



Tiivistymisriskin arviointi ja kuinka välttää maan tiivistyminen

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 rakenteen suojeleminen – perusideoita

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?

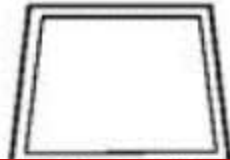
a) Vältä kaikkia muutoksia maan rakenteessa (varovaisuusperiaate)

→ ei minkäänlaista muodonmuutosta

b) noudata kynnsarvoja

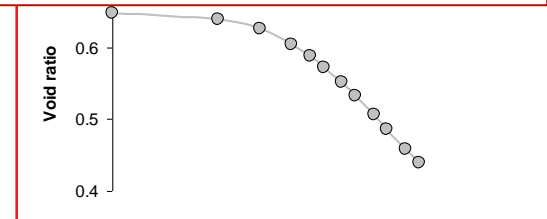
→ ei muodonmuutosta joka ylittäisi rakenteelle määritetyt reunaehdot

Maan tiivistyminen: yksinkertainen malli



Tiivistymisriski on korkea, kun :
Kuormitus on korkea ja/tai
maan lujuus on alhainen

suhde)



Lujuus <> Kuormitus

Kuormitus > lujuus → pysyvä muodonmuutos, irtotiheyden kasvu = huokostilavuuden väheneminen = **Tiivistyminen**

Kuormitus ≤ Lujuus → Elastista, palautuvaa muodonmuutosta

Kuinka tiivistymistä voidaan vähentää?

Maan kuormitus

Maan lujuus



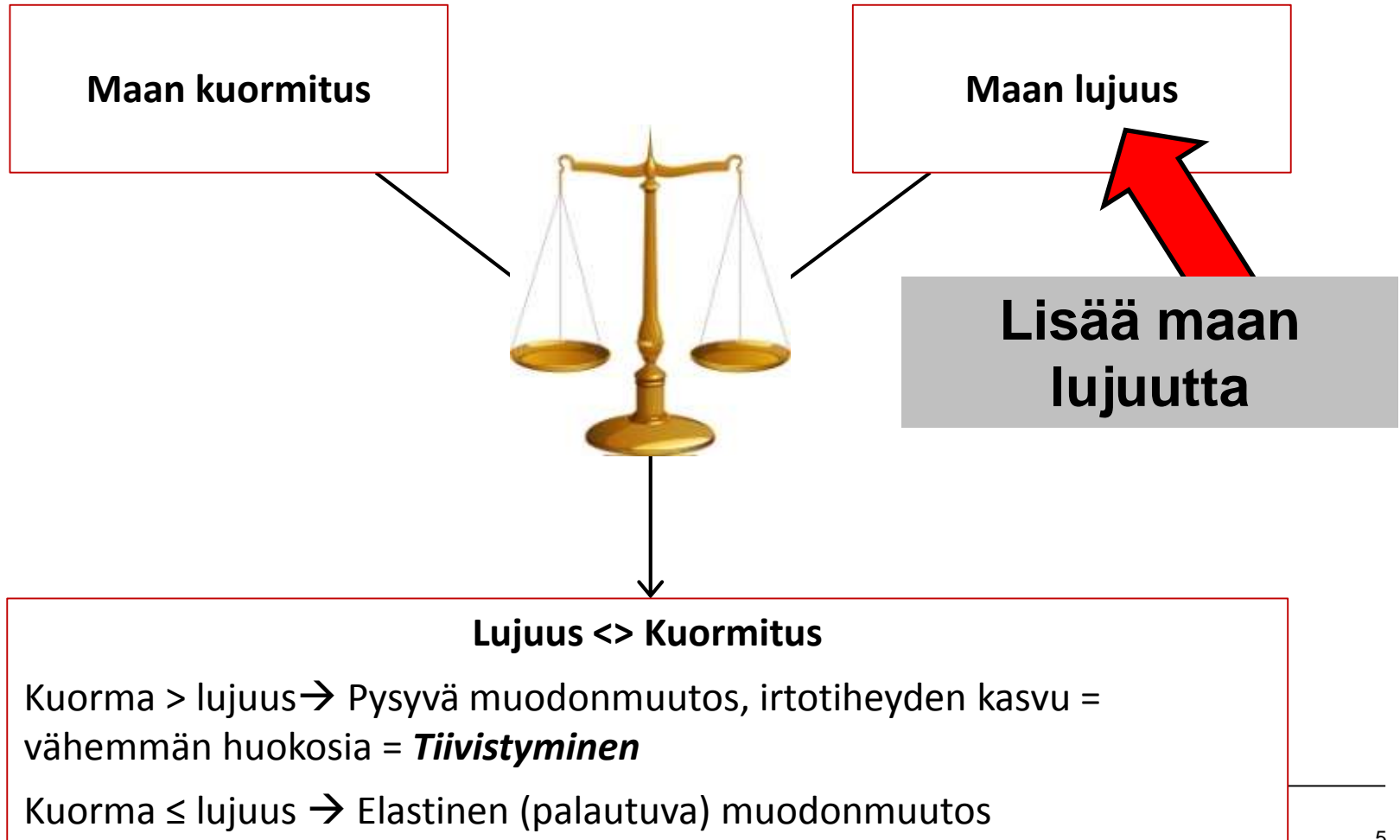
Vähennä
kuormitusta

Lujuus <> Kuormitus

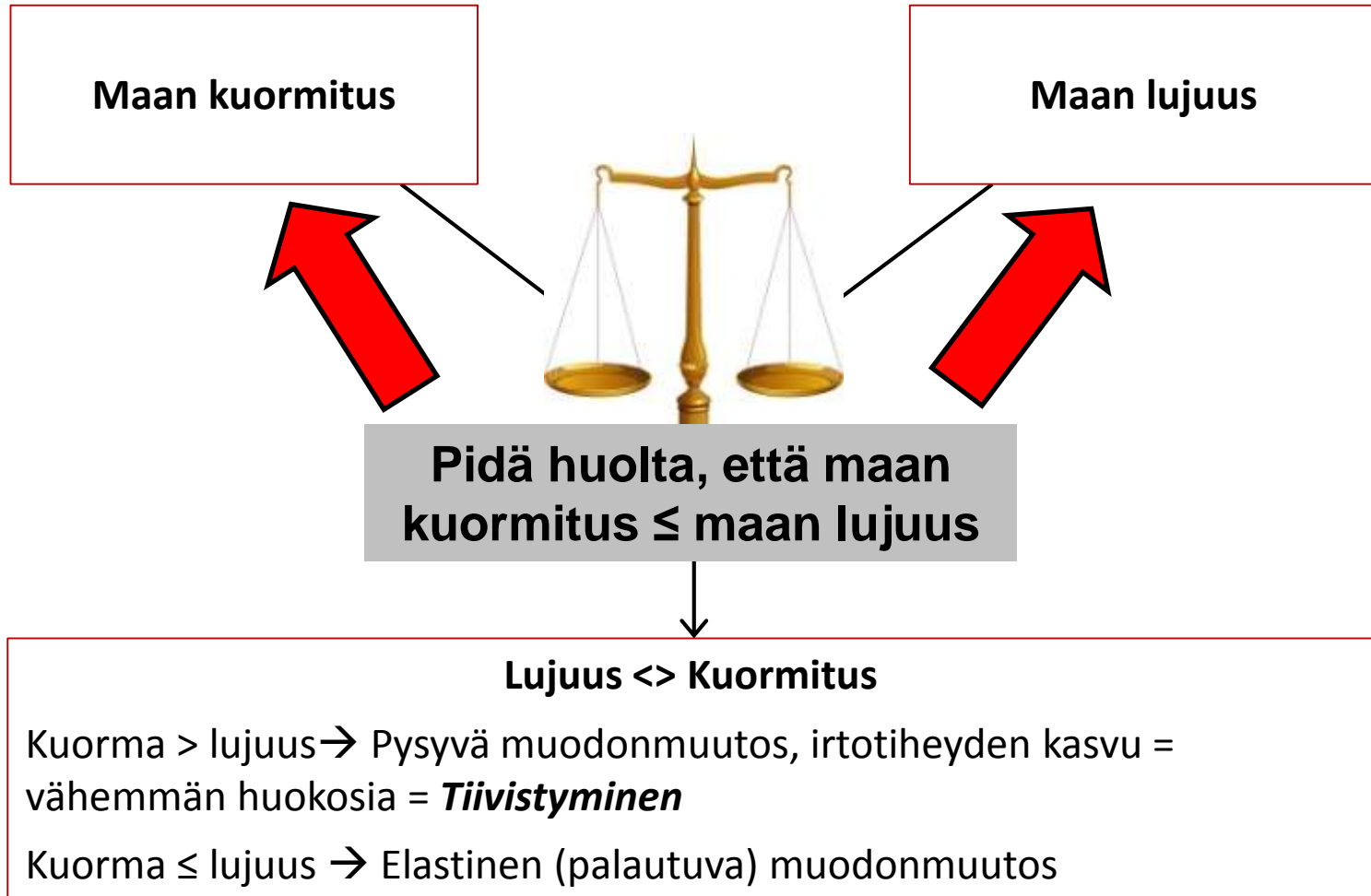
Kuorma > lujuus → Pysyvä muodonmuutos, irtotiheyden kasvu = vähemmän huokosia = **Tiivistyminen**

Kuorma ≤ lujuus → Elastinen (palautuva) muodonmuutos

Kuinka maan tiivistymisriskiä voi vähentää?



Kuinka voidaan vähentää maan tiivistymistä?



Kuinka tiivistymistä voidaan vähentää?

Maan kuormitus

Maan lujuus



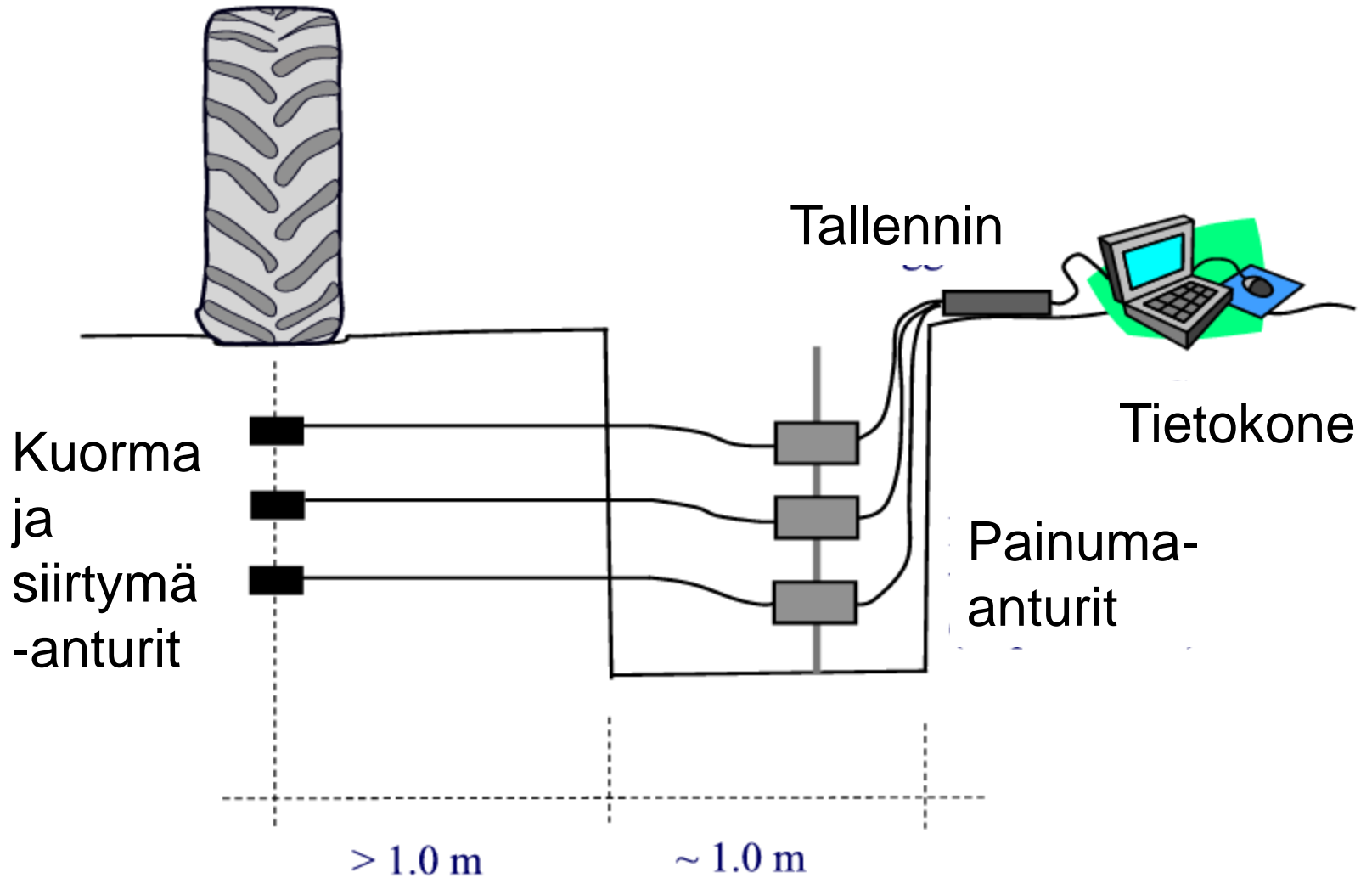
Vähennä
kuormitusta

Lujuus <> Kuormitus

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

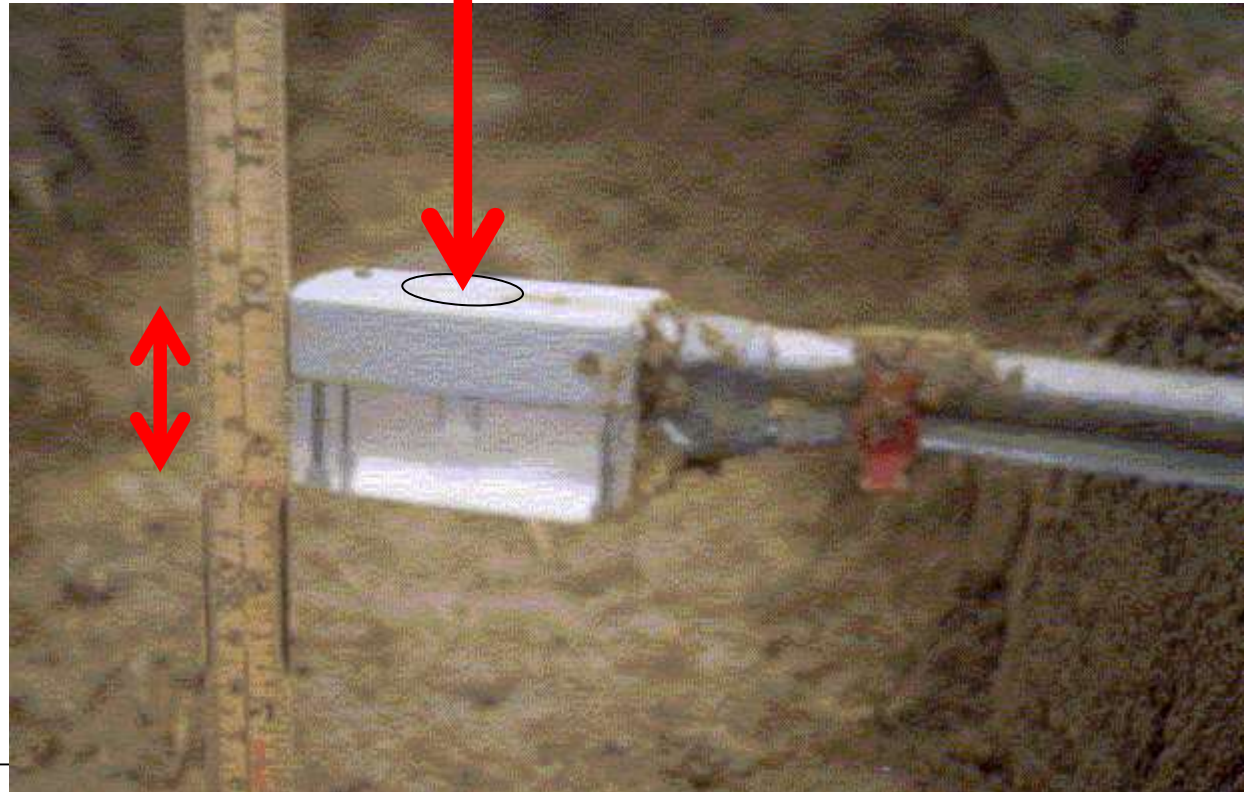
Kuorma ≤ lujuus → Elastinen (palautuva) muodonmuutos

Koeasetelma



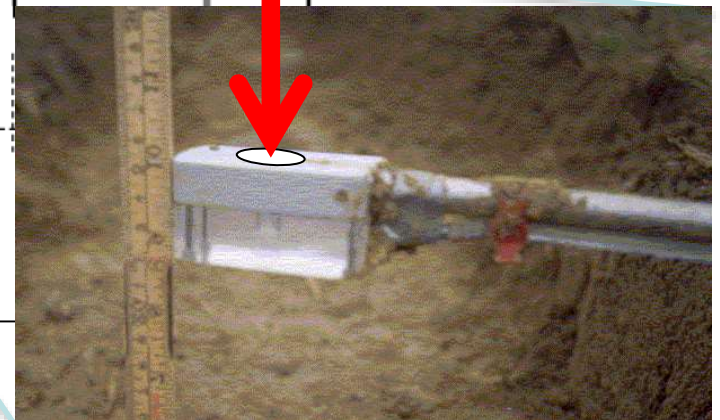
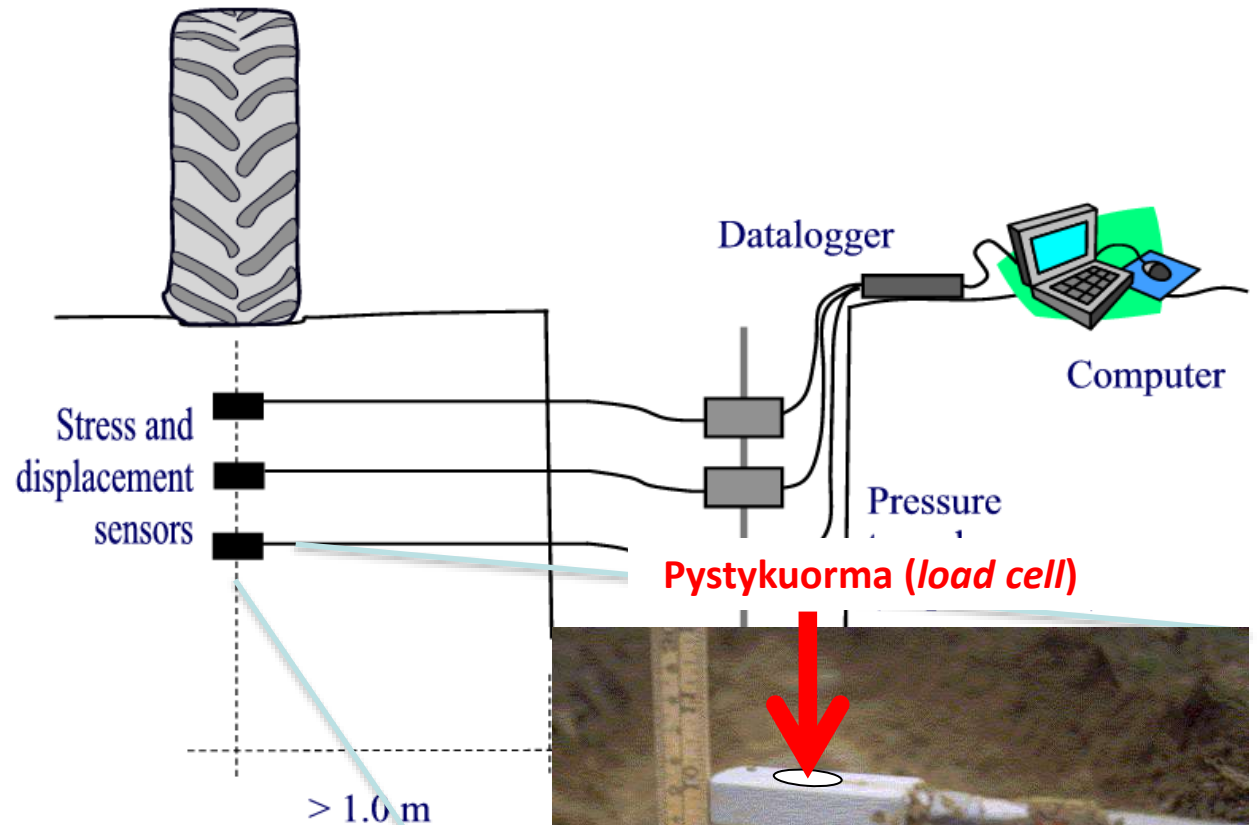
Anturi pystykuormalle ja pystysiirtymälle

Pystykuorma (Load cell)



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

Maan kuormituksen mittaus



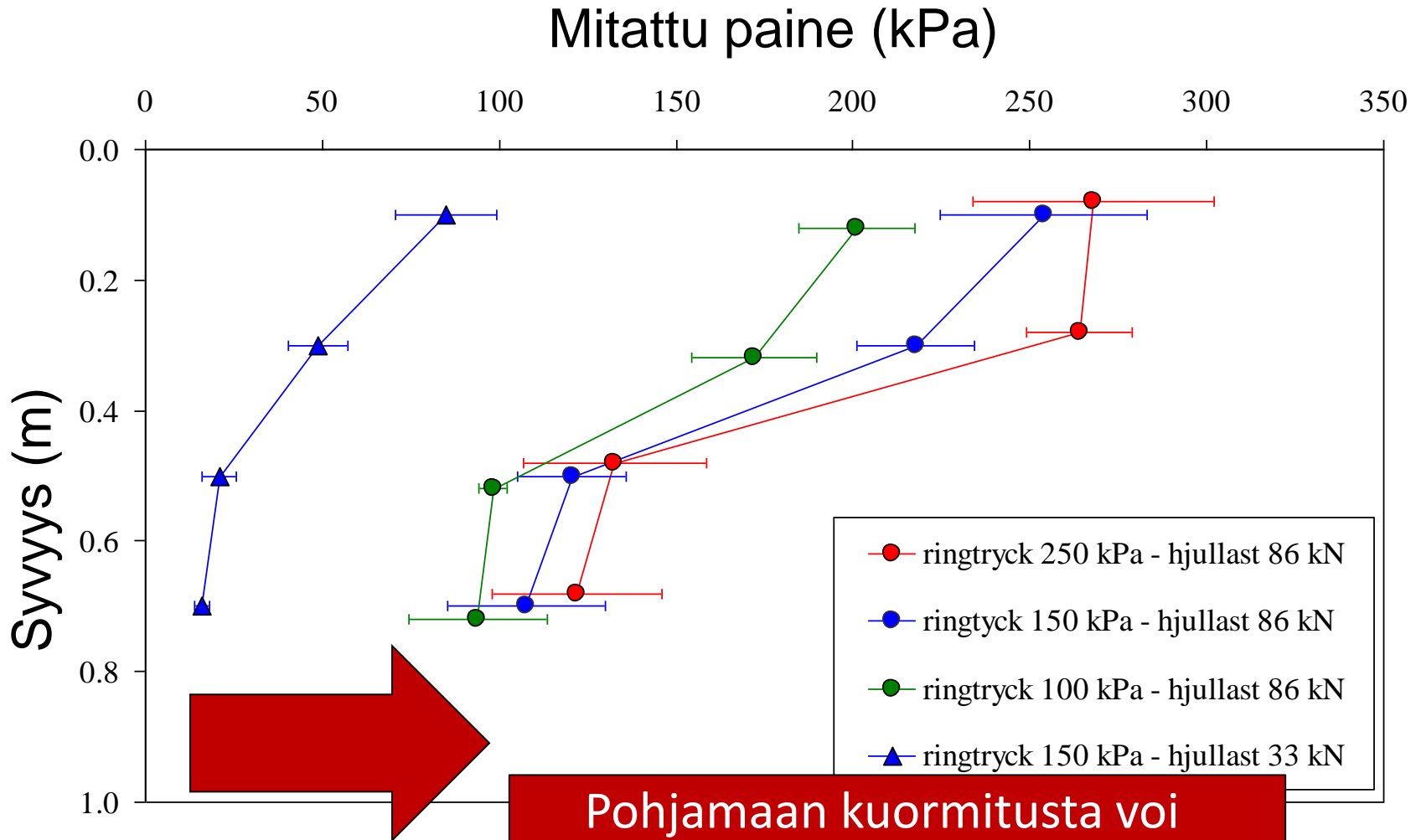
Rengaskuorman ja renkaan ilmanpaineen vaikutus kuormitukseen

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



Mitattu pystysuuntainen kuormitus etu- ja takarenkaan kohdalla



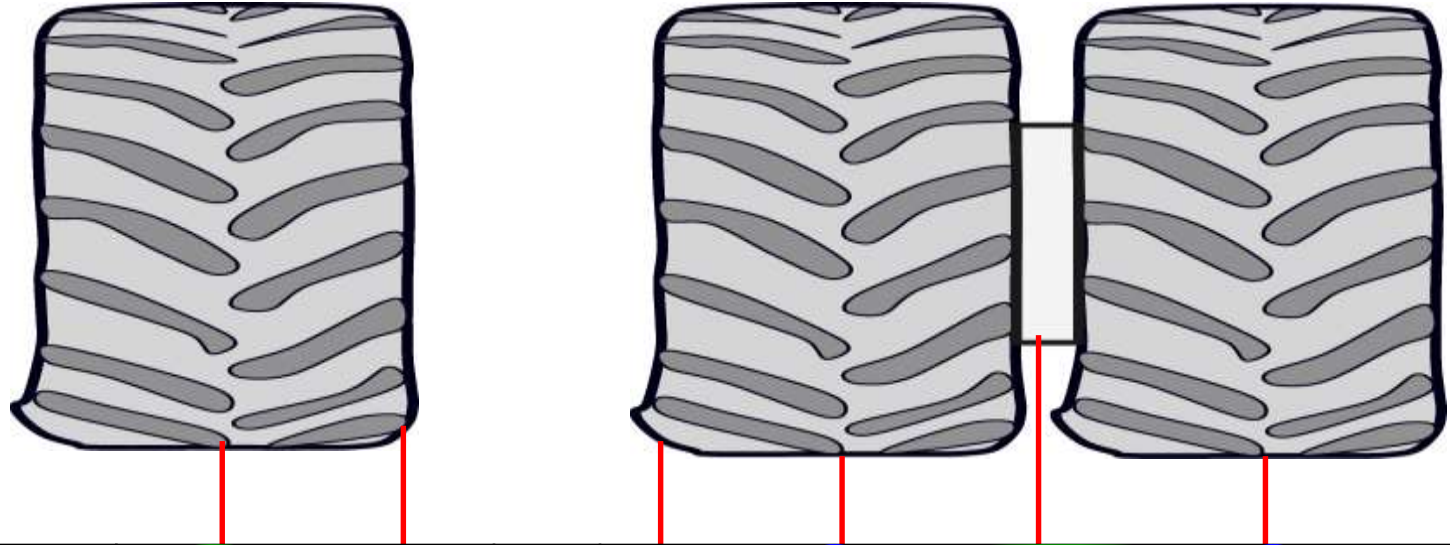
Pohjamaan kuormitusta voi vähentää vain pienentämällä rengaskuormaa

Kuormituksen jakautuminen paripyörien alla

- Rengaskuorma: 2,5 tonnia yksittäispyörälle (takarengas) ja 2,2 tonnia paripyörätraktorilla (eturengas)
- Renkaat: 700/70 R38
- Renkaan ilmanpaine: 60 kPa

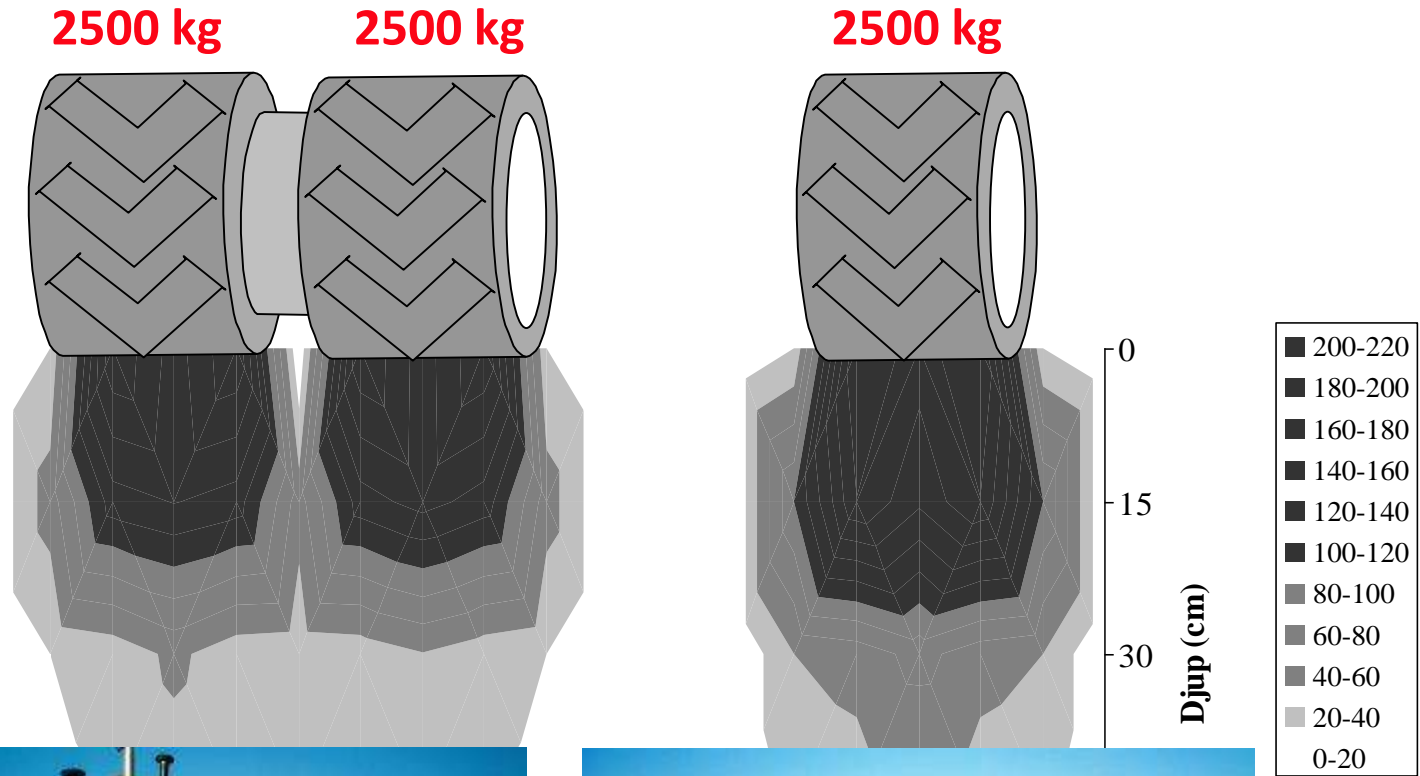


Kuormituksen jakautuminen paripyörien alla



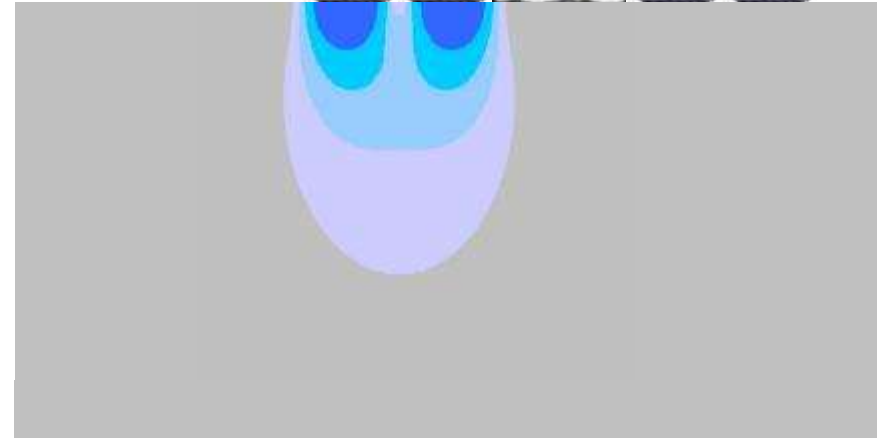
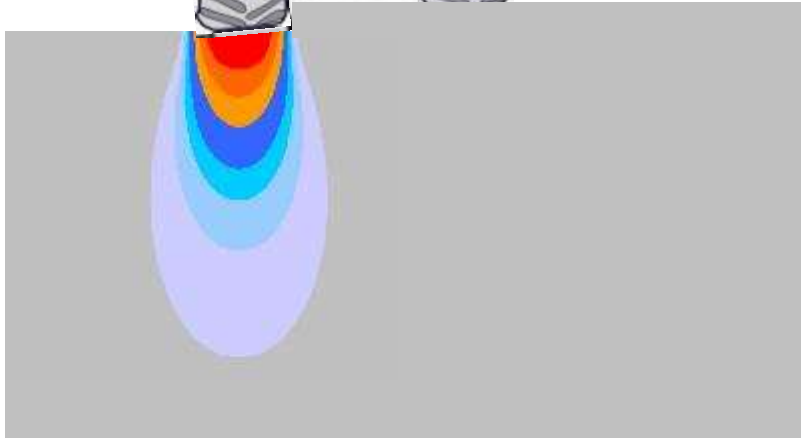
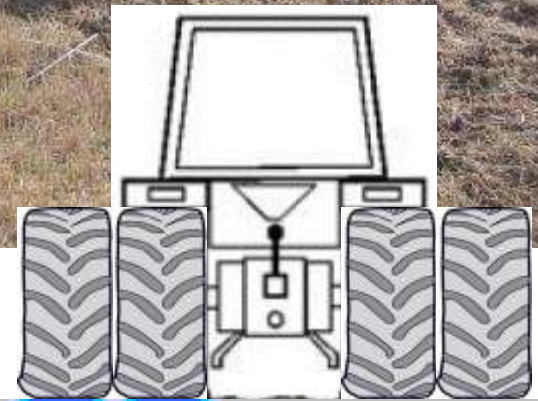
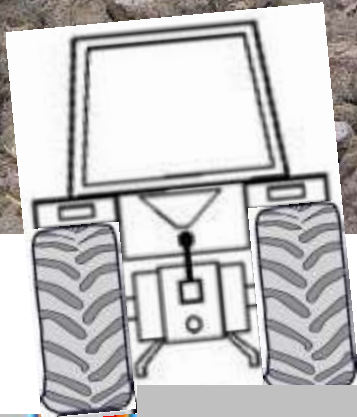
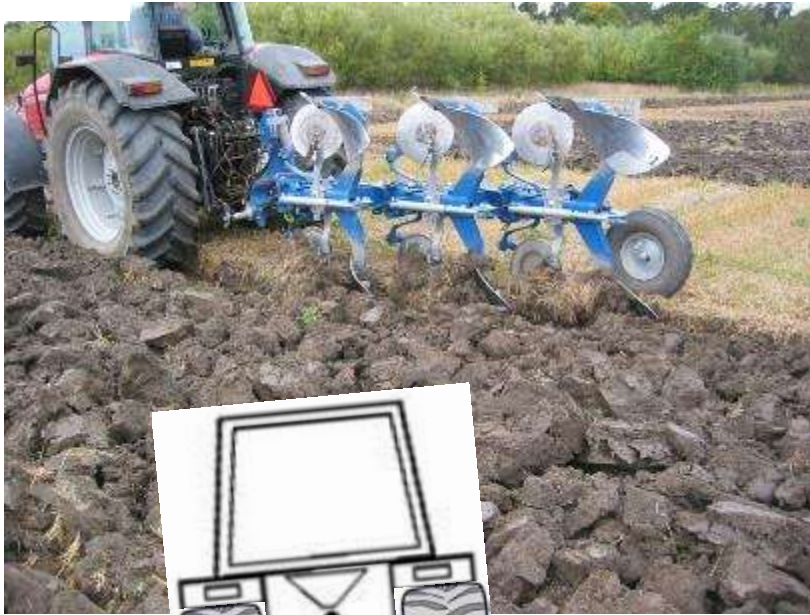
0.15	165	199	131	141	50	148
0.30	68	48	27	45	26	39
0.50	31	29	20	28	25	32
Syvyys (m)	Mitattu maan kuormitus (kPa)					

Kuormituksen jakautuminen paripyörien alla



Keller & Arvidsson (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 & Tillage Research*, 79(2), 191-206.

Kuormitus maaprofiilissa – kyntö vs. kevennetty muokkaus





Kuormituksen jakautuminen telipyörien alla

 Rengaskuorma: 3,2 t

 Akseliväli: 1,45 m

 Renkaat: TWIN 700/50-26.5;
renkaan ilmanpaine: 160 kPa

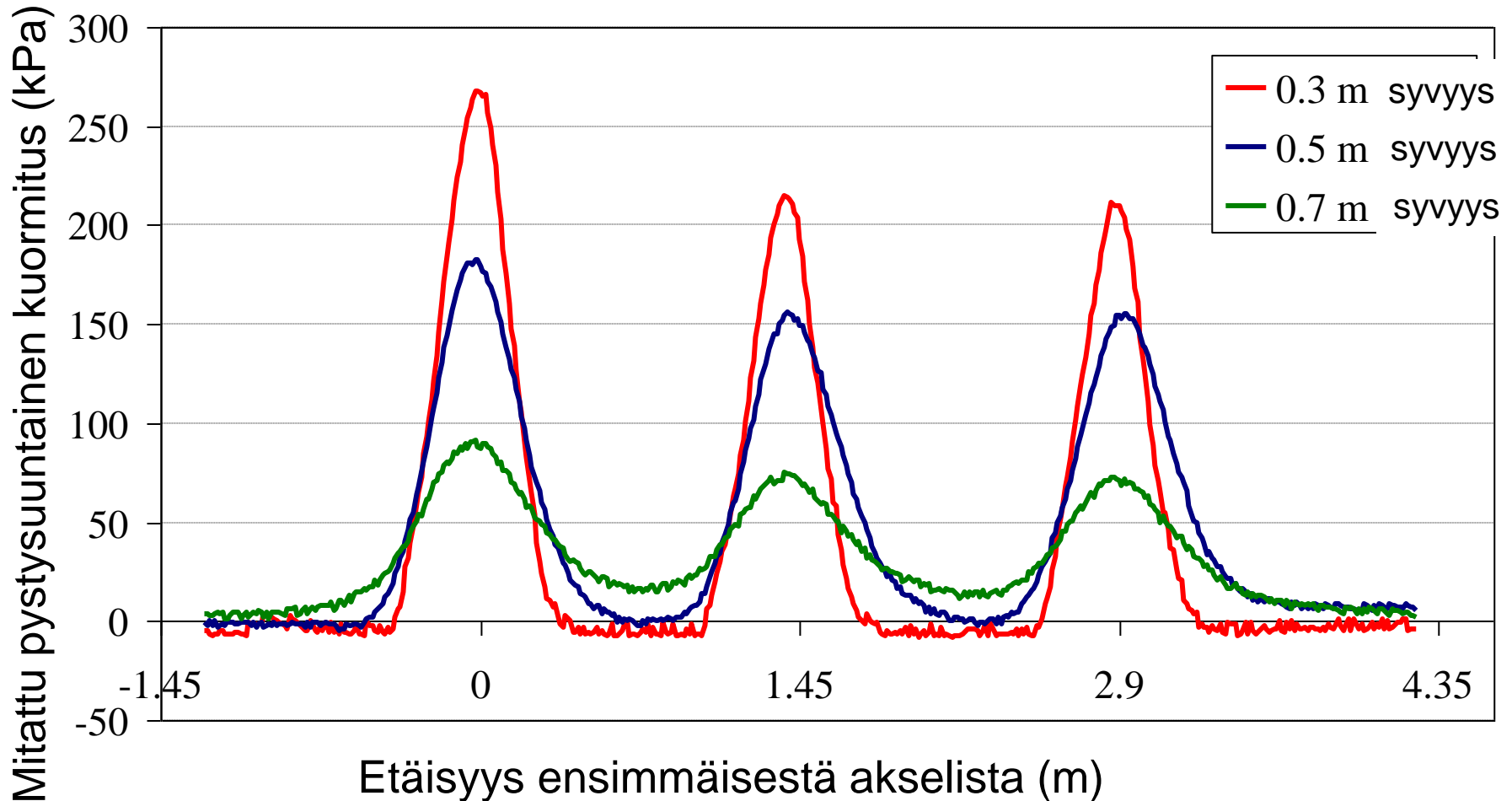
 Nopeus: 2 m s⁻¹





Kuormituksen jakautuminen telipyörien alla

-Kalkinlevitys vaunu - kolmipyöräinen teli



Keller & Arvidsson (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 & Tillage Research*, 79(2), 191-206.

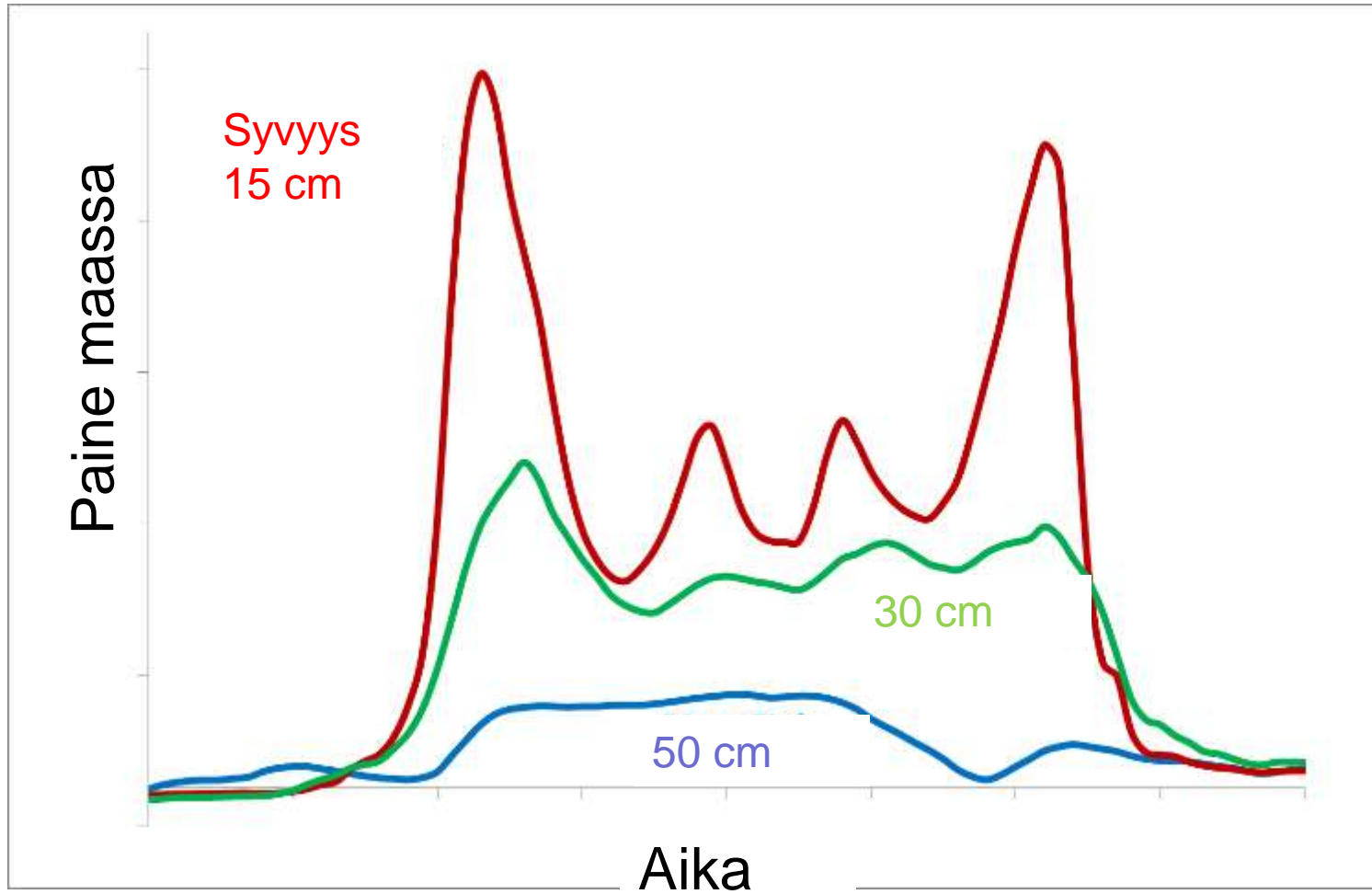
Kumitelat vai renkaat?



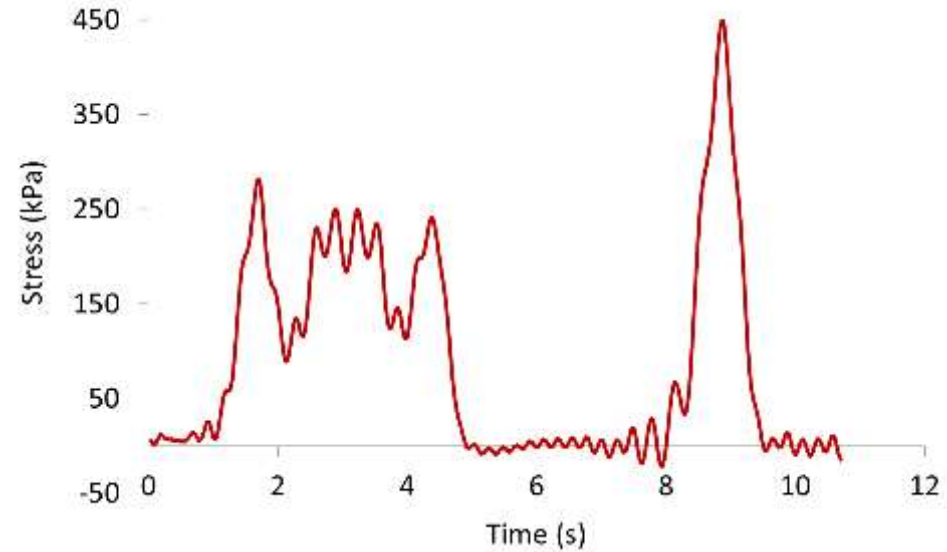
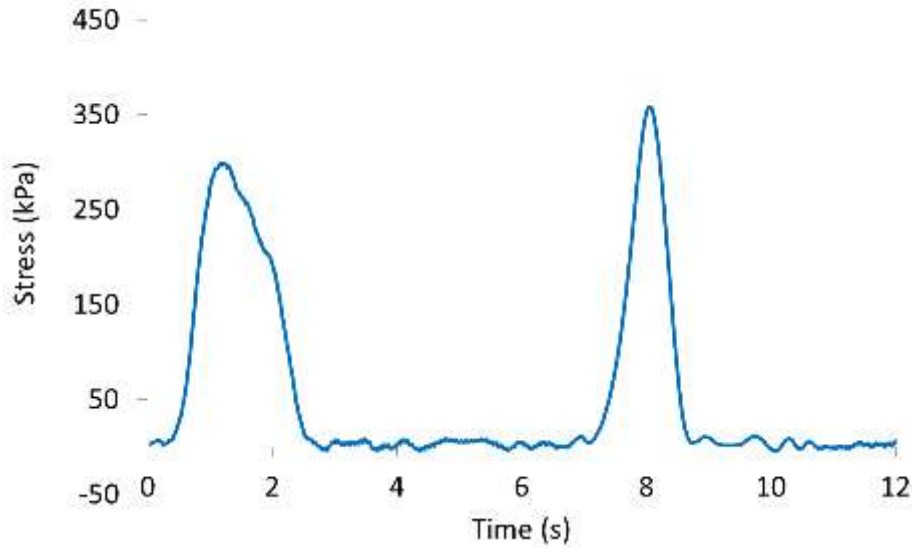
Kumitela: 1,93 m pitkä, 0,65 m leveä; kuorma *n.* 6 tonnia,
Teoriassa keskimääräinen paine maahan: 0,5 bar

Rengas: 900/60 R32: rengaskuorma *n.* 6 tonnia, renkaan
ilmanpaine: 210 kPa (standardi) tai 130 kPa (*increased flexion IF*)

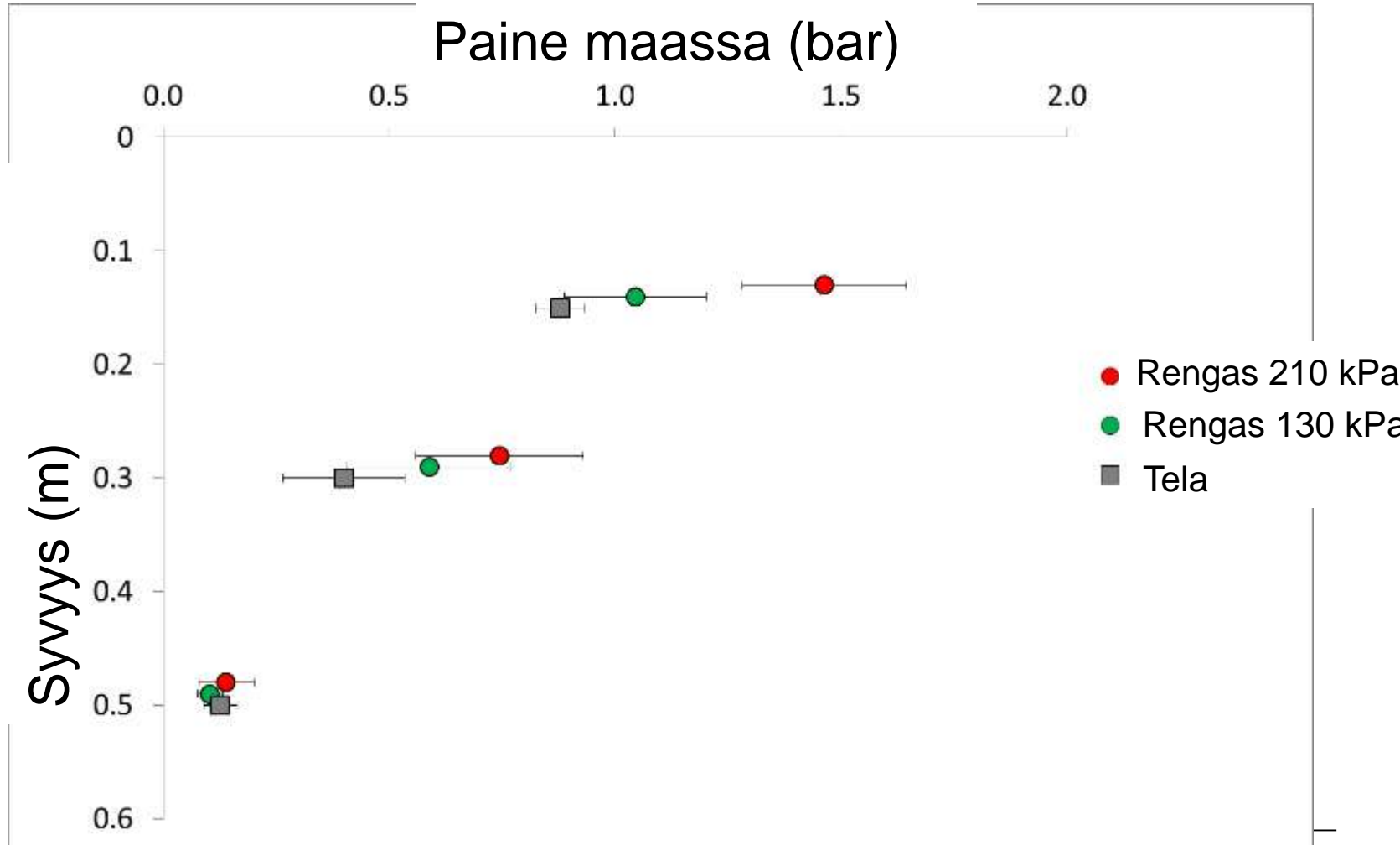
Esimerkki kuormituksen jakautumisesta kumitelan alla – Claas Lexion 750



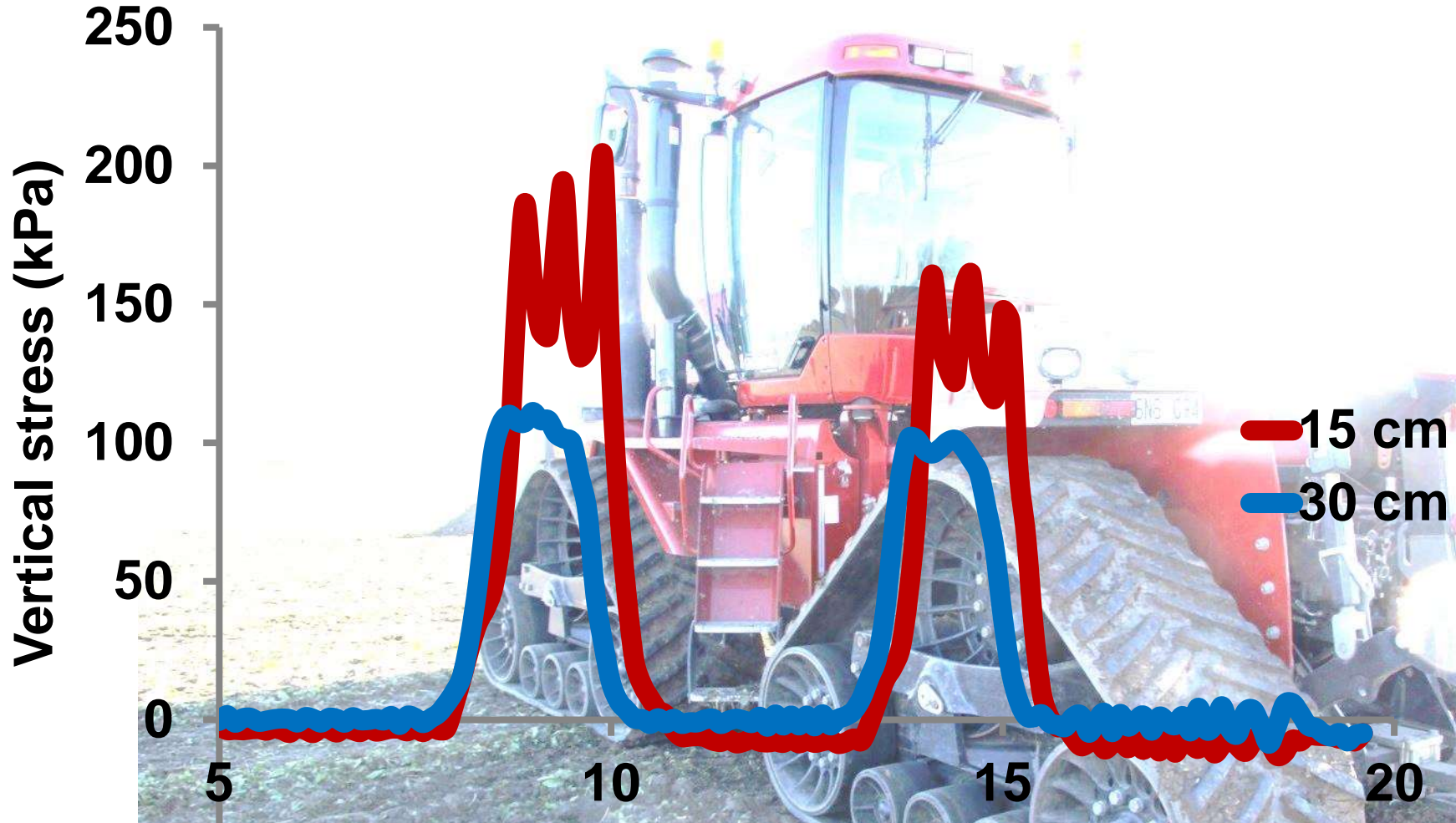
Esimerkki renkaalla ja telalla, pystysuuntainen kuorma 15 cm syvyydessä



Mitattu pystykuorma leikkuupuimurin etuakselin alla (tyhjänä ajettu)

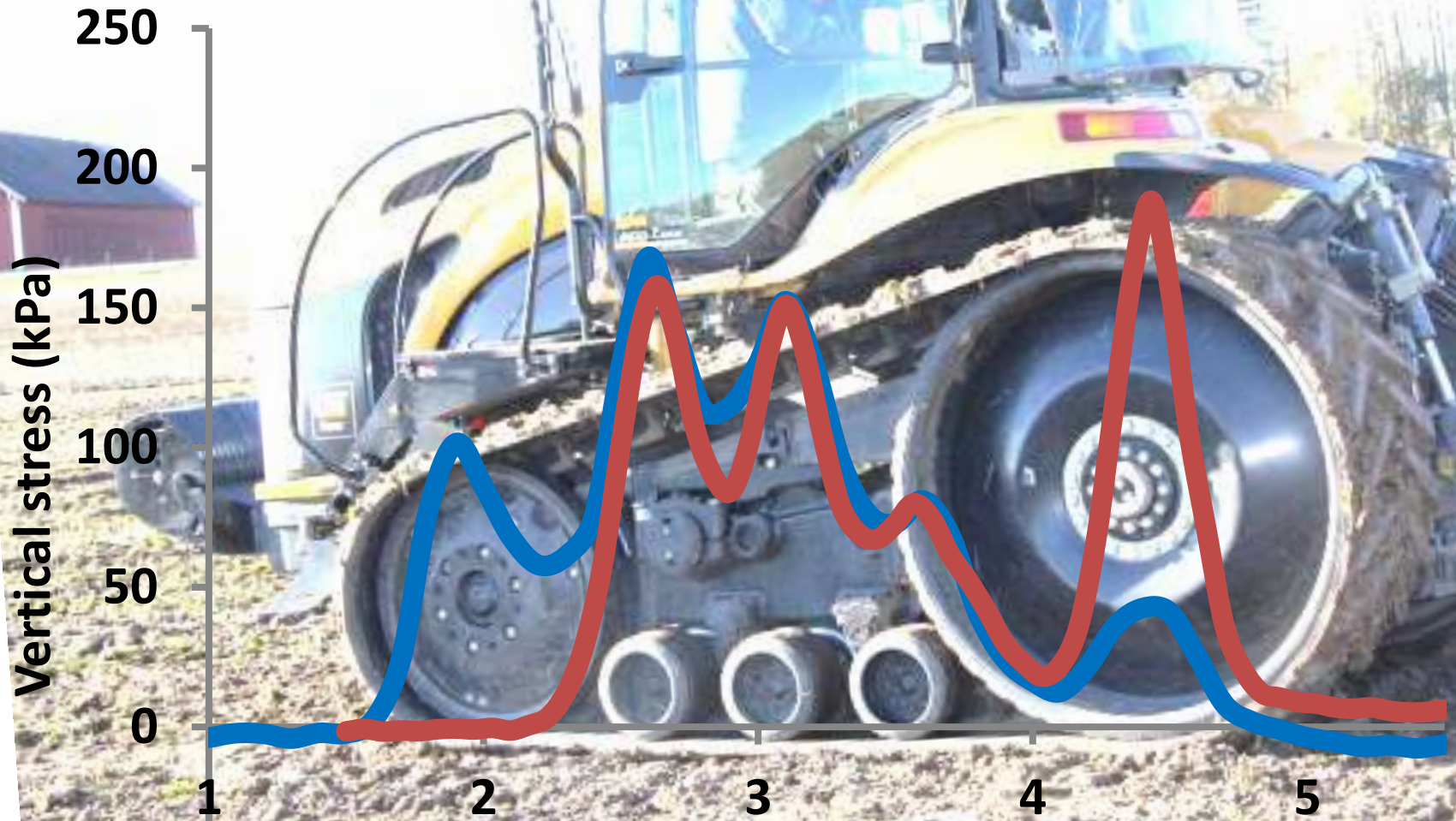


Kuormitus maassa “pyörätelojen” alla



Mittauksissa näkyy vain tukirullat, mutta emme tiedä miksi...

Telatraktori: **vedolla** ja **ilman** vetoa



Kuormituksen jakautuma muuttuu, kun vedetään työkonetta.

Mittauksia erilaisilla traktoreilla



Kumitelatraktorit: joko yksi tela/puoli (Challenger) tai neljä telaa ("quad-tracks")

Pyörätraktorit: joko yksittäis- tai paripyörät

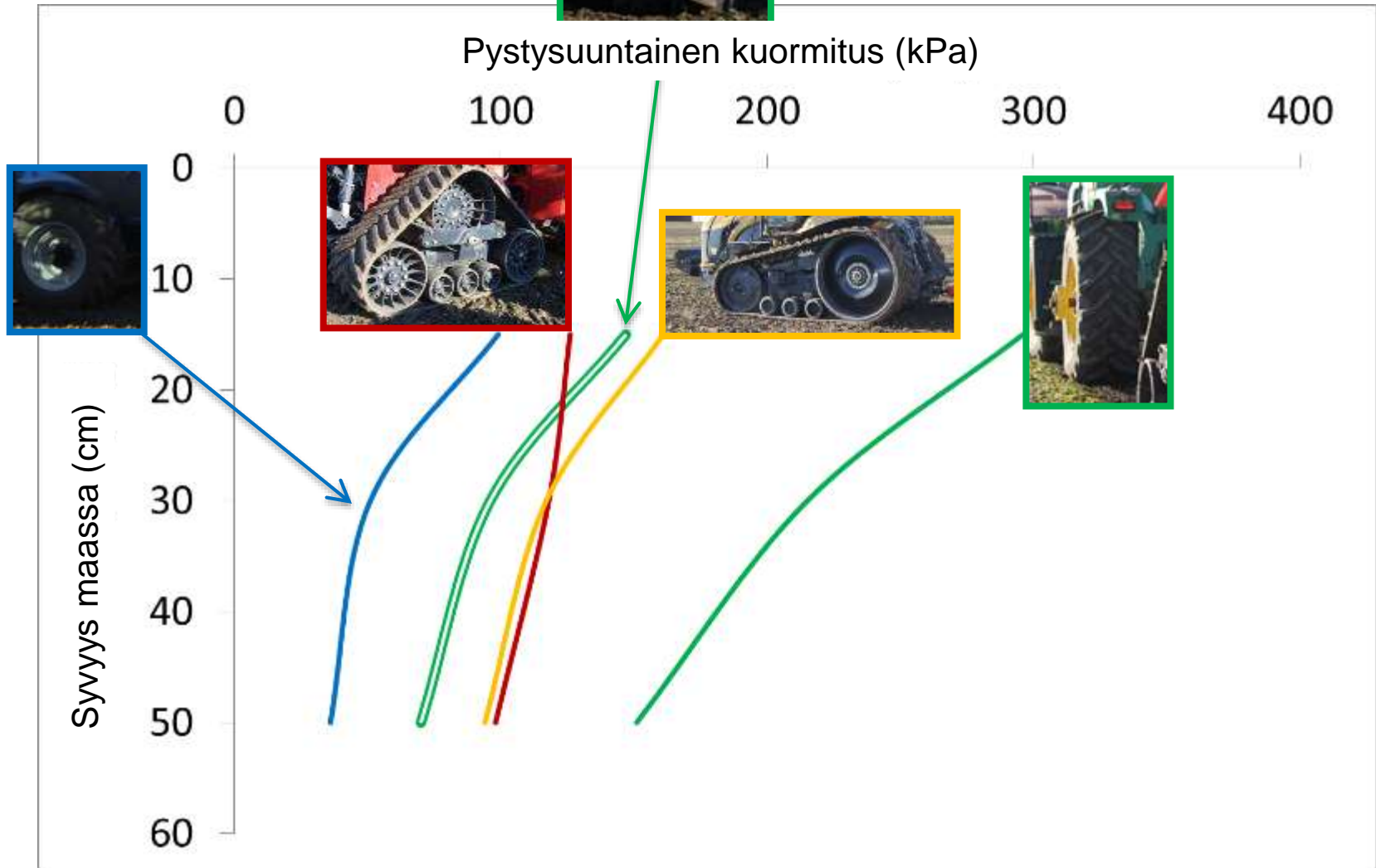
Traktorin ominaisuudet

Table 1. Dimensions, wheel and track load and inflation pressure for the tractors at Valstad

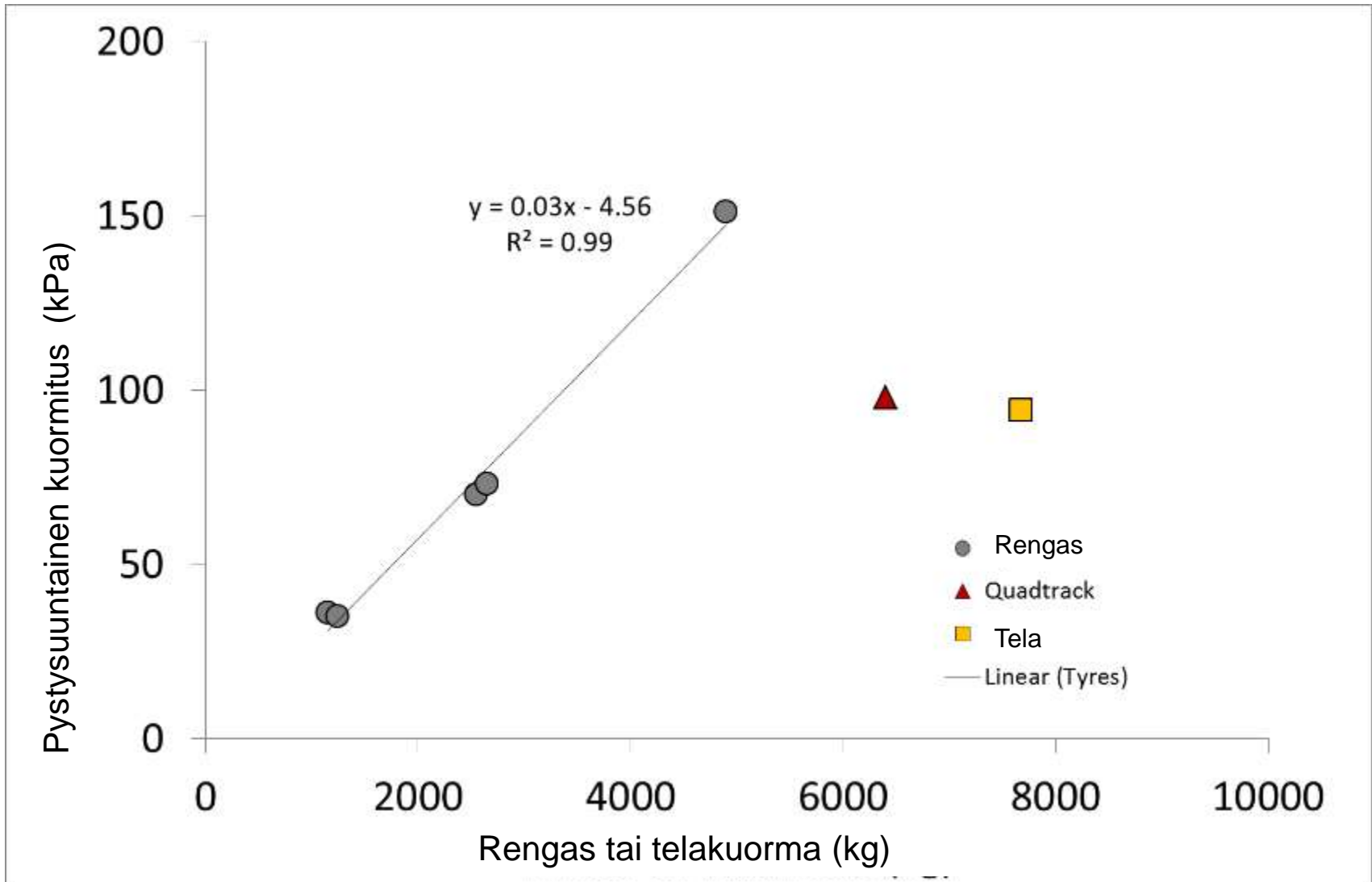
	Dimension	Load (kg)	Infl. pressure (bar)
JD dual wheels	650/65 R38	2550 (2000) ¹	0,6
JD single wheel	650/65 R38	4900 (4000)	1,2
Case dual wheels	710/70 R42IF	2650 (1930)	0,4
Valtra 0,4	650/65 R42	1150	0,4
Valtra 0,6	650/65 R42	1250	0,6
Case Quadtrack	185*71 cm	6400 (5430)	0,5 ²
Challenger	237*70 cm	7680	0,4

¹ Values in parenthesis show wheel load of the rear wheel. ² Values for the tracks are calculated from the weight and the calculated track area. The length given is the distance between the wheel centers.

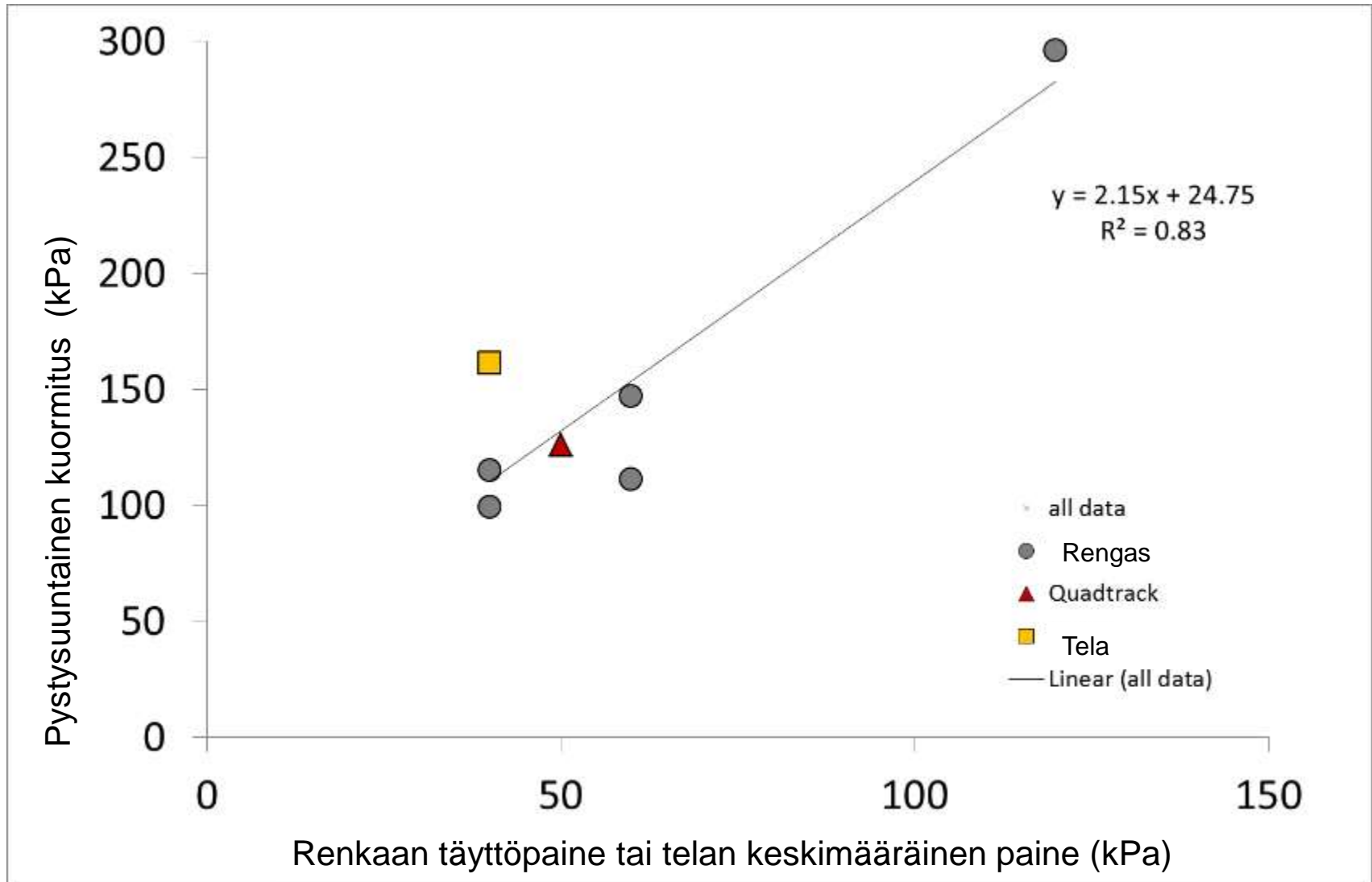
Yhteenveto



Kuormitus maassa 50 cm syvyydessä vs kuorma



Kuormitus maassa 15 cm syvyydessä vs pintapaine



On-land vs. perinteinen kyntö, renkailla ja telalla

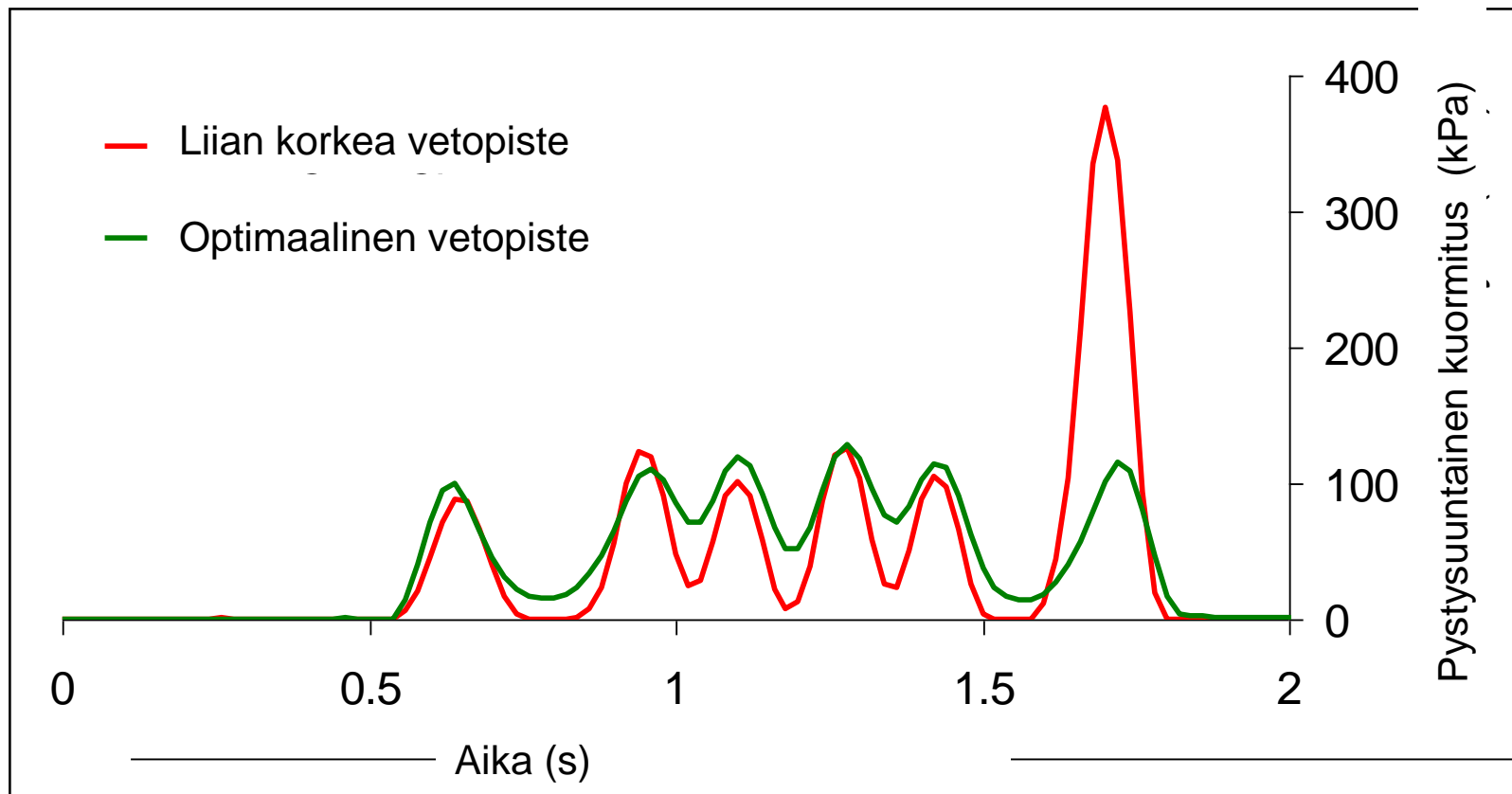
- ✓ on-land kyntö



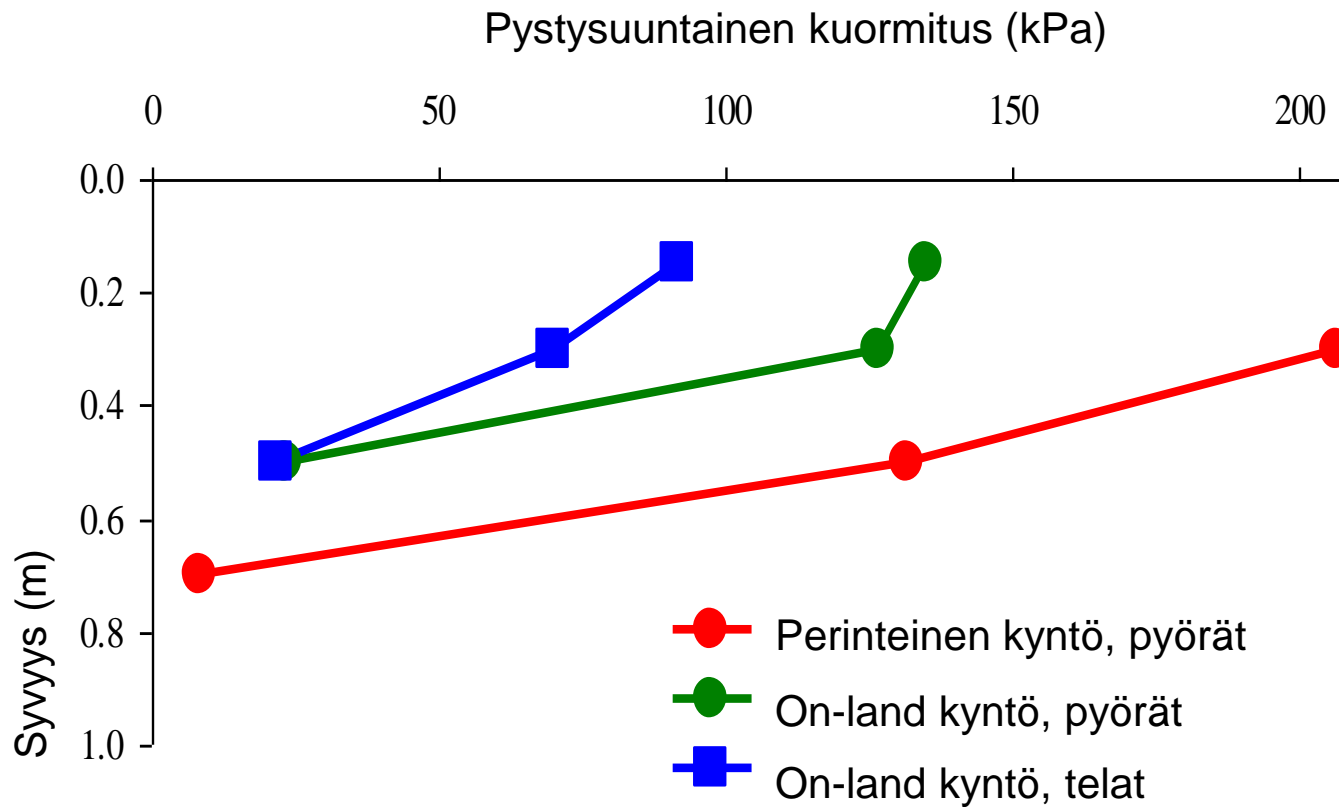
- ✓ on-land kyntö
- ✓ Perinteinen kyntö
(traktorin pyörä vaossa)

Maan kuormitus kumitelatraktorin alla vedettäessä kyntöauraa

Keskimääräinen kuormitus maassa on 65 kPa molemmissa tapauksissa.



Maan kuormitus kynnön aikana



Johtopäätöksiä kumiteloista

Kumiteloilla on mahdollista vähentää maan kuormitusta suuren pinta-alan ansiosta. Mutta:

- Kuorman jakautuma ei ole tasainen, pyörien ja rullien alla on selviä kuormituspiikkejä
- Kuorma ei ole tasapainossa pyörien ja tukirullien välillä (esim. Mittauksissa tukirullat kantoivat koko nelitelakoneen kuorman mittausoloissa)
- Kahden pitkän telan traktori on vaikea saada tasapainoiseksi: vedossa painoa siirtyy telan takaosaan.
- Teloja käytetään yleensä hyvin painavilla koneilla, joten pohjamaan kuormitus ei alene suurista kosketuspinoista huolimatta.

Johtopäätökset maan kuormituksesta

Nyrkkisääntö: renkaan täyttöpaine määrittää maan pinnan kuormituksen, rengaskuorma määrittää pohjamaan kuormituksen.

Pohjamaan kuormitusta voidaan pitää alhaisena ainoastaan käyttämällä pieniä rengaskuormia.

Vältä kyntöä perinteisesti vakopyörä vaossa.

Paripyörät ja telit: renkaat toimivat erillisinä maan kuormituksen kannalta, eli nämä ovat tehokkaita keinoja maan kuormituksen vähentämiseen.

Maan kuormitus kumitelojen alla on samaa suuruusluokkaa kuin maan kuormitus paripyörillä.

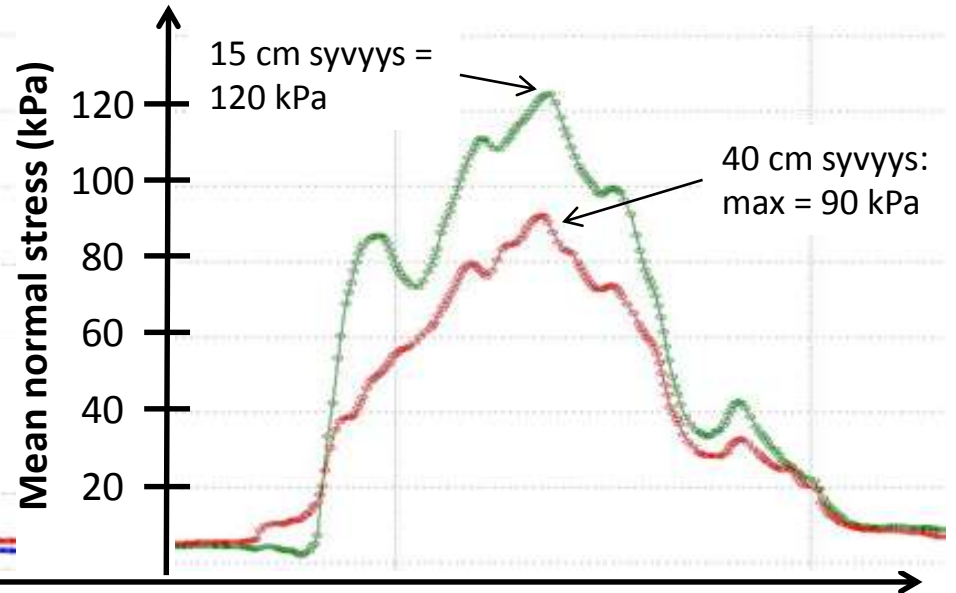
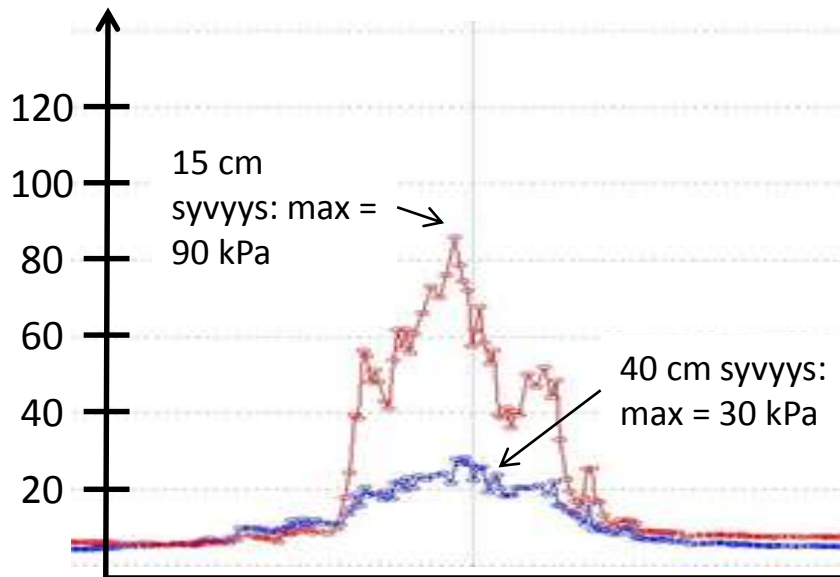
Koneiden painon ja maan kuormituksen kehitys



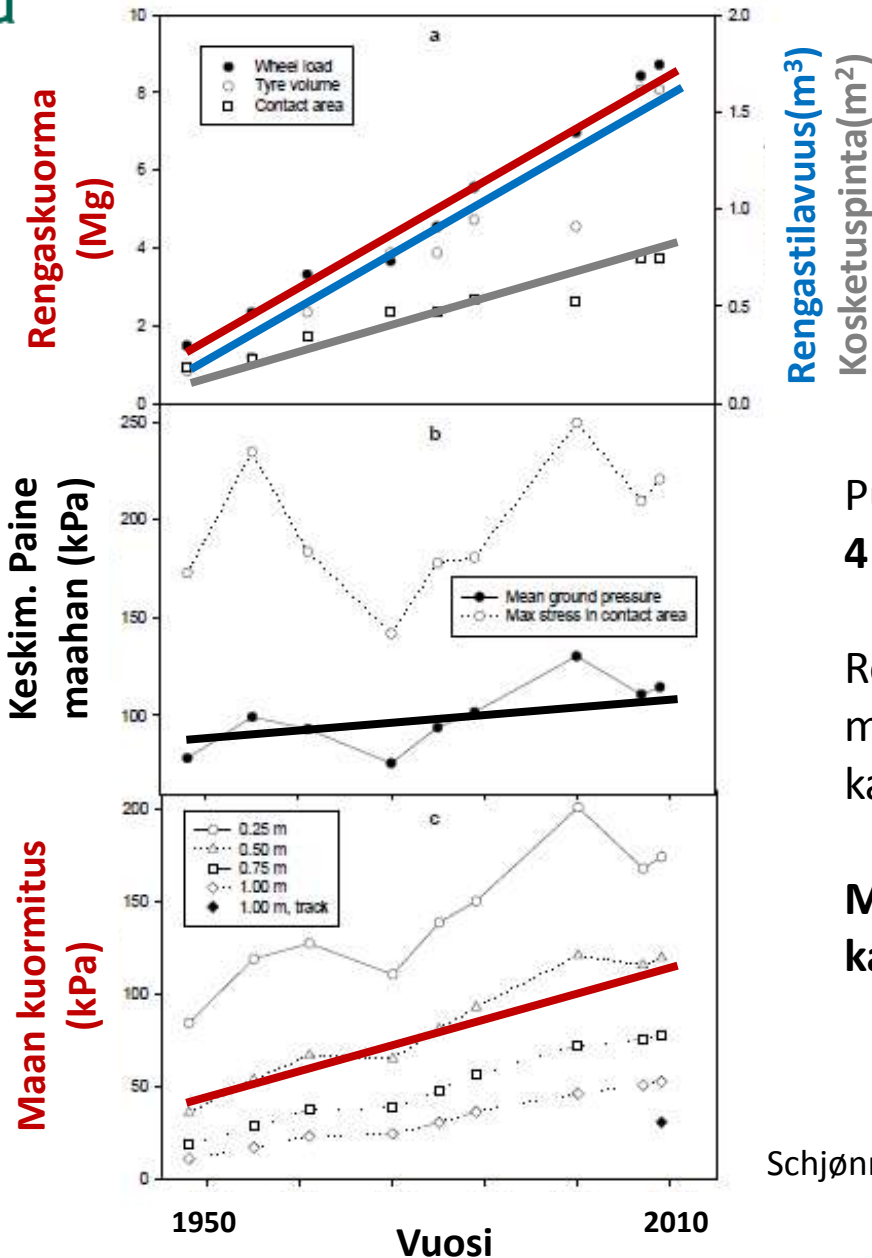
Vuosi: 1938 / paino: 2800 kg



Vuosi: 2014 / paino: 16000 kg



Koneiden painon ja maan kuormituksen kehitys



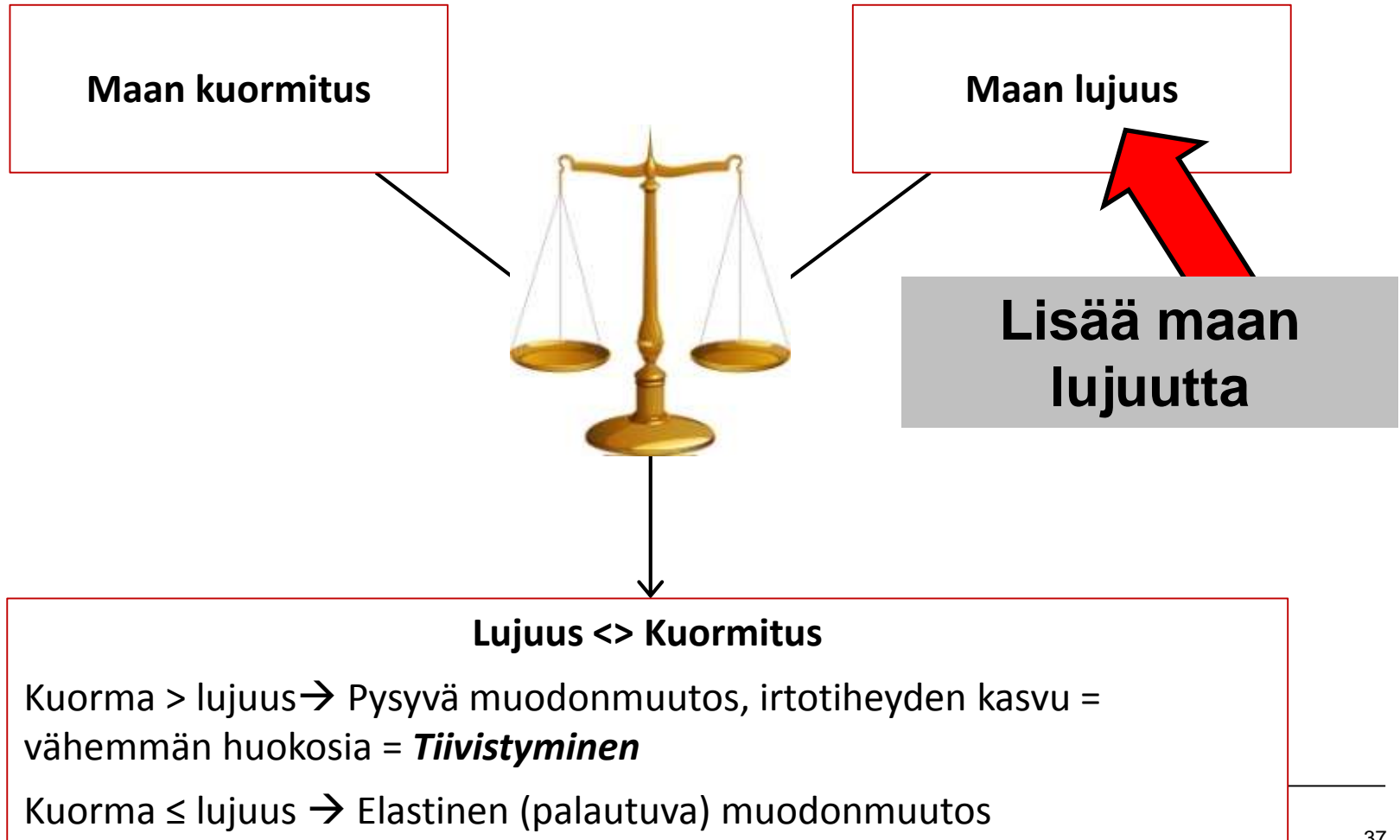
Tiivistelmä:

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)

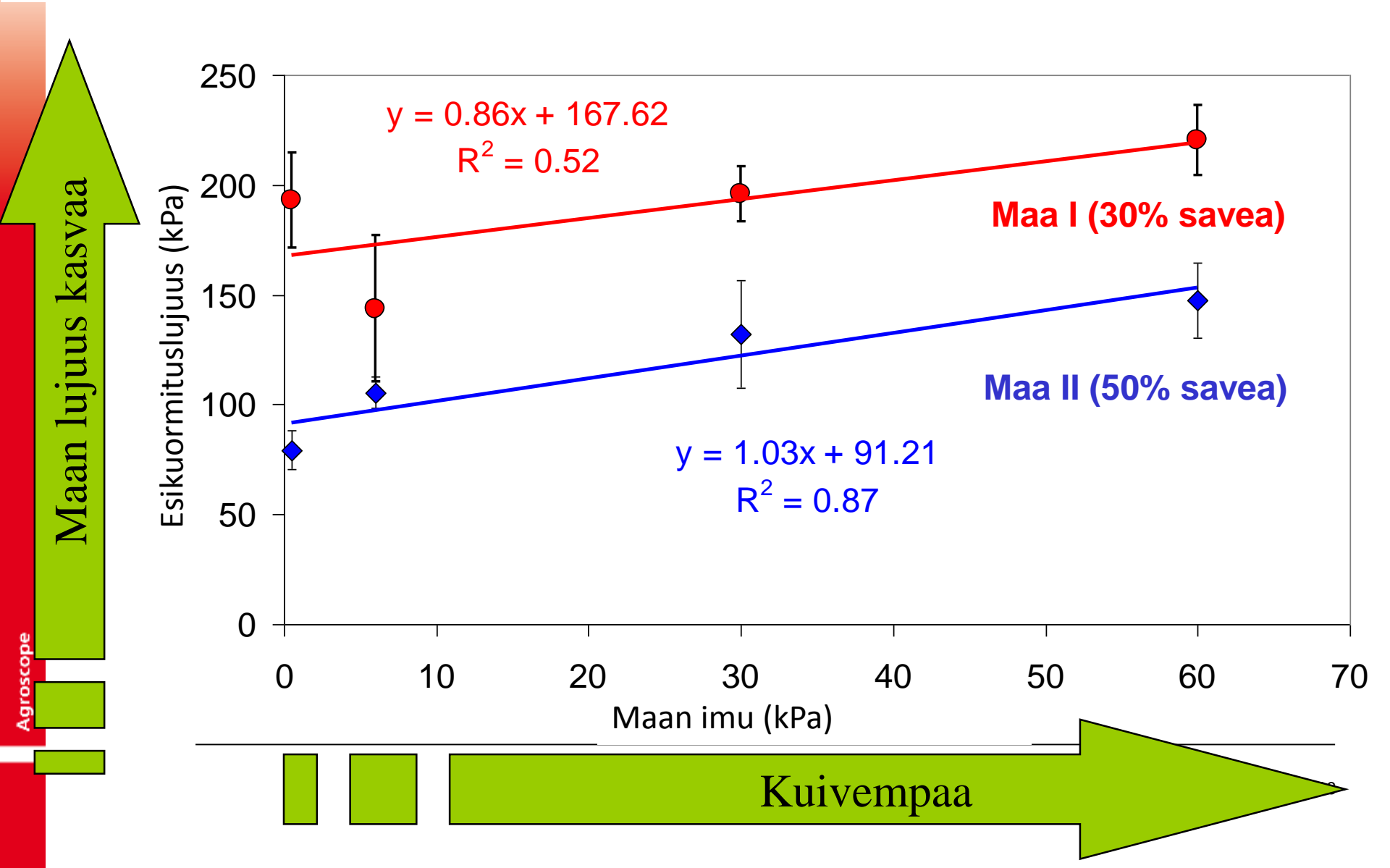
Maan kuormitus etenkin pohjamaassa on kaksinkertaistunut

Kuinka maan tiivistymisriskiä voi vähentää?



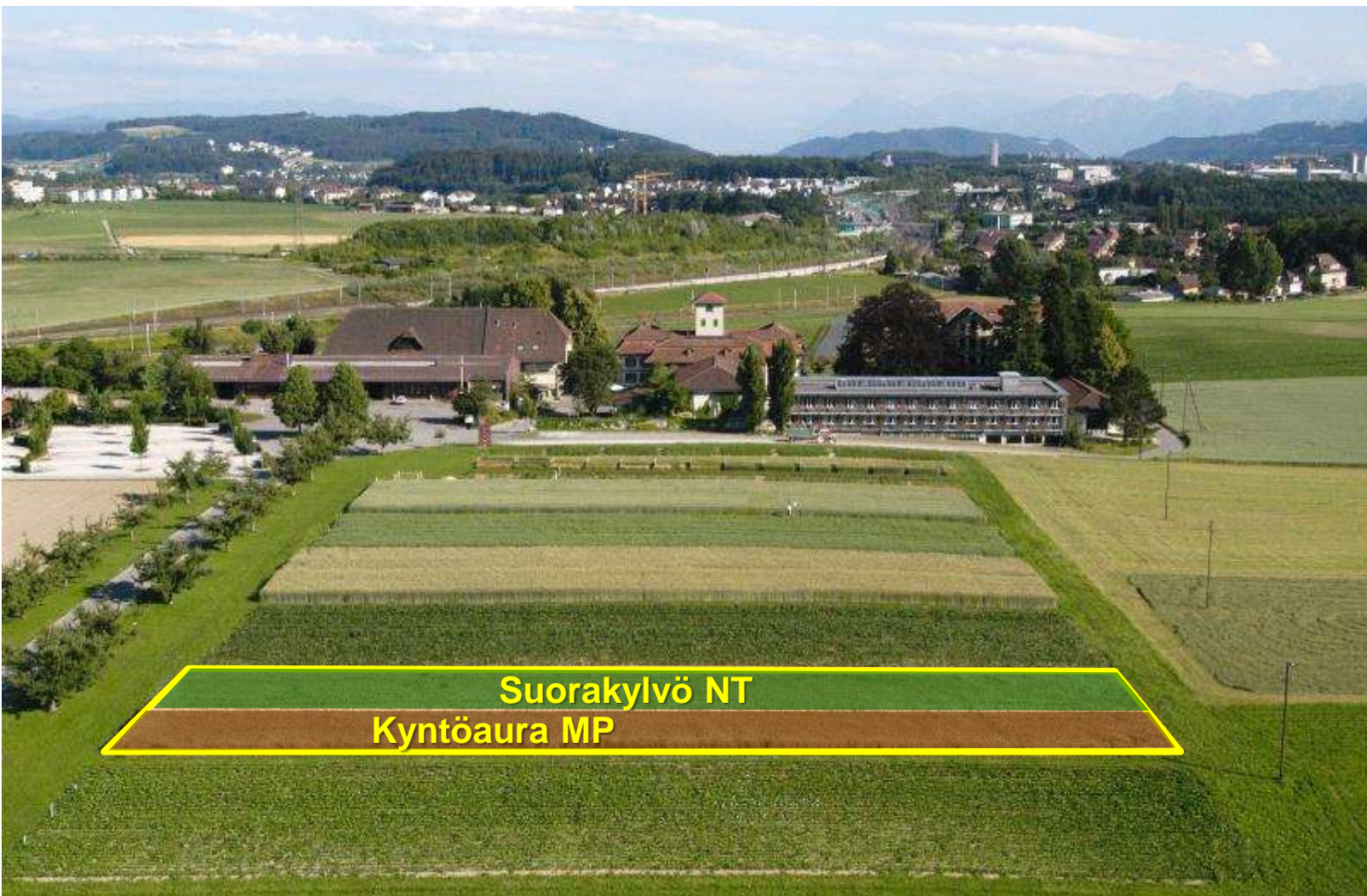
Kuinka voidaan lisätä maan lujuutta?

Lyhyellä aikavälillä: odota, että maa kuivuu...

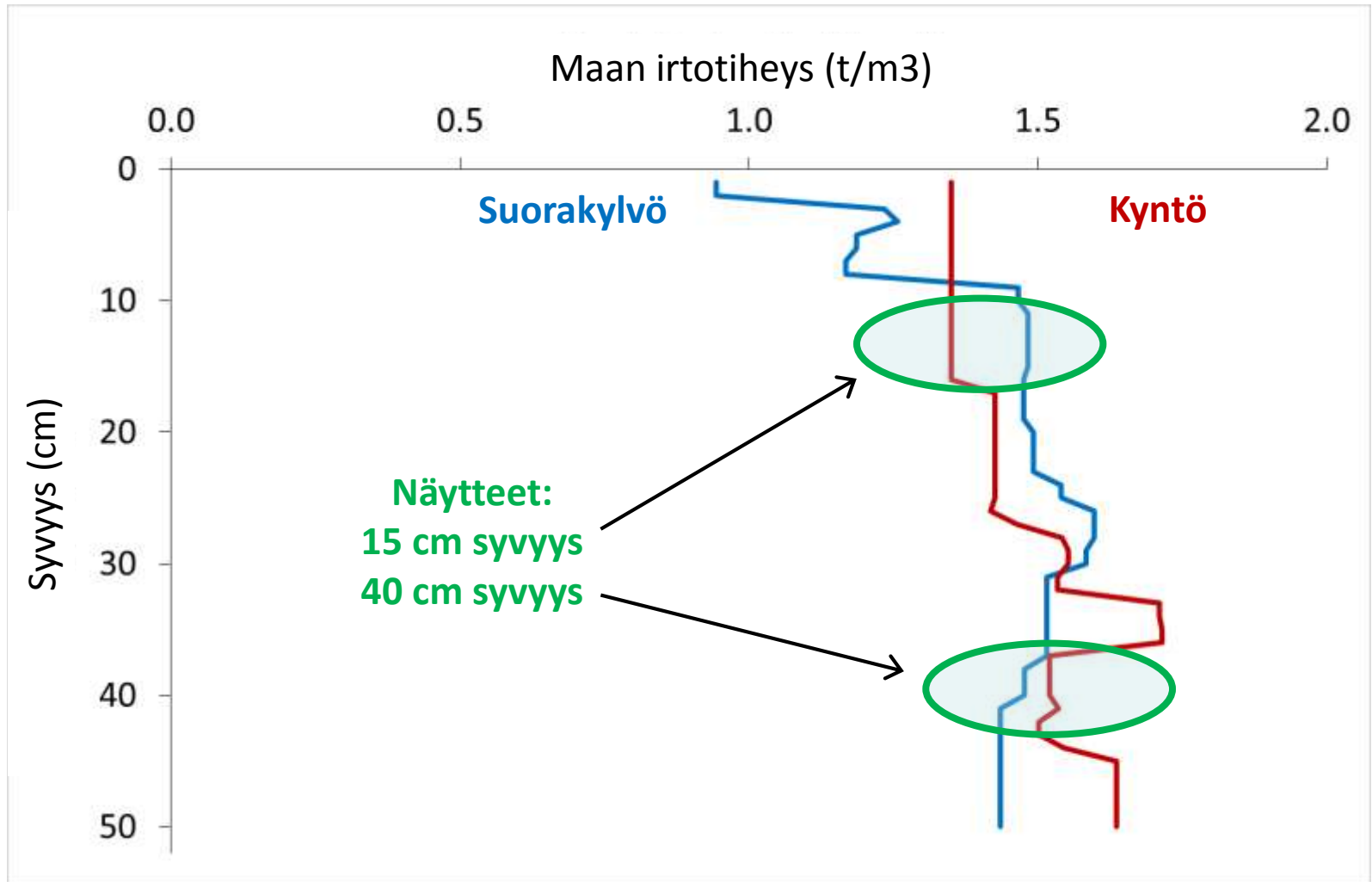


Oberacker pitkäaikaiskoe

(Zollikofen lähellä Berniä, Sveitsissä)



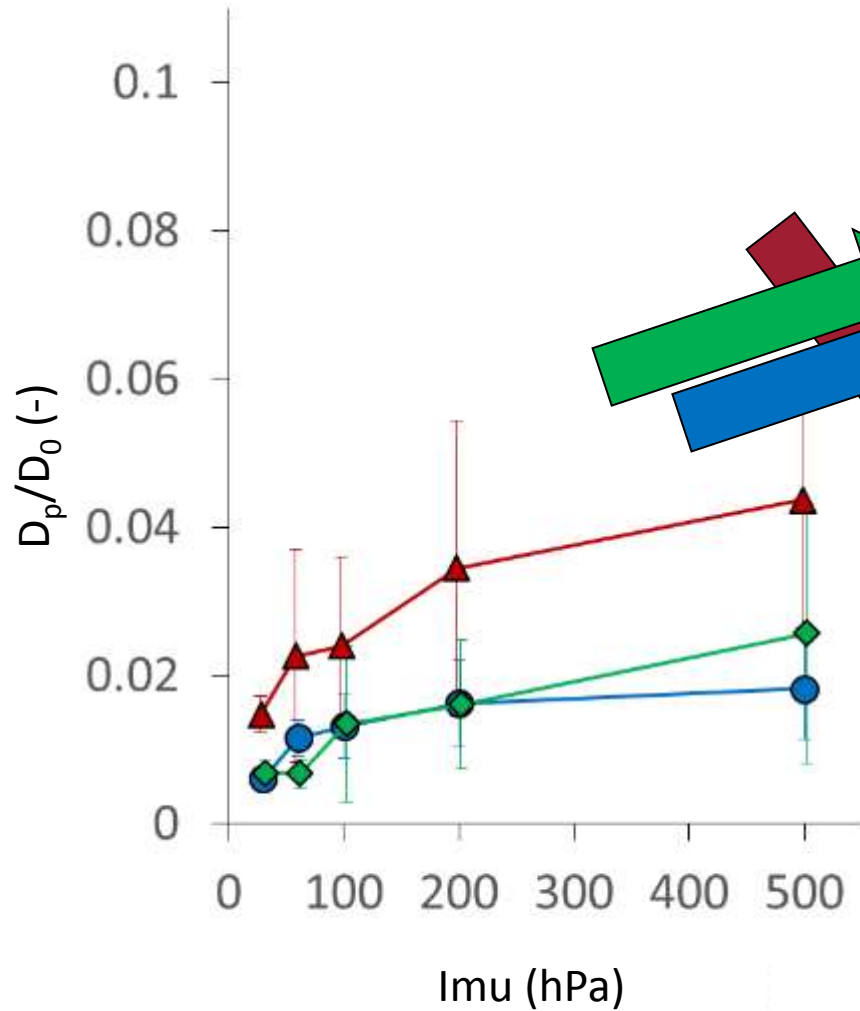
Maan irtotiheysprofiili



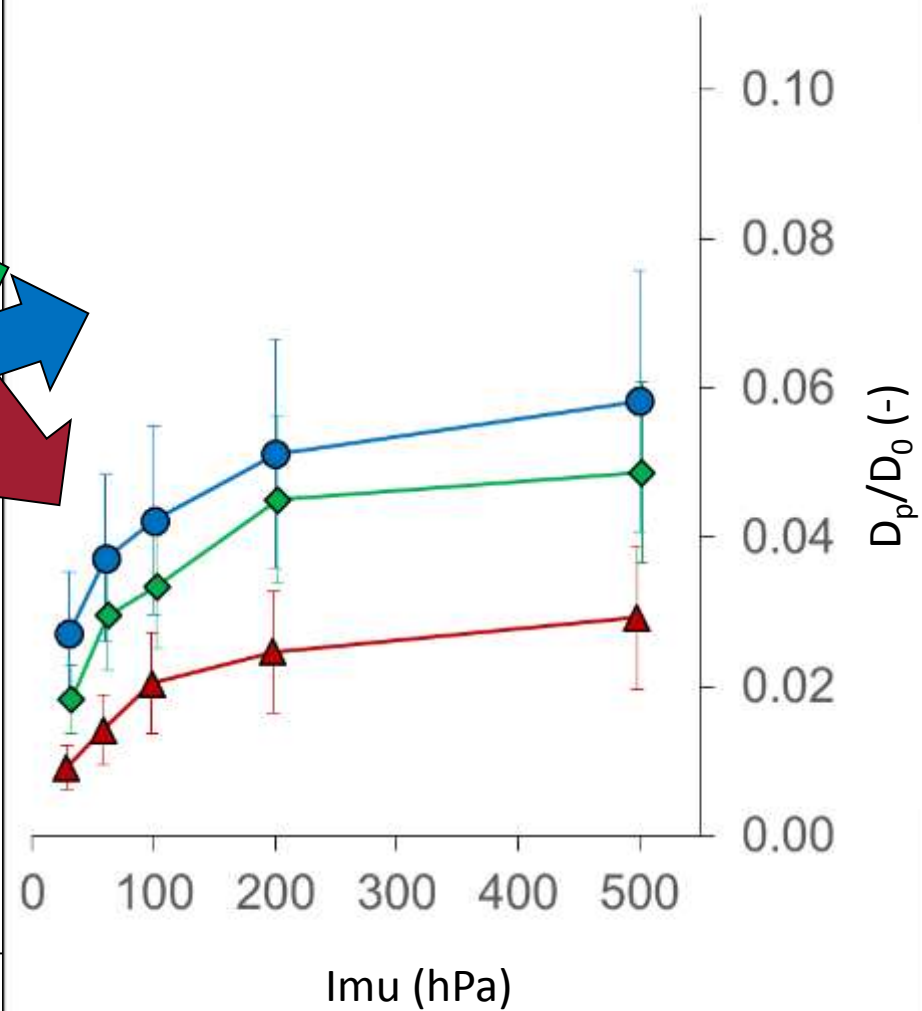
Suhteellinen kaasudiffuusionopeus, D_p/D_0

Martínez *et al.*, 2016. *Soil Tillage Res.* 68, 163, 130-140.

Ruokamultakerros (15 cm syvyys)



Pohjamaa (40 cm syvyys)



Kyntöaura

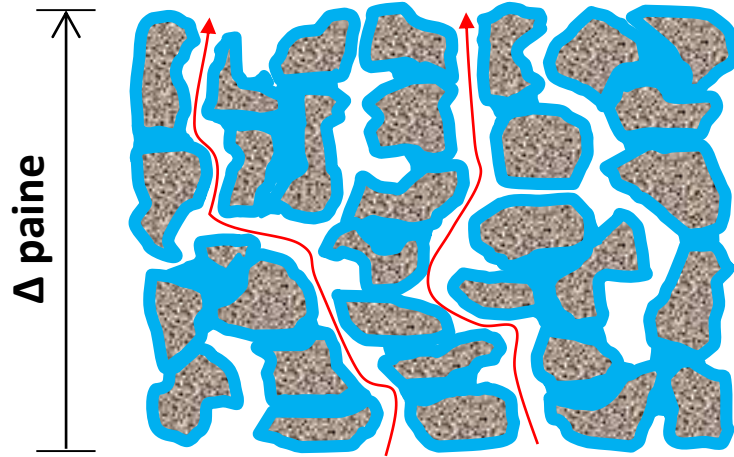
Suorakylvö

Pysyvä nurmi

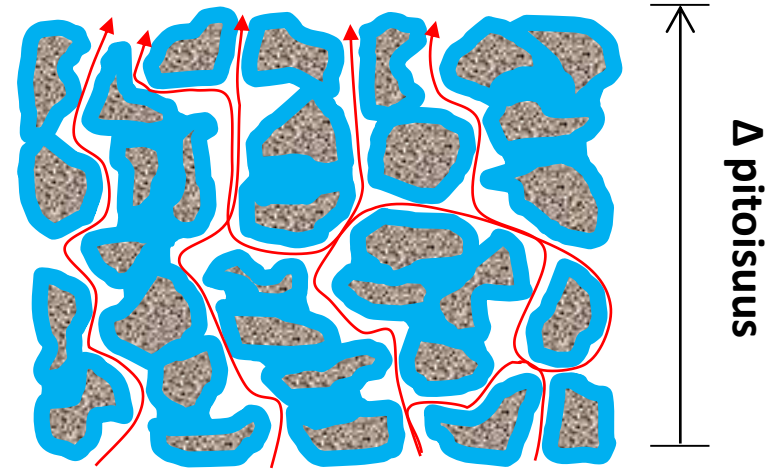
Kaasujen kulkeutuminen maassa

Advektio → Ilman läpäisy, k_a

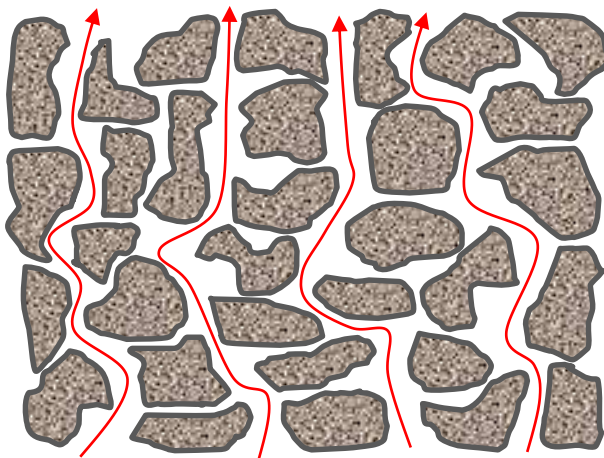
Diffuusio → Suhteellinen kaasudiffuusionopeus, D_p/D_0



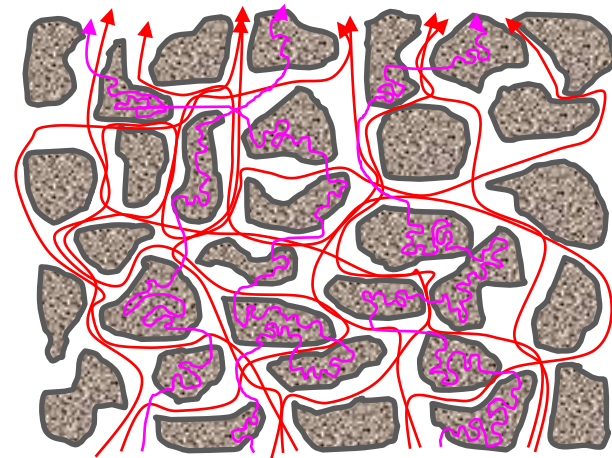
märkä



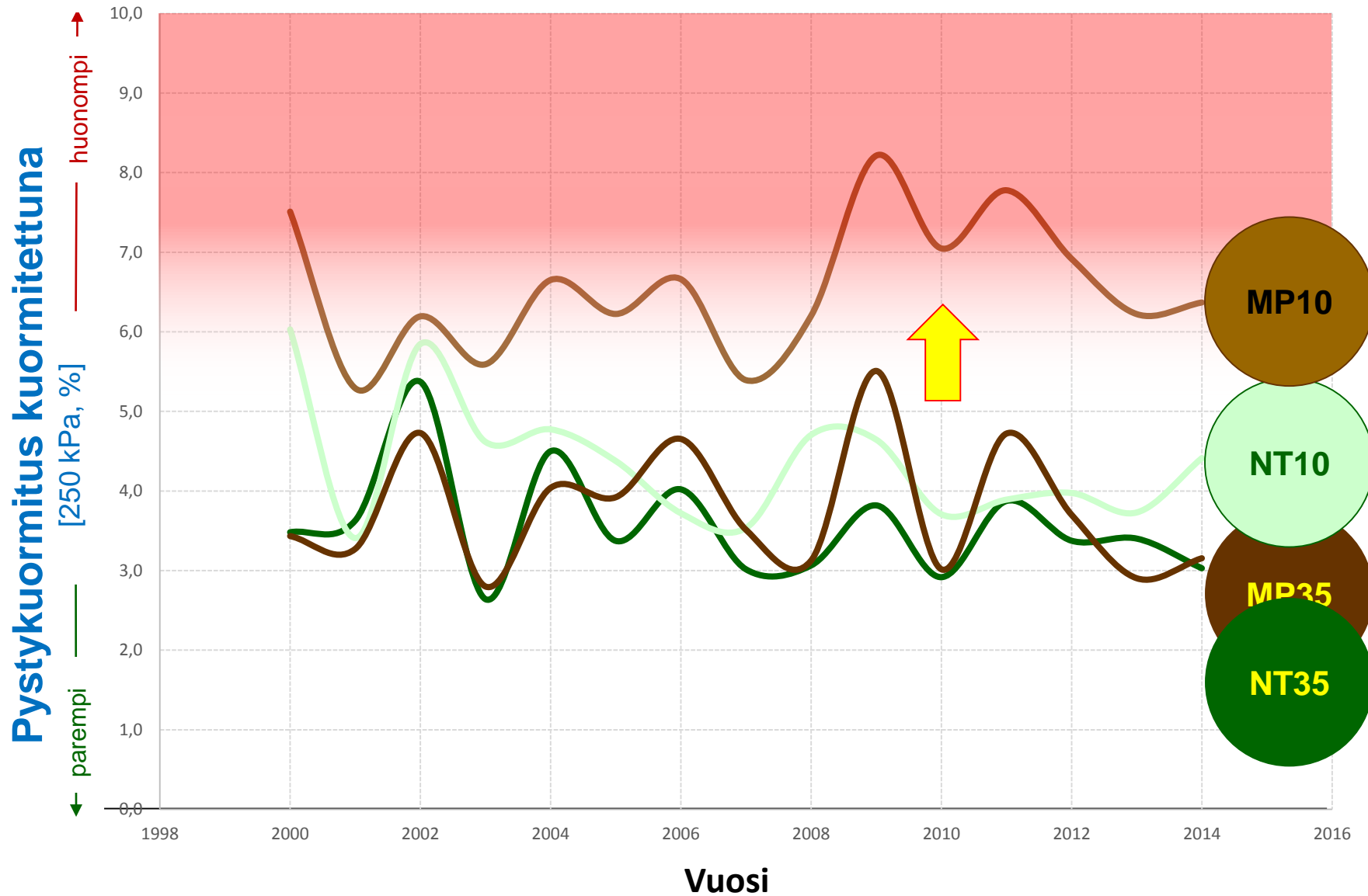
Lähde: Marie Eden, TU Munich, Germany



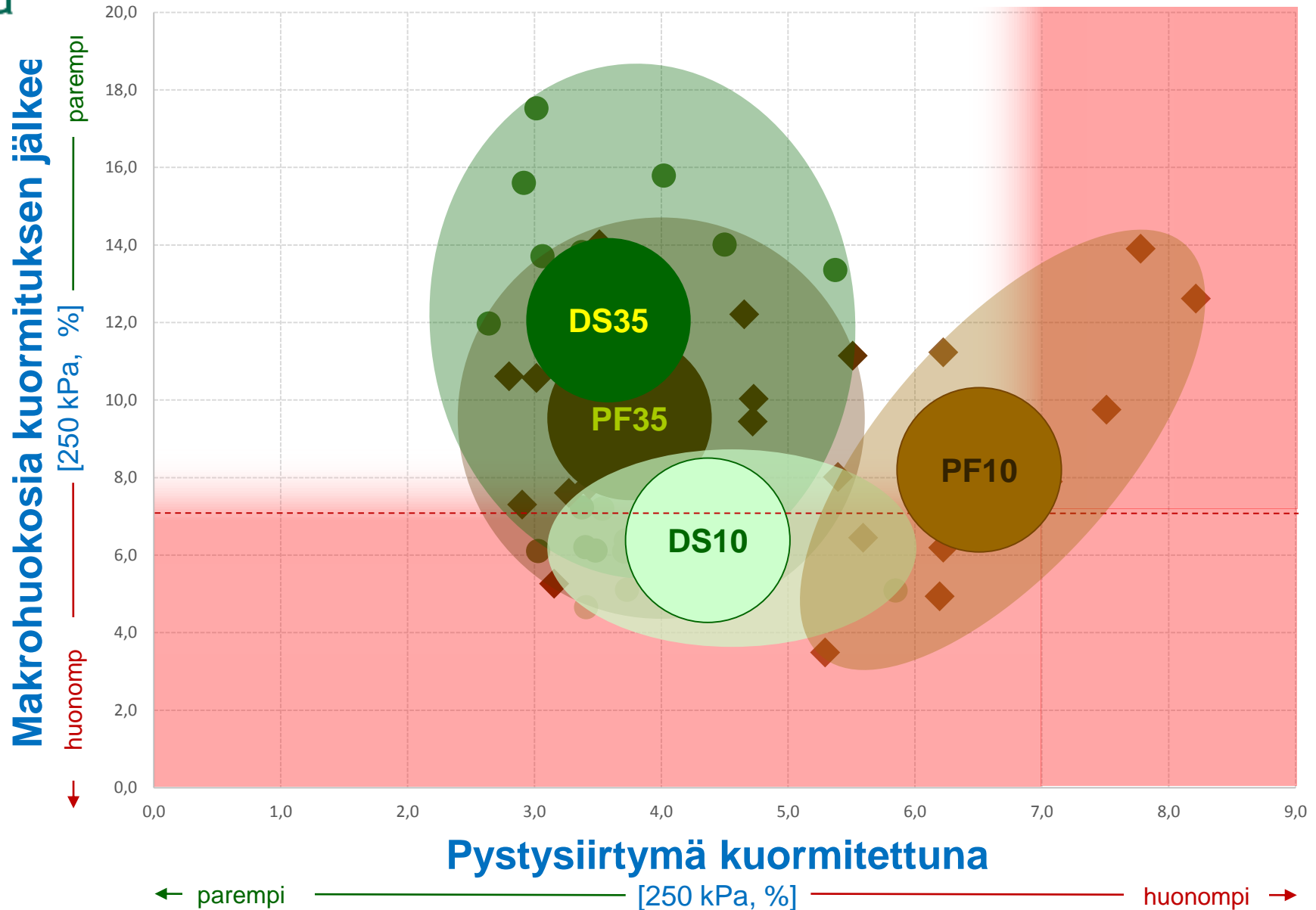
kuiva



Maan lujuusnäkökulmia



Maan lujuusnäkökulmia

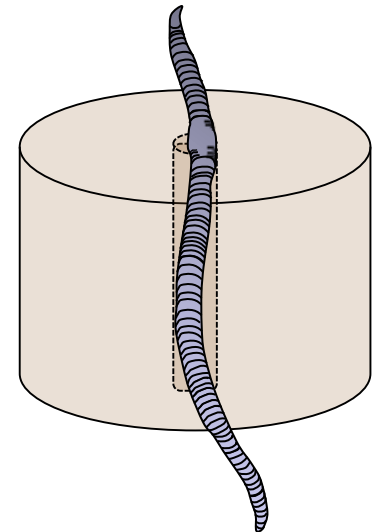


Kyntö vs. suorakylvö: pohjamaan huokoisuus korreloi lierojen biomassan kanssa

Tulokset 10 koevuoden jälkeen (Maurer-Troxler *et al.*, 2005, *Agrarforschung* 12):

Kaivautuvien lierojen biomassa kynnetyillä lohkoilla (MP) oli vain 49.5% verrattuna suorakylvettyihin (DD).

Julkaisematon aineisto (Maurer-Troxler *et al.*, 2015) vuodelta 2014, eli 19 koevuoden jälkeen, samanlainen trendi näkyvissä.



Vaikutukset kasvien kasvuun: Oberacker pitkäaikaiskoe

Keskimääräiset suhteelliset sadot, DD (kyntö, MP = 100%)
vuosille 1994-2014:

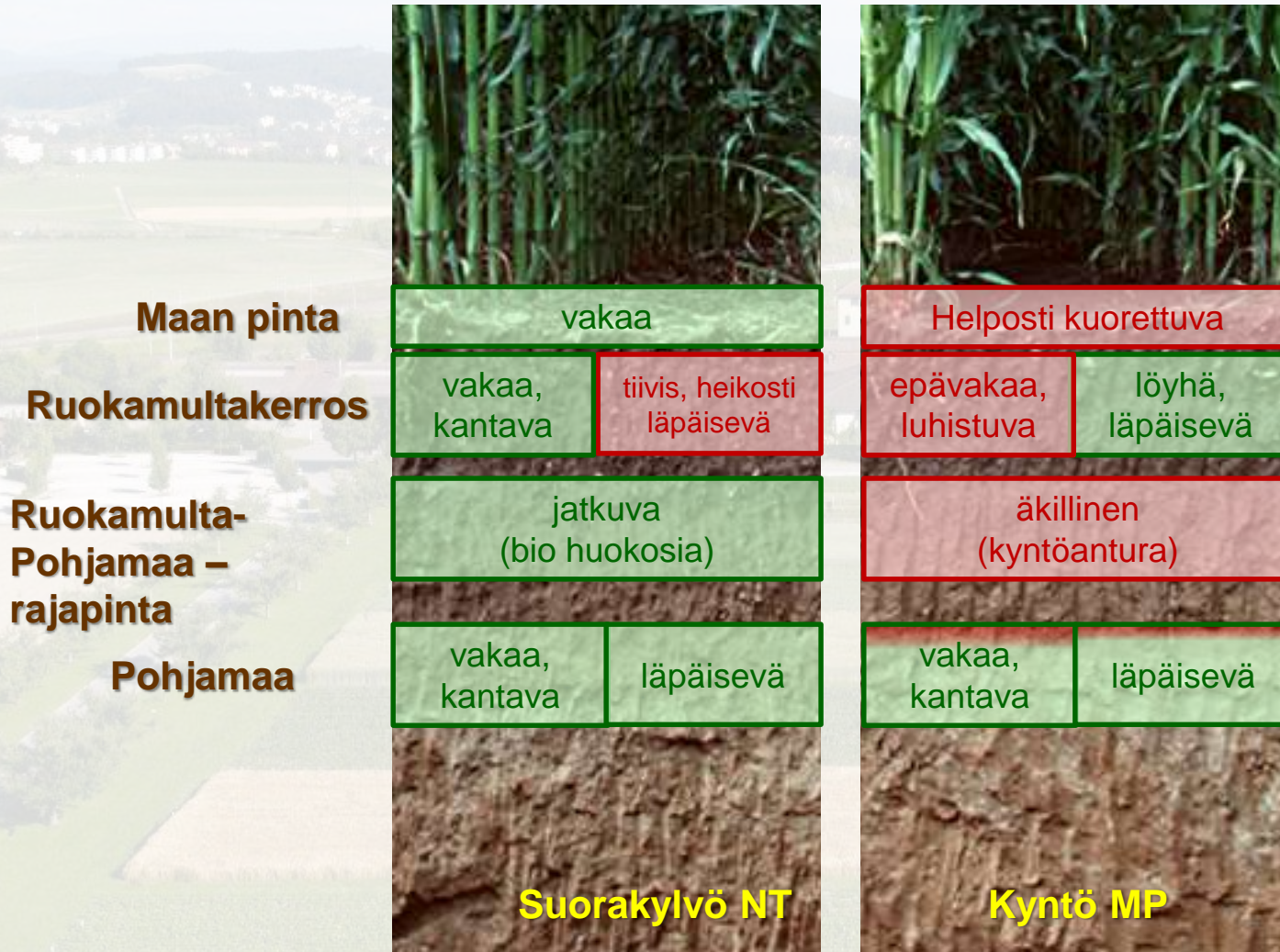
- Viljat: >100% <-> DD: parempi pohjamaan rakenne
- Maissi: \approx 100%
- Sokerijuurikas: <100% <-> DD: tiiviimpi ruokamultakerros

Nykyisin 6-vuoden viljelykierto: herne – syysvehnä – härkäpapu–
syysohra – sokerijuurikas – rehumaisi

Kerääjäkasvit – peltosinappi, rehuöljyretikka ja rehuvirna –
molemmissa koejäsenissä viljan ja herneen jälkeen

Maan rakenne suorakylvö- ja kyntölohkoilla

Oberacker kokeessa

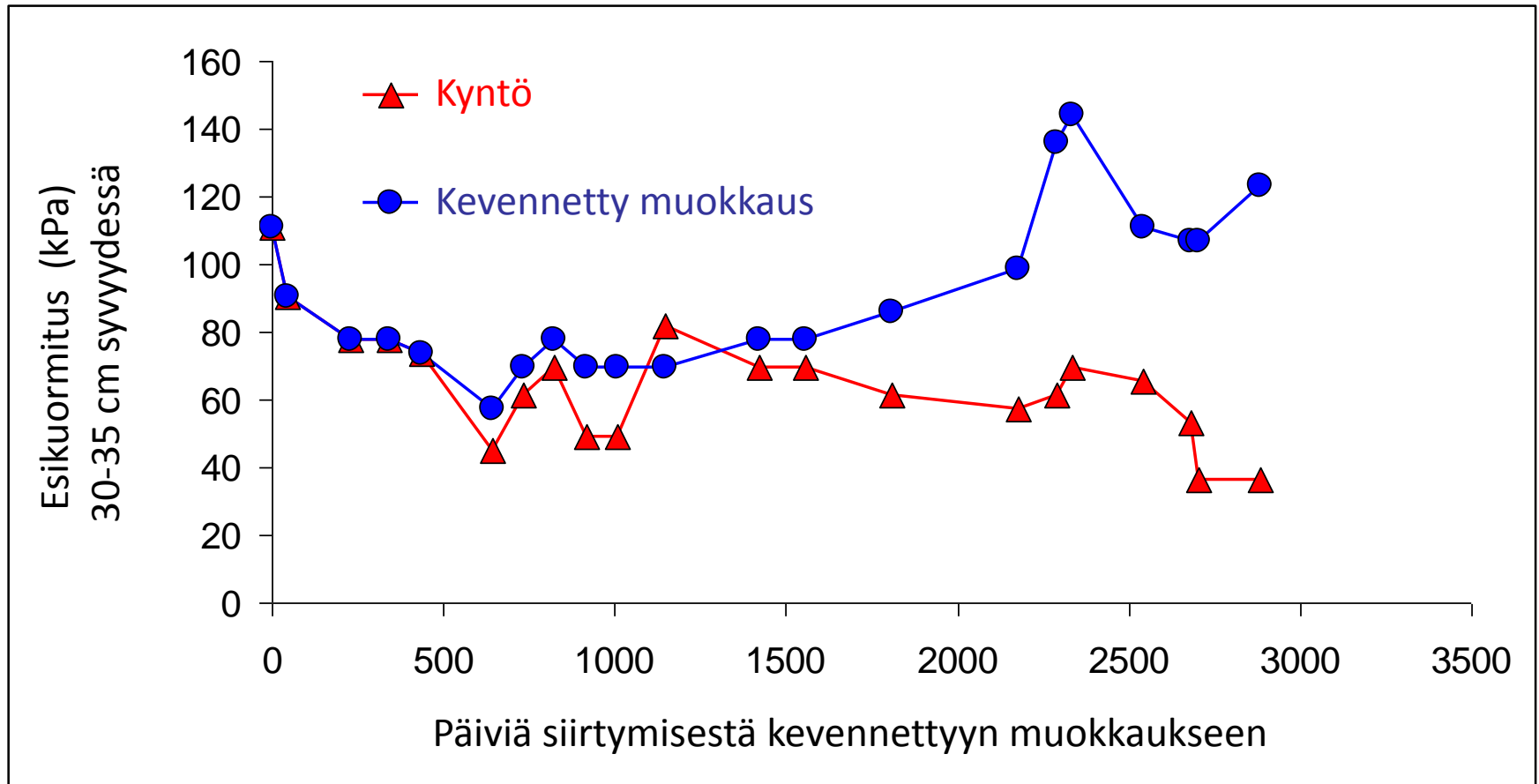


Maan rakenne suorakylvö ja kyntölohkoilla

Oberacker kokeessa

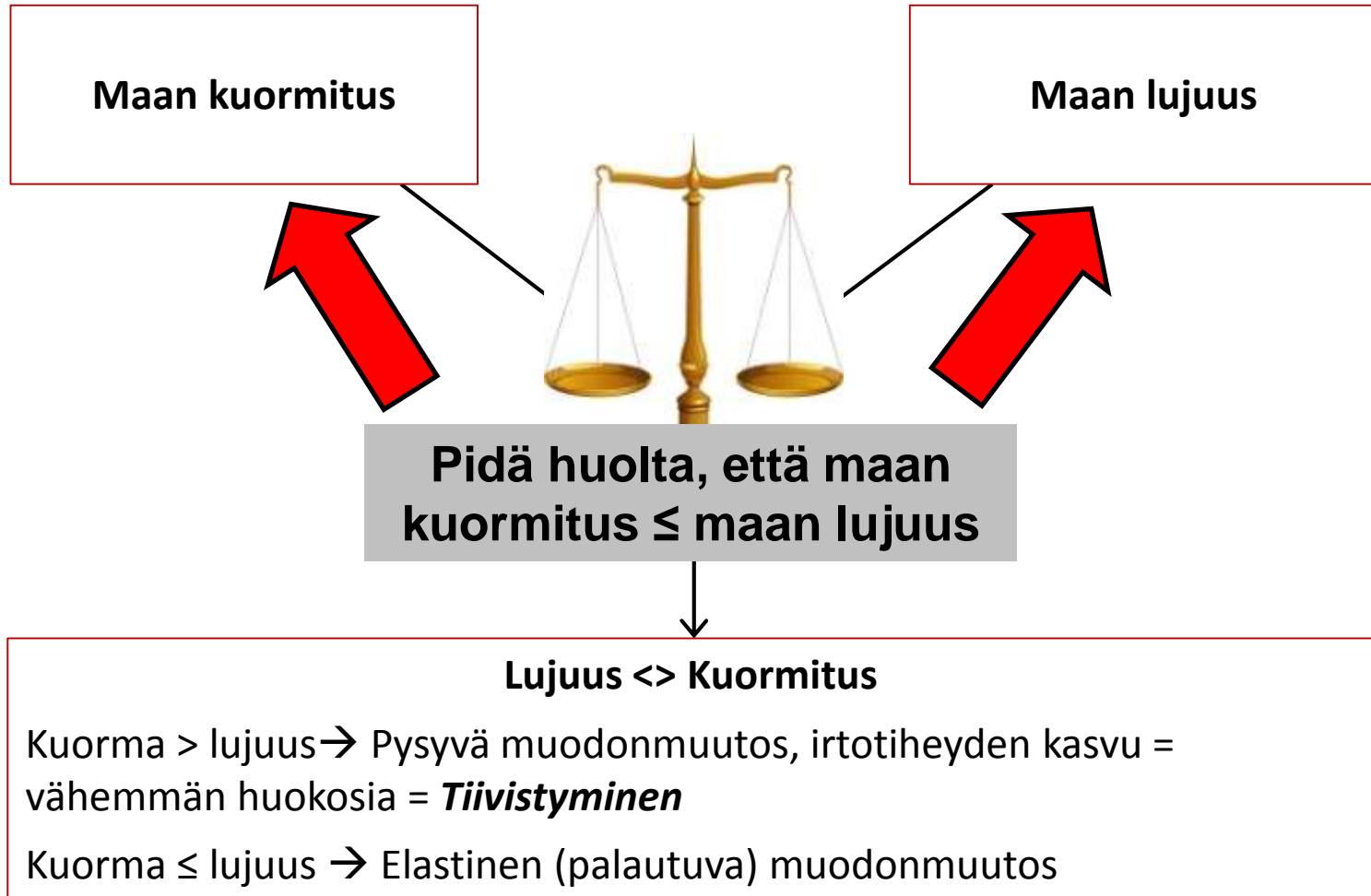


Kuinka maan kuormituskestävyyttä voi lisätä? Pitkällä aikavälillä (vuosia tai vuosikymmeniä!): luo hyvä rakenne, juuria, lieroja ...



Horn, 2004. Time dependence of soil mechanical properties and pore functions for arable soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68, 1131-1137.

Kuinka voidaan vähentää maan tiivistymistä?



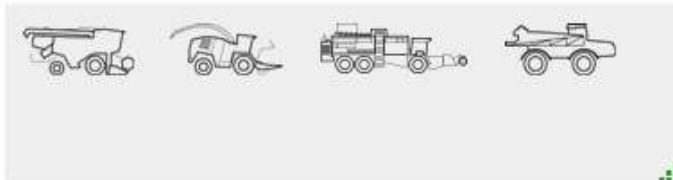
→ Machine → Soil → See results

1. Select machine ?

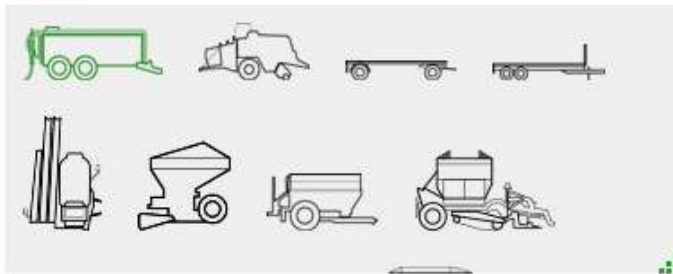
Tractor



Self-propelled

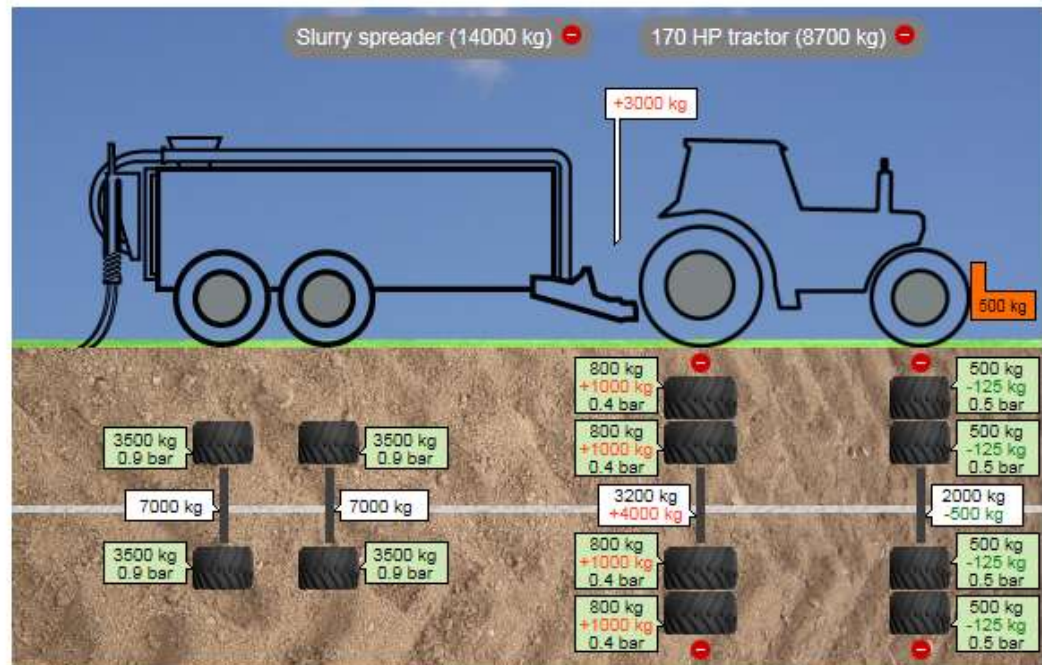


Trailer



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

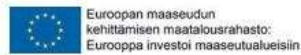
■ Tyre inflation pressure OK
■ Tyre inflation pressure to low
■ Tyre inflation pressure to high

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