

# Maaperän tiivistyminen perunantuotannossa – kirjallisuuskatsaus

Timo Lötjönen



MTT:n selvityksiä 129  
27 s.

# **Maaperän tiivistyminen perunantuotannossa – kirjallisuuskatsaus**

Timo Lötjönen

ISBN 952-487-059-2 (Verkkajulkaisu)

ISSN 1458-5103 (Verkkajulkaisu)

[www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts129.pdf](http://www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts129.pdf)

Copyright

MTT

Timo Lötjönen

Julkaisija ja kustantaja

MTT

Jakelu ja myynti

MTT Kasvintuotannon tutkimus

Tutkimusasemantie 15, 92400 Ruukki

Sähköposti: [julkaisut@mtt.fi](mailto:julkaisut@mtt.fi)

Julkaisuvuosi

2006

Kannen kuva

Timo Lötjönen

# Maaperän tiivistyminen perunantuotannossa – kirjallisuuskatsaus

Timo Lötjönen<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus) Kasvintuotannon tutkimus, Tutkimusasemantie 15, 92400 Ruukki  
[timo.lotjonen@mtt.fi](mailto:timo.lotjonen@mtt.fi)

## Tiivistelmä

Perunamaiden muokkauskerroksen alapuolisen pohjamaan liiallinen tiiveys on ongelmana ympäri maailman, niin myös Suomessa. Osa tiivistymistä johtuu liian yksipuolisesta viljelystä, lukuisista ajokerroista painavilla koneilla maan ollessa liian kosteaa ja maan voimakkaasta käsittelystä perunanviljelyssä. Karkean maan pohjamaahan on voinut muodostua myös itsestään kovia kerrostumia, jolloin kyse on luontaisista iskostumista. Tiivistymästä ei ole välttämättä haittaa, mikäli se on reikiintynyt niin, että kasvien juuret pääsevät tunkeutumaan siihen.

Järkevintä on yrittää estää tiivistymistä ennakolta viljelyteknisin keinoin. Jo olemassa olevien tiivistymien rikkomiseen olisi varmintä käyttää monivuotista ja syväjuurista nurmea ja huolehtia maan kasvukunnosta. Aina nurmen viljely ei ole kuitenkaan mahdollista, vaan tuloksia halutaan nopeammin. Tiivistynyt kerros voidaan rikkoa mekaanisesti jankkurilla, lapiomuokkaimella, syväkynnöllä tai myyräauralla. Jankkurista on eniten kokemuksia perunamaiden kuohkeutuksessa. Myös jankon rikkomista kasvukauden aikana perunapenkkiä alta on kokeiltu.

Jankkurointi tai muu maan mekaaninen syväkuohkeutus kannattaa tehdä vasta, kun pohjamaa on tarpeeksi kuivaa murustuakseen kunnolla. Suomessa tämä aika on yleensä heinä-elokuun vaihteessa. Tutkimuksissa maan tiivistyminen nopeasti uudelleen jankkuroinnin jälkeen on aiheuttanut usein ongelmia. Joskus myös maan kantavuus on huonontunut merkittävästi jankkuroinnin seurauksena. Näiden ongelmien välttämiseksi peltolohkosta kannattaisi kuohkeuttaa vain pahoin tiivistyneet kohdat. Lisäksi pellolle kannattaisi perustaa jo kuohkeutusta edeltävänä keväänä monivuotinen viherkesanto, jotta peltoliikenne jää jankkuroinnin jälkeen vähäiseksi ja nurmen juuristo ehtii vakiinnuttaa kuohkeutetun maan.

---

*Avainsanat: peruna, pohjamaa, hieta, tiivistyminen, jankkurointi*

---

# Soil compaction in potato production - A review

Timo Lötjönen<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> MTT Agrifood Research Finland, Plant Production Research, Tutkimusasemantie 15, FI-92400 Ruukki, Finland  
[timo.lotjonen@mtt.fi](mailto:timo.lotjonen@mtt.fi)

## Abstract

Subsoil compaction in potato production seems to be a global problem; Finland is no exception. Once cause of compaction is derived from the consequences of monoculture repeated passing with heavy machines when soil is wet or through intensive soil treatment. Another cause of compaction is from naturally born restricting layers in coarse textured soils. Compaction is not always harmful; for example, if a compacted layer consists of pores allowing the roots to grow through the compaction.

The most sensible course to follow would be to attempt to prevent subsoil compaction in advance. The most reliable way to break the existing compaction seems to be to cultivate perennial deep-rooted ley and to look after the requirements of growth. The cultivation of leys is not always possible - it takes many years. Subsoil compaction can be broken mechanically using a subsoiler, spading machine, deep plough or mole plough. The subsoiler has been widely studied in loosening potato fields. Subsoiling under potato rows during the growing season has also been investigated.

It is sensible to carry out deep loosening only when the subsoil is dry enough to fissure well. In Finland, this is usually during the period July - August. In many experiments soil has re-compacted quickly after subsoiling. Sometimes the subsoil bearing capacity has decreased significantly after loosening. To prevent these problems only the most compacted areas of the field are worth loosening. Additionally, it would be sensible to set up perennial ley on the field before soil loosening in order to minimise field traffic and to stabilise the structure of loosened soil.

---

*Keywords: potato, subsoil, fine sand, compaction, subsoiling*

---

# Sisällysluettelo

1	Johdanto .....	6
2	Karkeiden maiden tiivistyminen .....	7
3	Tiivistymien haitat perunalla.....	8
4	Tiivistymien ehkäisy .....	10
5	Ojituksen toimivuuden varmistaminen .....	13
6	Tiivistymien korjaaminen mekaanisesti.....	14
6.1	Jankkurointi.....	16
6.2	Lapiomuokkaimet .....	18
6.3	Muut syväkuohkeutusmenetelmät.....	19
7	Tiivistymien korjaaminen luonnonprosessien avulla.....	20
8	Yhteenveto .....	21
9	Kirjallisuus .....	24

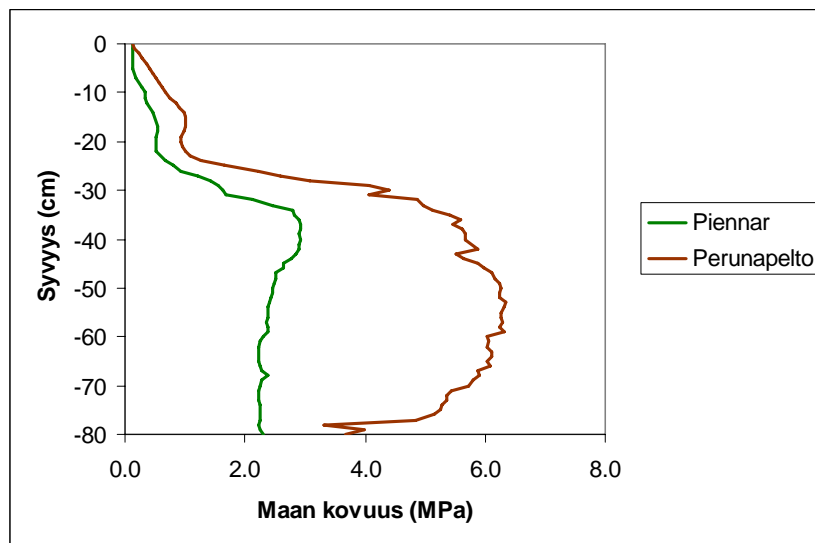
# 1 Johdanto

Suomessa perunaa viljellään pääasiassa karkeilla kivennäismailla ja lisäksi multamailla. Karkeita kivennäismaita (karkea ja hieno hieta, hiekka) on pidetty helposti viljeltävinä, eikä niiden oleteta tiivistyvän haitallisesti läheskään niin helposti kuin savimaiden. Toisaalta intensiivisessä viljelyssä olevilla perunamailla on viime vuosina havaittu tiivistymisen oireita: kuivina kausina peruna kärsii liian helposti kuivuudesta ja märkinä kausina liiasta kosteudesta.

Viljeltäessä perunaa maahan kohdistuu muita viljelykasveja suurempia rasituksia, sillä maata joudutaan käsittelemään runsaasti ja ajokertoja tulee vuoden mittaan paljon: istutusmuokkaukset ja istutus keväällä, multaukset, rikkakasvien- ja rutontorjuntaruiskutukset kesällä sekä sadonkorjuu ja kyntö syksyllä. Maata eniten rasittavat työvaiheet joudutaan tekemään silloin, kun pelto on yleensä märkää. Penkkien teko ja perunan nosto siirtävät ja lajittelevat maata runsaasti, mikä voi olla haitallista maan rakenteelle. Perunatiloilla puutteellinen viljelykierto ja jopa monokulttuuri ovat yleisiä, koska peruna-ala halutaan monesti maksimoida. Peruna kuitenkin hyötyy selvästi kunnollisesta kasvinvuorotuksesta.

Peruna on vaativa kasvi kasvualustan suhteen. Kasvualustan on oltava riittävän syvä, pehmeä ja hienojakoinen (pääosa muruista halkaisija < 12 mm), sillä perunan maanalaisten osien hapen tarve on suuri. Lisäksi perunan juuristo on hento ja heikko tunkeutumaan kovaan maahan. (Kuisma 2001)

Kuva 1. Karkealla hietamaalla olevan perunapellon ja viereisen viljelemättömän pientareen kovuus penetrometrillä mitattuna. Tiivistymistä on siis tapahtunut. Kuvan pelto sijaitsee Pohjois-Pohjanmaalla. Kuva: T. Lötjönen.



Maan tiivistyminen ilmenee Arnoldin ja Sojkan (1980) mukaan seuraavasti 1) maan tilavuuspaino (kg/m<sup>3</sup>) kasvaa, 2) maan kovuus lisääntyy, 3) maan kosteusominaisuudet muuttuvat monella tapaa, yleensä maan vedenpidätyskapasiteetti laskee ja 4) märän maan ilmapaino vähenee. Penetrometri on mittari, jolla mitataan maan kovuutta (esimerkki kuvassa 1). Mittaustulokset vaihtelevat maan kosteuden ja maalajin mukaan, mutta karkeana sääntönä voidaan pitää, että maa on liian kovaa kasvien juurille, kun sen kovuus ylittää 1,5 - 2 MPa (Dexter 1987, Wells et al. 2005). Myös kasvilajien juurten tunkeutumiskyvyssä on eroja, perunan juuriston ollessa tunkeutumiskyvyssä heikoimmasta päästä. Penetrometri ei kuitenkaan aina anna oikeaa kuvaa maan ominaisuuksista, sillä kovassa maassa saattaa olla juurten mentäviä halkeamia, joita mittari ei paljasta.

Savimailla murujen muodostuminen ja hajoaminen määräävät paljolti maan tiiveyttä ja viljelyominaisuuksia. Karkeiden maiden rakenne on yksihiukkeinen, maan mururakenteel-

la ei oleteta olevan karkeilla mailla yhtä suurta merkitystä kuin savimailla (Alakukku & Pietola 2002b). Silti tiivistäminen voi painaa karkean maan hiukkasia lähemmäs toisiaan tai sulkea huokosia. Lisäksi karkeissa maissa on monesti mukana myös hienompia maala-jeja, jotka lajittuessaan voivat muodostaa tiiviitä kerroksia. Pintamaa voi liettyä vettä huonosti läpäiseväksi ja syvemmälle voi muodostua luontaisia iskostumia. Karkeat maatkin voivat siis tiivistyä (kuva 1).

## 2 Karkeiden maiden tiivistyminen

Muokkauskerroksen (kyntökerros) tiivistymät voivat haitata pahoin kasvien juurten kasvua, mutta ne häviävät yleensä melko nopeasti seuraavien perusmuokkausten ja talven vaikutuksesta. Pohjamaan tiivistyminen on haitallisempaa, koska siellä tiivistymät pysyvät jopa vuosikymmeniä (Schjønning & Rasmussen 1994, Alakukku 1996).

Karkeiden maiden tiivistymistä ja kuohkeuttamista on tutkittu ulkomailla melko paljon. Tämä viittaa siihen, että ongelmia esiintyy. Suomessa maaperä- ja tiivistymätutkimus on keskittynyt savimaille, koska siellä tiivistyminen on haitallisinta. Karkeiden maiden tiivistymätutkimusta ei ole maassamme juurikaan tehty lukuunottamatta muokkauskerroksen tiivistämiskokeita porkkanalla (Pietola 1995).

Esimerkiksi lähes kaikilla Tanskan pelloista on kovaksi tiivistynyt kerros heti kyntösyvyyden alapuolella. Koska neljännes Tanskan peltomaasta luokitellaan karkeiksi, niin voidaan todeta, että tiivistyminen on myös karkeiden maiden ongelma (Munkholm et al. 2003). Toisen lähteen mukaan 50 % Tanskan viljelymaista sisältää savesta alle 10 %, eli maat ovat melko karkeita (Schjønning & Rasmussen 1994).

Tiivistymät voivat olla viljelytoimien aiheuttamia, kuten peltoliikenne, kyntö tai sadonkorjuutyöt maan ollessa liian märkää. Maa uhkaa tiivistyä silloin, kun koneista aiheutuva paine maahan on suurempi kuin maan kantokyky (Alakukku et al. 2003). Kyntö rasittaa varsin paljon pohjamaata, koska traktorin vaonpuoleiset pyörät tallaavat pohjamaata ilman pintamaan suojaavaa vaikutusta (Munkholm 2003 et al., Spoor et al. 2003, Tebrugge & During 1999). Monesti luisto on kynnettäessä suurta, minkä takia pohjamaa hiertyy, eli huokokset umpeutuvat. Koneiden ja peltoliikenteen aiheuttama tiivistymäriski on suuri, kun koneet ovat raskaita, niiden pyörävarustus on puutteellinen ja maa on märkää (Chamen et al. 2003).

Varsinkin karkeiden maiden pohjamaa voi olla myös luontaisesti tiiviiksi iskostunutta, eli aina syy ei ole viljelytekniikassa. Näitä iskostumia aiheuttavat mm. savikerrokset, rautakerrokset, kalkkikerrokset, kovaksi sementoituneet kerrokset ja luontaisesti kovettuneet hiekkakerrokset (Swain 1975). Iskostumista voi olla myös hyötyä, jos kasvien juuret pääsevät kasvamaan niiden läpi. Ne voivat suojata syvempiä kerroksia koneiden aiheuttamalta tiivistymiseltä ja tuoda peltoon kantavuutta (Spoor et al. 2003).

Tanskalaisessa kokeessa tutkittiin karkean ja hienon hiedan tiivistymistä 32 tonnia painavan dumperin alla (Schjønning & Rasmussen 1994). Tiivistäminen tehtiin, kun maan kosteus oli lähellä kenttäkapasiteettia eli maa oli liki niin kosteaa, kuin se pystyy enimmillään pidättämään vettä. Koejäsenet olivat seuraavat: 1) ei tiivistystä, 2) yksi ajo pellon pinnalla, 3) neljä ajoa pellon pinnalla, 4) neljä ajoa kyntökerroksen pohjalla, 5) kuten 4, mutta jankkurointi pari vuotta myöhemmin. Maa jankkuroitiin lokakuussa pellon ollessa kuivaa, ensin 30 cm:n syvyyteen ja myöhemmin 50 cm:n syvyyteen.



Maan tiiveyttä mitattiin penetrometrillä 5-6 vuotta tiivistämisen jälkeen. Karkea hietä oli tiivistynyt pahemmin kuin hieno hietä, jopa yksi ajokerta näkyi karkealla hiedalla. Erityisen paljon maa tiivistyi, kun dumperilla ajettiin kyntökerroksen pohjalla. Jankkuroinnilla oli selvästi maata kuohkeuttava vaikutus. Karkealla hiedalla se näkyi vielä 4 vuoden päästä käsittelystä, mutta ei hienolla hiedalla. 9 vuoden keskiarvona karkealla hiedalla käsittelyistä 3 ja 4 tuli 5 – 7 % heikompi viljasato, kuin käsittelemättömästä. Hienolla hiedalla tiivistys alensi satoa vain, kun ajettiin kyntökerroksen pohjalla. Syynä on todennäköisesti se, että karkealla hiedalla juuristo on pinnemmassa (<60 cm) ja näin herkempi vaurioille kuin hienolla hiedalla. Karkealla hiedalla jankkurointi lisäsi selvästi tiivistetyn maan satoa, mutta hienolla hiedalla ei. Toisaalta karkealla hiedalla jankkurointi myös alensi satoa, jos käsiteltiin tiivistämätöntä maata. Tiivistämisen haitallinen vaikutus näytti pienenevän ajan myötä karkealla hiedalla (Schjonning & Rasmussen 1994).

Hollantilaisessa kokeessa hietaista hiekkamaata tiivistettiin 5600 kg painavalla traktorilla (Boone et al. 1978). Peruna valittiin koekasviksi, koska sen tiedettiin olevan erityisen herkkä maaperän tiivistymille. Koejäsenet olivat seuraavat: 1) ei tiivistystä, 2) ei tiivistystä + sadetus, 3) yksi ajo pellon pinnalla niin, että koko pinta tuli tallatuksi, 4) sama kuin 3) + sadetus, 5) tiivistysajo tehtiin neljä kertaa, 6) muokkauskerros poistettiin ja tiivistysajo tehtiin pohjamaan päällä, jonka jälkeen pintamaa palautettiin takaisin. Tiivistäminen tehtiin, kun maan kosteus oli lähellä kenttäkapasiteettia.

Maan tiivistäminen vähensi sen huokostilavuutta, mutta vesipitoisuuteen vaikutus oli vaihteleva. Tiivistäminen ja sitä seuraava haihdunnan aiheuttama vesipitoisuuden lasku lisäsivät merkittävästi maan kovuutta penetrometrillä mitattuna. Tiivistäminen esti juurten tunkeutumista maahan huomattavasti, koejäsenessä 1) juuret tunkeutuivat jopa liki 1 m:n syvyyteen, mutta koejäsenessä 6) vain 60 cm:iin, kaikissa kuitenkin kyntöanturan läpi. Maan suuri mekaaninen vastus näytti estävän tehokkaasti juurten tunkeutumisen syvälle. Sadetussa maassa juuret eivät menneet läheskään yhtä syvälle kuin kuivassa maassa. Lievä tiivistäminen lisäsi, mutta runsas tiivistäminen vähensi kapillaarisen vedennousun mahdollisuutta pintamaahan. (Boone et al. 1978)

Hietamaan lievän tiivistämisen on todettu olevan edullista muissakin tutkimuksissa. Pietolan (1995) tutkimuksessa hietamaan tiivistyminen paransi maan vedenpidätyskykyä ja pienensi sen makrohuokoisuutta. Lievästi tiivistetty maa oli porkkanasadon kannalta parempi kuin liian löyhä maa. Arnoldin ja Sojkan (1980) tutkimuksessa muokkauskerroksen tiivistäminen paransi lievästi sokerijuurikkaan ja vehnän satoa, mutta heikensi perunan satoa.

### 3 Tiivistymien haitat perunalla

Perunan kasvualustan rakennevaatimukset ovat biologisia (perunan kasvu on mahdollista) ja teknologisia (viljelytekniikan soveltaminen on mahdollista). Biologisesta näkökulmasta kasvualustan on mahdollistettava juurten kasvu, veden ja ravinteiden otto, veden liike, mukuloiden kasvuympäristö ja kaasunvaihto. Teknologisesti ottaen maan on oltava kantava, muokkaantava, pysyvä rakenteinen ja seuloontuva.

Kirjallisuuden mukaan peruna vaikuttaa olevan erityisen arka kyntökerroksen tiivistymille. Pohjamaan tiivistymisen vaikutuksista perunan kasvuun ei vallitse yhtä selkeä yksimielisyys.

Van Loon ja Bouma (1978) raportoivat edellä esitellyn hollantilaisen Boone et al. (1978) yksivuotisen perunakokeen satotulokset. Kokeessa kyntökerroksen tiivistäminen johti perunan juurten jäämiseen pintaan, heikkoon veden käyttökelpoisuuteen ja hitaaseen lehtien

ja juurten kasvuun. Kyntökerroksen tiivistäminen alensi lievästi perunan markkinakelpoisuutta satoa. Jankon tiivistäminen johti alussa nopeaan lehtien kasvuun, koska tiivistäminen lisäsi kapillaarista veden nousua, juurten kasvu kuitenkin pysähtyi nopeasti jankkoon. Jankon tiivistäminen alensi perunan markkinakelpoisuutta satoa jopa 40 %. Maan tiivistäminen näytti lisäävän lievästi pienten ja epämuodostuneiden mukuloiden määrää (van Loon & Bouma 1978).

Pohjois-Dakotassa tehdyssä kokeessa hiesusavimaan pintakerrosta tiivistettiin 17,7 tonnin painoisella kuorma-autolla (Arnold & Sojka 1980). Tiivistyskäsittely tehtiin keväällä ennen perunan istutusta. Penetrometrimittausten mukaan maa oli tiivistynyt 15 cm:n syvyyteen, mutta ei enää 30 cm:n syvyyteen. Perunaa viljeltiin tiivistetyillä ja tiivistämättömillä ruuduilla kaksi vuotta.

Ensimmäisenä vuonna tiivistäminen pienensi merkitsevästi ykkösluokan perunasatoa ja tärkkelyspitoisuutta. Epämuotoisten ja heikkolaatuisten perunoiden sato lisääntyi suuntaa antavasti tiivistämisen seurauksena. Toisena koevuonna satovaikutukset eivät olleet enää tilastollisesti merkitseviä, vaikka ykkösluokan sato ja markkinakelpoinen sato jäivät edelleen suuntaa antavasti pienemmiksi tiivistetyssä maassa (Arnold & Sojka 1980). Raportissa ei kerrota miten maa muokattiin ensimmäisen ja toisen koevuoden välillä, mutta näyttäisi siltä, että perusmuokkaus ja muut viljelytoimet ovat hävittäneet osan keinotekoisesti tehdyistä pintamaan tiivistymistä.

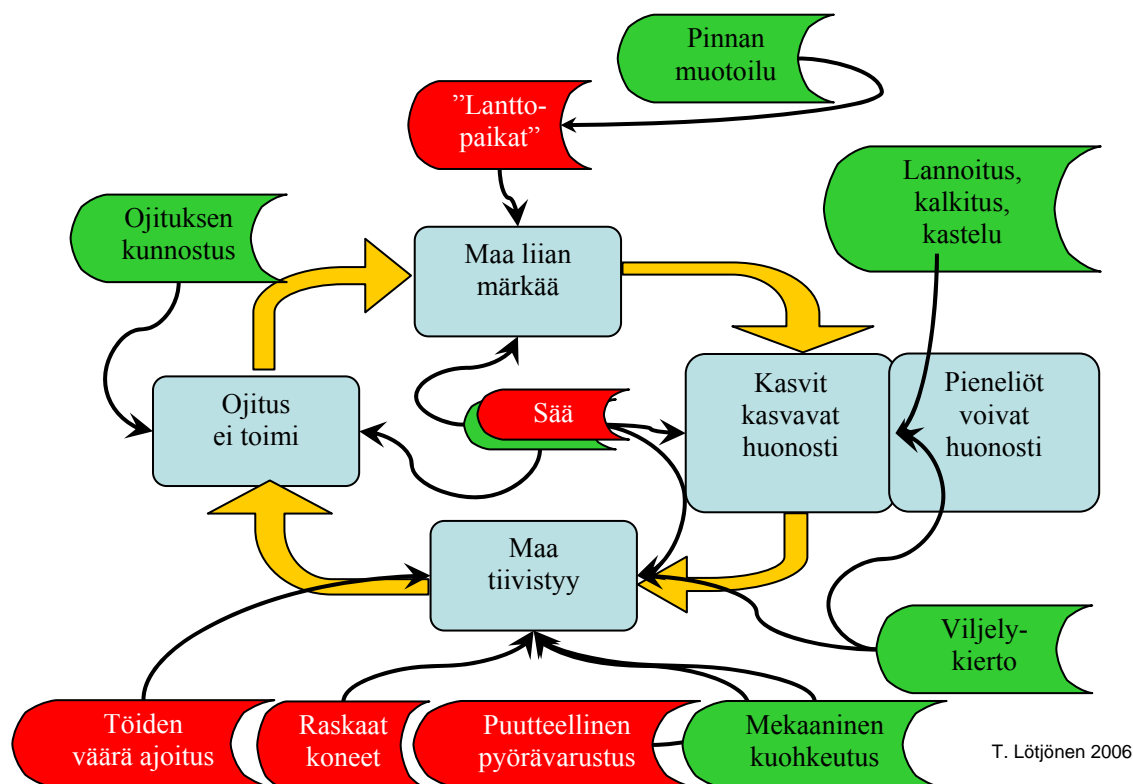
Piercen ja Burpeen (1995) kolmivuotisessa kokeessa tiivistyneen hietaisen hiesumaan jankkurointi 33-36 cm:n syvyyteen paransi keskimäärin perunan satoa verrattuna pelkkään kyntöön. Tämä viittaa siihen, että tiivistynyt kyntöantura oli rajoittanut perunan kasvua. Myös Westermann ja Sojka (1996) toteavat perunan olevan erityisen herkkä maaperän tiivistymille. Heidän kokeessaan tiivistyneen hiesusavimaan kasvukauden aikainen jankkurointi 45 cm:n syvyyteen lisäsi perunasatoa 10 % ja paransi perunan laatua.

Stonen (1982) kokeessa hietainen hiesusavimaa kaivettiin koneellisesti pois 90 cm:n syvyydeltä 30 cm:n kerroksina varoen kerrosten sekoittamista. Kerrokset pantiin heti takaisin, ja osaan ruuduista lisättiin lannoitetta eri kerroksiin. Seuraavan vuoden perunan satoon kuohkeuttaminen tai lannoitteen syväsjoiittaminen ei vaikuttanut. Sen sijaan pavun, kaalin, sipulin ja punajuuren satoon kuohkeuttamisella oli selvä parantava vaikutus. Kasvien juurten havaittiin tunkeutuvan syvemmälle kuohkeutetussa maassa ja todennäköisesti kuohkeutus oli parantanut kasvien vedensaintia. Lannoitteen sijoittamisesta ei tulkittu olleen hyötyä. Penetrometrimittausten mukaan maa ei ollut kovin tiivistynyttä edes käsittelemättömässä koejäsenessä, mikä saattaa selittää sitä, miksi kuohkeutus ei ollut lisännyt perunan satoa. Kuohkeutus näkyi penetrometrillä mitattuna vielä neljän vuoden päästäkin käsittelestä.

Buxtonin (1981) tutkimuksessa kyntökerroksen (25-30 cm) alapuolinen tiivistymä ei juurikaan vaikuttanut perunasadon määrään tai laatuun, kunhan kyntökerrosta ei tiivistetty. Kyntökerroksen lievä tiivistyminen laski perunan satoa, mutta sillä oli vain vähän vaikutusta perunan laatuun. Kyntämällä tai kultivoimalla kyntökerroksen tiivistymä voitiin korjata. Nämä menetelmät olivat yhtä tehokkaita, eikä ollut järkevää käyttää molempia samaan vuonna. Mekaanisesti aikaansaatu kuohkeutus ei kuitenkaan kestänyt yhtä kasvukautta pidempään. Suuren kasvustomassan maahan jättävät kasvit ovat hyviä perunan välikasveja (esim. sinimailanen ja viljat). Perunan viljely tiheimmin kuin joka neljäs vuosi tiputti sen satoa 3-4 tonnia/ha/v, eli kunnollinen viljelykierto näyttää olevan tärkeä perunalle.

## 4 Tiivistymien ehkäisy

Entistä massiivisemmat maatalouskoneet myös perunantuotannossa uhkaavat tiivistää peltomaita. Mikäli viljelykierto on yksipuolinen, maahan kohdistuva raskaus toistuu vuosittain, eivätkä luonnonprosessit ehdi korjaamaan vahinkoja. Erityisen huolestuttavaa on muokauskerroksen alapuolisen pohjamaan tiivistyminen. Jos näin tapahtuu, syntyneet tiivistymät kestävät vuosikausia ja niiden korjaaminen on kallista (Schjönning & Rasmussen 1994, Alakukku 1996, Spoor et al. 2003). Siksi erityisesti pohjamaan tiivistymisen estäminen on oleellista viljelytoimenpiteitä tehtäessä. Maaperän tiivistyminen on kuin syöksykierre, jossa haitalliset tapahtumat seuraavat toisiaan (kuva 2).



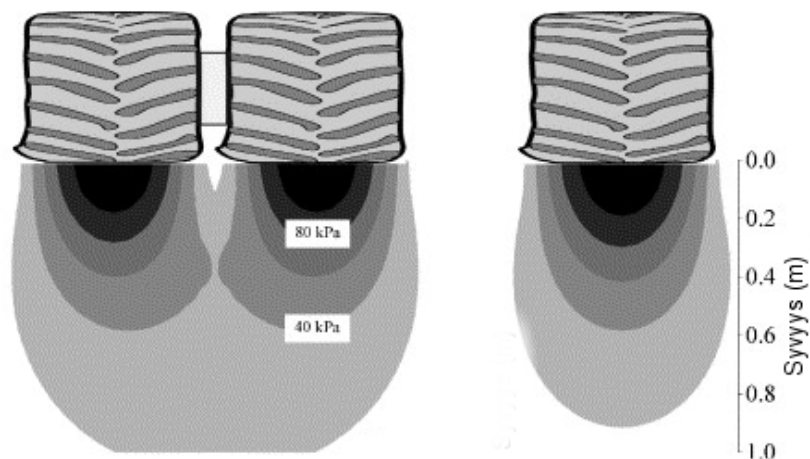
Kuva 2. Maaperän tiivistyminen on syöksykierre, joka on pyrittävä katkaisemaan mahdollisimman monesta kohtaa. Punaiset tekijät pahentavat tiivistymiskierrettä, vihreät korjaavat sitä.

Tärkeintä olisi välttää ajamista pellolla, kun maa on märkää. Ojitus tulisi olla kunnossa, jotta märkä jakso jää mahdollisimman lyhyeksi. Mitä kosteampaa maa on, sitä kevyempiä tulisi koneiden olla. Luonnon omat, kuohkeutta ylläpitävät prosessitkaan eivät toimi kunnolla liian märässä maassa. Kalkituksesta, sopivasta lannoituksesta ja viljelykierrosta huolehtiminen on myös olennaista, koska tällöin kasvien juuret kasvavat ja maan eliöt voivat paremmin, mikä edesauttaa maan rakenteen säilymistä. (Alakukku 2002)

Keskiarvovuonna heinäkuussa pellolla voitaisiin hyvinkin ajaa esimerkiksi 35 tonnin painoisella juurikkaannostokoneella, mutta jo lokakuussa maan tiivistymisriski on ilmeinen jopa Ruotsin oloissa, koska maa on niin märkää (Arvidsson 1999). Maaperän kannalta oleellista on paine (kPa), joka siihen kohdistuu. Paineen suuruudesta, maan kosteudesta ja maalajista määräytyy se, jääkö maalle aiheutettu muodonmuutos pysyväksi eli aiheutuuko tiivistymä. Pintapainetta alentamalla tätä painetta voidaan vähentää eli suuren massan maahan kohdistamaa raskautta voidaan vähentää kasvattamalla kosketuspintaa. (Arvidsson 1999, Keller et al. 2003)

Aiemmin (1980-90 luvuilla) oltiin sitä mieltä, että merkittävin tekijä koneiden aiheuttamalle tiivistymiselle on koneiden akselipaino (mm. Håkansson 1985, Alakukku 1996). Suositeltiin, ettei määrällä savimaalla ylitettäisi 6 tonnin akselipainoa tai 8-10 tonnin telipainoa (Håkansson & Danfors 1981). Pintapaineen alentamisesta tiedettiin kyllä olevan hyötyä, mutta esimerkiksi painavan koneen paripyöräasennusta ajateltiin yhtenä ”könttänä”, joka tiivistää maata syvältä vaikka pintapaine onkin alhainen.

Ruotsalaiset Keller & Arvidsson (2004) ovat mitanneet kosteaan savimaahan kohdistuvaa painetta leveys ja syvyysuunnassa paripyörien ja telin alla. Kehittynyt anturi- ja mallinustekniikka mahdollistivat huomattavasti aiempaa tarkemmat tutkimukset. Puutteena mitauksissa oli, ettei niistä raportoitu maan pysyvää muodonmuutosta, joka kertoisi tiivistymäriskistä painemittausta enemmän. Yllättävää tuloksissa oli, että paripyörä- ja teliasennuksissa jokainen pyörä näytti käyttäytyvän kuten erilliset pyörät, eikä edellä kuvattua ”könttävaikutusta” havaittu. Toisin sanoen esimerkiksi paripyöräasennuksessa pyöräkohmainen massa voitiin liki kaksinkertaistaa ykköspyöräasennuksesta ilman, että syvällekkään (0,5 m) ulottuva paine olisi kasvanut verrattuna ykköspyöräasennukseen (kuva 3). Ykköspyöräasennuksessa traktorin taka-akselikuormitus oli 55 kN ja paripyöräasennuksessa 88 kN. Rengaskoko oli molemmissa sama ja rengaspaine 60 kPa. Paripyörien välissä oli tavanomainen 10 cm:n rako.



Kuva 3. Maahan kohdistuva paine Kellerin & Arvidssonin (2004) tutkimuksessa. Akselikuormitus oli paripyöräasennuksessa 88 kN ja ilman paripyöriä 55 kN. Rengaskoko ja rengaspaine olivat molemmissa tapauksissa samat. Tulokset on saatu mittaamalla ja mallintamalla. Mallinnus noudatti hyvin mitattuja tuloksia.

Teliakselistossa (3 akselia) pyörien yksittäiskäyttäytyminen oli vielä selvempää, koska siinä peräkkäisten pyörien välinen etäisyys on suurempi kuin paripyöräasennuksessa. Itsekulkevan juurikkaannostokoneen pyörän ilmanpaineen lasku pienensi maahan kohdistuvaa painetta, mutta maan pintakerroksessa paineen lasku oli pienempää, kuin mitä oli ennalta oletettu (Keller & Arvidsson 2004). Toisaalta Alakukun et al. (2003) mukaan teliakseliston käyttö altistaa maan tiivistymiselle, koska siinä samaa ajouraa kuormitetaan toistuvasti.

Kellerin & Arvidssonin (2004) mukaan maahan kohdistuva paine ja siitä aiheutuva tiivistyminen eivät ole suoraan riippuvaisia koneen massasta tai akselikuormituksesta, kuten aiemmin on oletettu. Ennemmin pitäisi pyrkiä rajoittamaan pyöräkohtaista massaa ja pintapainetta. Tämän toteavat myös Alakukku et al. (2003). Paripyörien ja telin käyttö on suositeltavaa siitäkkin syystä, että siten ilmanpainetta renkaissa voidaan pienentää, joka taas

pientää maan tiivistymisriskiä. Johtopäätökseksi voidaan vetää se, että akselikohtainen massa voi olla aiempia suosituksia suurempi, kunhan pyörät ovat riittävän isoja ja leveitä, paripyöriä tai teliä käytetään ja rengaspaineet ovat renkaan kestävyuden ja toimivuuden kannalta mahdollisimman alhaiset.

Rengaspaineen alentaminen heikentää renkaan kuormankantokykyä, maantieajo-ominaisuuksia ja ääritapauksessa sen kestävyyttä. Maan ollessa märkää, pitäisi pyrkiä vain noin 50 kPa rengaspaineisiin (Alakukku et al. 2003). Harvoilla renkailla tämä on kuitenkin mahdollista, eikä painetta voida jatkuvasti muuttella esimerkiksi pellolta tielle tultaessa. Käytännössä pitäisi pyrkiä pitämään rengaspaineet alle 100 kPa:n. Kuivissakaan oloissa ei pitäisi ylittää 200 kPa, jollei se ole teknisistä syistä välttämätöntä.

Rengassuosituksukset koskevat myös perävaunuja ja työkoneita, koska esimerkiksi kanttipaalaimen massa saattaa olla 9 tonnia, noukinvaunun ja hinattavan perunannostokoneen jopa 15 tonnia. Tällöin ei ole syytä tinkiä rengasvarustuksesta. Valitettavasti paripyörät eivät sovi jokaiseen käyttötilanteeseen, perunannostokonetta vetävässä traktorissa ne polkevat perunapenkkejä ja hinattavaa tarkkuussilppuria vetävässä traktorissa noukittavaa heinäkarhettä. Tieliikennettä ajatellen ne tekevät jo muutenkin suurista koneista jopa vaarallisen leveitä. Perunanviljelyn ruiskutus- ja nostotöissä käytetään penkkien tallaantumisen välttämiseksi kapeita renkaita painavissa traktoreissa. Kehitys on juuri päinvastaista, kuin sen pitäisi olla. Viljelyteknologiaa olisi kehitettävä siten, että leveiden renkaiden tai paripyörien käyttö on mahdollista kaikissa töissä, joissa maan tiivistymisriski on olemassa. Koneiden painot olisi saatava myös alemmas, mutta jatkuvasti lisääntyvät tehokkuusvaatimukset eivät tätä kovin helposti mahdollista. Yksi ratkaisu saattaa olla itsenäisesti toimivat automaattikoneet, joita kehitetään eri puolilla maailmaa. Tällöin koneen ei tarvitse olla äärimmäisen tehokas ja painava, koska se voidaan laittaa työskentelemään 24 h vuorokaudessa ilman ajajalle maksettavaa palkkaa.

Kyntöanturan suurin tiivistäjä ja aiheuttaja ovat kyntötraktorin vaossa kulkevat pyörät (Keller et al. 2003, Munkholm et al. 2003). Kyntövaon pohja ja sen alapuolinen maa ovat lähes poikkeuksetta märkiä kyntöaikaan, koska kyntöä tehdään myöhään syksyllä tai aikaisin keväällä. Tästä aiheutuu luistoa, jolloin maassa olevat huokokset liippaantuvat umpeen. Lisäksi tuossa pohjamaassa ei ole muokkaamalla tehtyä mekaanista rakennetta, joka suojaisi sitä massan tiivistäviltä vaikutuksilta. Kyntöanturaan on saattanut lajittua ylempää hienompaa maa-ainesta, joka tiivistyy helposti. Oma merkityksensä on myös auran vantaiden kyntöanturaan kohdistamalla paineella, mutta sen vaikutus lienee vähäisempi. On alettu kokeilemaan uudelleen ns. on-land-kyntöä, jossa kyntötraktoria ei ajeta vaon pohjassa, vaan kokonaan sängellä (Keller et al. 2003, Munkholm et al. 2003, Schepel 2000). Tällöin myös leveän rengasvarustuksen ja jopa paripyörien käyttö on mahdollista.

Munkholmin et al. (2003) tutkimuksessa on-land kyntö esti tehokkaasti maan uudelleen tiivistymistä syväkuohkeutuksen jälkeen. Satokin oli hieman parempi kuin perinteisen kynnön sato. Kellerin et al. (2003) painemittauksissa perinteisen kynnön pohjamaahan kohdistama paine oli selvästi suurempi kuin sängeltä tapahtuvassa kynnössä. On-land-kynnössä on muutamia teknisiä ongelmia, jonka takia se ei ole yleistynyt. Auran pitää olla melko leveä (mielellään 5-siipinen tai isompi), jotta aura ei kampea uuteen vetopisteeseen siirrettyä traktoria. On-land-auran sovittaminen traktoriin voi vaatia välirungon. Jos maa on märkää, sängeltä kynnettäessä traktorin vetokyky voi olla pienempi kuin mitä vaosta kynnettäessä (Keller et al. 2003). Traktorin ohjaaminen ei ole yhtä helppoa on-land-kynnössä kuin perinteisessä vaon reunaa seuraavassa kynnössä. Gps:n avulla tapahtuvan traktorin automaattiohjauksen yleistyminen tuonee tähän helpotusta.

Kumitelatraktorin käyttö on yksi mahdollisuus pienentää maahan kohdistuvaa pintapainetta. Siinä maata koskettava pinta-ala on selvästi suurempi kuin pyörätraktorissa. Aiempien mittausten mukaan yksittäisten tukirullien alla on saattanut olla kuitenkin merkittäviä maahan kohdistuvia painepiikkejä. Kellerin et al. (2003) mittausten mukaan telatraktorin maahan kohdistama paine oli kuitenkin pienempi kuin sitä puolet kevyemmän pyörätraktorin aiheuttama paine. Oleellista on, että telatraktorin vetopiste on oikeassa kohtaa, jotta kuormitus kohdistuu tasaisesti koko telastoon.

Australiassa, USAssa ja jopa Ruotsissa on myönteisiä kokemuksia vuosittain samalla paikalla pysyvien ajourien käytöstä. Menetelmässä lähdetään siitä, että maa saa ajourien kohdalla tiivistyä kovaksi, kunhan muu osa pellostä säilyy kuohkeana. Ajourien paikantamiseen käytetään apuna esimerkiksi gps-järjestelmää. Työkoneiden on oltava keskenään samanlevyisiä tai toistensa kerrannaisia (Chamen et al 2003). Perunanviljelyyn tekniikka voisi muuten sopia, mutta nostokoneiden pieni työleveys pakottaa ajamaan pellolla 1-2 perunapenkin välein.

Koska kyntö on selvä riski pohjamaan tiivistymiselle, kannattaa miettiä, missä tilanteessa kynnöstä voisi luopua siirtymällä kevytmuokkaukseen tai suorakylvöön. Perunalla tämä ei onnistu niin helposti kuin esimerkiksi viljakasveilla, mutta Suomessakin on isäntiä, jotka muokkaavat perunamaansa kultivoimalla. Ajokertojen vähentäminen ja työvaiheiden yhdistäminen on oleellista varsinkin silloin, kun joudutaan ajamaan märällä maalla (Alakukku 2002). Tämä ei saisi kuitenkaan johtaa merkittävään pyöräkohtaisen kuormituksen lisääntymiseen.

## 5 Ojituksen toimivuuden varmistaminen

Suomessa sadanta on selvästi suurempaa mitä haihdunta, joten ylimääräinen vesi on johdettava pelloilta pois, jotta viljelytoimet voidaan suorittaa ajallaan ja kasveille saadaan hyvät kasvuolot (Alakukku 2002). Tiivistyminen lähtee lähes aina liikkeelle liiasta märkyydestä, joten ojituksen merkitystä ei voi oloissamme liikaa korostaa. Aiemmin ojitus oli järjestetty sarkaojien avulla, mutta nykyisestä viljelyteknologiasta johtuen salaojitus on tarkoituksenmukaisempaa. Salaojien huono puoli on se, että niiden toimintahäiriöiden selvittäminen ja korjaaminen on hankalampaa kuin avo-ojien.

Salaojien toimintahäiriöt ovat monesti usean tekijän yhteisvaikutusta. Häiriötä kannattaa lähteä selvittämään todennäköisimmästä ja helpoimmasta päästä. Usein peltoa ympäröivät piiri- ja valtaojat ovat niin umpeenpainuneita tai liettyneitä, ettei vesi pääse laskuaukoista ulos. Laskuaukot ovat myös voineet sortua umpeen, mikäli maalajilla on sellaisia taipumuksia. Ojastossa voi olla suunnittelu- tai asennusvirheitä, mutta ne ilmenevät yleensä melko pian ojituksen valmistumisen jälkeen. Salaojaputket ovat voineet tukkeutua ruosteen tai maa-aineksen takia. Tukkeutumia voidaan avata ja ennaltaehkäistä huuhtelemalla. (Peltomaa 2002). Tiiliputkilla voi tulla kyseeseen tukkeutuneen paikan esille kaivu ja puhdistaminen sitä kautta.

Putkien ympärysaine on voinut muuttua huonosti vettä läpäiseväksi. Sorasilmäkkeitä rakentamalla ongelmaa voidaan korjata. Pohjamaa eli jankko on voinut tiivistyä niin, ettei se läpäise vettä kunnolla, jolloin voidaan harkita jankon rikkomista mekaanisesti. Muokkauskerros on voinut muuttua huonosti läpäiseväksi esimerkiksi liian hienoksi muokkaamisen tai lätäköitymisen takia, jolloin pintamaan huokokset ovat liettyneet umpeen. Tähän auttavat maan rakennetta parantavien kasvien viljely ja pellon pinnan muotoilu siten, ettei lätäköitä muodostu. (Peltomaa 2002)

## 6 Tiivistymien korjaaminen mekaanisesti

Useimmissa viljelymaissa on perusmuokkauskerroksen alla kovempi kantava kerros eli jankko (Munkholm et al. 2003, Spoor et al. 2003). Tämä kerros on syntynyt aluksi hevosten kavioiden alla ja myöhemmin traktorin pyörän alla, kun maata on kynnetty ja vetokoneen pyörät ovat kulkeneet avoimessa kyntövaossa. Myös kyntöauran vantaat painavat ja tiivistävät maata alapuoleltaan. Monesti tämä kantava kerros on reikiintynyt niin, että kasvien juuret, vesi ja ilma pääsevät liikkumaan sen lävitse. Silloin sitä ei kannata lähteä mekaanisesti rikkomaan, koska jankkokerros suojelee alempana olevaa pohjamaata tiivistymiseltä (Spoor et al. 2003). Maan kantavuus kärsisi, eivätkä kasvit kasvaisi aiempaa paremmin.

Usein jankko on niin tiivistä, etteivät kasvien juuret tai vesi pääse sen läpi. Sateen jälkeinen lätäköityminen voi kieliä tästä. Toki lätäköityminen voi johtua myös pintamaan liettymisestä (Alakukku 2002). Mikäli maa on lätäkön alla kuivaa, kertoo tämä pintamaan liettymisestä eli pintamaa on jauhautunut tai lajittunut liian hienoksi. Maa voi olla myös luontaisesti iskostunutta siten, että koko perusmuokkauskerroksen alapuolinen pohjamaa on kauttaaltaan yhtä kovaa. Pintamaakin on voinut olla alun perin kovaa, mutta pikkuhiljalleen syvenevä muokkaus on kuohkeuttanut sen.



Kuva 4. Maahan kaivettu kuoppa paljastaa, että raiheinän juuret ovat kasvaneet 50 cm:n jankkurointisyvyyteen jankkurin vantaan kohdalla hienolla hietamaalla. Ympäriällä oleva koskematon jankko on niin kovaa, etteivät juuret ole voineet tunkeutua siihen. Kuva T. Lötjön.

Paras ja oikeastaan ainoa keino päättää, tarvitaanko pohjamaan kuohkeuttamista, on kaivaa peltomaahan noin puoli metriä syviä kuoppia ja tutkia mihin syvyyteen kasvien juuret ovat kasvaneet (kuva 4). Tämä tulisi tehdä silloin, kun kasvit ovat päässeet kasvamaan stressittömästi ja juuriston arvellaan olevan laajimmillaan, viljoilla tämä on kukinnan aikaan. Esimerkiksi penetrometrillä juuriston kasvussyvyyttä ei voi yleensä suoraan mitata, mutta jos se ”kalibroidaan” esiin kaivetun juuristoprofiilin ja vastaavan maan koivuuden avulla, sillä voidaan melko nopeasti kartoittaa samankovuisten paikkojen yleisyys peltolohkolla (Spoor et al. 2003).

Kun juurien kasvussyvyys on selvillä, voidaan arvioida, saataisiinko kuohkeuttamisesta hyötyä kasvien kasvun kannalta. Ensisijaisesti kannattaisi pyrkiä hyödyntämään biologista kuohkeuttamista, eli viljelykierto on olisi sisällytettävä syväjuurisia ja monivuotisia viljelykasveja,

kuten nurmea. Monivuotiset viljelykasvit kerryttävät maahan lisäksi orgaanista ainesta, mikä parantaa karkean maan vedenpidätysominaisuuksia ja 'murujen' kestävyyttä. Tällöin liettymisalttius vähenee. Olot peltomaassa tulisi saada sellaisiksi, että lierot ja muut pieneliöt viihtyvät maassa. Biologisen kuohkeutuksen vaikutukset maassa ovat yleensä pidempi-ikäisiä, kuin mekaanisen kuohkeutuksen vaikutukset (Alakukku 2002). Biologisen kuohkeutuksen haittapuolena on hitaus, esimerkiksi nurmijakson pituuden olisi oltava noin kolme vuotta, jotta sen juuristo ehtisi kasvaa riittävän laajaksi. Samalla peltolohko on pois muusta tuotannosta ja viljelyn kannattavuus voi heiketä merkittävästi, ellei kuohkeuttajakasvin sadolle ole käyttöä esimerkiksi rehuna.

Maata, jossa ei ole tiivistymiä tai luontaisia iskostumia, ei kannata lähteä kuohkeuttamaan mekaanisesti, koska kirjallisuudessa on lukuisia viitteitä siitä, että ko. tapauksissa sadot ovat voineet jopa huonontua (Schjonning & Rasmussen 1994, Nevens & Reheul 2002, Munkholm et al. 2003). Tämä voi johtua esim. siitä, että kuohkeutuksen jälkeen vesi karkaa liian nopeasti salaojiin tai maa liettyy ja tiivistyy sateiden seurauksena aiempaa enemmän, koska maan luontaista rakennetta on häiritty.

Pohjamaan mekaanista kuohkeuttamista (subsoiling) on tehty Yhdysvalloissa jo 1800-luvulta alkaen. Työhön kehitettyjä koneita ovat mm. jankkurit, myyräaurat, kyntöauran siipiin kiinnitettävät jankon rikkojat ja lapiomuokkaimet (Swain 1975). Myös järeillä jäykäpiikkisillä kultivaattoreilla voidaan tietyissä oloissa rikkoa normaalin muokkauskerroksen alapuolista jankkoa. Tyypillisesti näissä menetelmissä pohjamaa löyhdytetään ja tiivistymiä rikotaan, mutta maata ei käännetä tai nosteta pintaan. Syväkyntö on myös yksi pohjamaan kuohkeuttamistapa, mutta siinä pohjamaata nousee pinnalle. Viime vuosina maatalouden käytettävissä olevien vetokoneiden vetoteho on kasvanut huomattavasti, mikä mahdollistaa tarvittaessa suurtenkin pinta-alojen syväkuohkeutuksen. Siinä mielessä tilanne on muuttunut paljon esimerkiksi Suomessa verrattaessa nykyhetkeä vaikkapa 1980-lukuun.

Mekaanista kuohkeutusta tehtäessä maan pitäisi olla koko työsyvyydeltä murustuvan kuivaa. Liian märkä maa ei murustu kunnolla, vaan siihen syntyy vain terien vetämät tiivistyneet urat, jotka menevät helposti uudelleen umpeen. Kun pintamaa on kosteaa, vetokoneen pyörät luistavat helposti liikaa, mikä ei ole hyväksi maan rakenteelle, polttoainetaloudelle eikä työn laadulle. Liian kuivassa maassa vetovastus on suuri ja tietyt maalajit lohkeilevat isoiksi möhkäleiksi. Sopivan kuivaa savimaa on silloin, kun sen kosteus on ns. kieritysrajan ja lakastumisrajan välissä. (Swain 1975, Rolf 1987, Spoor et al. 2003). Karkeilla mailla tarkkoja kosteusrajoja ei pysty tekemään. Suomessa optimaalisin ajankohta pohjamaan kuohkeutukselle olisi heinä-elokuussa, ennen syyssateita. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kuohkeutettava maa kannattaisi jättää viherkesannolle. Maa voi olla tarpeeksi kuivaa joinain vuosina myös aikaisen ohran puinnin jälkeen. Joka vuosi kuohkeutukselle sopivaa aikaa ei tule ollenkaan. Monesti voi olla niin, että pintamaa on syksyllä märkää, mutta kuivan kesän jälkeen sen alapuolella oleva maa on kuivaa. Tällöin kuohkeutus ei onnistu vetokoneen pyörien suuren luiston takia.

Kuohkeutuksen jälkeen maahan olisi hyvä saada juurtumaan syväjuurinen, mielellään monivuotinen kasvusto, jotta kasvien juuret pystyisivät stabilisoimaan kuohkeutetun maan. Samoin koneilla liikkuminen tulisi rajoittaa mahdollisimman vähäksi, ettei uudelleentiivistymistä tapahtuisi. Tässä mielessä monivuotinen, syväjuurisia kasveja sisältävä viherkesanto on paras vaihtoehto. (Alakukku & Elonen 1997, Munkholm et al. 2003). Viherkesanto kannattaa perustaa jo ennen kuohkeutusta, esimerkiksi edellisen vuoden suojaviljaan, jotta peltoliikenne jää minimiin kuohkeutuksen jälkeen.



Tanskalaisessa Munkholmin et al. (2003) kokeessa kyntökerroksen alapuolelta tiivistynyt karkea hietamaa jankkuroitiin elokuussa 2000. Vuonna 2001 viljeltiin lupiinia ja apilaa ja vuonna 2002 kokoviljasäilörehua. Maan uudelleen tiivistymisen estämiseksi tutkittiin tavanomaista kyntöä + normaalia peltoliikennettä, on-land-kyntöä + normaalia peltoliikennettä, on-land-kyntöä + kevennettyä peltoliikennettä (rengaspaine <80 kPa, akselikuorma <6 tonnia) ja on-land-kyntöä + kevennettyä peltoliikennettä (työt tehtiin telatraktorilla). Parhaiten uudelleen tiivistyminen estyi on-land-kyntön ja kevennetyn peltoliikenteen yhdistelmällä. Muiden käsittelyjen välillä erot olivat pieniä. Paras kokoviljasato tuli kuitenkin käsittelystä, jossa työt oli tehty telatraktorilla ja hyödynnetty on-land-kyntöä, koska siinä kyntökerros oli löyhintä. Munkholmin et al. (2003) mukaan on oleellista estää kerran kuohkeutetun maan uudelleen tiivistyminen. Keinoja tähän ovat on-land-kyntö, kevennetty peltoliikenne ja kuohkeutetun maan stabilointi syväjuuristen kasvien viljelyllä (esim. lupiini).

## 6.1 Jankkurointi

Jankkuri (subsoiler) on harvapiikkinen muokkain, jolla maata voidaan muokata 60 – 80 cm:n syvyyteen (kuva 5) (Swain 1975, Alakukku & Elonen 1997). Yleensä ei ole tarkoituksenmukaista muokata pohjamaata koko työlevydeltä, vaan maahan halutaan jäävän koskemattomia kannakkeita, jotka kantavat työkoneita märkinä aikoina. Sopiva piikkiväli on 1,5-2,0 x tavoiteltu työsyvyys (Spoor et al. 2003). Toisen, vanhemman lähteen mukaan sopiva piikkiväli olisi sama kuin työsyvyys (Swain 1975). Jankkurin muokkausvaikutus perustuu maan murtumiseen, kun työsyvyudessa kulkeva terälappu nostaa maata hieman ylöspäin. Siksi on oleellista, että jankkuroinnin aikaan pohjamaa on tarpeeksi kuivaa, että maa murustuu.

Jankkurin kärkikappaleen optimaalisin kulma on 20-25° vaakatasosta. Jankkuroinnin sopiva työsyvyys on 7 – 10 cm maassa olevan tiivistyneen kerroksen alapuolella, jos maassa on sellainen (Swain 1975). Jankkurilla ei kannata ajaa tarpeettoman syvään koska tällöin vetotehon tarve kasvaa nopeasti, eikä maa välttämättä murru enää toivotulla tavalla. Jankkurointi 50 cm:n syvyyteen 10 cm leveällä terälapulla vaatii vetotehoa 44 – 51 kW terää kohti. Maalaji vaikuttaa tehontarpeeseen. Kaareva terävarsi tai voa:n avulla oskilloiva terälappu voivat vähentää tehontarvetta huomattavasti. (Swain 1975)

Sopivin ajosuunta jankkurilla olisi 90° suhteessa salaojiin (Swain 1975). Toisaalta jankkurointia ei kannattaisi tehdä samaan suuntaan kuin mitä on peltolohkon yleinen ajosuunta, etteivät työkoneiden pyörät kulkisi jatkuvasti jankkuroiduissa urissa, jolloin ne tiivistyvät helposti uudelleen. Voikin olla järkevää jankkuroida peltolohko esimerkiksi 45° kulmassa salaojiin ja yleiseen ajosuuntaan nähden.

Yleensä jankkurointi on parantanut eri kasvien satoja, lisännyt veden kulkeutumista maassa ja mahdollistanut juurten kasvamisen syvemmälle, joskin myös esimerkkejä päinvastaisista satovaikutuksista on (Swain 1975, Schjonning & Rasmussen 1994, Munkholm et al. 2003). Jankkurointi voi myös alentaa pohjaveden (orsiveden) pintaa talveksi, jolloin kevätöihin pääsee nopeammin. Karkeilla mailla jankkurointi parantaa lähinnä kasvien juurten kasvua pohjavettä kohti, ei niinkään veden liikkeitä ylöspäin. (Swain 1975)

Ehkä yleisimmin käytetty jankkuri-tyyppi on suorakärkinen jankkuri (kuva 5). Sen terälappu on noin 20-25° kulmassa vaakatasosta ja lievästi V-kirjaimen muotoinen. Suurin työsyvyys on konetyypistä riippuen 50-100 cm. Siipiteräjankkurin terä muistuttaa järeissä kultivaattoreissa käytettyjä hanhenjalkateriä. Rakenteesta johtuen yhden siipiterän työleveys on yleensä suurempi kuin suorakärkisen jankkurin terän työleveys. Jankkureissa voi olla samantapaiset kiekko-leikkurit kuin kyntöauroissa, jolloin maan pinta muokkaantuu hyvin vähän ja jankkurointi voidaan tehdä esimerkiksi kasvavaan nurmeen. Jankkurin terissä täytyy olla murtopultit tai hydraulilaukaisimet kiivenajon varalta. (Swain 1975, Spoor et al. 2003)



Kuva 5. 2000-luvun tietämyksen mukaan rakennettu jankkuri. Kuva: E. Virtanen.

Paraplow on Britanniassa kehitetty jankkurityyppi, jonka terävarret ovat noin 45°-kulmassa eteenpäin ja toisaalta samanverran kallellaan sivulle ajosuuntaan nähden. Kärkikappaleena on kapea, lievästi nostava kärkipala. Terän varressa voi olla myös lievä pullistuma. Nämä yhdessä pakottavat maan nousemaan hieman ylöspäin ja siirtymään sivulle, jolloin optimioloissa maa kuohkeutuu lähes kauttaaltaan. Työsyvyys on yleensä maksimissaan noin 35 cm. Paraplowssa voi olla myös samantapaiset kiekko-leikkurit kuin kyntöauroissa. (Spoor et al. 2003, Wageningen University 2004)

Kyntöauran siipiin kiinnitettävät jankon rikkojat muokkaavat jankkoa kynnön aikana 10-15 cm syvemmälle kuin mitä on kyntösyvyys (Swain 1975, Alakukku & Elonen 1997). Järjestely pienentää työmenekkiä, mutta yhdistetyn kynnön ja jankkuroinnin vetotehontarve on suuri. Kyntöaikaan pohjamaa saattaa olla myös liian märkää jankkuroitavaksi.

Koska tiedetään, että pellosto kannattaisi jankkuroida vain tiivistyneet kohdat, on kehitetty menetelmä, jossa maan kovuus kartoitetaan ensin paikkakohtaisesti traktoriin kiinnitetyn viiden penetrometrin avulla (Wells et al. 2005). Kerätyistä tiedoista laaditaan kartta, jolloin jankkurointi voidaan kohdistaa pahimmin tiivistyneisiin pellon kohtiin. USA:laisessa kohteessa kasvatettiin näin käsitellyssä pellossa maissia, vehnää ja soijaa. Yleensä täsmämuokkaus paransi satoa hieman, mutta harvoin niin paljon, että se olisi ollut taloudellisesti kannattavaa (Wells et al. 2005). Ilmeisesti tiivistymäkartoitukseen kului niin paljon aikaa, että halvemmallalla olisi päästy, jos koko pelto olisi jankkuroitu kauttaaltaan. Menetelmän kehittäminen jatkuu kuitenkin edelleen.

## 6.2 Lapiomuokkaimet

Lapiomuokkain on järeää kelajyrsintä muistuttava kone, jonka teräkselille kiinnitetyt terät ovat kuin pieniä lapioida (kuva 6). Koneita on tuotu Suomeenkin muutamia kappaleita viime vuosina. Mallista riippuen työsyvyys voi olla 30-90 cm. Lapiointikoneessa puolestaan on ylös-alas-suunnassa liikkuvia lapioida, jotka pistoillaan kuohkeuttavat maata, kun veto-tractorilla ajetaan eteenpäin (Pezzi 2005). Englannin kielessä saatetaan molemmasta kone-tyypistä hieman harhaanjohtavasti käyttää nimeä ”spading machine”. Näitä traktorin voimanottokäyttöisiä koneita on valmistettu mm. Hollannissa ja Italiassa jo useita vuosikymmeniä, mutta tutkimustieto niistä on edelleen melko vähäistä.



Kuva 6. Hollantilaisvalmisteinen lapiomuokkain.  
Kuvat: T. Lötjönen

Pezzi (2005) vertasi kyntöauraa, lapiomuokkainta ja lapiointikonetta toisiinsa Italiassa kovalla hiesusavimaalla. Muokkaussyvytydet olivat 30 ja 40 cm. Voimanottokäyttöiset työkonet hienonsivat maan tehokkaammin ja niiden polttoaineen kulutus oli pienempi kuin kyntöauralla. Lapiointikoneen vuosittaiset kustannukset olivat kaikkein alhaisimmat. Lapiomuokkaimen kustannukset olivat samalla tasolla kyntöauran kanssa. Lapiomuokkaimessa oli myös kiinteitä jankkurointi-työkaluja, jotka olivat lisäämässä koneen vetovastusta ehkä tarpeettomasti. Voimanottokäyttöisillä koneilla vetotraktorin pyörien luisto jäi selvästi pienemmäksi kuin kyntöauralla. Eri menetelmien aiheuttamia satovaikutuksia ei tässä kokeessa mitattu.

Jagglin (1994) savimaan kokeessa (1990-92) mukana olivat kyntö, lapiomuokkain ja matala kyntö+jankkurointi. Eri menetelmien satovaikutukset olivat pieniä ja hieman ristikkäisiä. Lapiomuokkain vähensi kauran satoa yhtenä vuonna, mutta paransi rehumaisiin ja rehujuurikkaan satoja toisina vuosina. Lapiomuokkaus suurensi huokosten määrää ja paransi maan läpäisevyyttä 25-35 cm:n maakerroksessa. Juzwik et al. (1997) totesivat lapiointikoneen olevan hyvin tehokkaan, jos maan pinnalle levitettyjä kemikaaleja on tarpeen haudata syvälle maahan.

### 6.3 Muut syväkuohkeutusmenetelmät

Myyräaura on yksiteräinen jankkuri, jonka terän jatkeeksi on kiinnitetty kuula. Kuulan tarkoituksena on vetää maahan tilapäisiä salaojia, jotka edesauttavat veden kulkeutumista varsinaisiin salaojiin. Myyräojat on optimaalisinta vetää kohtisuoraan salaojiin nähden ja sellaisella kaadolla, että vesi virtaa mahdollisimman hyvin salaojiin. Myyräauraa suositellaan savesta yli 30 % sisältäville maalajeille, koska puhtaissa karkeissa maissa myyräojat eivät pysy kovin kauaa auki (Hamilton-Manns et al. 2002, Peltomaa 2002).

Hamilton-Manns et al. (2002) kokeilivat tiivistyneen laidunmaan kuohkeuttamista myyräauralla, Paraplowlla ja suoravartisella jankkurilla. Työsyvyudet olivat kahdella ensimmäisellä laitteella 0,45 m ja jankkurilla 0,25 m. Hiesusavimaa kuohkeutui kaikilla menetelmillä, mutta pysyvin kuohkeutusvaikutus oli Paraplowlla. Käsittelyä seuranneeseen rehukaalin ja vehnän satoihin millään kuohkeutusmenetelmällä ei ollut kuitenkaan vaikutusta.

Perunalla voidaan käyttää myös ns. rivijankkurointia, jossa maa jankkuroidaan vain perunapenkin alta istutuksen jälkeen. Tällöin perunan juuret pääsevät todennäköisesti tunkeutumaan syvälle, kun jankko on rikottu juuri oikeasta paikasta, eikä pellolla enää ole tarvetta ajaa raskailla koneilla kyseisenä kasvukautena. Paraplow-jankkurista on kehitetty työhön sopiva Paratill-jankkuri, jonka 45 asteen kulmassa olevat terävarret mahdollistavat perunapenkien alapuolisen maan kuohkeuttamisen siten, etteivät perunapenkit hajoa. Paratill-jankkurin suurin työsyvyys on noin 45 cm. Amerikkalaisessa Sojkan et al. (1993) kokeessa rivijankkurointi lisäsi perunan 1-luokan sadon määrää 4,6 – 7,7 %. Lisäksi sadetuksesta johtuva maan eroosio väheni huomattavasti jankkuroinnin seurauksena.

Pierce ja Burpee (1995) kokeilivat Paratill-jankkuria kolmivuotisessa perunakokeessa. Noin 36 cm:n syvyyteen tehdyt jankkuroinnit lisäsivät suurten huokosten määrää ja siten paransivat ojituksen toimintaa ja maan ilmavuutta. Ensimmäisenä koevuonna jankkurointi paransi kauppakelpoisen perunasadon määrää noin 4-6 tn/ha. Toisena vuonna Paratillin käyttö syksyllä tuotti jopa 8 tn/ha kyntöä heikomman sadon. Kolmantena vuonna satoeroja ei juurikaan ollut. 25 ja 28 cm:n siemenväleillä jankkuroinnin sadonlisäys oli yleensä varmempaa kuin 36 cm:n siemenvälillä. Kuivana vuonna, jolloin jouduttiin sadettamaan paljon, jankkuroinnista ei ollut hyötyä, jos ei haittaakaan.

Tanskalaisessa kolmivuotisessa hiekkamaan kokeessa jankkuroitiin perunapenkien väliset alueet. Jankkurointi tehtiin siipijankkurilla 40 cm:n syvyyteen heti perunan taimettumisen jälkeen. Jankkurointi lisäsi markkinakelpoisen perunan satoa keskimäärin 14 %. Vuosittaiset vaihtelut olivat kuitenkin suuria: ensimmäisenä vuonna markkinakelpoisen sadon määrä nousi 49 %, toisena ei ollenkaan ja kolmantena vuonna kokonaissato laski 7 %. Keskimäärin jankkurointi vähensi epämuodostuneiden perunoiden osuutta ja rupea sadossa. Yksi todennäköisimmistä syistä vuosittaisiin vaihteluihin oli erilaiset sademäärät. Kahtena viimeisenä koevuonna satoi selvästi enemmän ennen jankkurointia ja sen jälkeen kuin ensimmäisenä vuonna. Märissä oloissa jankkurointi tiivistää maata ja löyhennetty maa liettyy nopeasti umpeen, jos sataa paljon. Kuitenkaan ei ole täysin selvää, mistä jankkuroinnin hyödyn vuosittaiset erot johtuvat, muita syitä voivat olla kasvien erilaiset kasvuvaiheet eri vuosina ja ravinteiden erilainen vapautuminen eri vuosina jankkuroinnin seurauksena. (Henriksen et al. 2004)

## 7 Tiivistymien korjaaminen luonnonprosessien avulla

Mekaanisen kuohkeutuksen ohella myös biologisilla prosesseilla on merkittävä vaikutus maan rakenteeseen. Perunantuotannossa viljelykierto on tehokkain tapa pitää maan mururakenne kunnossa. Biologisesti muodostunut mururakenne on yleensä kestävämpi kuin muokkaamalla aikaansaatu. Toisaalta biologiset prosessit ovat melko hitaita. Sadonkorjuun tai viherkesannon viljelyn jälkeen maahan jäävä kasvitähde tuo maahan orgaanista ainesta ja toimii maata kuohkeuttavien pieneliöiden ravintona. Tältä kannalta mahdollisimman rehevät kasvustot ovat eduksi. (Alakukku 2002, Spoor et al. 2003)

Kasvien juuret muodostavat lahotessaan juurikanavia, jotka toimivat myöhemmin veden ja kaasujen virtausreitteinä. Kasvien juurten kyvyssä tunkeutua tiivistyneiden maakerrosten lävitse ja juurten kasvusyvyyksissä on merkittäviä eroja, esimerkiksi perunan juuristo on melko heikko tunkeutuja. Parhaita meille sopivia kuohkeuttajakasveja ovat sinimailanen ja ruokonata, myös puna-apila ja kaura ovat melko hyviä (Alakukku 2002). Monivuotiset kasvit ovat tässä mielessä parempia, koska niillä on aikaa kasvattaa laaja ja syvälle ulottuva juuristo. Toisaalta täytyy huomauttaa, että monivuotinen nurmi voi haitata sitä seuraavan perunan viljelyä, koska vanhat nurmet pyrkivät varsinkin kevyillä mailla muodostamaan turpeita.

Pietola & Alakukku (2005) mittasivat hienoon hietamaahan kylvettyjen yksivuotisten kasvien juuristomassaa 0-60 cm:n syvyydeltä. Suurin juuriston kuivamassa oli kukkimisen aikaan italianraiheinällä  $340 \text{ g m}^{-3}$ , kauralla se oli  $260 \text{ g m}^{-3}$ , ohralla  $160 \text{ g m}^{-3}$  ja rypsilä  $110 \text{ g m}^{-3}$ . Rypsin juuriston kasvu oli nopeinta. Suurin osa (59–80%) juuriston massasta kertyi ylimpään 20 cm:n kerrokseen. Koska raiheinän juuriston kasvu oli nopeinta loppukesästä, se sopii hyvin typenkerääjäkasviksi viljojen jälkeen. Niemen ym. (2005) kokeessa mitattiin hienohietamaalla olevan kolmannen vuoden nurmen juuriston määrää. Punaapilan juuriston kuivamassa oli 0-20 cm:n syvyydessä suurempi kuin timotein, mutta 20-40 cm:n syvyydessä tilanne oli päinvastoin. Tosin tuossa syvyydessä kummankaan kasvin juuristomassa ei ollut kovin suuri pintakerrokseen verrattuna.

Maan pieneliöstö eli mikrobisto hajottaa kasvijätteitä ja muodostaa mururakennetta ylläpitäviä aineksia. Hiekalla ja hiesulla pieneliöstöllä on erityisen suuri merkitys, mutta savimailla esimerkiksi maan halkeilulla on suurempi merkitys. Peltomaan olot kannattaisi säätää siten, että pieneliöstö viihtyy mahdollisimman hyvin, koska näissä oloissa kasvitkin menestyvät. Pieneliöstön viihtyvyyttä edesauttavia tekijöitä ovat runsas eloperäisen aineksen määrä, sopiva kosteus ja happipitoisuus, neutraali pH ja tasapainoinen ravinnetila. (Nuutinen & Palojärvi 2002)

Lierot ovat maaperää kuohkeuttavista eliöistä tunnetuimpia ja tehokkaimpia. Niiden kaimamat käytävät ulottuvat jopa yli metrin syvyyteen ja ne toimivat näin ollen tehokkaina veden ja kaasujen virtausreitteinä. Niiden uloste vaikuttaa myös edullisesti maan mururakenteeseen. Yleensä lierojen suuri määrä peltomaassa kertoo maan hyvästä rakenteesta. (Nuutinen & Palojärvi 2002). Kaikilla pelloilla lieroja ei kuitenkaan ole. Syinä voivat olla märkyys, alhainen pH tai viljelykierron yksipuolisuus. Monestikin olosuhteet kannattaisi tehdä lieroille sopiviksi, koska lierojen tekemä muokkaustyö on ilmaista.

Savimaan jäätyminen ja sulaminen sekä kuivuminen ja kastuminen kutistavat ja turvottavat maata, jolloin maa kuohkeutuu. Karkeilla mailla ilmiön merkitys on vähäinen. Alakukku (1996) yhdeksän vuotta kestäneessä kokeessa savimaa tiivistettiin aluksi telipainoltaan 19 tonnin painoisella perävaunulla. Maa jäätyni 50 cm syvyyteen kuutena talvena ja kuivui sekä halkeili useana kesänä. Kyntökerroksesta tiivistämisen jäljet olivat hävinneet kynnön

ja luonnonprosessien seurauksena, mutta pohjamaan penetrometrinen vastus oli edelleen suurempi ja maan rakenne massiivisempi kuin mitä käsittelemättömässä koejäsenessä vielä yhdeksän vuotta tiivistämisen jälkeen. Tiivistettyynkin pohjamaahan oli muodostunut biohuokosia, joiden ansiosta tiivistynyt pohjamaa toimi viljelyn kannalta paremmin, kuin mitä esimerkiksi penetrometrimittausten perusteella olisi voinut olettaa. Saattaa olla, että biohuokokset olivat lierojen aikaansaannoksia. Ne pysyivät auki, vaikka maa turposi kosteuden seurauksena.

## 8 Yhteenveto

Suomessa perunaa viljellään pääasiassa karkeilla kivennäismailla ja lisäksi multamailla. Karkeita kivennäismaita (karkea ja hieno hieta, hiekka) on pidetty helposti viljeltävinä, eikä niiden oleteta tiivistyvän haitallisesti läheskään niin helposti kuin savimaiden. Toisaalta intensiivisessä viljelyssä olevilla perunamailla on viime vuosina havaittu maan huonosta rakenteesta johtuvia oireita. Ulkomaisen kirjallisuuden mukaan myös karkeat maat voivat tiivistyä. Lisäksi niiden pohjamaa voi olla luontaisesti tiiviiksi iskostunutta, eli aina syy ei ole viljelytekniikassa. Iskostumia aiheuttaa mm. maan lajittuminen tiivistymiselle alttiisiin kerrostumiin. Perunan juuristo on heikko ja se pystyy tunkeutumaan huonosti tiivistyneeseen kasvualustaan.

Maatalouskoneiden jatkuva painonnousu ja töiden tekeminen liian kosteaan aikaan uhkaavat tiivistää peltomaita. Riviviljelyssä käytetään hyvin usein kapeita renkaita, jolloin maahan kohdistuva pintapaine on suuri. Erityisen huolestuttavaa on muokkauskerroksen alapuolisen pohjamaan tiivistyminen. Jos näin tapahtuu, syntyneet tiivistymät kestävät vuosikausia ja niiden korjaaminen on kallista. Siksi erityisesti pohjamaan tiivistymisen estäminen on oleellista viljelytoimenpiteitä tehtäessä. Tärkeintä olisi välttää ajamista pellolla, kun maa on märkää. Ojitus tulisi olla kunnossa, jotta märkä jakso jää mahdollisimman lyhyeksi. Mitä märempää maa on, sitä alhaisempi pitäisi olla käytettävien koneiden aikaansaama pintapaine.

Uusimpien ruotsalaistutkimusten mukaan maahan kohdistuva paine ja siitä aiheutuva tiivistyminen eivät ole suoraan riippuvaisia koneen massasta tai akselikuormituksesta, kuten vielä 1990-luvulla oletettiin. Ennemmin pitäisi kiinnittää huomio pyöräkohtaisen massan ja pintapaineen alentamiseen, minkä ovat todenneet myös Chamen et al. (2003). Pariipyörien ja telin käytöllä pintapainetta voidaan pienentää. Niiden käyttö on suositeltavaa siitähän syystä, että ilmanpainetta renkaissa voidaan laskea, joka taas vähentää maan tiivistymisriskiä. Kellerin & Arvidssonin (2004) tutkimuksessa paripyöräasennuksen tai telin painevaiikutukset maassa eivät kumuloituneet siten, kuten aiemmin on oletettu. Tutkimustulos on sikäli merkittävä, sillä se mahdollistaa aiempia suosituksia jonkin verran raskaampien koneiden käytön kustella maalla, mikäli pyörävarustus on asianmukainen.

Kynnön on havaittu olevan selvä riski pohjamaan tiivistymiselle, koska kyntökerroksen pohja on usein kostea ja kyntötraktorin pyörät tallaavat ja hiertävät tehokkaasti tätä pohjaa. Siten kannattaa miettiä, missä tilanteessa kynnöstä voisi luopua siirtymällä kevytmuokkaukseen tai suorakylvöön. Perunalla tämä ei onnistu niin helposti kuin esimerkiksi viljakasveilla. Sängeltä tapahtuva ”on-land-kyntö” saattaisi olla yksi ratkaisu tähän. Kokeissa sängeltä tapahtuva kyntö on selvästi vähentänyt pohjamaan tiivistymisriskiä, koska kyntökerros vaimentaa pohjamaahan kohdistuvaa painetta.

Monesti kyntökerroksen alapuolinen kantava kerros eli jankko on reikiintynyt niin, että kasvien juuret, vesi ja kaasut pääsevät liikkumaan sen lävitse. Silloin sitä ei kannata lähteä

mekaanisesti rikkomaan, koska jankkokerros suojelee alempana olevaa pohjamaata tiivistymiseltä. Jos jankko rikottaisiin tällaisessa tapauksessa, maan kantavuus kärsisi, eivätkä kasvit kasvaisi aiempaa paremmin. Usein jankko on kuitenkin niin tiivistä, etteivät kasvien juuret tai vesi pääse sen läpi. Paras ja oikeastaan ainoa keino päättää, tarvitaanko pohjamaan kuohkeuttamista, on kaivaa peltomaahan noin puoli metriä syviä kuoppia ja tutkia mihin syvyyteen kasvien juuret ovat kasvaneeet.

Jos päädytään mekaaniseen kuohkeutukseen, käsittelyä tehtäessä maan pitäisi olla koko työsyvyydeltä riittävän kuivaa. Kuohkeutustyöhön yleisimmin käytetyn jankkurin muokausvaikutus perustuu maan murtumiseen, kun työsyvyydessä kulkeva terälappu nostaa maata hieman ylöspäin. Liian märässä maassa murtumista ei tapahdu ja vetokoneen luisto on haitallisen suuri. Suomessa optimaalisin jankkurointiajankohta on yleensä heinäelokuussa. Jankkuroinnin tavoitteena ei ole kuohkeuttaa pohjamaata kauttaaltaan, vaan maahan pitäisi jäädä koskemattomia kannaksia, jotka kantavat pellolla liikkuvien koneiden painon. Kuohkeutettuun maahan pitäisi saada nopeasti kasvamaan syväjuurinen ja monivuotinen kasvusto, jotta pelto ei sateiden vaikutuksesta tiivistyisi uudelleen. Silti riski uudelleen tiivistymiselle on olemassa, varsinkin Suomessa, jossa vuotuinen sademäärä on korkea.

Ulkomaisissa kokeissa jankkurointi on yleensä nostanut lievästi perunasatoa, mikäli pohjamaa on ollut selvästi tiivistynyttä. Jos tiivistymiä ei ole ollut, on seurauksena voinut olla satotason lasku esimerkiksi veden kapillaarisen nousun heikentyessä. Kuohkeutuksen sato-vaikutus on monesti vaihdellut paljon koevuosien välillä. Maan tiivistyminen nopeasti uudelleen kuohkeutuksen jälkeen on todettu monesti ongelmaksi.

Lapiomuokkain on meillä uusi konetyyppi, joka periaatteessa mahdollistaa perunan kynämättä viljelyn. Konetta vedetään sängeltä, jolloin pohjamaata ei kynnön tapaan tiivistetä ja jopa paripyörien käyttö on joissain tapauksissa mahdollista. Traktorin voimanottokäytöisenä sen vetotehon tarve on pieni. Tarvittaessa maaperän jankkoa voidaan hienontaa esimerkiksi 40 cm:n syvyydeltä.

Perunalla voidaan käyttää myös niinsanottua rivijankkurointia, jossa maa jankkuroidaan vain perunapenkin alta istutuksen jälkeen. Tällöin perunan juuret pääsevät todennäköisesti tunkeutumaan syvälle, kun jankko on rikottu juuri oikeasta paikasta, eikä pellolla enää ole tarvetta ajaa raskailla koneilla kyseisenä kasvukautena. Paraplow-jankkurista on kehitetty työhön sopiva Paratill-jankkuri, jonka 45°:een kulmassa olevat terävarret mahdollistavat perunapenkkien alapuolisen maan kuohkeuttamisen siten, etteivät perunapenkit hajoa. Myös perunapenkkien välistä jankkurointia on kokeiltu. Tanskalaisessa kokeessa näin saatiin keskimäärin 14 % suurempi sato, mutta sadonlisä vaihteli suuresti vuosittain.

Mekaanisen kuohkeutuksen jälkeen maahan olisi hyvä saada juurtumaan syväjuurinen, mielellään monivuotinen kasvusto, jotta kasvien juuret pystyisivät stabilisoimaan kuohkeutetun maan. Lisäksi peltoliikenne pitäisi rajoittaa kuohkeutuksen jälkeen minimiin. Mekaanisen kuohkeutuksen ohella myös luonnon prosesseilla on merkittävä vaikutus maan rakenteeseen. Kasvien juuret, mikrobit ja lierit tekevät ilmaista biologista muokkausta. Biologisesti muodostunut mururakenne on yleensä kestävämpi kuin muokkaamalla aikaansaatu. Maaperän jäätyminen ja sulaminen sekä kuivuminen ja kastuminen kutistavat ja turvottavat maata, jolloin maa kuohkeutuu.

Peltomaiden tiivistymiä ja pohjamaan kuohkeutusta on tutkittu ulkomailla melko runsaasti, mutta Suomessa alan tutkimus on keskittynyt lähinnä savimaille. Karkeiden maiden näkökulmasta on lukuisia avoimia tutkimusta kaipaavia kysymyksiä. Kuinka yleisiä ja haitalli-

sia tiivistymät ovat Suomessa karkeilla mailla? Kannattaisiko niitä yrittää kuohkeuttaa? Onko pohjamaan kuivuus yhtä oleellista karkeilla mailla kuin savimailla, kun pohjamaata pyritään mekaanisesti kuohkeuttamaan? Kuivuuko pohjamaa Suomessa joka vuosi tarpeeksi kuivaksi? Pystytäänkö kehittämään on-line mittaukseen kykenevä mittari (esimerkiksi maatutka), jolla voitaisiin piirtää peltolohkosta luotettavia tiivistymäkarttoja? Mikä on jankkurin ja lapiomuokkaimen käyttötarve ja oikea käytötapa perunanviljelyssä? Mahdollistaako lapiomuokkain perunan kyntämättä viljelyyn?

## **Kiitokset**

Haluan kiittää Salaojituksen Tutkimusyhdistystä ja MTT:tä rahoituksesta, joka mahdollisti tämän selvityksen kirjoittamisen. Valitettavasti näinä kvartaalitalouden aikoina pitkäjänteiselle maaperätutkimukselle monivuotisine kenttäkokeineen on vaikea saada rahoittajien ymmärrystä. Tämä tosiseikka tuli kuluneen parin vuoden aikana selvästi esille.

Kiitän MTT:n erikoistutkijaa Laura Alakukkoa ja vanhempaa tutkijaa Elina Virtasta sekä Salaojakeskus Ry:n toiminnanjohtajaa Rauno Peltomaata tämän raportin syntyyn vaikuttaneista arvokkaista kommentteista.



## 9 Kirjallisuus

- Alakukku, L. 1996. Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. II. Long-term effects on the properties of fine-textured and organic soils. *Soil and Tillage Research* 37, 4: 223-238.
- Alakukku, L. & Elonen, P. 1997. Tiiviin maan syväkuohkeutus. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A. 30. Maatalouden tutkimuskeskus. Jokioinen: 1-22 p.
- Alakukku, L. 2002. Maan rakenteen ylläpito peltoviljelyssä. In: Alakukku, L. & Teräväinen, H. (eds.) Maan rakenteen hoito. Tieto tuottamaan 98. Keuruu: ProAgria Maaseutukeskusten Liitto. p. 63-81.
- Alakukku, L. & Pietola, L. 2002a. Maan rakenteen vaikutus vesitalouteen. In: Alakukku, L. & Teräväinen, H. (eds.) Maan rakenteen hoito. Tieto tuottamaan 98. Keuruu: ProAgria Maaseutukeskusten Liitto. p. 5-10.
- Alakukku, L. & Pietola, L. 2002b. Rakenteen muodostuminen. In: Alakukku, L. & Teräväinen, H. (eds.) Maan rakenteen hoito. Tieto tuottamaan 98. Keuruu: ProAgria Maaseutukeskusten Liitto. p. 11-15.
- Alakukku, L., Weiskopf, P., Chamen, W.C.T., Tijink, F.G.J., Linden, J.P.v.d., Pires, S., Sommer, C. & Spoor, G. 2003. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review. Part 1. Machine/soil interactions. *Soil and Tillage Research* 73, 1/2: 145-160.
- Arnold, F.B. & Sojka, R.E. 1980. Soil compaction and crop response in a potato crop rotation. *North Dakota Farm Research* 37, 5: 9-14.
- Arvidsson, J. 1999. Att undvika alvpackning - förfinade riktlinjer på väg. Fakta Jordbruk Nr 8. Sveriges Lantbruksuniversitet. Uppsala: 4 p.
- Boone, F.R., Bouma, J. & de Smet, L.A.H. 1978. A case study on the effect of soil compaction on potato growth in a loamy sand soil. 1. Physical measurements and rooting patterns. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 26, 4: 405-420.
- Buxton, D.R. 1981. Tillage and cultural management for irrigated potato production. *Agronomy Abstracts*. 73rd annual meeting. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA
- Chamen, T., Alakukku, L., Pires, S., Sommer, C., Spoor, G., Tijink, F. & Weiskopf, P. 2003. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review. Part 2. Equipment and field practices. *Soil and Tillage Research* 73, 1/2: 161-174.
- Dexter, A.R. 1987. Mechanics of root growth. *Plant and Soil* 98, 3: 303-312.
- Hamilton Manns, M., Ross, C.W., Horne, D.J. & Baker, C.J. 2002. Subsoil loosening does little to enhance the transition to no-tillage on a structurally degraded soil. *Soil and Tillage Research* 68,2: 109-119
- Henriksen, C.B., Mølgaard, J.P. & Rasmussen, J. 2004. Inter-row subsoiling increases marketable yield in potatoes. Newsletter from Danish Research Centre for Organic Farming, June 2004, No. 2. Cited 19.4. 2006. Updated 6.2004. Available on the Internet: <http://www.darcof.dk/enews/june04/subsoiling.html>.
- Håkansson, I. & Danfors, B. 1981. Effects of heavy traffic on soil conditions and crop growth. Effects of heavy traffic on soil conditions and crop growth. 7th International Conference, International Society for Terrain-Vehicle Systems, August 16-20. 1981, Calgary, Alberta, Canada: 239-253
- Håkansson, I. 1985. Swedish experiments on subsoil compaction by vehicles with high axle load. *Soil use and Management* 1, 4: 113-116.

- Jaggi, F. 1994. Different cultivation systems have an effect on soil structure and crop yields. *Agrarforschung* 1, 8: 364-366.
- Juzwik, J., Stenlund, D.L., Allmaras, R.R., Copeland, S.M. & McRoberts, R.E. 1997. Incorporation of tracers and dazomet by rotary tillers and a spading machine. *Soil and Tillage Research* 41, 3/4: 237-248.
- Keller, T., Arvidsson, J., Trautner, A. & Bölenius, E. 2003. Tekniska lösningar för minskad alvpackning. Fakta Jordbruk Nr 3. Sveriges Lantbruksuniversitet. Uppsala: 4 p.
- Keller, T. & Arvidsson, J. 2004. Technical solutions to reduce the risk of subsoil compaction: effects of dual wheels, tandem wheels and tyre inflation pressure on stress propagation in soil. *Soil and Tillage Research* 79, 2: 191-205.
- Kuisma, P. 2001. Muokkaus. In: Virtanen, A. & Teräväinen, H. (eds.). *Laatuperunan tuotanto. Tieto Tuottamaan* 98. ProAgria Maaseutukeskusten Liitto. Jyväskylä: p. 63-64.
- Munkholm, L.J., Schjønning, P. & Sorensen, H. 2003. Soil packing and mechanical loosening in coarse-sand soil. *Markbrug* nr. 271. Danmarks JordbrugsForskning. Tjele, Denmark: 6 p.
- Nevens, F. & Reheul, D. 2003. The consequences of wheel-induced soil compaction and subsoiling for silage maize on a sandy loam soil in Belgium. *Soil and Tillage Research* 70,2: 175-184
- Niemi, R.M., Vepsäläinen, M., Wallenius, K., Simpanen, S., Alakukku, L. & Pietola, L. 2005. Temporal and soil depth-related variation in soil enzyme activities and in root growth of red clover (*Trifolium pratense*) and timothy (*Phleum pratense*) in the field. *Applied Soil Ecology* 30, 2: 113-125.
- Nuutinen, V. & Palojärvi, A. 2002. Maaperäeliöstö ja maan rakenne. In: Alakukku, L. & Teräväinen, H. (eds.) *Maan rakenteen hoito. Tieto tuottamaan* 98. Keuruu: ProAgria Maaseutukeskusten Liitto. p. 24-32.
- Peltomaa, R. 2002. Salaojitus ja pellon vesitalous. In: Alakukku, L. & Teräväinen H. (eds.) *Maan rakenteen hoito. Tieto tuottamaan* 98. Keuruu: ProAgria Maaseutukeskusten Liitto. p. 33-43.
- Pezzi, F. 2005. Traditional and new deep soil tillage techniques in Italy. *Transactions of the ASAE* 48, 1: 13-17.
- Pierce, F.J. & Burpee, C.G. 1995. Zone tillage effects on soil properties and yield and quality of potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Soil and Tillage Research* 35, 3: 135-146
- Pietola, L. 1995. Effect of soil compactness on the growth and quality of carrot. *Agricultural Science in Finland* 4, 2: 144-237.
- Pietola, L. & Alakukku, L. 2005. Root growth dynamics and biomass input by Nordic annual field crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 108, 2: 135-144.
- Rolf, K. 1987. Teknik och metoder för rekultivering av packningskadad mark i urban miljö. Rapport från Institute Lantbruksteknik 116. Sveriges Lantbruksuniversitet. 1-47 p.
- Schepel, I. 2000. Luomun koneet ja laitteet. *Julkaisuja* 67. Helsingin yliopisto. Maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus, Mikkeli. 252 p.
- Schjønning, P. & Rasmussen, K.J. 1994. Danish experiments on subsoil compaction by vehicles with high axle load. *Soil and Tillage Research* 29, 2-3: 215-227.
- Sojka, R.E., Westermann, D.T., Brown, M.J. & Meek, B.D. 1993. Zone-subsoiling effects on infiltration, runoff, erosion, and yields of furrow-irrigated potatoes. *Soil and Tillage Research* 25,4: 351-368

- Spoor, G., Tjink, F.G.J. & Weiskopf, P. 2003. Subsoil compaction: risk, avoidance, identification and alleviation. *Soil and Tillage Research* 73(1/2): 175-182
- Stone, D.A. 1982. The effects of subsoil loosening and deep incorporation of nutrients on yield of broad beans, cabbage, leek, potatoes and red beet. *Journal of Agricultural Science, UK* 98(2): 297-306
- Swain, R.W. 1975. Subsoiling. Technical Bulletin, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. 29: 189-204
- Tebrugge, F. & During, R.A. 1999. Reducing tillage intensity - a review of results from a long-term study in Germany. *Soil and Tillage Research* 53(1): 15-28
- van Loon, C.D. & Bouma, J. 1978. A case study on the effect of soil compaction on potato growth in a loamy sand soil. 2. Potato plant responses. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 26, 4: 421-429.
- Wageningen University. 2004. Paraplow. Cited 11.01.2006. Updated 03.09.2004. Available on the Internet: <http://www.aenf.wau.nl/equip/paraplow.html>.
- Wells, L.G., Stombaugh, T.S. & Shearer, S.A. 2005. Crop yield response to precision deep tillage. *Transactions of the ASAE* 48, 3: 895-901.
- Westermann, D.T. & Sojka, R.E. 1996. Tillage and nitrogen placement effects on nutrient uptake by potato. *Soil Science Society of America Journal* 60, 5: 1448-1453.

## MTT:n selvityksiä sarjan Teknologia-teeman julkaisuja

- 129 Maaperän tiivistyminen perunantuotannossa – kirjallisuuskatsaus. *Lötjönen*. 27 s. (verkkojulkaisu osoitteessa: [www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts129.pdf](http://www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts129.pdf)).
- 119 Lämpöeristetyn verhoseinäisen lypsykarjapihaton ilmanvaihdon toimivuus. *Kivinen ym.*, 63 s. Hinta 20 €.
- 110 Kotieläinrakennusten lattioiden pinnan laatu. *Puumala ym.* 77 s. Hinta 20 €.
- 108 Käyttöveden riittävyys ja laatu maatalouden suurissa tuotantoyksiköissä. *Sorvala ym.* 34 s. Hinta 15 €.
- 107 Maatalousteknologisen tutkimuksen teknologiastrategia. *Manni ym.* 54 s. Hinta 20 €.
- 99 Kotieläintilojen huoltovarmuus. *Tertsunen ym.* 35 s. (verkkojulkaisu osoitteessa: [www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts99.pdf](http://www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts99.pdf)).
- 94 Johtamisella hyvinvointia – Viljelijöiden johtamistoimea käsittelevän internet- sivuston sisällön luominen. *Leppälä ym.* 28 s. (verkkojulkaisu osoitteessa: [www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts94.pdf](http://www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts94.pdf)).
- 87 Maatilan talouskeskuksen toiminnallinen ja maisemallinen suunnittelu. *Tapani Kivinen*. 67 s. Hinta 20 €.
- 85 Teknologialla tulosta! Toinen teknologiapäivä 11.1.2005. MTT maatalousteknologian tutkimus (Vakola), Vihti. *Kallioniemi (toim.)*. 102 s. (verkkojulkaisu osoitteessa: [www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts85.pdf](http://www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts85.pdf)).
- 78 Benefits of agricultural and forestry machinery standardization in Finland. *Teye ym.*, 93 p. Price 20 €.
- 72 Jaloittelutarhat – rakenteet ja varusteet. *Puumala*. 17 s., 7 liitettä. Hinta 15 €.
- 50 Maatalouden uusi teknologia – tarkkuutta ja tehokkuutta. Ensimmäiset teknologia-päivät 1.-2.10.2003. *Kallioniemi (toim.)*. 105 s. (verkkojulkaisu osoitteessa: [www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts50.pdf](http://www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts50.pdf)).
- 35 Suurten maatalousrakennusten puurunkoratkaisut. Olosuhdemittaukset ja toiminnalliset mallit. *Kivinen*. 62 s. Hinta 20 €.
- 23 Esiselvitys kotieläintalouden ympäristökuormitusta vähentävien menetelmien ja tekniikoiden kustannuksista ja tehokkuudesta. *Kallioniemi*. 51 s. (verkkojulkaisu osoitteessa: [www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts23.pdf](http://www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts23.pdf)).
- 21 Suomalaisen maatalouskoneteollisuuden tulevaisuuden haasteet. *Manni & Riipinen*. 208 s. Hinta 25 €.
- 18 Sata vuotta tutkittua maataloustekniikkaa. *Kallioniemi (toim.)*. 61 s. Hinta 20 €.
- 17 Pihaton lypsyjärjestelmät. *Manninen ym.* 53 s., 2 liitettä. (verkkojulkaisu osoitteessa: [www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts17.pdf](http://www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts17.pdf)).

