



Maan tiivistyminen – paljonko kuormitusta maa sietää?

Thomas Keller^{1,2}

¹Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Soil & Environment, Box 7014, SE-75007 Uppsala, Sweden; E-mail: thomas.keller@slu.se

²Agroscope, Department of Natural Resources & Agriculture, Reckenholzstrasse 191, CH-8046 Zürich, Switzerland; E-mail: thomas.keller@agroscope.admin.ch

Paimio 18.11.2016

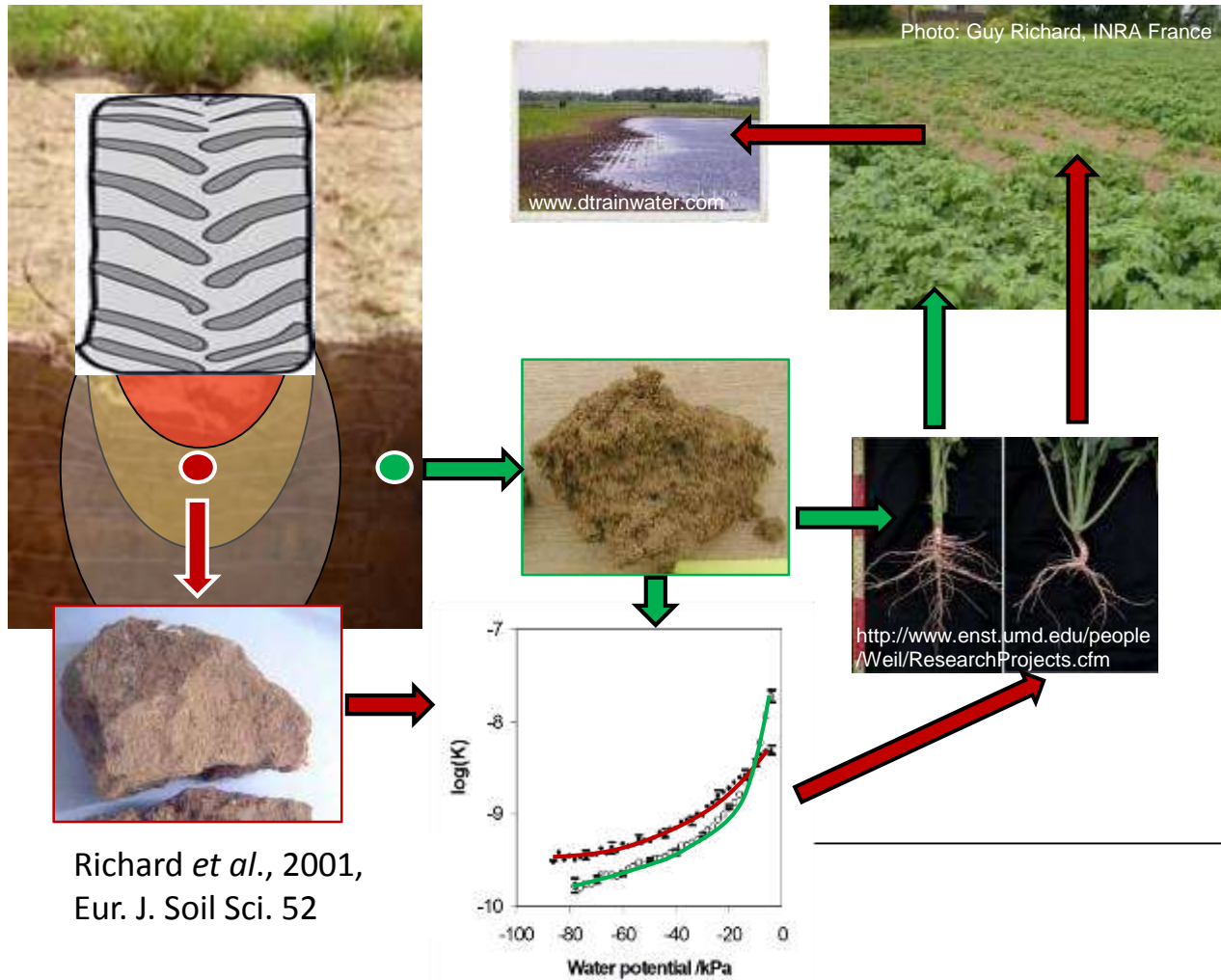


Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Department of Soil and Environment

Maan tiivistyminen: maan kuormasta kasvin stressiin ja ekosysteemipalveluiden heikkenemiseen

68 milj. ha peltomaata on vakavasti tiivistynyt maailmanlaajuisesti (Oldeman *et al.* 1991) 68 milj. ha $\approx 2 \times$ Suomen koko



Kehityskulkuja:

Raskaat koneet (yli 10 t per pyörä)

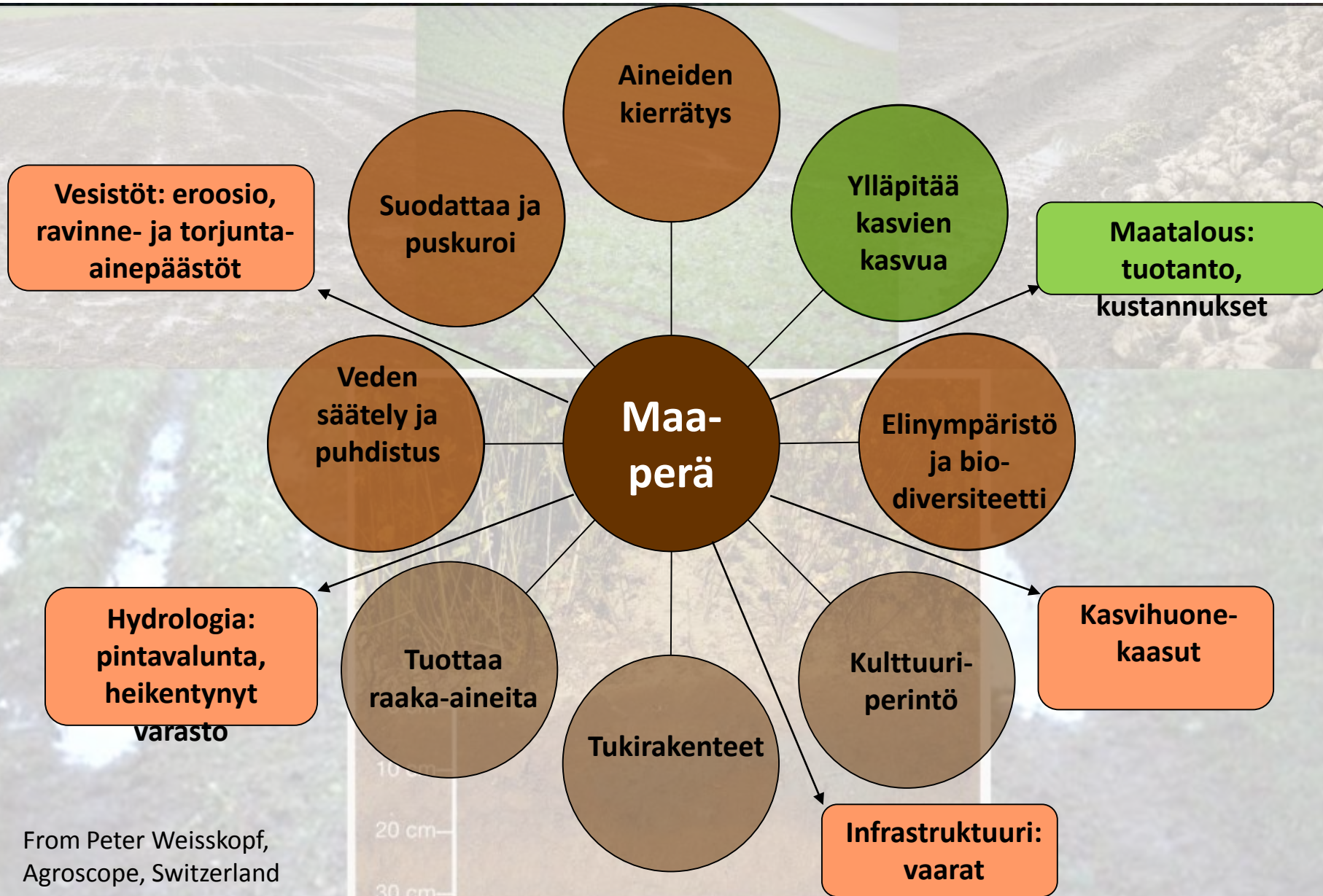


Tehokkaat koneet



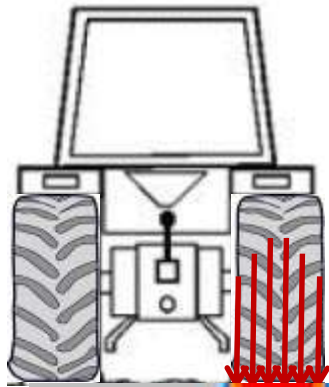
→ Maan tiivistyminen lisääntyy

Maan toiminta ja tiivistymisen seuraukset



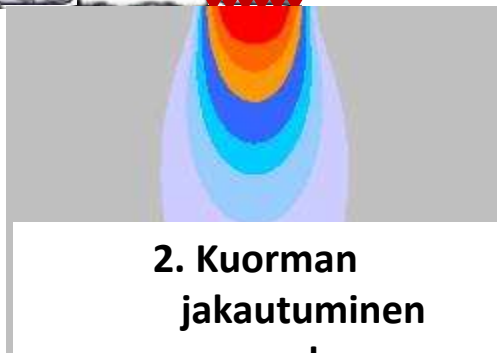
From Peter Weiskopf, Agroscope, Switzerland

Maan tiivistyminen: mekaanisesta kuormasta maan toiminnallisuuteen ja kasvin stressiin

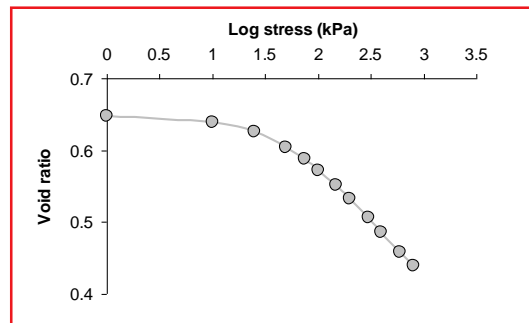


1. Renkaan ja maan kosketus

Rengaskuorma; kosketuspinta, kuorman jakautuminen



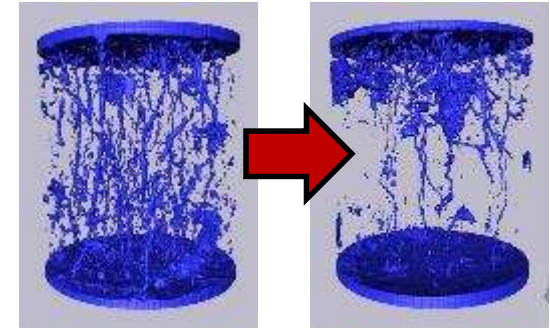
2. Kuorman jakautuminen maahan



3. Maan muodonmuutokset

Kuorman-venymän suhde
 $Kuorma > lujuus \rightarrow tiivistyminen$

4. Maan toiminnallisuuden alenema



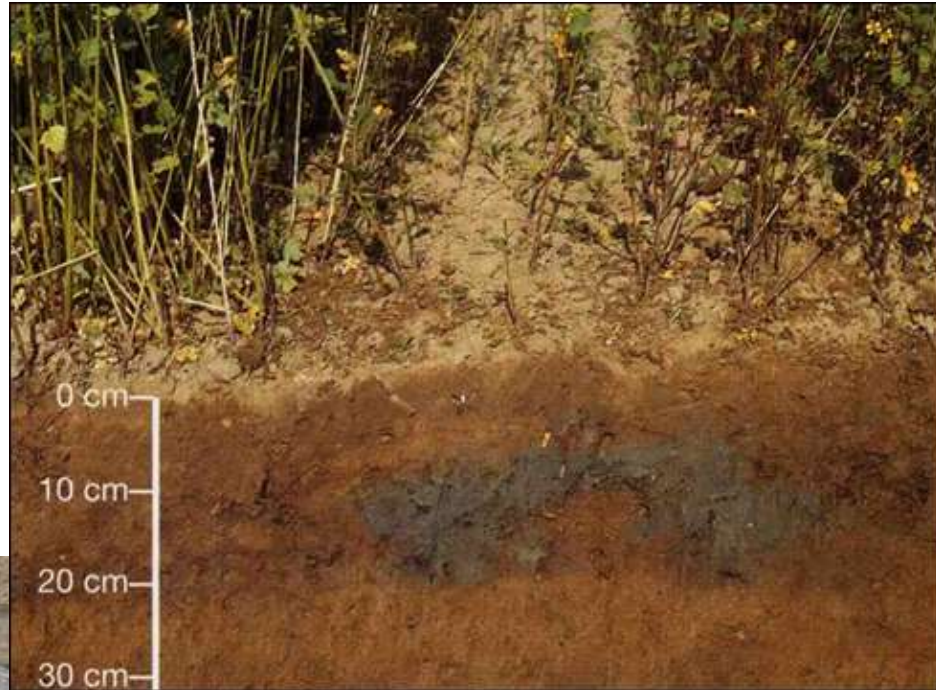
Joitain tärkeitä kysymyksiä...

- (1) Millainen kuorma kohdistuu maahan tietyllä syvyydellä?
- (2) Muuttaako tämä kuorma maan rakennetta?
- (3) Jos rakenne muuttuu, miten ja kuinka paljon?
- (4) Mitä tästä seuraa maan toiminnallisuudelle?
- (5) Kauanko vaikutukset kestävät (kuinka pysyvää tiivistyminen on)?

Joitain tärkeitä kysymyksiä...

- (1) Millainen kuorma kohdistuu maahan tietyllä syvyydellä?
- (2) Muuttaako tämä kuorma maan rakennetta?
- (3) Jos rakenne muuttuu, miten ja kuinka paljon?
- (4) Mitä tästä seuraa maan toiminnallisuudelle?**
- (5) Kauanko vaikutukset kestävät (kuinka pysyvää tiivistyminen on)?**

Maan tiivistyminen ei ole aina näkyvää



Kuvat: Michel Fischler, AGRIDEA, Switzerland

Kuinka pysyvää pohjamaan tiivistyminen on? Jokioisten kenttäkoe 1981-

Savipitoisuus (*Vertic cambisol*): 48 (0-20 cm) - 66% (40-60 cm syvyys)

Salaojitettu *n.* 1 m syvyyteen

Maa tiivistettiin painavilla koneilla (4 ajokertaa, vieriviereen): 19 tonnin
teliakselikuorma; rengaspaine: 700 kPa

Käsittelyt: verrokki (A0) ja tiivistetty (A2)

Tiivistyksen jälkeen:

Kevätviljoja

Kevyitä koneita

Tulokset ja kuvat:

Prof Laura Alakukku, Helsingin yliopisto



Jokioisten tiivistyskoe: liikenne tiivistä maan 50-60 cm syvyyteen

Maan tiivistyminen alensi huokostilavuutta ja makrohuokosten määrää (huokonen >0.03 mm)

Pintamaan (0–20 cm) tiivistyminen poistui kolmessa vuodessa vuosittaisen kynnön ja luonnonprosessien avulla (jäätymisen-sulamisen, kuivuminen-kastuminen)

Yhdeksän vuoden jälkeen, pohjamaan tiivistymä oli mitattavissa 40-55 cm syvyydessä:

- Vedenjohtavuus: -98%
- Makrohuukokset (>0.3 mm): -70%
- Vähemmän biohuukosia (lierojen käytävät, juurikanavat)

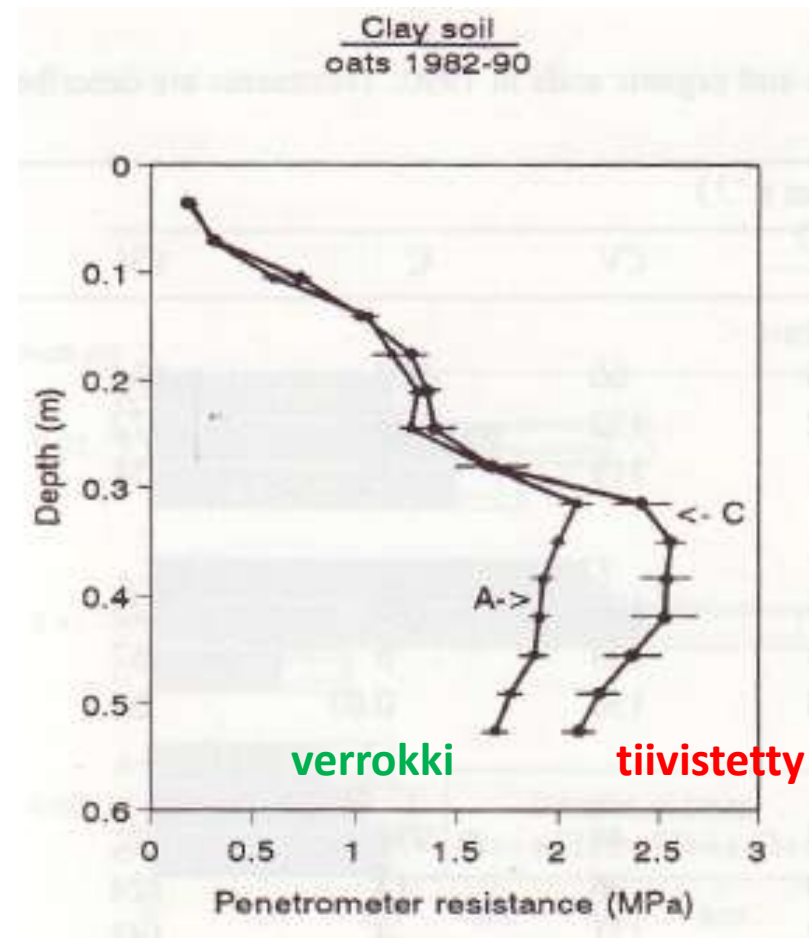
A= A0=verrokki

C=A2=tiivistetty 1981

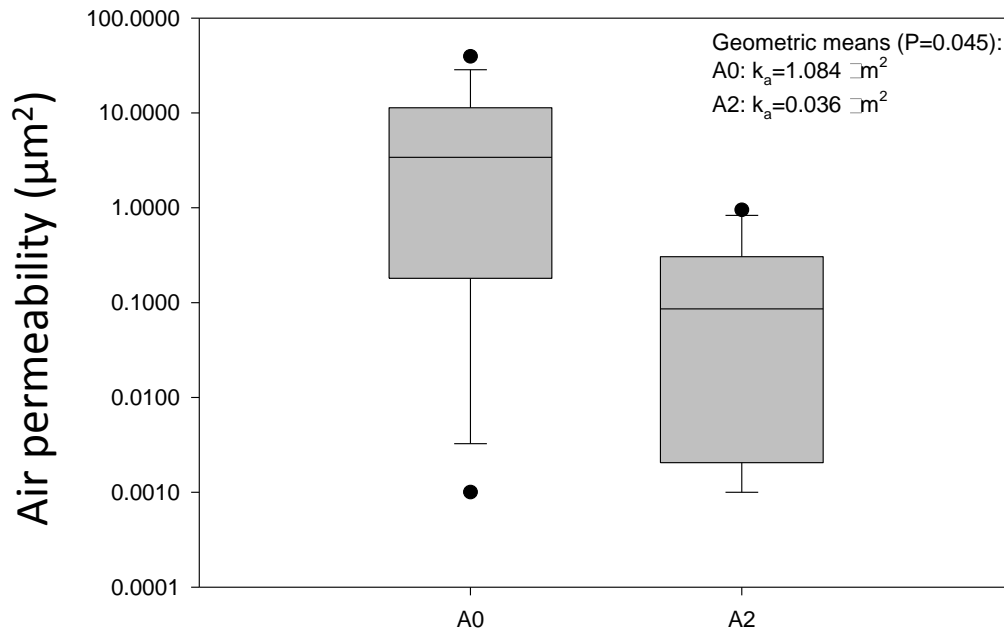
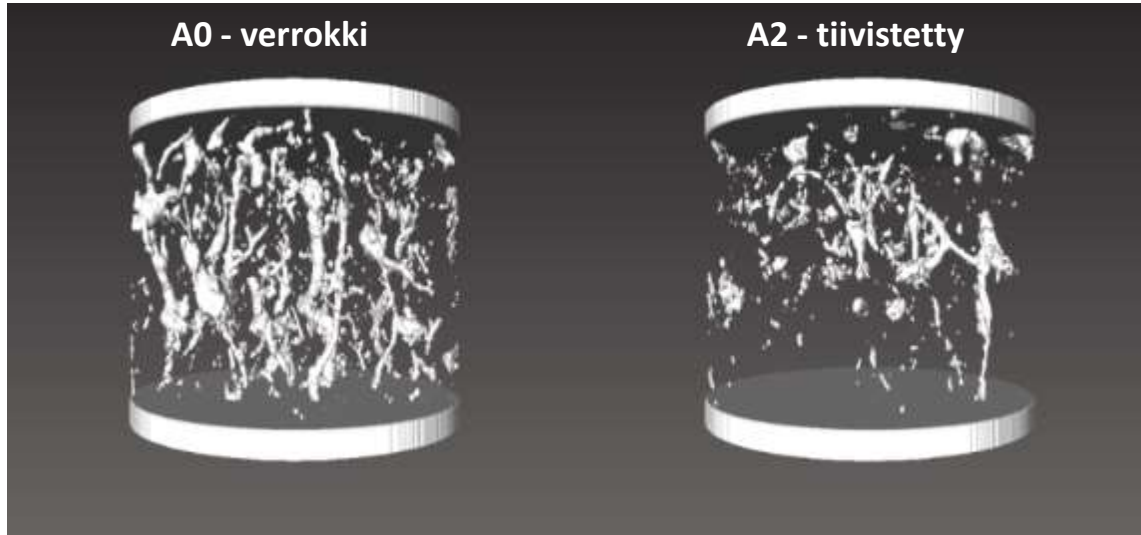
Tulokset ja kuvat:

Prof Laura Alakukku, Helsinki University

Alakukku, 1996. Soil & Tillage Res 27



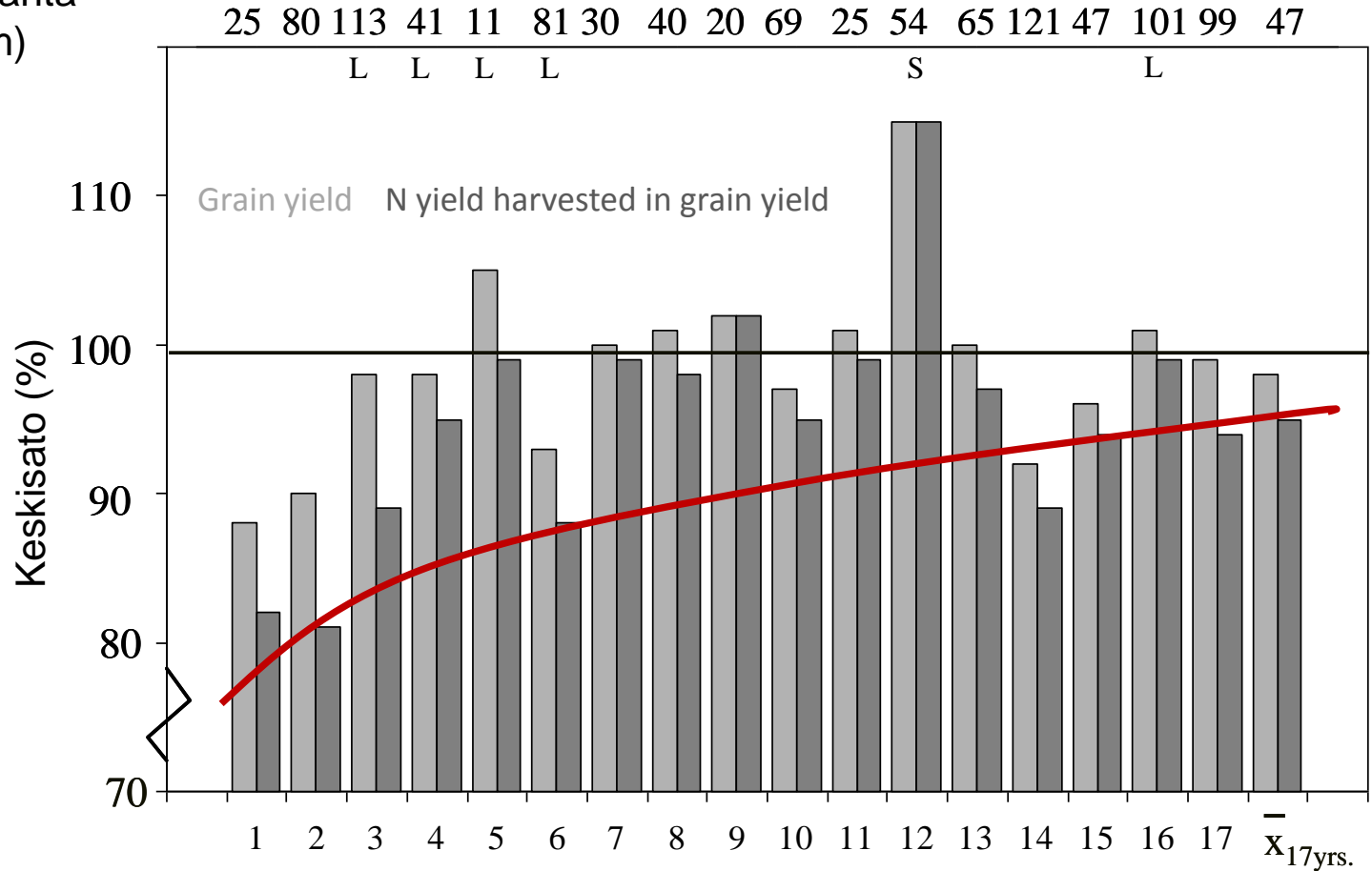
Jokioisten tiivistyskoe: 29 vuotta tiivistyksen jälkeen



Makrohuokokset ja ilman läpäisykyky olivat alhaisia kolmen vuosikymmenen jälkeen

Berisso *et al.* 2013, *Geoderma* 195-196, 184-191.

Kesäkuun
sadanta
(mm)



Tiivistämättömän sato= 100

L = Tiivistämätön lakoutui

S = Tiivistämättömässä itämisiongelmia (syy tuntematon)

Vuosi 0 = 1981 and vuosi 17 = 1998

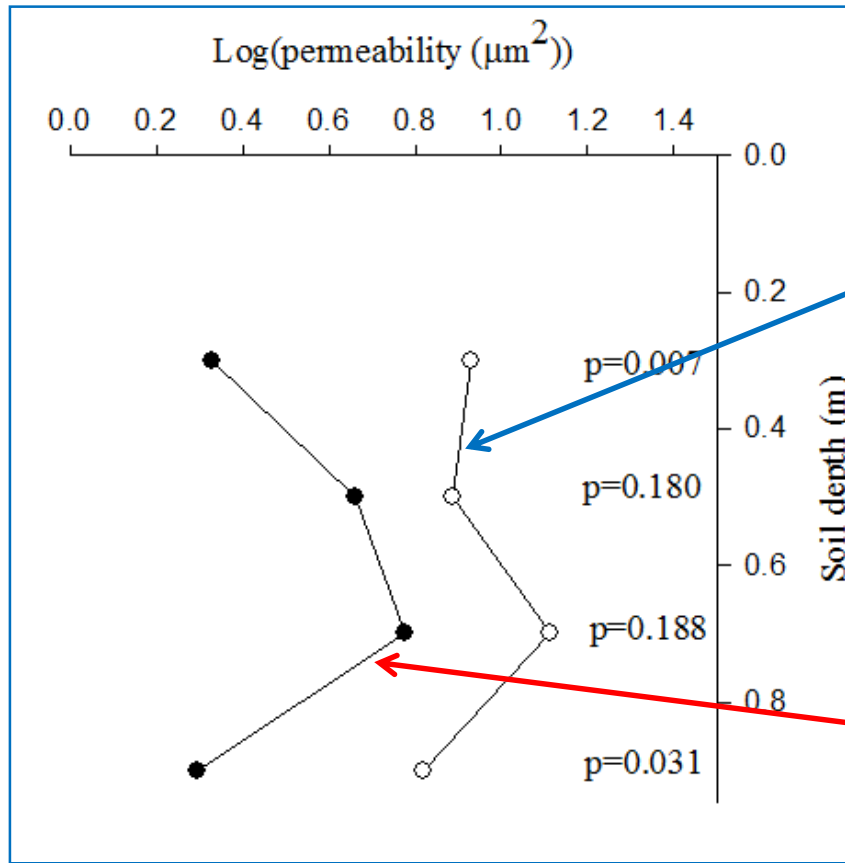
Kuinka pysyvää pohjamaan tiivistymisen on?

Kenttäkoe Etelä-Ruotsista

- ✓ Paikka: Brahmehem, eteläinen Ruotsi
- ✓ Tiivistetty 1995 [Arvidsson (2001) Soil & Tillage Research 60, 67-78]
- ✓ Neljä rinnakkaista lohkoa (satunnaistettu koeasetelma)
- ✓ Käsittelyt:
 - (1) Verrokki (ei koetiivistystä)
 - (2) Neljä ajokertaa kuusirivisellä juurikkaan nostokoneella vieriviereen; pellon kosteus kenttäkapasiteetissa
- ✓ Tiivistyksessä käytetty nostokone: 35 t kokonaispaino, eturenkaalla painoa: 10 t
- ✓ Mittaustulokset vuodelta 2009 eli 14 vuotta tiivistyksen jälkeen

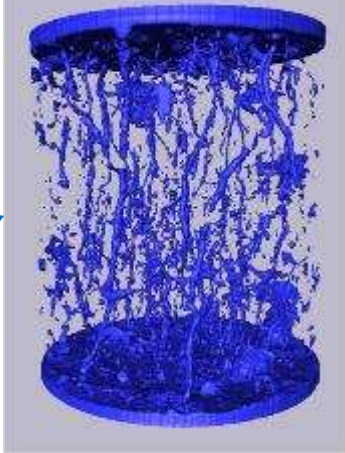


Tiivistyksen vaikutus huokosiin ja maan toimintaan 14 vuotta tiivistyksestä

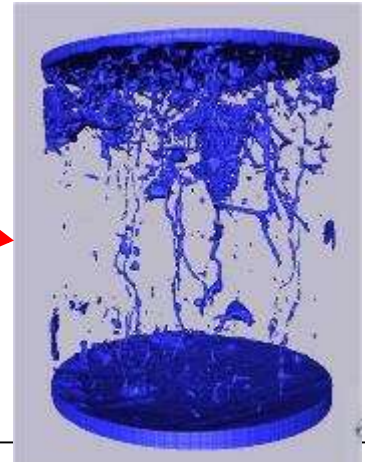


Berisso *et al.* 2012. Persistent effects of subsoil compaction on pore characteristics and functions in a loamy soil. *Soil & Tillage Research* 122.

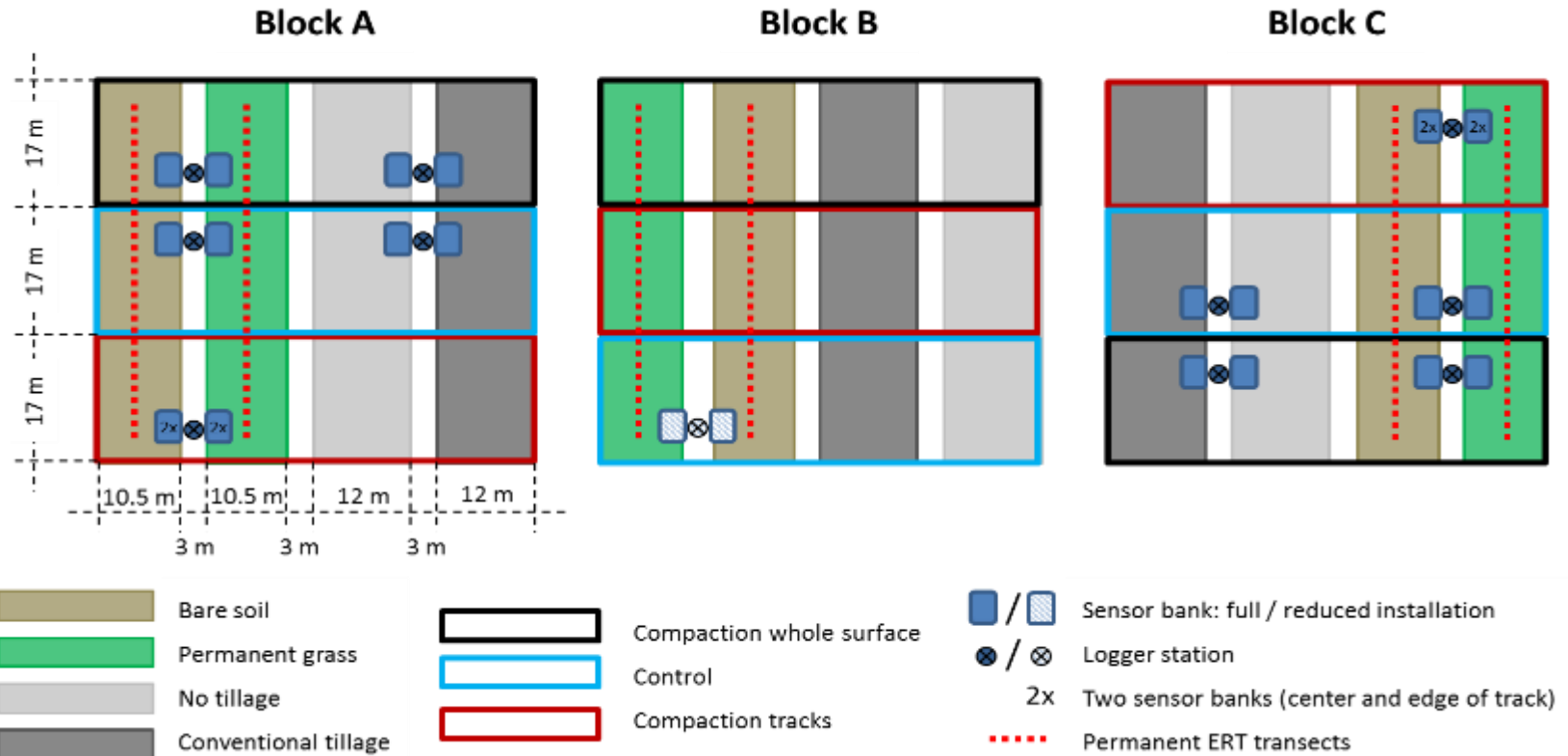
Verrokki



Tiivistetty



Maan rakenteen arviointikohde (SSO) Zürich, Sveitsi

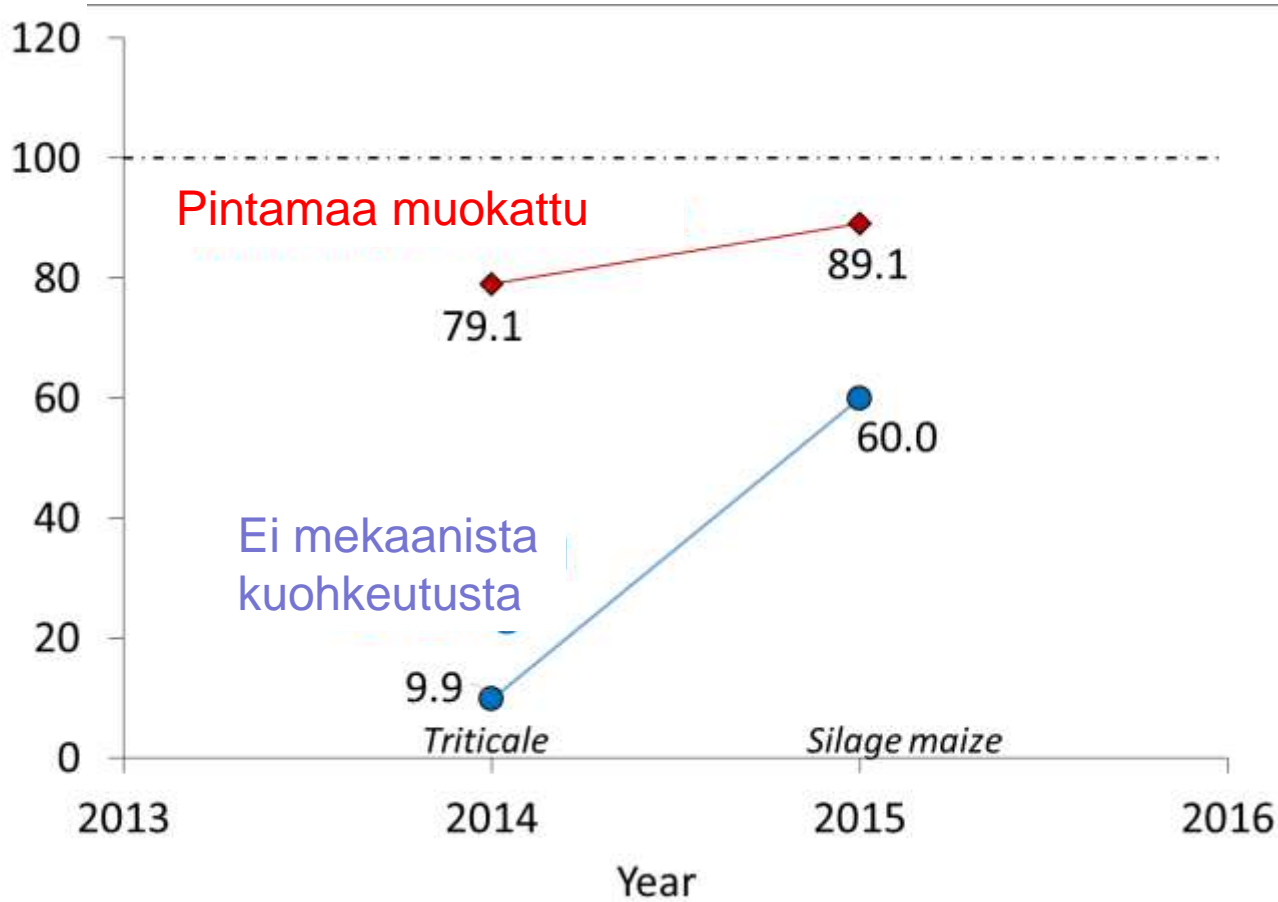


Havainnot SSO-alalta, 13 kuukautta tiivistymisen jälkeen...



SSO satotasot (tiivistetty maaliskuussa 2014)

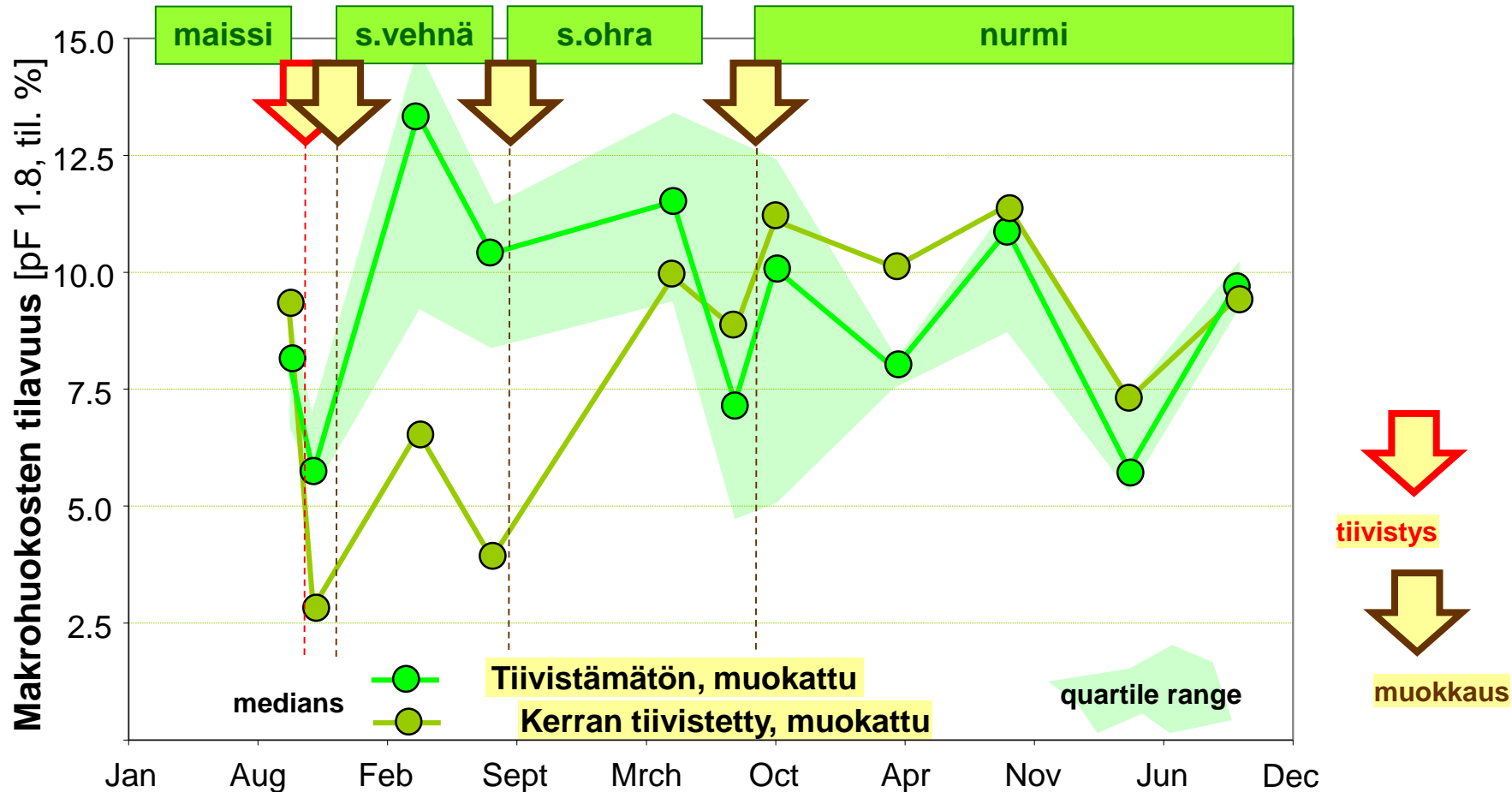
Suhteellinen sato tiivistetty vs. tiivistämätön



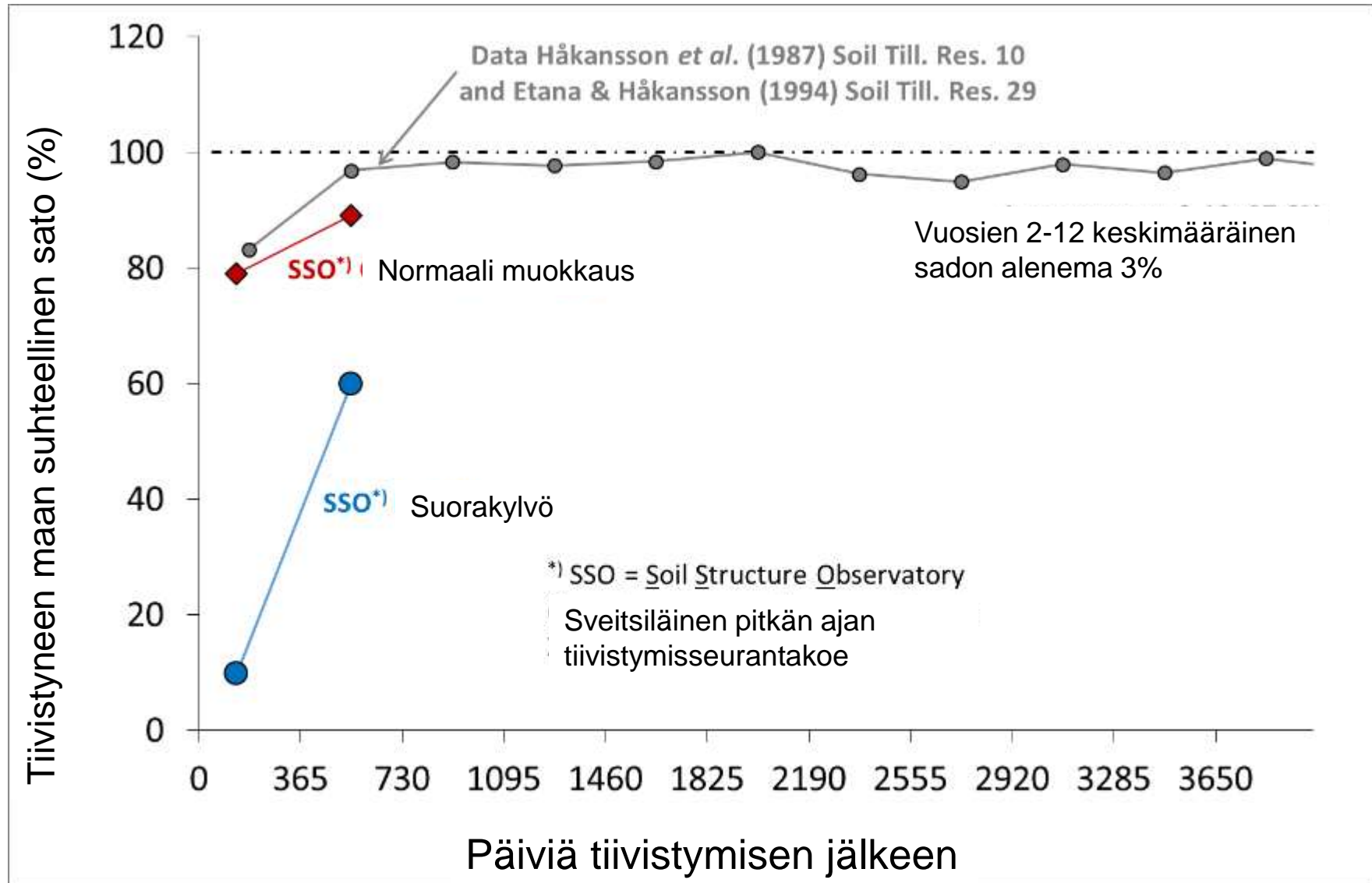
Tiivistetty suorakylvö

Kynnetty verrokki

Pintamaan tiivistymisen säilyy ainakin muutamia vuosia – vaikka maata kynnetään

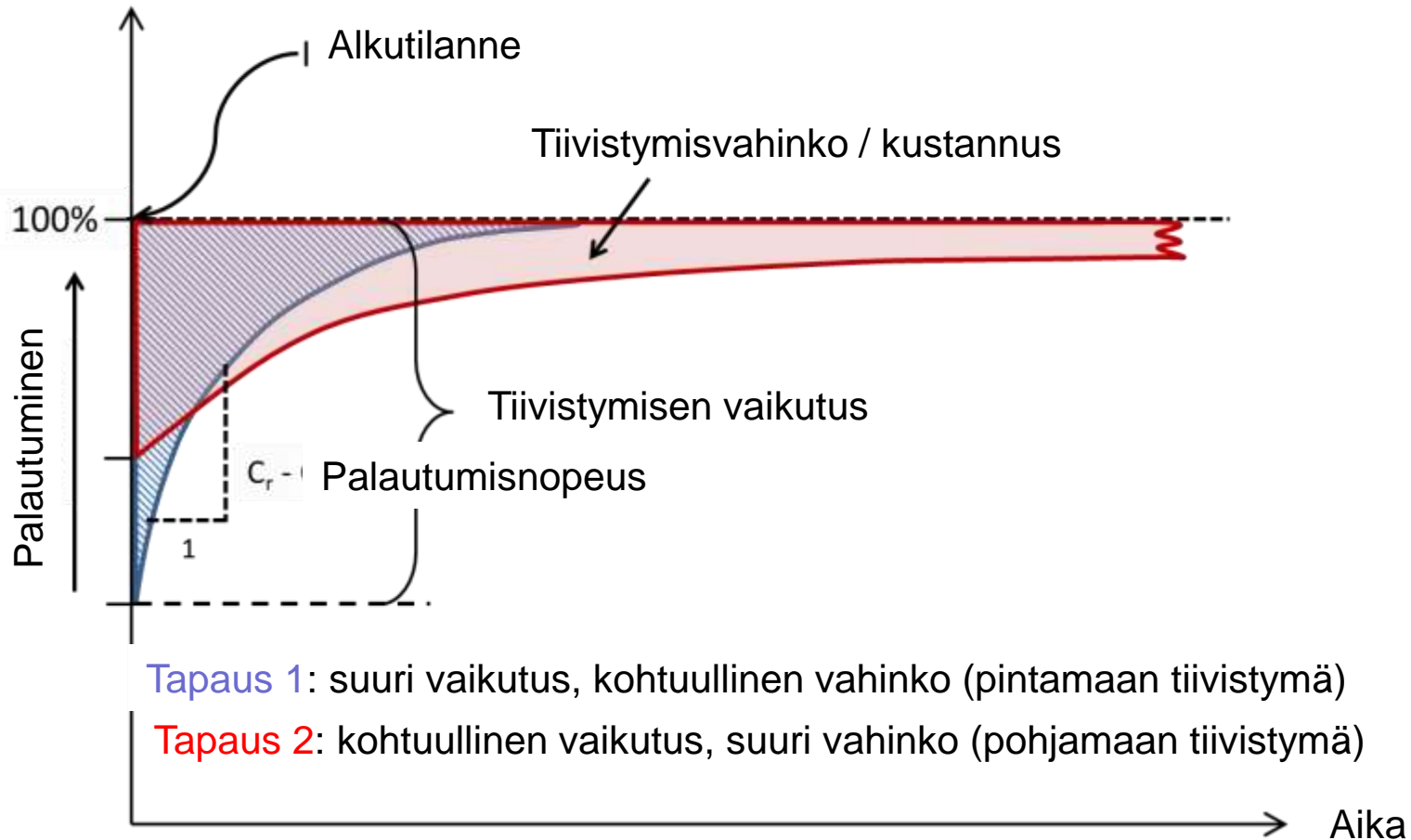


Maan tiivistyminen – pitkäaikaisia vaikutuksia



Tiivistymisen kustannukset = kumulatiivinen maan toimintakyvyn menetys (l. satotappio) tiivistämisen jälkeen, laskettu yli ajan, kunnes maa on palautunut ennalleen

Maan ominaisuus
(esim. kasvien kasvu)



Tiivistymisen kustannukset alempana satotasona – joitain huomioita ja laskelmia

Oletetaan pysyvä 5% sadonalenema pohjamaan tiivistymisestä (voi olla aliarvio)

5% (yhdestä tiivistyskerrasta) vastaa:

- Täyskatovuosi kerran 20 vuodessa
- 5 ha tuottamatonta alaa 100 ha tilalla

Suomessa, *n.* 4'000'000 tonnia viljaa korjataan vuosittain, 5% kato vastaa:

- 200'000 tonnin tappiota vuosittain

Oletetaan hinnaksi 100 €/tonni (karkea suuruusluokka)

- Taloudellinen tappio 20'000'000 €

Kuinka yleistä maan tiivistyminen on?

Epävarmoja lukuja ja määritelmiä (esim. Mikä on “pahoin tiivistynyt”), mutta joitain arvioita:

25 vuotta sitten:

68 milj. ha peltomaata vakavasti tiivistynyt maailmanlaajuisesti (Oldeman *et al.* 1991)

5-10 vuotta sitten :

36 milj.ha peltomaata pahoin tiivistynyt EU:ssa
(<http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/themes/compaction>)

5 vuotta sitten:

1/3 Sveitsin keskiosien peltomaasta on tiivistynyt (Umwelt-zentralschweiz.ch nr 3/2013)

3 vuotta sitten:

Haastattelututkimuksessa 70% ruotsalaisista viljelijöistä ilmoitti tiivistymisen aiheuttavan ongelmia heidän tilallaan (the “Rai-soilcomp” project, Hack-Ten Broeke *et al.* 2014)

Miten maan tiivistymisen tunnistaa pellolla?

1) Selviä ongelmia: seisovaa vettä, heikkoa kasvua, pahaa hajua...



Photos: Thomas Keller

Miten tiivistymisen tunnistaa pellolla?

2) Maan rakenteen visuaalinen tarkastelu



Tiivistyneen maan tunnistaa:

- Laattamainen rakenne
- Vähän tai ei näkyviä huokosia
- Teräväreunaisia ja sileäpintaisia muruja ja kokkareita



Kuinka tiivistymisen tunnistaa pellolla?

2) Maan rakenteen visuaalinen tarkastelu

“Huono rakenne”



“Hyvä rakenne”



Kuvat: Bettina Marbot, Agridea, Switzerland

Kuinka tiivistyminen tunnistetaan pellolla?

2) Visuaalinen maan rakenteen tarkastelu

“Huono rakenne”



“Hyvä rakenne”



Kuvat: Bettina Marbot, Agridea, Switzerland

Kuinka voidaan tunnistaa tiivistymisen pellolla?

2) Visuaalinen maan rakenteen tarkastelu

“Huono rakenne”



“Hyvä rakenne”



Kuvat: Bettina Marbot, Agridea, Switzerland

Visual evaluation of soil structure (VESS)





















<http://www.sac.ac.uk/vess>




Bruce Ball, SRUC (bruce.ball@sruc.ac.uk),
 Rachel Guimarães, University of Maringá, Brazil (rachellocks@gmail.com),
 Tom Batey, Independent Consultant (2033@tombatey.f2s.com) and
 Lars Munkholm, University of Aarhus, Denmark (Lars.Munkholm@agrsci.dk)

Visual evaluation of soil structure (VESS)

<http://www.sac.ac.uk/vess>

Structure quality	Size and appearance of aggregates	Visible porosity and Roots	Appearance after break-up: various soils	Appearance after break-up: same soil different tillage	Distinguishing feature	Appearance and description of natural or reduced fragment of ~ 1.5 cm diameter
Sq1 Friable Aggregates readily crumble with fingers	Mostly < 6 mm after crumbling	Highly porous Roots throughout the soil			 Fine aggregates	 The action of breaking the block is enough to reveal them. Large aggregates are composed of smaller ones, held by roots.
Sq2 Intact Aggregates easy to break with one hand	A mixture of porous, rounded aggregates from 2 mm –7 cm. No clods present	Most aggregates are porous Roots throughout the soil			 High aggregate porosity	 Aggregates when obtained are rounded, very fragile, crumble very easily and are highly porous.
Sq3 Firm Most aggregates non-break with one hand	A mixture of porous aggregates from 2 mm –10 cm; less than 30% are <1 cm. Some angular, non-porous aggregates (clods) may be present	Macropores and cracks present Porosity and roots both within aggregates.			 Low aggregate porosity	 Aggregate fragments are fairly easy to obtain. They have few visible pores and are rounded. Roots usually grow through the aggregates.
Sq4 Compact Requires considerable effort to break aggregates with one hand	Mostly large > 10 cm and sub-angular non-porous; horizontal/platy also possible; less than 30% are <7 cm	Few macropores and cracks All roots are clustered in macropores and around aggregates			 Distinct macropores	 Aggregate fragments are easy to obtain when soil is wet, in cube shapes which are very sharp edged and show cracks internally.
Sq5 Very compact Difficult to break up	Mostly large > 10 cm, very few < 7 cm, angular and non-porous	Very low porosity. Macropores may be present. May contain anaerobic zones. Few roots, if any, and restricted to cracks			 Grey-blue colour	 Aggregate fragments are easy to obtain when soil is wet, although considerable force may be needed. No pores or cracks are visible usually.

Visual evaluation of soil structure for subsoils (SubVESS)

Subsoil structural quality (Ssq) assessment of a soil layer					
a) Mottling	b) Strength	b) Porosity	c) Roots	e) Aggregates	Ssq Subsoil quality
 <p>1a-3a No mottling or many diffuse (faint) mottles</p>	<p>1b-2b Easily fragmented with fingers</p> <p>3b Difficult to penetrate with knife and slices keep their shapes after breakage</p>	<p>1d Many small pores (< 2mm) throughout, includes loose sand</p> <p>2d As for 1d, but occasional less porous zones</p>	<p>1c-2c Roots growing throughout</p> <p>3c Roots mainly in cracks and worm channels</p>	<p>1e Rounded friable aggregates</p> <p>2e Uniform, small scale roughness due to sub-angular aggregates</p>	<p>Ssq1 Friable with high porosity and fissures. Good drainage and aeration.</p> <p>Ssq2 Firm with slightly less porosity and fissures than Ssq1, but with only a small effect on rooting. If present, mottling due to anaerobism is minor.</p>
		<p>4a-5a Well-defined rust-coloured zones around pores or blocked channels</p>		<p>3d Visible porosity mostly outside aggregates as cracks, isolated pores and earthworm holes, acting as bypass pores</p> <p>4d Very few small pores and cracks visible on broken surfaces (< 5/100 cm²)</p> <p>5d No pores or few, blocked channels</p>	<p>4c Roots can be distorted</p> <p>5c No roots</p>

VESS esimerkki: tiivistyskoe Tanskasta

Verrokki

8 t rengaskuorma

20-37 cm depth

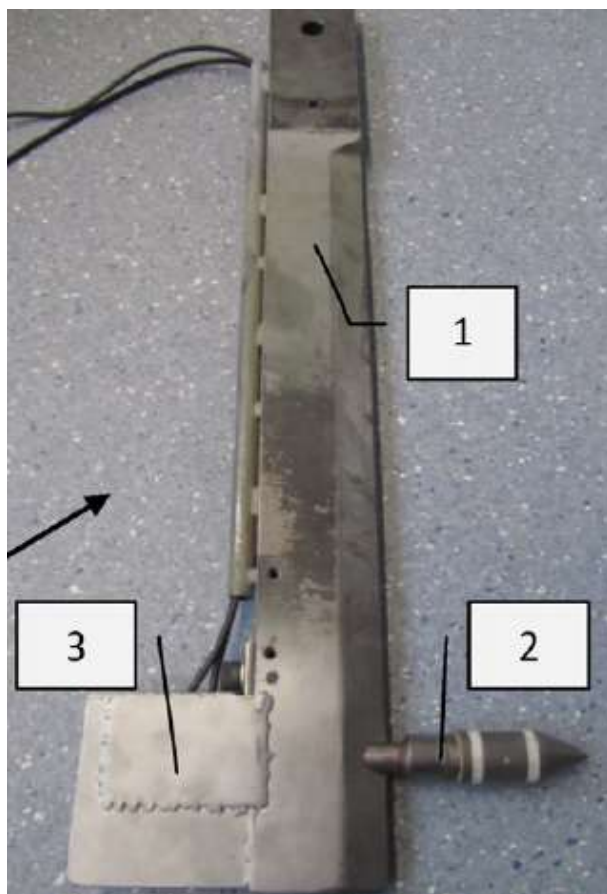


49- 72 cm depth



Kuinka tunnustetaan maan tiivistymisen pellolla?

3) Mittaukset, esim.
Vaakapenetrometri jatkuvatoimiseen
tiiviyksmittaukseen



Satotaso ja penetrometrivastus

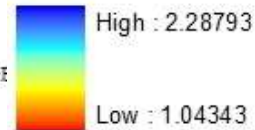
Yield
(Mg ha⁻¹)



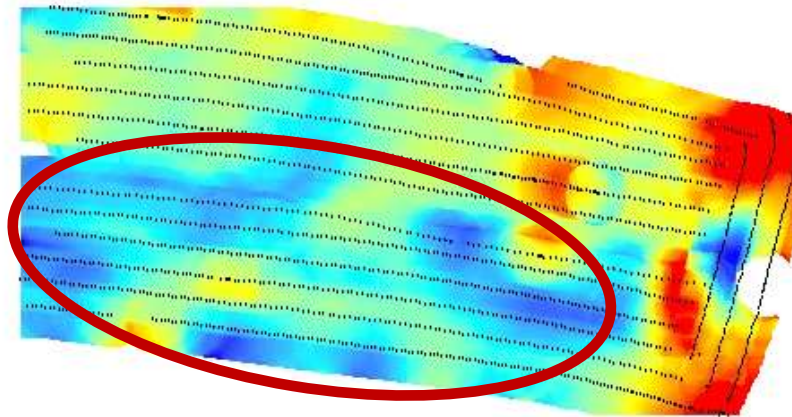
0 10 20 40 60 80 Meters



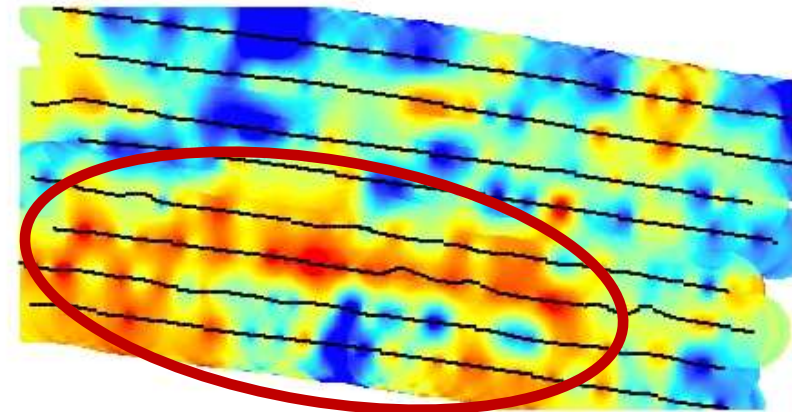
PR
(MPa)



0 10 20 40 60 80 Meters



Korkea sato



Alhainen vastus

Naderi-Boldaji M., Alimardani R., Sharifi A., Hemmat A., Keyhani A., Loonstra E., Weisskopf P., Stettler M. & Keller T. 2013. Use of a triple-sensor fusion system for on-the-go measurement of soil compaction. *Soil & Tillage Research*, 128, 44-53.

1. Ennaltaehkäisy tärkeämpää kuin korjaaminen

→ palautuminen = vie aikaa ja rahaa, ei palaudu kunnolla

2. Vältä pohjamaan tiivistämistä

→ palautuminen = vie aikaa ja rahaa, ei palaudu kunnolla

→ ruokamultakerros = voidaan ennallistaa

3. Maan rakenteen suojeleminen = miten?

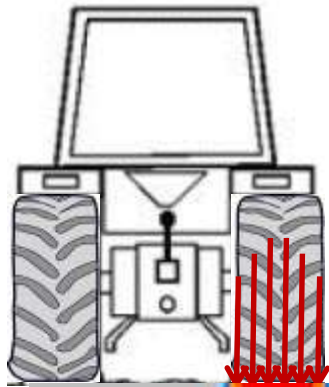
a) Vältä kaikkia muutoksia maan rakenteessa (varovaisuusperiaate)

→ ei minkäänlaista muodonmuutosta

b) noudata kynnsarvoja

→ ei muodonmuutosta joka ylittäisi rakenteelle määritetyt reunaehdot

Maan tiivistyminen: mekaanisesta kuormasta maan toimintoihin ja kasvin stressiin

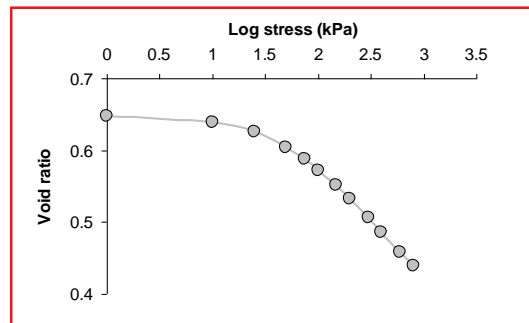


1. Renkaan ja maan kosketus

Rengaskuorma; kosketusala, kuorman jakautuminen



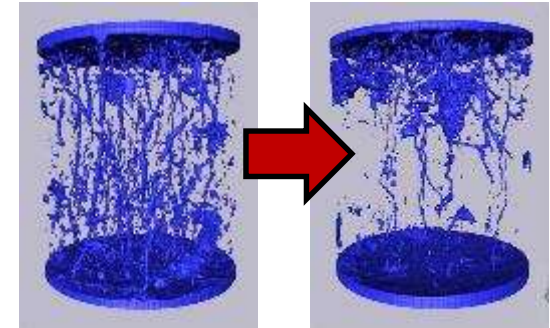
2. Kuorman jakautuminen maassa



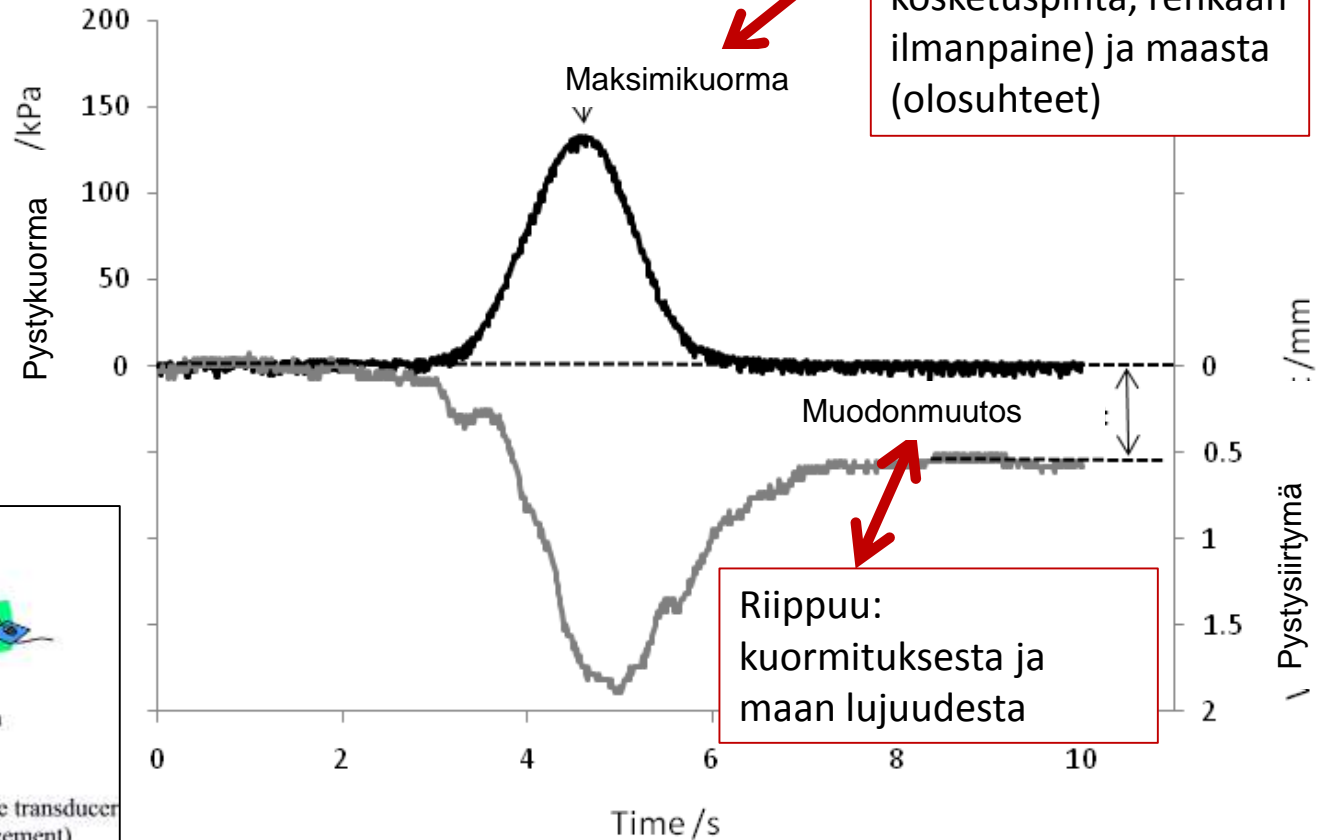
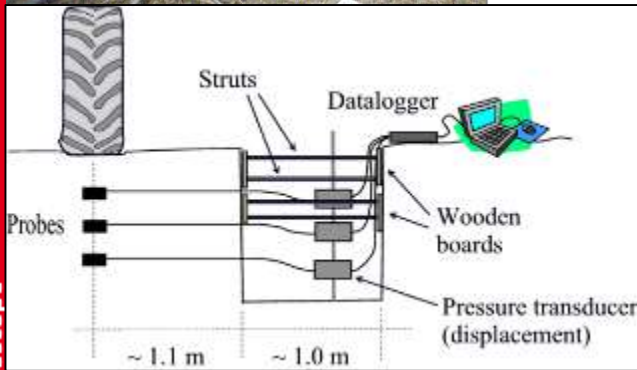
3. Maan muodonmuutokset

Kuorma-venymä -suhde
 Kuorma > lujuus → tiivistyminen

4. Maan toimivuuden muutokset



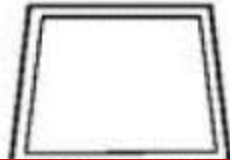
Mitä tapahtuu maalle, kun rengas ajaa sen yli?



Riippuu: kuormasta (rengaskuorma, kosketuspinta, renkaan ilmanpaine) ja maasta (olosuhteet)

Riippuu: kuormituksesta ja maan lujuudesta

Maan tiivistyminen: yksinkertainen malli

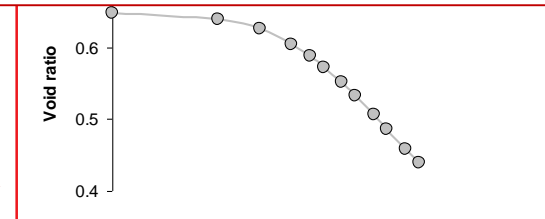


Tiivistymisriski on korkea, kun:

Kuormitus on suuri, ja/tai

maan *lujuus* on *alhainen*

en suhde



Lujuus <> Kuormitus

Kuorma > lujuus → Pysyvä muodonmuutos, irtotiheyden kasvu = vähemmän huokosia = ***Tiivistyminen***

Kuorma ≤ lujuus → Elastinen (palautuva) muodonmuutos

Kuinka tiivistymistä voidaan vähentää?

Maan kuormitus

Maan lujuus



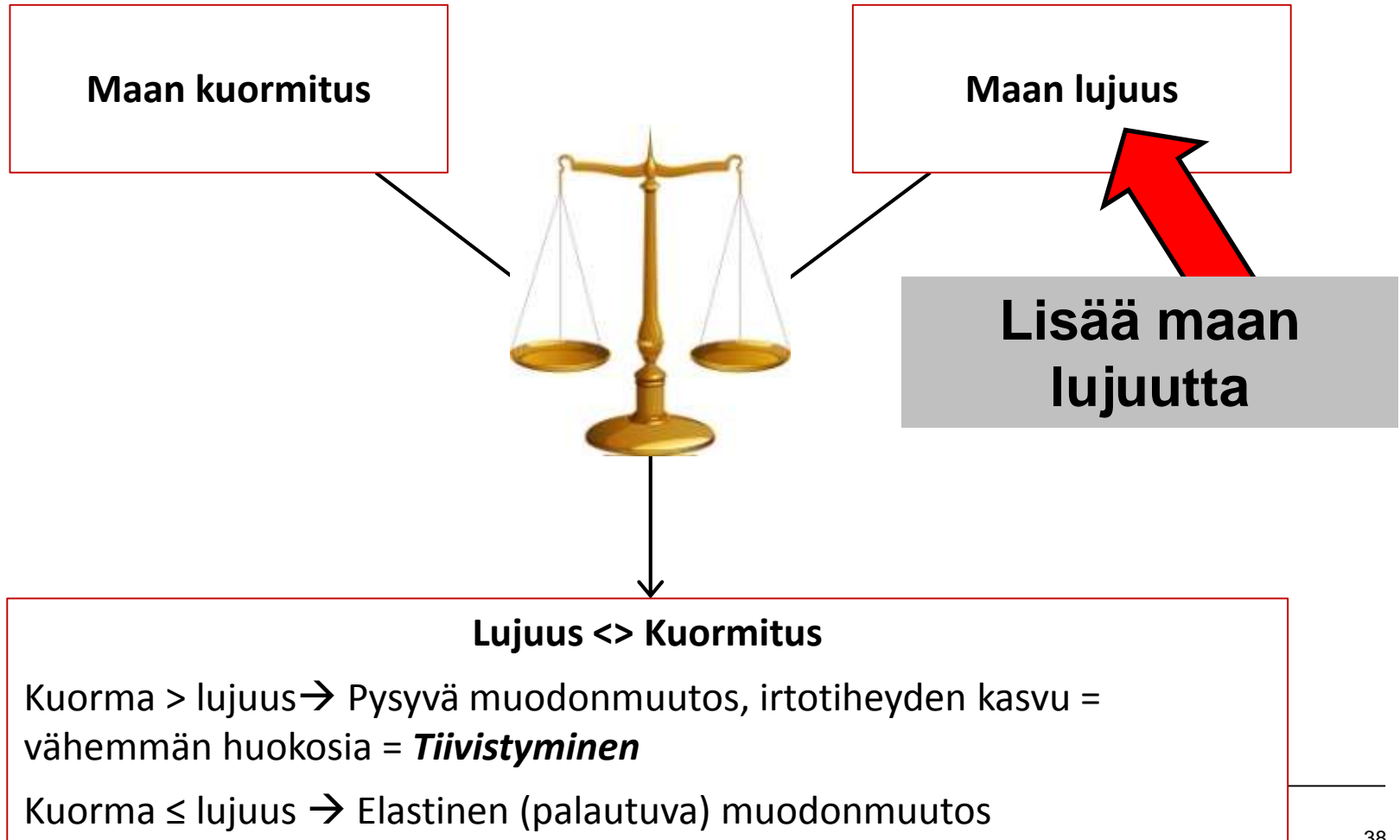
Vähennä
kuormitusta

Lujuus <> Kuormitus

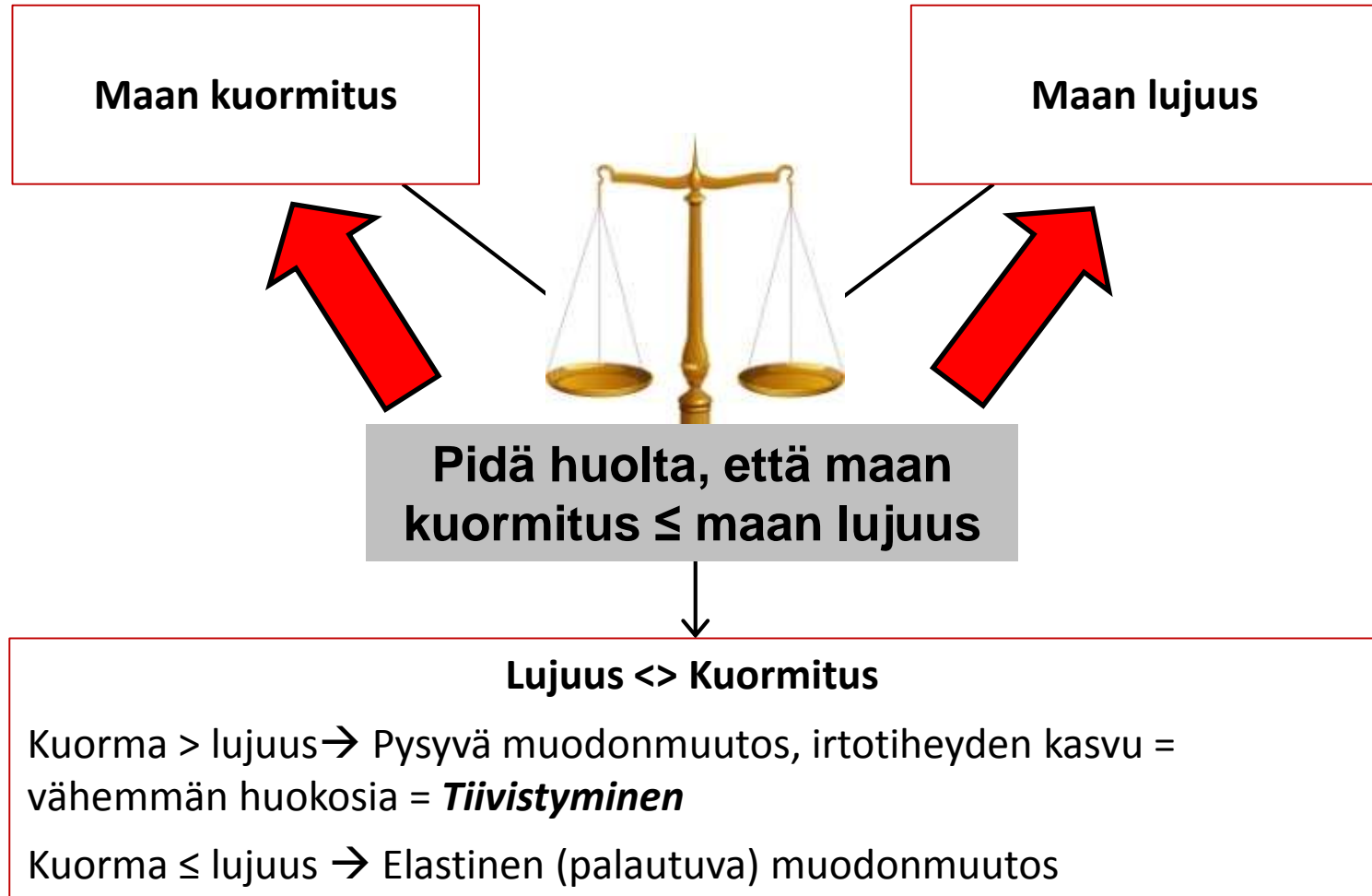
Kuorma > lujuus → Pysyvä muodonmuutos, irtotiheyden kasvu = vähemmän huokosia = **Tiivistyminen**

Kuorma ≤ lujuus → Elastinen (palautuva) muodonmuutos

Kuinka maan tiivistymisriskiä voi vähentää?



Kuinka voidaan vähentää maan tiivistymistä?



Kuinka tiivistymistä voidaan vähentää?

Maan kuormitus

Maan lujuus



Vähennä
kuormitusta

Lujuus <> Kuormitus

Kuorma > lujuus → Pysyvä muodonmuutos, irtotiheyden kasvu = vähemmän huokosia = **Tiivistyminen**

Kuorma ≤ lujuus → Elastinen (palautuva) muodonmuutos

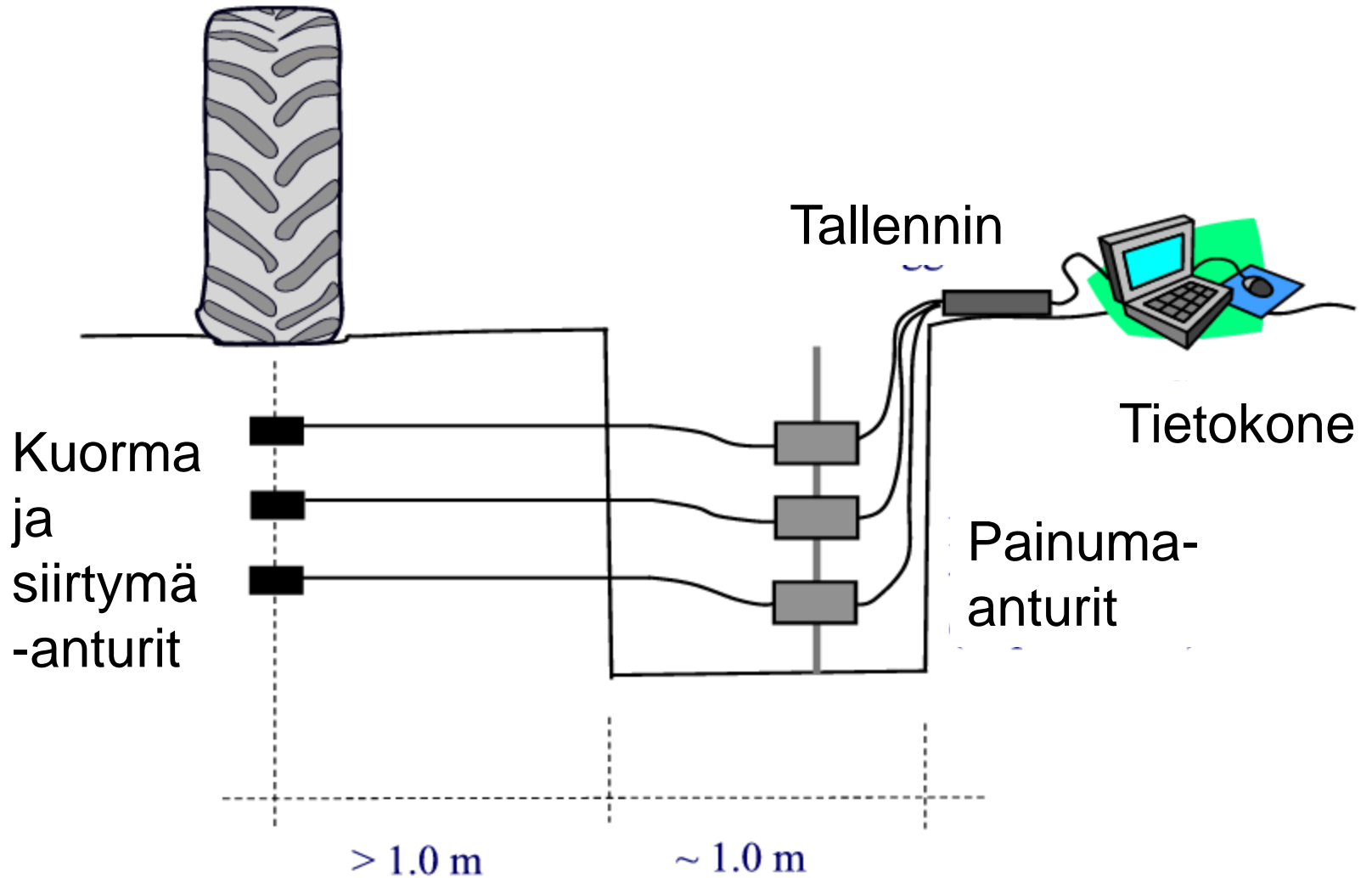
Rengaskuorman ja renkaan ilmanpaineen vaikutus kuormitukseen

Kenttäkoe hiuesavella (*clay loam*) (35% savea)

- Rengaskuorma:
 - Edessä: 8.6 tonnia
 - Takana: 3.3 tonnia
- Rengas: 1050/50 R32
- Renkaan ilmanpaine:
 - Edessä: 100 kPa, 150 kPa tai 250 kPa
 - Takana: 150 kPa

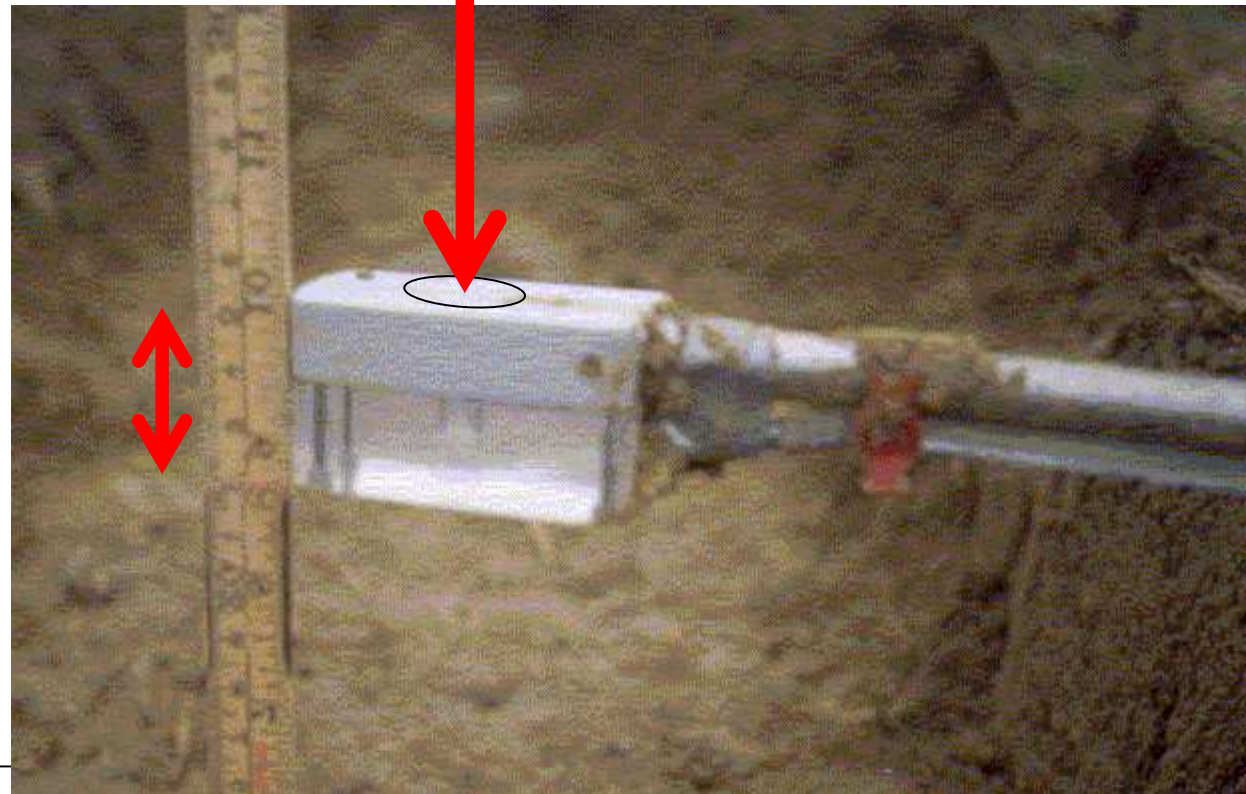


Koeasetelma



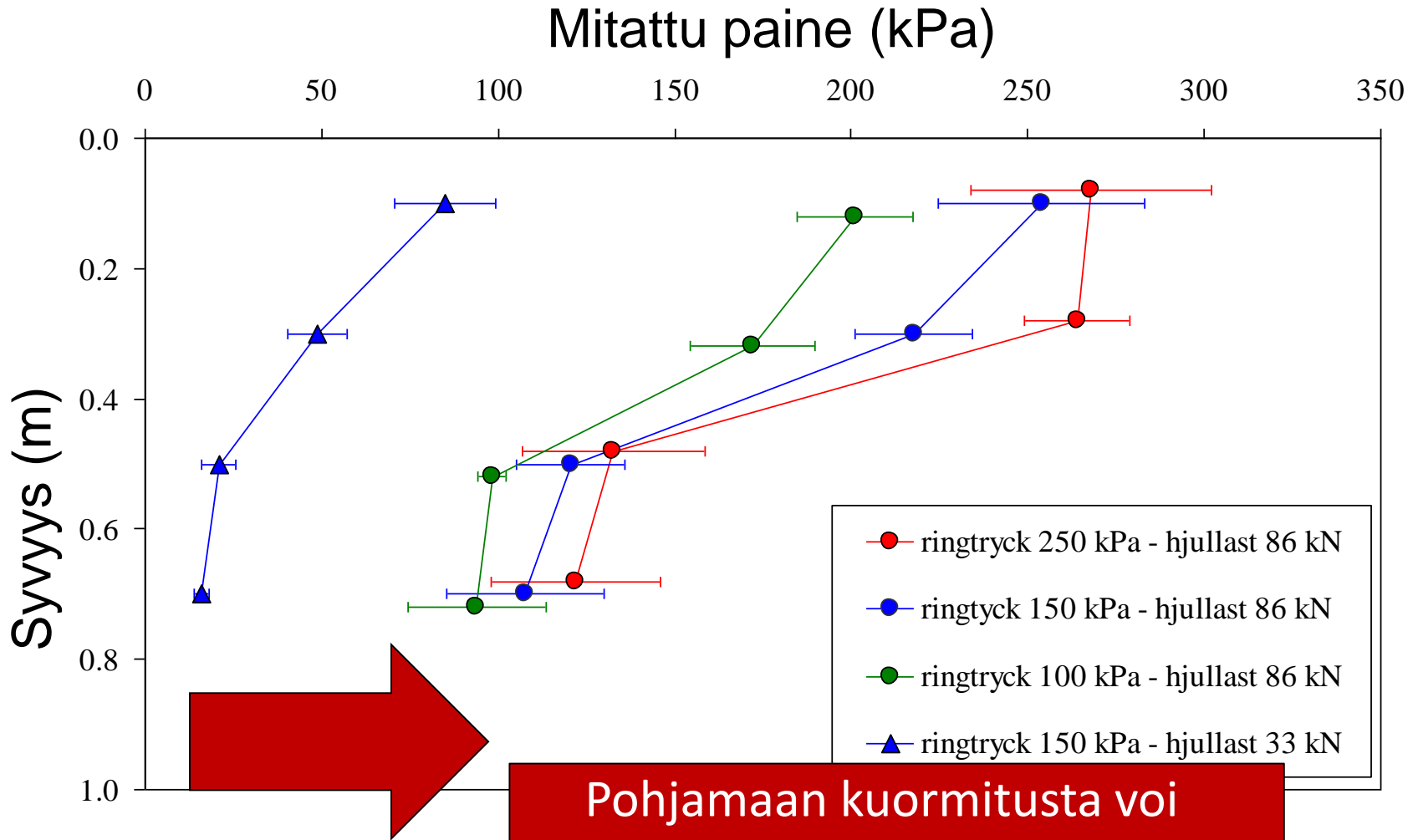
Anturi pystykuormalle ja pystysiirtymälle

Pystykuorma (Load cell)



Pystysiirtymä
 $\Delta h = \Delta p (\rho g)^{-1}$

Mitattu pystysuuntainen kuormitus etu- ja takareenkaan kohdalla



Pohjamaan kuormitusta voi vähentää vain pienentämällä rengaskuormaa

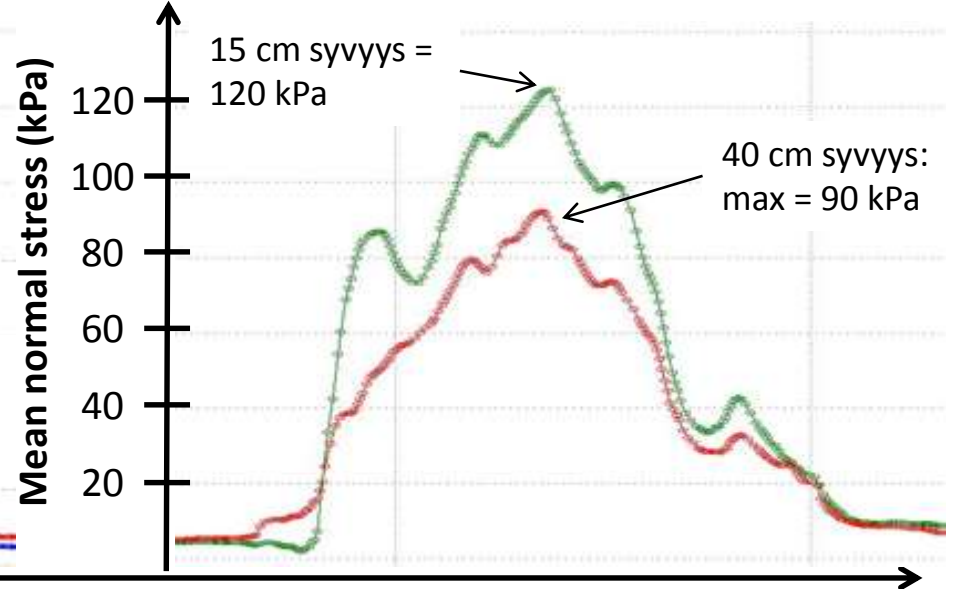
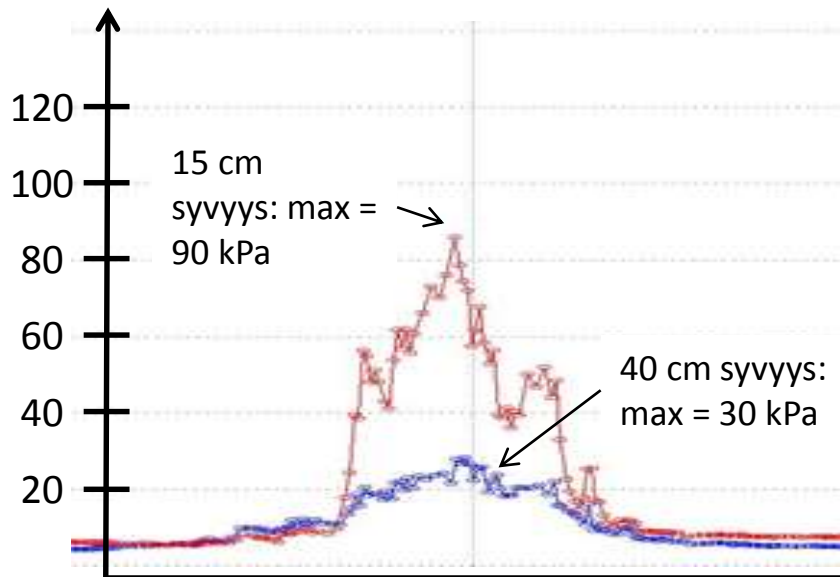
Koneiden painon ja maan kuormituksen kehitys



Vuosi: 1938 / paino: 2800 kg

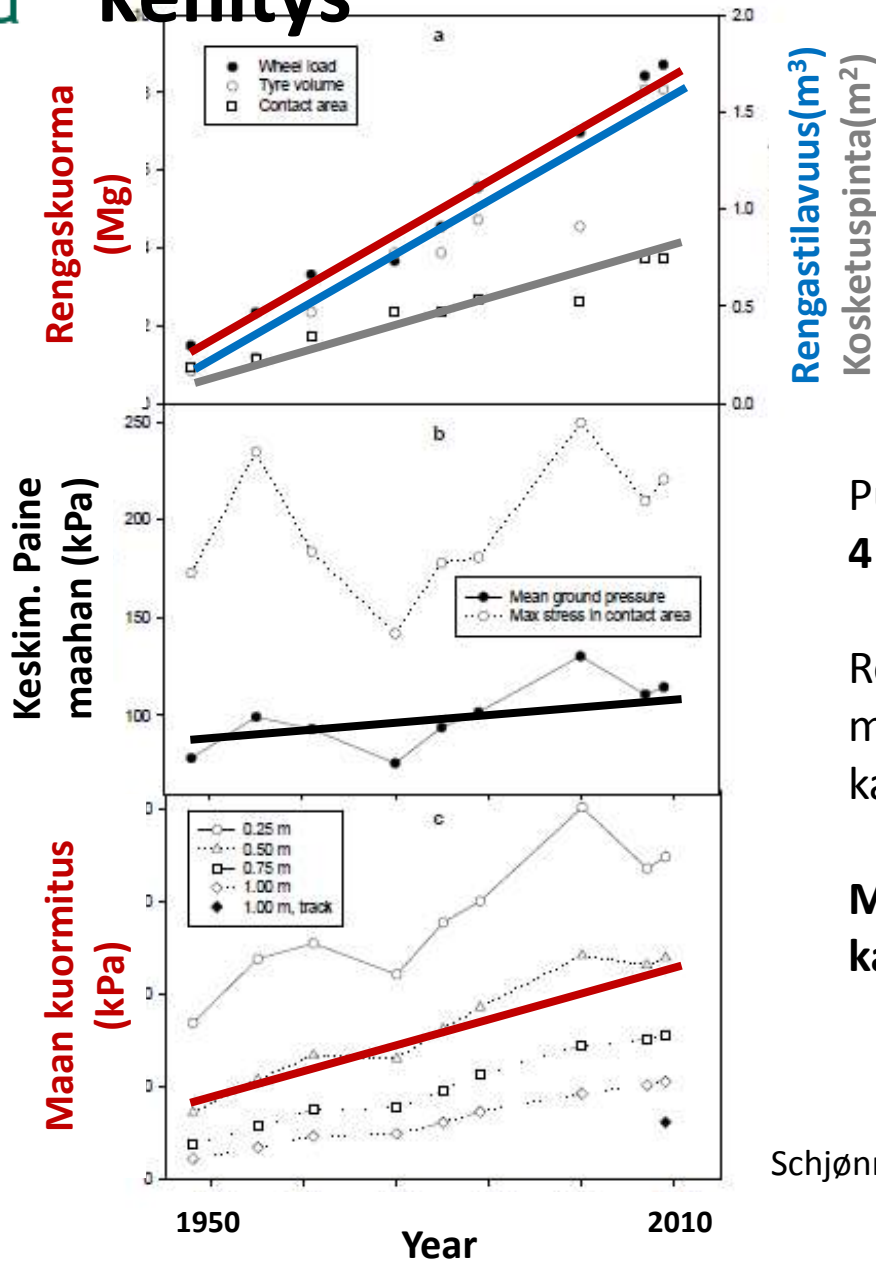


Vuosi: 2014 / paino: 16000 kg



Stettler, Keller & Arvidsson (2014) Julkaisematon.

Koneiden painon ja maan kuormituksen kehitys



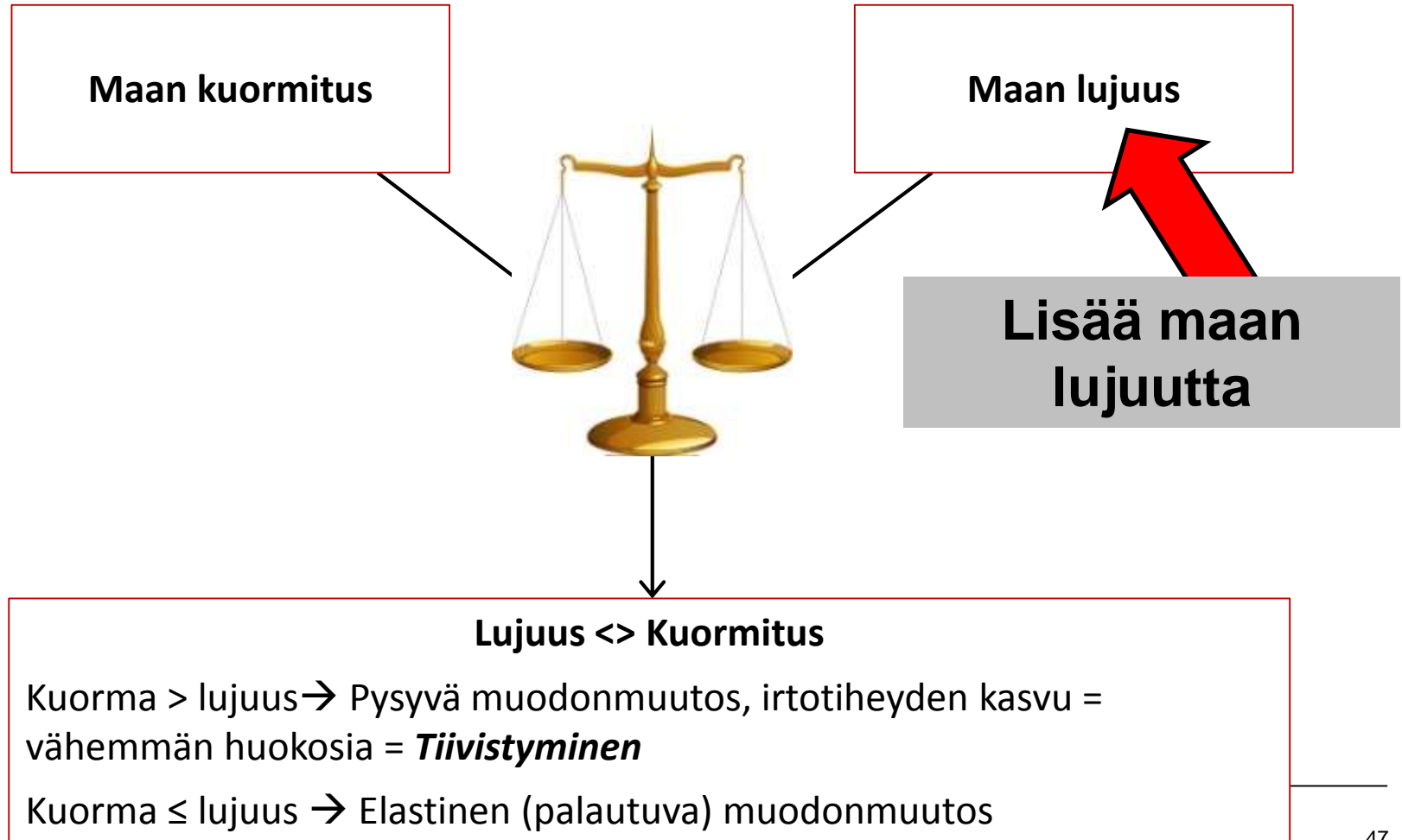
Tiivistelmä:

Puimureilla, **paino per rengas on kasvanut 4 kertaiseksi vuodesta 1950**

Renkaat ovat kehittyneet ja kasvaneet -> maan ja renkaan välinen kuormitus ei ole kasvanut paljoa (jopa vähentynyt)

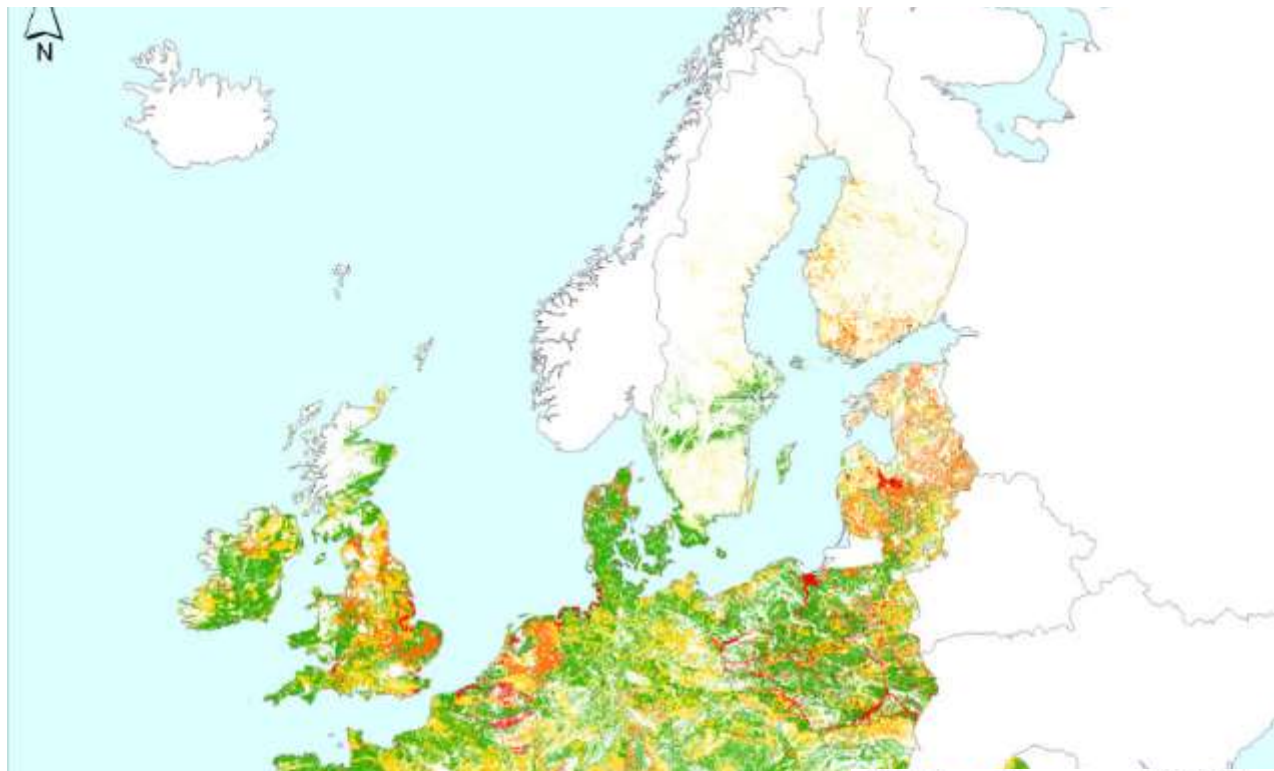
Maan kuormitus etenkin pohjamaassa on kaksinkertaistunut

Kuinka maan tiivistymisriskiä voi vähentää?



Maan tiivistymisalttius (Lähde:

<http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/themes/soil-compaction>)



Natural susceptibility to compaction



This map shows the natural susceptibility of agricultural soils to compaction if they were to be exposed to compaction. The evaluation of the soil's natural susceptibility is based on the creation of logical connections between relevant parameters (pedotransfer rules). The input parameters for these pedotransfer rules are taken from the attributes of the European soil database, e.g. soil properties: type, texture and water regime, depth to textural change and the limitation of the soil for agricultural use. Besides the main parameters auxiliary parameters have been used as impermeable layer, depth of an obstacle to roots, water management system, dominant and secondary land use. It was assumed that every soil, as a porous medium, could be compacted.

MAP INFORMATION

Spatial coverage: 27 Member States of the European Union where data available.

Pixel size: 1km
Projection: ETRS89 Lambert Azimuthal Equal Area

Input data - source
Soil data - European Soil Database v2
Land Use - CORINE Land Cover 2000

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION

Author: Beata Houšková

For more information:

Beata Houšková, European Commission,
Institute of Environment and Sustainability,
Land Management and Natural Hazards Unit,
Ispra, Italy.
Email: beata.houskova@jrc.it

Digital datasets can be downloaded from
<http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/>

Voidaan arvioida erikseen

Luontainen alttius tiivistymiselle maalaji, maannos, *jne.*, ja

Table 1
Texture and particle size grades used by the FAO soil classification system

Code	Class	Particle size grades
1	Coarse	Less than 18% clay and more than 65% sand
2	Medium	Less than 35% clay and more than 15% sand; more than 18% clay if the sand content exceeds 65%
3	Medium fine	Less than 35% clay and less than 15% sand
4	Fine	Between 35 and 60% clay
5	Very fine	More than 60% clay
9	Organic	
0	No texture	

Table 2
Inherent susceptibility to compaction according to texture and PD (susceptibility classes: L, low; M, moderate; H, high; VH, very high.)

Texture code	Texture class	PD (t m^{-3})		
		Low (<1.40)	Medium (1.40–1.75)	High (>1.75)
1	Coarse	VH	H	M ^a
2	Medium	H	M	M
3	Medium fine	M(H)	M	L ^b
4	Fine	M ^c	L ^d	L
5	Very fine	M	L	L
9	Organic	VH	H	

^a Except for naturally compacted or cemented coarse (sandy) materials that have very low (L) susceptibility.

^b These soils are already compact.

^c These packing densities are usually found only in recent alluvial soils with bulk densities of $0.8\text{--}1.0\text{ t m}^{-3}$ or in topsoils with >5% organic carbon.

^d Fluvisols in these categories have moderate susceptibility.

Tulokset ja taulukot:

Jones *et al.* (2003) *Soil Tillage Res.* 73, 131-143

Todellinen alttius tiivistymiselle (luontainen alttius ja maan kosteustilanne).

Table 3
Vulnerability to compaction according to soil susceptibility and climate^a

Class	Climate zone (subsoil, moisture state)	Perhumid (usually wet, always moist)	Humid		Sub-humid (seasonally moist and dry)	Dry (mostly dry)
			A (often wet, usually moist, rarely dry)	B (usually moist, seasonally dry)		
Soil	PSMD ^b (mm)	≤50	51–125	126–200	201–300	>300
Susceptibility	FC ^c (days)	>250	150–250	100–149	<100	≤40
VH		E ^d (E) ^e	E (E)	V (E)	V (V)	M
H		V (E)	V (E)	M (V)	M (M)	N
M		V (E)	M (V)	N (M)	N (N)	N
L		M (V)	N (M)	N (N)	N (N)	N

^a Classes of vulnerability to compaction: N, not particularly vulnerable; M, moderately vulnerable; V, very vulnerable, E, extremely vulnerable moisture states are defined in Hodgson (1997, pp. 35–37) as: wet, <1 kPa; moist, 1–1500 kPa; dry, >1500 kPa.

^b Potential soil moisture deficit (Jones and Thomasson, 1985).


^c Duration of field capacity, measured in days (Jones, 1985; Jones and Thomasson, 1985).

^d Classes outside brackets refer to situations with firm topsoil conditions.

^e Classes within brackets refer to situations with loose/weak topsoil conditions.

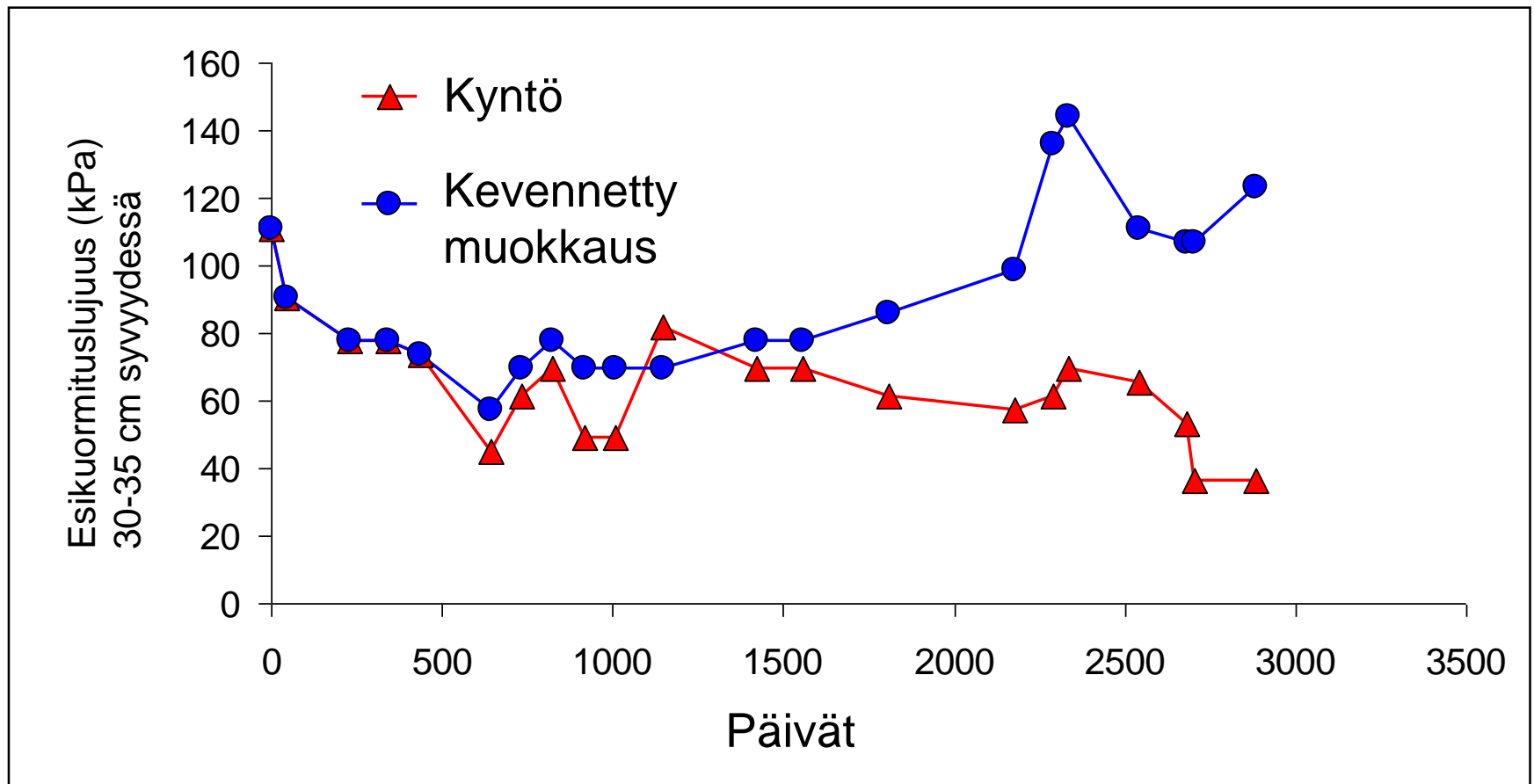
Tiivistymisriski yhdistää todellisen alttiuden ja maatalouskoneiden aiheuttaman kuormituksen

Table 6
Climate, land management, cropping and loading trends

Climate zone	Land use description	Machinery loads timeliness, soil moisture	Response
Perhumid: PSMD, <50 mm; FC, >250 days	Mainly extensive grazing, forestry, amenity	Rarely heavy traffic (except for forest harvesting), mainly high moisture contents	
Humid A: PSMD, 51–125 mm; FC, 150–250 days	Mostly intensive grazing, some rotational arable farming, forestry	Forage harvesting, winter feed transport, disposal of animal wastes from indoor feeding, often high moisture contents	
Humid B: PSMD, 126–200 mm; FC, 100–149 days	Often continuous arable monocultures, some rotational grass, permanent grass on small farms, intensive arable systems	Much heavy machinery for tillage and harvesting, most landwork during spring and autumn when moisture contents are high, moderate moisture deficits allow regeneration and corrective loosening	
Sub-humid: PSMD, 201–300 mm; FC, <100 days	Mainly intensive arable farming in northern Europe with root crops, vegetables and irrigation on larger farms	Much heavy machinery for tillage, harvesting and crop protection. Landwork may be continuous throughout the year, strong moisture deficits	
Dry: PSMD, >300 mm; FC, ≤40 days	Viticulture and horticulture with extensive irrigation in Mediterranean zone	Compaction linked to erosion under intensive rain in the Mediterranean zone. Compared to the rest of Europe these areas are dry	

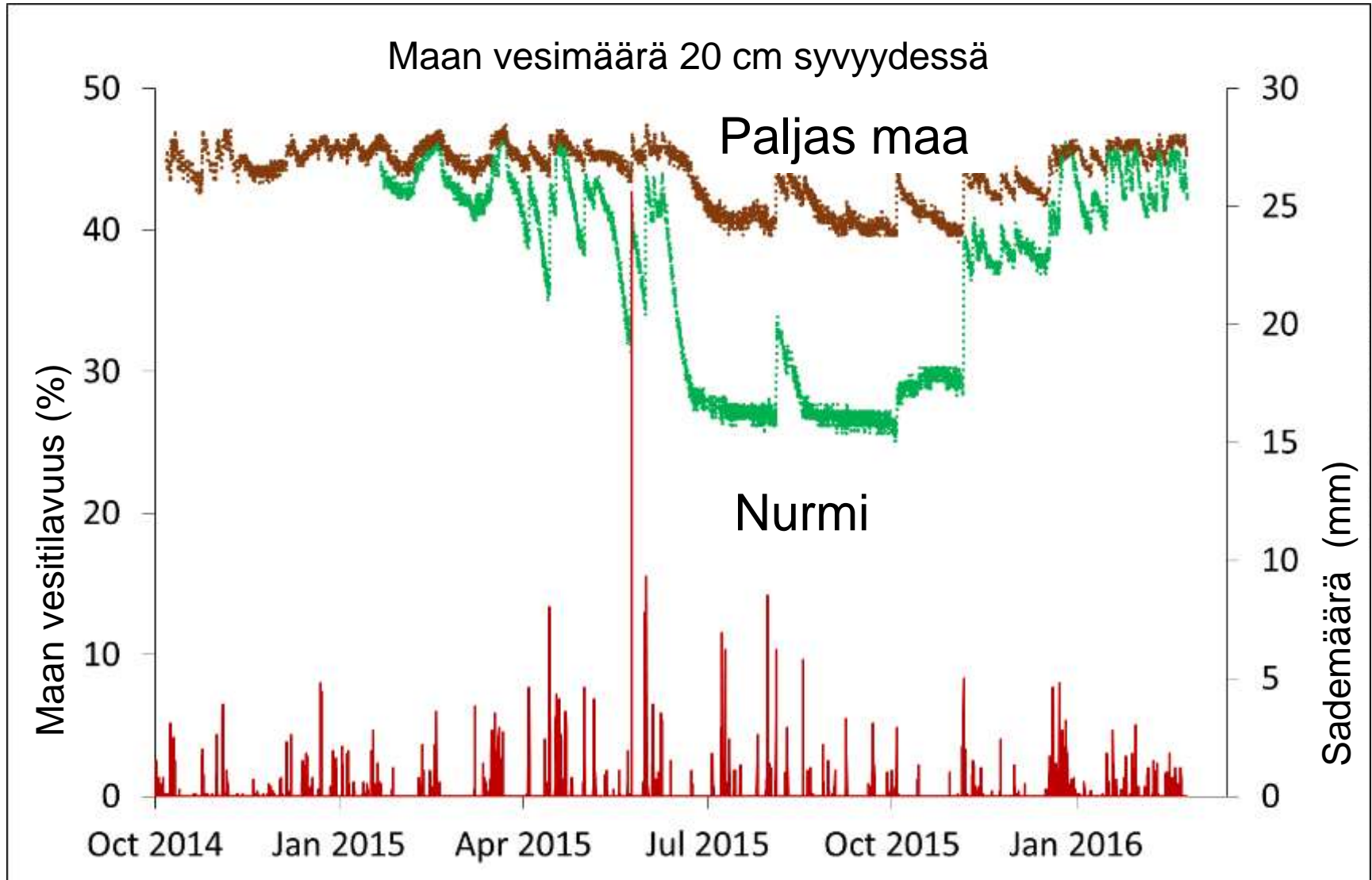
Kuinka voidaan lisätä maan lujuutta?

Pitkällä aikavälillä (vuosia tai vuosikymmeniä): kehitä maan rakennetta– multavuus, juuret , ...

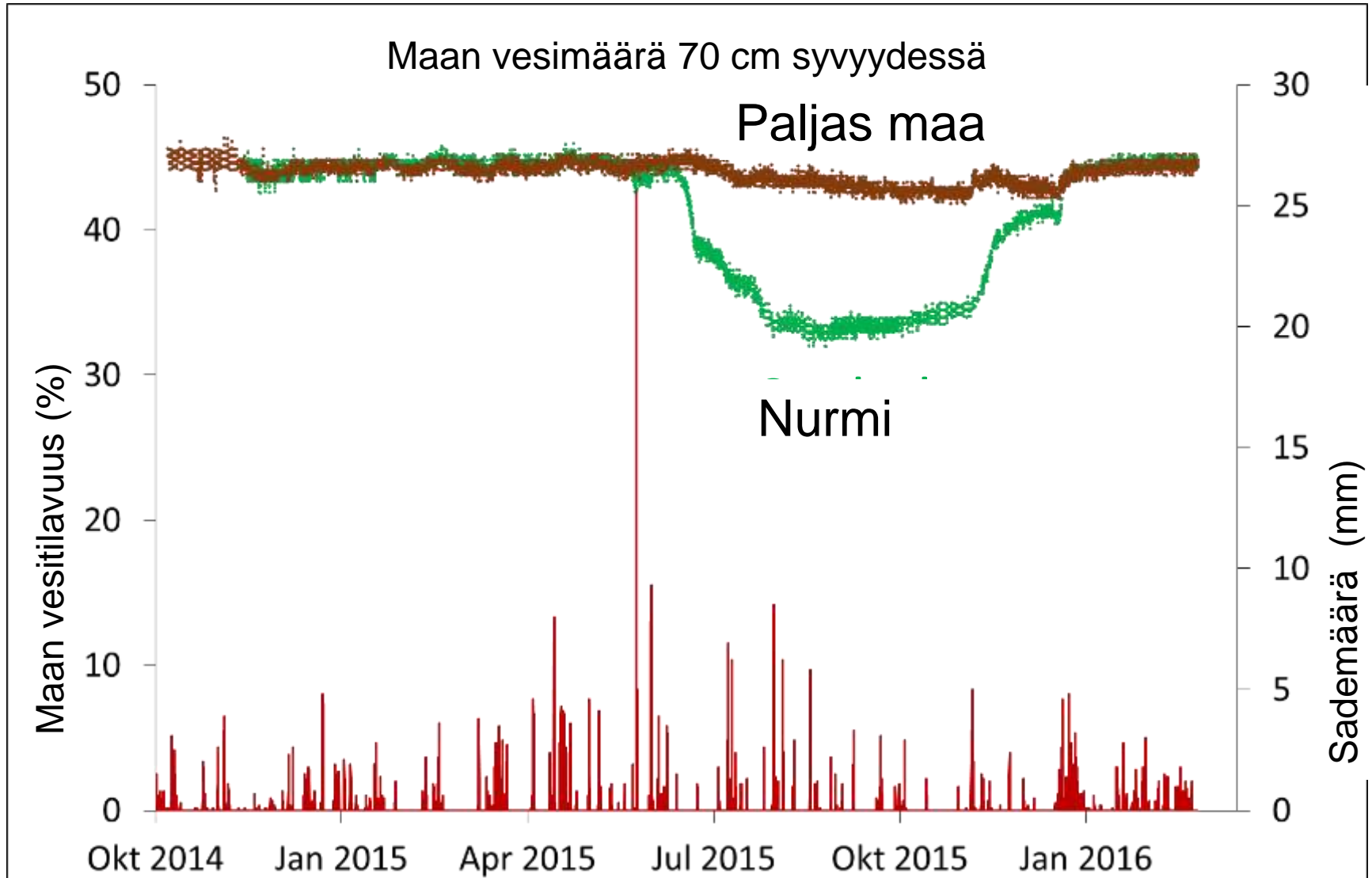


Ainoa tapa pitää maa kuivana on kasvattaa kasveja

(Esimerkki: hiuemaa (loam) Zürich, Sveitsi)



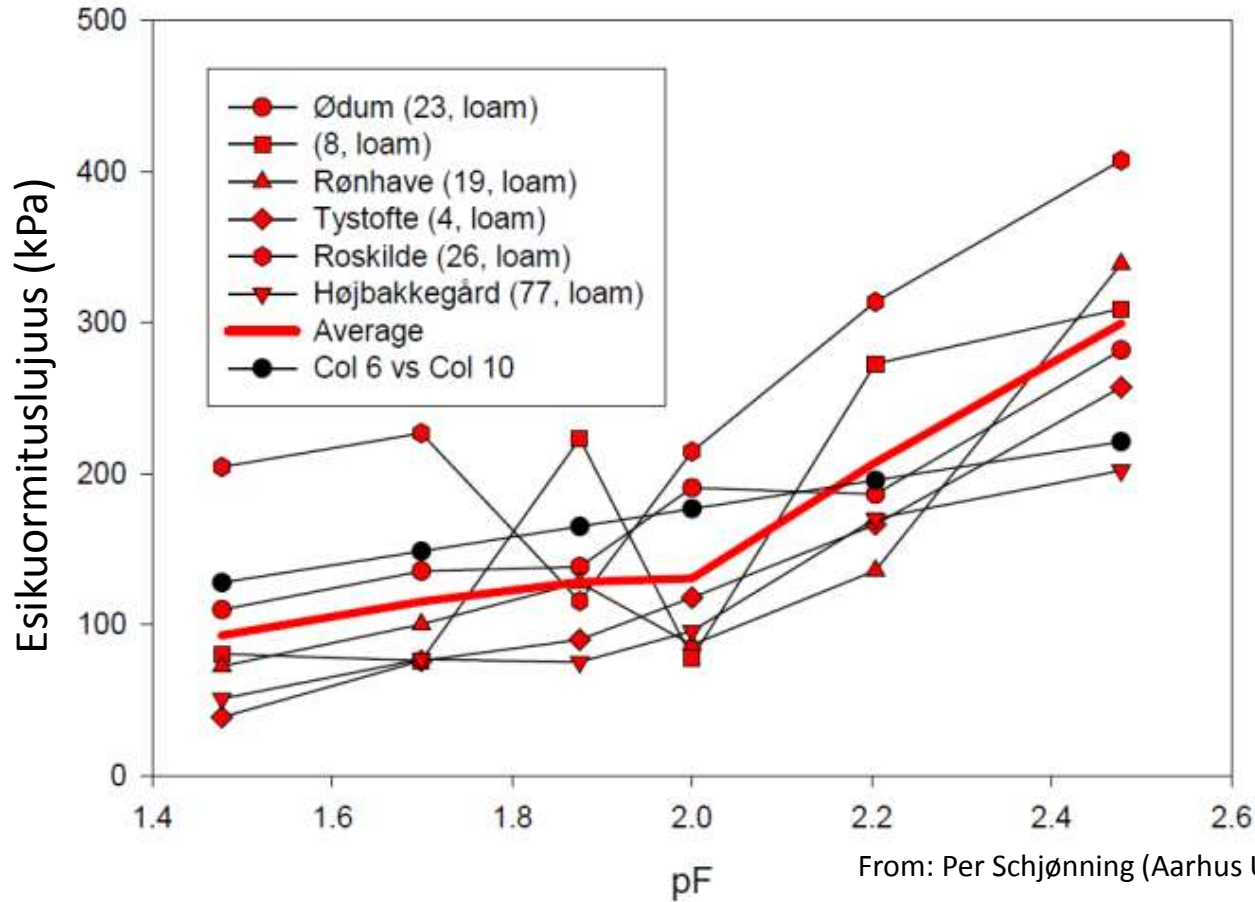
Ainoa tapa pitää maa kuivana on kasvattaa kasveja (Esimerkki: hieumaa (loam) Zürich, Sveitsi)



Maan lujuus riippuu kosteudesta (esim. Hiuemaat (*loam*))

30-35 cm depth

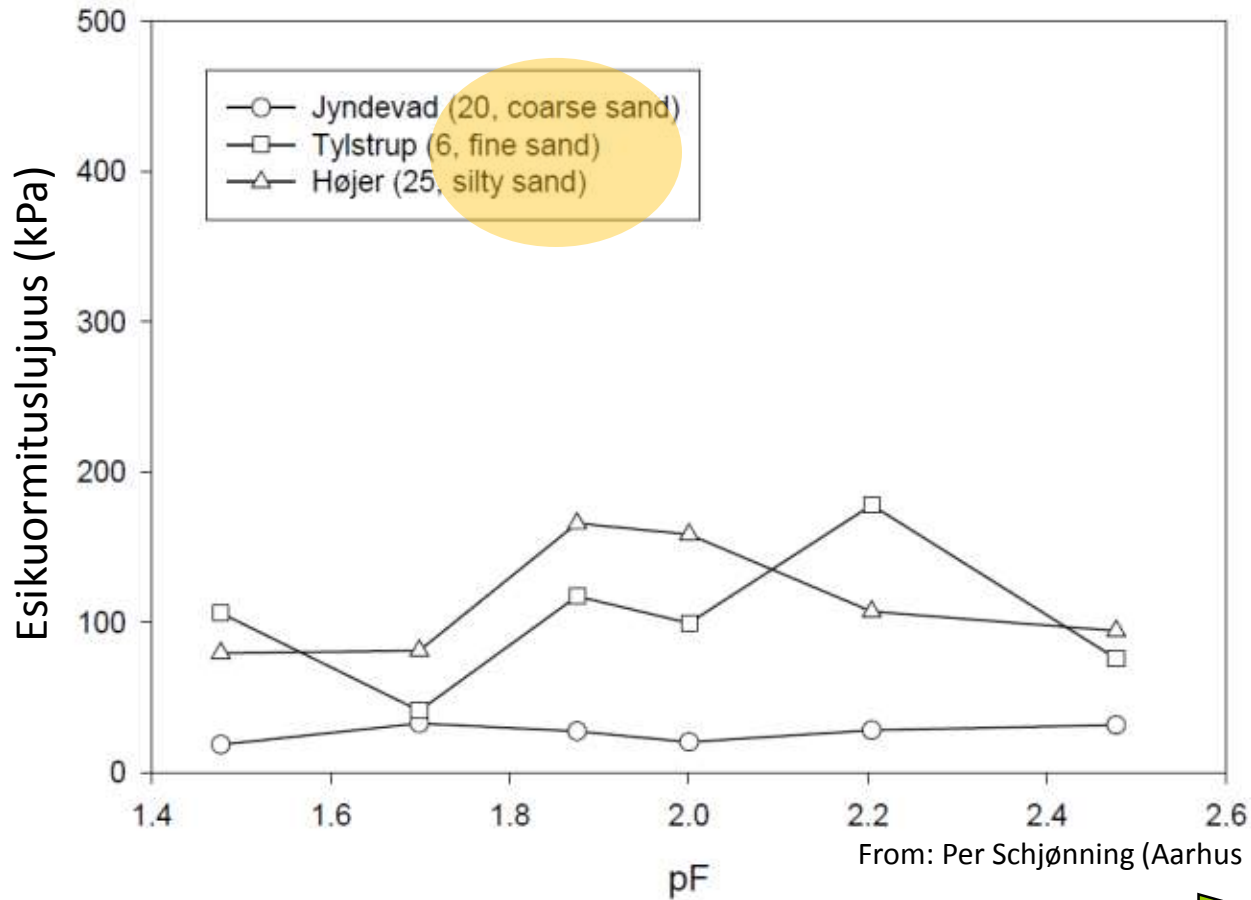
Maan lujuus kasvaa



Kuivempaa

Maan lujuus riippuu kosteudesta: hietamaat

30-35 cm depth

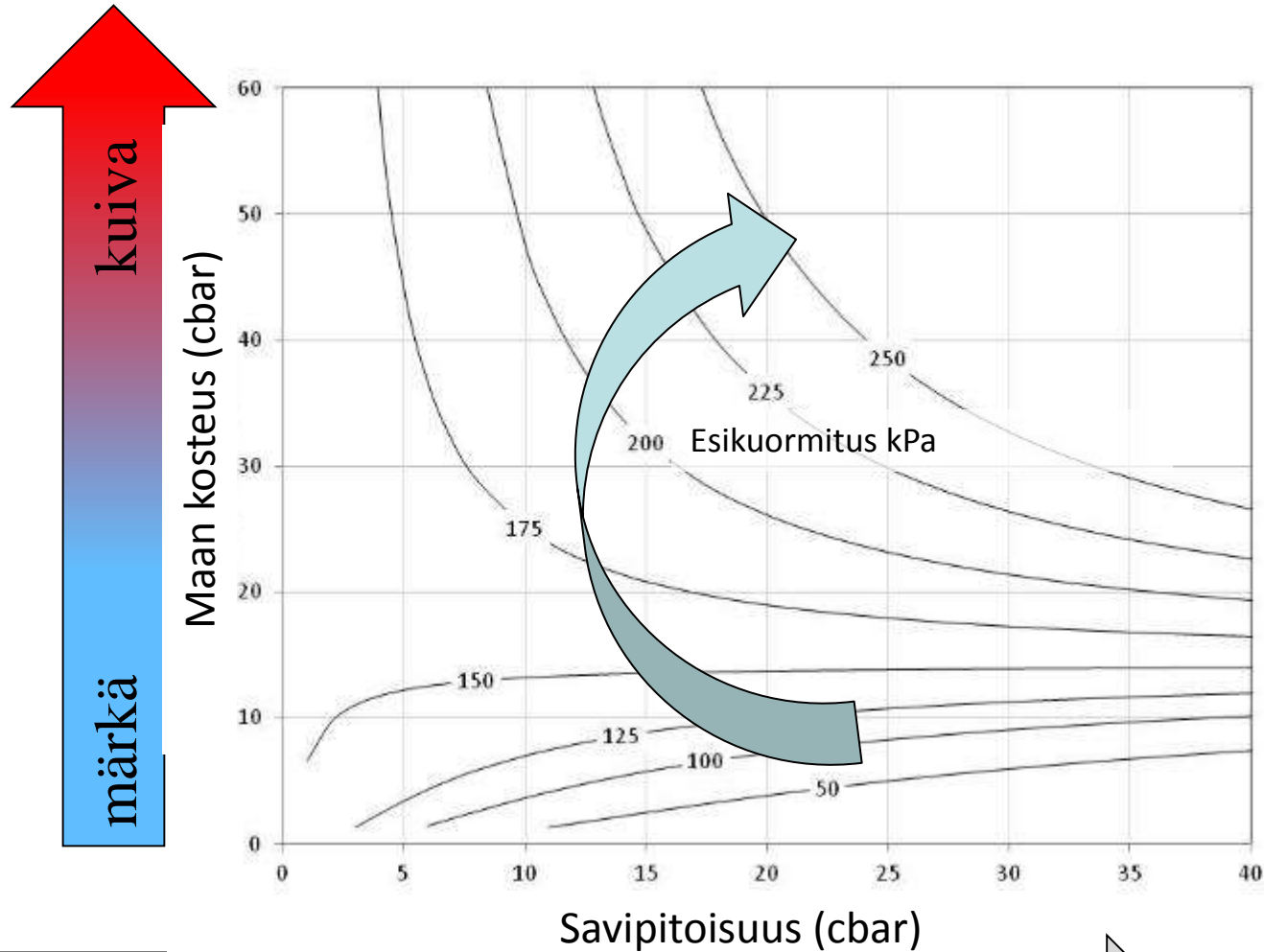


From: Per Schjønning (Aarhus University, Denmark)

Maan lujuus kasvaa

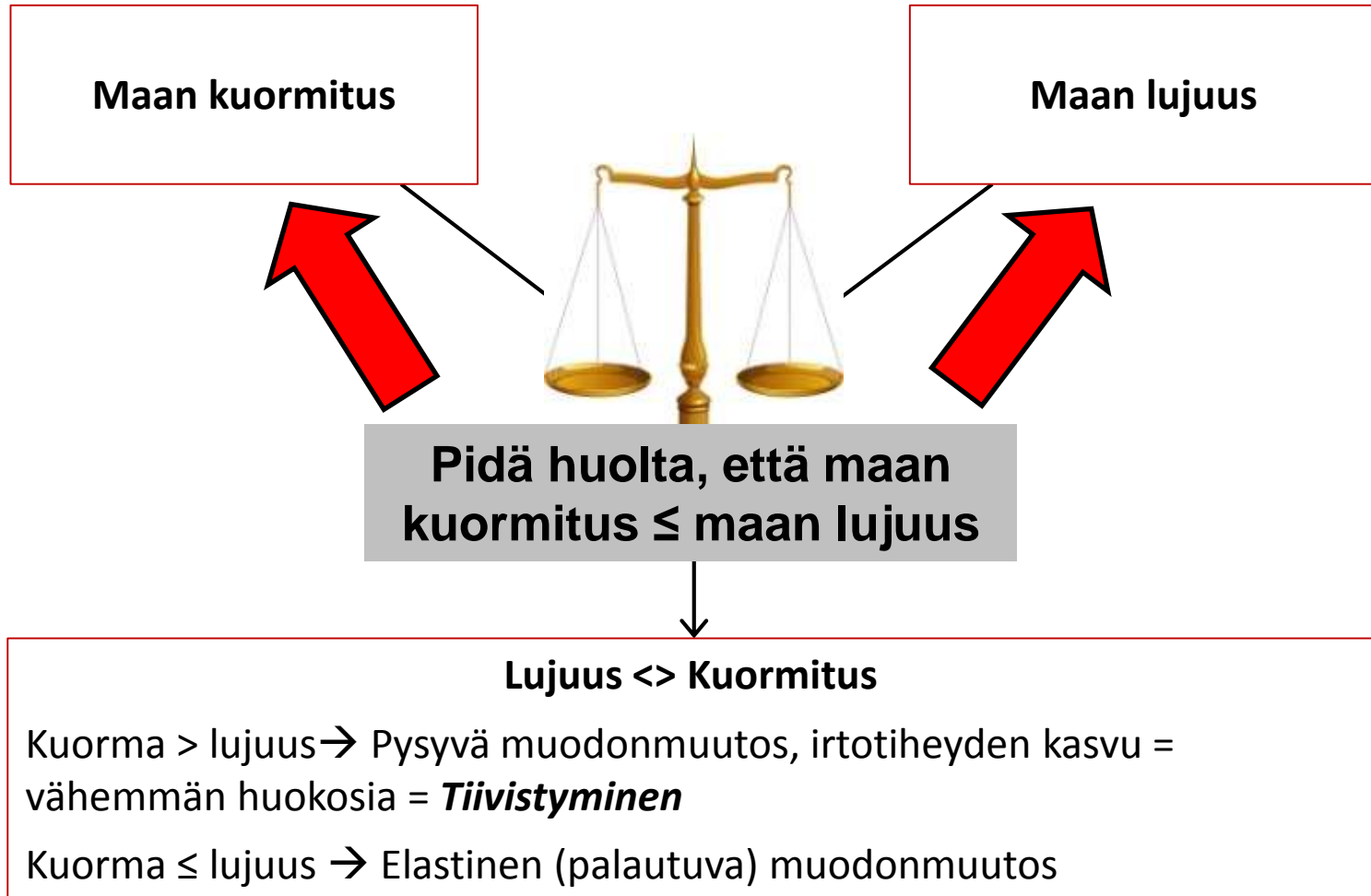
Kuivempaa

Maan lujuus riippuu kosteudesta ja savipitoisuudesta



From: Per Schjønning (Aarhus University, Denmark)

Kuinka voidaan vähentää maan tiivistymistä?



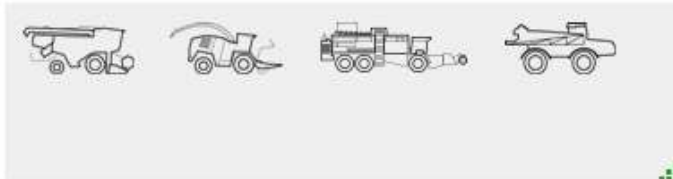
→ Machine → Soil → See results

1. Select machine ?

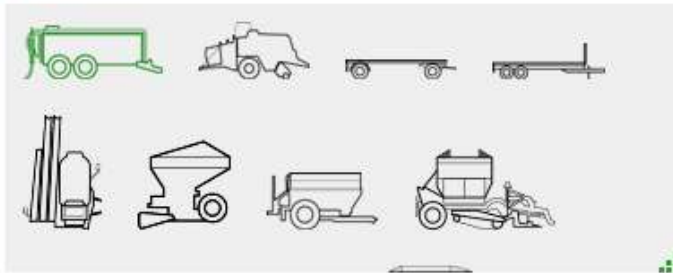
Tractor



Self-propelled

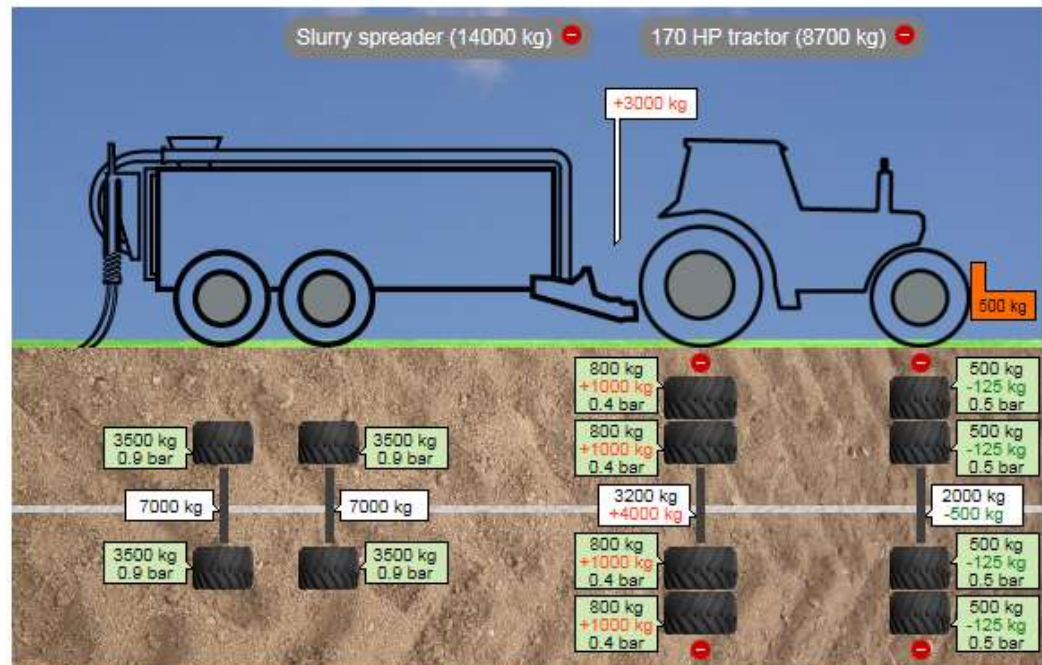


Trailer



Calculation of load transmission

Click on the tyre symbol to change tyre, wheel load and tyre inflation pressure



With load transmission

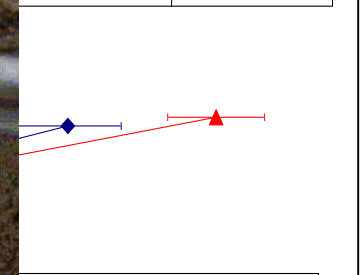
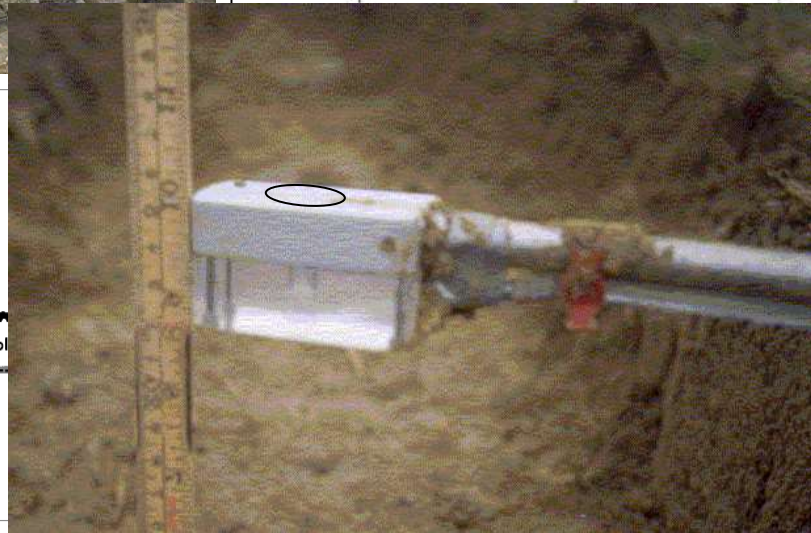
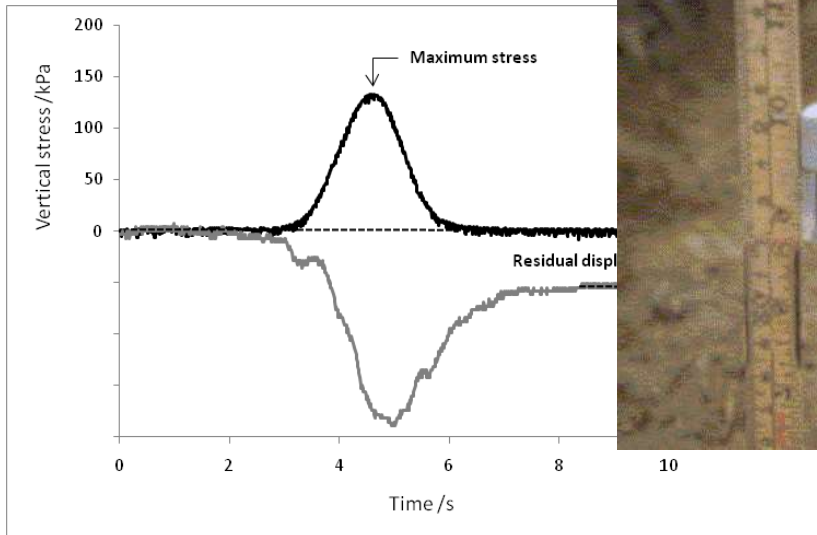
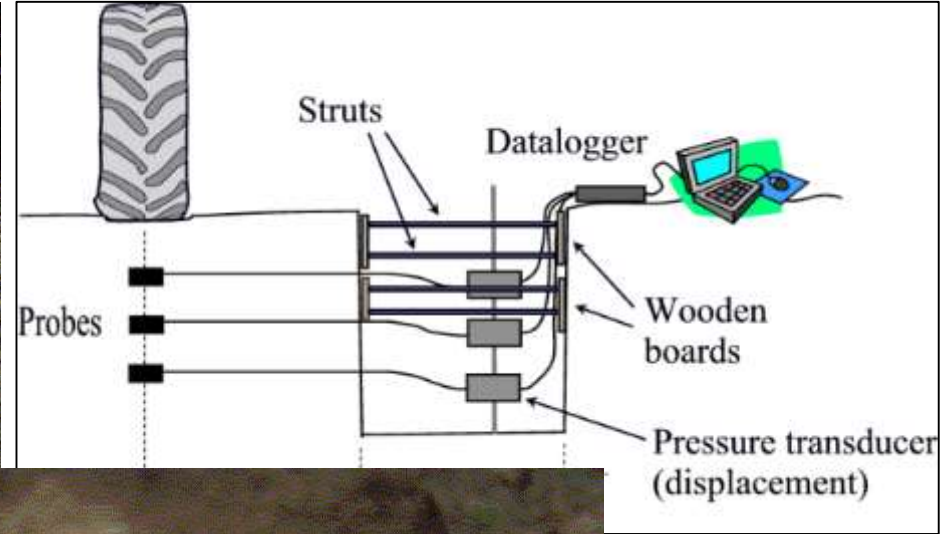
800 kg Wheel load (empty)
+1000 kg Additional load
0.4 bar Tyre inflation pressure

Without load transmission

800 kg Wheel load
0.4 bar Tyre inflation pressure

■ Tyre inflation pressure OK
■ Tyre inflation pressure to low
■ Tyre inflation pressure to high

Pystykuorman ja siirtymän mittaus maassa



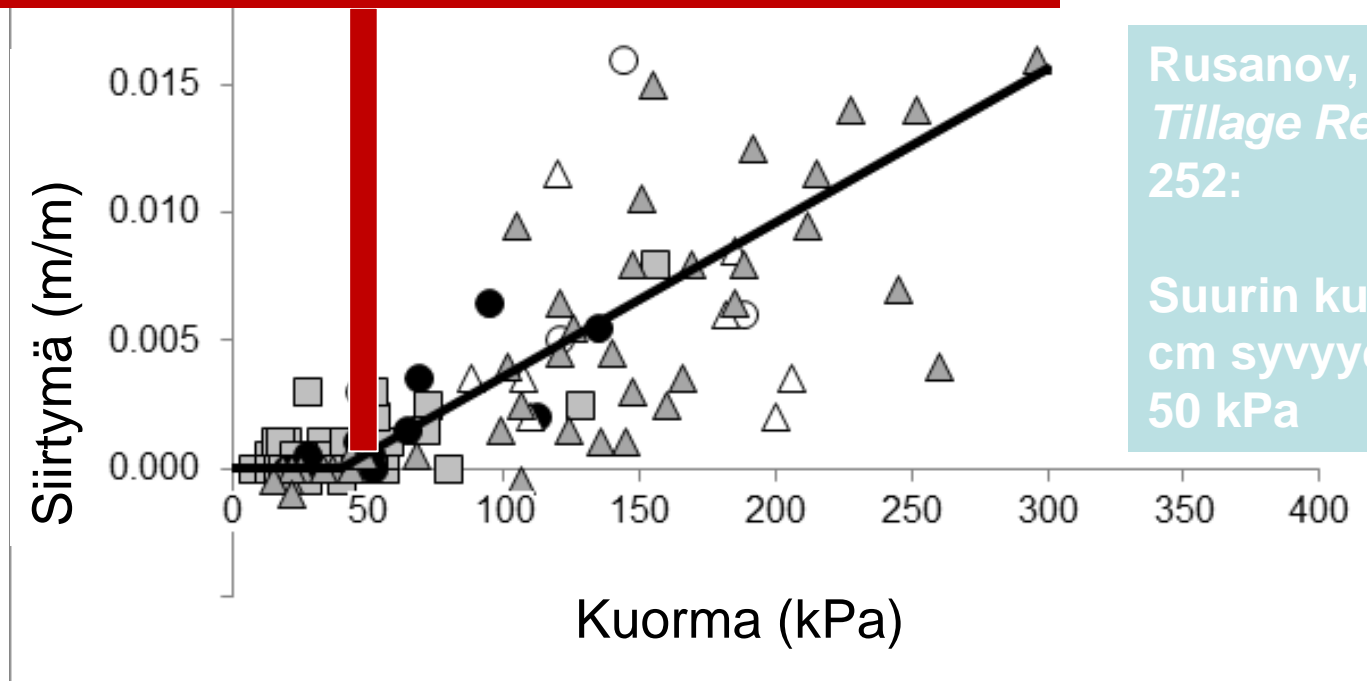
- Tyre inflation pressure 250 kPa
- ◆ Tyre inflation pressure 150 kPa
- Tyre inflation pressure 100 kPa

Method: Arvidsson & Andersson, 1997. Proc 14th Conf. ISTRO, Puławy PL.

Paljonko kuormitusta maa sietää?

Ei pysyvää muodonmuutosta, jos paine < 50 kPa
(maan kosteus kenttäkapasiteetissä)

“50-50 sääntö”: ei yli 50 kPa 50 cm syvyydessä
(Schjønning *et al.* 2012. *Soil Use Management* 28(3), 378-393.)



Keller *et al.* 2012. In situ subsoil stress-strain behavior in relation to soil precompression stress, *Soil Science*, 177.

Maan tiivistyminen heikentää useita maan toiminnallisia ominaisuuksia, kuten kasvien kasvua.

Pohjamaan vahingot kestävät pitkään (vuosikymmeniä!)

Maa vahingoittuu sekunneissa, mutta palautumisessa menee vuosikymmeniä

Haluamme ehkäistä tiivistymistä: kuorma < maan lujuus

Kullakin maalla lujuus riippuu kosteudesta (nopea muutos). Hyvän rakenteen aikaansaaminen vie kauan (vuosia tai vuosikymmeniä).

Pohjamaan tiivistyminen alentaa satoa vain vähänlaisesti, mutta vaikutukset ovat pysyviä! 5% sadonmenetyks (mikä voi olla aliarvio) pohjamaan tiivistymän vuoksi vastaa :

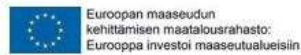
- Täyskatovuosi kerran 20 vuodessa
- 5 ha tuottamatonta alaa 100 ha tilalla
- 20 milj. € vuotuinen tappio viljanviljelyssä Suomessa

Rahoittajat:

- ❖ Swedish Research Council for Environment, Agricultural Sciences & Spatial Planning (Formas)
- ❖ Swedish Farmers Foundation for Agricultural Research (SLF)
- ❖ Royal Swedish Academy of Agriculture and Forestry (KSLA)
- ❖ Swiss National Science Foundation (SNSF) through the National Research Program 68 “Soil Resources” (project no 406840-143061)
- ❖ Swiss Federal Office for Agriculture (FOAG)
- ❖ Swiss Federal Office for the Environment (FOEN)



- Tämän materiaalin tuotti OSMO-hanke
- <http://www.maan-kasvukunto.fi>



Viljavuuspalvelu



Rikalan Säätiö



LUONNONMUKAISEN TUOTANNON EDISTÄMISSÄÄTIÖ