

Maan herkkyyys tiivistymiselle ja maan muokkaus

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

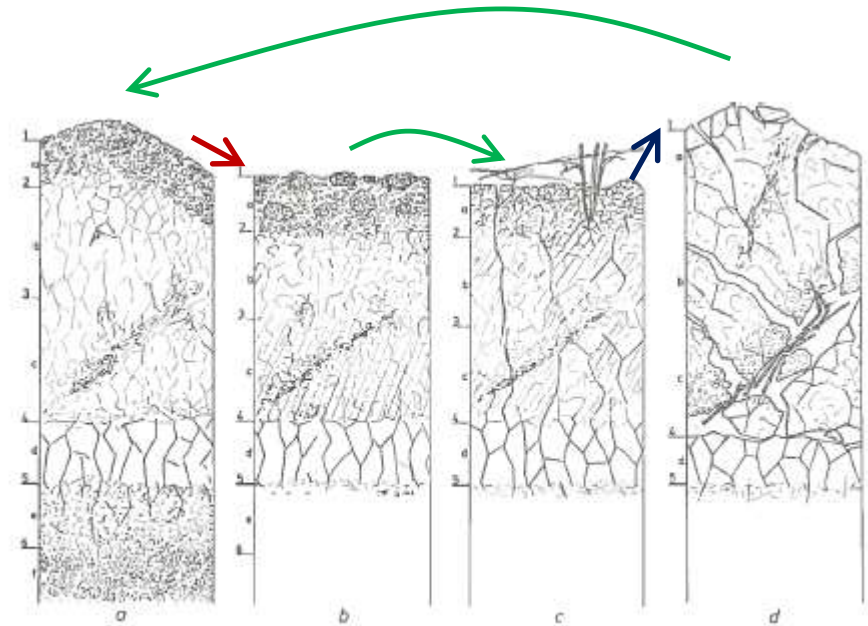
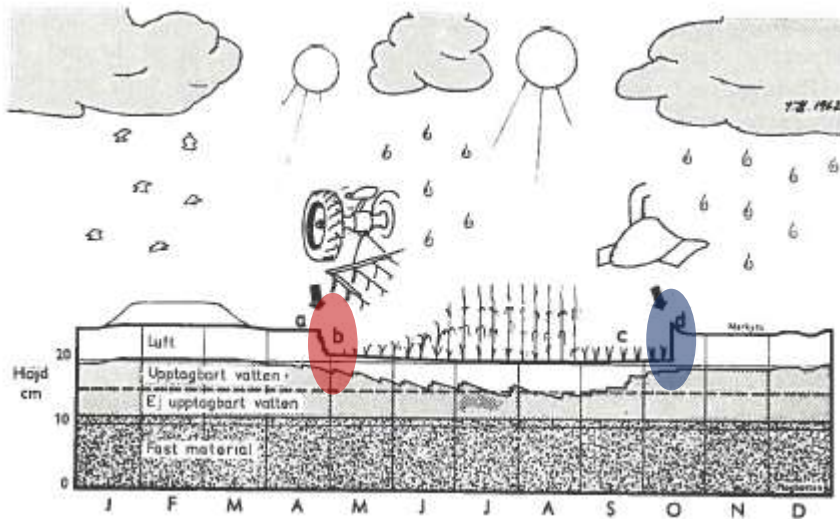
Turku 17.11.2016



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Department of Soil and Environment

Maan muokkaus ja tiivistyminen ohjaavat maan rakenteen dynamiikkaa



Tiivistymisellä ja **muokkauksella** on suurin vaikutus ruokamultakerroksen ominaisuuksiin karkealla tasolla (kerrosten syvyys, huokostilavuus), mutta **luonnollisilla prosesseilla** on huomattava vaikutus maan rakenteeseen huokosten mittakaavassa.

From: Andersson & Håkansson, 1966. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. XVI Strukturodynamiken i matjorden. En fältstudie. Grundförbättring 1966:3, 191-228.

Maan rakenne: mitä se on ja miksi se on tärkeää?

Maan rakenteen ominaisuuksia (Kay, 1990, Adv. Soil Sci. 12):

- Muoto: maahuokosten ja rakeiden järjestys
- Vakaus: kyky kestää kuormitusta
- Palautuvuus: kyky palautua kuormituksesta

Maan rakenne:

- Muokkaa maan vesitaloutta (veden pidätys, veden johtokyky) ja kaasujen kulkeutuvuutta maassa
- Ohjaa juuriston kasvun ja maaeläinten kokemaa mekaanista vastusta (lierot, kuoriaiset, muurahaiset, jne.)
- Tarjoaa fyysisen elinympäristön maaeliöille

Huono maan rakenne

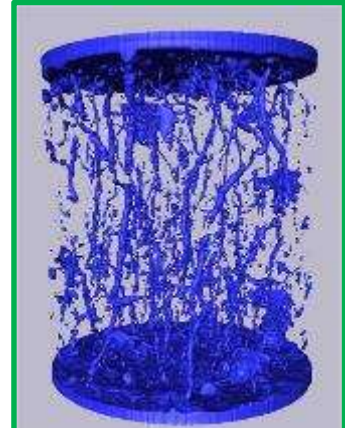


Hyvä maan rakenne



Kuvat: Bettina Marbot, Agridea, Switzerland

TT kuvia maan huokosista (Lamandé *et al.* 2013, Soil Sci. 178)



Verrokkimaa



Tiivistetty maa

Maan rakenteen muodostuminen ja heikentyminen

Aikajänne: sekunneista (esim. tiivistyminen, muokkaus) vuosikymmeniin (esim. tiivistyneen maan luontainen palautuminen)

Tukevat prosessit

Biologinen aktiivisuus / biofysikaaliset vuorovaikutukset: juuren ja maan vuorovaikutus, maaeliöt (esim. lierojen käyttävät)

Kastumis-kuivumis-syklit: ilmasto ja kasvin vedenotto

Heikentävät prosessit

Maan tiivistyminen: f (maa ja kuormitus)

Eroosio: vesi- ja tuulieroosio

Prosessit, jotka voivat olla tukevia tai heikentäviä, riippuen maan lähtötilasta

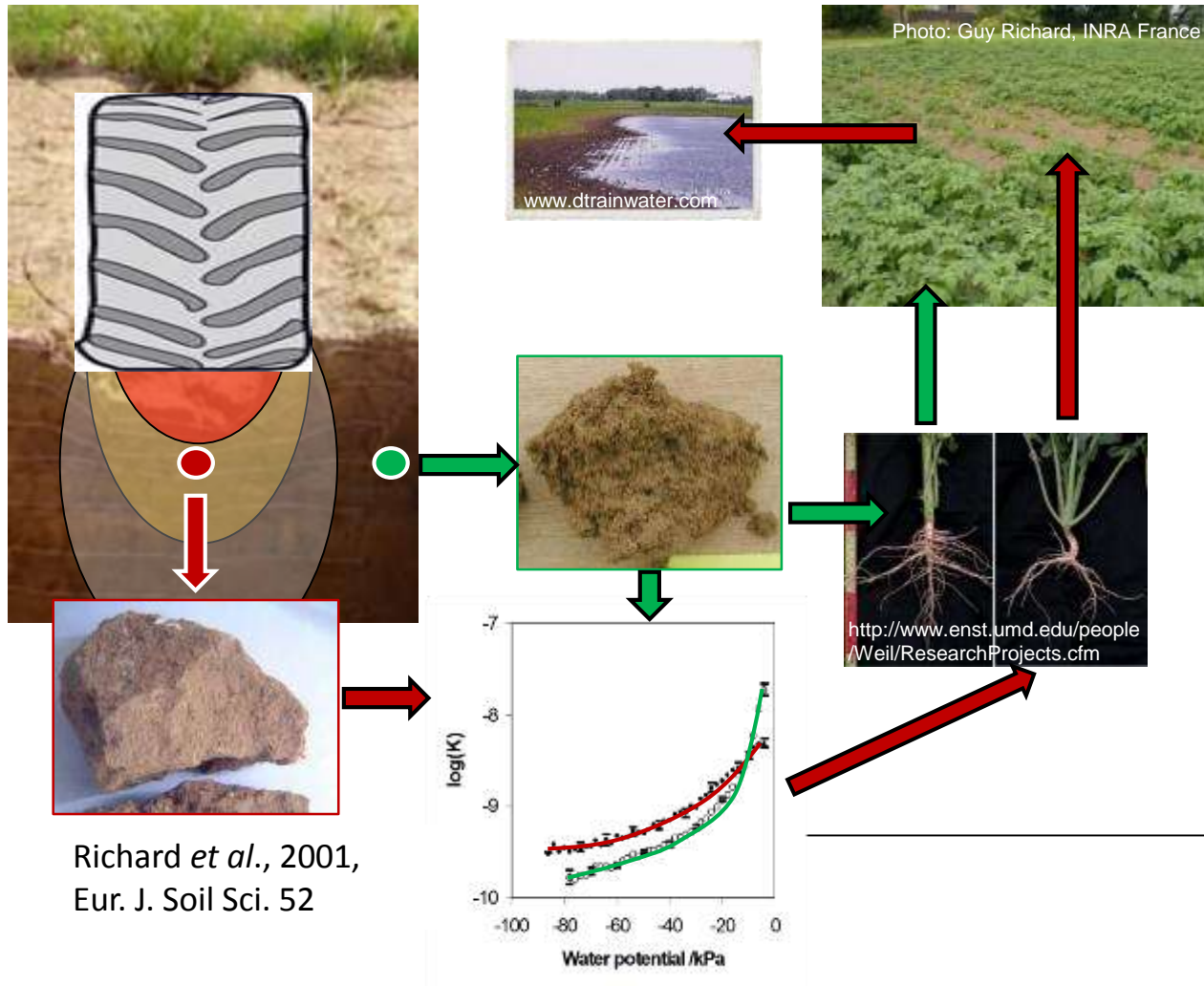
Maan muokkaus: maan murustuminen = f (maan lähtökosteus, ...)

Jäätyminen ja sulaminen (rouste, routa): löysää vai tiivistää maata?

Maan tiivistyminen: maan kuormituksesta kasvien kuormitukseen ja ekosysteemipalveluiden heikkenemiseen

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

68 Mha $\approx 2 \times$ Suomen pinta-ala



Kehityskulkua:

Raskaat koneet (yli 10 t per pyörä)

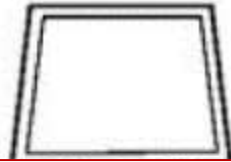


Tehokkaat koneet



→ Maan tiivistyminen kasvaa

Maan tiivistyminen: yksinkertainen malli

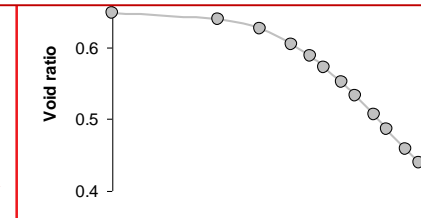


Tiivistymisriski on korkea, kun:

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

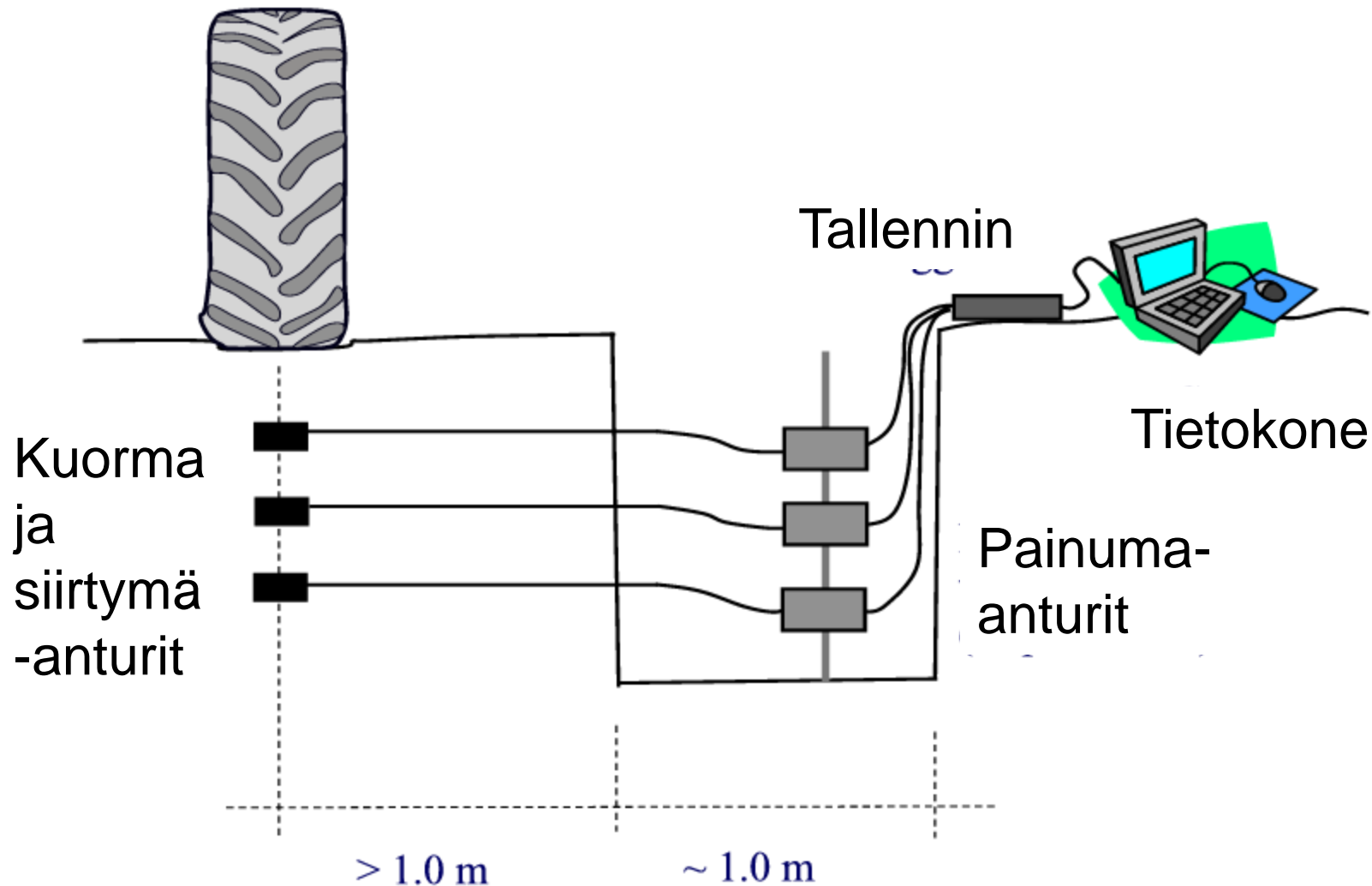
Rengaskuorman ja renkaan ilmanpaineen vaikutus kuormitukseen

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

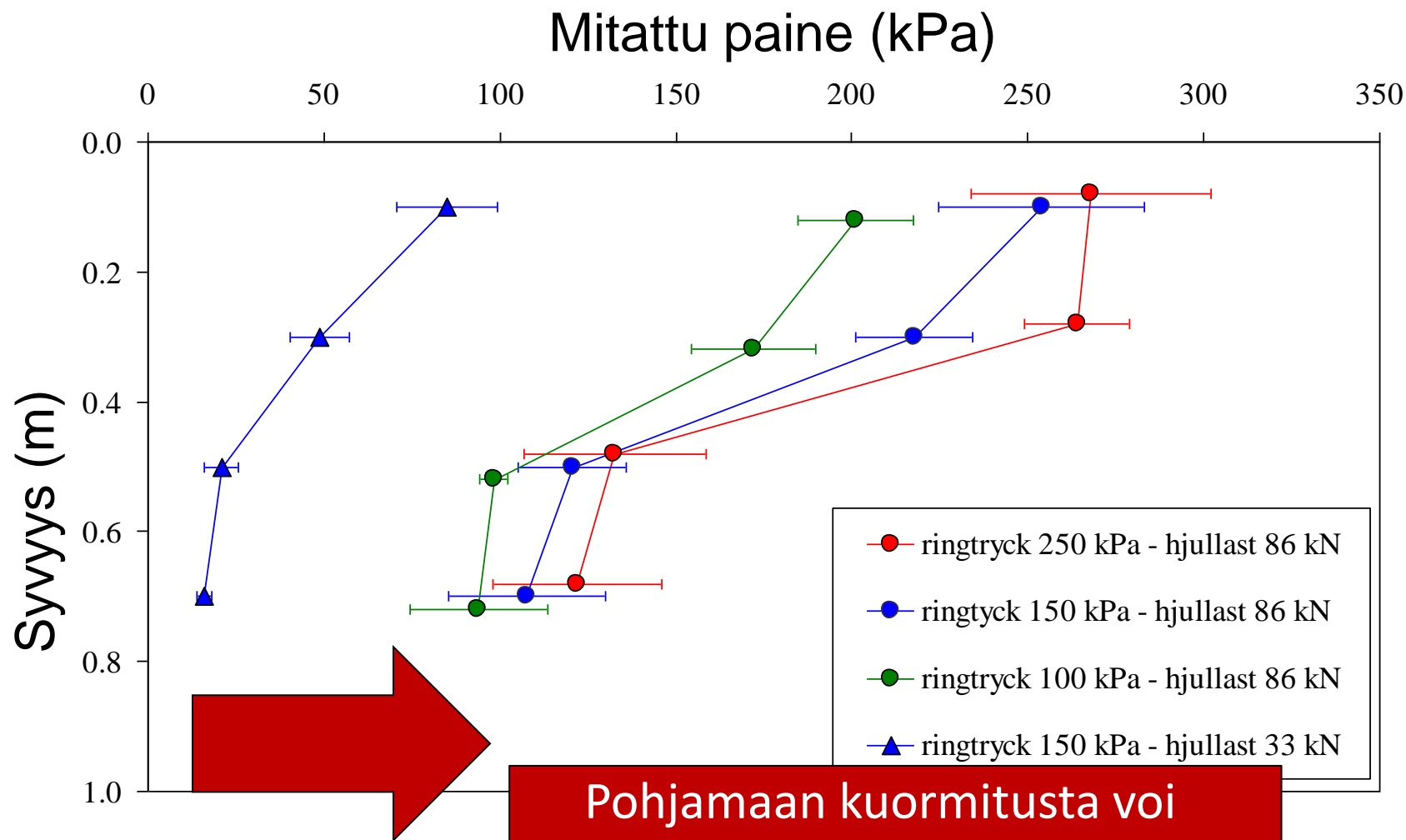
- Rengaskuorma:
 - Edessä: 8,6 tonnia
 - Takana: 3,3 tonnia
- Rengas: 1050/50 R32
- Renkaan ilmanpaine:
 - Edessä: 100 kPa, 150 kPa tai 250 kPa
 - Takana: 150 kPa



Koeasetelma



Mitattu pystysuuntainen kuormitus etu- ja takarenkaan kohdalla

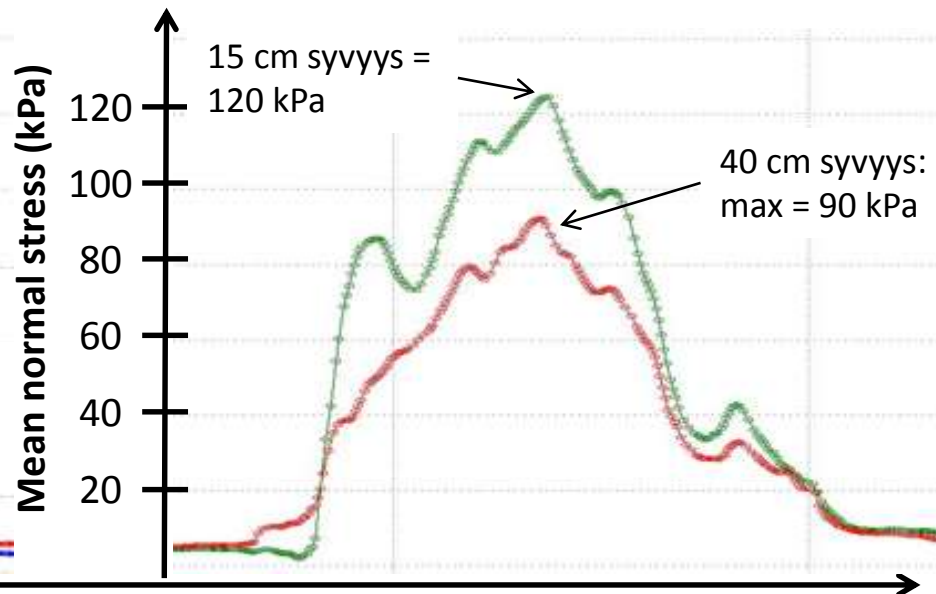
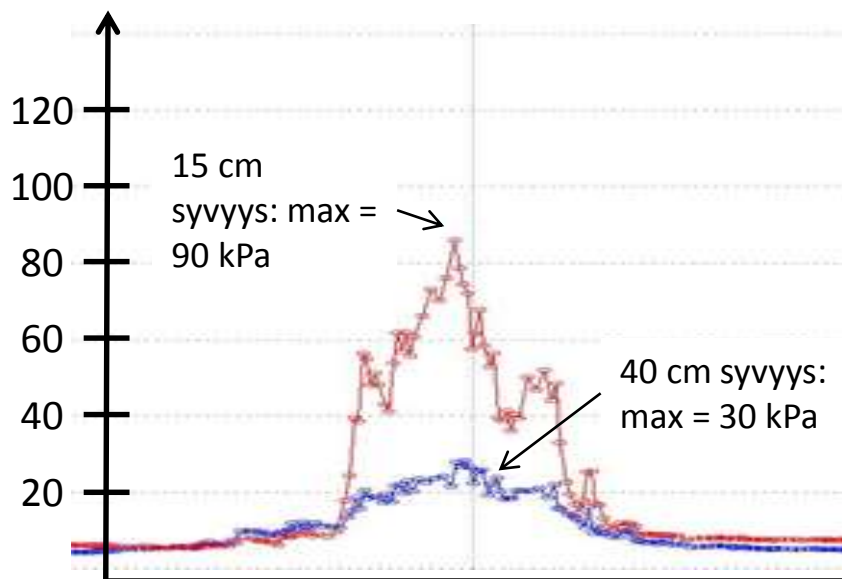


Pohjamaan kuormitusta voi vähentää vain pienentämällä rengaskuormaa

Keller & Arvidsson (2004) Technical wheels, tandem wheels and tyre in Research, 79(2), 191-206.

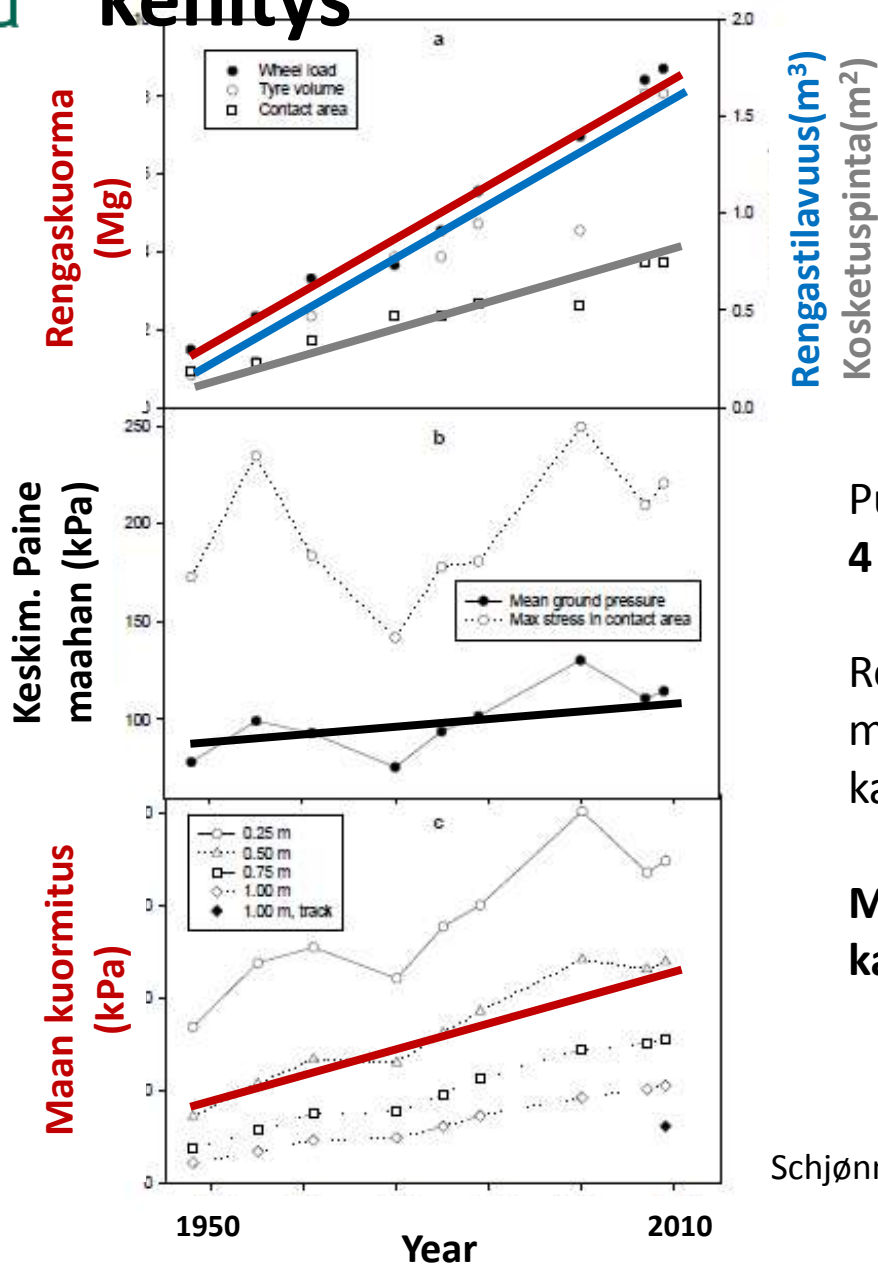
Effects of dual
tillage

Koneiden painon ja maan kuormituksen kehitys



Stettler, Keller & Arvidsson (2014) Julkaisematon.

Koneiden painon ja maan kuormituksen kehitys



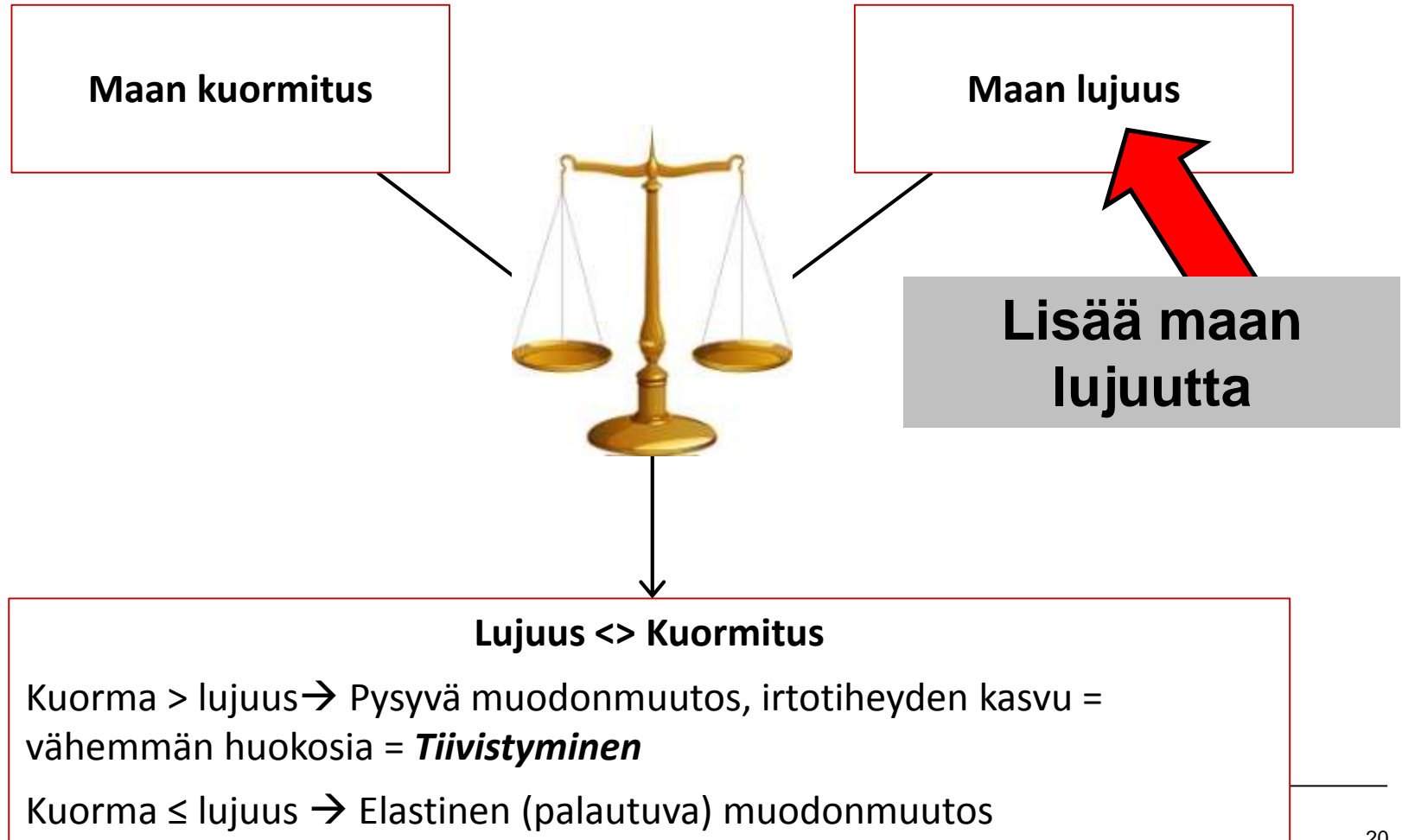
Tiivistelmä:

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)

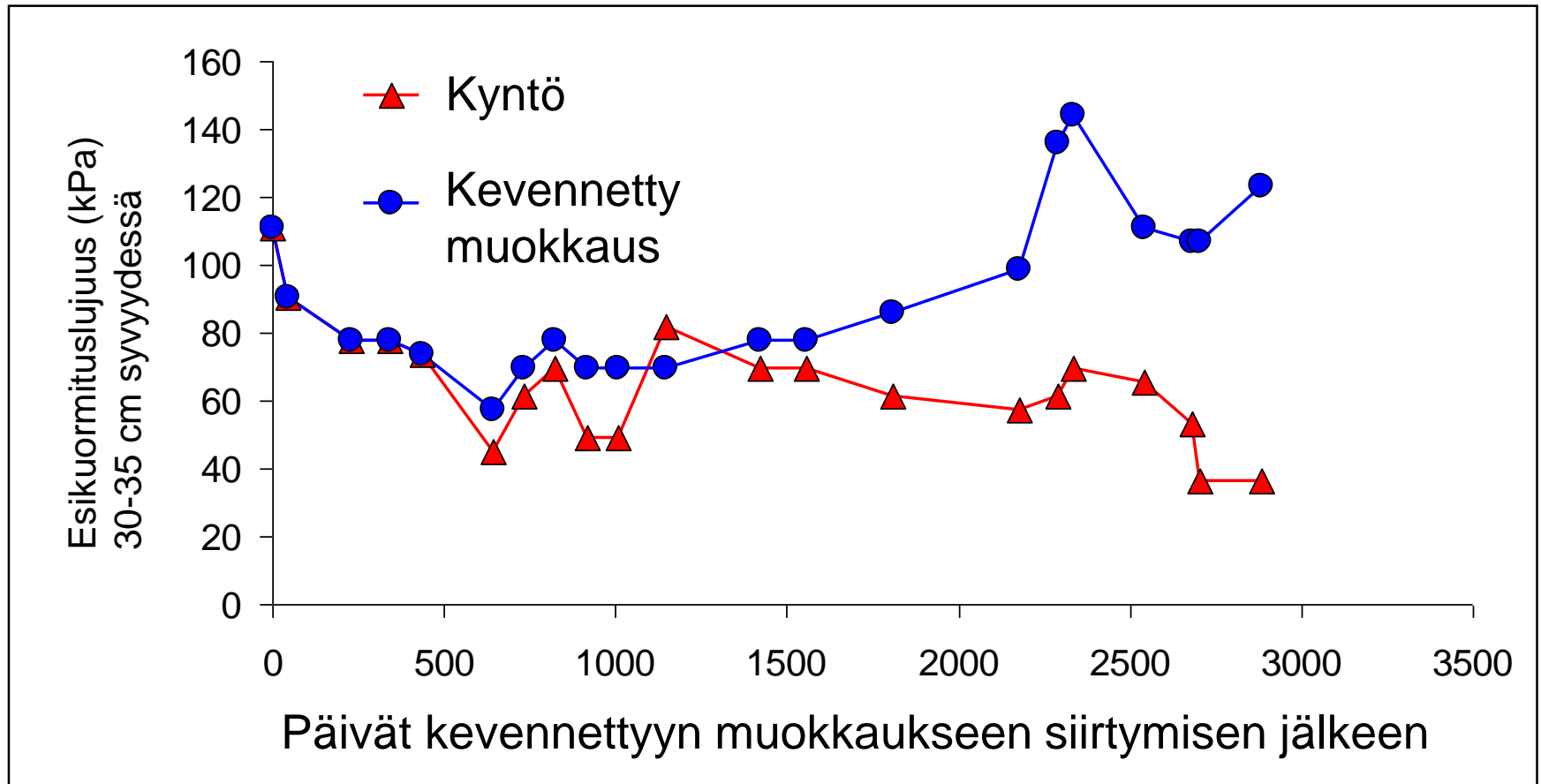
Maan kuormitus etenkin pohjamaassa on kaksinkertaistunut

Kuinka maan tiivistymisriskiä voi vähentää?



Kuinka voidaan lisätä maan lujuutta?

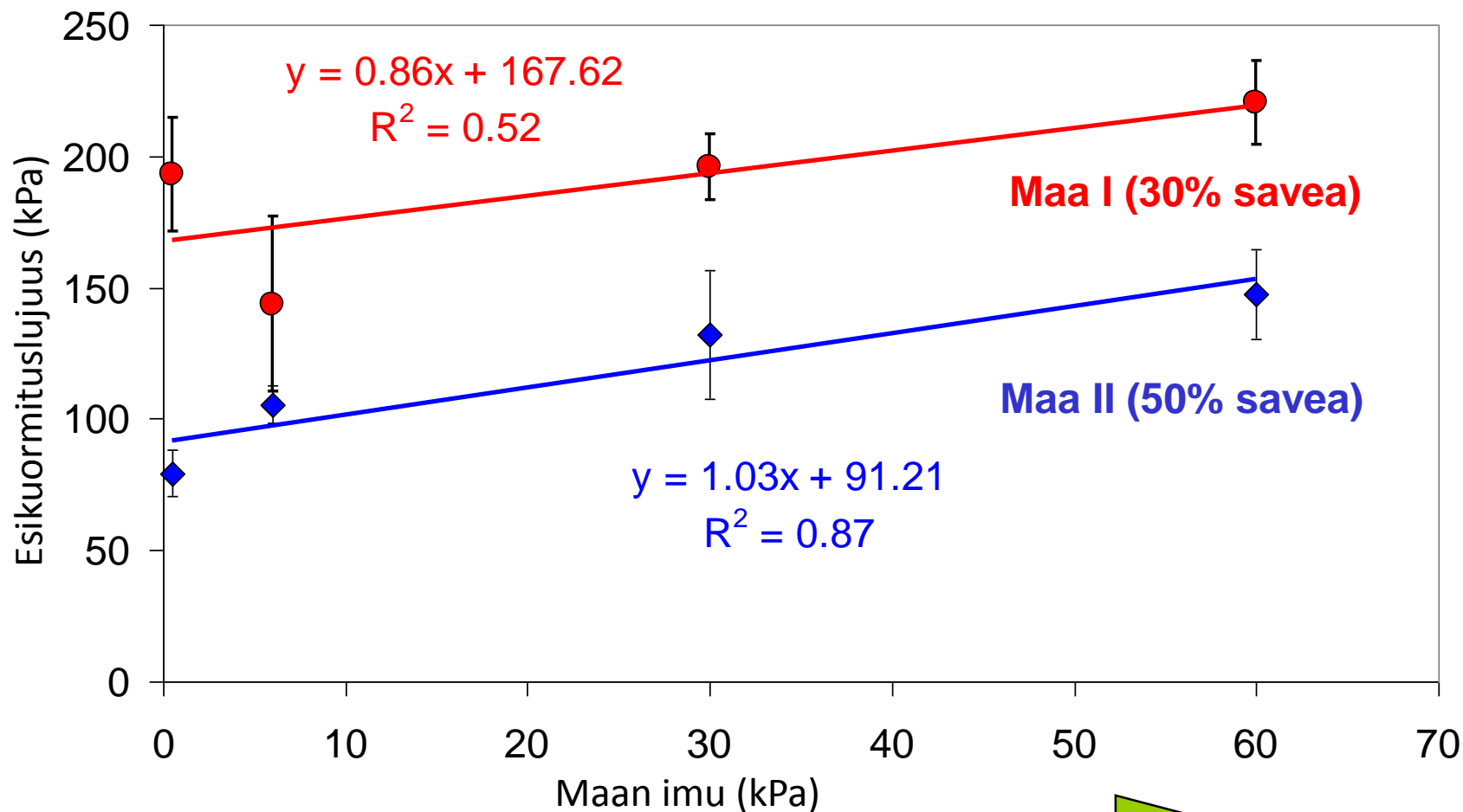
Pitkällä aikavälillä (vuosia tai vuosikymmeniä): kehitä maan rakennetta– multavuus, juuret , ...



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

Kuinka voidaan lisätä maan lujuutta?

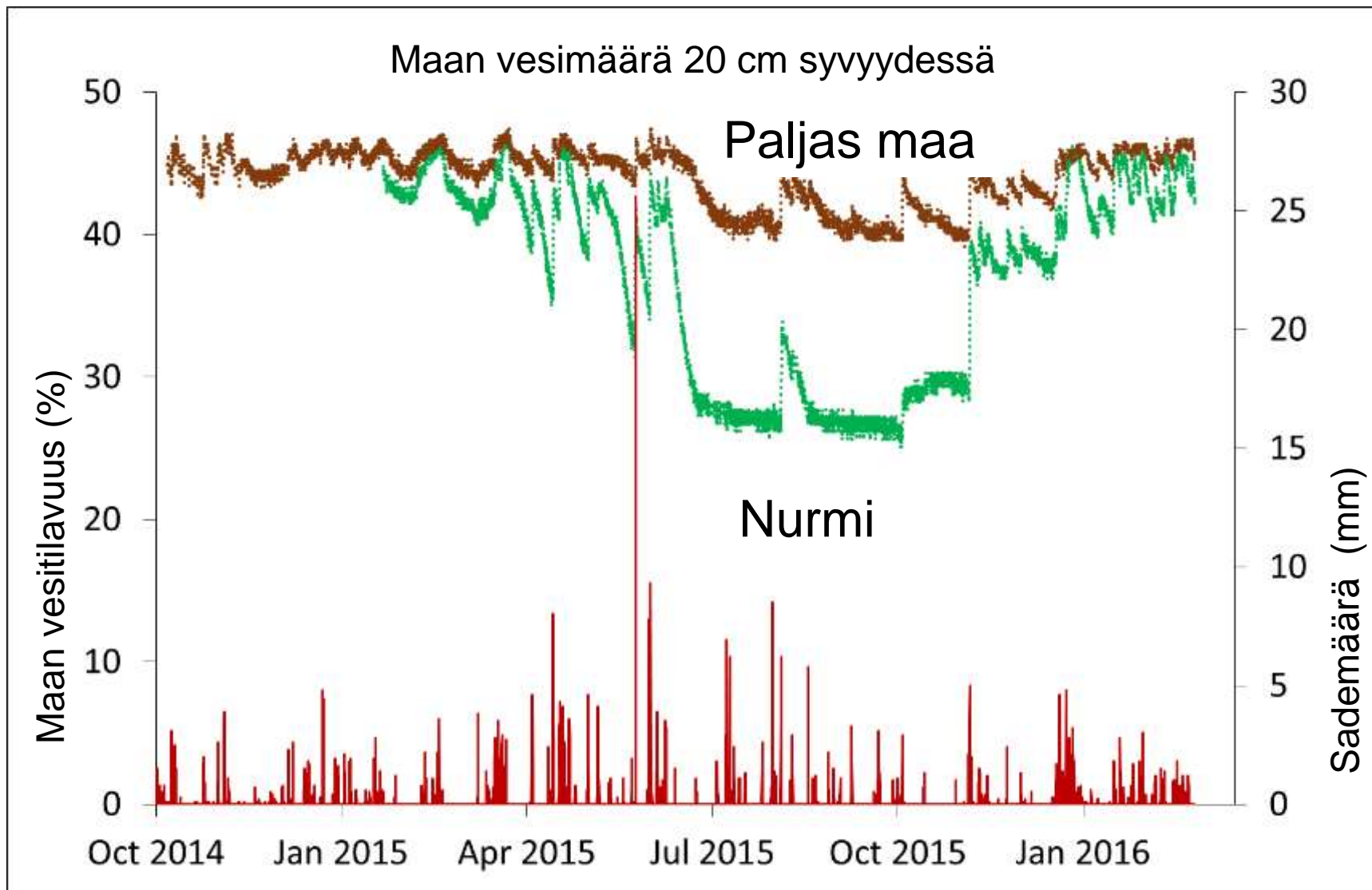
Lyhyellä aikavälillä: odota, että maa kuivuu...



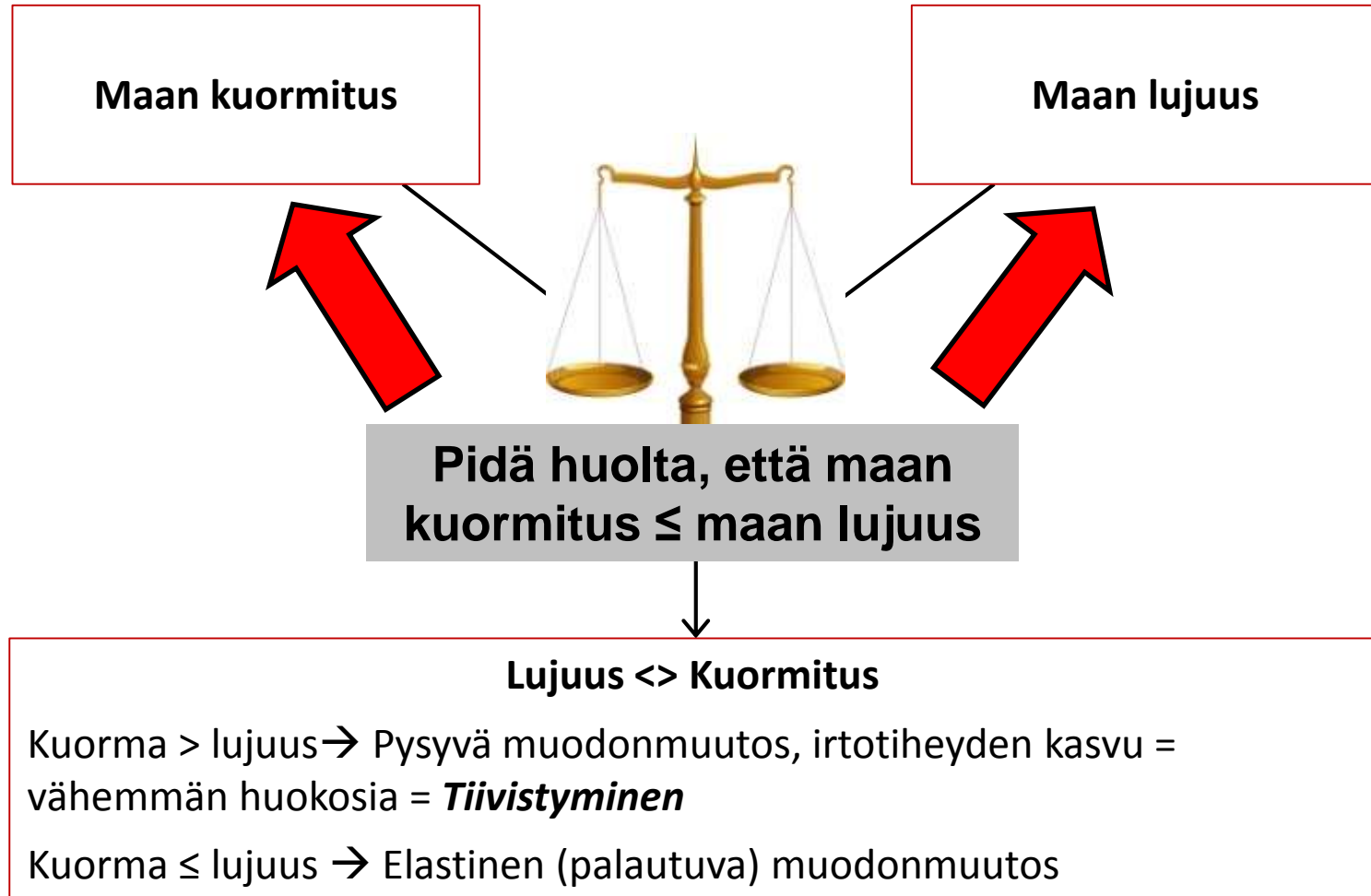
Kuivempaa

Ainoa tapa pitää maa kuivana on kasvattaa kasveja

(Esimerkki: hiuemaa (loam) Zürich, Sveitsi)



Kuinka voidaan vähentää maan tiivistymistä?



Tiivistymisen ehkäiseminen: esim..

www.terranimo.ch

Officially approved by the two Federal Offices for Agriculture and for the Environment

→ expert

→ light

terranimo.ch

Sign in | Register

D | F | E

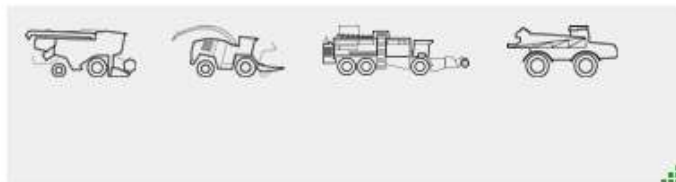
→ Machine → Soil → See results

1. Select machine ?

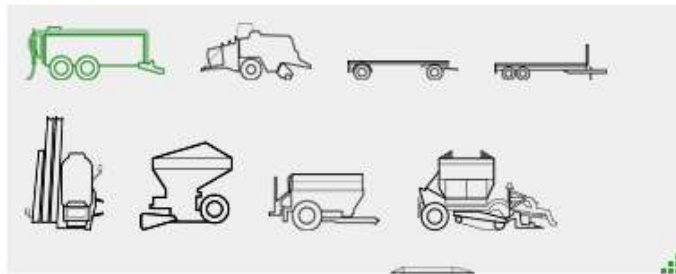
Tractor



Self-propelled

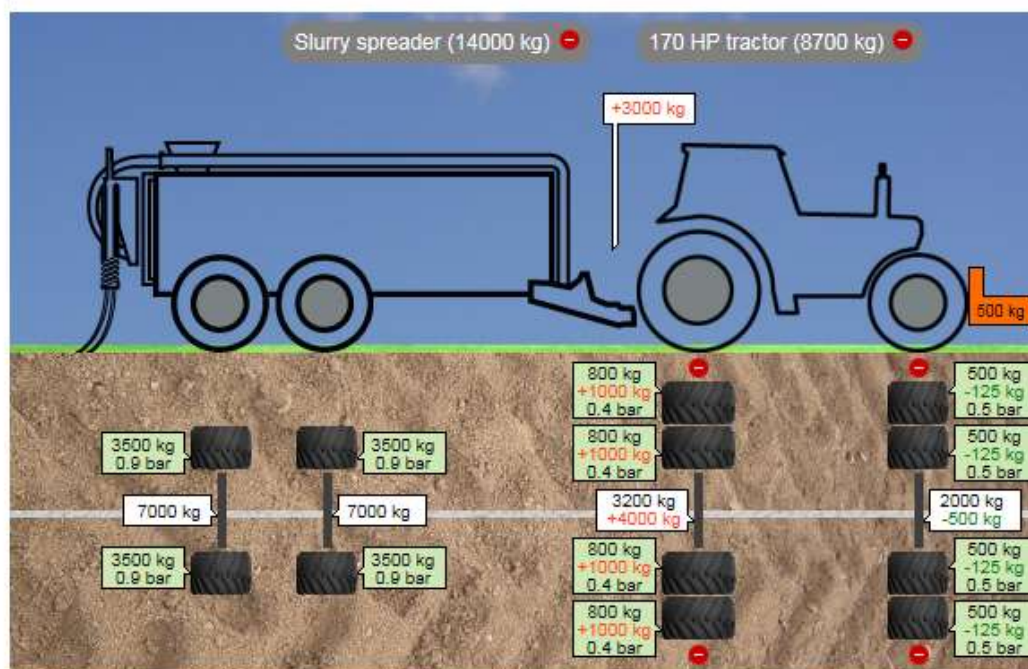


Trailer



☒ Calculation of load transmission

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



With load transmission

800 kg
+1000 kg
0.4 bar

Wheel load (empty)
Additional load
Tyre inflation pressure

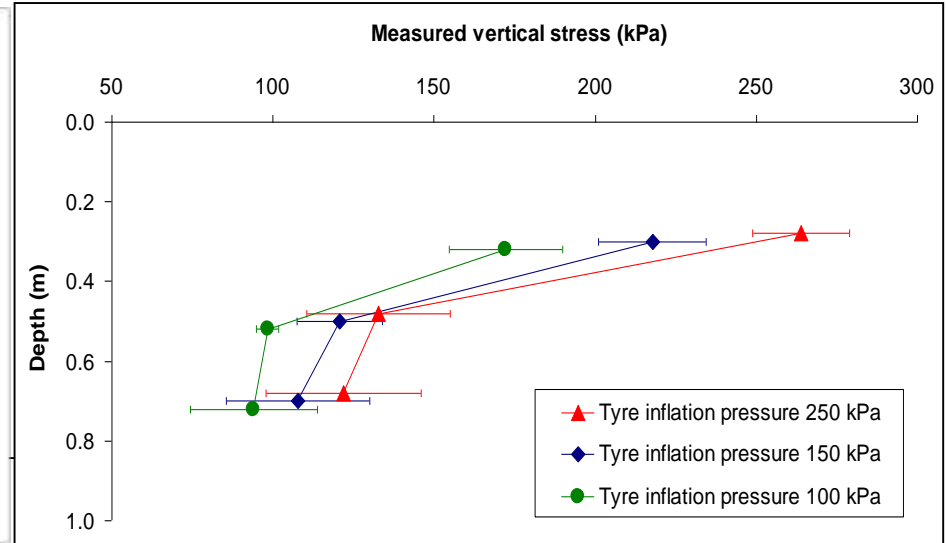
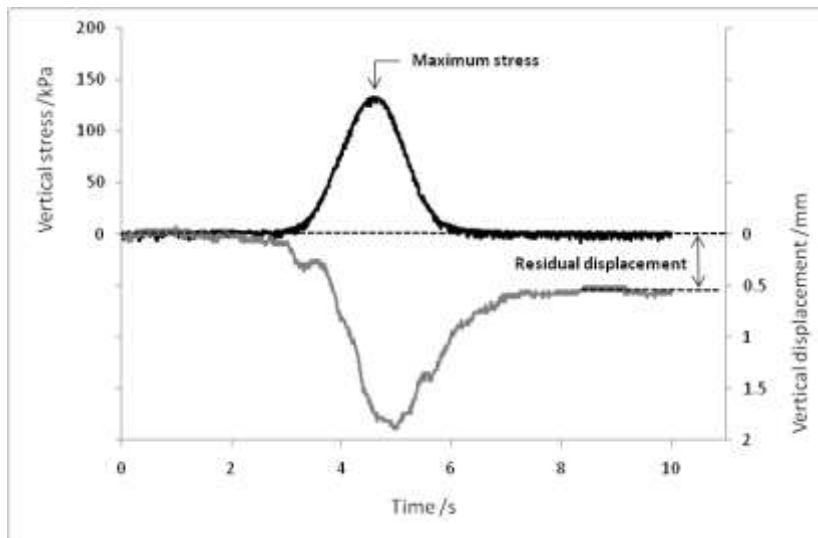
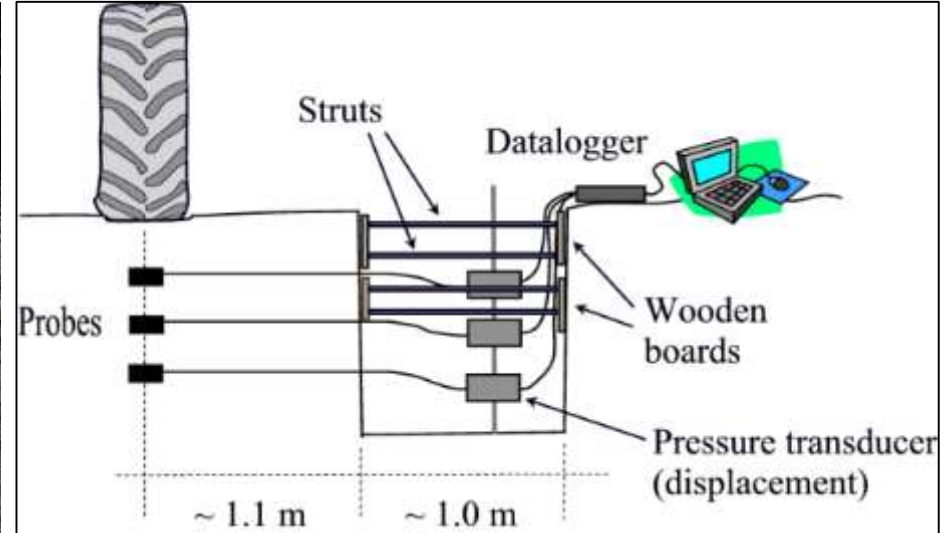
Without load transmission

800 kg
0.4 bar

Wheel load
Tyre inflation pressure

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

Pystykuorman ja siirtymän mittaus maassa

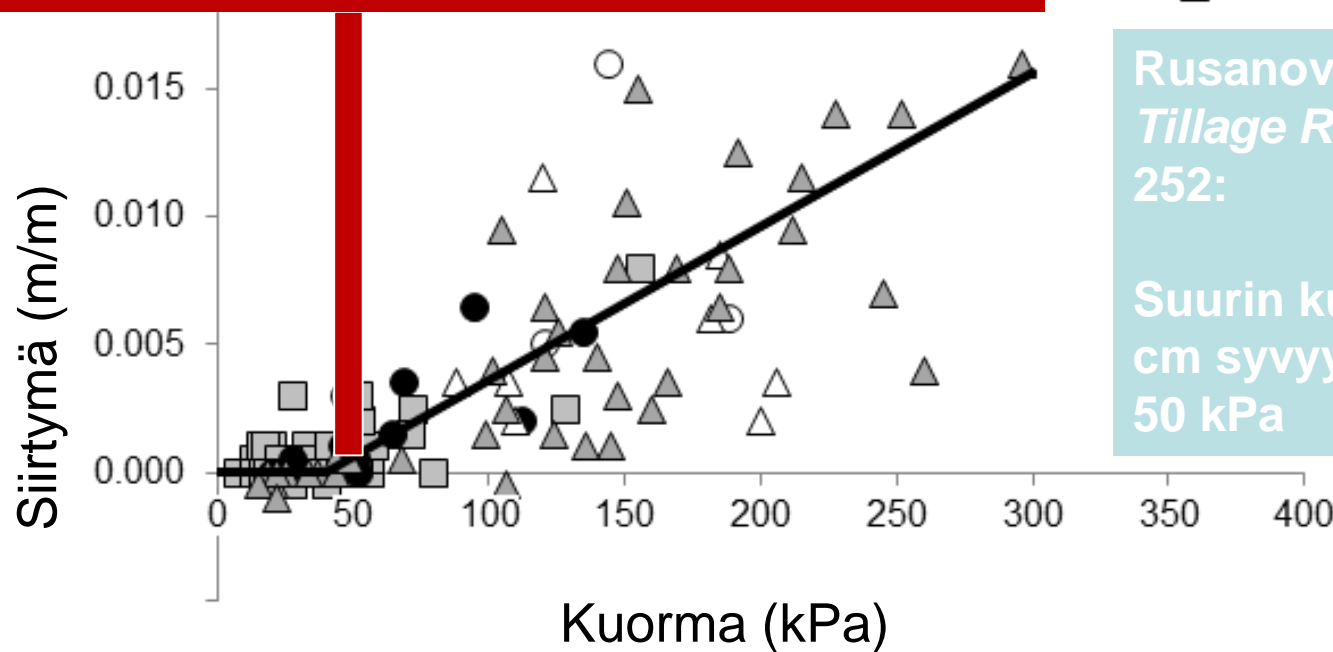


Method: Arvidsson & Andersson, 1997. Proc 14th Conf. ISTRO, Puławy PL.

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.)



Rusanov, 1994. *Soil Tillage Res.* 29, 249-252:

Suurin kuorma 50 cm syvyydessä: 25-50 kPa

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

Maan muokkautuvuus ja muokkausrajat

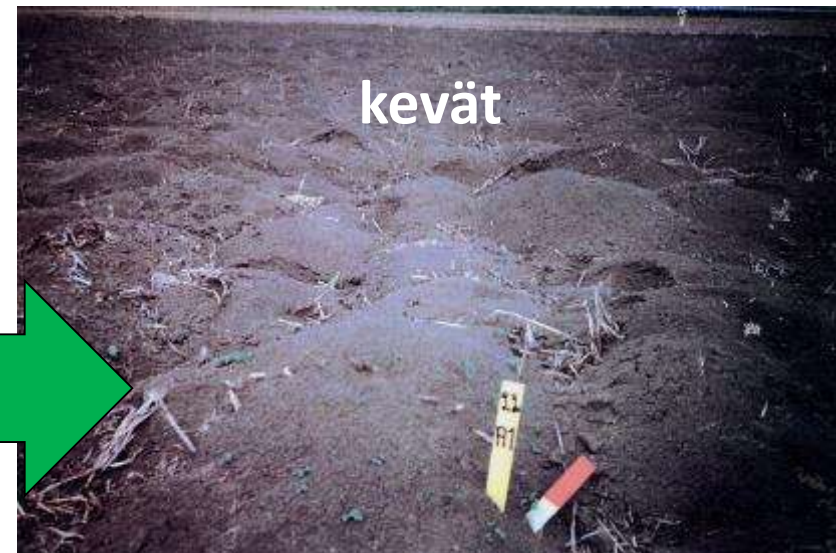
Maan muokkaus

Muokkauksella pyritään:

- Maan löyhentämiseen
- Maan murustamiseen
- Hyvään kylvöalustaan
- Rikkakasvien ja kasvitautien hallintaan
- Kasvijätteen ja lannan multaukseen



Muokkaus mahdollistaa luonnollisten prosessien maata murustavan vaikutuksen (kuivuminen-kastuminen, sulaminen-jäätyminen)



luonto

Maan kosteus muokkaushetkellä vaikuttaa paljon muokkaustulokseen



Kuva: Wibke Markgraf, CAU Kiel

Missä oloissa maa on murustuva (eli hajoaa pieniksi palasiksi)?

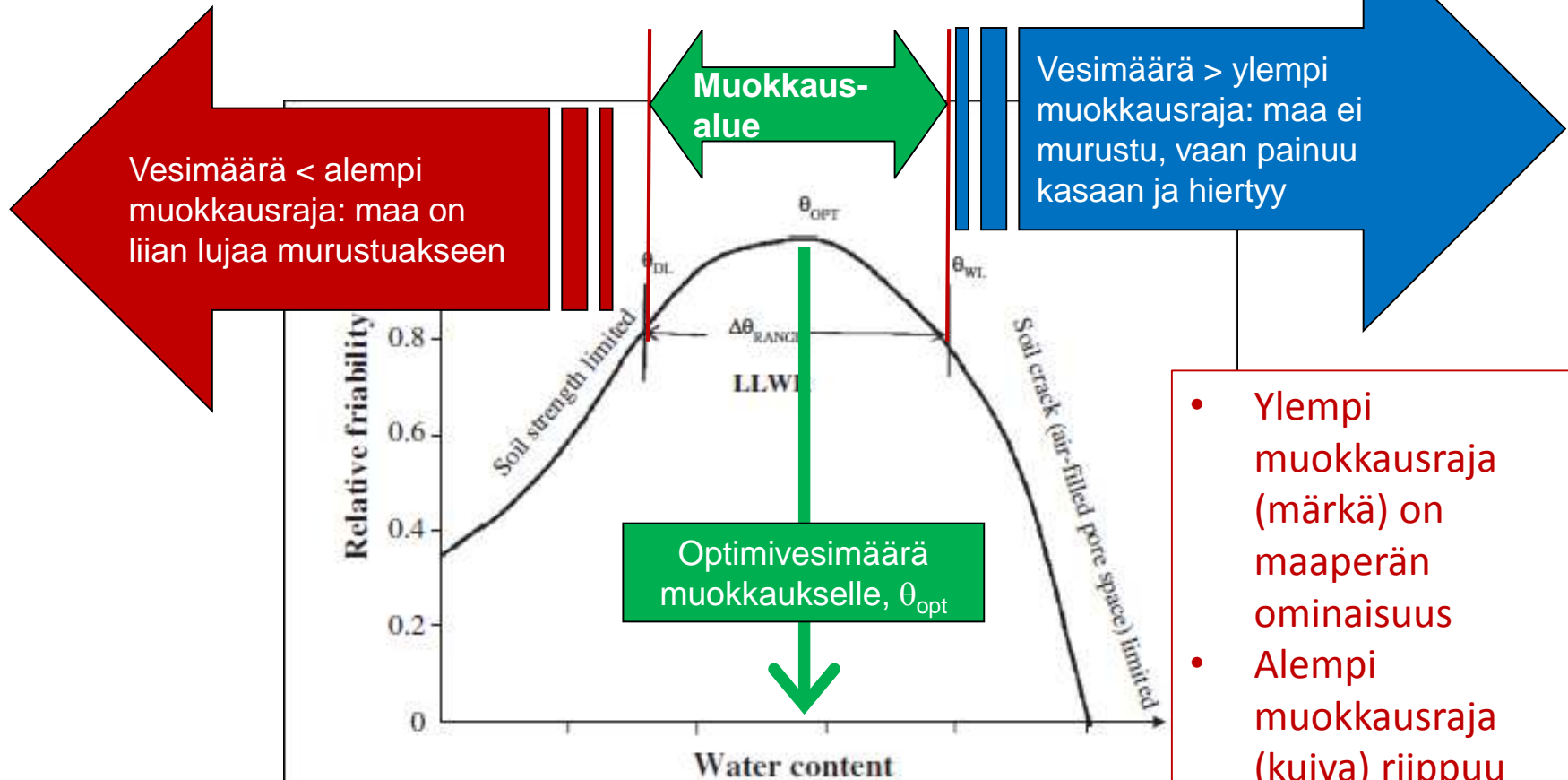
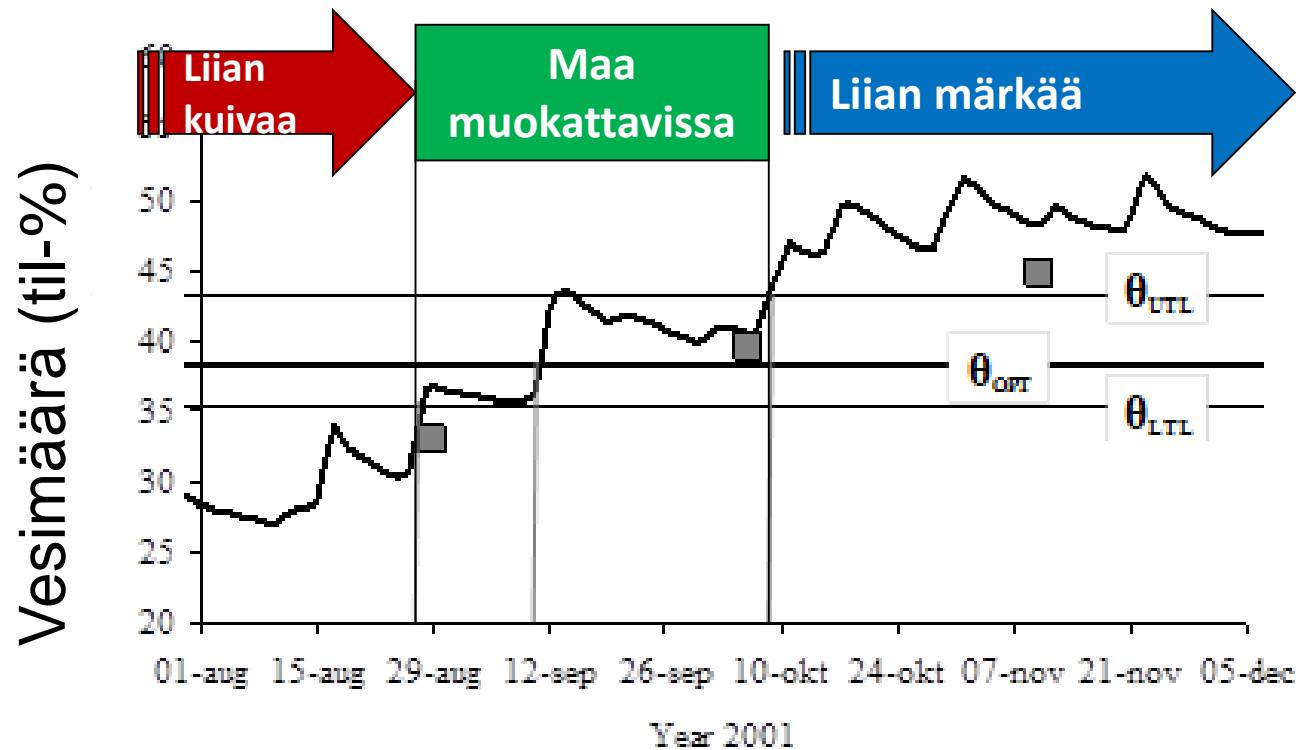


Fig. 2. Schematic illustration of the least limiting water range concept applied for friability. θ_{DL} = lower water content for tillage (= plastic limit), θ_{OPT} = optimal water content for tillage, θ_{WL} = upper water content for tillage.

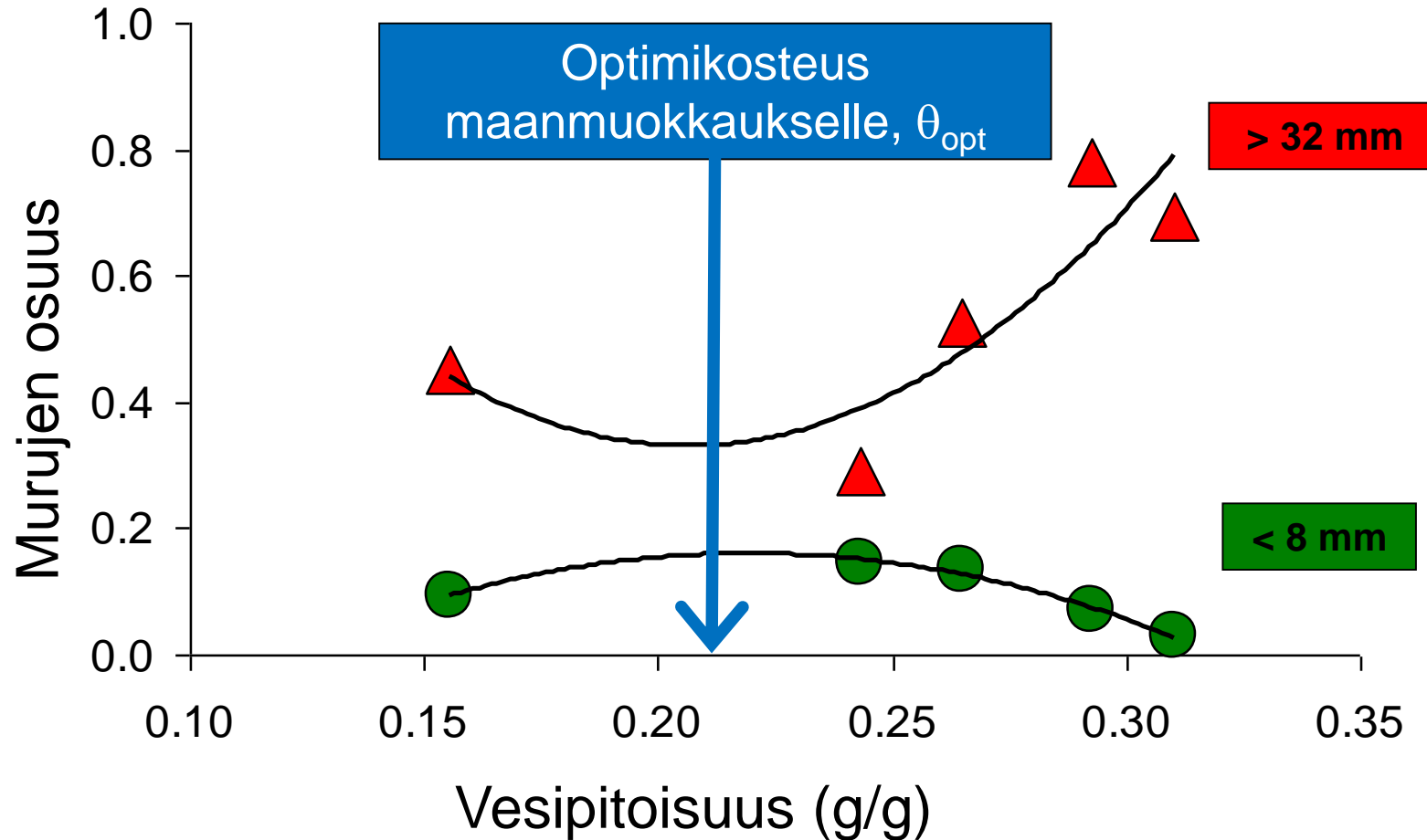
- Ylempi muokkausraja (märkä) on maaperän ominaisuus (Upper tillage limit (wet) is a soil property)
- Alempi muokkausraja (kuiva) riippuu käytetystä energiamäärästä (Lower tillage limit (dry) depends on the amount of energy used)

L.J. Munkholm (2011) Soil friability: A review of the concept, assessment and effects of soil properties and management. *Geoderma* 167-168, 236-246.

Muokkausrajoja voi tarkastella maan kastumisen myötä



Optimikosteus maan muokkaukselle

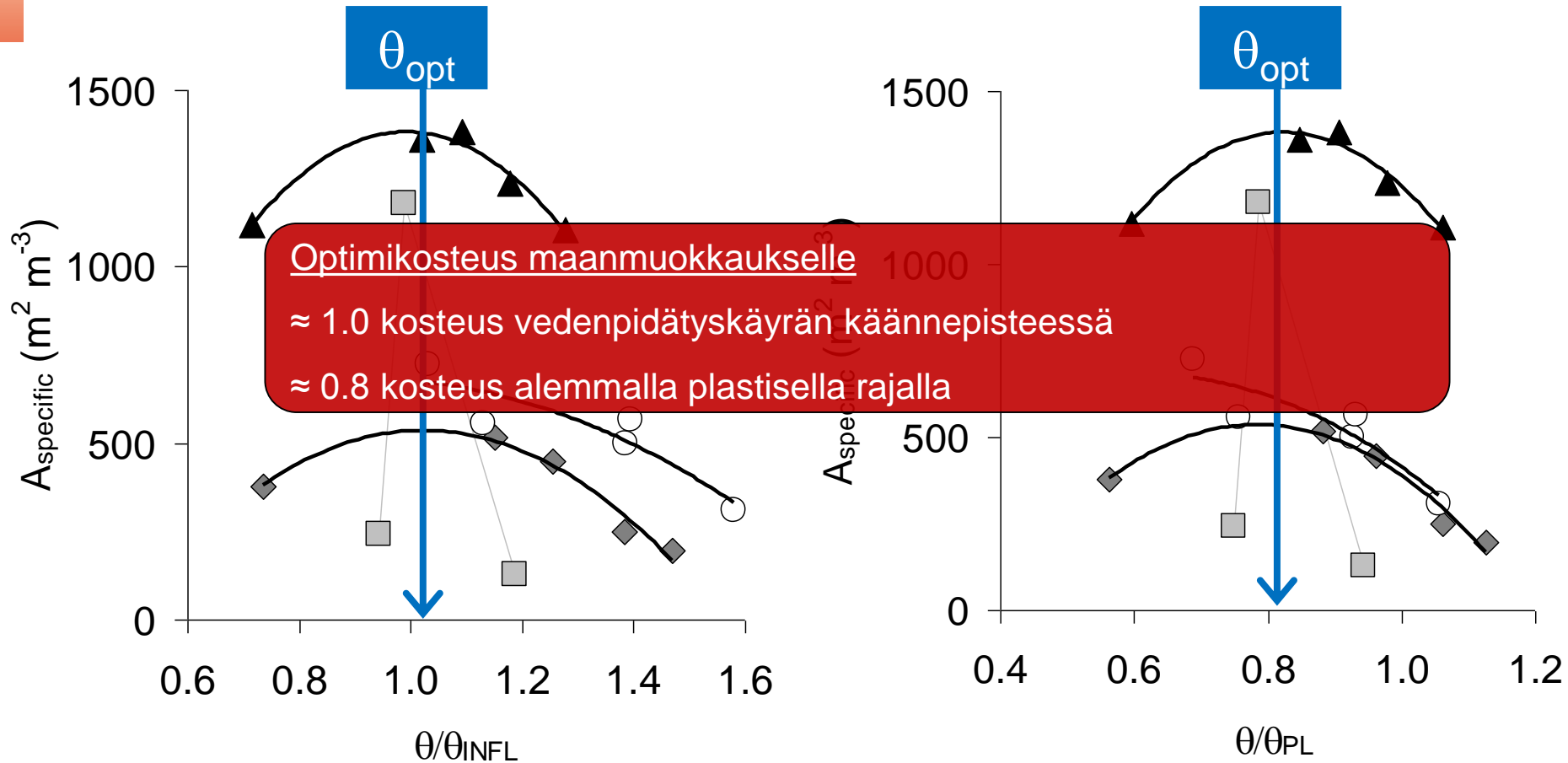


Keller T., Arvidsson J. & Dexter A.R. 2007. Soil structures produced by tillage as affected by soil water content and the physical quality of soil. *Soil & Tillage Research* 92(1-2), 45-52.

Mittaamme murujen massojen kokojakauman muokkauksen jälkeen



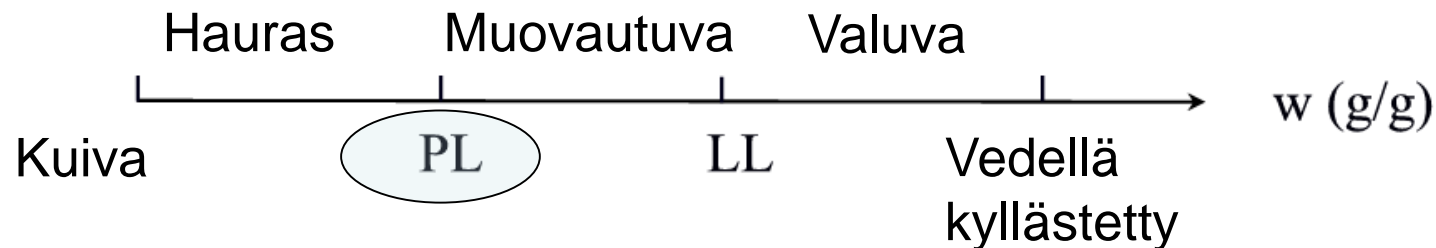
Optimikosteus maanmuokkaukselle



Maan muokkautuvuusrajat



Kuvat: Agridea



'Hauras' : maa halkeaa, kun sitä muokataan tai hierretään

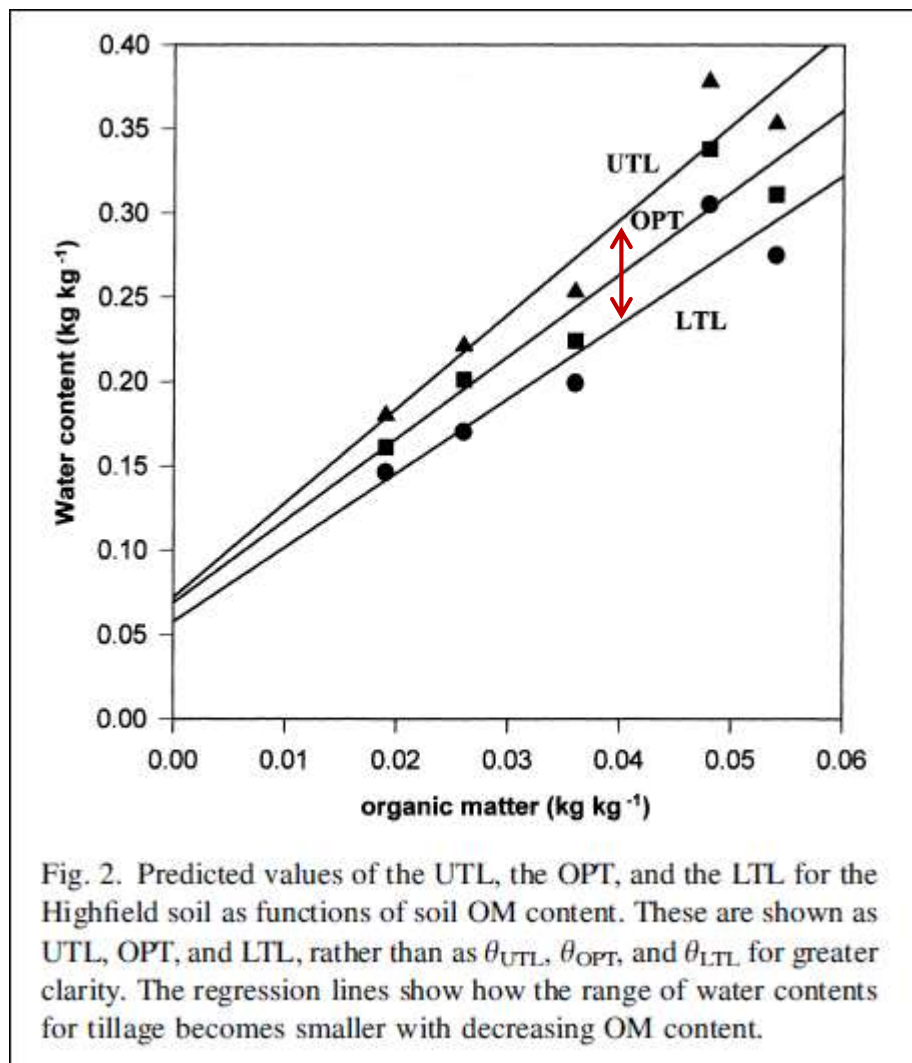
'Muovautuva' : maata voidaan muovata tai hiertää ilman halkeilua

'Valuva' : maa valuu oman painonsa vaikutuksesta

Optimikosteus maanmuokkaukselle $\approx 0.8 \times$ kosteus muovautuvuusrajalla (PL)

Yläraja (märkeä) muokkaukselle \equiv plastinen muovautuvuusraja(PL)

Muokattavuusalue (vesipitoisuudet ylemmän ja alemman rajan välillä) riippuu maan multavuudesta



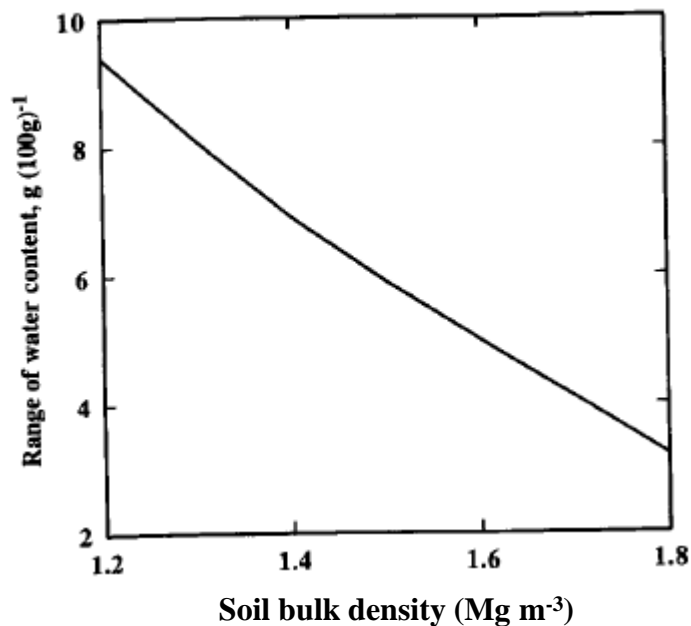
Korkea multavuus lisää muokattavuusaluetta

Dexter & Bird, 2001, *Soil Tillage Res.* 57, 203-212.

Muokattavuusalue (kosteuspitoisuudet ylemmän ja alemman rajan välissä) ja maan tiivistyminen

Muokattavuusalue on suurempi hyvärakenteiselle maalle, ja on hyvin kapea heikkorakenteisella maalla (“Sunnuntai-savet” = maa on märkä pitkään, olisi muokattavissa sunnuntaina ja maanantaina se on liian kuiva)

Dexter A.R. 2002. *Advances GeoEcology*, 57-69.



Yleisesti: mitä “parempi” maan laatu, sitä laajempi muokattavuusalue, eli sopivien olosuhteiden “ikkuna”

Muokattavuusalue (vesipitoisuudet ylemmän ja alemman rajan välillä) ja maan tiivistyminen

Muokattavuusalue on suurempi maille, joissa on hyvä rakenne. Huonorakenteisilla mailla muokattavuusalue on hyvin kapea (“Sunday soils” \leftrightarrow maa on märkää pitkään, se on muokattavissa sunnuntaina ja maanantaina on jo liian kuivaa...)

Yleisesti sanoen: mitä “parempi” maan laatu, sitä suurempi on muokattavuusalue (muokkausolosuhteiden hyvä “ikkuna”)

Tiivistyminen:

- Maa voi tiivistyä muutamassa sekunnissa, mutta palautumisessa menee vuosikymmeniä
- Tavoite: maan kuormitus < maan lujuus
- Pohjamaan kuorma riippuu rengaskuormasta
- Päätöksentekoon on työkaluja (esim. www.terranimmo.ch)

Maan muokkaus:

- Maan muokkaukselle on optimikosteus
- Optimi on hieman kuivempi kuin alempi muovattavuusraja
- Muokkaus liian kosteissa oloissa vahingoittaa maan rakennetta
- Muokkaus liian kuivissa oloissa vaatii paljon energiaa
- Muokkauksen “olosuhdeikkuna” riippuu maan laadusta: heikkorakenteinen maa -> hyvin kapea ikkuna

- ❖ 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)