



# Maan tiivistymisen ennaltaehkäisy – konevalinnat ja töiden suunnittelu

30.3.2016 Kenkävero, Mikkeli. Ravinnepiika -hanke  
Laura Alakukku, Maataloustieteiden laitos

HELSINGIN YLIOPISTO  
HELSINGFORS UNIVERSITET  
UNIVERSITY OF HELSINKI

Maatalous-metsä tieteellinen tiedekunta / Henkilön nimi / Esityksen nimi

www.helsinki.fi/yliopisto

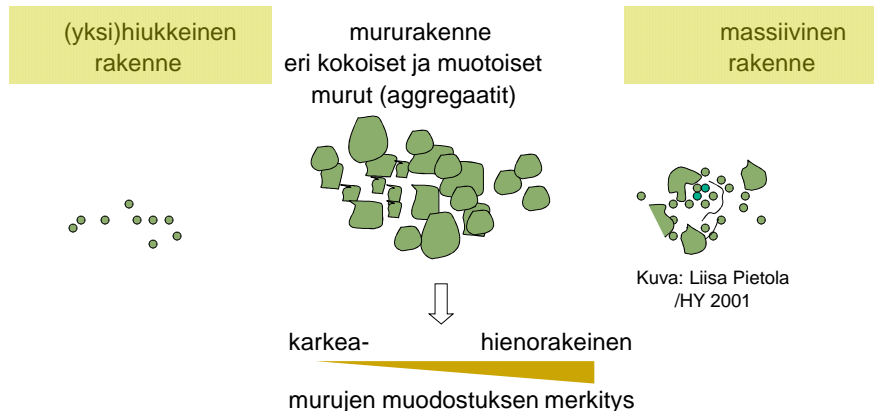
5.4.2016 1

## Sisältö

- Maan rakenne ja sen tiivistyminen
- Maan tiivistämisen välttäminen
  - à kone-maa -systeemi
  - à peltotöiden ajoitus ja valinnat niiden yhteydessä
- Tiedon käyttö päätöksenteossa
  - à mittaus, tiedon hankinta
  - à tiedon kokoaminen ja käyttö
  - à Peltomaan laatutesti, Terranimo
- Tiivistynen maan kuohkeuttaminen
- Yhteenveto

Dia: ©Laura Alakukku, HY

## Maan rakenne – maalajien erot



Dia: ©Laura Alakukku, HY

## Maan rakenne – muruja ja huokosia

Maan kiintoaines muodostaa rakenteen rungon

- hiukkasten ja murujen välissä/sisällä huokosia
- muru- ja huokosrakenteen muodostuminen savimaiden viljeltävyyden edellytys

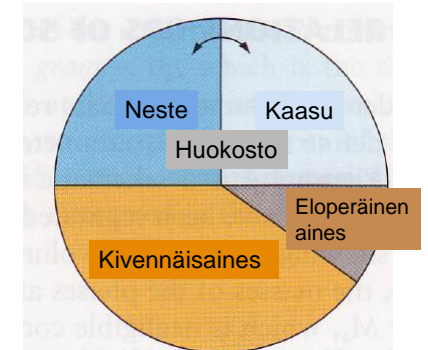
Huokosissa vettä ja ilmaa

- huokosten kokojakauma, jatkuvuus ja kestävyys

**Maan rakenteen ylläpidon ja hoidon tavoite:**

à kaikki maalajit: toimiva huokosto

à etenkin hienojakoisilla mailla: kestävä mururakenne

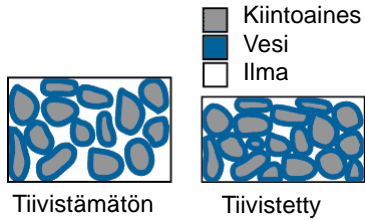


Dia: ©Laura Alakukku, HY

## Maan tiiviys ja tiivistyminen

Maa tiivistyy

- à siihen kohdistuva voima aiheuttaa maahiukkasten uudelleen järjestäytymistä tai rikkoo muruja.
- à huokoisuus vähenee ja irtotiheys kasvaa



3 A 0-20 cm

Tiivis

3 B 0-20 cm

Löyhä

Dia: ©Laura Alakukku, HY

## Maan muokkaus <=> tiivistyminen

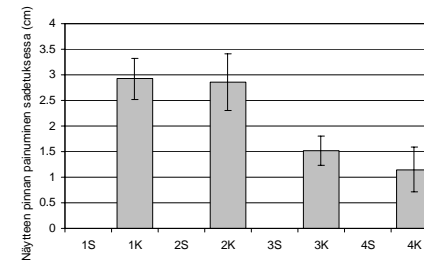
- à Kuoheuttaa
- à Vaikutus tiivistymiseen
  - à aika, luonnon prosessit
  - à mekaaninen lujuus

### Tiivistävät voimat (esim. suluissa)

Ulkoapäin tulevat (liikenne)  
Sisältäpäin tulevat (kuivuminen)

Staattinen (esim. rakennus)  
Dynaaminen (liikenne)

Normaali (paino)  
Leikkaus (luisto)  
Tärinä (vibra)



Sadetuskokeen tuloksia

Dia: ©Laura Alakukku, HY

## Säilörehunurmen ruokamultakerros



Muokkaamattoman maan rakenne muokattua tiiviimpi  
à Luontainen tasapainotila  
à Peltoliikenne voi tiivistää  
à Nurmen suorakylvö

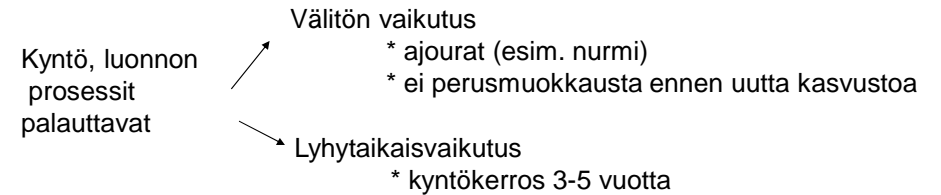


Tarvitaan kantavuutta

Muokkaus kuoheuttaa hetkellisesti  
à Mikä merkitys karkeilla ja eloperäisillä mailla nurmen viljelyssä?

## Tiivistymishaittojen kesto aika

Tiivistymän syvyys vaikuttaa



### Pitkäaikaisvaikutus

- \* perusmuokkauskerroksen alapuolella
- \* Suomen oloissa savimaassa yli 30 vuotta
- \* vaikea korjata



Dia: ©Laura Alakukku, HY



## Huokosto maan LVI järjestelmä – vaikuttaa ominaisuuksiin ja prosesseihin

### Kasvin kasvu

- Sadon määrä ja laatu
- Ravinteiden hyväksikäyttö
- Eloperäistä ainesta maahan

### Kasvutekijät maassa

- Vedenläpäisevyys, veden varastointi
- Kaasujen vaihto märässä maassa
- Mekaaninen vastus
- Ravinnetalous
- Eloperäinen aines, eliöstö

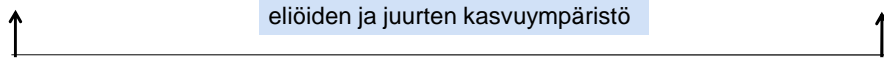
### Viljeltävyys

- Muokkautuvuus, vetovastus
- Kantavuus
- Liettyminen ja kuorettuminen
- Poudanarkuus
- Ojituksen toiminta à kuivatus

### Ympäristökuormitus

- Pintavalunta
- Eroosio
- Ravinteiden huuhtoutuminen
- Kasvihuonekaasut
- Ravinteiden hyväksikäyttö

aineiden liikkuminen  
eliöiden ja juurten kasvuympäristö



### Talous:

ojitus ja muokkaus ongelmat, satotappiot, ympäristöhaitat

Dia: ©Laura Alakukku, HY



## Peltoliikenne kuormittaa maata – kone/eläin-maa -systemi

Maan ominaisuudet (maan kyky kestää kuormitusta):

- maan kosteus/märkyys
- löyhys/kiinteys
- elastisuus/plastisuus

Kuormitus:

- jännityksen suuruus, suunta
- koneen massa
- kuormituksen kestoaika
- kuormituksen toistuvuus
- kuormituksen jakaantuminen pellolla



Jännitys = F/A

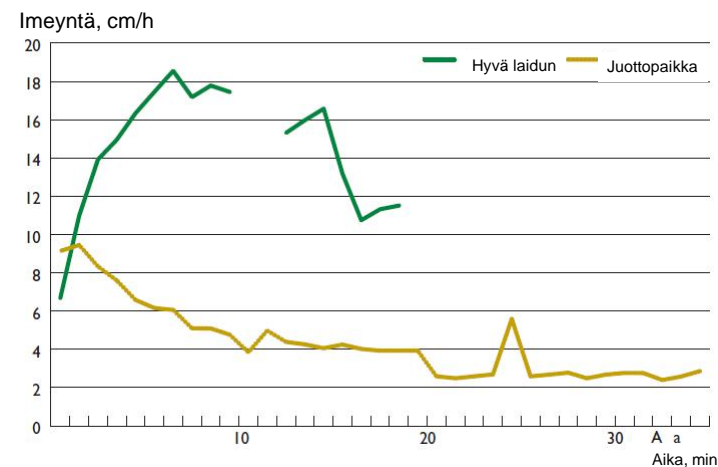
Leikkaus

Puristus

Maan kestävyys  
puristuslujuus  
leikkauslujuus

Dia: ©Laura Alakukku, HY

## Maan pinnan rakenne ja veden imeytä



Hietamaa: kenttäkyläistetyn maan vedenjohtavuus

Hyväkuntoinen laidun 13,2 cm/h, juottopaikka 2,4 cm/c

à osasyynä maan veden hylkivyyys

à Ajourat säilörehunurmessa

à Valunta karkeiden maiden nurmella hyvin helposti pintavalunnaksi.

Toholampi Turtola ym. 2005

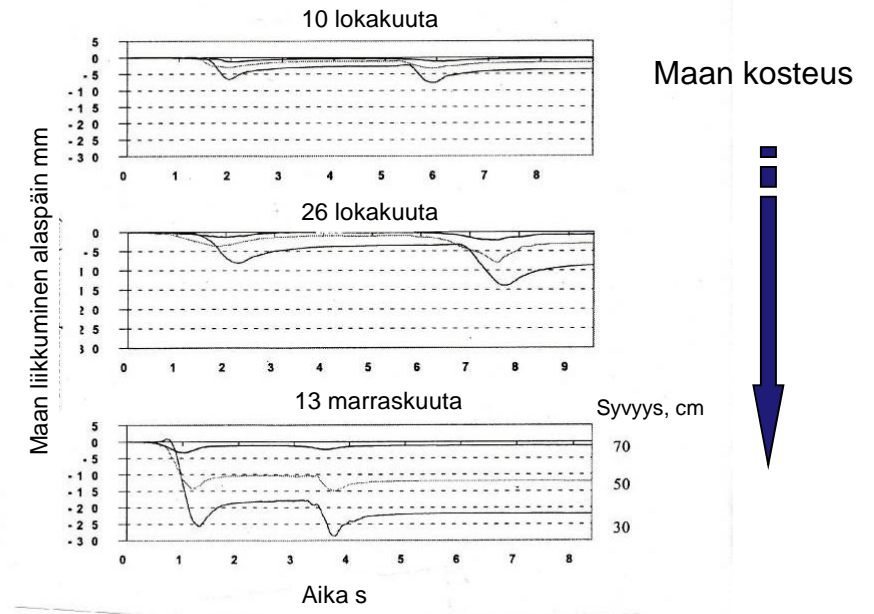
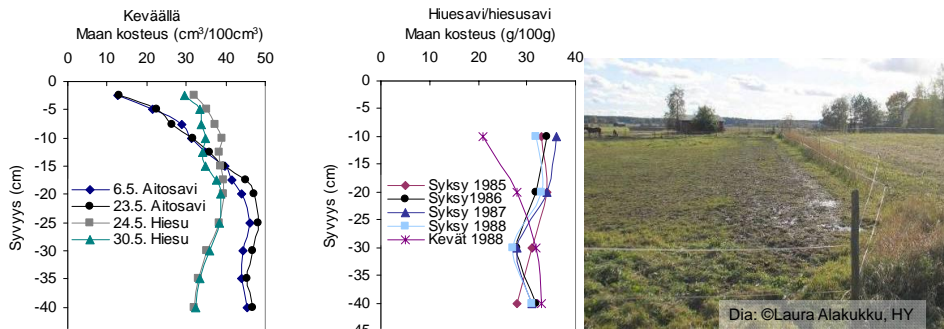
Säilöjituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 27 2007

## Märkä maa tiivistyy herkästi ja muokkautuu huonosti

Töiden ajoitus: riski suuri aikaisin keväällä ja myöhään syksyllä

- à kuiva maa (ei hiekka) lujaa
- à maan kostuminen vähentää lujuutta
- à märässä maassa kuormittava jännitys kulkeutuu syvälle
- à huokoset täynnä vettä à ei puristu, mutta tahtaantuu

à Peltoajon määrän rajoittaminen maan ollessa märkää



Arvidsson & Trautner SLU

## Rengasvalinta

### Rengaskuorma

\* huomioi painonsiirto työkoneista. Lisää kuormaa ajon aikana

### Ajonopeus

\* pellolla pienempi kuin tiellä à rengaspainetta voi pienentää

**Rengaspaine**  
\* niin pieni kuin teknisesti mahdollista

**Koneen vetokyky ja vetohyötysyhte**  
\* vierintävastus  
\* pito, luisto pieneksi

**Pintapaine**  
\* kontaktiala

### Renkaan koko

suurenee à rengaspaineen pienentäminen  
+leveys lisää kantavuutta, painuessa suuri vierintävastus  
+halkaisija parantaa vetokykyä (telailmiö, pieni vierintävastus)

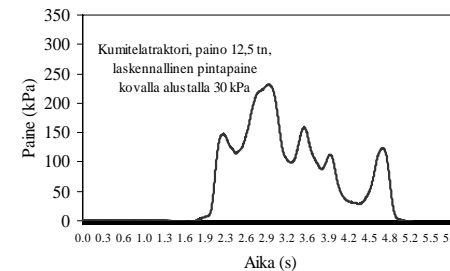
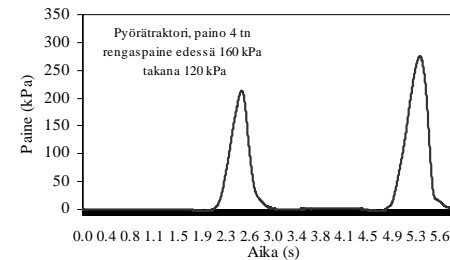
### Renkaiden lukumäärä

\*paripyörät kantavuus 1,76 kertainen vrt. yhteen pyörään  
\* rengaspaineen lasku, jotta käytöstä hyötyä

### Renkaan rakenne

\* joustava rengas à tasainen maakosketus, pintapaineen jakauma

## Pieni rengaspaine à pieni keskimääräinen pintapaine

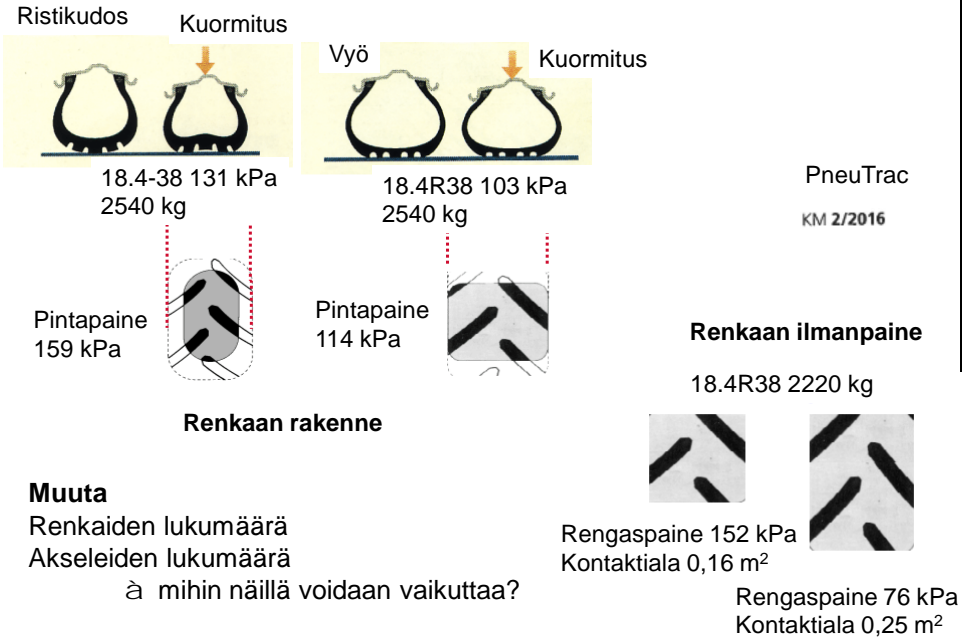


Pintapaineen jakautuminen kontaktialalla à Ajosuuntaan ja sivusuunnassa à huippujännityksiä

Rengaspaine niin pieneksi kuin teknisesti mahdollista märissä oloissa max. 50 kPa

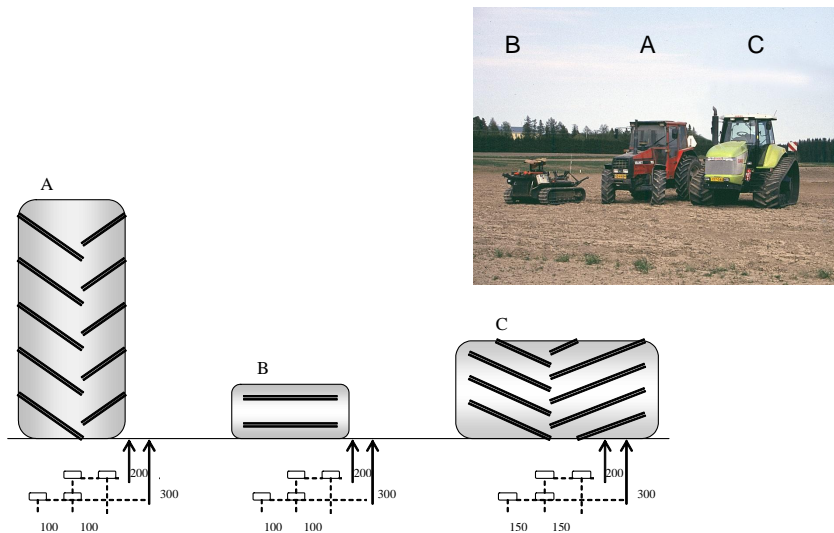


## Rengasvalinta – teknologiset valinnat



[http://www.michelinag.com/agx/en-US/htbuyt/reduce\\_soil\\_compaction/reduce\\_soil\\_compaction2.jsp](http://www.michelinag.com/agx/en-US/htbuyt/reduce_soil_compaction/reduce_soil_compaction2.jsp) Dia: ©Laura Alakukku, HY

## Jännityksen kulkeutuminen syvyysuunnassa ja jakautuminen sivusuunnassa



Alakukku ym. 2002

Dia: ©Laura Alakukku, HY

## Paripyörät, akselien lukumäärä – ruotsalaisia tuloksia

Paripyörien alla sama vertikaalinen jännitys sama kuin yksittäisen pyörän alla  
à rengaskuorma vaikuttaa ei akselipaino (vaikka renkaiden väli 10 cm)

Maassa mitattu jännitys

Kolmiakselinen kärry: akselit aiheuttivat kuormituspiikin  
à Rengaskuorma vaikutti jännitykseen ei kokonaispaino akseliilla  
Paripyörät 700/50-26.5  
Akseliväli 1,45 m  
Rengaskuorma 32 kN  
Rengaspaine 160 kPa

T. Keller, J. Arvidsson / Soil & Tillage Research 79 (2004) 191–205

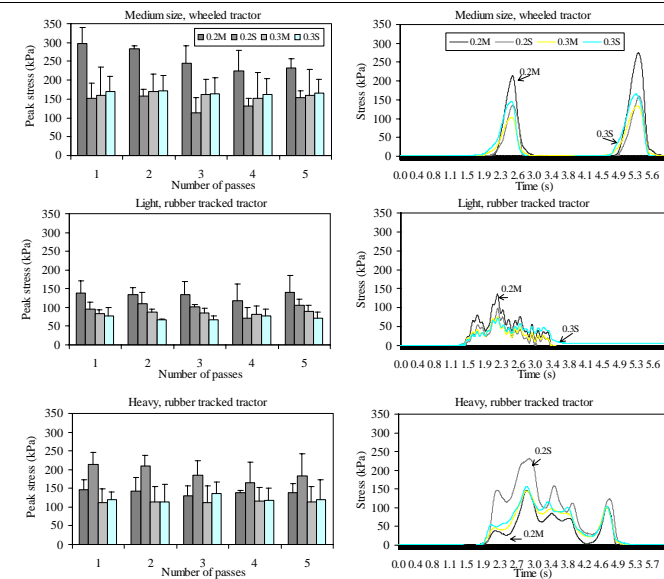
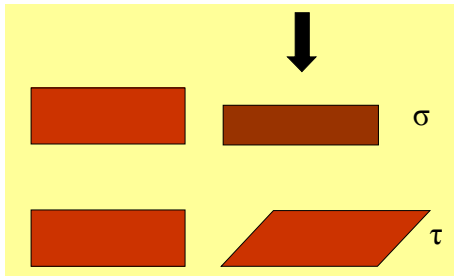


Fig. 2. Mean peak vertical normal stresses and their standard deviation ( $n=3$ ), and typical stress curves induced by tractors into soil at 0.20 and 0.30 m depths. Soil was loaded by five repeated passes in the same track. 0.2M, transducer was installed at 0.20 m depth beneath the centre of the rut; 0.2S, 0.20 m depth, 0.10 or 0.15 m (heavy, tracked tractor) to the side of the rut centre (see Fig. 1); 0.3M, 0.30 m depth, centre of rut; 0.3S, 0.30 m depth, side of the rut.

Alakukku ym. 2002

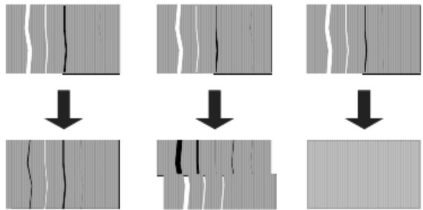
Dia: ©Laura Alakukku, HY

## Miten tiivistyminen muuttaa rakennetta?



$\sigma$  Muutos huokostilavuudessa

$\tau$  Huokosten muodossa



compression  
puristus  
 $\sigma$

shearing  
leikkaus  
 $\tau$

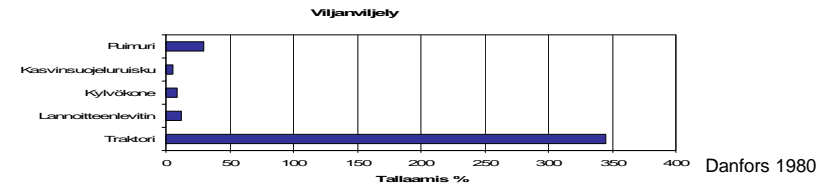
kneading  
tahtaantuminen

Dia: ©Laura Alakukku, HY

Mitä eroa kuormittajana:  
Vedettävä pyörä  
Vetävä pyörä

## Ajokertojen määrä

- \* Kuormituksen peittävyys à kuinka suuri ala kuormittuu
- \* Toisto samassa kohtaa à kuormituksen 'tehostaminen'



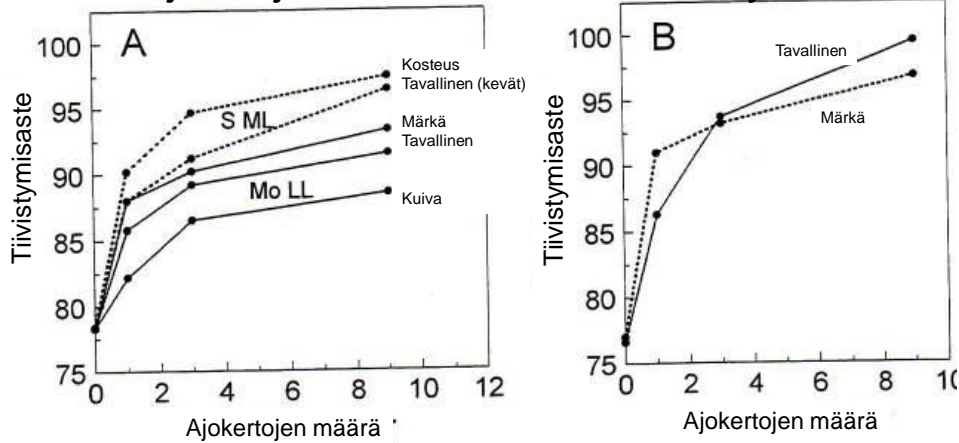
## Ajonopeus

- \* Kuormitusaika lyhenee ajonopeuden kasvaessa
- \* Telalla pitkäkuormitusaika kontaktipinta pitkä
- \* Koneen heilunta à kuormituspiikkejä

Bolling 1987

Dia: ©Laura Alakukku, HY

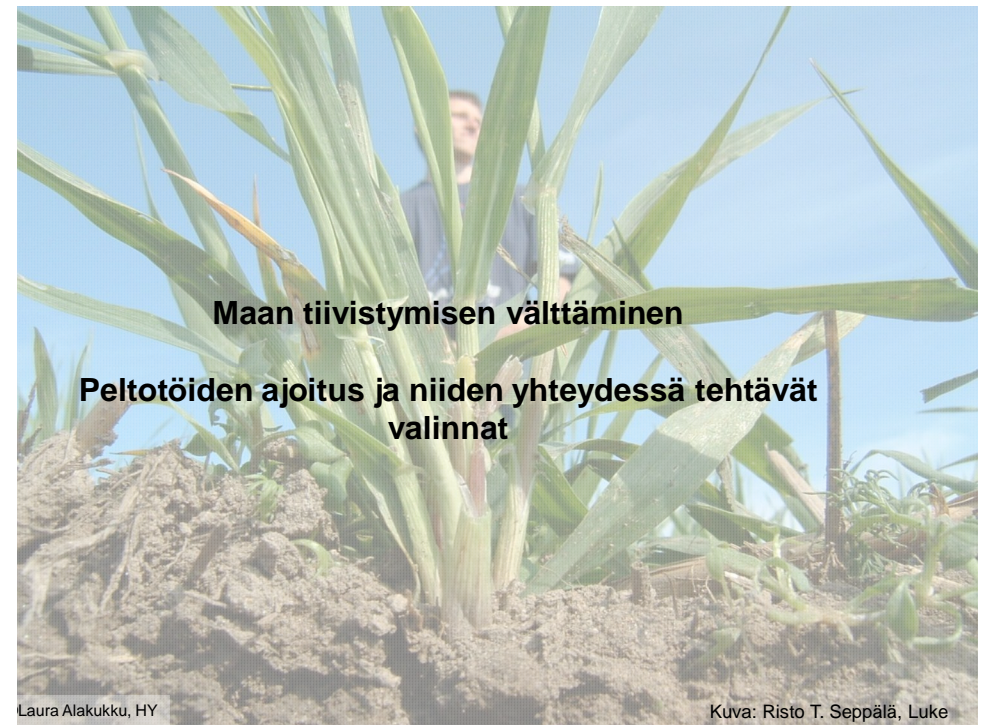
## Ajokertojen määrän vaikutus maan tiiveyteen



Ruokamultakerroksen tiveysaste keväällä kylvöaikaan: syyskynnetty maa  
S = jäykkä savi, MI = kevyt sati, Mo LL = moreeni savi  
A Traktori (4000 kg, taka-akseli 3000 kg, rengaspaine 110 kPa) (Ljungars 1977)

B Moreenisavi 9900 kg rengaskuorma, 250 kPa rengaspaine (Etana 1995)

Dia: ©Laura Alakukku, HY



Laura Alakukku, HY

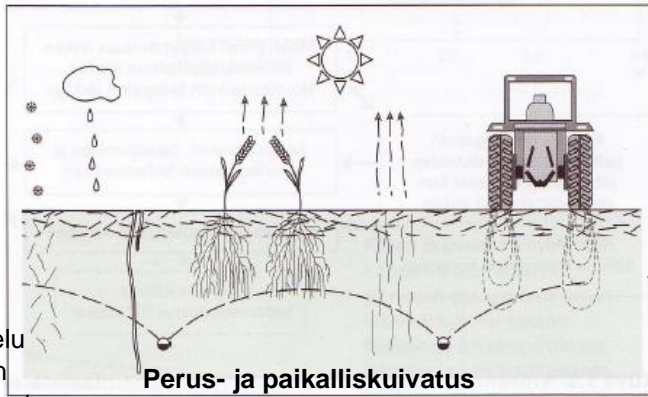
Kuva: Risto T. Seppälä, Luke



# Viljelytoimet vaikuttavat maahan à valinnat ja päätöksenteko niiden yhteydessä

Viljelykierto  
Kasvinvuorotus

Kalkitus  
Lannoitus  
Maan-  
parannus-  
aineet  
  
Kasvinsuojelu  
mekaaninen  
torjunta-aineet



Muokkaus  
menetelmä  
syvyys  
Peltoliikenne  
tiivistäminen  
hietäminen  
Töiden ajoitus,  
suunnittelu

Suorat ja välilliset vaikutukset

Paikkojen välillä vaihtelua: maalaji, topografia, sääolot

Aika: välittömät, lyhyt- tai pitkäaikaiset vaikutukset

Dia: ©Laura Alakukku, HY

# Miten vähentää peltoliikennettä maan ollessa märkää?

Töiden ajoitus: riski suuri aikaisin keväällä ja myöhään syksyllä

à Peltotöiden määrän rajoittaminen maan ollessa märkää

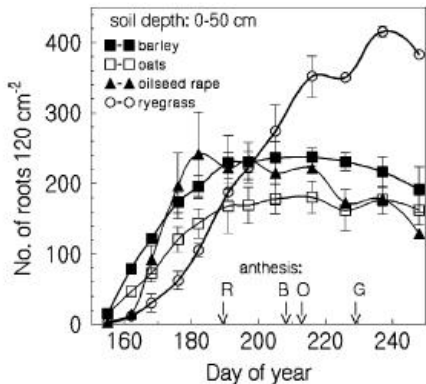
à viljelykierto/ajoitus, kasvinvuorotus

à töiden suunnittelu, menetelmävalinnat: lanta säilörehunkorjuu (mm. esikuivatus), peltoliikenteen suunnittelu

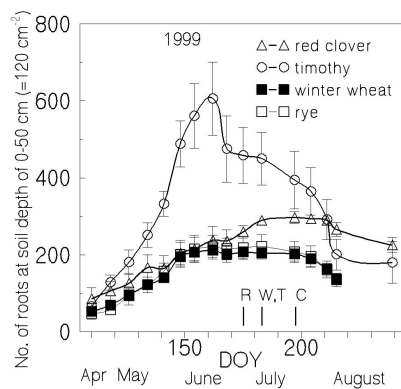


Dia: ©Laura Alakukku, HY

# Kasvinvuorotus – ajoitus, maan kuivuminen, juuriston tukiverkko



Juurten kokonaismäärä 0-50 cm:n kerroksessa  
Kasvukauden aikana. Timotei ja puna-apila 1. satovuosi



Kasvilajien välillä eroja  
à juurten määrä  
à syvyyskasvu (nopeus, määrä)  
à kasvudynamiikka  
à juurten paksuus

Syysviljat, monivuotiset  
à juuristo syvällä jo keväällä

Ympäristönurmien käyttö  
maan hoidossa

Dia: ©Laura Alakukku, HY

# Tiivistymisriskin pienentäminen – peltoliikenteen suunnittelu



Ajouria (ei muokkausta)  
à Kasvuunlähdon epätasaisuus  
à Epätasainen pinta  
à Tiivistyminen  
à Urat keräävät vettä

à Juuriston käyttö tukiverkkona  
(mm. eloperäiset maat)

-Lohkokoko  
-peruslohkon keskikoko v. 2013 2,3 ha  
-päisteajo  
-liittymien määrä tieltä  
-peltoliikenteen suunnittelu

-Lohkojen muoto  
-päisteajo  
-päällekkäin ajo (ajo-opastimen käyttö)  
-työn sujuminen

## Miten vähentää peltoliikennettä maan ollessa märkää? Aikaikkunan tehokas hyödyntäminen

Töiden suunnittelu

à pelto- ja tieajon ajoitus

à lannan levitys: etäsäiliöt

à peltoajo kapeassa  
aikaikkunassa

à tieajo esim. talvella

à urakoitsija

à eri kalusto tiellä ja pellolla

à sadonkorjuu

à Menetelmien valinta

à lannan separointi/fraktiointi

à lannoitearvon nosto

à levitysmäärä/ha

à ajon vähentäminen

à lannan syöttöletkulevitys

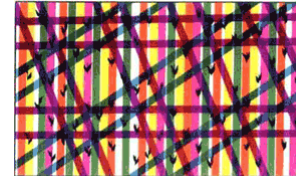
à Korjuu-kuljetus-jatkokäsittely –ketjun toimivuus

à Liikenteen järjestely suurilla lohkoilla



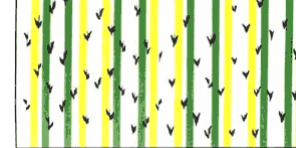
Dia: ©Laura Alakukku, HY

## Kiinteät ajourat?



Illustrates path of:

Planter, PG cultivator, Sprayer, Anhydrous applicator, Tillage, Genset cut, Combine



Illustrates path of:  
Planter, sprayer, anhydrous applicator, tillage, Combine



## Koneen kantaja?

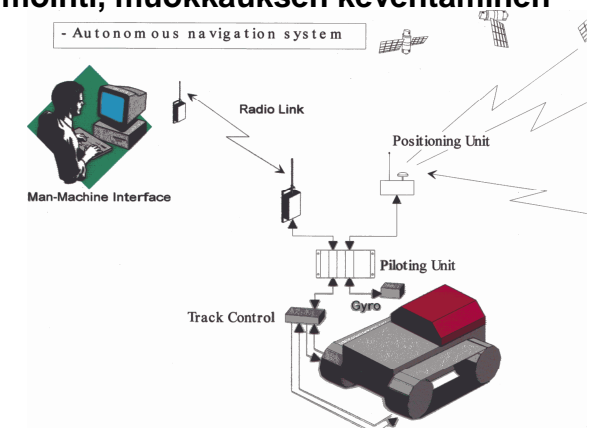


Kiinteät urat pyörille

à viljelyalalla ei peltoliikennettä

Kehitetty: USA, UK

## Automaatio – koneiden keventäminen, liikenteen suunnittelu ja optimointi, muokkauksen keventäminen



Århusin yliopistossa peltokäyttöön rakennettu Hortibot

Lähde: New Scientist 1 November 2012

Dia: ©Laura Alakukku, HY



Yksi iso <-> monta pientä  
Fendt 'paritraktori'



## Maan rakenteen hoito – tietoa maan tilasta, tiedon käyttö päätöksenteossa



Dia: ©Laura Alakukku, HY

## Tiedon hallinta maaperän hoidossa

### Tarvitaan systeemiratkaisuja:

- Teknologisten keinojen tuottaminen
- à monipuolisen tiedon yhdistämistä
- à mittaus tuottaa tietoa, mutta vasta tiedon hyödyntäminen tuottaa taloudellista tulosta mittausteknologian käytöstä

### Maan kasvukunnon ylläpito pitkäjännitteistä toimintaa

- Osa viljelyn strategista suunnittelua
- Mukana kaikessa operatiivisessa suunnittelussa
- Maan rakenteen voi pilata nopeasti väärillä valinnoilla
  - esim. tiivistyminen
- Rakenteen korjaaminen vaatii pitkäjännitteisyyttä

Dia: ©Laura Alakukku, HY

## Maan laadun omatoiminen havainnointi

Ei ole ollut kaupallisia palveluja tai ohjeistusta maan laadun määrittämiseen

- à omatoimiseen määrittämiseen ja tulosten tulkintaan tehty Peltomaan laatutesti
- à Havainnot ja mittaukset kootaan
- à Arvio maan kunnosta

Kemialliset, fysikaaliset ja biologiset ominaisuudet

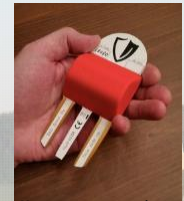
- Mittauslukemia verrataan Luken mittauksen pohjalta määriteltyihin raja-arvoihin
- à pisteytys laatutestin tuloksiin
- Tulosten perusteella toimenpidesuosituksia



[http://www.virtuaali.info/efarmer/peltomaan\\_laaturtesti/](http://www.virtuaali.info/efarmer/peltomaan_laaturtesti/)

## Jatkuvat mittaukset – tiedon käyttö ja mallien integrointi

- Tutkimuksen haasteena tuottaa tiedon ohella ratkaisuja ja välineitä
- Ennusteet
  - à mallit
  - à mittaukset

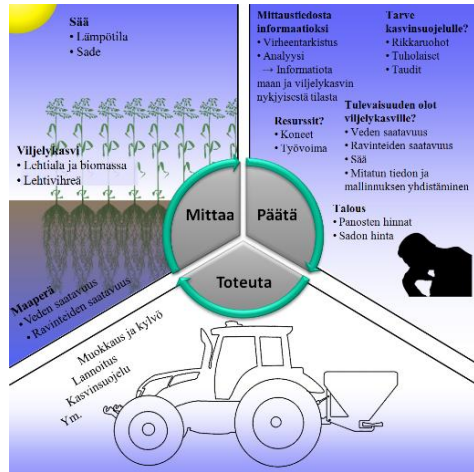


<http://soilscout.com/applications/>

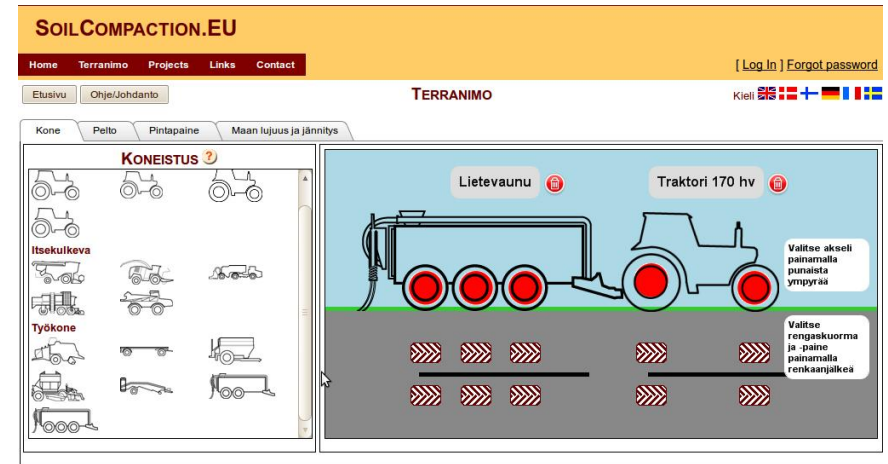


Lähde: [www.soilscout.com](http://www.soilscout.com)

# Mallien käyttö tiedon hallinnassa - päätöksenteon tuki



# Terranimo – kone-maa à jännitys <=> maan lujuus



<http://www.terranimod.dk/>

# Terranimo – kone-maa à jännitys <=> maan lujuus

## Mallin rakenne

1. Maan ja renkaan välinen kontaktiala ja pintapaineen jakautuminen alalla  
FRIDA –malli  
(Keller, 2005: Biosystems Engineering 87  
Schjønning, 2008: Biosystems Engineering 99



2. Jännityksen jakautuminen maassa  
Söhnen mallin mukaan

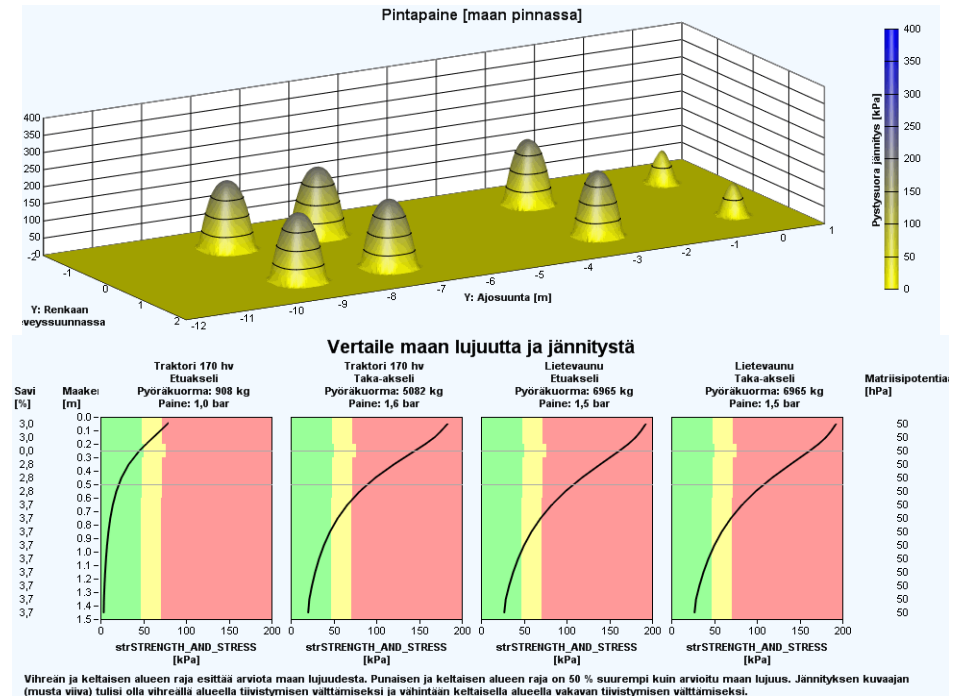


3. Verrataan maan lujuutta ja jännitystä  
Jännitys > lujuus à suuri tiivistymisriski  
jännitys < lujuus à pieni tiivistymisriski

[www.soilcompaction.eu](http://www.soilcompaction.eu)

[http://www.soilcompaction.eu/Menu/01\\_Home/Home.aspx](http://www.soilcompaction.eu/Menu/01_Home/Home.aspx) Lähde: Mattias Stettlerin esitys NJF448 seminaarissa

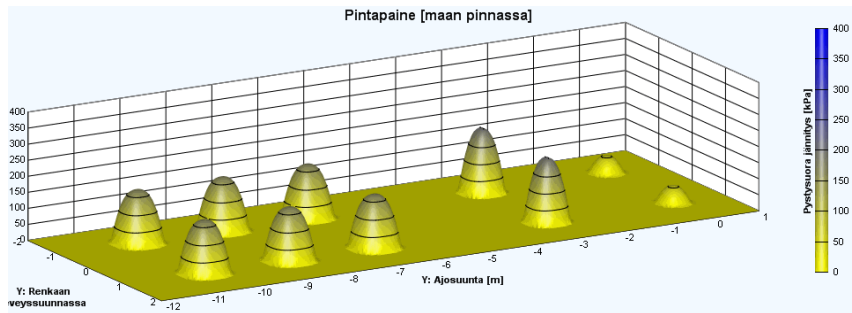
## Terranimo – esimerkki



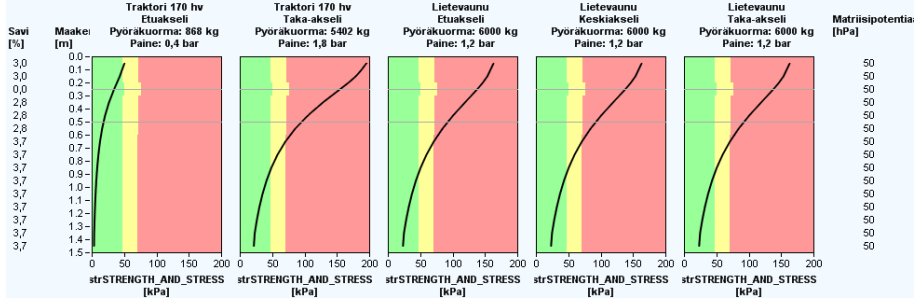
Vihreän ja keltaisen alueen raja esittää arviota maan lujuudesta. Punaisen ja keltaisen alueen raja on 50 % suurempi kuin arviointi maan lujuus. Jännityksen kuvaajan (musta viiva) tulisi olla vihreällä alueella tiivistymisen välttämiseksi ja vähintään keltaisella alueella vakavan tiivistymisen välttämiseksi.



## Terranimo – esimerkki

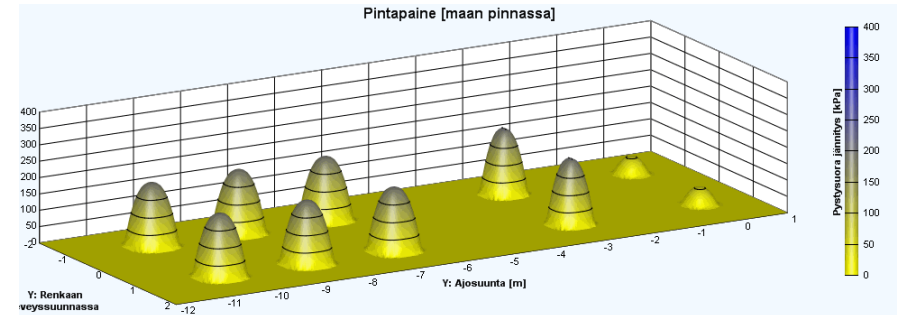


### Vertaile maan lujuutta ja jännitystä

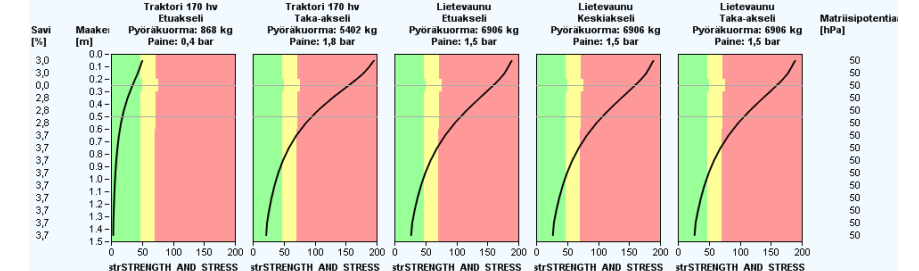


Vihreän ja keltaisen alueen raja esittää arviota maan lujuudesta. Punaisen ja keltaisen alueen raja on 50 % suurempi kuin arvioitu maan lujuus. Jännityksen kuvajan (musta viiva) tulisi olla vihreällä alueella tiivistymisen välttämiseksi ja vähintään keltaisella alueella vakavan tiivistymisen välttämiseksi.

## Terranimo – esimerkki



### Vertaile maan lujuutta ja jännitystä



Vihreän ja keltaisen alueen raja esittää arviota maan lujuudesta. Punaisen ja keltaisen alueen raja on 50 % suurempi kuin arvioitu maan lujuus. Jännityksen kuvajan (musta viiva) tulisi olla vihreällä alueella tiivistymisen välttämiseksi ja vähintään keltaisella alueella vakavan tiivistymisen välttämiseksi.

## Tiivistymän korjaaminen – mekaaninen kuohkeutus



Dia: ©Laura Alakukku, HY

## Pohjamaan tiivistymisen mekaaninen kuohkeuttaminen



Dia: ©Laura Alakukku, HY

Miten poistaa juurten kasvua ja aineiden liikkumista haittaava kerros/tiivistymä?

- Kokeiltuja keinoja
- Mekaanisesti
  - Biologisesti
  - Näiden yhdistelmä

## Ennen toimenpidettä tehtävä diagnoosi

### Maan ominaisuudet

- à huono läpäisevyys, esim. lätköityminen
  - à pinnan muodot, pinnan liettyminen (mm. liian hieno muokkaus)
- à havaittu tiivistymä, onko pelkkä penetrometria havainto?
- à muokkausmenetelmien välillä ero
  - à maan hetkellinen varastointikyky, infiltraatio
- à maan tiivistäminen: muokkauskerroksen tiivistymä ko. vuonna?

### Kasvusto: kasvilaji, kehitysaste, muut stressit märkyiden aikaan

- à kylvön ajoitus suhteessa märkyteen
- à esim. märkyys ohran alkukehityksen aikaan näkyi kesällä 2015

### Johtopäätöksen maan tilan ja usean vuoden kasvustotietojen perusteella

- à myös työketjut ja töiden ajoitukset mietittävä



Dia: ©Laura Alakukku, HY

## Käsittelyn jälkeen

Rakenteen stabilointi, vakiinnuttaminen  
 à Tavoitteena pitkä/pysyvä vaikutus  
 Maan uudelleen tiivistymisen ehkäisy  
 à jos samanlainen viljely jatkuu kuin ennen?

Kantavuus on ollut ongelma,  
 jos rikottu koko ala

- à osa tiivistä kerroksesta rikotaan

Puuttuu tutkimustietoa:

kasvustoon jankkurointi, mekaaninen+biologinen vaikutus

Dia: ©Laura Alakukku, HY

## Jankkurointi salaojituksen yhteydessä – PVO2 hankkeen tuloksia

### Multava hiesumaa (Sotkamo)

- à Jankkurointi n. 40 cm syvyyteen kaistoina (ei koko alueen kuohkeutusta)
- à Salaojitettu juuri ennen syvämuokkausta
- à Kevätvilja ja nurmi

- à Jankkuroinnilla ei pitkäaikaisvaikutusta maan rakenteeseen (mitattiin makrohuoston tilavuus, kyllästetyt maan vedenjohtavuus, maan mekaaninen vastus)
- à Mekaaninen vastus jankossa viljan viljelyssä pienempi jankkuroitaessa

Lähde: PVO2 loppuraportti, 2014 [http://www.salaojayhdistys.fi/pdf/TY\\_31.pdf](http://www.salaojayhdistys.fi/pdf/TY_31.pdf)

## Jankkurointi yhdistettynä maanparannusaineisiin – PETLAn tutkimus, loppuraportti v. 2016

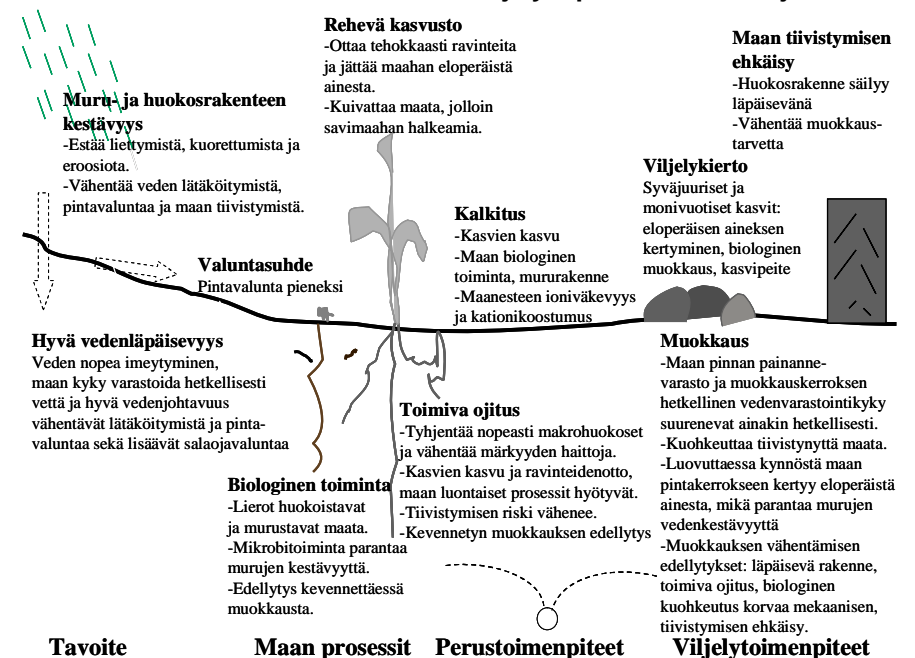
Simojoki ym. 2016. Perunamaan kyntöanturan rikkominen jankkuroinnilla ja uudelleentiivistymisen hidastaminen maanparannusaineen lisäyksellä hieumaassa .  
 Maataloustieteen päivät:

- à Vaikutus kesti ainakin vuoden perunamaassa
- à Nurmi jankkuroinnin jälkeen paransi tilannetta
- à Rakeistetun biotuhkan käyttö kuohkeutusurassa paransi tulosta

<http://www.smts.fi/MTP2016/abstracts>

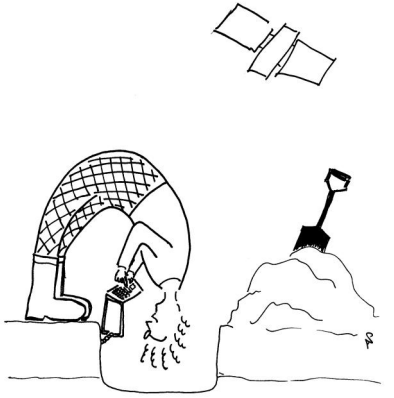
Dia: ©Laura Alakukku, HY

## Yhteenvedo: maan rakenteen hoito ja ylläpito – tavoitteet ja toimet



Lähde: Alakukku et al. 2008, Maa- ja elintarviketalous 120





*Kiitos!*

Kuva: Ansa Palojärvi, MTT