijärjestelmissä on kuitenkin mukana vähintään yksi biologinen mittari ja yleensä myös havaintoja kasveista ja kasvinjätteistä (Tugel ym. 2001). Kemiallisia määrittelyksiä eli tietoa maan viljavuudesta ei kaikilla alueilla ole katsottu tarpeelliseksi sisällyttää mittareihin. Havainnot maan laadusta tehdään pellolla kaivettavista muutamasta 15-20 cm syvästä havaintokuopasta ja apuvälineiksi riittää yleensä vain lapio ja metallisauva.

Menetelmän työläys. Maan laadun arviointi tapahtuu terveyskortin avulla hyvin nopeasti. Wisconsin arviointikortin täyttööseen ilmoitetaan kuluvan aikaa vain n. 10 min (Ditzler & Tugel 2002). Tässä ei ole kuitenkaan huomioitu ravinneanalyysjä varten tarvittavien maanäytteiden ottamiseen ja lähettämiseen kuluvaa aikaa.

2.3.2 Soil Quality Test Kit (SQTK)

Käyttötarkoitus. Soil Quality Test Kit (”Maan laadun testisarjasta”) on maan laadun arviointimenetelmä, joka alun perin kehitettiin viljelijöille pelto- tai tilakohtaiseen maan laadun arviointiin (Ditzler & Tugel 2002). Testisarjan nykyinen versio on kuitenkin suunnattu peltomaan laadun yleistestiksi laajempaan käyttöön (Ditzler & Tugel 2002). Sitä voidaan käyttää sekä peltomaan senhetkisen laadun arviointiin että maan laadussa tapahtuvien muutosten seurantaan (USDA 1999b). Vertailuarvoina ensimmäisessä

tapauksessa voidaan käyttää joko tilan sisäistä vertailualueita (luonnontilainen maa tai eri menetelmillä viljelty pelto) tai kiinteitä vertailuarvoja (USDA 1999b). Testisarja soveltuu parhaiten viljelytoimenpiteiden aikaansaamien muutosten selvittämiseen, mutta sen avulla voidaan myös selvittää syitä pellon ongelmakohtiin (Ditzler & Tugel 2002).

Historiaa. Yhdysvalloissa on rinnan laadullisten (kvalitatiivisten) arviointikorttien kanssa kehitetty myös määrällistä (kvantitatiivista) maan laadun arviointivälinettä. Testisarjan taustalla oli idea analogiasta ihmisen terveyden tilan määrittämisestä: tavoitteena oli, että viljelijä pystyy arvioimaan viljelyn vaikutuksen maan laatuun ”lääkärisalkun” avulla (Liebig ym. 1996). Tohtori John Doran USDA Agricultural Research Service -osastolta oli idean isä ja hän kehitti ensimmäisen version Soil Quality Test Kitistä, joka esiteltiin viljelijöille vuonna 1994 (Cramer 1994 a, b, c ref. Liebig ym. 1996) ja kuvattiin tieteellisenä julkaisuna vuonna 1996 (Sarrantonio ym. 1996). Testisarjan mittareita valittaessa pyrittiin noudattamaan Larson ja Pierce (1991) maan laadun arviointiin esittämää minimitestisarjaa (Liebig ym. 1996). Aluksi testisarja sisälsi kaksi fysikaalista, kolme kemiallista ja yhden biologisen maan laadun mittarin (Sarrantonio ym. 1996). Vuosina 1996-1998 USDA kehitti testisarjaa edelleen mm. henkilökuntansa työvälineeksi (Ditzler & Tugel 2002). Ohjeistusta muokattiin, maan laadun mittareita lisättiin ja tulosten tulkintaohjeet lisättiin. Testisarja sai kolme uutta testiä sekä monille testisarjoille tyypillisen maaprofiilin havainnoinnin.

Mittarit ja välineistö. Nykyisessä muodossaan SQTK sisältää yhteensä 10 testiä ja havaintosarjan maaprofiilista (USDA 1999b). Lapiodiagnoosia muistuttavaa maaprofiilin havainnointia lukuun ottamatta mittarit ovat määrällisiä. Mittarit mittaavat maan ominaisuuksia pääasiassa 7,5 cm paksuisesta maan pintakerroksesta, mutta maaprofiilin ominaisuuksia havainnoidaan 30 cm syvyyteen saakka (Ditzler & Tugel 2002). Tämä on katsottu useimpien mittareiden luonteen kannalta riittäväksi, esim. maahengitys tapahtuu pääasiassa lähellä maan pintaa (Ditzler & Tugel 2002). Maan laadun fysikaalisia ja kemiallisia mittareita on molempia neljä, lisäksi testisarjassa on kaksi biologista mittaria. Maan rakennetta ja tiivistymistä arvioidaan havainnointikuopasta aistinvaraisesti sekä irtotiheyden ja murujen vedenkestävyydestin avulla. Maan yleistä rakennetta kuvataan murujen kokoa ja muotoa luokittelemalla sekä etsimällä tiivistymiskerroksia metallisauvan avulla ja juuriston kasvatapaa havainnoimalla. Irtotiheyden avulla arvioidaan rajoittaako maan pintakerroksen (ylin n. 7.5 cm) tiiviys juuriston kasvua. Lisäksi sen perusteella voidaan määrittää laskennallisesti huokostilavuus, veden täyttämien huokosten määrä sekä maan kosteus. Muita maan rakennetta kuvaavia mittareita ovat vedenjohtavuuden sekä murujen vedenkestävyyden mittaaminen ja maan pinnan liettymisestä. Kemiallisista ominaisuuksista määritetään pellolla nitraattiliuskojen avulla liukoisien typen määrä maassa ja maavedessä sekä mitataan pikamittarilla

maan pH ja johtokyky. Biologiset mittarit kuvaavat lierojen määrää ja maahengitystä.

Testien toteuttaminen vaatii välineistöä, joka on mahdollista ostaa valmiina testisalkkuna, mutta sen voi myös koostaa itse. Erilaisia välineitä tarvitaan suhteellisen paljon, mutta ne kulkevat helposti salkussa mukana. Salkku sisältää suurimmaksi osaksi yksinkertaisia välineitä, mutta niitä ei välttämättä joka tilalta löydy valmiina. Jos viljelijä haluaa itse koota välineistön, vaatii se jonkin verran nikkarointia ja joidenkin mittareiden tilaamista.

Menetelmän työläys. Testisarjan pellolla tehtävät mittaukset on opastettu tekemään siinä järjestyksessä, kun se ajankäytön kannalta on tehokasta (Ditzler & Tugel 2002). Tähän kuluu yhdessä näytepisteessä aikaa n. 1-2 tuntia riippuen testaajan taidoista ja paikallisista olosuhteista. Lisäksi maanäytteiden jatkokäsittelyyn kuluu 2-3 tuntia. Suositeltavien kolmen näytepisteen läpikäynti vie aikaa pellolla siis n. puoli päivää ja tämän jälkeen sisätiloissa vähintään saman verran. Yhden pellon maan laadun arviointi tällä menetelmällä vaikuttaisi siis vievän yhden työpäivän verran aikaa. SQTK onkin pidetty USDA:n kenttähenkilökunnan keskuudessa aikaa vievänä (Ditzler & Tugel 2002).

Oheispalvelut. Testivälineistön voi hankkia valmiina testisalkkuna ja testisarjan käyttöopas on vapaasti saatavana USDA:n Soil Quality Instituten sivuilta internetistä (soils.usda.gov/sqi/soil_quality/assessment/kit2.html). Nettisivuilta saa apua myös tulosten yhteenvedossa: aineiston voi syöttää Excel-pohjaiseen laskentaohjelmaan, joka muuntaa tulokset vertailukelpoisiksi. Nettisivujen palvelut ovat vielä kehitteillä ja tarkoituksena on lisätä opastus sopivien testien valintaan ja tulosten tulkintaan (Susan Andrews 2003, suull. tiedonanto). Viljelijöille suositellaan asiantuntijan antamaa opastusta ennen testisarjan käyttöönottoa, sillä luotettavien mittausten tekeminen vaatii hieman harjaannusta (USDA 2001). Maan laadun instituutti on järjestänyt lukuisia koulutustilaisuuksia testisarjan käytöstä (Ditzler & Tugel 2002). USDA:n henkilökunnan mielestä testisarjalle pitäisi vielä perustaa tekninen käyttäjätuki, sillä testien tulkinta ei ole aina helppoa (Ditzler & Tugel 2002). Tämä vaatisi maaperätutkijoiden tai agronomien kouluttamista testin asiantuntijoiksi (Ditzler & Tugel 2002). Georgiassa ”maanhoitotiimi” on aloittanut testaustiedon kokoamisen tietokantaan viljelijöiden hyväksikäytettäväksi (Gaskin ym. 2002). Tietokannan käyttökelpoisuus on kuitenkin vielä kyseenalainen, sillä tiimin käyttämä testisarja on hyvin karsittu versio SQTK sisältämistä testeistä ja lisäksi tuloksia on toistaiseksi vain Georgian alueelta.

Soil Quality Institute tarjoaa nettisivuillaan myös yleistä tietoa maan laadusta sekä oppaita maan laadun arvioinnin toteuttamiseen. Oppaat on tarkoitettu lähinnä viranomaiskäyttöön ja ne avustavat paikallisten maan laadun arviointikorttien laatimisessa (USDA 1999a) sekä sopivien maan laadun testausmenetelmien ja mittareiden valinnassa, kun maan laatua arvioidaan ympäristönsuojelusuunnitelmien yhteydessä (USDA 2001).

2.3.3 Soil Quality Management System (SQMS)

Käyttötarkoitus. Soil Quality Management System ("Maan laadun hallintajärjestelmä") on uusiseelantilainen maanhoidollista päätöksentekoa tukeva testaus- ja tietojärjestelmä. Sen avulla viljelijä voi paitsi arvioida peltojensa maan laadun, myös viljelytoimenpiteiden aiheuttamien muutosten vaikutusta pellon tuottavuuteen (www.crop.cri.nz/psp/sqms/what.htm). SQMS:iin sisältyvä maan laadun testausosio muistuttaa hyvin paljon amerikkalaisten (SQTk) mittaustapaa: mittarit ovat pitkälti samoja ja pääasiassa määrällisiä.

Historiaa. Crop & Food Research –tutkimuskeskus kehitti tämän maan laadun hallintajärjestelmän 1990-luvun lopulla. Hyvälaatuisiksi maatalousmaaksi määriteltiin pelto, joka tuottaa jatkuvasti suuria satoja vähäisin viljelykustannuksin ja ympäristövaikutuksin (Beare ym. 2001). Tarkemmin eriteltynä tällaisen maan ominaisuuksiin kuuluu hyvä ravinteiden saataavuus, vakaa maan rakenne, hyvä ilmasto, vedenpidätyskyky ja –saataavuus sekä runsas hyödyllisten maaeliöiden määrä (Beare ym. 2001). Testisarjan mittareiksi on valittu näitä ominaisuuksia kuvaavia yksinkertaisia ja käytännöllisiä testejä. Menetelmän kehittämisen vaiheista ei ole juurikaan julkaistua tietoa.

Mittarit ja välineistö. SQMS jakaa testisarjoista selvimmin maan ominaisuudet luontaisiin ja muuttuviin. Luontaisiin ominaisuuksiin lasketaan kuuluvaksi ruokamultakerroksen ominaisuudet, jotka eivät muutu viljelytoimenpiteiden seurauksena lyhyellä, n. 5 vuoden tähtämellä (Beare ym. 2001). Näitä ovat maannos, maalaji, eloperäinen aines sekä kationinvaihtokyky. Määrittäminen tapahtuu neuvojia ja analyysilaboratorioita hyödyntäen ja on tarpeen maan laadun seurannan alussa, sillä niitä tarvitaan tulosten tulkinnessa (Beare ym. 2001). SQMS määrittelee yhteensä kahdeksan varsinaista maan laadun mittaria. Maan kemialliset ominaisuudet, pH ja pääravinteet, lasketaan yhdeksi mittariksi. Maan rakennetta kuvataan neljällä määrällisellä mittauksella sekä aistinvaraisella maaprofiilin arvioinnilla ja rakennepisteytyksellä. Maaprofiilin arviointi tapahtuu 50-60 cm syvän kuopan seinämästä. Lierojen havainnointi sisältyy testisarjaan ainoana erillisenä biologisena mittarina.

Maan laadun arviointi SQMS opastamalla menetelmällä vaatii kohtuullisesti välineistöä. Suurin osa välineistä on yksinkertaisia joka tilalta löytyviä tarvikkeita lukuun ottamatta mururakenteen kestävyuden arviointiin tarvittavaa mittausvälinettä ja penetrometriä. Saatavana on kuitenkin myös välineistön sisältävä testaussalkku.

Menetelmän työläys. Maan laadun testaukseen kuluva ajasta ei ole esitetty arviota. Menetelmä vaikuttaisi olevan työläydeltään suurin piirtein samanlainen tai hieman helpompi toteuttaa kuin SQTk.

Oheispalvelut. Ennen maan laadun arvioinnin aloittamista viljelijöille suositellaan päivän mittaista koulutusta SQMS:n käyttöön, jota järjestetään

kysynnän mukaan. Maan laadun arviointiin ja päätöksenteon tueksi on myynnissä maan testisalkku ja käyttöoikeus internetissä olevaan tiedonhallintajärjestelmään (www.crop.cri.nz/psp/sqms/what.htm). Tiedonhallinnan suhteessa uusiseelantilaisten järjestelmä vaikuttaisi hieman kehittyneemmältä kuin amerikkalaisten. Tiedonhallintajärjestelmä toimii paitsi tulosten tallentamispäikkana, sen avulla voi havainnollistaa ja tulkita tilalta kertyvää aineistoa ja saada toimenpidesuosituksia maan laadun parantamiseksi. Tulokset käsitellään täysin luottamuksellisina eivätkä käyttäjät pääse näkemään kuin omat tietonsa.

3 Maan laadun arviointiin vaikuttavat tekijät ja niiden huomiointi testisarjoissa

3.1 Havaintoajankohdan valinta

Maassa tapahtuvat muutokset voivat olla kestoaltaan hyvin erilaisia vaihdellen ohimenevistä hyvin pitkäaikaisiin. Maan laadun arvioinnissa pyritään kuvaamaan lähinnä keskipitkällä aikavälillä (1-5 vuoteen) tapahtuvia muutoksia, joihin viljelytoimenpiteillä voidaan vaikuttaa (USDA 2001). Mittareiden tulisi siis olla sopivan herkkiä viljelytoimenpiteiden aiheuttamille muutoksille, muttei liian herkkiä lyhytaikaisille muutoksille kuten säätekijöiden vaihtelulle (Doran & Safley 1997). Käytännössä kuitenkin useiden mittareiden luotettavuuteen vaikuttavat sään seurauksena tapahtuvat muutokset maan kosteudessa ja lämpötilassa. Näistä aiheutuvia vääristymiä voidaan pienentää ajoittamalla mittaaminen vuodenajan, maan kosteuden ja viljelytoimenpiteiden suhteen oikein.

Vuodenaika ja viljelytoimenpiteet. Vuodenaika ja sen mukana vaihtuvat elottomat tekijät vaikuttavat useimpiin maan toimintoihin, joita maan laadun mittareilla pyritään kuvaamaan. Esimerkiksi sateiden ja vähentyneen haihdunnan vuoksi maan kosteus on yleensä korkeampi syksyllä kuin kesällä. Monilla viljelytoimenpiteillä on paitsi pitkäaikaisia, myös lyhytaikaisia vaikutuksia maan toimintoihin. Jos havainnot tehdään välittömästi kynnön jälkeen, ovat ravinteiden huuhtoutuminen ja hajotustoiminta yleensä hetkellisesti vilkastuneet. Myös maan rakenteessa havaitaan ohimeneviä muutoksia, kuten veden imeytymisen parantuminen. Lannoituksella ja torjunta-aineiden käytöllä taas saattaa olla vaikutusta esim. maamikrobien toimintaan. Maan laadun kannalta hetkellisillä muutoksilla ei ole kovin paljon merkitystä, joten havainnot tulisi mielellään tehdä kun tilanne on ”tasaantunut”. Tulokset voivat olla jopa harhaan johtavia, jos mittaukset tehdään liian nopeasti viljelytoimenpiteiden jälkeen. Vaikka muokkauksen jälkeen esimerkiksi maan vedenjohtavuus paranee muutamaksi viikoksi, saattaa maa ajan myötä tiivistyä ja pinta liettyä, jolloin vedenjohtavuus itse asiassa heikkenee.

Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että luokitteleviin, aistinvaraisiin mittareihin perustuvissa testisarjoissa annetaan väljemmät ohjeet arvioinnin ajankohdasta kuin määrällisiin mittauksiin perustuvissa testisarjoissa. Tämä johtunee pitkälti mittareiden erilaisesta herkkyydestä: tarkoissa määrällisissä mittauksissa maan kosteuden vaikutus näkyy selvemmin kuin karkeammassa luokittelevissa havainnoissa. Selittävä tekijänä on ilmeisesti myös biologiset mittarit, jotka ovat herkkiä kasvukauden aikana tapahtuville muutoksille. Eri testeille sopivimmat mittaolosuhteet voivat myös hieman vaihdella, mutta käytännöllisistä syistä koko testisarja opastetaan yleensä tekemään samanaikaisesti. Suurin osa testisarjoista (Romig ym. 1996, Shepherd 2000, USDA 1999b, Beare ym. 2001) opastaa ajoittamaan

Taulukko 2. Testisarjoissa annetut ohjeet sopivasta havainnoinnin ajankohdasta ja havaintopisteiden määrästä.

Testisarjan nimi	Havaintoajankohta	Havaintopisteiden määrä
Viljavuustutkimus	Keväällä ennen lannoitusta /syksyllä sadonkorjuun jälkeen	Vähintään 7/peltolohko tai maalaji
Lapiodiagnoosi	Kasvukaudella vilkkaan juuriston kasvun aikaan /kylvömuokkauksen jälkeen /sadonkorjuun jälkeen	1/peltolohko, jos kasvusto tasainen 2, jos epätasainen + vertailupiste
Visual Soil Assessment (VSA)	Peltoviljelyssä sadonkorjuun jälkeen ennen kyntöä (+ kylvömuokkauksen jälkeen) Laitumilla lopputalvella tai alkukevällä	3-4/peltolohko + vertailupiste
SOILpak for Cotton growers	Sadonkorjuun / väliviljelyn / viljelytoimenpiteen jälkeen	1-3/peltolohko tai 150 m välein
Markstrukturindex (MSI)	Keväällä kylvöjen jälkeen / loppukesällä	1/peltolohko, + 2 vertailupisteitä (heikko ja hyvä)
Wisconsin Soil Health Scorecard	Kasvukaudella + sadonkorjuun aikoihin	Ei suosituksia
Soil Quality Test Kit (SQTk)	Sadonkorjuun jälkeen /kasvukauden lopussa, kun sää "vakaa", eikä maata "häiritty"	Vaihtelee testeittäin, 3-9/peltolohko
Soil Quality Management System (SQMS)	Sadonkorjuun jälkeen ennen maan muokkausta, ei lannoituksen tai kalkituksen jälkeen	Vaihtelee testeittäin, 2-15/peltolohko

mittaukset loppukesään sadonkorjuun aikoihin, ennen maan muokkausta (Taulukko 2). Pääasiassa maan rakennetta kuvaavissa testisarjoissa annetaan yleensä myös vaihtoehtoisia ajankohtia riippuen testauksen tarkoituksesta. Lapiodiagnoosi voidaan Rajalan (2002) mukaan tehdä periaatteessa milloin vain kasvukaudella, mutta jos halutaan hyödyntää juuristohavainnoja, on pellolla kuitenkin oltava kasvava kasvusto. Rakenteen arviointi voidaan tehdä soveltuvin osin myös kylvömuokkauksen jälkeen tai sadonkorjuun aikoihin (Shepherd 2000, Berglund ym. 2002, Rajala 2002). Alkukesällä voidaan tarkastella muokkaustoimenpiteiden vaikutusta maan rakenteeseen, kun taas loppukesällä saadaan paras kuva juuri- ja lierokanavista sekä lierojen määrästä (Rajala 2002). Vaihtoehtoisia havainnointiajankohtia sadonkorjuun tienoon lisäksi on myös väkilviljelyn tai vaikkapa uuden muokkauskoneen testiajon jälkeen (McKenzie 1998a). Vuodenaikaa ei siis aina pidetä kriteerinä fyysikaalisten havaintojen ajankohtaa valittaessa eikä esim. kynnön jälkeen anneta varoajoja, jolloin havainnointia ei kannata tehdä.

Havainnot tulisi ajoittaa samaan vuodenaikaan, jos maan laatua seurataan samalta pellolta, jolloin tulosten tulisi olla vertailukelpoisia aikaisempien havaintojen kanssa (USDA 1999b). SQTK ja SQMS opastaa ajoittamaan arvioinnin myös siten, että ”häirinnästä”, yleensä viljelytoimenpiteistä, on kulunut riittävästi aikaa (USDA 1999b, Beare ym. 2001). SQTK ei anna tarkempia ohjeita varoajoista, mutta SQMS mukaan lannoituksen jälkeen ei maan laatua tulisi arvioida noin kuukauteen ja muokkauksen jälkeen kahteen kuukauteen (Beare ym. 2001).

Sääolot ja maan kosteus. Maan kosteustila vaikuttaa huomattavasti useimpiin maan laadun fyysikaalisiin ja biologisiin mittareihin. Maan kuivuessa mekaaninen vastus lisääntyy ja rakenne vaikuttaa lujemmalta kuin kosteana (Ehlers ym. 1983). Tällöin on vaarana, että rakenne arvioidaan tiiviimmäksi kuin se todellisuudessa on. Pellolla vallitsevien kosteusolojen vaikutusta voidaan periaatteessa pienentää käyttämällä muuntokerrointa, jos kyseiselle mittarille sellainen on määritetty. Mittausta ei silti saisi toteuttaa ääriolosuhteissa kyseisen tekijän suhteen. Maan rakenteen ominaisuudet ovat yleensä mitattavissa suhteellisen nopeasti kuivan jakson päättymisen jälkeen, mutta biologiset toiminnot vaativat usein pidemmän ajan toipuakseen. Maaperäeläinten ja mikrobien lisääntymisnopeus ja toimintakyky vaihtelevat maan kosteuden ja lämpötilan mukaan. Maahengitys heikkenee kuivana kautena, mutta toipuu pikaisesti sateen jälkeen (esim. Murphy ym. 1998). Lieroilla puolestaan muutokset populaatiokoossa tapahtuvat hitaammin, mutta vaikutus on pitkäaikaisempi.

Maan kosteus on useimmissa testisarjoissa huomioitu ainakin jollakin tavalla. Usein sopivasta kosteudesta ei anneta kovin tarkkoja ohjeita, vaikka maan kosteus yleensä määritetäänkin testauksen yhteydessä. SQMS opastaa, että maan laatua ei tulisi arvioida heti rankan sateen jälkeen tai kuivan, kuumen kauden aikana (Beare ym. 2001). Erittäin hyvä aika lapiodiagnoosin tekoon puolestaan olisi vaimean sateen jälkeen veden imeytyttyä maahan

(Preuschen 1992). Tarkemmin sopivaan kosteustilaan viitataan SOILpakissa, jossa maan rakenteen havainnoinnin kannalta paras kosteustila katsotaan olevan lähellä ns. kieritysrajaa (maa muovautuu sormien välissä).

Eriyisen herkkiä maan kosteuden vaihteluille ovat biologiset mittarit, kuten maahengitys ja lierojen määrän arviointi. Näiden havaintojen yhteydessä mainitaan yleensä erikseen kuinka kosteustila tulisi huomioida havainnoinnissa (USDA 1999b, Beare ym. 2001, Rajala 2002). Esimerkiksi lierojen määrän arviointi suositellaan tehtäväksi muista testeistä riippumatta joko loppukesällä tai aikaisin keväällä, jolloin yleensä vallitsee suotuisimmat olosuhteet (Beare ym. 2001, USDA 1999b). Maahengityksen suhteen puolestaan suositellaan mittaamista lähellä kenttäkapasiteettia, mikä voidaan luoda keinotekoisesti kastelemalla mitattava alue noin vuorokautta ennen mittausta (USDA 1999b). Koska lämpötilassa ja kosteudessa silti esiintyy vaihtelua, pyritään niiden vaikutusta vielä pienentämään käyttämällä muuntokertoimia, joilla tulokset muunnetaan vastaamaan vakiolämpötilassa ja –kosteudessa tehtyjä mittauksia. Muuntokertoimia ei ole päädytty kuitenkaan käyttämään maan rakennetta kuvaavien mittareiden kohdalla, vaikka maan kosteus vaikuttaa oleellisesti myös niiden luotettavuuteen.

Joissakin testisarjoissa katsotaan, että maan kosteus ei juuri vaikuta tuloksiin tai sen vaikutusta voidaan hallita testaajan kokemuksen avulla. Preuschen (1992) katsoo, että lapiodiagnoosi on mahdollista tehdä maan kosteudesta riippumatta, jos havainnoijalla on riittävästi kokemusta maan rakenteen vaihtelusta. Aloitteleva havainnoitsija puolestaan opastetaan havaintokuopan tekoon vain hyvien kosteusolojen vallitessa. VSA –menetelmän kehittäjät ilmoittavat menetelmän olevan riippumaton maan kosteudesta (Shepherd 2000).

3.2 Vertailualueen valinta

Peltomaan laatua arvioitaessa kiinnostuksen kohteena voi olla esim. onko maan laatu yleisesti ottaen heikolla, tyydyttävällä vai hyvällä tasolla. Toisaalta voidaan haluta vastausta tiettyyn kysymykseen, kuten onko jokin viljelytoimenpide parantanut tai heikentänyt maan laatua. Jotta tällaista arviointia voidaan tehdä, tarvitaan vertailukohde, johon nähden maan laatua arvioidaan. Vertailukohteen valinta kannattaa tehdä jo ennen maan laadun testaamista, koska maan laadun mittaaminen on aina jonkin verran suhteellista. Tuloksen tulkinta ja hyödynnettävyys on hyvinkin riippuvainen sopivan vertailuarvon saatavuudesta.

Sarrantonio ym. (1996) esittävät **neljä erityyppistä vertailukohdetta**, joihin tulos voidaan suhteuttaa. Yksi näistä on tilan sisällä tehtävä **peltolohkojen välinen vertailu**, jota lähes kaikki testisarjat kehottavat käyttämään ainakin yhtenä vertailualueena (Taulukko 2). Tässä yleensä motiivina on erilaisten viljelytoimenpiteiden aiheuttamien muutosten vertailu (Sarrantonio ym. 1996, Beare ym. 2001). Jos maan laatu on arvioitu peltolohkolta vähintään kerran ennen uuteen viljelytapaan siirtymistä, voidaan myös näitä

aikaisempia mittauksia käyttää vertailuarvoina (Sarrantonio ym. 1996). Monet testisarjoista suosittavatkin testisarjojen hyödyntämistä nimenomaan pellon maan laadussa tapahtuvien muutosten seurantaan (Romig ym. 1996, McKenzie 1998a, USDA 1999b, Beare ym. 2001). Vuosien välinen, viljelytoimista riippumaton, vaihtelu saattaa kuitenkin vaikeuttaa johtopäätösten tekoa. Toisaalta etuna on se, että maalajista ja spatiaalisesta (paikallisesta) vaihtelusta aiheutuva epätarkkuus voidaan minimoida käyttämällä samoja havainnointipisteitä eri vuosina. Esim. SOILpak ja SQTk opastavat havainnoimaan samoja näytepisteitä ja valitsemaan ajankohta niin, että maan kosteus on mahdollisimman samanlainen kuin edellisellä havainnointikerralla (McKenzie 1998a, USDA 1999b). Havainnointivuonna vallitsevien sääolojen aiheuttamaa epätarkkuutta vähentää myös useamman kuin yhden vuoden vertailuarvojen käyttäminen (Sarrantonio ym. 1996). Lisäksi johtopäätösten luotettavuutta lisää, jos samanaikaisesti seurataan useampia peltolohkoja, joilla on muutettu viljelytoimenpiteitä.

Yleisesti käytetty vertailualue on myös tilalla oleva mahdollisimman **luonnontilainen alue**, kuten pellon reuna-alue, läheinen nurmi tai metsä (Sarrantonio ym. 1996, Rajala 2002, Shepherd & Park 2003). Tällaiseen vertailualueeseen tulee kuitenkin suhtautua eri tavalla: viljelyssä ollut peltomaa ei voi koskaan tulla maan laadultaan samanlaiseksi kuin muokkaamaton ja muutenkin selvästi vähemmän häiritty luonnontilainen alue. Luonnontilaisista alueista saadaan kuitenkin hyödyllistä tietoa ja kokemusta siitä, millainen maan laatu voi suhteellisen ”häiriintymättömässä”, viljelytoimenpiteiden vaikutuksen ulkopuolella olevassa maassa olla. Reuna-alueet ovat usein tarpeen erityisesti silloin, kun muita vertailukohteita ei ole käytettävissä.

Joissakin testisarjoissa vertailukohteena käytetään **valmiiksi annettuja vertailuarvoja eli ns. ohjearvoja**, joiden avulla testitulokset voidaan tulkita osoitukseksi hyvästä tai huonosta maan laadusta. Etuna tällaisessa vertailussa on, että vertailuaineisto on usein laaja, jolloin saadaan käsitys siitä kuinka pellon maan laatu sijoittuu suhteessa esim. muihin suomalaisiin peltoihin. Viljavuustutkimusten suhteen ohjearvot ovatkin jo suhteellisen tarkkoja. SQTk esittää kiinteitä vertailuarvoja myös fyysikaalisten ja biologisten mittareiden antamille tuloksille, mutta ohjearvojen tarkkuus vaihtelee testistä toiseen. Tulosten suhteuttaminen ohjearvoihin ei aina ole kuitenkaan mielekäästä. Jos vertailuarvot ovat kovin väljiä tai eivät huomioi tarpeeksi esim. paikallisia olosuhteita, arvioinnin avulla saatava informaatio maan laadusta heikkenee.

3.3 Havaintopisteiden valinta peltolohkolla

Viljelijäkäyttöön suunnatuissa testisarjoissa joudutaan yleensä havainnointiin käytettävä aika suunnittelemaan mahdollisimman lyhyeksi, mikä vuoksi rinnakkaisia havaintopisteitä ei voi olla kovin montaa. Käytännössä joudutaan yleensä tinkimään tulosten tarkkuudesta, mutta tätä voidaan kompensoida jonkin verran havaintopisteiden huolellisella valinnalla. Yleensä käytettävissä on ainakin tieto maalajin muuttumisesta peltolohkolla, mutta viljelijällä on yleensä jonkinlainen käsitys myös maan rakenteesta esiintyvistä vaihtelusta satovaihteluiden, muokkautuvuuden tai sateen yhteydessä esiintyvien lätäköiden perusteella. Useimmissa testisarjoissa havaintopisteiden määrä ja sijoittelu määräytyykin pitkälti näillä perusteilla.

Myös arvioinnin tavoitteet voivat ohjata havaintopisteiden sijoittelua: halutaanko tutkia pellon keskimääräistä maan laatua vai ongelma-alueita (Sarrantonio ym. 1996). Ainakin aloittelevalla maan laadun havainnoitsijalle on tärkeää saada tietoa millainen on hyväkuntoinen ja toisaalta heikkokuntoinen peltomaa. Erityisesti aistinvaraisiin havaintoihin perustuissa testisarjoissa on tärkeää, että havaintojen tekijällä on kokemusta maan laadun mahdollisesta vaihtelusta. Joskus on mielekästä ottaa huomioon näytepisteiden valinnassa myös viljelytoimenpiteiden kohdistuminen vain osaan lohkoa. Esimerkiksi monivuotisten kasvien riviviljelyssä maatalouskoneilla on vakiintuneet ajoreitit (rivivälit), joissa maan rakenne voi selvästi olla erilainen kuin taimiriveissä (Sarrantonio ym. 1996). Paikallisia eroja maan laadussa saattaa aiheuttaa myös kasvinjätteiden epätasainen sijoittuminen pellolla (Sarrantonio ym. 1996). Esimerkiksi kastelierot ja niiden luomat makrohuokokset voivat keskittyä paikkoihin, joissa kasvinjätettä on runsaammin (Pérès ym. 1998) tai salaojien läheisyyteen (Nuutinen ym. 2001).

Suosituksien mukaan havaintopisteiden määrästä vaihtelevat testisarjoittain ja testisarjojen sisälläkin testeittäin yhdestä aina viiteentoista peltolohkoa tai maalajia kohti. Mikään testisarjoista ei varsinaisesti huomioi pellon pinta-alaa näytepisteiden määrää arvioitaessa. Vähiten havaintopisteitä neuvotaan käymään läpi, kun kyseessä on havaintokuopasta tehtävät havainnot tai mittaukset. Joidenkin testisarjojen mukaan (lapiodiagnoosi ja SOILpak) yksikin havaintokuoppa riittää, jos viljelykasvin satoisuus on tasaista peltolohkolla (McKenzie 1998a, Rajala 2002). Kuoppien kaivaminen on yleensä työlästä, mikä rajoittaa kohtuullisessa ajassa läpi käytäviä näytteitä. Arvioinnin työläisyys vaikuttaisi rajoittavan läpikäytävien näytepisteiden määrää myös SQTk:ssä, sillä menetelmä sisältää paljon erillisiä mittauksia.

Joissakin tapauksissa (SOILpak) annetaan erilliset ohjeet näytepisteiden määrästä viljelykierron vaiheesta riippuen. SOILpakissa viljelykierto vaikuttaa myös näytepisteiden sijoitteluun: ennen uuden puuvillakasvuston perustamista voidaan näytepisteet sijoitella ruudukon muotoon, mutta jo

perustetulla viljelmällä havaintokuopan sijoittelussa kannattaa huomioida satoisuus ja peltoliikenteen kohdistuminen tietyille alueille.

Liebig ym. (1996) ovat tutkineet näytepisteiden määrän vaikutusta SQTk antamien tulosten luotettavuuteen. Tulosten mukaan yksikin näytepiste on riittävä pH, nitraatti- ja vesipitoisuuden arviointiin, mutta johtokyvyn ja maanhengityksen suhteen on merkitystä sillä koostuiko näyte yhdestä vai useammasta näytepisteestä. Sarrantonio ym. (1996) antavat yleisohjeen, että testisarja (SQTk) tulisi suorittaa vähintään kolmessa kohtaa maalajia tai viljelytapaa kohden. Jos siis maalaji vaihtuu tarkasteltavan peltolohkon sisällä, kannattaa rinnakkaishavainnot tehdä maalajikohtaisesti (USDA 1999b). Maan laadusta johtuvien ongelmien syitä selvitetäessä valitaan luonnollisesti pellon ongelmakohtia, mutta keskimääräistä pellon kuntoa arvioitaessa valitaan keskinkertaisesti satoa tuottavia alueita (USDA 1999b). VSA opastaa havainnoimaan maan laatua 3-4 kohdasta peltolohkolla (Shepherd 2000). Jos kuitenkin vaihtelu peltolohkolla on oletettavasti suurta tai tuloksia halutaan käsitellä tilastollisin menetelmin, näytepisteitä pitäisi olla enemmän (Sarrantonio ym. 1996). Wisconsin arviointikortissa havaintopisteiden määrästä tai sijoittelusta ei anneta suosituksia, mutta useimmissa muissa paikallisissa korteissa suositellaan kaivamaan havaintokuoppia enemmän kuin yksi. Mittausmenetelmästä riippuen joissain tapauksissa näytteiden edustavuutta voidaan parantaa yhdistämällä useammasta pisteestä otetut näytteet (USDA 1999b, Beare ym. 2001).

Jos maan laadussa tapahtuvia muutoksia halutaan seurata samalta pellolta, luontevinta on käyttää samoja näytepisteitä. Tämä mahdollistaa muutosten luotettavan havaitsemisen vähäisemmillä näytepisteillä, kun pellon sisäisen hajonnan vaikutusta voidaan vähentää. Useimmat testisarjoista suosittelivatkin tallentamaan näytepisteiden sijainnin joko suurin piirtein peltolohkokartalle (USDA 1999b, Beare ym. 2001, Berglund ym. 2002) tai tarkemmin koordinaattien avulla GPS (Global Positioning System) – paikantimilla (McKenzie 1998a). Havaintoja ei voida kuitenkaan tehdä täysin samasta pisteestä, koska havaintojen teko sinänsä on häiriötekijä tuleville mittauksille. Maan rakenteen arvioinnin yhteydessä kaivettava havaintokuoppa rikkoo rakenteen ja sekoittaa maakerrokset, jolloin havaintokuopan kohtaa tulee välttää seuraavalla arviointikerralla (McKenzie 1998a, Berglund ym. 2002). Näytepisteiden mahdollisimman tarkkaa tallentamista helpottavat automaattisten paikannusjärjestelmien yleistyminen ja käytön helpottuminen. GPS-laitteiden hinnat laskevat ja kannettavuus helpottuu, kun tekniikka kehittyy. Yksi paikannuksen eduista tulevaisuutta ajatellen on maan laadun seurannasta saatavan tiedon hyödyntäminen täsmäviljelyn välineenä, esim. viljelysuunnitelman tekemisessä.

4 Maan laadun mittarit testisarjoissa

Yleisesti ottaen voi sanoa, että testisarjoissa maan laatua kuvataan suhteellisen monipuolisin havainnoin tai testein. Mittareiden määrä vaihtelee testisarjoissa 12-43, kun Doran & Parkin (1994) esittävät mittarien vähimmäismääräksi 13. Testisarjat ovat yleensä painottuneet kuvaamaan maan laatua kasvintuotannon näkökulmasta. Valitut mittarit yleensä kertovat maan kasvukunnosta, kun minimitestisarjat on rakennettu silmälläpitäen myös viljelyn kestävyttä (sustainability). Toisaalta on perusteltua määritellä ja rajata maan laadun mittaamisen tavoitteet ja valita mittarit sen mukaan (USDA 2001). USDA (2001) tulkitseekin maan laadun minimitestisarjan esimerkkinä tarvittavista mittareista, jos halutaan saada perusteellinen kuvaus tutkittavasta maasta. Se ei välttämättä kuitenkaan sisällä kaikkia paikallisiin oloihin tai viljelymenetelmiin nähden relevantteja mittareita (USDA 2001). Esimerkiksi maan suolaantumisen kertova mittari ei ole tarpeen alueilla, joilla suolaantuminen on hyvin epätodennäköinen uhka maan laadulle. Testisarjoihin valitut mittarit, kuten pH, johtokyky ja maan vedenjohtavuus, ovat usein samoja kuin tutkimuskäytössäkin. Kuitenkin biologisten mittareiden kohdalla testisarjojen käyttämät mittarit poikkeavat yleisesti suositeltavista mittareista.

Paitsi mittareiden määrä ja edustavuus, myös niiden mittaustarkkuus on tärkeä näkökulma tilalle sopivia mittareita arvioitaessa. Kuvailevat, laadulliset mittarit luokittelevat maan ominaisuuksia ja perustuvat yleensä aistinvaraisiin havaintoihin. Esimerkki luokittelevasta maan laadun arviointitavasta ovat ns. pisteytyskortit (Soil Quality Score Cards), jossa kullakin mittarilla on karkea järjestysasteikko. Yhtä mittarin luokkaa vastaa sanallinen kuvaus tai mittaustuloksen vaihteluväli, joka kertoo hyvästä, keskinkertaisesta tai huonosta maan laadusta. Pisteytyskorttien käyttö ja tulosten tulkinta on helppoa, mikä mahdollistaa laajan käyttäjäkunnan. Maan laadun arvioijan ei tarvitse suorittaa tarkkoja mittauksia, mikä tekee menetelmästä yleensä myös nopean. Pisteytyskorttien lisäksi myös muissa testisarjoissa osa mittareista on luokittelevia. Maan rakennetta kuvaavista mittareista huomattava osa perustuu aistinvaraisiin havaintoihin. Tämä on yleensä riittävä tarkkuus esim. maalajin määrittämiseksi tai murujen muodon kuvaamiseksi. Luokittelevat mittarit ovat karkeita, mutta niiden määrällä voidaan arviointimenetelmän herkkyyttä parantaa (Hulugalle ym. 1999). Huonona puolena luokittelevissa mittareissa on niiden riippuvuus arvioijasta: hänen kokemuksestaan ja subjektiivisesta näkemyksestään.

Tarkkoja, määrällisiä mittauksia käytettäessä testaajasta johtuva virhe on yleensä pienempi, mutta kustannukset ja ajankäyttö yleensä suurempia (USDA 2001). Tulos ilmoitetaan välimatka- tai suhdeasteikolla, jolloin voidaan havaita pienempiä eroja kuin luokittelevalla asteikolla. Tällaisia määrällisiä mittareita käyttävä testisarja on amerikkalainen Soil Quality Test Kit. Esimerkiksi pellon vedenjohtavuutta kuvataan Wisconsinin maan

terveyskortissa viljelijän kokemuksen perusteella olemattomaksi, hitaaksi tai hyväksi (Romig ym. 1996). SQTk puolestaan opastaa mittamaan vedenjohtavuutta pellolla: maahan upotetun renkaan sisään kaadetun veden imeytymisaika merkitään ylös, jolloin saadaan tarkka mittaustulos siitä kuinka monta cm vettä maa pystyy imemään tunnissa. Suorat mittaukset ovat yleensä työläämpiä ja hitaampia suorittaa kuin aistinvaraiset luokittelevat havainnot. Arvioinnin tekeminen vaatiikin yleensä jonkinlaista koulutusta menetelmän käyttöön. Etuna on kuitenkin arvioijasta riippuvan virheen vähäisempi osuus, jolloin tuloksista tulee vertailukelpoisempia. USDA (2001) suosittelee maan laadun mittauksen perustamista määrällisiin menetelmiin ainakin silloin, kun on tarkoitus saada vertailukelpoista aineistoa useamman ihmisen tekemistä arvioinneista tai verrata tuloksia ohjearvoihin. Jos käytetään luokittelevia mittareita, eri arvioijien mittaustuloksia ei tulisi verrata toisiinsa (USDA 2001, Ditzler & Tugel 2002). Käytännössä tämä rajoittaa viljelijöiden tekemien testausten käytön vain tilan sisällä tehtäviin vertailuihin.

4.1 Maan kemialliset ominaisuudet

Kemiallisia ominaisuuksia eli viljavuutta on pelloilta mitattu pisimpään. Määrittämiseen kuuluu eloperäisen aineksen, pH:n ja johtokyvyn sekä liukoisten pääravinteiden mittaaminen. Minimitestisarjoissa suositellaan lisäksi mittaamaan liukoisen typen pitoisuutta maasta (Doran ja Parkin 1994, Larson ja Pierce 1994). Jotkut tutkijat esittävät tarpeelliseksi myös epäiltyjen toksisten aineiden pitoisuuksien sekä typen eri muotojen mittaamisen (Arshad & Martin 2002).

Viljavuusmäärittysten teettäminen on ohjeistettu joissakin tilakäyttöön tarkoitetuissa testisarjoissa muttei kaikissa (Taulukko 3). Ilmeisesti ajatuksena on ollut, että viljavuutta seurataan tiloilla jo säännöllisesti, eikä erillistä ohjeistusta näytteiden ottamiseksi tarvita. Viljavuusmäärittäykseen saattaa olla myös erillinen opas, kuten Australiassa NUTRIpak SOILpakin rinnalla. Kemialliset analyysit muodostavat yleensä testisarjoissa osuuden, jota ei toteuteta pellolla, vaan määritykset kehoitetaan tilaamaan analyysilaboratoriosta.

Maan eloperäisen aineksen määrää pidetään tärkeimpänä yksittäisenä maan laadun mittarina (Elliott 1997). Sen avulla voidaan kuvata maan yleistä viljavuutta, arvioida rakennetta ja vedenpidätysominaisuuksia. Toisaalta on esitetty, että eloperäisen aineksen kokonaismäärässä muutokset tapahtuvat hitaasti (Sikora ym. 1996), joten sen arvo herkkänä mittarina on kyseenalainen. Eloperäisen aineksen määrittäminen testisarjoissa suositellaan yleensä tehtäväksi muiden kemiallisten määritysten ohessa laboratoriopalveluna, mutta joissain tapauksissa (MSI) arviointi opastetaan tehtäväksi pellolla värin perusteella. Myös Suomessa viljavuustutkimuksen

aistinvarainen multavuusluokitus kuvaa eloperäisen aineksen määrää karkeammin kuin analyysimenetelmät, mikä vaikeuttaa muutosten havaitsemista. Toisaalta myös ne testisarjat, joissa eloperäinen aines suositellaan määritettäväksi laboratorioanalyysin avulla, suhtautuvat sen mittariarvoon varauksella. SQMS lukee eloperäisen aineksen määrän selkeästi hitaasti muuttuviin, luontaisiin maan ominaisuuksiin. Myös SOILpak pitää eloperäisen aineksen kokonaismäärää epäherkkänä mittarina ja toteaa, että sen biologisesti aktiivinen osa olisi parempi mittari. Yksinkertaisia menetelmiä tämän aktiivisen osan määrittämiseksi onkin kehitteillä (esim. Weil ym. 2003).

Johtokykyä käytetään amerikkalaisten ja australialaisten testisarjoissa maan suolaantumisen mittarina. SQTk opastaa johtokyvyn pikamittaukseen pellolla taskukokaisen johtokykymittarin avulla. SOILpakissa suolaantumista arvioidaan joko laboratoriossa teetettävällä johtokykymittauksella tai pellolla mittaamalla.

Ravinneanalyysijä ja maan pH:ta on yleisesti käytetty kuvaamaan ravinteiden saatavuutta viljelykasville. Liukoisessa muodossa olevat ravinteet muodostavat kuitenkin samalla huuhtoutumisriskin, joten liiallista määrää voidaan pitää mittarina uhkasta ympäristölle. Erityisesti liukoisessa muodossa olevaa typpeä (nitraatit, ammonium) voidaan hyödyntää arvioitaessa huuhtoutumisriskiä. Liukoisen typen pitoisuuden käyttöön maan laadun mittarina testisarjat suhtautuvat eri tavoin. Typpitason seurantaan kehottavat lähinnä amerikkalaiset testisarjat: SQTk opastaa nitraattien määrittämiseen pikatestinä typpiliuskojen avulla sekä maanäytteestä että pellolta suotautuneesta vedestä. Testin avulla halutaan siis kuvata sekä typen saatavuutta kasveille että pellolta huuhtoutuvan typen määrää. Terveyskorkeissa typpi määritetään muiden pääravinteiden ohella laboratoriossa, mutta tulosta hyödynnetään karkeasti ravinteiden saatavuuden mittarina: arvioidaan rajoittaako jokin ravinteista (N, P, K) selvästi kasvien kasvua, onko ravinnetaso yleisesti alle suositusten vai suositustasolla. Ravinmääriä voidaan hyödyntää (kationit) myös maan rakenteellisia ominaisuuksia kuvattaessa. SOILpakissa vaihtuva Na –pitoisuus, Ca/Mg –suhde sekä elektrokemiallinen stabiilisuus –indeksi määritetään maan dispergoitumistestin tulosten tueksi.

Pellolla toteutettavia pikatestejä kemiallisten ominaisuuksien määrittämiseksi ei testisarjoissa yleisesti suosita. Syitä tähän voi vain arvailla, sillä testisarjoissa ei yleensä perustella testaustapojen valintoja. Testien saatavuus ei enää ole ongelma, sillä nykyään on olemassa pikatestejä useimmista viljavuustutkimuksen sisältämistä määriyksistä (Väinö Mäntylähti 2004, suull. tiedonanto). Suomessa valmistetaan ja myydään typpisalkkua maan nitraattitypen määrittämistä varten. Nitraattien pikamääritys on katsottu tarpeelliseksi, koska pitoisuudet muuttuvat nopeasti kasvukauden aikana. Sen

Taulukko 3. Maan kemiallisten ominaisuuksien käyttö maan laadun mittarina testisarjoissa. Suluissa olevat ovat vaihtoehtoisia/vapaaehtoisia testejä.

Testisarjan nimi	Viljavuus- tutkimus	SOILpak for Cotton growers	Wisconsin Soil Health Scorecard	Soil Quality Test Kit (SQTk)	Soil Quality Management System (SQMS)	Minimitesti -sarja (Doran & Parkin 1994)
Mitattava ominaisuus						
pH	LA	MI tai LA	LA	MI	LA	x
Johdotkyky	LA	LA	-	MI	-	x
Eloperäinen aines	LA	LA	LA	-	LA	x
Liukoinen N	-	(LA)	LA	MI	-	x
P, K	LA	(LA)	LA	-	LA	x
Ca, Mg, K	LA	(LA)	-	-	LA	-
Hivenravinteet	(LA)	-	LA	-	-	-
Vaihtuva Ca/Mg -suhde	-	LA	-	-	-	-
Vaihtuva Na	-	LA	-	-	-	-
CaCO ₃	-	LA	-	-	-	-
Kationinvaihtokyky	-	LA	-	-	-	-
Elektrokemiallinen stabiilisuus	-	LN	-	-	-	-
Suolaantumisen	-	AV (ja LA)	-	MI	-	-
Torjunta-ainejäämät	-	(LA)	-	-	-	-

LA = laboratorioanalyysi, MI = mittaus pellolla mittavälineiden avulla, LN= laskennallinen, määritetään toisesta mittauksesta, AV = aistinvarainen havainto pellolla

sijaan muiden ravinteiden osalta viljavuustutkimus palvelee suomalaisia viljelijöitä hyvin. Kaikki viljavuustutkimusta tarjoavat analyysilaboratoriot käyttävät samoja menetelmiä ja tulokset osataan tulkita suhteellisen tarkasti (ks. kohta 2.1.1).

Tilanne ei ole yhtä hyvä kaikkialla maailmassa (Lee ym. 1991, Peverill 1993). Esimerkiksi Australiassa maa-analyysien teettäminen laboratorioissa ei ole kovin yleistä (Peverill 1993). Peverillin (1993) mukaan osana tässä saattaa olla kustannus- ja ajankäyttösyöt, mutta testitulosten saaminen koetaan myös hitaaksi eikä kaupallisten laboratorioiden tuloksiin aina luoteta. Australiassa laboratoriot käyttävät erilaisia määrittymenetelmiä, mistä johtuen eri laboratorioiden maa-analyysituloksia voi olla vaikea verrata (Australian Cotton CRC 2001). Myös analyysitulosten tulkinnessa eli muuttamisessa lannoitusosuutuksi on puutteita (Peverill 1993). Pikatesteistä on laboratorioanalyysien kehittämisen ohella etsitty ratkaisua maan ravinnetilan seurannan yleistymiselle (Rayment 1993, Handson 1996). Pikatestit ovat yleensä helppokäyttöisiä ja saattavat antaa tarkkojakin tuloksia, mutta juuri näennäisen yksinkertaisuuden vuoksi saattaa syntyä huolimattomuudesta johtuvia määrittymisvirheitä (Peverill 1993).

4.2 Maan fysikaaliset ominaisuudet

Maan fysikaalisilla ominaisuuksilla eli rakenteella on suuri vaikutus moniin muihin maan toimintoihin ja viljelykasvien kasvuedellytyksiin. Maalaji vaikuttaa oleellisesti maan kykyyn pidättää ravinteita ja vettä sekä vastustaa epäedullisia muutoksia kuten eroosiota. Maalaji ei ole varsinaisesti maan laadun mittari, vaan sen avulla arvioidaan luontaisten ominaisuuksien asettamia rajoja maan laadulle eli muiden mittareiden mahdollista vaihtelua. Käytännössä maalaji ohjaa vertailualueen tai -arvojen valintaa useimmissa testisarjoissa. Esimerkiksi arvioitaessa viljelytoimenpiteiden vaikutusta maan laatuun tulisi verrattavien peltolohkojen maalajin olla sama (USDA 1999b). Maalajia käytetään myös ohjearvojen luokitteluperusteena: savimailla pidetään hyvänä vedenjohtavuutena huomattavasti pienempiä arvoja kuin hietamailla (USDA 1999b).

Minimitestisarjassa suositellaan, että maan laadun mittaamisen yhteydessä määritettäisiin maan fysikaalisista ominaisuuksista maalaji, pintamaan paksuus ja juuristosyvyys, irtotiheys sekä maan vedenläpäisevyys ja –pidätyskyky (Doran ja Parkin 1994, Larson ja Pierce 1994). Jotkin tutkijat pitävät lisäksi tärkeänä lisätä listaan mururakenteen (ks. Arshad ja Martin 2002).

Juuristosyvyys tai pintamaan paksuus kuvaavat juuristolle käyttökelpoista tilaa maassa ja eroosion aiheuttamaa maan pois kulkeutumista. Vedenjohtavuuden mittaaminen kuvastaa ensisijassa maan rakennetta, mutta myös eroosioherkkyyttä ja ravinteiden huuhtoutumisriskiä. Maan

vedenpidätyskykyä ei välttämättä tarvitse mitata suoraan, vaan se voidaan arvioida irtotiheyden, maalajin ja eloperäisen aineksen määrän perusteella (Doran & Parkin 1994). Irtotiheyden avulla voidaan karkeasti arvioida maan tiiviyttä juuriston kasvua rajoittavana tekijänä tai laskea maan kosteus ja huokosten osuus. Irtotiheysmittausta voidaan hyödyntää myös muunnettaessa painon perusteella tehtyjä mittauksia tilavuusyksikköön. Tulosten ilmoittaminen maatilavuutta kohti on ”oikeampi” tapa kuin painoyksikköä kohti ainakin silloin kun verrataan tiiviydeltään kovin erilaisia peltoja (Doran & Parkin 1994). Mururakenteella tarkoitetaan maahiukkasten yhteenliittymistä suuremmiksi yksiköiksi: särmikkäiksi kokkareiksi tai pääasiassa biologista alkuperää oleviksi pyöreämmiksi muruiksi. Hyvästä mururakenteesta kertoo ruokamultakerroksen yläosan koostuminen ns. aidoista pyöreistä muruista, kun taas huonorakenteista maata kuvaa suuret huonosti rikkoutuvat särmikkäät kokkareet tai jopa levymäinen rakenne. Mururakenteen havainnointi palvelee maan laadun arvioinnissa yleisen rakenteen kuvaamista ja eroosionkestävyyden arviointia sekä toimii taimettumisen onnistumisen ja viljelytoimenpiteiden vaikutuksen mittarina.

Tiloille kehitetyissä testisarjoissa maan rakennetta kuvaavat mittarit ovat tärkeässä asemassa (Taulukko 4). Rakenteessa tapahtuvat muutokset ovat yleensä näkyviä ja sen vuoksi viljelijälle helpompia havainnoida ja mieltää tärkeäksi kuin maan eliöt ja niiden toiminta. Viljelijät pitävätkin fysikaalisia ominaisuuksia yleensä tärkeimpinä maan laatua kuvaavia tekijöitä, koska ne vaikuttavat eniten viljelytoimenpiteisiin kuten kyntöajankohtaan (Wander ym. 2002). Testisarjoissa maan rakenteellisia ominaisuuksia kuvataan pääasiassa aistinvaraisin, luokittelevin havainnoin. Useimmissa tapauksissa peltoon kaivettavasta havaintokuopasta muodostetaan yleiskuva maan tiiviydestä, kerrostuneisuudesta ja mururakenteesta. Vaikka SQTk ja SQMS pyrkivätkin testaamaan maan laatua pääasiassa määrällisin mittauksiin, rakenteen yleinen kuvailu tapahtuu myös niissä aistinvaraisesti. Aistinvaraista rakenteen kuvailua täydennetään usein tarkemmilla mittauksilla. Myös SOILpak esittää aistinvaraisen arvioinnin tueksi useita tarkempia testejä, mutta niitä ei suositella rutiinianalyseiksi. Viljelijälle kerrotaan testien heikkouksista ja annetaan ohjeita siitä, millaisissa tilanteissa testit voisivat olla hyödyllisiä. Aistinvarainen arviointi onkin maan rakenteen havainnoinnissa varsin käyttökelpoinen, sillä se on niin riippuvainen mittaajankohdasta kuin tarkemmat, määrälliset, mittaukset.

Rakennetta kuvaavien mittareiden suuren määrän vuoksi ne on seuraavassa jaettu kolmeen ryhmään sen mukaan mitä maan ominaisuutta tai toimintoa mittarilla pyritään kuvaamaan. On kuitenkin huomattava, että jako ei ole täysin yksiselitteinen, koska yksi mittari voi kuvata samanaikaisesti useita eri toimintoja.

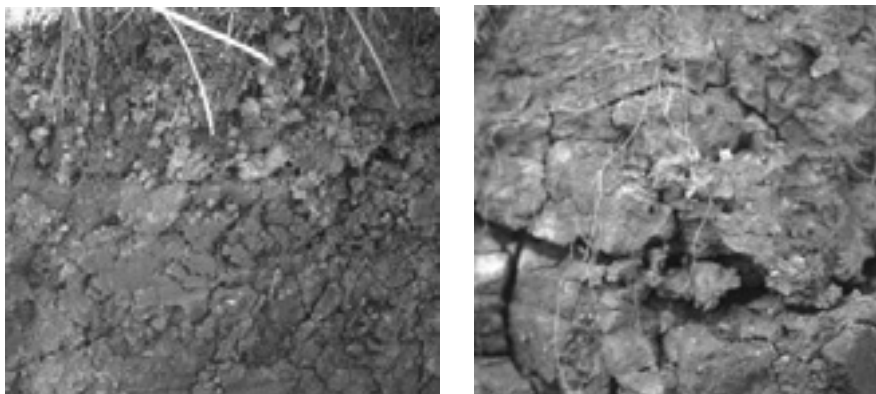
Taulukko 4. Esimerkkejä maan fysikaalisten ominaisuuksien mittaamisesta testisarjoissa. Suluissa olevat ovat vaihtoehtoisia/vapaaehtoisia testejä.

Testisarjan nimi	Lapio- diagnoosi	Visual Soil Assessment (VSA) under cropping	SOILpak for Cotton growers	Markstrukturu index (MSI)	Wisconsin Soil Health Scorecard	Soil Quality Test Kit (SQTk)	Soil Quality Management System (SQMS)	Minimitesti -sarja (Doran & Parkin 1994)
Mittattava ominaisuus	Mittari							
Yleinen rakenne	maalajiluokitus	-	AV	AV	-	AV	LA	x
	mururakenne	AV	-	AV	AV	-	AV	-
	murujen koko	-	AV	AV	-	AV	AV	-
	murujen muoto	AV	AV	AV	-	AV	AV	-
	murujen kestävyys	-	AV ja MI	-	-	MI	MI	-
	murujen sisärakenne	-	AV	-	-	-	-	-
Tiiviys	tiiviyyluokitus	-	AV	AV	-	-	AV	-
	tiiviyylkerrokset	AV	AV	AV	-	AV	AV	-
	väri ja/tai hajua	AV	-	AV	-	-	AV	-
	irtotiheys	-	(MI)	-	-	MI	MI	x
	huokosten määrä	AV	AV (tai MI)	AV	AV	LN	-	-
	lujuus	AV	(MI)	AV	AV	MI	MI	-
	rakenteen palautumiskyky	-	AV	-	-	-	-	-
Vesitalous	lätäköityminen	AV	-	-	-	-	-	-
	kosteus	AV	AV tai MI	-	-	LN	LN	x
	pintamaan vedenjohtavuus	AV	-	AV ja MI	AV	MI	-	x
	pohjamaan vedenjohtavuus	-	(MI)	MI	-	-	-	-
	vedenpidätyskyky	-	-	-	AV	-	MI	x
	veden täyttämät huokokset	-	-	-	-	LN	-	-
	tuulieroosio kynnettäessä	AV	-	-	-	-	-	-
Eroosio	maan pinnan rakenne	-	AV	-	AV	-	AV	-
	eroosiomerkit maan pinnalla	-	AV	-	AV	AV	AV	-
	pintamaan paksuus	-	AV	MI	AV	MI	-	x
	huuhtoutuminen	AV	-	-	-	-	-	-
	liettymisriski	-	-	-	-	MI	-	-

LA = laboratorioanalyysi. MI = mittavälineiden avulla mitattu eroosio. LN = laskennallinen. määritetään toisesta mittauksesta. AV = aistinvarainen havainto pellolla

Maalaji. Maalaji opastetaan useimmissa testisarjoissa määrittämään pellolla aistinvaraisesti muovailutestillä. SQMS kehottaa kuitenkin tilaamaan maalajimäärittäksen maa-analyysilaboratoriosta muiden määritysten ohessa. Myös Suomessa aistinvarainen maalajimäärittäminen kuuluu osana viljavuustutkimukseen, mutta myös tarkempi maalajitekoostumuksen mittaamiseen perustuva määrittäminen on tarjolla.

Yleinen rakenne ja tiivistyminen. Maan rakennetta kuvataan yleensä havaintokuopan seinämän tai maapaakun mururakennetta tarkastelemalla (Kuva 2). Tiiviissä tai kovin karkeissa kivennäismaissa tämä sekundäärirakenne ei ole selvästi kehittynyt. Jos rakenne koostuu ainakin osaksi kokkareista tai muruista, havainnoidaan yleensä ainakin niiden muotoa ja kestävyyttä, mutta myös kokoa mitataan. Rakenteen kestävyyttä arvioidaan mittaamalla murujen vedenkestävyyttä peltokäyttöön sovelletuilla testeillä kuten ASWAT –testillä (Aggregate Stability in Water) (Field ym. 1997). Beste ym. (2001) ja Rajala (2002) ovat lisänneet myös lapiodiagnoosiin yksinkertaisen testin mururakenteen kestävyuden arvioimiseksi. Muista testisarjoista poiketen SOILpak kehottaa tarkentamaan testin tuloksia laboratoriossa teetettävillä kationimäärittäyksillä (ks. kohta 4.1). Vaihtuvien natrium- ja magnesium –ionien suuren määrän tulkitaan kasvattavan dispersioriskiä. Maan muiden ionien tasapainottava vaikutus otetaan huomioon laskemalla elektrokemiallinen stabiilisuus (ESI) –indeksi ja määrittämällä kalsiumkarbonaatin määrä. Lisäksi SOILpakissa havainnoidaan kokkareiden sisärakennetta, joka kuvaa mm. huokoisuutta ja happitilannetta.



Kuva 2. Yleiskuva maan rakenteesta ja sen kerrostuneisuudesta saadaan peltoon kaivettavan havaintokuopan seinästä. Vasemmalla hyvärakenteisen ja oikealla heikkorakenteisen maan ruokamultakerrosta. (Kuvat Risto T. Seppälä)

Muru- ja kokkarehavaintojen perusteella määritellään joissakin testisarjoissa (SOILpak ja SQMS) rakenneluokitus, joka kuvaa lähinnä maan tiiviyyttä. Tiiviyyttä kuvataan useimmissa testisarjoissa myös lukuisilla muilla tavoilla, kuten huokosten määrällä, lujuudella (mekaaninen vastus) tai väri- ja hajumuutoksia havainnoimalla. Maan vastuksen havainnointiin perustuvissa määrittelyissä ongelmana on kuitenkin maan kosteuden vaikutus tulokseen. Erityisesti savimailla vastus kasvaa merkittävästi maan kuivussa, karkeilla mailla vaikutus ei ole aina niin selvä. Ongelmaa ei voida välttää muuntokertoimillakaan, koska sellaisia ei ole määritetty. SQTk mittaa tiivistymistä pellolla lähinnä irtotiheyden (tilavuuspainon) määrittelyllä, jonka avulla lasketaan mm. huokoisuus. Irtotiheys itsessään on hyvin karkea mittari, eikä siinä tapahtuvat muutokset vielä kerro maan toiminnassa tapahtuvista muutoksista. Sen avulla voidaan arvioida maan kokonaishuokoisuutta, mutta ei huokosten kokojakaumaa tai jatkuvuutta. Tiivistymiskerrosten sijainti maaprofiilissa on myös tärkeää (huomioitu lapiodiagnoosissa, SQTk:ssä ja SQMS:ssä).

SOILpak menee jälleen pisimmälle rakenteen kuvailussa: rakenteen palautumiskykyä tiivistymisen jälkeen arvioidaan maan pinnan halkeilua ja murtumispintoja havainnoimalla sekä kutistumistestin avulla. Yksinkertaisen kutistumistestin voi viljelijä suorittaa itse mikroaaltouunikuivausta apuna käyttäen, mutta australialaisissa maa-analyysilaboratorioissa on tarjolla nykyisin myös standardiolosuhteissa suoritettava kutistumistesti (COLE-testi).

Vesitalous. Maan vesitaloutta testisarjoissa arvioidaan lähinnä mittaamalla pintamaan vedenjohtavuutta infiltraatiotestillä (SQTk ja MSI). Se tapahtuu periaatteessa mittaamalla veden pinnan vajenemisnopeutta maahan upotetun kehikon sisällä. Vedenläpäisevyyttä pidetään yleensä hyvänä maan rakenteen toimivuuden mittarina. Jotkut testisarjat (SQMS ja SOILpak) eivät kuitenkaan suosittele infiltraatiotestin käyttöä, vaan pitävät sitä epätarkkana ja huonosti tilakäyttöön soveltuvana menetelmänä (Beare ym. 1997, McKenzie 1998a). Wisconsinin maan laadun arviointikortissa ja lapiodiagnoosissa vedenjohtavuutta arvioidaan yleisellä tasolla: kuinka helposti vesi yleensä sateen jälkeen imeytyy ja esiintyykö lätäköitymistä.

Vaikka vedenpidätyskyvyn mittaaminen on myös listattu tärkeäksi maan laadun mittariksi (mm. Doran & Parkin 1994), sitä ei yleensä mitata suoraan pellolla. Vain SQMS opastaa vedenpidätyskyvyn mittaamiseen kenttäolosuhteissa. Mittaus on aikaa vievä ja vaatii erityistä laitteistoa. Lisäksi vedenpidätyskyky voidaan tarvittaessa arvioida epäsuorasti muiden mittausten avulla. Laskennallista määrittämistä ei kuitenkaan käytä yksikään testisarjoista.

Eroosio/eroosioherkkyys. Useimmissa testisarjoissa havainnoidaan merkkejä eroosiosta. Yleisimmin havainnoidaan eroosion merkkejä maan pinnalta ja mitataan ruokamultakerroksen paksuus, joka luonnollisesti ohenee maa-aineksen erodoituessa. SOILpak kehottaa lisäksi tarkastelemaan

esiintyykö maan pinnassa kuorettumista ym. kovettumista, joka saattaa olla merkki rakenteen huonosta eroosionkestävyydestä. Preuschen (1992) kehottaa lisäksi kiinnittämään huomiota merkkeihin maa-aineksen huuhtoutumisesta syvempiin maakerroksiin. Tästä kertovat esim. erilaiset saostumat. Maakokkareiden hajoamisherkkyyttä sateen vaikutuksesta eli maan pinnan eroosioherkkyyttä kuvataan liettymistestillä (SQTk ja jotkut SOILpakit). Testi mittaa kuivan maakokkareen hajoamista pienempiin osiin kastuessaan (Hughes 1999).

4.3 Maan biologiset ominaisuudet

Biologisia maan toiminnan mittareita on periaatteessa kahden tyyppisiä. Ensinnäkin jonkin eliöryhmän esiintymistä tai runsautta voidaan pitää osoituksena maan laadusta. Toiseksi voidaan mitata jonkin oleellisen toiminnan nopeutta. Doran ja Parkin (1994) esittämässä minimitestisarjassa on listattu mikrobibiomassa suositeltavaksi biologiseksi mittariksi. Mikrobien määrä kertoo niiden toimintapotentiaalista ja reagoi herkästi hajotettavan eloperäisen aineksen määrässä ja hajotusolosuhteissa tapahtuviin muutoksiin (Doran & Parkin 1994, Sparling 1997). Mikrobeja esiintyy yleisesti kaiken tyyppisissä maissa, mutta maan eliöstön koostumus (mikrobi- ja eläinlajisto) vaihtelee huomattavasti paikasta toiseen. Esimerkiksi kasvitaudinaiheuttajien esiintyminen ja haitallisuus on kasvilajiriippuvaista, minkä vuoksi soveltuvuus yleiskäyttöiseksi mittariksi on epätodennäköistä (Hornby & Bateman 1997). Myös useimpien maaperäeläinten esiintyminen on paikallista. Lähinnä alkueläimet, sukkulamadot ja lierot ovat potentiaalisia maan laadun mittareita, sillä niitä esiintyy yleisesti viljelymaassa, ne reagoivat muutoksiin ja ovat oleellisia eliöitä maan prosesseja ajatellen (Blair ym. 1996, Doube & Schmidt 1997, Gupta & Yeates 1997). Mikrobeista puolestaan mykorritsasienet ovat yleisiä muodostaen symbioosin useimpien viljelykasvien kanssa. Mykorritsat ovat oleellisia kasvin ravinteiden saannin sekä stressin siedon kannalta ja kertovat viljelytoimenpiteissä tapahtuneista muutoksista (Kling & Jakobsen 1998).

Maahengitys on eliöiden toiminnan mittaamiseen perustuvista mittareista yleisin minimitestisarjoissa (ks. Arshad ja Martin 2002). Maahengitys voidaan tulkita mittarina eloperäisen aineksen hajotuksen ja ravinteiden vapautumisen nopeudesta (Parkin ym. 1996). Maan hengitys muodostuu juurten hengityksestä sekä eläinten ja mikrobien suorittamasta eloperäisen aineksen hajotuksesta. Tutkimustarkoitukseen kehitetyillä menetelmillä pyritään mittaamaan lähinnä mikrobien hajotustoimintaa (Doran & Parkin 1994). Kenttämittauksella ei mikrobien osuutta voida erotella juurihengityksestä (Parkin ym. 1996), mutta mittauksen ajoituksella voidaan juurihengityksen osuutta vähentää. Pellolla toteutettavissa mittauksissa hengitysaktiivisuus on kuitenkin yleensä suurempaa kuin laboratoriomittauksissa (Liebig ym. 1996). Aktiivinen hajotustoiminta on periaatteessa hyvän maan ominaisuus, mutta hengitysmittauksen tulkinta ei ole kuitenkaan täysin selvää (Parkin ym. 1996). Nopea hajotustoiminta

kertoo nimittäin myös kiihtyneestä eloperäisen aineen häviämisestä maasta, mikä on maan laadun kannalta ei-toivottava ominaisuus (Parkin ym. 1996). Doran & Parkin (1994) lisäävät minimitestisarjaan myös potentiaalisesti mineralisoituvan typen määrittämisen. Sen avulla voidaan kuvata maan viljavuutta ja typen vapautumista eloperäisestä aineksesta (Doran & Parkin 1994).

Tilakäyttöön tarkoitetuissa testisarjoissa biologisina mittareina ei yleensä ole käytetty yllä esitettyjä mikrobeihin perustuvia mittareita. Kaikissa testisarjoissa kyllä on vähintään pari biologista mittaria, mutta ne kuvaavat yleisimmin lierojen määrää ja juurten kasvutapaa ja kuntoa (Taulukko 5). Ainoastaan SQTk sisältää yhden suositeltavista yleismittareista. Testisarjassa opastetaan maahengityksen määrittäminen pellolle asennettavan ilmatiiviin kammion avulla, johon annetaan kertyä maasta vapautuva hiilidioksidi (Kuva 3). Hiilidioksidin määrä voidaan mitata kenttäkäyttöön soveltuvalla CO₂-mittarilla (Parkin ym. 1996). Koska maahengitys vaihtelee suuresti lämpötilan ja kosteuden mukaan, vertailukelpoisten tulosten saamiseksi käytetään korjauskertoimia. Muissa testisarjoissa kuvataan hajotustoiminnan vilkkautta lähinnä kasvinjätteiden hajoamisastetta arvioimalla. Preuschen (1992) opastaa lapiodiagnoosin yhteydessä havainnoimaan lisäksi esiintyykö juurten ja lierokäytävien ympärillä tummaa kerrosta, joka myös kertoo vilkkaasta hajotustoiminnasta.

Useimmissa testisarjoissa lierojen määrä arvioidaan karkeasti luokittelemalla (vähän/ei lainkaan, keskinkertaisesti, paljon), mutta SQMS ja SQTk pyrkivät tarkkoihin määriin (kpl/m²). Molemmissa testisarjoissa lierot erotellaan käsin 1/8-1/10 m² alalta kaivetusta maanäytteestä ja SQTk:ssä käytetään lisäksi syvälle kaivautuvien lajien (Suomessa kasteliero) esille saamiseksi sinappiliuosta, joka kaadetaan maanäytekuopan pohjalle. Uusiseelantilaisten menetelmällä tuskin saadaan esille syvemmällä eläviä lierolajeja, sillä maanäyte kaivetaan vain 20 cm syvyydestä.



Kuva 3. Maahengitystä voidaan mitata suoraan pellolla suhteellisen yksinkertaisin välinein. (Kuva Merja Mylly)

Taulukko 5. Maan biologisten ominaisuuksien käyttö maan laadun mittarina testisarjoissa. Suluissa olevat ovat vaihtoehtoisia/vapaaehtoisia testejä.

Testisarjan nimi	Lapio- diagnoosi	Visual Soil Assessment (VSA) under cropping	SOIL-pak for Cotton growers	Markstrukturu rindex (MSI)	Wisconsin Soil Health Scorecard	Soil Quality Test Kit (SQTk)	Soil Quality Management System (SQMS)	Minimitesti -sarja (Doran & Parkin 1994)
Mittattava ominaisuus								
Mittari								
Hajotustoiminta	AV	-	-	AV	AV	-	-	-
Kasvinjätteiden hajoaminen								
Maaperäeläinten esiintyminen	AV	AV	AV	AV	AV	MI	AV ja MI	-
Lierot								
Muut maaperäeläimet	AV	-	-	-	-	-	-	-
Mikrobiston määrä	-	-	-	-	-	-	-	x
Mikrobibiomassa								
Mikrobiston aktiivisuus	-	-	-	-	-	-	-	x
Potentiaalisesti mineralisoituva N								
Maahengitys	-	-	-	-	-	MI	-	x
Juuristo	AV	AV	AV	AV ja LN	AV	AV	AV	-
Juuriston kasvu ja terveys								
Symbiontiset typensitojabakteerit	AV	-	-	-	-	-	-	-
Mykorrhiza	-	-	(LA)	-	-	-	-	-

LA = laboratorioanalyysi, MI = mittaus pellolla mittavälineiden avulla, LN= laskennallinen, määritetään toisesta mitauksesta, AV = aistinvarainen havainto pellolla

Vaikka biologisia muuttujia käytetään testisarjoissa, ne tulkitaan yleensä maan rakenteen mittariksi. Lierojen esiintyminen kertoo paitsi maan omia tärkeitä toimintoja ylläpitävistä viljelymenetelmistä, myös makrohuokosten määrästä ja vedenjohtavuudesta (ks. tulosten tulkinta). Esim. Preuschen (1992) pitää juurten kasvutapaa ja maaperäeläinten esiintymistä tärkeänä osoituksena maan rakenteesta. Preuschen (1992) katsoo, että maaperäeläimistä lähinnä kastelierojen ja niiden käytävien esiintyminen kertoo hyvästä maan rakenteesta. Havainnot juuriston kasvutavasta, kuten mutkittelusta ja haaroittumisesta käytetään testisarjoissa yleensä osoituksena maan rakenteesta ja sen avulla etsitään tiivistymiskerroksia. Hyvä rakenteisessa maassa juuristo ulottuu yleensä jankkoon asti suhteellisen tasaisesti jakautuneena. Haaroittuminen on runsasta, jolloin pienten, aktiivisten, juurten osuus on suuri. Jos juuristo mutkittellee tai tekee vähän sivuhaaroja, maassa esiintyy tiiviitä kerroksia, joita juuristo ei pysty läpäisemään.

Maaperätutkimus on perinteisesti keskittynyt maan kemiallisten ja fysikaalisten tekijöiden kuvaamiseen. Sherwood ja Uphoff (2000) arvioivat, että vain 10% maaperätutkimuksesta on käsitelty maaperäbiologiaa viime vuosisadalla. Biologisten tekijöiden hyödyntäminen maan laadun arvioinnissa onkin vielä alkumetreillä. Mittareiden vähäisyys testisarjoissa kertoo toisaalta siitä, että muita maan ominaisuuksia pidetään edelleen tärkeämpinä, mutta myös siitä, että tieto biologisten ominaisuuksien merkityksestä on edelleen puutteellista puhumattakaan kenttäkäyttöön soveltuvista mittaamenetelmistä. Toisaalta viljelijähaastatteluiden perusteella amerikkalaiset viljelijät pitävät havainnot maan biologisista prosesseista ja eliöistä tärkeinä maan laatua kuvaavina mittareina (Romig ym. 1995). Myös Wander ym. (2002) raportoivat, että viljelijät ovat kiinnostuneita lisäämään tietouttaan maan biologisesta toiminnasta. Tämä tukee omalta osaltaan myös tilakäyttöön tarkoitettujen maan laadun biologisten mittareita kehittämistä.

Hankaluudet biologisten tekijöiden mittaamisessa ja tulkinnassa vaikeuttavat vielä niiden hyödyntämistä maan laadun arvioinnissa. Lierojen käyttö mittarina testisarjoissa johtuneet pitkälti niiden suhteellisen helposta havainnoinnista: suurikokoisina ne on helppo havaita ja karkea luokittelu lajilleenkaan ei ole kovin vaikeaa. Lisäksi niiden merkitys maassa on yleensä helppo mieltää. Sen sijaan esim. ankeroisten havainnointi pelto-olosuhteissa on tunnetuilla menetelmillä mahdotonta. Jo ankeroisten eristäminen maasta on aikaa vievää puhumattakaan niiden laskemisesta tai lajintunnistamisesta (Gupta & Yeates 1997). Maahengitys on niitä harvoja mikrobiologisia mittareita, jotka voidaan toteuttaa pelto-olosuhteissa. Muut mikrobiologiset menetelmät vaativat toistaiseksi laboratorioanalytiikkaa. Niitä käytetään lähinnä tutkimuksessa, sillä nykyiset määritykset vaativat tarkkuutta näytteiden käsittelyn ja säilytyksen suhteen. Pikamääritysmenetelmiä olisi kuitenkin mahdollista kehittää joko kenttäkäyttöön tai ainakin kaupallisten analyysilaboratorioiden käyttöön.

4.4 Epäsuorat maan laadun mittarit

Maan viljavuudessa tapahtuvat muutokset heijastuvat luonnollisesti viljelykasvien kasvuun ja satoisuuteen. Selvimmin näkyviä muutoksia kasvien kasvussa ja ulkonäössä aiheuttaa maan tiivistyminen ja sen seuraukset, kuten lätköityminen, sekä ravinteiden puutokset. Tiivistymisen seurauksena juuriston hapensaanti heikkenee ja juuriston on vaikeampi tunkeutua maakerrosten läpi, mikä nähdään myös kasvin maanpäällisten osien kasvun hidastumisena. Juuriston toiminnan heiketessä myös ravinteiden saanti hidastuu, mikä näkyy kasvuston erilaisina värivirheinä. Ravinteiden heikko saatavuus voi aiheuttaa samankaltaisia puutosoireita myös suoraan ilman tiivistymistä (Hale & Orcutt 1987). Samankaltaisia oireita voivat siis aiheuttaa erilaiset stressitekijät, jotka saattavat olla myös maan laadusta riippumattomia. Esimerkiksi kuivuus ja kylmästressi aiheuttavat kasvun hidastumista ja muutoksia kasvin ulkonäössä (McKersie & Leshem 1994). Tämän vuoksi kasvustohavaintojen käyttäminen maan laadun mittarina sisältää paljon epävarmuustekijöitä. Tieteellisessä tarkoituksessa maan laadun mittareiksi on yleensä hyväksytty vain suoria mittauksia maan ominaisuuksista ja prosesseista (Doran & Parkin 1994, Larson & Pierce 1994). Sen sijaan viljelijät mielellään arvioisivat maan laatua kasvien kasvun kautta (Romig ym. 1995).

Suhtautuminen epäsuoriin mittareihin vaihtelee testisarjoittain, eikä niitä käytetä kaikissa tapauksissa lainkaan (SQTk ja SQMS). Wisconsinin maan laatu -kortissa viljelykasvien kasvunopeutta, stressinsietokykyä, lehvästön väriä, satoisuutta ym. käytetään suoraan maan laadun mittareina (Romig ym. 1996). Epäsuorissa mittareissa mennään jopa niin pitkälle, että maan laatua arvioidaan tuotantoeläinten terveyden ja villieläinten esiintymisen kautta.

Puuvillan viljelijöille suunnatussa SOILpakissa versojen nivelväliä käytetään osoituksena mahdollisesta maan tiivistymisestä, mutta tulosten tulkintaan suhtaudutaan varauksella. Kasvustohavainnoista ei tehdä suoraan johtopäätöksiä maan tiivistymisestä, mutta lyhentyneet nivelvälit ja juuriston mutkittelu tai epämuodostuneisuus antavan aiheen epäillä, että kyseisellä kohdalla saattaa maa olla tiivistynyttä (McKenzie 1998a). Tiivistyminen todetaan kuitenkin suoraan maasta tehtävin havainnoin (ks. kohta 4.3). Kasveja käytetään SOILpakissa apuna myös maan suolaantumisen arvioinnissa havainnoimalla suolaa sietävien rikkakasvilajien esiintymistä. Lisäksi suositellaan, että maan ravinnetilaa kuvattaisiin mieluummin kasveista tehtävin ravinneanalysein kuin suoraan maasta mittaamalla. Tämä vaatii kasvilajikohtaiset ohjeet, jotta tulokset osataan tulkita.

Myös VSA:ssa kasvustohavaintoja käytetään apuna maan kunnan arvioinnissa. Taimettumisen tasaisuutta, kasvuston korkeutta, juuriston kuntoa ja sadon määrää hyödynnetään lähinnä arvioitaessa kuinka hyvin pellon satoisuus vastaa maan kunnan arvioinnin tuloksia (Shepherd 2000).

Myös viljelytoimenpiteitä voidaan pitää epäsuorana maan rakenteen mittarina. MSI pidetään sellaisia viljelytoimia tai niiden seurauksia, joihin viljelijä voi päätöksillään vaikuttaa. Positiivisina tekijöinä otetaan huomioon esim. eloperäisen aineksen lisäys ja negatiivisina esim. toistuvat maatalouskoneiden ajokerrat. Nämä pisteytetään viljelyjärjestelmäindeksiksi, joka muodostaa kolmasosan koko MSI:stä (Berglund ym. 2002). Viljelyjärjestelmäindeksiä voidaan tarkastella myös erillisenä, jolloin sen avulla voidaan esim. vertailla eri viljelykiertojen edullisuutta maan rakenteelle (Berglund 2002). Jos halutaan vielä tarkemmin eritellä mistä johtuen jokin viljelyjärjestelmä on parempi kuin toinen, indeksiä voidaan tarkastella osatekijöittäin. Berglundin (2002) antamassa esimerkissä 2-vuotisen nurmen sisällyttäminen sokerijuurikkaan viljelykiertoon parantaa oleellisesti maan rakenteen säilymisen edellytyksiä. Nurmen positiivinen vaikutus johtuu pitkälti ympärivuotisesta kasvipeitteisyydestä sekä laajasta juuristosta, joka kuivattaa maaprofiilia.

Terveyskorttien kehittämisen yhteydessä on käynyt ilmi, että viljelijät arvioisivat maan laatua mielellään viljelytoimenpiteiden kautta: esim. kuinka paljon viljelykiertoa tilalla harjoitetaan tai paljonko torjunta-aineita käytetään (Romig ym. 1995). Herrick ym. (2002) esittävät, että mittarin korreloidessa johdonmukaisesti sekä viljelytoimenpiteen että ekosysteemin oleellisen toiminnon kanssa, voidaan mittari korvata tiedolla viljelytoimenpiteestä. Viljelytoimenpiteitä käytetään mm. kestävän maatalouden mittarina (MAFF 2000). Viljelytoimenpiteet muodostavat kuitenkin vain potentiaalisen uhkan maan laadun heikkenemiselle. Toisaalta voidaan lähteä siitä, että kehitettävien maan laadun mittarien tulisi antaa sellaista tietoa ekosysteemin toiminnasta, mitä ei voida päätellä pelkästään käytettävien viljelytoimenpiteiden avulla (Brown ym. 1998 ref. Herrick ym. 2002). Suorat mittarit ovat aina työlämpiä ja kalliimpia käyttää verrattuna olemassa olevan tiedon hyödyntämiseen.

5 Testitulosten tulkinta

5.1 Tulosten esittämistapa

Kun maan laatua kuvaavat testit on suoritettu, täytyy tulokset vielä käsitellä ja tulkita. Tulokset voidaan esittää pääasiassa kahdella tavalla: yhteenvetona (esim. indeksin muodossa) tai kunkin testin tulos erikseen. Molemmissa tavoissa on omat hyvät puolensa. Yksitellen esitettäessä pysytään mahdollisimman lähellä alkuperäistä tulosta eikä tietoa häviä, kun taas indeksit pyrkivät esittämään tulokset tiivistetyssä muodossa. Myös osittaisia yhteenvetoja voidaan laskea. Näin saadaan läheisesti toisiinsa liittyvät tulokset tiivistettyä yhdeksi luvuksi, mutta voidaan helpommin osoittaa millä maan laadun osa-alueella ongelmia esiintyy. Jos arvioinnin tuloksena lasketaan vain yksi indeksiarvo, on vaarana, että korjausta tarvitsevat ongelmat jäävät huomiotta. Vaikka maan laatu onkin keskimäärin kohtuullisen hyvä, saattaa esim. ojituksessa olla parantamisen varaa. Tämä tulisi tuloksissa tulla selkeästi esille. Tulosten yhteenvedon hyvänä puolena on, että tuloksia voidaan helposti vertailla (esim. viereisten peltojen maan laatua) kahta indeksiarvoa vertaamalla. Indeksien käyttöä voidaan perustella myös sillä, että tiivistetyssä muodossa oleva tulos on parhaiten hyödynnettävissä päätöksenteossa, kuten viljelytoimenpiteiden valinnassa (Andrews & Carroll 2001). Amerikkalaiset viljelijät pitivät erään selvityksen mukaan ymmärrettävimpänä tapana alkuperäisten tulosten esittämistä rinnan indeksin kanssa (Andrews ym. 2003). Indeksimuotoinen tulos katsottiin hyödyllisimmäksi erityisesti silloin, kun seurataan maan laadussa tapahtuvia muutoksia (Andrews ym. 2003).

Yksinkertaisimmillaan tulosten tulkinta on luokitteleviin havaintoihin perustuvissa testisarjoissa. Yleensä luokat on pisteytetty, jolloin testin tekijä saa suoraan tiedon siitä osoittaako tulos hyvää, keskinkertaista vai heikkoa maan laatua (esim. arviointikortit). Määrällisiä, mittavälinein tehtäviä mittauksia käytettäessä puolestaan tuloksille joutuu yleensä tekemään laskutoimituksia kuten pinta-alamuunnoksia (SQTK, SQMS). Tämän jälkeen tulos vaatii yleensä suhteuttamisen ohjearvoihin, jotta se on testaajalle ymmärrettävässä muodossa. Yleensä mitta-asteikollinen muuttujakin joudutaan tulosten tulkintavaiheessa luokittelemaan. Etuna tarkempia mittauksia tehtäessä on kuitenkin se, että voidaan havaita pienempiä maan laadussa tapahtuvia muutoksia kuin karkeammalla luokittelulla.

Tulosten tulkinta asettaa haasteita mittarisarjan kehitystyölle. Jos eri mittareiden antamat tulokset halutaan vetää yhteen, joudutaan tulokset saattamaan samalle asteikolle (esim. Hussain ym. 1999). Luokittelevat havainnot ovat tässä suhteessa helppoja, sillä luokitus voidaan suunnitella kaikille mittareille samanlaiseksi, jolloin tämä vaihe jää väliin. Jos kuitenkin käytetään suoria mittauksia, ovat tulokset eri ”laatuisia”. Tällöin tulokset täytyy muuntaa samalle vaihteluvälille (esim. 0-1). Yleisimmin käytetään

yksinkertaista lineaarista muunnosta, mutta monimutkaisemmat epälineaariset muunnokset voivat parantaa indeksin käyttökelpoisuutta (Andrews ym. 2002a). Myös yhteenvetoa laskettaessa voidaan käyttää erilaisia laskukaavoja. Yksinkertaisimmillaan eri testien tulokset voidaan laskea yhteen, mutta indeksiin voidaan sisällyttää tietoa myös mittareiden

Taulukko 6. Tulosten esittämistapa ja vertailuarvot tilatetestisarjoissa.

Testisarjan nimi	Tulosten esittämistapa	Vertailuarvot
Viljavuustutkimus	Analyysikohtainen	Maalaji- ja viljelykasvikohtaiset ohjearvot
Lapiodiagnoosi	Havaintokohtainen	Havaintopisteet pellon sisällä / luonnontilaiset alueet
Visual Soil Assessment (VSA)	Maan kuntoindeksi + kasvi-indeksi	Pellon reuna-alueet
SOILpak for Cotton growers	Rakennepisteytys + testikohtainen tulkinta	Muut tilan pellot / luonnontilaiset alueet / aikaisemmat arvioinnit
Markstrukturindex (MSI)	Rakenneindeksi	Havaintopisteet pellon sisällä: huonokasvuinen + hyväkasvuinen paikka
Wisconsin Soil Health Scorecard	Hyvää, heikentynyttä ja huonoa laatua osoittavia mittareita %	Muut tilan pellot / aikaisemmat arvioinnit
Soil Quality Test Kit (SQTk)	Testikohtainen	Muut tilan pellot / aikaisemmat arvioinnit / annetut ohjearvot
Soil Quality Management System (SQMS)	Rakennepisteytys + testikohtainen tulkinta	Muut tilan pellot / aikaisemmat mittaukset / tutkimustulokset

tärkeystä antamalla eri mittareille erilainen painokerroin. Indeksien laatiminen edellyttääkin tietoa mittareiden kuvaamien ominaisuuksien ja prosessien merkityksestä maan laadun kokonaisuudelle.

Testikohtaiseen tulkintaan ovat päätyneet sekä SQTK että SQMS (Taulukko 6). Molempien testisarjojen kehittäjät tarjoavat nettisivuillaan oheispalveluna tulosten laskemista helpottavaa palvelua. SQTK:iin liittyy Excel-pohjainen laskentaohjelma, johon voi syöttää testitulokset siinä muodossa, kun ne ovat suoraan pellolta tullessa. Ohjelma tekee tarvittavat muunnokset, kuten lämpötila- ja kosteuskorjaukset sekä laskee tulokset pinta-alayksikköä kohden. Kunkin mittarin (testin) tulosta voidaan tämän jälkeen verrata toiselta pellolta saatuun tulokseen tai tulkintaoppaassa esitettyihin ohjeisiin. SQMS tarjoaa puolestaan laajempaa päätöksentekoa tukevaa palvelua, johon voi mm. luottamuksellisesti tallentaa vuosien varrella kertyvät testaustulokset yhdessä tilan taustatietojen kanssa. Palveluun kuuluu myös yhteenvetojen laskeminen sekä yksityiskohtainen tulosten tulkinta.

Maan laadun arviointikorteissa mittareiden 3-portainen asteikko on pisteytetty, joten mittarit sisältävät oikeastaan jo tulosten tulkinnan. Yhteenveto tapahtuu arviointikorteissa yksinkertaisesti laskemalla hyvää, heikentynyttä tai huonoa laatua osoittavien mittarien osuus (Romig ym. 1996). Maan laatu on sitä parempi mitä suurempi hyvää laatua osoittavien mittarien osuus on. SOILpak puolestaan edustaa välimuotoa testikohtaisesta ja yhteenvetotulkinnasta. Kukin havainto tai läheisesti toisiinsa liittyvät havainnot käsitellään omana kokonaisuutenaan. Esimerkiksi muruhavaintojen perusteella lasketaan rakenneluokka eri syvyyksissä maaprofilia, mutta luokitusta ei vedetä yhteen esim. pintamaan rakennehavaintojen kanssa.

Markstrukturindex perustuu nimensä mukaisesti maan rakenteesta laskettavaan indeksiin. Tosin testisarjan keskeneräisyydestä johtuen kolmesta osiosta vasta viljelymenetelmäindeksi antaa tulokseksi yhden luvun. Se on joko positiivinen tai negatiivinen sen mukaan, miten käytetyt viljelymenetelmät vaikuttavat maan rakenteeseen. Indeksia voidaan laskea vuosittain tai koko viljelykierrolle. Indeksien arvo vaihtelee yleensä 5 ja -5 välillä. MSI:n perusparannusosa antaa tulokseksi arviot maan kuivatustilasta ja hyvän rakenteen luontaisista edellytyksistä. Kolmannen osan, pellolla tehtävän maan rakennetestin, tuloksia puolestaan voi verrata ohjeisiin. Myös uusiseelantilaisten VSA -menetelmässä arviointi perustuu indeksiarvon laskentaan. Mittareiden luokitteluasteikko pisteytetään 0-2, jossa 0 indikoi heikkoa arvoa ja 2 hyvää tulosta. Kullakin mittarilla on sen tärkeyden osoittava painokerroin, jolla pistemäärä kerrotaan (Shepherd & Park 2003). Painotetut pisteytykset lasketaan yhteen maan laadun indeksiksi (overall ranking score). Maasta ja kasveista tehdyt havainnot pidetään kuitenkin erillään ja niiden indeksejä voidaan verrata toisiinsa (Shepherd & Park 2003).

5.2 Vertailuarvot

Tilalla tapahtuva maan laadun arviointi on kaiken kaikkiaan epätarkempaa kuin laboratoriossa tehtävä analysointi. Epätarkkuutta aiheuttaa mm. jonkinasteinen subjektiivisuus, joka johtuu siitä, että maan laatua arvioivat useat eri henkilöt. Tulosten vertailukelpoisuuteen tilojen välillä onkin suhtauduttava varauksella. Useimmat tilakäyttöön kehitetyt testisarjat suosittelvatkin vertaamaan tilan sisällä tehtyjä maan laadun arviointeja (Romig ym. 1996, Beare ym. 2001, Berglund ym. 2002, Ditzler & Tugel 2002). Viljelijä voi kuitenkin kokea hyödyllisenä suhteuttaa testituloksensa ohjearvoihin, kun maan laadun arviointia tehdään tilalla ensimmäistä kertaa, jolloin on vähän kokemusta siitä millaisia testituloksia pitäisi hyvälaatuisesta maasta saada. Ohjearvot voivat olla apuna päätöksenteossa esim. arvioitaessa milloin maan laatu on niin heikko, että pelto kaipaa maan peruskunnostusta tai jopa lepoa viljelystä. Kun kokemusta kertyy tai kiinnostavia vertailukohteita löytyy omalta tilalta, ohjearvoilla ei välttämättä ole viljelijälle niin suurta merkitystä tulosten tulkinnassa. Jos viljelijä haluaa vaikkapa arvioida onko hänen tilallaan suorakylvöön siirtymisellä ollut maan laatua parantavaa vaikutusta, paras verranne on tilan toinen lohko, jossa suorakylvöön ei ole siirrytty. Jos viljelijä on vaikkapa kiinnostunut siitä, onko kompostin levitys lisännyt lierojen määrää, on mielekäs vertailukohde aikaisemmat lierohavainnot samalta lohkolta ja mielellään samoista havaintopisteistä. Maan laatua arvioitaessa ei siis ole olemassa vain yhtä oikeaa vertailualuetta tai -arvoa, vaan referenssiarvot voidaan valita sen perusteella, miksi testaus on suoritettu.

Tulosten suhteuttamisessa (kiinteisiin) ohjearvoihin on omat ongelmansa. Arshad ja Martin (2002) kritisoivat mittaritutkimusta siitä, että liian vähän on tehty työtä ohjearvojen määrittämiseksi. Ohjearvojen antamista yksittäisille testituloksille vaikeuttaa se, että kriittiset arvot voivat vaihdella riippuen muista maan ominaisuuksista (Arshad & Coen 1992). Esimerkiksi kriittinen maan suolapitoisuus riippuu maan kosteustasosta, jolloin sama suolapitoisuus rajoittaa kasvien kasvua kuivassa maassa muttei kosteassa (Arshad & Coen 1992). Lisäksi kriittinen raja voi olla riippuvainen kasvilajista: mustikan kasvua alkaa rajoittaa vasta pH alle 4, kun taas viljojen sadossa havaitaan heikkenemistä jo kun pH laskee alle 6,5. Ohjearvojen määrittäminen edellyttää huomattavasti enemmän tietoa testitulosten vaihtelusta ja siihen vaikuttavista tekijöistä kuin paikallisen vertailualueen käyttäminen. Pitkään mitatuista kemiallisista ominaisuuksista osataan nykyään jo antaa hyvin tarkat ohjearvot ottaen huomioon mm. viljelykasvien erilaiset vaatimukset ja maalaji. Viljavuusanalyysi osataankin tulkita Suomessa jo hyvin tarkasti: viljavuusluokkia on seitsemän ja luokkien raja-arvot riippuvat maalajista ja maan eloperäisen aineksen pitoisuudesta (Viljavuuspalvelu 1997, Viljavuuspalvelu 2000). Viljelykasvien erilaiset ravinnevaatimukset on myös otettu huomioon viljavuusluokkien tulkinnassa (Viljavuuspalvelu 1997, Viljavuuspalvelu 2000). Useimpia maan rakennetta ja biologisia toimintoja

kuvaavia mittareita ei kuitenkaan ole käytetty niin laajalti, että ohjearvoja voitaisiin antaa vastaavalla tarkkuudella. Esimerkiksi SQTk antaa lierojen määrästä vain yhden ohjearvon, jonka yläpuolella populaatiotason voidaan katsoa olevan ”hyvän”.

Ohjearvoja voi hakea tutkimusaineistoista laskemalla aikaisempien mittausten keskiarvon ekologisen vyöhykkeen tai maalajin sisällä (Arshad & Martin 2002). Kansallisista tai paikallisista maan laadun arvioinneista kertyvän tiedon avulla voidaan verranearvoja tarkentaa. Esimerkiksi SQTk viittaa murujen vedenkestävyydestin tulkinnassa aineistoon, joka kattaa n. 500 mittausta Amerikan ja Kanadan alueelta (USDA 1999b). Ongelmaksi voi kuitenkin muodostua riittävien aineistojen saatavuus: Suomessa ei kattavia aineistoja monistakaan mittareista ole kerätty. Lisäksi tässä lähestymistavassa on se ongelma, että tulosta ei voida suhteuttaa sen ekologiseen merkittävyyteen. Tarkempia raja-arvoja saataisiinkin, jos pystyttäisiin tutkimuksen avulla liittämään mitattujen arvojen suhde niihin maan ominaisuuksiin tai toimintoihin, joita sillä pyritään kuvaamaan (esim. Carter 2002).

5.3 Tulosten perusteella tehtävät johtopäätökset

Yleensä maan laadun arvioinnin pääasiallisena tarkoituksena on tuottaa tietoa, jota voidaan hyödyntää viljelyn apuna. Tulosten perusteella pitäisi siis voida päätellä onko maan laatu heikko, tyydyttävä vai hyvä. Tulosten hyödyntämistä parantaa se, jos voidaan myös eritellä millaisia ongelmat ovat. Haittaako tiivistyminen viljelykasvien kasvua vai rajoittaako maan eliötoimintaa kenties maan eloperäisen aineksen vähäisyys? Tällöin voidaan myös antaa suosituksia siitä kuinka tilannetta voidaan korjata.

Selvimmän arvioinnin tuloksia hyödynnetään SOILpakissa: tulosten tulkinnassa ja johtopäätösten teossa SOILpakin eri versioiden merkitys tulee esiin. Koska maan ominaisuudet ja viljelysuunta vaihtelevat alueittain, voidaan viljelyvyöhykkeittäin räätälöidyillä tietopaketeilla antaa tarkasti suunnattuja maan laatua parantavia toimenpide-ehdotuksia. Valintojen tekemistä on pyritty helpottamaan hyvin jäsennetyllä oppaalla. Oppaan käyttäjä voi hakea vastauksia yleisimpiin maasta johtuviin ongelmiin ongelmankartoitusosion, joka tarjoaa nopeita vastauksia ilman perusteellisia taustatietoja. Maan laadun arvioijalle annetaan lista viljelytoimenpiteistä, joista hänen tulisi valita parhaiten tutkittavalle pellolle soveltuvat parannus- tai ylläpitomenetelmät (McKenzie 1998b). Kullunkin maan rakenteessa tai kemiallisessa viljavuudessa havaittuun epäkohtaan, esim. vesieroosioon tai tiivistymiseen, on joukko viljelytoimenpidesuosituksia. Arvioinnin tekijän vastuulle jää kuitenkin viime kädessä se, mitä johtopäätöksiä testausosion perusteella tehdään. Pohjoiselle viljavuohyikkeelle annettujen ohjeiden mukaan päätetään mikä olisi kyseisessä tapauksessa sopivin kyntömenetelmä, kalkitus ja päätetään tulisiko pelto muuttaa laitumeksi vai jatkaa viljelyä (Daniells ym. 1994). Asiasta syvemmin kiinnostuneelle, SOILpakeissa on

myös suhteellisen perusteellista tietoa tyypillisimmistä maan rakenteen ongelmista ja niiden hoitamisesta ottaen huomioon maalajin ja viljelykasvin asettamat rajoitukset.

Myös VSA menetelmän käyttäjille tarjotaan havainnollista ohjeistusta maan rakenteen ylläpitämiseksi ja heikon rakenteen parantamiseksi (Shepherd ym. 2000). Oppaassa tarkastellaan lyhyesti lähinnä muutamia vakavimpia ongelmatilanteita, kuten tiivistymistä, eloperäisen aineen vähenemistä ja eroosiota. Oppaasta on helppo löytää ohjeet tilanteen parantamiseksi hyvän jäsentelyn ja havainnollisten kuvien avulla. Kovin laaja katsaus maan laatuun ja siinä esiintyviin ongelmiin opas ei kuitenkaan ole.

Toistaiseksi SQTk:iin ei liity maan laadun arvioinnin perusteella annettavia toimenpidesuosituksia. Tulosten tulkinnan yhteydessä kerrotaan lyhyesti mitä kukin mittari kuvaa ja mitkä tekijät mittarin mittaamaan ominaisuuteen vaikuttavat. Annetun perustiedon ja vertailualueen perusteella arvioinnin tekijä voi itse päätellä kuinka maan laatua voisi parantaa. Myöskään maan laadun arviointikorteissa ei tämän pidemmälle ole tulosten hyödyntämistä mietitty. Wisconsinin terveystieteen kehottamaan viljelijää ryhtymään välittömästi toimenpiteisiin niiden maan ominaisuuksien korjaamiseksi, jotka arvioitiin heikoiksi. Heikentynyttä maan laatua osoittavien mittarien kohdalla viljelijän tulisi seurata tilanteen kehittymistä. Toimenpide-ehtotuksia ei kuitenkaan tässä yhteydessä anneta, vaan viljelijää kehoitetaan itse arvioida mikä on aiheuttanut esim. eroosion lisääntymisen. Myös lapiodiagnoosin ja Marksturkturindexin tehtyään testaja joutuu pitkälti itse arvioimaan kuinka testin tuloksia voi hyödyntää.

6 Testisarjojen arviointia

Tilakäyttöön tarkoitettuja maan laadun testisarjoja arvioitaessa oleellista on menetelmän toimivuus käytännössä ja tulosten luotettavuus. Luotettavuudella tarkoitetaan sitä, kuinka ”oikea” kuva maan laadusta testisarjan avulla voidaan saada. Tähän vaikuttaa valittujen mittareiden riittävyys ja oikeellisuus sekä mittausmenetelmien käyttövarmuus (tulosten toistettavuus). Luotettavuutta voidaan arvioida tarkastelemalla onko mittareita riittävästi kaikilta maan laadun osa-alueilta ja kuvaavatko ne maan laadun kannalta oleellisia ominaisuuksia. Valittuja testejä voidaan verrata esim. maan laadun minimitestisarjoissa esitettyihin mittareihin. Vertailu ei kerro kuitenkaan koko totuutta, sillä ei ole olemassa vain yhtä oikeaa mittarikokonaisuutta, jolla maan laatua voidaan mitata. Mittausmenetelmien luotettavuutta voidaan puolestaan arvioida vertaamalla kyseisellä menetelmällä saatuja tuloksia tunnetuilla tutkimusmenetelmillä saatuihin tuloksiin. Testisarjan toimivuus käytännössä taas voidaan kartoittaa keräämällä käyttäjien kokemuksia. Seuraavassa on pyritty arvioimaan kutakin testisarjaa yllä esitettyjen kriteereiden suhteen niiltä osin kun se on mahdollista. Testisarjojen vertailua vaikeuttaa se, että arvioinnin pohjaksi tarvittavaa tietoa niistä on julkaistu hyvin vaihtelevasti. Tieto perustuu pääosin menetelmien kehittäjien tekemiin vertailuihin.

Lapiodiagnoosi. Lapiodiagnoosin tarkoituksena on ollut tuoda viljavuusmääritysten rinnalle menetelmä arvioida maan rakennetta ja toimivuutta. Diagnoosi on perustunut pitkään havaintokuopasta tehtäviin aistinvaraisiin havaintoihin, mutta sen luotettavuutta on viime aikoina pyritty parantamaan muuttamalla havaintoja tarkemmiksi mittauksiksi. Menetelmän kehittäminen onkin ollut tarpeen, sillä arvioinnin tarkkuus oli aiemmin riippuvainen pitkälti siitä, kuinka kokenut havaintojen tekijä on. Havainnot kuvaavat maan rakenteen kannalta oleellisia ominaisuuksia ja testi on varsin käyttökelpoinen osa maan laadun arvioinnissa. Vastaavanlaista kuoppatestiä käytetään myös muissa testisarjoissa.

Visual Soil Assessment. Menetelmä perustuu nimensä mukaan pääasiassa aistinvaraisesti tehtyihin luokitteleviin havaintoihin maan rakenteesta. Ominaista VSA:lle on, että maan kunnon arviointi linkitetään pellon ja tilan tuottavuuteen. Mittarit painottuvat maan fysikaalisten ominaisuuksien kuvaamiseen, joten tälläkään menetelmällä maan laatua ei pystytä kattavasti mittaamaan. VSA noudattelee pitkälti samankaltaisia menetelmiä kuin lapiodiagnoosi, mutta opastaa ”kädestä pitäen” kuinka havainnot rakenteesta tehdään. Ero lapiodiagnoosiin tuleekin juuri tässä: oikeiden havaintojen tekemiseksi ei tarvita kokemusta erilaisista maista, koska vertailu tehdään oppaan antamiin havainnollisiin kuviin pohjautuen. Toisin sanoen VSA on kehitetty lapiodiagnoosia käyttäjäystävällisemmäksi. Menetelmän on testattu olevan niin itseohjautuva ja käyttövarma, että viljelijä pystyy sen avulla arvioimaan maan laadun yhtä luotettavasti kuin asiantuntija (Shepherd &

Park 2003). Eri testaajien suorittamia arviointeja voidaan ilmeisesti verrata toisiinsa, jolloin tulokset ovat käyttökelpoisia myös tilan ulkopuolella. Saatavilla olevan niukan tiedon perusteella vaikuttaisi siltä, että menetelmän idea toimii hyvin. Todennäköisesti kuitenkin arvioinnin tarkkuus paranee kokemuksen myötä. Arvioinnissa käytettävien mittareiden on todettu korreloivan voimakkaasti tutkimuksen käyttämien maan fysikaalisen laadun mittareiden kanssa (Shepherd & Park 2003). Shepherdin ja Parkin (2003) tekemän selvityksen mukaan 87-100% menetelmään tutustuneista viljelijöistä, viranomaisista ym. ilmoittivat aikovansa käyttää menetelmää maan laadun arvioinnissa. Menetelmän käyttö on yleistymässä viljelijöiden ja neuvojien keskuudessa (Graham Shepherd 2004, suull. tiedonanto).

SOILpak. SOILpak on viljelyä haittaavien maaperäongelmien kartoittamiseen kehitetty tilatestimenetelmä. Se arvioi varsin monipuolisin havainnoin ja mittauksin maan rakenteellisia ominaisuuksia. Menetelmässä käytetty puolikvantitatiivinen maan rakennepesteytys korreloi hyvin tutkimuksessa käytettävien maan tiivyyttä kuvaavien mittareiden, kuten maan mekaanisen vastuksen ja ilmavuuden, kanssa (McKenzie 2001b). Menetelmän haittana nähtiin kuitenkin tulosten luotettavuuden riippuvuus arvioijan kokemuksesta, mikä on tyypillistä aistinvaraisiin havaintoihin perustuvissa menetelmissä.

Selvitykset viittaavat siihen, että SOILpak olisi Australiassa suhteellisen laajasti ainakin puuvillan viljelijöiden käytössä. Vuonna 1994 arvioitiin, että ensimmäisellä puuvillan viljelijöille suunnatulla SOILpakilla oli 800 käyttäjää ja useimpien mielestä tämä tieto- ja arviointipaketti oli hyödyllinen tai erittäin hyödyllinen (Daniells ym. 1996). SOILpakin formaatti on katsottu niin käyttökelpoiseksi, että sitä on sovellettu myös muiden kasvutekijöiden hallintaan. Jo mainitun NUTRIpakin lisäksi puuvillan viljelijöille on kehitetty lukuisia oppaita (COTTONpaks) viljelyn päätöksentekoa helpottamaan. Nykyisin on saatavilla oppaat ruiskutustekniikan (SPRAYpak, Rankine & Hughes 2002), koneiden käytön (MACHINEpak) sekä integroidun hyönteistuholaisten (ENTOpak, Mensah & Wilson 1999) ja rikkakasvien (WEEDpak, Australian Cotton CRC 2002) hallintaan. Christiansen ym. (2002) ovat selvittäneet kyselytutkimuksella näiden oppaiden hyödyllisyyttä ja käyttöastetta puuvillan viljelijöiden ja agronomien keskuudessa. SOILpakin on hankkinut yli 70% Cotton CRC:een rekisteröityneistä henkilöistä. Käyttöasteen arvioitiin olevan n. 60%, tosin hyödyntäminen oli pääasiassa satunnaista. Lisäksi havaittiin, että tiedotteita ja muita oppaita pidettiin hyödyllisempinä ja käytettiin enemmän käsikirjoina kuin tähän tarkoitukseen kehitettyjä COTTONpakeja. Tutkimuksen vastausprosentti oli suhteellisen alhainen, joten tulokset saattavat antaa liian positiivisen kuvan oppaiden käyttökelpoisuudesta (Christiansen ym. 2002).

Markstrukturindex. Markstrukturindex on kehitetty pääasiassa maan rakenteellisten ominaisuuksien havainnolliseksi demonstraatiovälineeksi ja helpokäyttöiseksi arviointivälineeksi. Menetelmän luotettavuutta on testattu

vertaamalla eri viljelymenetelmiä käyttävien naapuritilojen testituloksia (Berglund ym. 2002). MSI todettiin varsin luotettavaksi, ja se selitti hyvin muun muassa naapuritilojen välisiä satoeroja. Indeksi on helppokäyttöinen, ja se on herättänyt Ruotsin neuvojissa ja viljelijöissä suurta kiinnostusta, vaikka käytön todellista laajuutta ei tiedetä.

Soil Quality Score Cards. Romigin ym. (1996) mukaan amerikkalaiset viljelijät haluavat mieluummin arvioida maan laatua aistinvaraisin havainnoin kuin toteuttaa aikaa vieviä testisarjoja. Maan laadun arviointikortit onkin laadittu tähän tarkoitukseen nopeaksi ja yksinkertaiseksi arviointimenetelmäksi. Korttien käytön yleisyyttä ei ole systemaattisesti tutkittu, mutta Oregonissa tehdyn selvityksen perusteella näyttäisi siltä, että harvat viljelijät kuitenkaan hyödyntävät menetelmää maan laadun seurannan välineenä (SARE 2003). Arviointitapaa pidettiin liian yksinkertaistettuna ja subjektiivisena, eikä siitä katsottu olevan hyötyä päätöksenteossa (SARE 2003).

Arviointikorttien heikkoutena voidaan pitää sitä, että mittareiden valinnan perusteena käytetään vain suhteellisen suppean viljelijäjoukon käsitystä maan laadusta. Viljelijöiden näkökulma maan laadusta painottuu kasvintuotantoa edistäviin maan ominaisuuksiin ja maan laatuun liittyvät ympäristönäkökohdat eivät tule yleensä arvioiduksi lainkaan (Romig ym. 1996). Wisconsinin arviointikortin kehittäjät tunnustavat, että korteissa ei välttämättä ole kaikkia tarpeellisia maan laadun indikaattoreita. Toisaalta kritiikkiä voidaan kohdistaa korttien sisältämiin epäsuoriin maan laadun mittareihin, kuten viljelykasvin satoisuuteen (ks. kohta 4.4). Korttien laatimistavasta johtuen myös niiden käyttöalue on rajoittunut ja kullekin viljelyalueelle on laadittava oma korttinsa. Wisconsinin alueelle suunnatun arviointikortin testausvaiheessa tuli ilmi myös, että viljelijöiden esikäsitys peltojensa maan laadusta saattaa vääristää tuloksia (Romig ym. 1995). Lisäksi viljelijöiden arvio osui oikeaan useammin hyväkuntoista kuin ongelmallista peltoa arvioitaessa (Liebig & Doran 1999). Subjektiivisuuden vuoksi eri viljelijöiden tekemiä arvioita ei voida vertailla ja arviointikorttien käyttö rajoittuu käytännössä tilan sisäiseksi maan laadun arviointivälineeksi (Tugel ym. 2001, Ditzler & Tugel 2002).

Soil Quality Test Kit. Menetelmä ottaa huomioon tasapuolisesti maan laadun eri osa-alueet. Alustava arvio SQT:n luotettavuudesta osoitti testisarjan olevan tehokas väline ainakin havaintopistekohtaiseen maan laadun arviointiin (Liebig ym. 1996). Verrattaessa testisarjan avulla saatuja tuloksia standardeilla laboratorioanalyysillä saatuihin tuloksiin, vastaavuus oli hyvä. Ainoastaan arvio maahengityksestä poikkesi huomattavasti laboratorioissa määritetystä. Tämä johtui kuitenkin mittausten menetelmien periaatteellisista eroista, joten erilaiset arviot eivät olleet yllättäviä (Liebig ym. 1996). Arviointi käsitti kuitenkin vain testisarjan ensimmäisen version (Cramer 1994a, b, c ref. Liebig ym. 1996) sisältämät testit. Myös Hubbs ym. (1998) testasivat testisarjan ensimmäisen version luotettavuutta maan laadun

arvioinnissa pitkäaikaisella puuvillan viljelykiertokokeella. Tulokset osoittivat menetelmän olevan viljelijöille käyttökelpoinen menetelmä viljelytoimenpiteiden vaikutuksen tutkimiseen tai maan laadussa tapahtuvien muutostrendien havaitsemiseen (Hubbs ym. 1998). Tutkimuksessa oli viitteitä siitä, että pellolla suoritettavien testien hajonta saattaa olla suurempaa kuin laboratorioanalyysien, mutta selvää osoitusta tästä ei saatu (pellolla vähemmän näytepisteitä kuin laboratorioanalyysijä varten otetuissa maanäytteissä).

SQTK:in menestyksellisestä käytöstä löytyy myös lukuisia muita esimerkkejä. Stamatiadis ym. (1999) osoittivat testisarjan avulla kompostin lisäämisen peltoon vähentäneen vedenjohtavuutta, nostaneen johtokykyä ja parantaneen maan puskurointikykyä. Lannoitus puolestaan vaikutti pääasiassa maan kemiallisiin ominaisuuksiin ja hengitysaktiivisuuteen. Tutkimuksessa ei pystytty kuitenkaan osoittamaan maan laadussa havaittujen muutosten vaikutusta viljelykasvin (parsakaali) kasvuun tai satoisuuteen, sillä maan viljavuus oli ilmeisesti riittävä ilman maanparannusaineitakin (Stamatiadis ym. 1999). Hubbs ym. (2000) käyttivät yhdeksää SQTK:n sisältämää testiä suorakylvöön siirtymisen vaikutusten arviointiin puuvillapelloilla. Tulosten mukaan testisarja oli hyvä työkalu viljelytoimenpiteiden aiheuttamien suhteellisten erojen osoittamiseen. Seybold ym. (2002) ovat todenneet, että testisarjan avulla voidaan havaita ainakin pitkällä aikavälillä syntyviä maan laadun muutoksia. He suosittelivat kuitenkin menetelmän käyttöä vain pintamaan laadussa esiintyvien suhteellisten erojen mittaamiseen. SQTK:iä voidaankin kritisoida siitä, että suurin osa mittauksista tehdään suoraan maan pinnalta, joten testisarjan avulla voidaan arvioida vain pintamaan (n. 8 cm syvyydeltä) laatua.

Menetelmän käytön yleisyydestä ei ole saatavissa kattavaa tietoa. Pohjois-Dakotassa viranomaisten tekemien maan laadun arviointien yhteydessä viljelijät kiinnostuivat SQTK:in hyödyntämisestä erityisesti pellon ongelmakohtien kartoittamisessa (Ditzler & Tugel 2002). Testisarja auttoi viljelijöitä myös arvioimaan erilaisten viljelytoimenpiteiden vaikutusta peltojensa maan laatuun. Testisarjasta on pyritty kehittämään mahdollisimman yleisluontoinen laaja-alaista hyödyntämistä ajatellen. Testisarjaa onkin käytetty viljelymaiden lisäksi mm. New Yorkin keskuspuistossa maan kunnostustoimenpiteiden onnistumisen arviointiin (Ditzler & Tugel 2002). On kuitenkin viitteitä siitä, että arvioinnin työläys saattaa rajoittaa SQTK:in käyttöä. Mm. USDA:n kenttähenkilökunta on pitänyt menetelmää liian aikaa vievänä ja tulosten tulkintaa vaikeana, kun olosuhteet pellolla vaihtelevat (Ditzler & Tugel 2002).

Soil Quality Management System. Tämä maan laadun arviointimenetelmä on kehitetty tukemaan maanhoidollista päätöksentekoa. Testisarja sisältää pitkälti samanlaisia mittareita kuin SQTK ja vaikuttaa myös yhtä pätevältä menetelmältä. Menetelmän luotettavuudesta tai toimivuudesta käytännössä ei löydy yleisesti saatavilla olevaa julkaistua tietoa.

7 Testisarjojen hyödyntämismahdollisuudet

Useimmissa tässä julkaisussa esitellyissä testisarjoissa tavoitteena on ensisijaisesti ollut tuoda viljelijälle väline maan kunnon selvittämiseksi. Testisarjoja voidaan kuitenkin ajatella hyödynnettävän myös muussa tarkoituksessa. Viljelijöiden ja viljelyasiantuntijoidenkin tieto maan laadun merkityksestä ja sen osatekijöistä saattaa olla puutteellista. Maan laadun arviointi pellon laidalla on suhteellisen tehokas ja havainnollinen keino kartuttaa ymmärrystä maaperäasioiden merkityksestä viljelyn onnistumisen ja ympäristövaikutusten osatekijänä. Koska testisarjojen avulla voidaan arvioida myös viljelyn ympäristöhaittoja, yksi potentiaalinen hyödyntämiskohde on suojelutoimenpiteiden onnistumisen arviointi.

Maan laadun arviointi tilalla. Jotta maan laadun arviointi olisi mielekästä, viljelijän tulisi mieltää mitä hyötyä testauksesta on. Testisarjojen avulla viljelijä voi yleensä arvioida ainakin pellon peruskunnostustoimenpiteiden tarvetta ja tuotantosuuntansa asettamissa rajoissa valita viljelytoimenpiteitä maan rakennetta parantavaan suuntaan (esim. McKenzie 1998a). Testisarjojen tavoitteena onkin paitsi auttaa viljelijää arvioimaan maan laadun nykyinen tila, antaa myös ohjeita siinä esiintyvien ongelmien korjaamiseksi. Menetelmiä suositellaan yleensä myös maan laadussa tapahtuvien muutosten seurantaan ja viljelytoimenpiteiden vaikutusten arviointiin (Sarrantonio ym. 1996, McKenzie 1998a, Shepherd 2000, Rajala 2001).

Niissä testisarjoissa, joihin liittyy testien tulkintaopas (esim. SOILpak), on se laadittu silmällä pitäen juuri tulosten hyödyntämistä tilan sisällä pellon ongelmallisten kohtien tunnistamisessa ja korjaustoimenpiteiden valinnassa (ks. kohta 5.3). Kaikissa testisarjoissa tulosten hyödyntämistä ei kuitenkaan ole kovin selkeästi tuotu esille (esim. lapiodiagnoosi). Joissakin tapauksissa vaikuttaa siltä, että arvioinnin perusteella tehtävät johtopäätökset jäävät viljelijän omalle vastuulle. Jos esim. havaitaan lähinnä tiivistymisen heikentävän peltomaan laatua, ei tilanteen parantamiseksi ole välttämättä annettu mitään toimenpidesuosituksia. Maan laadun arvioinnin tulosten hyödyntäminen onkin vasta alkutekijöissään. Mahdollisuuksia voisi olla myös esim. hyödyntää maan laadun vaihtelusta saatavaa tietoa täsmäviljelyn välineenä.

Testisarjan käyttökelpoisuus tiloilla riippuu myös menetelmän helppokäyttöisyydestä ja arviointiin kuluva ajasta. Australialaisten viljelijöiden keskuudessa tehdyn kartoituksen perusteella maan laadun seuranta saisi mielellään tapahtua muiden viljelytoimenpiteiden ohessa ja edellyttää mahdollisimman vähän paperityötä ja koulutusta (Lobry de Bruyn & Abbey 2003). Joidenkin testien kehittäjien mielestä määrälliset maan laadun arviointimenetelmät sopisivat lähinnä asiantuntijoiden käyttöön, kun taas luokittelevat mittarit sopisivat paremmin viljelijöiden käyttöön (Arshad & Coen 1992, Sarrantonio ym. 1996, Ditzler & Tugel 2002). Myös VSA ja

MSI –menetelmien perustamista yksinkertaisiin mittareihin on perusteltu sillä, että viljelijöiden osallistuminen maan laadun arviointiin edellyttää yksinkertaisten, halpojen ja helposti ymmärrettävien mittarien käyttöä (Berglund ym. 2002, Shepherd & Park 2003).

Lobry de Bruyn ja Abbey (2003) kritisoivat mittarisarjojen kehitystyötä usein liian asiantuntijalähtöiseksi. Jotta arvioinnista tulisi käyttökelpoinen väline tiloille, tulisi arviointimenetelmät kehittää yhteistyössä viljelijöiden kanssa ja ottaa huomioon heidän käsityksensä maan laatuun vaikuttavista tekijöistä. Toisaalta taas amerikkalaisten maan laadun arviointikortit perustuvat pitkälti viljelijöiden käyttämiin maan laadun arviointimenetelmiin, mutta tämä ei ole taannut arvioinnin käyttöä viljelijöiden keskuudessa (SARE 2003). Lisäksi arviointivälineen käyttöalue saattaa rajoittua sen mukaan kuinka laajasti kehitystyössä mukana oleva viljelijäryhmä edustaa eri viljelysuuntia ja mikä heidän tilallaan vallitseva maalaji on (ks. Sarrantonio ym. 1996).

Opetusmateriaali. Maan laadun arvioinnin siirtyminen tilalla tapahtuvaksi saattaisi olla askel eteenpäin maan kasvukunnon ylläpidon merkityksen ymmärtämisessä. Testisarjojen kehittämistä onkin perusteltu myös sillä, että niitä voidaan käyttää opetusvälineenä maan laadusta laajemmallekin yleisölle (Sarrantonio ym. 1996, Shepherd & Park 2003). Arvioinnin tueksi laadittava opas toimiikin yleensä myös tietopakettina maan laadusta sekä yleisoppaana maan laadun (tai ainakin rakenteen) ylläpitämisestä.

SQTK käytöstä julkaistujen kokemusten perusteella testisarja vaikuttaa lupaavalta erityisesti maan laadun käsitteen tunnetuksi tekemisessä (Ditzler & Tugel 2002, Gaskin ym. 2002). Gaskin ym. (2002) ovat käyttäneet maatiloilla SQTK:in supistettua testilajitelmaa ja raportoivat testausprosessin lisänneen viljelijöiden tietoisuutta viljelymaan laadun ylläpidon merkityksestä. Shepherd ja Park (2003) katsovat, että VSA –menetelmä on yksinkertaisuutensa ja helppokäyttöisyytensä vuoksi hyvä opetusväline. Sen avulla voi havainnollistaa maan laadun merkitystä kasvintuotannossa ja kestäväen viljelyn mittarina. Myös arviointikortit näyttäisivät itse asiassa käyttökelpoisemmilta opetusvälineenä ja maan laadun merkityksen esille tuojana kuin viljelijäkäyttöisenä maan laadun arviointivälineenä (SARE 2003).

Viljelyn ympäristövaikutusten arviointi. Jos ajatellaan testisarjojen hyödyntämistä laajemmassa mielessä, yksi sovellutus voisi olla viljelyn kestävyuden eli mahdollisten ympäristövaikutusten arviointiväline. Ainakin Pohjois-Dakotassa ”maaperänsuojelualueet” (Soil conservation districts) ovat käyttäneet testisarjaa apuna maatilojen ympäristönsuojelullisten päämäärien edistämiseksi. (Ditzler & Tugel 2002). Maan laadun arvioinnit ovat lisänneet viranomaisten ja viljelijöiden välistä vuorovaikutusta edistäen paikallisten ympäristönsuojelupäämäärien toteuttamista esim. viljelytoimenpiteisiin vaikuttamalla (Ditzler & Tugel 2002). Maan laadun arviointikortteja on käytetty vielä suhteellisen vähän aikaa, että niiden käyttökelpoisuutta ympäristönsuojelullisessa mielessä ei voida vielä arvioida (Ditzler & Tugel

2002). Shepherd ja Park (2003) esittävät VSA -menetelmän hyödyntämistä demonstraatiovälineenä päätöksentekijöille. Sen avulla voi helposti osoittaa ympäristöystävällisten viljelytoimien käytön vaikutuksen maan rakenteeseen ja kasvintuotannon kannattavuuteen (Shepherd & Park 2003).

Daniells ym. (1996) mukaan Australiassa lisääntynyt maan rakenteen hoito ja rakennetta säästävien viljelytoimenpiteiden käyttöönotto on selvästi vähentänyt puuvillan viljelyn maata kuormittavaa vaikutusta. Tämän seurauksena ei ole enää esiintynyt katovuosia puuvillasadoissa ja parantunut maan rakenne on vähentänyt mm. puuvillaviljelmien perustamiskustannuksia. Vaikka SOILpak käyttö ei yksin selitäkään kaikkia saavutettuja parannuksia, sen käyttöön ottamisen katsotaan lisänneen tietoisuutta maan tiivistymisen ehkäisystä ja edistäneen maata säästävän CT-RT –viljelymenetelmän (”kontrolloitu peltoliikenne – kevennetty muokkaus”) käyttöönottoa.

Esimerkki yksittäisten testien käyttökelpoisuudesta ympäristövaikutusten vähentämisessä löytyy Suomesta. Ympäristötuen lisätoimenpiteissä on määritetty, että puutarhatiloilla on maan ammonium- ja nitraattityppi määritettävä ennen typpilannoituksen antamista. Periaatteessa määrittäminen on mahdollista teettää analyysilaboratoriossa, mutta tulos on usein saatava nopeasti kasvukauden täydentävää typpilannoitusta varten. Tämä on lisännyt typpisalkun käyttöä (Juha Kaila 2003, suull. tiedonanto).

Tilakäyttöön tarkoitettu maan laadun testisarja Suomeenkin

Maan laatua kuvaavia mittareita tarvitaan myös Suomessa. Helppokäyttöinen testisarja voisi toimia sekä viljelijöiden että viranomaisten apuna, kun tarvitaan tietoa peltojen kunnosta. Maan rakenneongelmien lisääntyminen on saanut viljelijät kyselemään käyttökelpoisten arviointimenetelmien perään. Toisaalta taas on viitteitä siitä, että kaikki suomalaiset viljelijät eivät pidä maan laadun seurantaan kovin tärkeänä. Viljavuustutkimuksia teetetään paljon niiden pakollisuuden vuoksi, mutta tulosten hyödyntämisessä olisi edelleen toivomisen varaa (Salonen 2002).

Tilatasolla arvioinnista olisi suoraa hyötyä viljelijälle maan laadussa esiintyvien ongelmien kartoittamisessa ja korjaustoimenpiteiden valinnassa. Mittarisarja tarjoaisi viljelijälle ”jotain kättä pidempää” avuksi peltojen kunnan arvioimisessa. Samalla mittarisarjaa voitaisiin käyttää myös viljelyn kestävyuden ja ympäristövaikutusten arvioinnissa. EU:n maataloustuki tullaan lähivuosina irrottamaan satotasosta. Maan laadun mittareilla voitaisiin seurata peltojen kestävä käytön toteutumista. Onnistuessaan testisarja voisi palvella sekä maan kasvukunnon ylläpidon että ympäristönsuojeluvaihtoehtojen seurantavälineenä. Myös Maa- ja metsätalousministeriön luonnonvarastrategia on luonut tarpeen luonnonvarojen kestävä käytön mittareille. Maaperän laatua kuvaavat mittarit ovat yhtenä osana maatalouden kestävä kehityksen seurantaan ehdotetuista indikaattoreista (Yli-Viikari ym. 2002). Maan laatua kuvaavia mittareita kartoitettaessa nousi esille maan

rakenteen heikkenemistä ja biologista toimintaa kuvaavien mittareiden puute (Yli-Viikari ym. 2002).

Tilakäyttöön tarkoitettun maan laatua kuvaavan testisarjan kehitystyö on jo aloitettu Suomessa. Tarkoituksena on luoda yksinkertainen perusmittaristo, jota viljelijät voivat itse käyttää. Täydentäviä mittareita voidaan valita tarvittaessa laajemmasta valikoimasta. Nämä mittauslaitteistoa vaativat mittaukset on syytä keskittää neuvonnan tarjoamaksi palveluksi. Valittujen mittareiden käyttökelpoisuutta selvitetään parhaillaan suomalaisilla pelloilla MTT:n ja ProAgrian yhteistyönä.

8 Johtopäätökset

On selvää, että pelkästään pellon ravinteisuuden seuranta ei voi riittävän kattavasti kuvata maan laatua. Mittareita tarvitaan sekä tutkimuksen, asiantuntijoiden että viljelijöiden välineiksi maan laadun arviointiin. Tilatasolla mittareista on hyötyä esim. apuna päätöksenteossa pellon kunnostustoimenpiteitä valittaessa tai uusia viljelytoimenpiteitä harkittaessa. Mittareiden avulla voidaan arvioida myös onko suoritetuilla toimenpiteillä ollut pellon kuntoa parantavaa vaikutusta. Testisarjoja voidaan hyödyntää lisäksi opetusmielessä, kuten apuna maan rakenteen ja biologisten tekijöiden mieltämisessä osaksi maan toiminnallista kokonaisuutta. Kolmantena käyttökohteena ovat ympäristönsuojelullisten päämäärien edistäminen.

Tähän kirjallisuuskatsaukseen kerätyn tiedon perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä, joita voidaan hyödyntää myös kotimaista testisarjaa kehitettäessä. Tilakäyttöön tarkoitetun testisarjan tulisi olla mahdollisimman yksinkertainen ja helppokäyttöinen, mutta silti luotettava ja pätevä maan laadun mittari. Pätevyys vaatii, että testauksessa käytetään mittareita kaikilta maan laadun osa-alueilta. Parhaiten testisarjasta saadaan kaikki nämä vaatimukset täyttävä, jos sen kehitystyössä on mukana sekä tutkimus, neuvonta että viljelijät.

Kyselykaavake -tyyppinen testi, joka perustuu pääasiassa aistinvaraisiin havaintoihin ja epäsuoriin mittareihin, toimii hyvin opetuksellisessa käytössä. Sen avulla voidaan nostaa esille maan laadun kannalta keskeisiä asioita viljelijöille. Kaavakkeen etuna on myös helppous, mikä saattaa pienentää arvioinnin kynnystä ja aloitettu arviointi jaksetaan suorittaa loppuun saakka. Menetelmä on yleensä epätarkempi kuin täsmällisempiin mittauksiin perustuvat varsinaiset testisarjat. Jos halutaan tuloksia, jotka ovat vertailukelpoisia myös tilojen välillä, mittarit eivät saisi olla riippuvaisia mittaajan näkemyksestä tai kokemuksesta. Testisarjan käyttöönotto tilalla vaatii yleensä koulutuksen testimenetelmän käytöstä. Myös neuvojien kouluttaminen maan laadun testaamiseen olisi tehokas keino varmistamaan maan laadun testaamisen toistettavuuden/vertailtavuuden. Vaikuttaa siltä, että testisarjoja voisi olla useammanlaisia eri tarkoituksia varten.

Eri testisarjoissa on päädytty itse asiassa pitkälti samankaltaisiin mittareihin, mutta lähestymistapoja on monia. Erityisesti maan rakennetta kuvaavia mittareita on kehitetty jo suhteellisen paljon ja niitä hyödynnetään yleisesti. Tämä johtuu pitkälti siitä, että viljavuustutkimuksen vakiinnuttua on havahduttu viljelymaan rakenteellisiin ongelmiin. Maan laadun mittaaminen vaatii kuitenkin sekä kemiallisen, fysikaalisen että biologisen osa-alueen tasapuolisen huomioon ottamisen. Biologisten mittareiden kehittämiseen tulisi panostaa, sillä käyttökelpoisia menetelmiä ei ole vielä paljoakaan. Sen sijaan viljavuustutkimus toimii hyvin laboratoriopalveluna ainakin Suomessa, eikä ole suurta tarvetta kehittää rinnakkaisia pikamääritysmenetelmiä. Uusia testimenetelmiä kehitettäessä onkin syytä pohtia myös sitä, kannattaako

menetelmää välttämättä soveltaa tilakäyttöön. Jotkin mittaukset voivat toimia paremmin analyysipalveluna, jonka viljelijä voi erikseen ostaa tai joka kuuluu tilattuun testauspakettiin.

Katsauksessa ei löytynyt yhtään valmista testikokonaisuutta, joka sellaisenaan voitaisiin ottaa meillä käyttöön. Käyttökelpoisen testisarjan luominen suomalaisille maatiloille vaatii paikallisten olosuhteiden huomioimista. Myös yksinkertaisten ja toimivien testimenetelmien kehittäminen vaatisi selvästi enemmän tutkimuspanosta, kun nyt kehitystyöhön on käytettävissä. Uusimman teknologian hyödyntämisessä olisi todennäköisesti paljon mahdollisuuksia maan laadun arvioinnin kehittämisessä. Tutkimuspanosta vaativaa työtä olisi myös tulosten tulkinnan kehittämisessä ja kansallisten ohjearvojen laatimisessa. Jonkin verran tässä voidaan tukeutua testisarjan koekäytöstä kertyvään aineistoon, etenkin jos tulosten lisäksi kerätään taustatietoa, kuten tietoja viljelykasveista, viljelyvyöhykkeestä ja peltolohkolla käytetyistä viljelytoimenpiteistä. Testauksesta kertyvä tieto onkin arvokasta ja sen kerääminen kannattaa järjestää keskitetysti, jotta sitä voidaan hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti.

9 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. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 21: 37-66.
- Alakukku, L. 1997. Properties of fine-textured subsoils as affected by high axle load traffic. *Acta agriculturae Scandinavica. Section B, Soil and plant science* 47: 81-88.
- Alakukku, L. 2002. Maan rakenteen ylläpito peltoviljelyssä. Teoksessa: Alakukku, L. & Teräväinen, H. (toim.). Maan rakenteen hoito. Tieto tuottamaan.98. ProAgria Maaseutukeskusten Liiton julkaisuja 982. Keuruu: ProAgria Maaseutukeskusten Liitto. s. 63-81. ISBN 951-808-104-2.
- Alakukku, L. & Elonen, P. 1995. Cumulative compaction of a clay loam soil by annually repeated field traffic in autumn. *Agricultural science in Finland* 4: 445-461.
- Andrews, S.S. & Carroll, C.R. 2001. Designing a soil quality assessment tool for sustainable agroecosystem management. *Ecological Applications* 11: 1573-1585.
- Andrews, S.S., Flora, C.B., Mitchell, J.P. & Karlen, D.L. 2003. Growers' perceptions and acceptance of soil quality indices. *Geoderma* 114: 187-213.

- Andrews, S.S., Karlen, D.L. & Mitchell, J.P. 2002a. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 90: 25-45.
- Andrews, S.S., Mitchell, J.P., Mancinelli, R., Karlen, D.L., Hartz, T.K., Horwath, W.R., Pettygrove, G.S., Scow, K.M. & Munk, D.S. 2002b. On-farm assessment of soil quality in California's Central Valley. *Agronomy Journal* 94: 12-23.
- Arshad, M.A. & Coen, G.M. 1992. Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture* 7: 25-31.
- Arshad, M.A. & Martin, S. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88: 153-160.
- Australian Cotton CRC 2001. NUTRIpak – a practical guide to cotton nutrition. Päivitetty: 2003. Viitattu: 5.12.2003. Saatavissa internetistä: <http://cotton.crc.org.au/Publicat/Agro/Nutrient/NUTRIpak.htm>
- Australian Cotton CRC 2002. WEEDpak -a guide for integrated management of weeds in cotton. Päivitetty: 2003. Viitattu: 20 1.2004. Saatavissa internetistä: <http://cotton.crc.org.au/Publicat/Weeds/WPConten.htm>
- Beare, M.H., Cameron, K.C., Williams, P.H., Doscher, C. & O'Callaghan, M. 1997. Soil quality monitoring for sustainable agriculture. Teoksessa: *Proceedings of the Fiftieth New Zealand Plant Protection Conference, Lincoln University, Canterbury, 18-21 August 1997*. Rotorua: New Zealand Plant Protection Society. Päivitetty: 1997. Viitattu: 23.10.2003. Saatavissa internetistä: http://www.hortnet.co.nz/publications/nzpps/proceedings/97/97_520.htm
- Beare, M., van der Weerden, T., Tregurtha, C. & Williams, P. 2001. Soil quality management system user manual for Canterbury arable and mixed cropping farms. Christchurch: New Zealand Institute for Crop & Food Research Limited. 46 s.
- Berglund, K. 2002. Hur mår din jord? Markstrukturindex kan ge svaret. *Betodlaren* 4: 60-63.
- Berglund, K., Berglund, Ö. & Gustafson, B. 2002. Markstrukturindex – ett sätt att bedöma jordarnas fysikaliska status och odlingssystemets inverkan på markstrukturen. *Avdelningsmeddelande* 02:4. Uppsala: Sveriges Landbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap. 132 s.
- Beste, A. 1999. An applicable field method for the evaluation of some ecologically significant soil-function-parameters in science and agricultural consulting practice. *International Soil Conservation Organisation Conference, ISCO 1999, West Lafayette, Indiana, USA*. Abstracts, s. 1-5.
- Beste, A. 2002. Erweiterte Spatendiagnose Weiterentwicklung einer Feldmethode zur Bodenbeurteilung. Further development and improvement of spade diagnosis as field method for the evaluation of ecological significant structure parameters of soils under agricultural management. *Väitöskirjan englanninkielinen yhteenveto*. Institute of Crop

- Management, University of Giesen. Saatavissa internetistä: <http://orgprints.org/716/02/beste-a-2002-diss-en.pdf>
- Beste, A., Hampl, U. & Kustel N. 2001. Bodenschutz in der Landwirtschaft. Einfache Bodenbeurteilung für Praxis, Beratung und Forschung. Ökologische Konzepte nro 101. Bad Duerkheim: SÖL. 111s. ISBN 3-934499-32-5.
- Blair, J.M., Bohlen, P.J. & Freckman, D.W. 1996. Soil invertebrates as indicators of soil quality. Teoksessa: Doran, J.W. & Jones, A.J. (toim.). Methods for assessing soil quality. SSSA Special Publication nro. 49. Madison: Soil Science Society of America Inc. s. 273-291. ISBN 0-89118-826-6.
- Carter, M.R. 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy Journal* 94: 38-47.
- Christiansen, I., Larsen, D., Dugdale, H. & Price, J. 2002. Cotton information resources –Are they being used? Australian Cotton Cooperative Research Centre Occasional Publication 2003/02. 21s. Päivitetty: 2003. Viitattu: 26.1.2004. Saatavissa internetistä: <http://www.mv.pi.csiro.au/assets/PDFFiles/Reports/OccPaper/InReSu03.pdf>
- Daniells, I., Brown, R. & Deegan L. (toim.) 1994. Northern wheat-belt SOILpak: a soil management package for dryland farming in the summer rainfall zone. Tamworth: NSW Agriculture. ISBN 0-7310-2682-7 Saatavissa internetistä: <http://www.agric.nsw.gov.au/reader/soilpak-northwheat>
- Daniells, I.G. & Larsen, D.L. (toim.) 1991. SOILpak_β, a soil management package for cotton production on cracking clays. Tamworth: NSW Agriculture. ISBN 0-7310-2862-7.
- Daniells, I., Larsen, D.L., McKenzie, D.C. & Anthony, D.T.W. 1996. SOILpak: a successful decision support system for managing the structure of Vertisols under irrigated cotton. *Australian Journal of Soil Research* 34: 879-889.
- Ditzler, C.A. & Tugel, A.J. 2002. Soil quality field tools: experiences of United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Soil Quality Institute. *Agronomy Journal* 94: 33-38.
- Doran, J.W. & Parkin, T.B. 1994. Defining and assessing soil quality. Teoksessa: Doran, J.W. ym. (toim.). Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Special Publication no. 35. Madison: Soil Science Society of America, Inc. s. 3-21. ISBN 0-89118-807-X.
- Doran, J.W. & Safley, M. 1997. Defining and assessing soil health and sustainable productivity. Teoksessa: Pankhurst, C. ym. (toim.). Biological indicators of soil health. Wallingford: CAB International. s. 1-28. ISBN 0-85199-158-0.
- Doube, B.M. & Schmidt, O. 1997. Can the abundance or activity of soil macrofauna be used to indicate the biological health of soils? Teoksessa:

- Pankhurst, C.E. ym. (toim.). Biological indicators of soil health. Wallingford: CAB International. s. 265-295. ISBN 0-85199-158-0.
- Edwards, C.A. 2000. Soil invertebrate controls and microbial interactions in nutrient and organic matter dynamics in natural and agroecosystems. Teoksessa: Coleman, D.C. & Hendrix, P.F. (toim.). Invertebrates as webmasters in ecosystems. Wallingford: CABI Publishing. s. 141–158. ISBN 0-85199-394-X.
- Edwards, C.A. & Lofty, J.R. 1982. The effect of direct drilling and minimal cultivation on earthworm populations. *Journal of Applied Ecology* 19: 723-734.
- Edwards, W.M. & Shipitalo, M.J. 1998. Consequences of earthworms in agricultural soils: Aggregation and porosity. Teoksessa: Edwards, C.A. (toim.): Earthworm ecology. Iowa: Soil and water conservation society. s. 147-161. ISBN 1-884015-74-3.
- Ehlers, W., Kopke, U., Hesse, F. & Bohn, W. 1983. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil & Tillage Research* 3: 261-275.
- Elliott, E.T. 1997. Rationale for developing bioindicators of soil health. Teoksessa: Pankhurst, C. ym. (toim.). Biological indicators of soil health. Wallingford: CAB International. s. 49-78. ISBN 0-85199-158-0.
- Erviö, R. 1995. Viljelymaan humuksen väheneminen kolmen vuosikymmenen aikana. Teoksessa: Viljelymaan humuspitoisuuden muuttuminen ja siihen vaikuttaminen. Maatalouden tutkimuskeskuksen tiedote 11. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. s. 3-12.
- Esala, M. 2002. Viljavuusanalyysi ympäristön tilan ohjauksena ja maan kasvukunnon ilmaisijana. Maa- ja elintarviketalous 13. Jokioinen: MTT. s. 14-19. Päivitetty: 24.9.2002. Viitattu: 5.2.2004. Saatavissa internetistä: <http://www.mtt.fi/met/pdf/met13.pdf>
- Field, D.J., McKenzie, D.C. & Koppi, A.J. 1997. Development of an improved Vertisol stability test for SOILpak. *Australian Journal of Soil Research* 35: 843-852.
- Garlynd, M.J., Romig, D.E., Harris, R.F. & Kurakov, A.V. 1994. Descriptive and analytical characterization of soil quality/health. Teoksessa: Doran, J.W. ym. (toim.). Defining soil quality for a sustainable environment: proceedings of a symposium, Minneapolis, MN, 4-5 November 1992. Madison: Soil Science Society of America. s. 159-168. ISBN 0-89118-807-X.
- Gaskin, J.W., Dean, J.E., Byrd, R.E. & van Santen, E. 2002. Showing farmers the difference: measuring soil quality in conservation tillage and conventional fields using the NRCS Soil Quality Test Kit. Teoksessa: Making conservation tillage conventional: building a future on 25 years of research. Proceedings of 25th Annual Southern Conservation Tillage Conference for Sustainable Agriculture, Auburn, AL, USA, 24-26 June, 2002. Auburn: Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University. s. 197-200.

- Gupta, V.V.S.R. & Yeates, G.W. 1997. Soil micofauna as bioindicators of soil health. Teoksessa: Pankhurst, C.E. ym. (toim.). Biological indicators of soil health. Wallingford: CAB International. s. 201-233. ISBN 0-85199-158-0.
- Hadas, A. 1994. Soil compaction caused high axle loads – a review of concepts and experimental data. *Soil & Tillage Research* 29: 253-276.
- Hale, M.G. & Orcutt, D.M. 1987. The physiology of plants under stress. Chichester: John Wiley & Sons. 206 s. ISBN 0-471-88997-0.
- Handson, P.D. 1996. Soil testing in the paddock: an evaluation of a field test kit. Proceedings of the 8th Australian Agronomy Conference, Toowoomba. Australian Society of Agronomy. Päivitetty: 1996. Viitattu: 12.2.2004. Saatavissa internetistä: <http://www.regional.org.au/au/asa/1996/contributed/285handson.htm>
- Harmanen, A. 1992. Lapiodiagnoosi – maanmuokkaus –kasvinviljely. *Demeter* 4: 26-27.
- Hartikainen, H. 1992. Maaperän koostumus. Teoksessa: Heinonen, R. (toim.). Maa, viljely ja ympäristö. Porvoo: WSOY. s. 24-50. ISBN 951-0-17090-9.
- Haukka, J. 1988. Effect of various cultivation methods on earthworm biomasses and communities on different soil types. *Annales Agriculturae Fenniae* 27: 263-269.
- Heinonen, R. 1992. Maan rakenteen muodostuminen. Teoksessa: Heinonen, R. (toim.). Maa, viljely ja ympäristö. Porvoo: WSOY. s. 90-117. ISBN 951-0-17090-9.
- Herrick, J.E., Brown, J.R., Tugel, A.J., Shaver, P.L. & Havstad, K.M. 2002. Application of soil quality to monitoring and management: paradigms from rangeland ecology. *Agronomy Journal* 94: 3-11.
- Hornby, D. & Bateman, G.L. 1997. Potential use of plant root pathogens as bioindicators of soil health. Teoksessa: Pankhurst, C.E. ym. (toim.). Biological indicators of soil health. Wallingford: CAB International. s. 179-200. ISBN 0-85199-158-0.
- Hubbs, M.D., Reeves, D.W. & Mitchell, C.C. Jr. 1998. Measuring soil quality on the 'Old rotation'. Teoksessa: Keisling, T.C. (toim.). Proceedings of the 21st annual southern conservation tillage conference for sustainable agriculture, North Little Rock, Arkansas, USA, 15-17 July 1998. Arkansas Agricultural Experiment Station Special Report 186: 50-54. Fayetteville: University of Arkansas. Päivitetty: heinäkuu 1998. Viitattu: joulukuu 2003. Saatavissa internetistä: <http://www.uark.edu/depts/agripub/Publications/specialreports/186.pdf>
- Hubbs, M.D., Seybold, C.A. & Tyler, D.D. 2000. Effects of cotton tillage systems on soil quality using on-farm tests. Teoksessa: Dugger, P. & Richter, D. (toim.). 2000 Proceedings Beltwide Cotton Conferences, San Antonio, USA, 4-8 January, 2000. Memphis: National Cotton Council. s. 45-47.

- Hughes, J.D. 1999. Southern irrigation SOILpak. Orange: NSW Agriculture. ISBN 0-7313-1525-1. Viitattu: 20.3.2004. Saatavana internetistä: <http://www.agric.nsw.gov.au/reader/soilpak-si>
- Hussain, I., Olson, K.R., Wander, M.M. & Karlen, D.L. 1999. Adaptation of soil quality indices and applications to three tillage systems in southern Illinois. *Soil & Tillage Research* 50: 237-249.
- Hulugalle, N.R., Entwistle, P.C. & Mensah, R.K. 1999. Can lucerne (*Medicago sativa* L.) strips improve soil quality in irrigated cotton (*Gossypium hirsutum* L.) fields? *Applied Soil Ecology* 12: 81-92.
- Håkansson, I. 1994. Soil tillage for crop production and for protection of soil and environmental quality: a Scandinavian viewpoint. *Soil & Tillage Research* 30: 109-124.
- Johansson, W. 1974. Metod för beräkning av vatteninnehåll och vattenomsättning i odlad jord med ledning av meteorologisk data. *Grundförbättring nr 2-3*: 26.
- Kauppi, P., Anttila, P., Karjalainen-Balk, L., Kenttämies, K., Kämäri, J. & Savolainen, I. 1990. Happamoituminen Suomessa: HAPROn loppuraportti. Ympäristöministeriön ympäristön suojeluosasto, sarja A 89. Helsinki: Valtion painatuskeskus. 89 s.
- Kling, M. & Jakobsen, I. 1998. Arbuscular mycorrhiza in soil quality assessment. *Ambio* 27: 29-34.
- Kukkonen, S. & Vesalo, S. 2000. Indication of soil degradation in strawberry fields: disappearance of earthworms. Teoksessa: Elmholt, S. ym. (toim.). Soil stresses, quality and care: Proceedings from NJF seminar 310, Ås, April 10-12 2000. DIAS Report, *Plant Production* 38: 99-108.
- Kuokkanen, I. 1994. Lapiodiagnoosi selvittää maan kuntoa. *Puutarha* 10b: 24.
- Kurki, M. 1963. Suomen peltojen viljavuudesta vuosina 1955-1960. Viljavuuspalvelu Oy:ssä tehtyjen tutkimusten perusteella. Helsinki: Viljavuuspalvelu Oy. 107 s.
- Kylä-Setälä, A. & Assmuth, T. 1996. Suomen maaperän tila, kuormitus ja suojelu. *Suomen ympäristö* 10. Helsinki: Suomen Ympäristökeskus. 172 s.
- Mustonen, E. 2004. Kolme lihavaa ja kaksi laihaa analyysivuotta. *Käytännön maamies* 1: 10-12.
- Laakso, J. & Setälä, H. 1999. Sensitivity of primary production to changes in the architecture of belowground food webs. *Oikos* 87: 57-64.
- Laitinen, P., Raisio, R. & Siimes, K. 1997. Torjunta-ainepäästöt maataloudessa (MATYVA-Projekti). Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja 12, Sarja A. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 41 s.
- Larson, W.E. & Pierce, F.J. 1991. Conservation and enhancement of soil quality. Teoksessa: Proceedings of the international workshop on evaluation for sustainable land management in the developing world. Vol

2. Bangkok: International Board for Soil Research and Management. s. 175-203.
- Larson, W.E. & Pierce, F.J. 1994. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. Teoksessa: Doran, J.W. ym. (toim.). Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Special Publication no. 35. Madison: Soil Science Society of America Inc. s. 37-51. ISBN 0-89118-807-X.
- Lee, K.E. & Foster, R.C. 1991. Soil fauna and soil structure. Australian Journal of Soil Research 29: 745-775.
- Lee, R., Cornforth, I.S., Edmeades, D.C. & Watkinson, J.H. 1991. A comparative study of MAF (Ruakura) and DSIR Land Resources soil analysis results. New Zealand Journal of Agricultural Research 34: 227-233.
- Liebig, M.A. & Doran, J.W. 1999. Evaluation of farmers' perceptions of soil quality indicators. American Journal of Alternative Agriculture 14: 11-21.
- Liebig, M.A., Doran, J.W. & Gardner, C. 1996. Evaluation of a field test kit for measuring selected soil quality indicators. Agronomy Journal 88: 683-686.
- Lobry de Bruyn, L.A. & Abbey, J.A. 2003. Characterisation of farmers' soil sense and the implications for on-farm monitoring of soil health. Australian Journal of Experimental Agriculture 43: 285-305.
- MAFF 2000. Towards sustainable agriculture – a pilot set of indicators. London: Ministry of Agriculture Fisheries and Food (MAFF). 74 s.
- Marinissen, J.Y.C. & Dexter, A.R. 1990. Mechanisms of stabilization of earthworm casts and artificial casts. Biology and Fertility of Soils 9: 163-167.
- Martikainen, E. 1995. Toxicity of dimethoate to some soil animal species in different soil types. Ecotoxicology and Environmental Safety 33: 128–136.
- McKenzie, D.C. (toim.) 1998a. SOILpak for cotton growers. 3rd edition. Orange: NSW Agriculture. ISBN 0-7310-98498. Viitattu: 20.3.2004. Saatavissa internetistä: <http://www.agric.nsw.gov.au/reader/soilpak-cotton>
- McKenzie, D. 1998b. A new version of SOILpak for the cotton industry. Proceedings of the 1998 Australian Cotton Conference: 171-176. Päivitetty: 2003. Viitattu: 5.1.2003. Saatavissa internetistä: <http://www.cotton.crc.org.au/Assets/PDFFiles/acgra98/mckenzie.pdf>
- McKenzie, D.C. 2001a. Rapid assessment of soil compaction damage I. The SOILpak score, a semi-quantitative measure of soil structural form. Australian Journal of Soil Research 39: 117-125.
- McKenzie, D.C. 2001b. Rapid assessments of soil compaction damage II. Relationship between the SOILpak score, strength and aeration measurements, clod shrinkage parameters, and image analysis data on a Vertisol. Australian Journal of Soil Research 39: 127-141.

- McKenzie, D.C. & McBratney, A.B. 2001. Cotton root growth in a compacted Vertisol (Grey Vertosol). I. Prediction using strength measurements and 'limiting water ranges'. *Australian Journal of Soil Research* 39: 1157-1168.
- McKersie, B.D. & Leshem, Y.Y. 1994. Stress and stress coping in cultivated plants. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 256 s. ISBN 0-7923-2827-2.
- McMullen, B. 2000. SOILpak for vegetable growers. Orange: NSW Agriculture. Viitattu: 20.3.2004. Saatavissa internetistä: <http://www.agric.nsw.gov.au/reader/soilpak-veg>
- Mensah, R. & Wilson, L. (toim.) 1999. ENTopak – Integrated pest management guidelines for Australian Cotton. Australian Cotton Cooperative Research Centre. 18 s. Päivitetty: 2003. Viitattu: 22.3.2004. Saatavissa internetistä: <http://www.mv.pi.csiro.au/Assets/PDFFiles/IPMGL99/IPMGL99.pdf>
- Murphy, D.V., Sparling, G.P., Fillery, I.R.P., McNeill, A.M. & Braunberger, P. 1998. Mineralisation of soil organic nitrogen and microbial respiration after simulated summer rainfall events in an agricultural soil. *Australian Journal of Soil Research* 36: 231-246.
- Myyrä, S., Ketoja, E. & Yli-Halla, M. 2003. Pellon hallintaoikeuden yhteys maanparannuksiin - esimerkkinä kalkitus ja fosforilannoitus. MTT:n selvityksiä 37. Jokioinen: MTT. 51 s.
- Mäkelä-Kuritto, R., Sippola, J. & Grék, K. 2002. Peltomaiden viljavuus ja heppoliukoiset raskasmetallit. Teoksessa: Uusitalo, R. & Salo, R. (toim.). Tutkittu maa – turvalliset elintarvikkeet. Viljavuustutkimus 50 vuotta – juhlaseminaari, Jokioinen, 24.9.2002. Maa- ja elintarviketalous 13. Jokioinen: MTT. s. 30-46.
- Mäntylähti, V. 2002. Peltojen ravinnetilan kehitys 50 vuoden aikana. Teoksessa: Uusitalo, R. & Salo, R. (toim.). Tutkittu maa – turvalliset elintarvikkeet. Viljavuustutkimus 50 vuotta – juhlaseminaari Jokioinen, 24.9.2002. Maa- ja elintarviketalous 13. Jokioinen: MTT. s. 5-13.
- OECD 2001. Environmental indicators for agriculture. Volume 3. Methods and results. Paris: OECD, Agriculture and Food. 409 s.
- Nuutinen, V., Pöyhönen, S., Ketoja, E. & Pitkänen, J. 2001. Abundance of the earthworm *Lumbricus terrestris* L in relation to subsurface drainage pattern on a sandy clay field. *European Journal of Soil Biology* 37: 310-304.
- Palojärvi, A. 2002. Maan toiminnallinen viljavuus luomussa ja tavanomaisessa viljelyssä. Teoksessa: Uusitalo, R. & Salo, R. (toim.). Tutkittu maa – turvalliset elintarvikkeet. Viljavuustutkimus 50 vuotta – juhlaseminaari, Jokioinen, 24.9.2002. Maa- ja elintarviketalous 13. Jokioinen: MTT. s. 47-52.
- Palojärvi, A. & Nuutinen, V. 2002. The soil quality concept and its importance in the study of Finnish arable soils. *Agricultural and Food Science in Finland* 11: 329-342. Päivitetty: 19.3.2003. Viitattu 26.1.2004. Saatavissa internetistä: http://www2.mtt.fi/afsf/pdftu/afsf11_329.pdf

- Parkin, T.B., Doran, J.W. & Franco-Vizcaino, E. 1996. Field and laboratory tests of soil respiration. Teoksessa: Doran, J.W. & Jones, A.J. (toim.). Methods for assessing soil quality. SSSA Special Publication nro. 49. Madison: Soil Science Society of America Inc. s. 231-245. ISBN 0-89118-826-6.
- Pérès, G., Cluzeau, D., Curmi, P. & Hallaire, V. 1998. Earthworm activity and soil structure changes due to organic enrichments in vineyard systems. *Biology and Fertility of Soils* 27: 417-424.
- Peverill, K.I. 1993. Soil testing and plant analysis in Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 33: 963-971.
- Pitkänen, J. & Nuutinen, V. 1998. Earthworm contribution to infiltration and surface runoff after 15 years of different soil management. *Applied Soil Ecology* 9: 411-415.
- Preuschen, G. 1990. Die kontrolle der bodenfruchtbarkeit: eine anleitung zur spatendiagnose. Stiftung Ökologischer Landbau. Sonderausgabe nro. 2. 48 s. ISBN 3-926104-02-3.
- Preuschen, G., 1992. Maan viljavuuden seuranta: johdatus lapiodiagnoosin käyttöön. IFOAM-julkaisusarja 2. Helsinki: Biodynaaminen yhdistys. 4. painos. 39 s. ISBN 951-9442-10-3
- Puustinen, M. 1999. Viljelymenetelmien vaikutus pintaeroosioon ja ravinteiden huuhtoutumiseen. *Suomen Ympäristö* 285. 116s.
- Rajala, J. 1991. Lapiodiagnoosi maan viljavuuden kotovarainen pikahavainnointimenetelmä. *Käytännön maamies* 5: 6-9.
- Rajala, J. 2001. Lapiodiagnoosi – maan viljavuuden kotovarainen arviointimenetelmä. *Luomulehti* 4: 4-5.
- Rajala, J. 2002. Lapiodiagnoosin käyttö maan rakenteen arvioinnissa. Teoksessa: Alakukku, L. & Teräväinen, H. (toim.). Maan rakenteen hoito. Tieto tuottamaan.98. ProAgria Maaseutukeskusten Liiton julkaisuja 982. Keuruu: ProAgria Maaseutukeskusten Liitto. s. 82-86. ISBN 951-808-104-2.
- Rankine, I. & Hughes, P. (toim.) 2002. SPRAYpak -Cotton Growers Spray Application Handbook. 2. painos. Australian Cotton Cooperative Research Centre.
- Rapport, D.J. 1997. Soil health: its relationship to ecosystem health. Teoksessa: Doran, J.W. & Jones, A.J. (toim.). Methods for assessing soil quality. SSSA Special Publication nro. 49. Madison: Soil Science Society of America Inc. s. 29-47. ISBN 0-89118-826-6.
- Rayment, G.E. 1993. Soil analysis: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 33: 1015-1028.
- Rhoton, F.E, Shipitalo, M.J. & Lindbo, D.L. 2002. Runoff and soil loss from Midwestern and Southeastern US silt loam soils as affected by tillage practice and soil organic matter content. *Soil & Tillage Research* 66: 1-11.

- Romig, D.E., Garlynd, M.J., Harris, R.F. & McSweeney, K. 1995. How farmers assess soil health and quality. *Journal of Soil and Water Conservation* 50: 229-236.
- 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 nro. 49. Madison: Soil Science Society of America Inc. s. 39-60. ISBN 0-89118-826-6.
- Salo, T. 1998. Typen hyväksikäyttö avomaan vihannesviljelyssä. Teoksessa: Suojala, T. & Pessala, R. (toim.). *Laatuvihannesten hyvät viljelymenetelmät*. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja 43, sarja A. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. s.11-17.
- Salonen, S. 2002. Viljavuustutkimus unohtuu mappiin liian usein. *Maatilan pellervo, liite, joulukuu 2002*:
- Sustainable Agriculture Research and Education (SARE) 2003. Participatory evaluation of farmer-based soil quality assessment cards. Project Report. Päivitetty: 2003. Viitattu: 11.3.2004. Saatavissa internetistä: <http://wsare.usu.edu/projects/2003/SW99-063F.pdf>
- Sarrantonio, M., Doran, J.W., Liebig, M.A. & Halvorson, J.J. 1996. On-farm assessment of soil quality and health. Teoksessa: Doran, J.W. & Jones, A.J. (toim.). *Methods for assessing soil quality*. SSSA Special Publication Number 49. Madison: Soil Science Society of America Inc. s. 83-105. ISBN 0-89118-826-6.
- Setälä H. & Huhta V. 1991. Soil fauna increase *Betula pendula* growth: laboratory experiments with coniferous forest floor. *Ecology* 72: 665–671.
- 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: 61-74.
- Sherwood, S. & Uphoff, N. 2000. Soil health: research, practice and policy for a more regenerative agriculture. *Applied Soil Ecology* 15: 85-97.
- Shepherd, T.G. 2000. Visual soil assessment. Volume 1. Field guide for cropping and pastoral grazing on flat to rolling country. Palmerston North: Horizons.mv/Landcare Research. 84 s. ISBN 1-877221-92-9.
- Shepherd, T.G. & Janssen, H.J. 2000. Visual soil assessment. Volume 3. Field guide for hill country land uses. Palmerston North: Horizons.mv/Landcare Research. 48 s. ISBN 1-877221-94-5.
- Shepherd, T.G. & Park, S.C. 2003. Visual soil assessment: A management tool for dairy farmers. Teoksessa: Brookes, I.M. (toim.). *Proceedings of the 1st dairy conference*. Continuing Massey University Dairyfarming Annual (Volume 55) Dexcel's Ruakura Dairyfarmers' Conference, April 7-9, 2003, Rotorua. s. 111-123.
- Shepherd, T.G., Ross, C. W., Basher, L.R. & Saggart, S. 2000. Visual soil assessment. Volume 2. Soil management guidelines for cropping and

- pastoral grazing on flat to rolling country. Palmerston North: Horizons.mv/Landcare Research. 44 s. ISBN 1-877221-93-7.
- Sikora, L.J., Yakovchenko, V., Cambardella, C.A. & Doran, J.W. 1996. Assessing soil quality by testing organic matter. Teoksessa: Magdoff, F. ym. (toim.). Soil organic matter: analysis and interpretation. Proceedings of a symposium, Seattle, Washington, USA, 14th November, 1994. SSSA Special Publication 46. s. 41-50. ISBN: 0-89118-822-3.
- Sparling, G.P. 1997. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. Teoksessa: Pankhurst, C. ym. (toim.). Biological indicators of soil health. Wallingford: CAB International. s. 97-119. ISBN 0-85199-158-0.
- Sparling, G.P. & Schipper, L.A. 2002. Soil quality at a national scale in New Zealand. *Journal of environmental quality* 31: 1848-1857.
- Stamatiadis, S., Werner, M. & Buchanan, M. 1999. Field assessment of soil quality as affected by compost and fertilizer application in a broccoli field (San Benito County, California). *Applied Soil Ecology* 12: 217-225.
- Tugel, A.J., Seiter, S., Friedman, D., Davis, J., Dick, R.P., McGrath, D. & Weil, R.R. 2001. Locally led conservation activities: developing a soil quality assessment tool. Teoksessa: Stott, D.E. ym. (toim.). Sustaining the global farm. Selected papers from the 10th international soil conservation organization meeting, May 24-29, Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory. s. 529-534.
- Turtola, E. 1999. Phosphorus in surface runoff and drainage water affected by cultivation practices Academic Dissertation. University of Helsinki. 108 s.
- USDA 1999a. Soil quality card design guide: A guide to develop locally adapted conservation tools. United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. Päivitetty: elokuu 2002. Viitattu: 27.11.2003. Saatavissa internetistä: http://soils.usda.gov/sqi/soil_quality/assessment/cardguide.html
- USDA 1999b. The soil quality test kit guide. United States Department of Agriculture Agricultural Research Service and Natural Resources Conservation Service. Päivitetty: lokakuu 2003. Viitattu: 27.11.2003. Saatavissa internetistä: <http://soils.usda.gov/sqi/files/KitGuideComplete.pdf>
- USDA 2001. Guidelines for soil quality assessment in conservation planning. United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. Päivitetty: helmikuu 2001. Viitattu: 17.12.2003. Saatavissa internetistä: <http://soils.usda.gov/sqi/files/Assess.pdf>
- Uusitalo, R. & Salo, R. (toim.) 2002. Tutkittu maa – turvalliset elintarvikkeet. Viljavuustutkimus 50 vuotta – juhlaseminaari, Jokioinen, 24.9.2002. Maa- ja elintarviketalous 13. Päivitetty: 24.9.2002. Viitattu: 5.2.2004. Saatavissa internetistä: <http://www.mtt.fi/met/pdf/met13.pdf>

- Wander, M.M., Walter, G.L., Nissen, T.M., Bollero, G.A., Andrews, S.S. & Cavanaugh-Grant D.A. 2002. Soil quality: science and process. *Agronomy journal* 94: 23-32.
- Wardle, D.A., Giller, K.E. & Barker, G.M. 1999. The regulation and functional significance of soil biodiversity in agroecosystems. Teoksessa: Wood, D. & Lenne, J.M. (toim.). *Agrobiodiversity: characterization, utilization and management*. Wallingford: CABI Publishing. s. 87-121. ISBN 0-85199-337-0.
- Weil, R.R., Islam, K.R., Stine, M.A., Gruver, J.B. & Samson Liebig, S.E. 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: a simplified method for laboratory and field use. *American Journal of Alternative Agriculture* 18: 3-17.
- Viljavuuspalvelu, 1997. Viljavuustutkimuksen tulkinta avomaan puutarhaviljelyssä. Mikkeli: Viljavuuspalvelu Oy. 20 s.
- Viljavuuspalvelu, 2000. Viljavuustutkimuksen tulkinta peltoviljelyssä. Mikkeli: Viljavuuspalvelu Oy. 31 s.
- Vuorinen, J. & Mäkitie, O. 1955. The method of soil testing in use in Finland. *Agrogeologia julkaisuja* 63: 1-44.
- Yli-Halla, M., Mokma, D.L. & Wilding, L.P. 2002. Suomen viljelymaiden pedologisia piirteitä ja maannoksia. Teoksessa: Hopponen, A. (toim.). *Maataloustieteen päivät 2002 (verkkojulkaisu)*. Suomen Maataloustieteellisen seuran tiedote no 18. Julkaistu: 1.1.2002. Viitattu: 28.1.2004. Saatavissa internetistä: <http://www.agronet.fi/maataloustieteellinenseura/julkaisut/esit/26ylihallalla.pdf>
- Yli-Halla, M., Talkkari, A., Nyholm, R., Nevalainen, R., Lerssi, J., Väänänen, T., Tamminen, P. & Starr, M. 2003. Numeerinen Suomen maannostietokanta mittakaavassa 1:250 000 pilottihanke. MTT:n selvityksiä 44. Jokioinen: MTT. 52 s. Päivitetty 26.8.2003. Viitattu: 28.1.2004. Saatavissa internetistä: <http://www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts44.pdf>
- Ylivainio, K., Esala, M. & Turtola, E. 2002. Luonnonmukaisen ja tavanomaisen viljelyn typpi- ja fosforihuuhtoumat. *Maa- ja elintarviketalous* 12. Jokioinen: MTT. 74 s. Päivitetty: 5.9.2002. Viitattu: 29.1.2004. Saatavissa internetistä: <http://www.mtt.fi/met/pdf/met12.pdf>
- Yli-Viikari, A., Risku-Norja, H., Nuutinen, V., Heinonen, E., Hietala-Koivu, R., Huusela-Veistola, E., Hyvönen, T., Kantanen, J., Raussi, S., Rikkonen, P., Seppälä, A. & Vehmasto, E. 2002. Agri-environmental and rural development indicators: a proposal. *Agrifood Research Reports* 5. Jokioinen: MTT. 102 s. Päivitetty 10.6.2002. Viitattu: 12.3.2004. Saatavissa internetistä: <http://www.mtt.fi/met/pdf/met5.pdf>

Maa- ja elintarviketalous –sarjan ympäristöteemassa ilmestyneitä julkaisuja

2004

- 63** Maan laadun arviointi tiloilla – kirjallisuuskatsaus. *Kukkonen, S. ym.* 86 s. Hinta 20 euroa
- 59** Maatalouden ympäristötuen seuranta MYTVAS 2. Osahankkeiden 2-7 väliraportit 2000-2003. *Turtola, E. & Lemola, R. (toim.).* 175 s. Hinta 25 euroa.
- 47** Suuret pihatot – eläinten hyvinvointi, lypsyn työnmenekki, työolot ja ympäristönhoito. *Uusi-Kämppeä, J. & Rissanen, P. (toim.).* 184 s. Hinta 25 euroa

2003

- 38** Valuma-alueen ja vesistön välisen vuorovaikutuksen arviointi. *Nyholm, A-M. ym.* 75 s. Hinta 20 euroa.
- 27** Kadmium Suomen peltoekosysteemeissä: pitoisuuksia, taseita ja riskejä. *Mäkelä-Kurto, R.* 51 s. Hinta 20 euroa.
- 35** Emmental Sinileima –juuston tuotantoketjun ympäristövaikutukset ja parannusmahdollisuudet. *Voutilainen, P. ym.* 91 s. Hinta 20 euroa.
- 34** Kesäpöytä Juustokermaperunoiden ja Pirkka-perunajauhon ympäristövaikutukset. *Voutilainen, P. ym.* 54 s. Hinta 20 euroa.
- 33** Elovena-kaurahiutaleiden ympäristövaikutukset. *Katajajuuri, J-M. ym.* 47 s. Hinta 15 euroa.
- 28** Biojäte- ja lietekompostien käyttömahdollisuudet kasvintuotannossa. *Lehtonen, K. ym.* 120 s. Hinta 25 euroa.
- 25** Lypsykarjataloudesta tulevan ympäristökuormituksen vähentäminen. *Uusi-Kämppeä, J. ym. (toim.).* 131 s. Hinta 25 euroa.
- 12** Luonnonmukaisen ja tavanomaisen viljelyn typpi- ja fosforihuuhtoumat. *Ylivainio, K. ym.* 74 s. Hinta 20 euroa.

Julkaisuviitteet löytyvät sarjojen internetsivuilta
www.mtt.fi/julkaisut/sarjathaku.html.

