



Optimaalinen kosteus muokkaukselle ja eri muokkausaineiden vetovoiman tarve

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

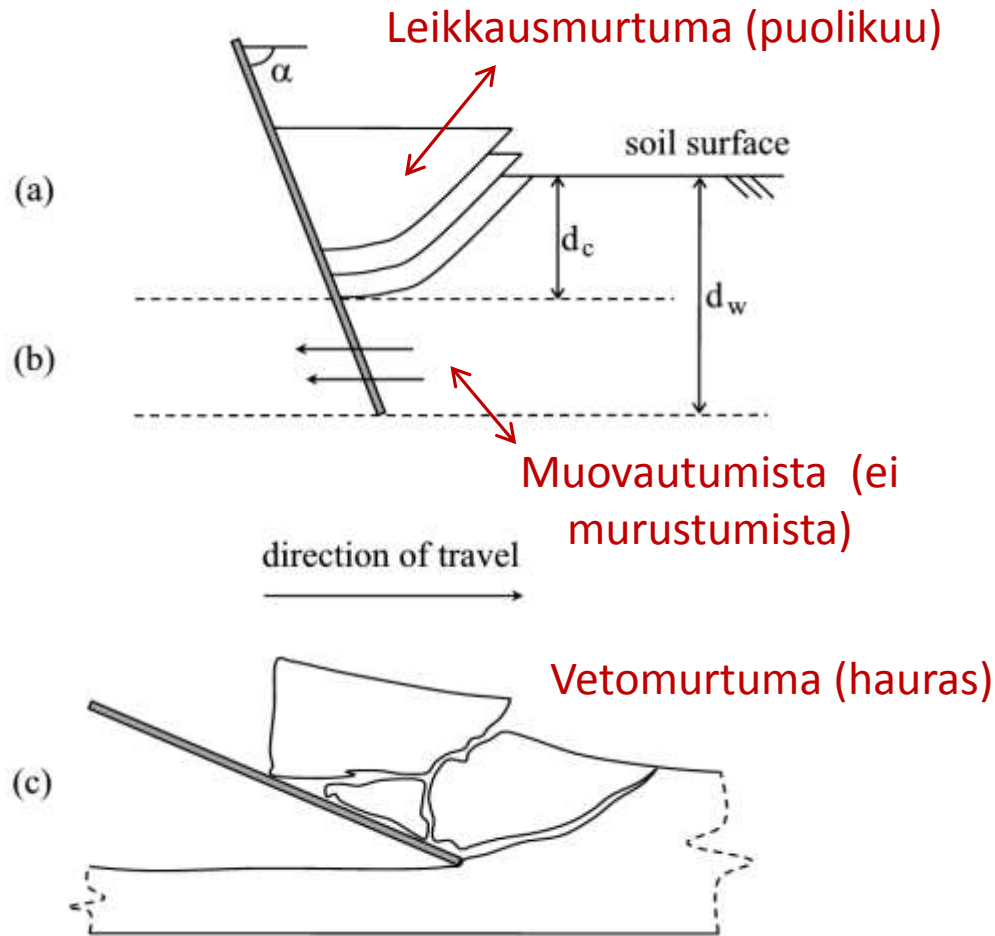
Paimio 18.11.2016



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Department of Soil and Environment

Maan murtuminen muokatessa

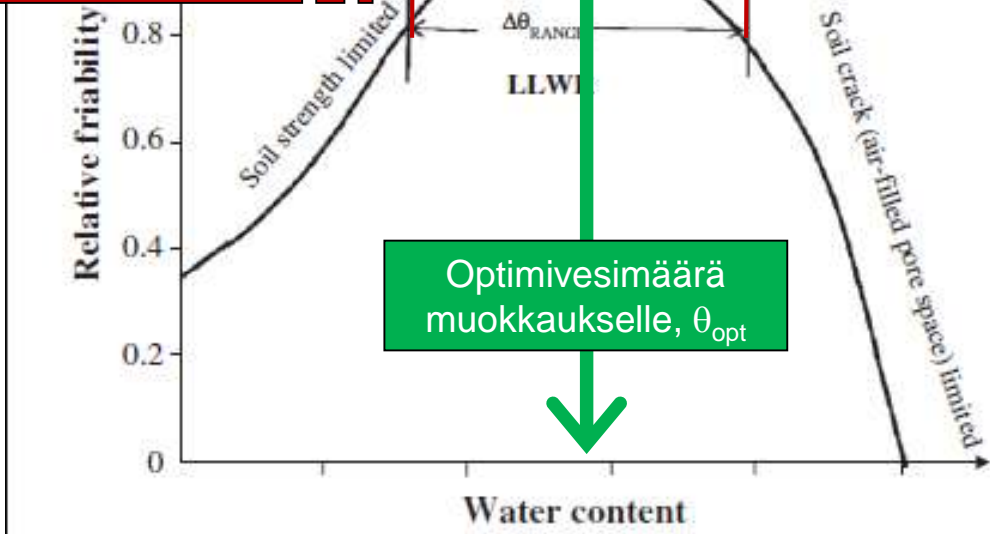
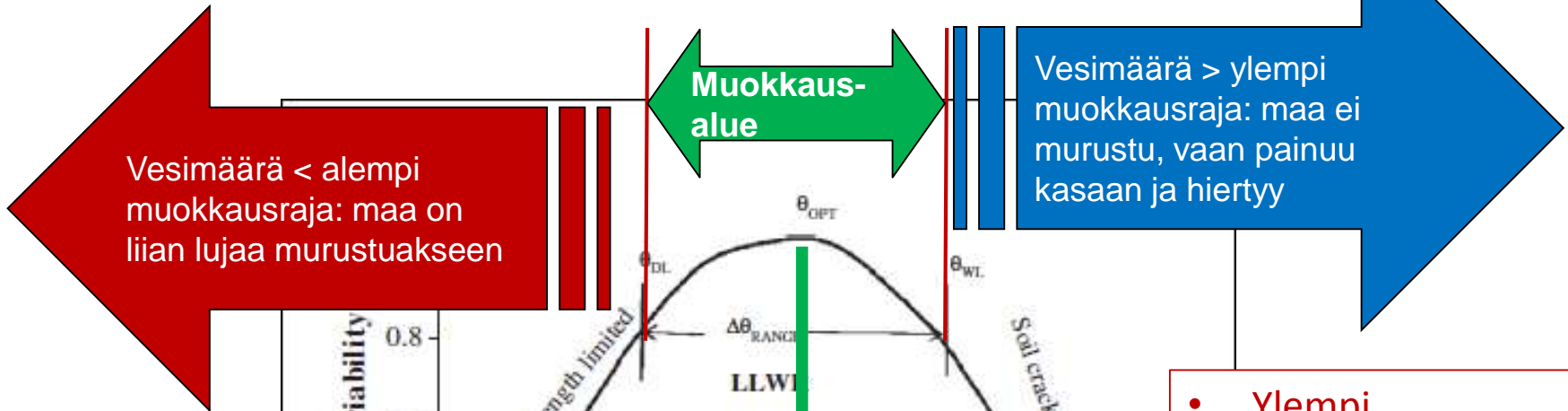


Kolme murtumatapaa:
leikkaamalla, vetämällä,
muovautumalla

Vetomurtuma on tehokkain (eli vähiten energiaa uutta murtopinta-alaa kohden)

Maa murustuu vain, jos siinä on ilmahuokosia (halkeamien etenemistä varten)

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

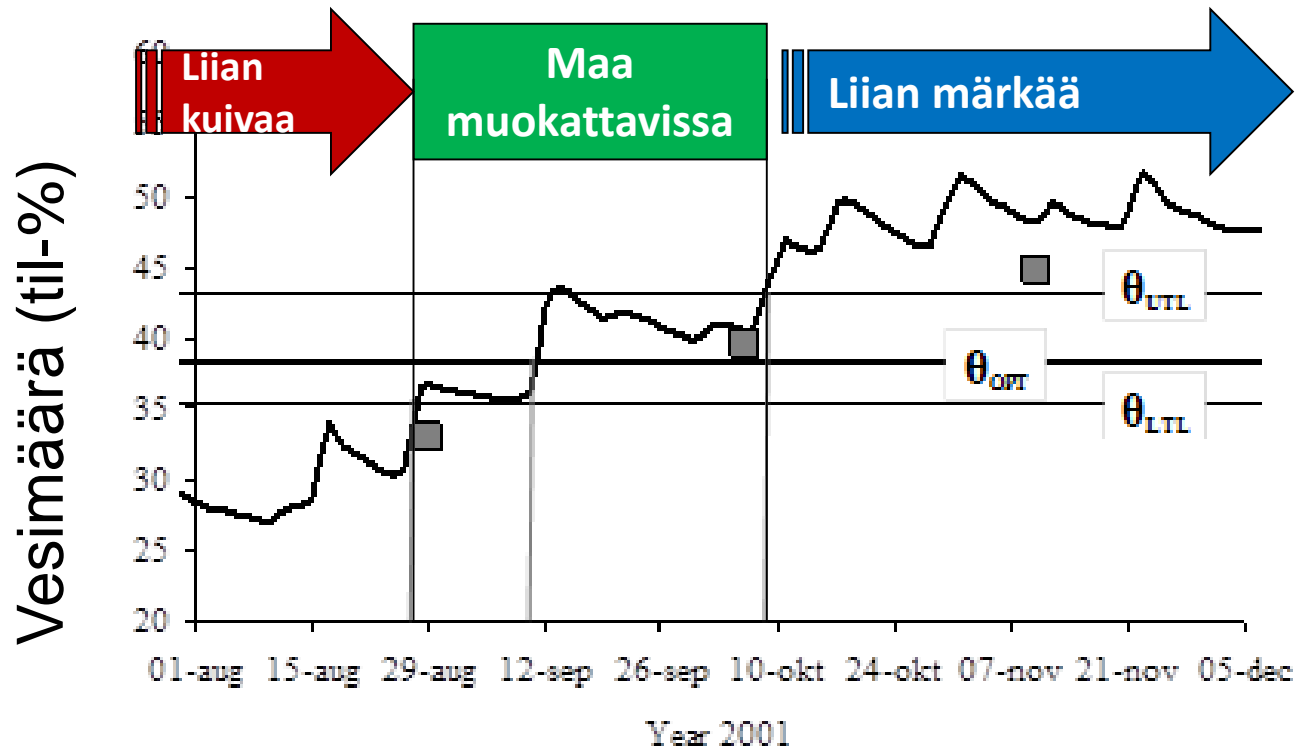


- Ylempi muokkausraja (märkä) on maaperän ominaisuus
- Alempi muokkausraja (kuiva) riippuu käytetystä energiamäärästä

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.

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

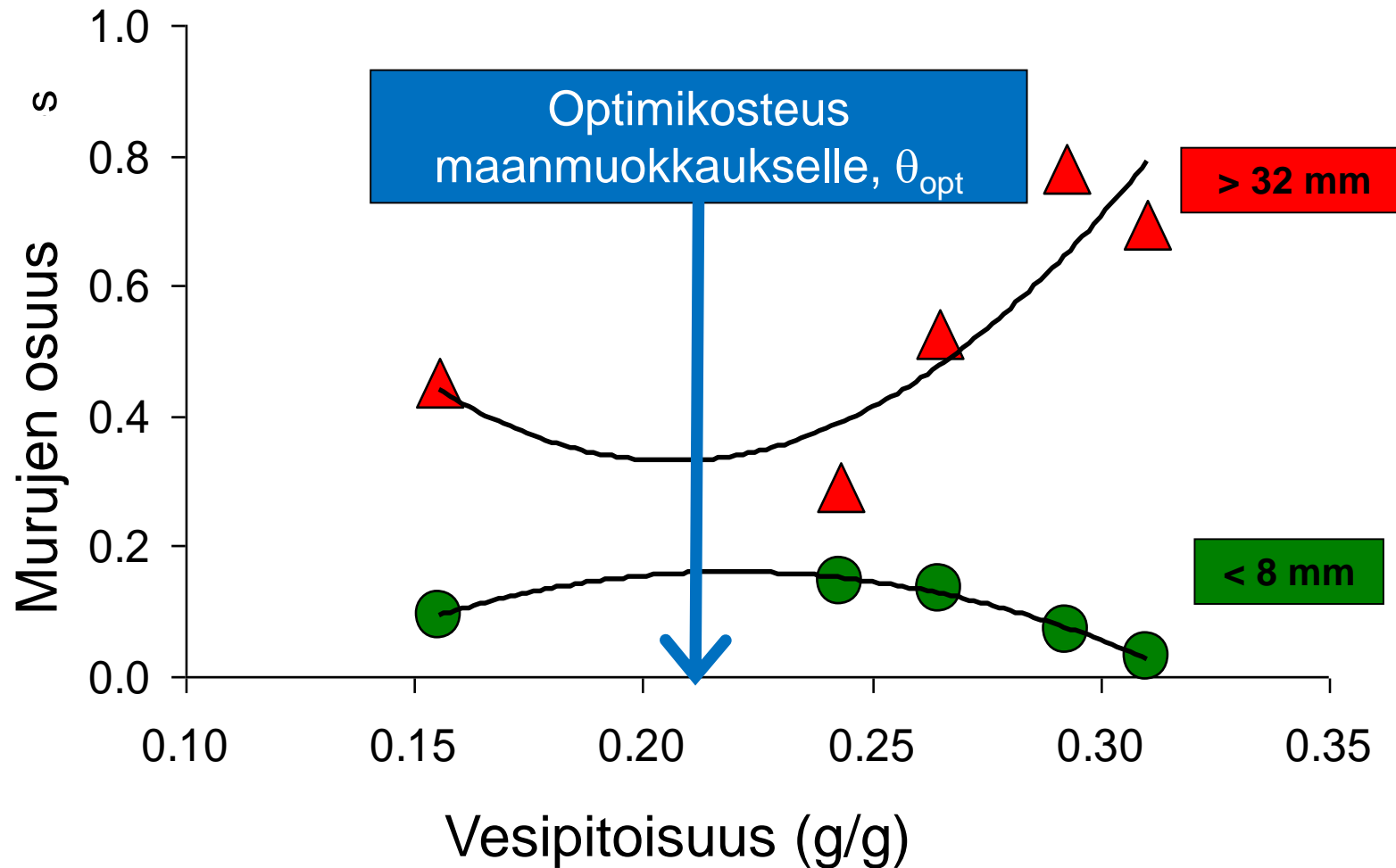
Muokkausrajoja voi tarkastella maan kastumisen myötä



Kuinka maan muokkauksen murustava vaikutus riippuu pellon kosteustilanteesta?

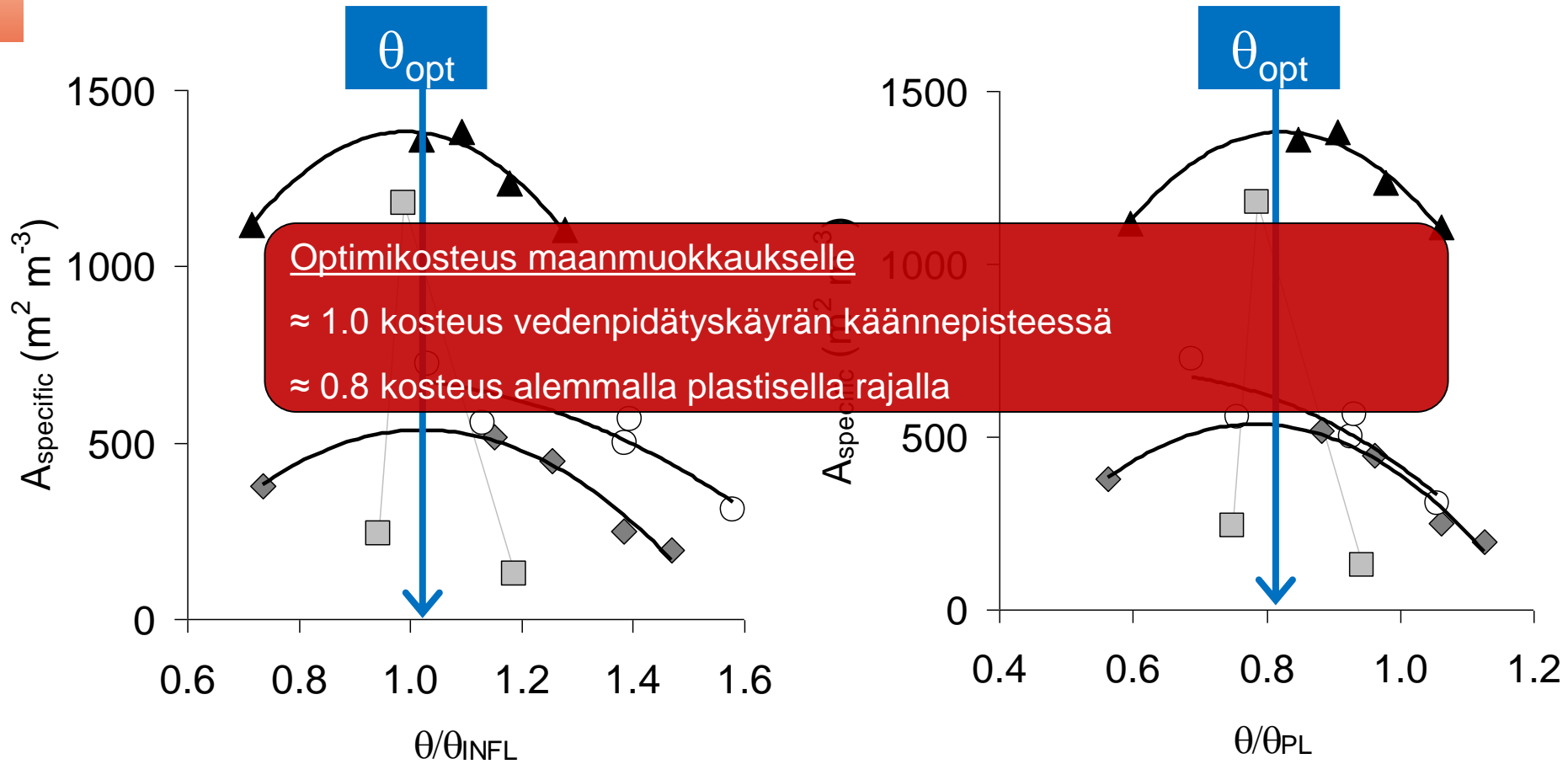


Optimikosteus maan muokkaukselle



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.

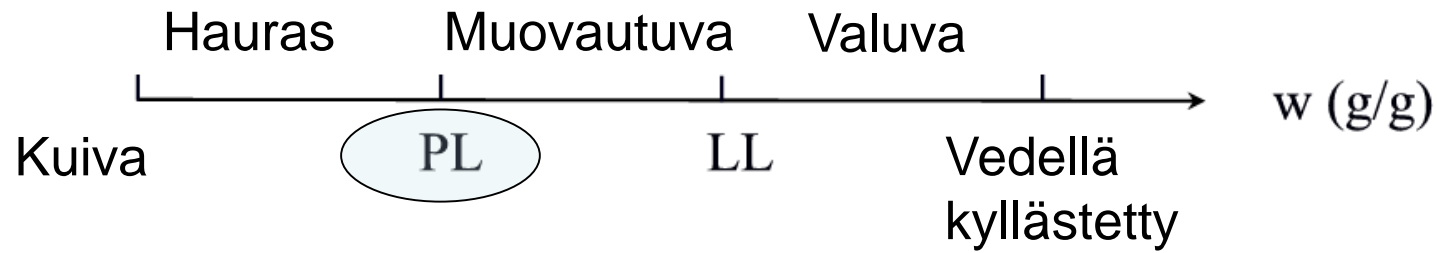
Optimikosteus maan muokkaukselle



Maan muokkautuvuusrajat



Kuvat: Agridea



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

'Muovautuva' : maata voidaan muovata tai hiertää murtumatta

'Valuva' : maa valuu oman painonsa vaikutuksesta

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

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

Liettyvän saven määrä riippuu muokkausenergiasta ja maan kosteudesta

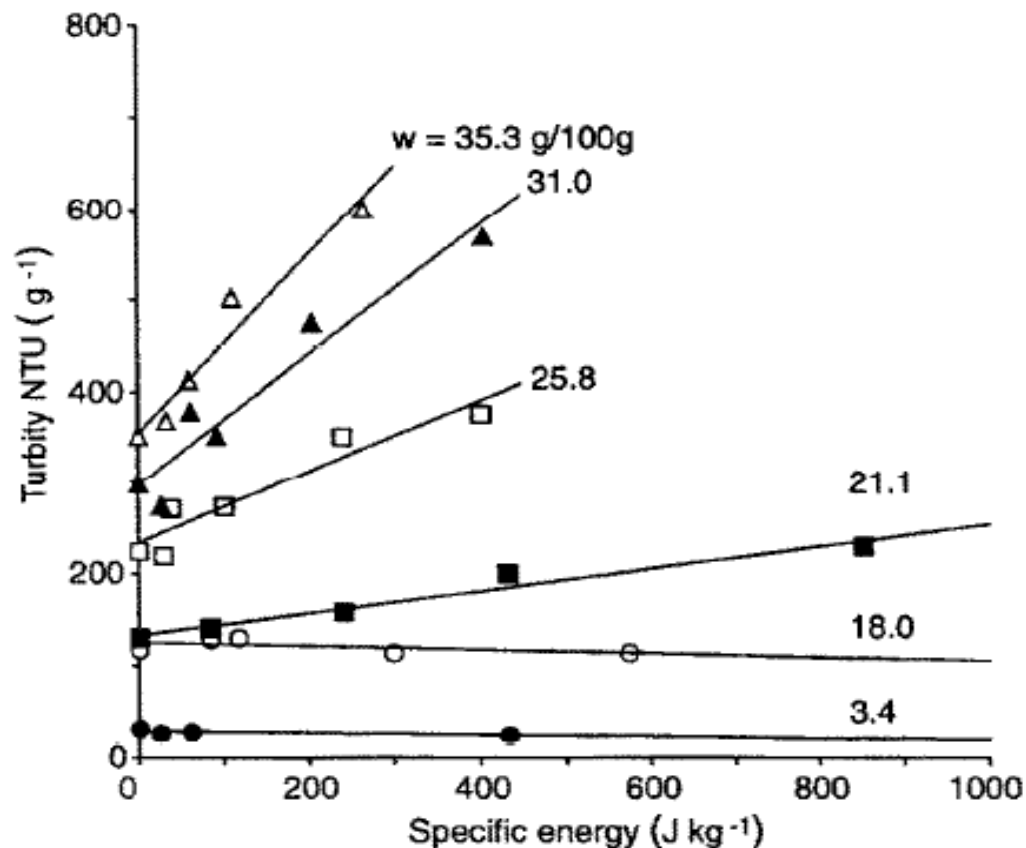


Fig. 3. The influence of specific energy inputs, over a range of soil water contents (w), on mechanically dispersed clay, as measured by turbidimetry for Soil A: ●, $w = 3.4$ g per 100 g soil; ○, $w = 18.0$ g per 100 g soil; ■, $w = 21.1$ g per 100 g soil; □, $w = 25.8$ g per 100 g soil; ▲, $w = 31.0$ g per 100 g soil; △, $w = 35.3$ g per 100 g soil.

Liettyvän saven määrä riippuu muokkausenergiasta ja maan kosteudesta

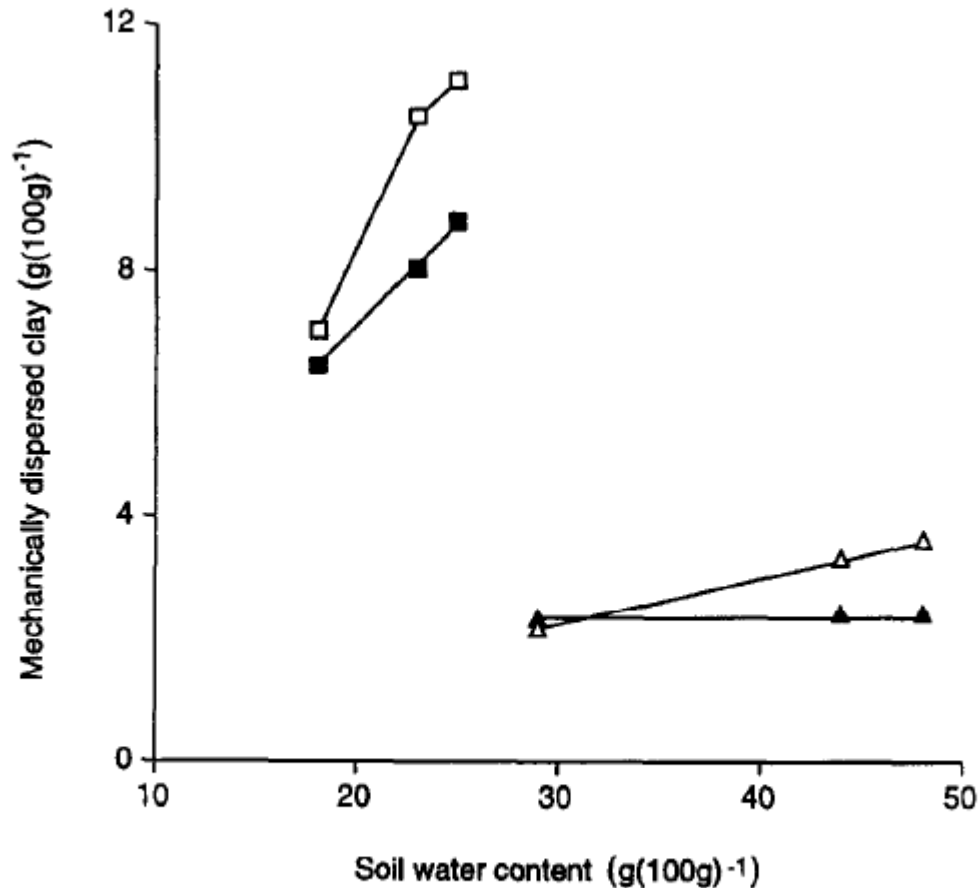
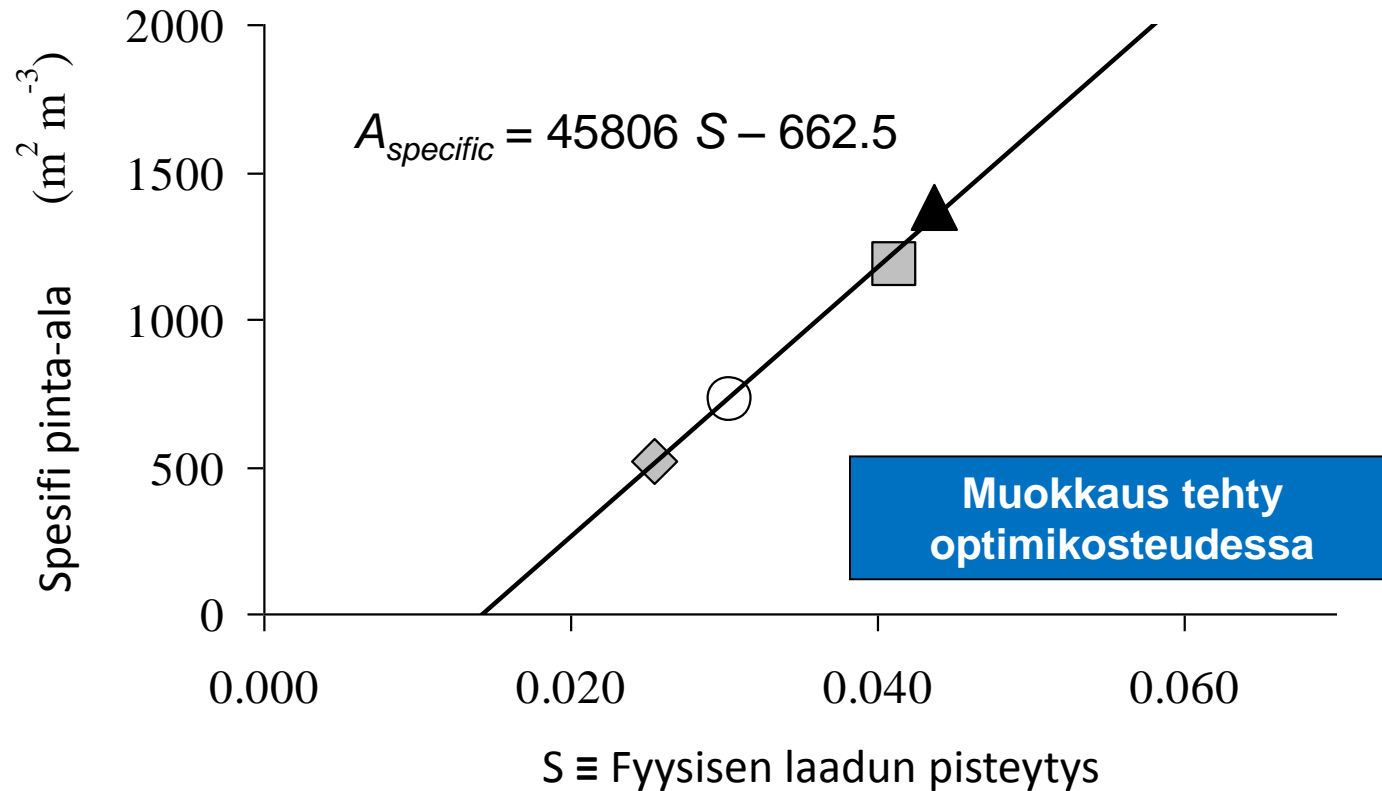
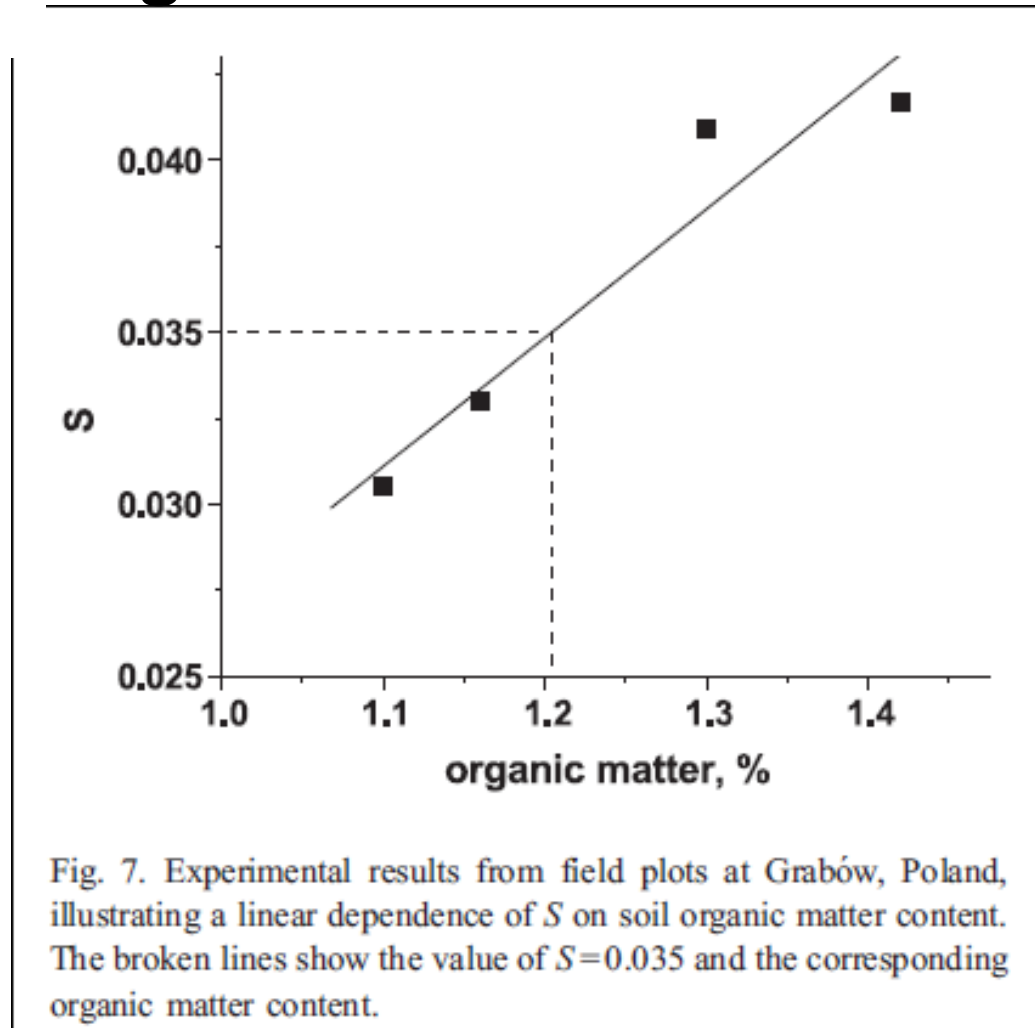


Fig. 2. The effect of tillage at different soil water contents on clay dispersion (c_m), as expressed as a proportion of dry soil weight (g per 100 g) for Soils B and C: ▲, Soil B pre-cultivation; △, Soil B; post-cultivation; ■, Soil C, pre-cultivation; □, Soil C, post-cultivation.

Hyvälaatuinen maa murustuu muokatessa hyvin (suuri pinta-ala muokkauksen jälkeen)



Maan fysikaalinen laatu yleensä paranee orgaanisen aineen määrän lisääntyessä



Joten muokkauksen synnyttämä mururakenne on oletettavasti "parempi", kun multavuus on suurempi

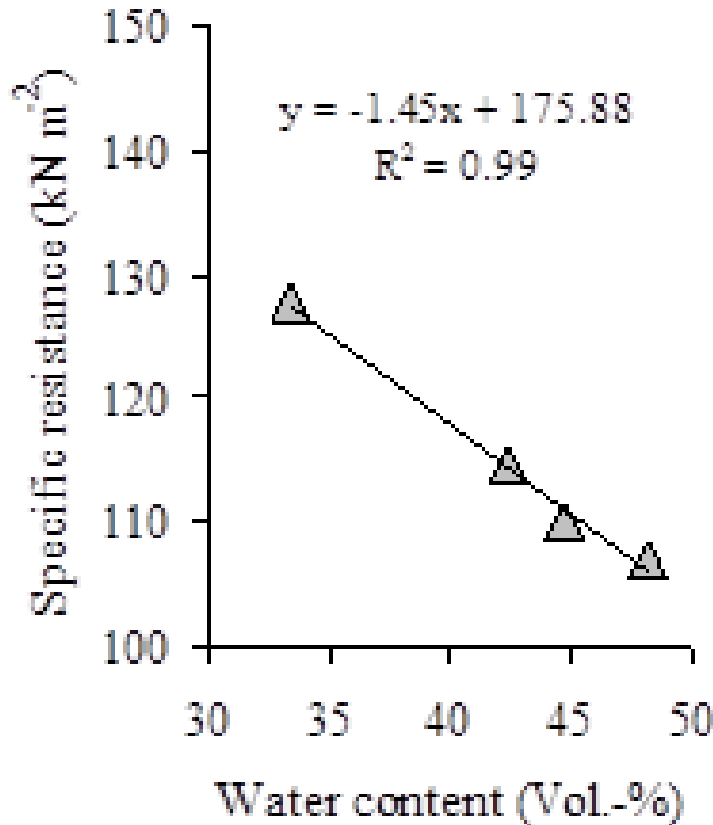
A.R. Dexter (2004) Soil physical quality: Part I-III. *Geoderma* 120, 201-214; 215-225; 227-239.

Alempi (kuiva) muokkausraja

Alempi muokkausraja ei ole selvästi määritetty

Dexter & Bird (2001): “vesipitoisuus, jossa maan lujuus on kaksinkertainen optimivesipitoisuuteen verrattuna”

Vetovoiman tarve muokatessa kasvaa, kun maa kuivuu

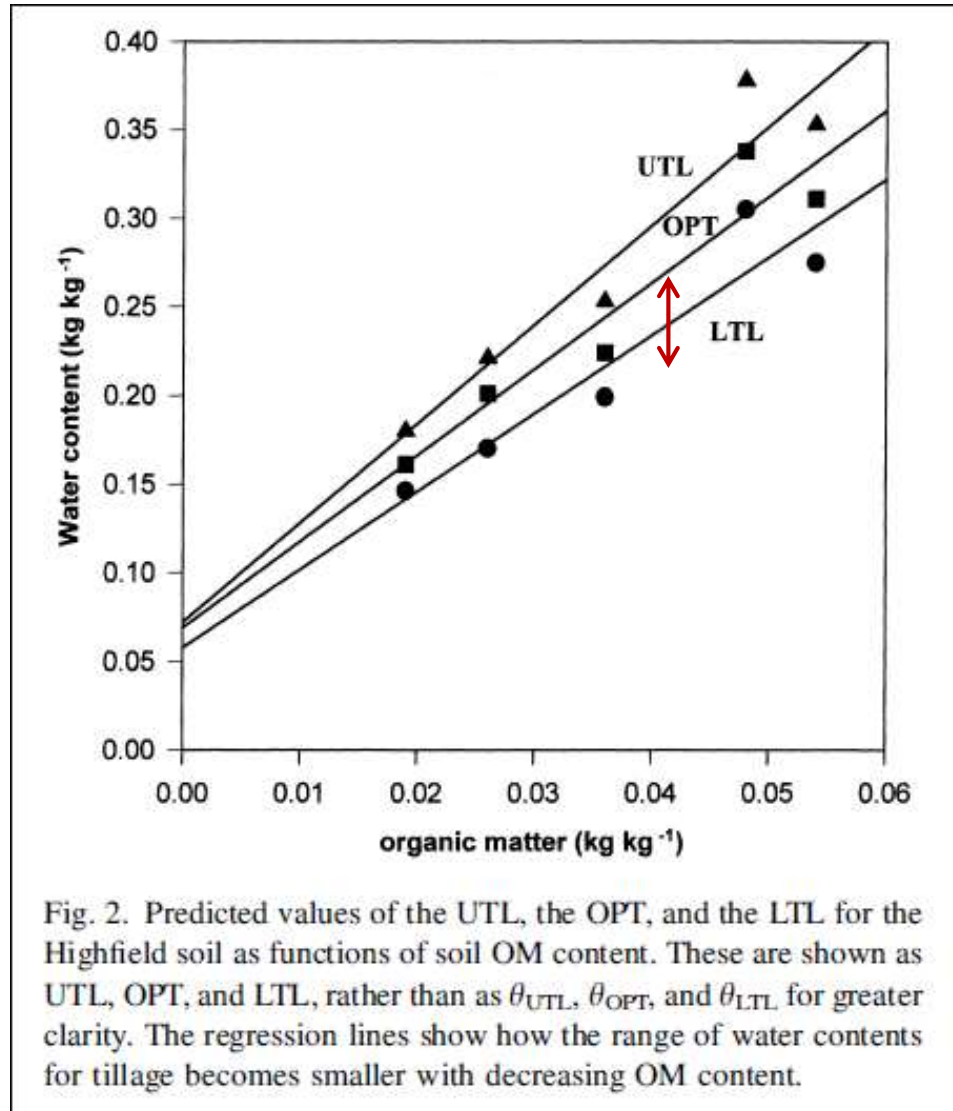


Alempi muokkausraja voitaisiin määrittää vetovoiman tarpeesta (muokkausenergia, dieselin kulutus)

Mittauksia on vähän, mutta vetovoima yleensä pienenee, kun multavuus kasvaa, esim. Watts *et al.* (2006) Soil Use Manage 22:

$$S(\text{kPa}) = 24.5 + 2.56(\text{clay}\%) - 6.41(\text{SOC}\%)$$

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



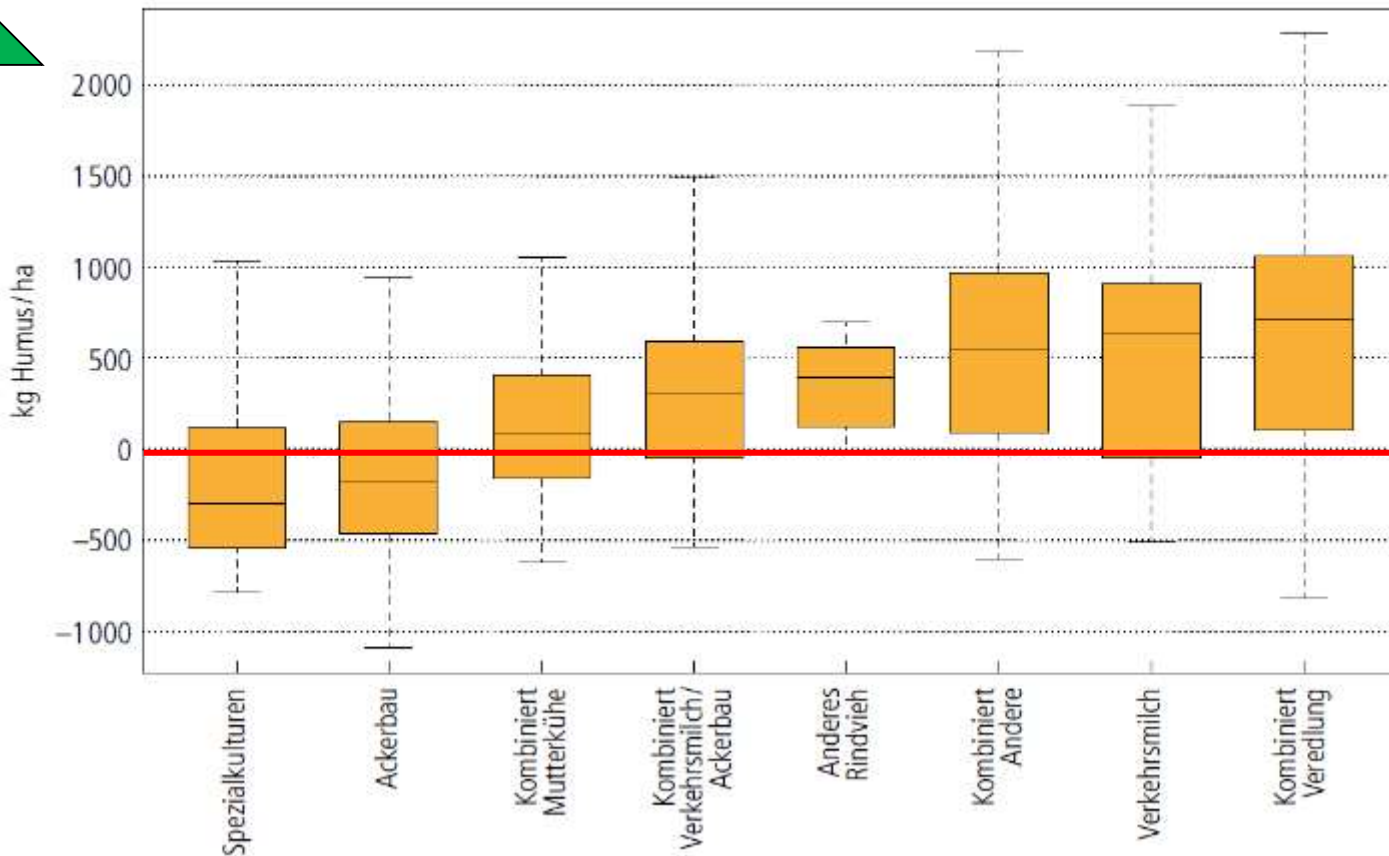
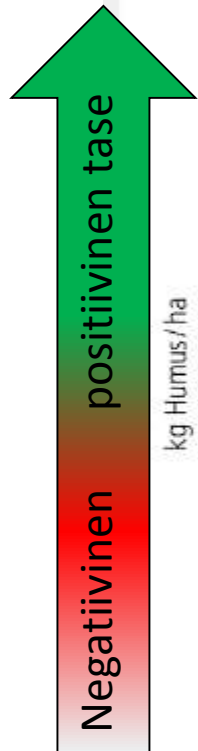
Korkea multavuus lisää muokattavuusaluetta

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

Humustase sveitsiläisillä tiloilla

tuotantosunnittain

Jährliche Humusbilanz nach Betriebstypen



Erikoiskasvit

Peltoviljely

Yhdistetyt eläin-kasvitilat

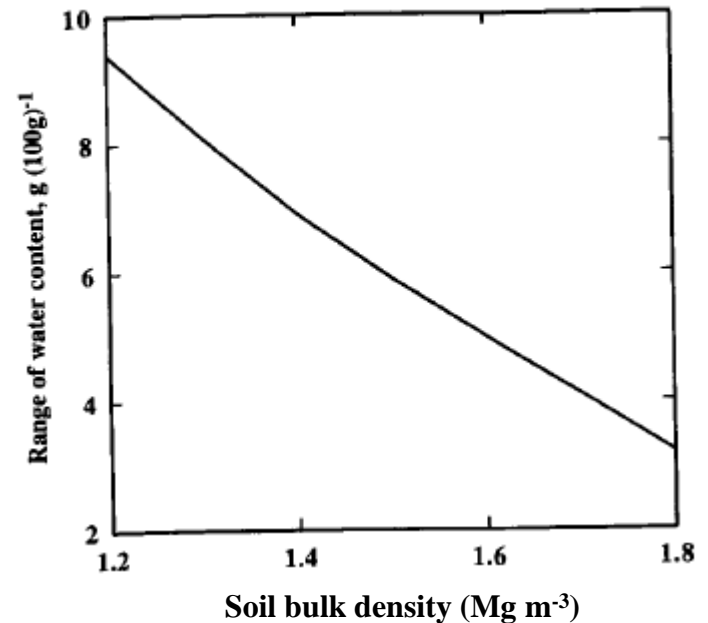
Maa on muokattavissa laajemmalla kosteusalueella, jos maan rakenne on hyvä. Ts. Tiivistynyt maa on muokattavissa vain harvoina päivinä, mikä haittaa töiden oikea-aikaisuutta (“Sunnuntai-savet” = pelto on märkä pitkään, se olisi muokattavissa sunnuntaina, mutta maanantaina pelto on liian kuiva)

Muokkauksen aikaansaama pinta-alan lisääntyminen (murustuminen) vähenee irtotiheyden kasvaessa -> tiivistyneen maan murustaminen vaatii enemmän energiaa

Tiivistyminen lisää vetovoiman tarvetta

Yleisesti: mitä parempi maan fyysinen laatu (multavuus, alhainen irtotiheys), sitä suurempi muokkautuvuusalue, eli hyvien olosuhteiden “muokkausikkuna”

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



Eri muokkauskoneiden vetovoiman tarve: kyntöaura, kultivaattori, lautasaes

Mikä on kokonaisvetovoiman tarve (kN) entä työleveyttä kohden (kN m⁻¹)

Vetovoiman tarve on verrannollinen siirrettyyn maatilavuuteen. Tätä kutsutaan “spesifiksi vetovoiman tarpeeksi”. Mikä on eri koneiden spesifi vetovoimantarve (kN m⁻²)?



Millä mitattiin: traktori, jossa polttoaineenkulutusmittari, joka kalibroitiin vastaamaan VOA tehoa

Traktori: MF 6290 135 hv

Mittaukset:

- Hetkellinen polttoaineenkulutus
- Moottorin kierrosluvut
- Pyörän nopeus
- Traktorin nopeus

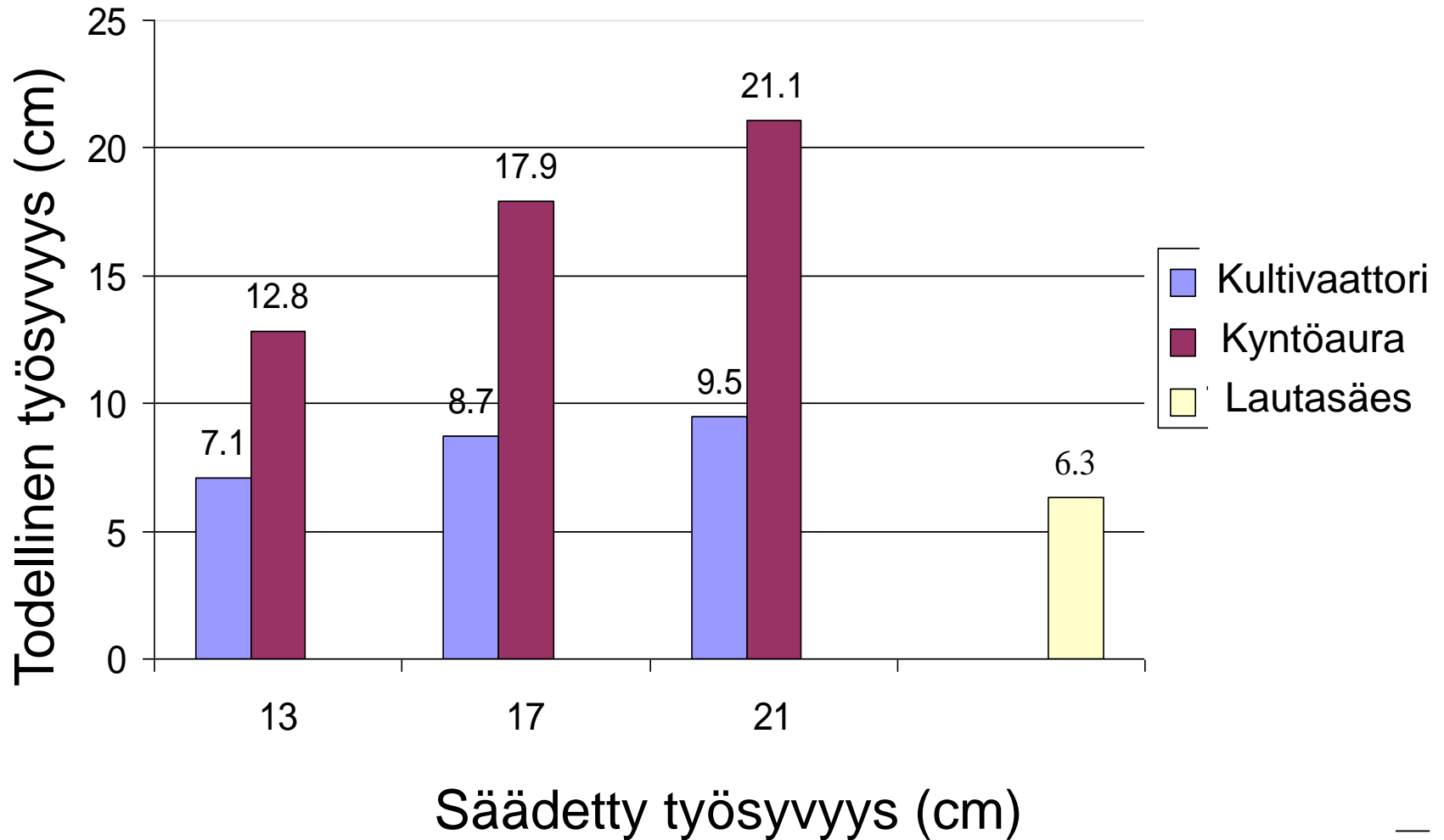
Kalibroitu siten, että renkaiden välittämä vetoteho oli tiedossa eri polttoaineen kulutuksilla ja kierrosluvuilla.



Mittasimme todellisen työsyvyyden ja muokatun maan tilavuuden



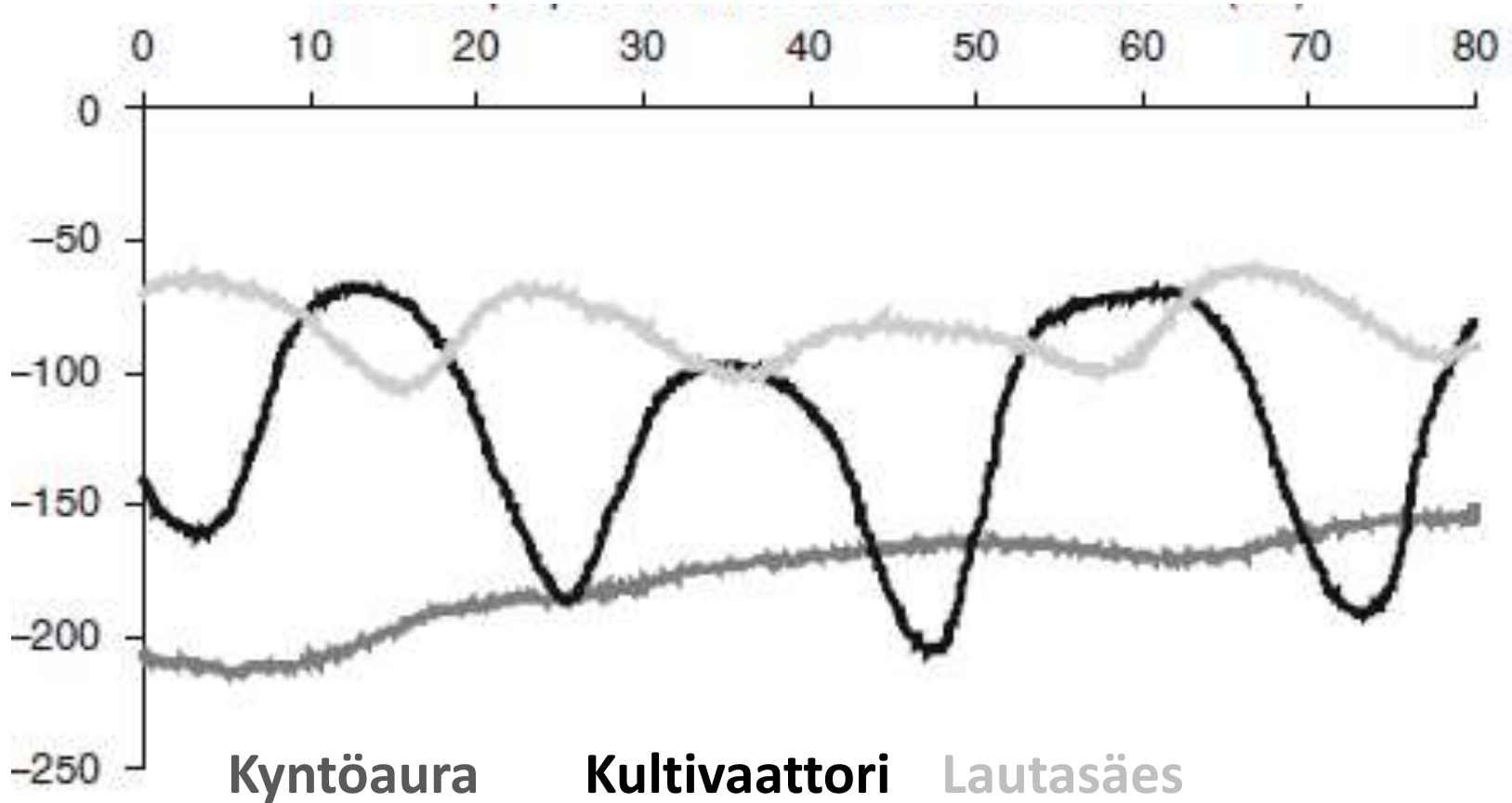
Todellinen keskimääräinen muokkaussyvyys säädettyyn syvyyteen nähden



Muokkauspohjan tasaisuus

Syvyys alkuperäisestä maanpinnasta (cm)

Poikkisuuntainen etäisyys(cm)



Muokkauskerroksen pohja

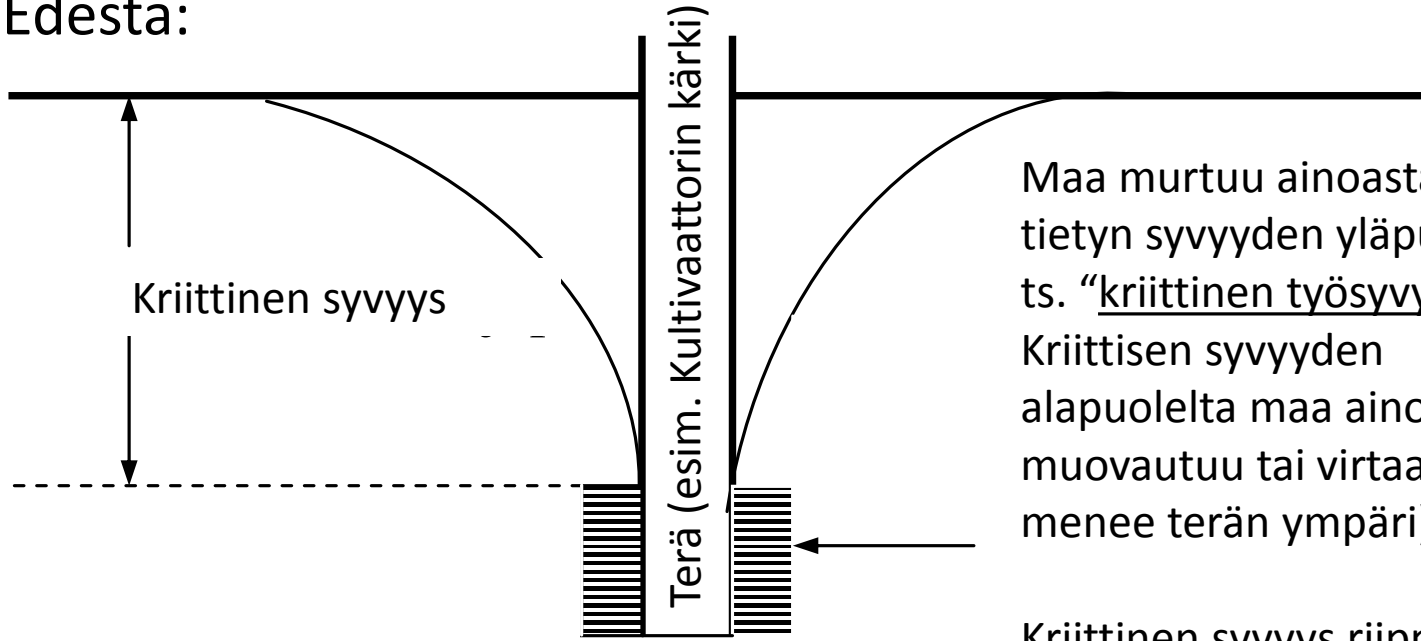
Lautasäes

Kultivaattori



Missä ja miten maa murtuu muokattaessa?

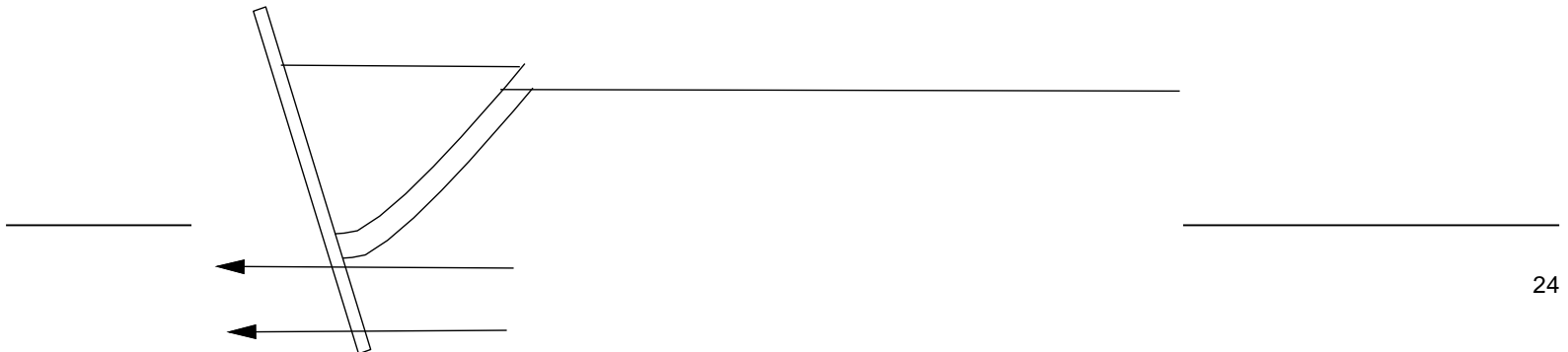
Edestä:



Maa murtuu ainoastaan tietyn syvyyden yläpuolelta ts. “kriittinen työsyvyys”. Kriittisen syvyyden alapuolelta maa ainoastaan muovautuu tai virtaa (maa menee terän ympäri)

Kriittinen syvyys riippuu maan ominaisuuksista, terän leveydestä ja kulmasta.

Sivusta:



Kyntöauran, kultivaattorin ja lautasäkeen vetovoiman tarve

Arvidsson *et al.* 2004. *Soil & Tillage Research* 79, 221–231.

Total draught requirement (kN m^{-1}) for the different treatments

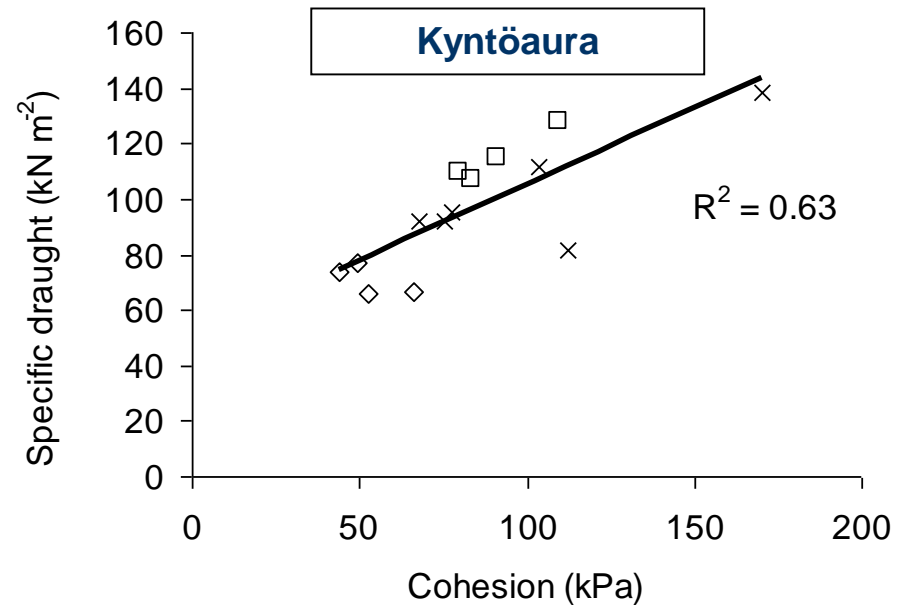
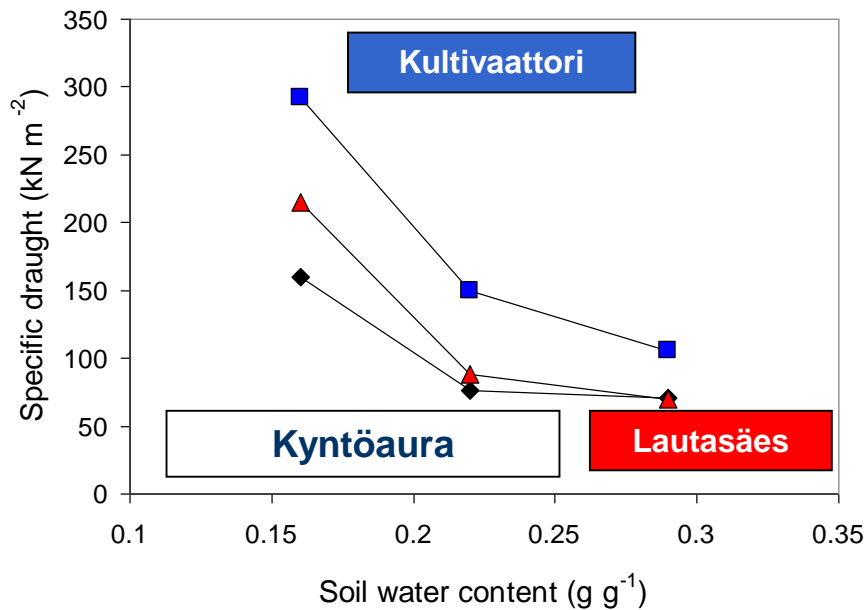
Implement	Set depth	Ån			Säby			Average
		Wet	Moist	Dry	Wet ^a	Moist	Dry	
Mouldboard plough	13	11.0 d	10.4 cd	21.2 b	5.7	8.6 c	7.7 c	10.8 c
	17	13.3 b	13.9 b	28.5 a	8.7	11.5 b	10.5 b	14.4 b
	21	18.1 a	18.5 a	28.7 a	13.1	15.8 a	11.8 a	17.7 a
Chisel plough	13	9.8 e	9.1 de	10.6 d	4.5	6.9 d	6.2 d	7.8 d
	17	11.4 cd	10.6 cd	14.0 cd	8.3	8.0 cd	8.2 c	8.6 cd
	21	12.2 c	11.9 bc	17.0 bc	10.1	8.5 c	11.6 ab	10.4 c
Disc harrow		6.9 f	5.3 f	4.2 e	3.9	5.2 e	4.4 e	5.0 e
Significance level ^b								*

Kyntöaura: korkein vetovoiman tarve (kN m^{-1}), mutta alin spesifi vetovoiman tarve (kN m^{-2})

Specific draught (kN m^{-2}) for the

Implement	Set depth	Ån			Säby			Average
		Wet	Moist	Dry	Wet ^a	Moist	Dry	
Mouldboard plough	13	84 c	89 b	161 ef	44	62 b	61 d	84 c
	17	71 d	76 b	160 ef	48	63 b	66 d	81 c
	21	84 c	82 b	139 f	59	74 b	66 d	84 c
Chisel plough	13	99 a	154 a	253 cd	50	93 a	102 b	123 b
	17	106 a	150 a	292 c	54	103 a	122 a	138 ab
	21	123 a	151 a	399 b	59	95 a	126 a	166 a
Disc harrow		70 d	87.8 b	214 de	53	74 b	78 c	96 c
Significance level ^b		***	***	***		***	***	***

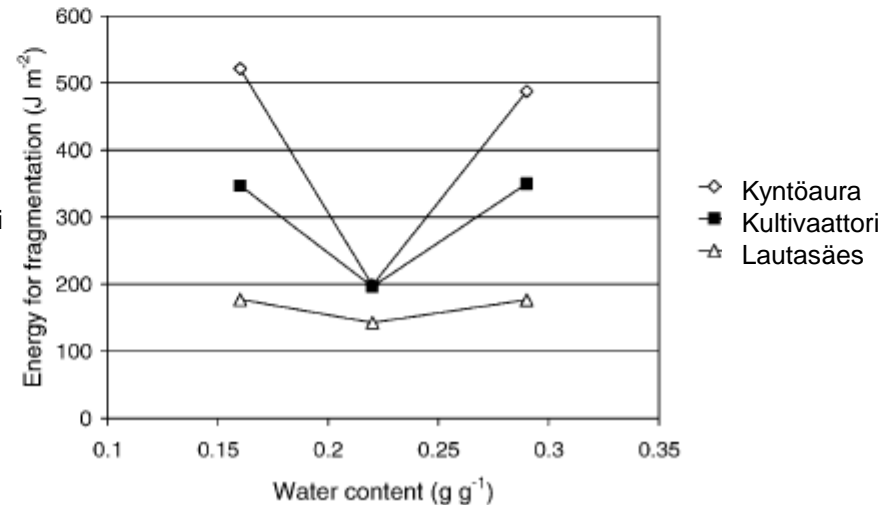
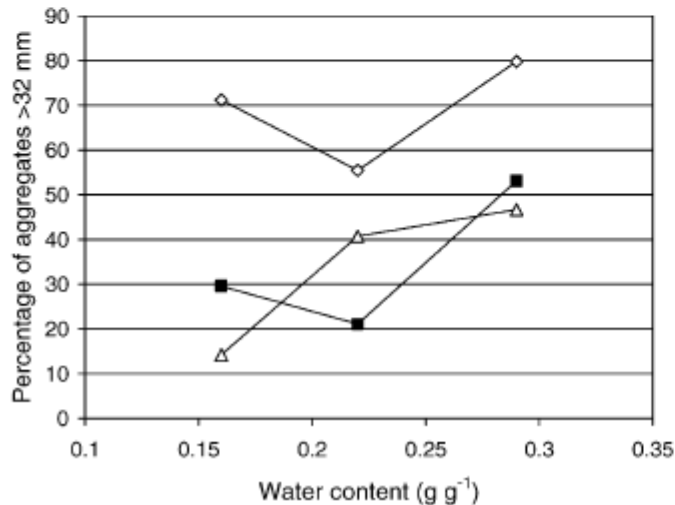
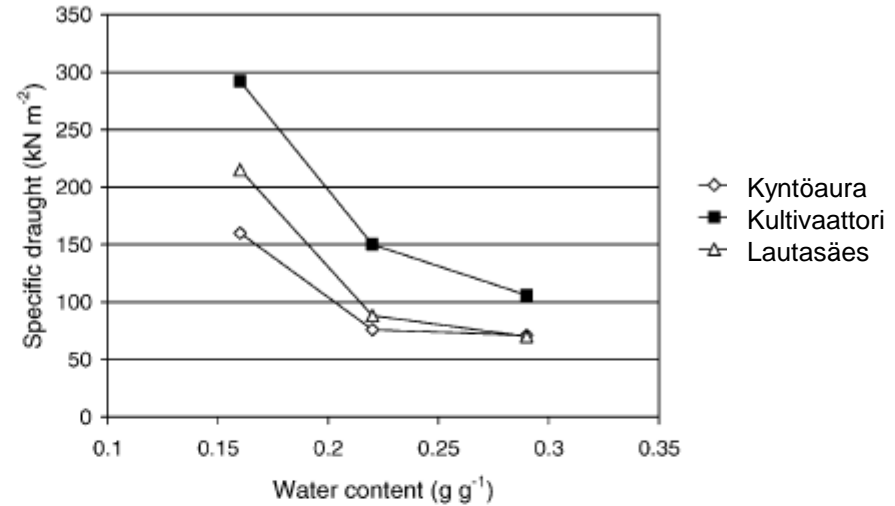
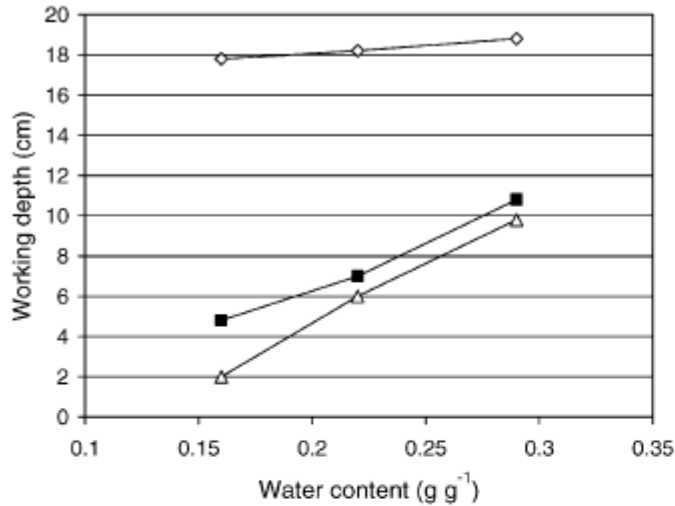
Spesifinen vetovoiman tarve riippuu maan kosteudesta ja maan lujuudesta



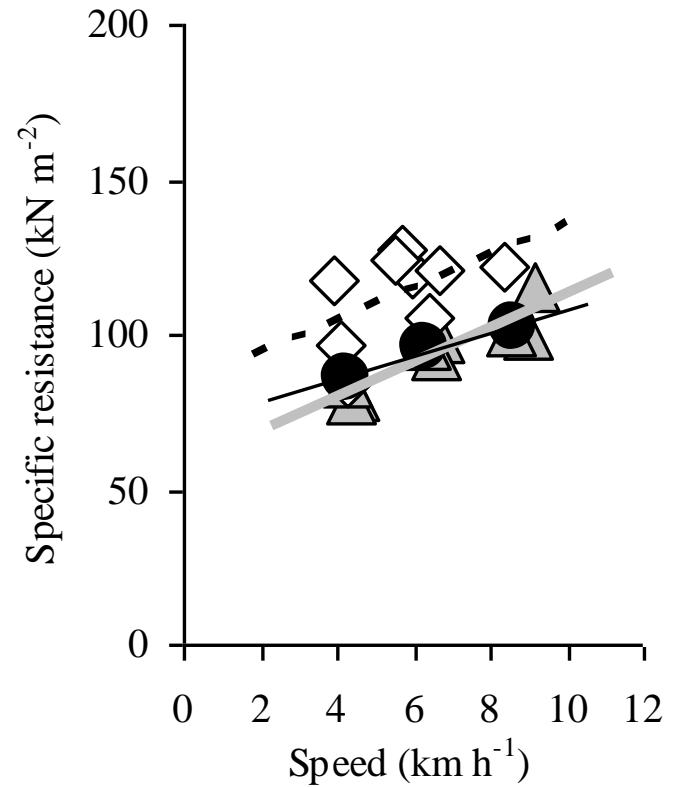
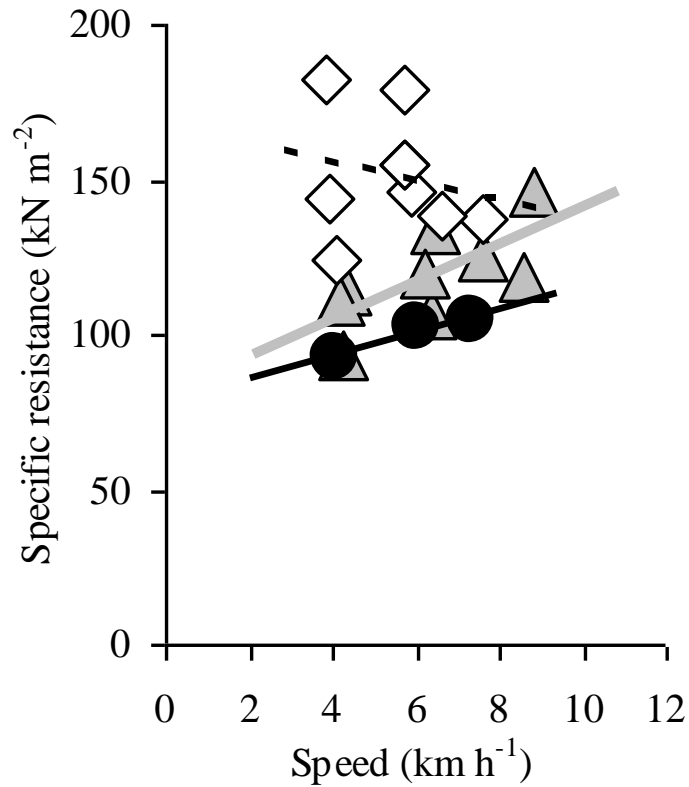
Mitä kuivempi maa, sitä suurempi spesifi vetovoiman tarve.

Mitä lujempi maa (tässä koheesio), sitä suurempi vetovoiman tarve

Työsyvyys, vetovoiman tarve ja murustuminen: kyntöaura, kultivaattori ja lautasäes



Vetovoiman tarve kasvaa nopeuden myötä



Ultunan koemittaukset savi (vasen) ja htHeS mailla (oikea): spesifi vetovoiman tarve muokkausnopeudesta riippuen; kyntöaura (kolmio), kultivaattori (salmiakki) ja lautasäes (ympyrät)

Polttoaineen kulutus ja vetovoiman tarve eri muokkausjärjestelmissä (syysviljat)

Kokeet tehtiin hiesuisella hiuemaalla (silt loam) ja savimaalla 2003-2004 ja 2004-2005.

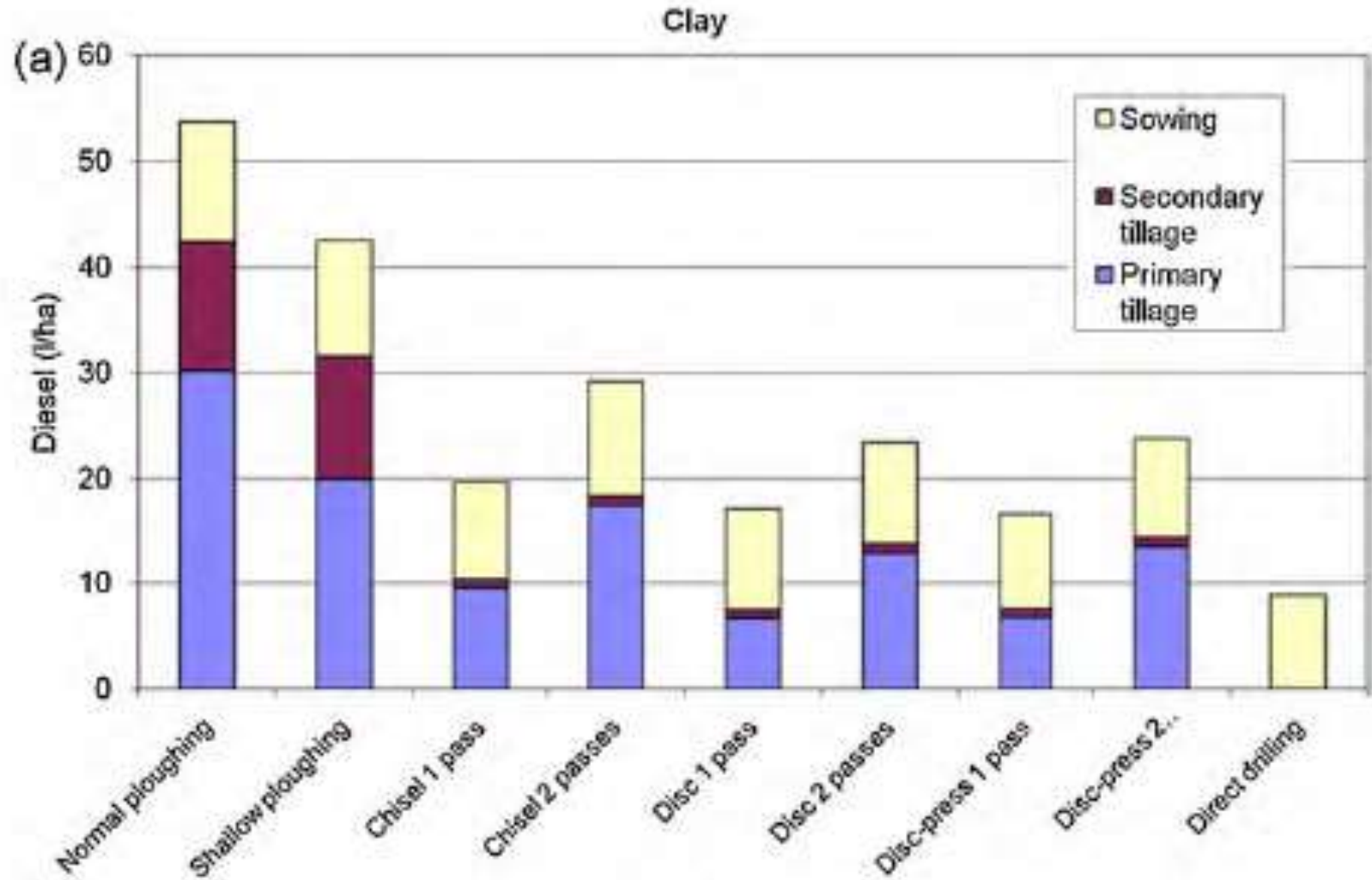
Sijainti: Ultuna (SLU Uppsala)

Koejäsenet ja mitatut työsyvyudet

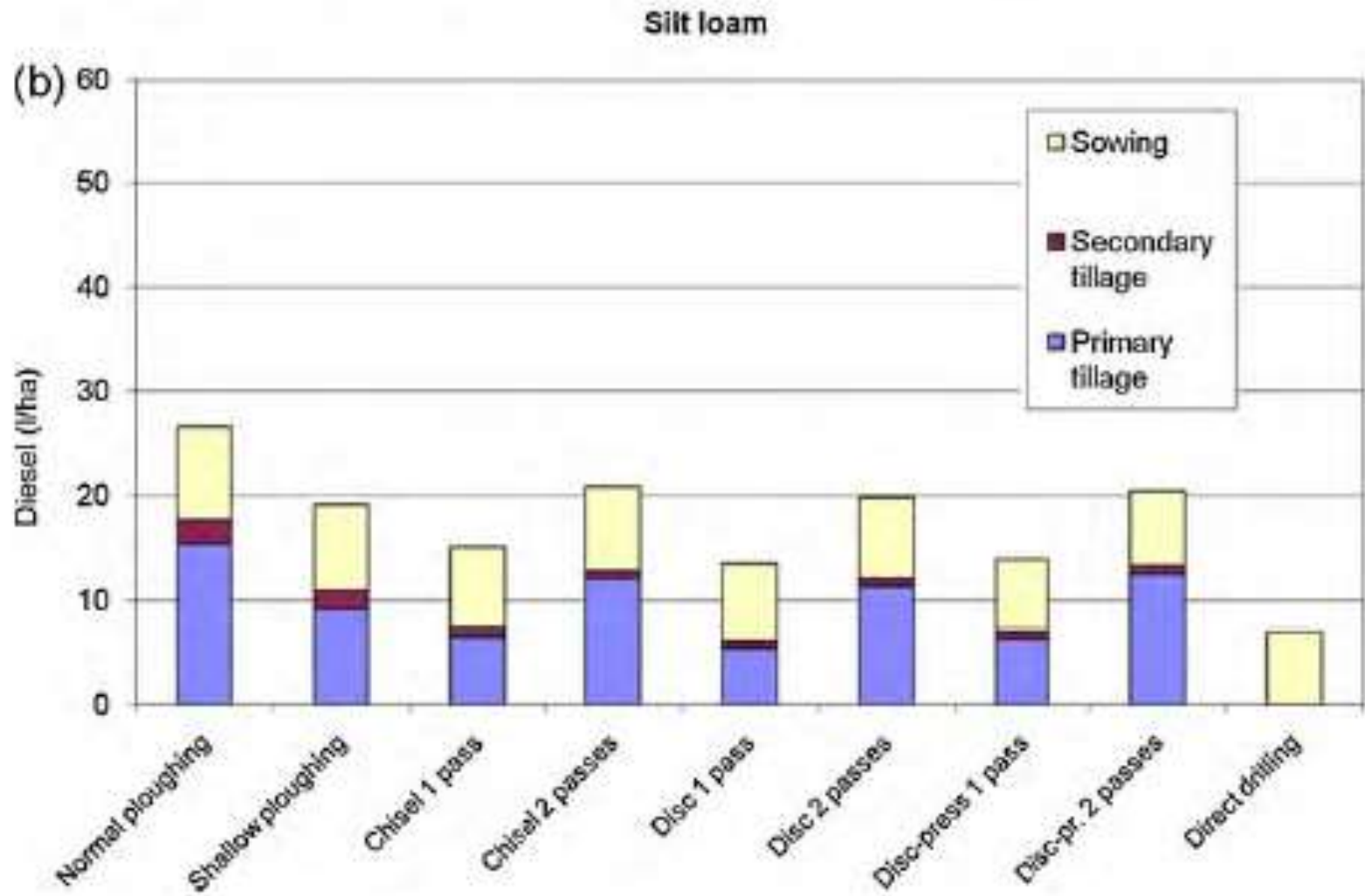
Koejäsen	Työsyvyys (cm)
----------	----------------

A. Kyntöaura	20
B. Matala kyntö	11
E. Kultivaattori, 1 ajo	4
F. Kultivaattori, 2 ajoa	7
M. Carrier lautasmuokkain, 1 ajo	3
N. Carrier lautasmuokkain, 2 ajoa	4
O. Suorakylvö	

Polttoaineen kulutus, savimaa



Polttoaineen kulutus, hiesuinen hiue



Yhteenveto kokeista Ultunan koeasemalla (Uppsala, Ruotsi)

Työkone	S (kN/m ²)	d (m)	D (kN/m)	q _t (l/ha)
Kyntöaura	36 + 1.35 c	0.20	15.3	19.9
Kultivaattori	44 + 1.66 c	0.06	5.6	7.3
Lautasäes	44 + 1.65 c	0.06	5.6	7.3
Carrier lautasmuokkain	58 + 2.18 c	0.04	5.0	6.4
Äes	-	-	2.5	3.3
Kylvölannoitin, laahavannas	-	-	2.6	3.4
Kylvölannoitin, kiekkovannas	-	-	6.0	7.8
Leikkuupuimuri				17

S: Spesifi vetovoima kN/m² riippuen savipitoisuudesta (c)

D: Vetovoiman tarve per m työleveyttä kN/m tietyllä syvyydellä (d)

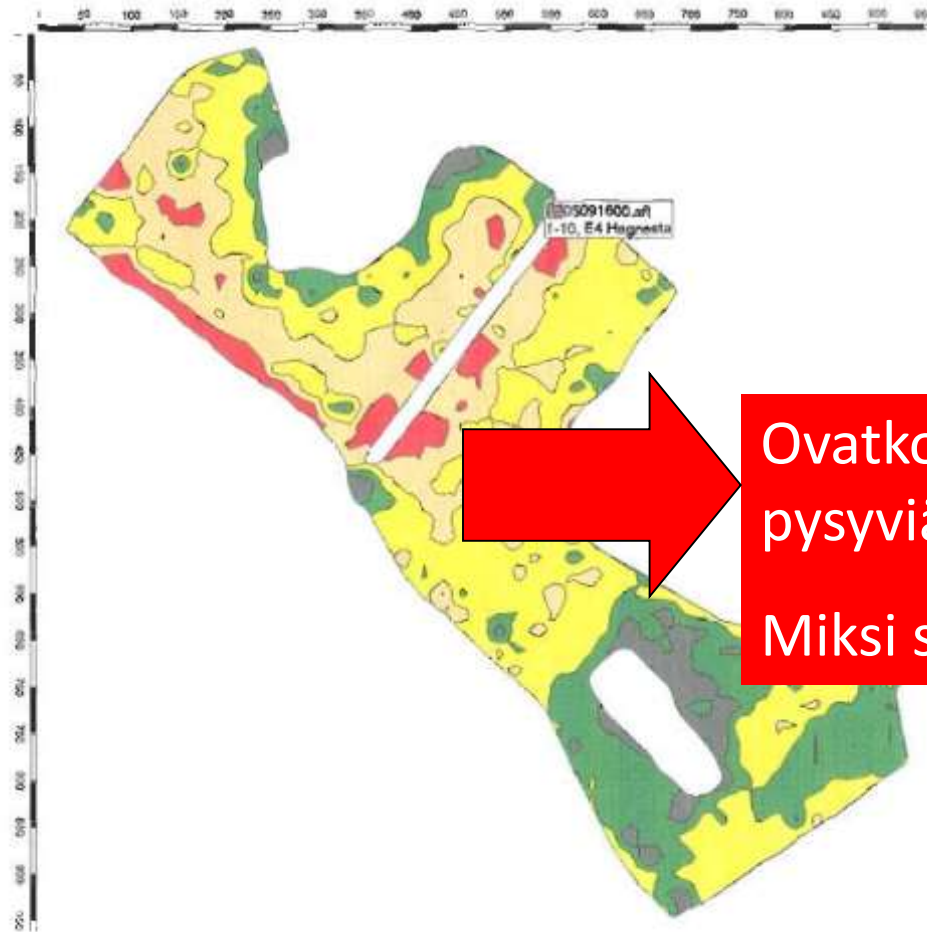
q_t: Polttoaineen kulutus per hehtaari

Onko maan rakenteella väliä – satotasolle?

agrocom.

AGRO-MAP
20 september 2007

100 Hagnesta: 1-10, E4 Hagnesta



Rådata '05091600.aif'
Kund: 100 Hagnesta
Fält: 1-10, E4 Hagnesta
GPS-datum: 2005-09-13 09:29:25
Färgskala 'Standard skörd (Ojelin Taurus)' (t/ha):
Till 1,50 2,90 - 3,60
1,50 - 2,20 Över 3,60
2,20 - 2,90
Värden från uppdrag:
Areal: 26.8300 ha
Genomsnitt (Ojelin Taurus): 2,82 t/ha
Totalmängd (Ojelin Taurus): 70.362 t
Genomsnittlig vattenhalt: 20,80 %
Värden från karta:
Fältgräns: 25.9876 ha
Genomsnitt (Ojelin Taurus): 2,58 t/ha
Totalmängd (Ojelin Taurus): 67.00 t

Ovatko satoerot osien välillä pysyviä?
Miksi sadossa on eroja?



Satotason ja maan rakenteen suhde peltotasolla tarkasteltuna

1. askel: Valitaan peltoja, joista on sato kartoitettu

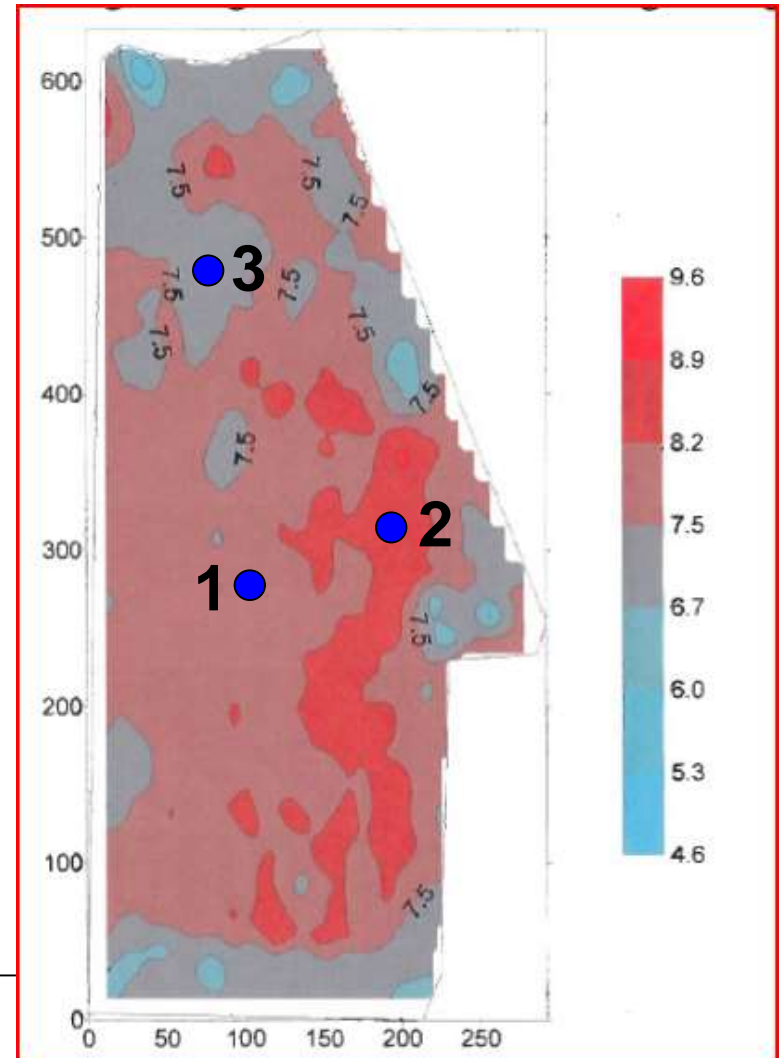
Kolme ruotsalaista peltoa (kolme eri maatilaa), 10 vuotta satokartoitusdataa



2. askel: valitaan satokartoista erilaisia alueita

Erilaiset alueet joka pellolta, vertaamalla historiallisia satokarttoja

Hyväsatoinen, keskisatoinen ja matalasatoinen alue joka pellolla



3. askel: mittauksia ja analyysiä

- i. Pellot, joista satotasot on kartoitettu
 - Kolme ruotsalaista peltoa (kolmella eri tilalla), 10 vuotta satokartoitusta
- ii. Eri alueiden valinta satotasojen perusteella
 - Yksi korkea-, keskimääräinen- ja matalasatoinen alue joka pellolla.
- iii. Maan fysikaalisten olosuhteiden määrittäminen näiltä alueilta**
 - Mittaukset pintamaassa (5 cm syvyys) ja pohjamaassa (30 cm syvyys)
- iv. Sadon ja fyysisten ominaisuuksien vastaavuus**
 - Pitkän aikavälin keskisato riippuu pohjamaan ominaisuuksista

Fysikaalisten ominaisuuksien mittaus (sadonkorjuun jälkeen)

- i. Saturoitunut vedenjohtavuus “yksinkertaistettu putoavan vesipatsaan menetelmä” (Bagarello *et al.*, 2004, Soil Sci Soc Am J 68: 66-73)
- ii. Murujakauma kuivasta maasta
- iii. Vedenpidätyskäyrä
- iv. Irtotiheys
- v. Maan tiivistysmiskäyrät
(yksisuuntainen)
- vi. Maalaji ja multavuus



Kuva: Jens Blomqvist

Yksinkertaistettu putoavan vesipatsaan tekniikka

(Bagarello *et al.*, 2004, Soil Sci Soc Am J 68: 66-73)



Kuvat: Jens Blomqvist

Joka kohdassa: 42 yksittäistä mittausta, noin 15 litraa vettä

Aika t_a : $t_a < 5$ minuuttia noin 2/3 kaikista mittauksista; $t_a > 1$ tunti noin 6% kaikista mittauksista

Yksinkertaistettu putoavan vesipatsaan menetelmä

(Bagarello *et al.*, 2004, Soil Sci Soc Am J 68: 66-73)

$K_{fs} =$

Tietyllä renkaan halkaisijalla ja vesimäärällä,

K_{fs} riippuu lähinnä t_a

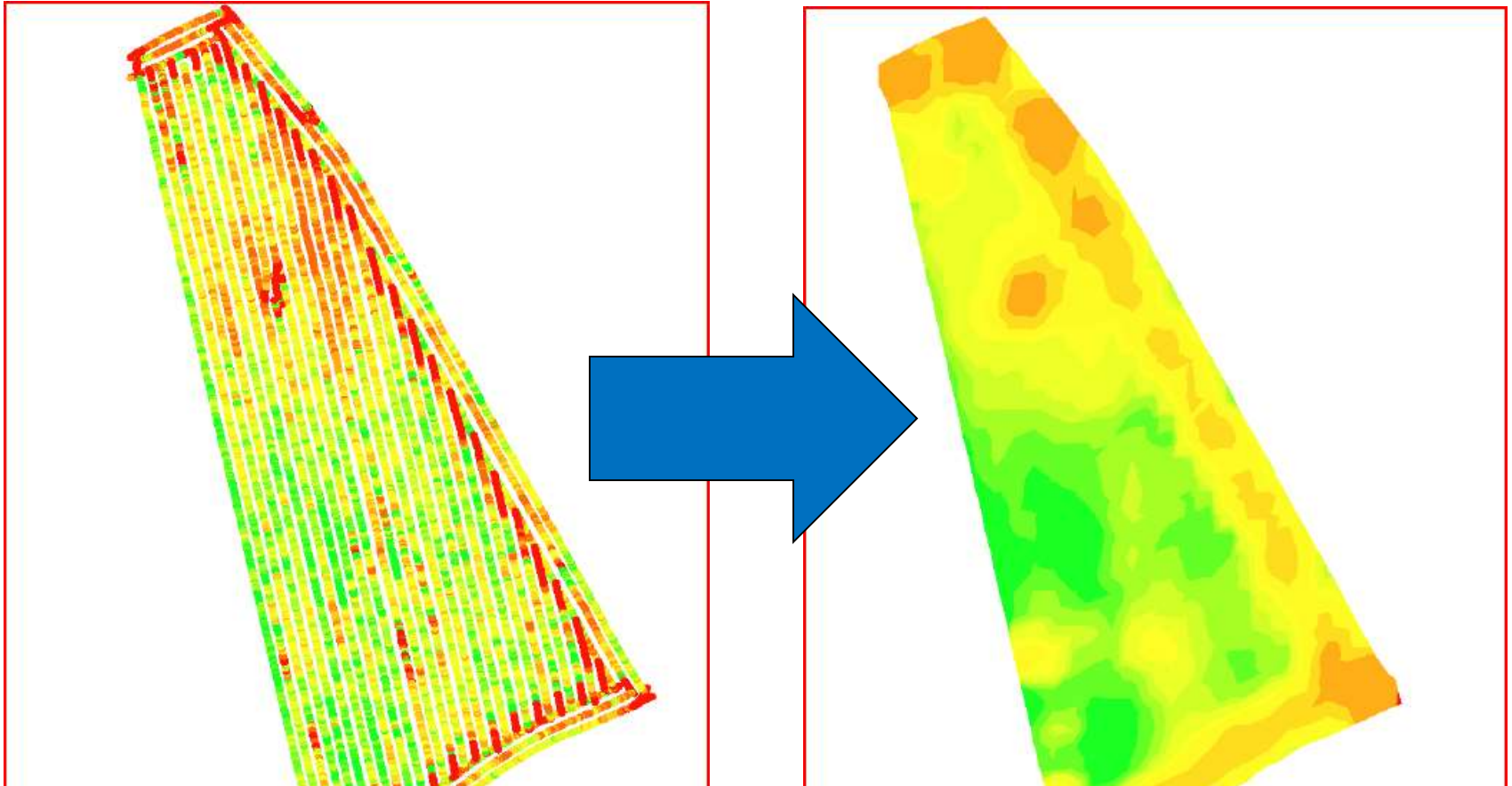
K_{fs} : Saturoituneen maan vedenjohtavuus

$\Delta\theta$: Erotus saturoituneen ja alkuperäisen vesimäärän välillä

t_a : Aika veden lisäämisestä siihen, että vettä ei enää ole pinnassa

$D = V/A$: Vesipatsaan korkeus mittauksen alussa

α^* : K_{fs} suhde saturoituneen maan matriisipotentialiin



- (1) Koneiden liike suodatettu (nopeuden ja suunnan nopeat muutokset)
- (2) Ääriarvot poistettiin jakaumien avulla
- (3) Leikkuuleveyden aiheuttamat virheelliset mittaukset poistettiin (jakauma, kartta)
- (4) Datamalli ArcGIS ohjelmistoon (*kriging, linear semivariogram model*)

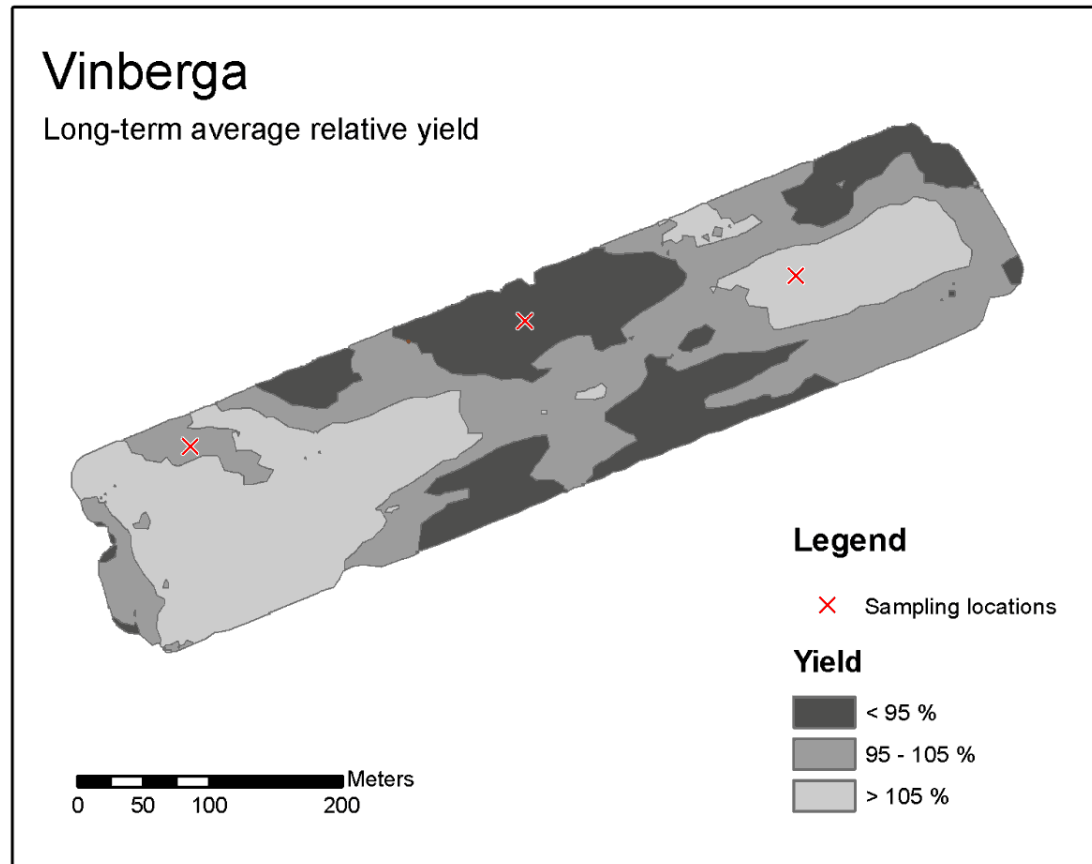
- a) Pitkän aikavälin keskisato (Blackmore, 2000, Computers and Electronics in Agriculture 26: 37-51):

$$RY_{i,LTA} = \frac{1}{n} \sum_1^n 100 \frac{Y_i}{Y_{Mean}}$$

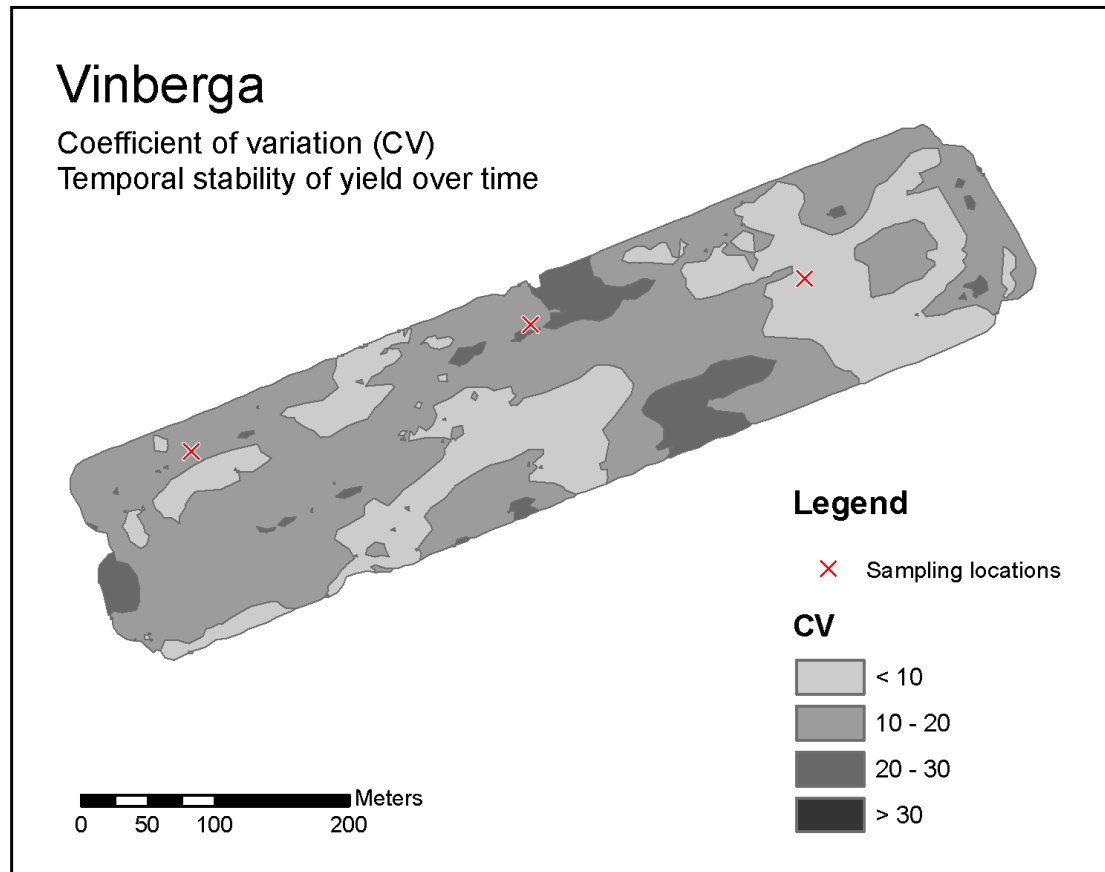
- b) Sadon ajallinen vaihtelu CV (Blackmore, 2000, Computers and Electronics in Agriculture 26: 37-51):

$$CV_i = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n (RY_i - RY_{i,LTA})^2}}{RY_{i,LTA}}$$

Esimerkki pitkän aikavälin trendeistä (pitkän ajan suhteellinen keskisato)



Esimerkki ajallisen vaihtelun kartasta (coefficient of variation, CV)



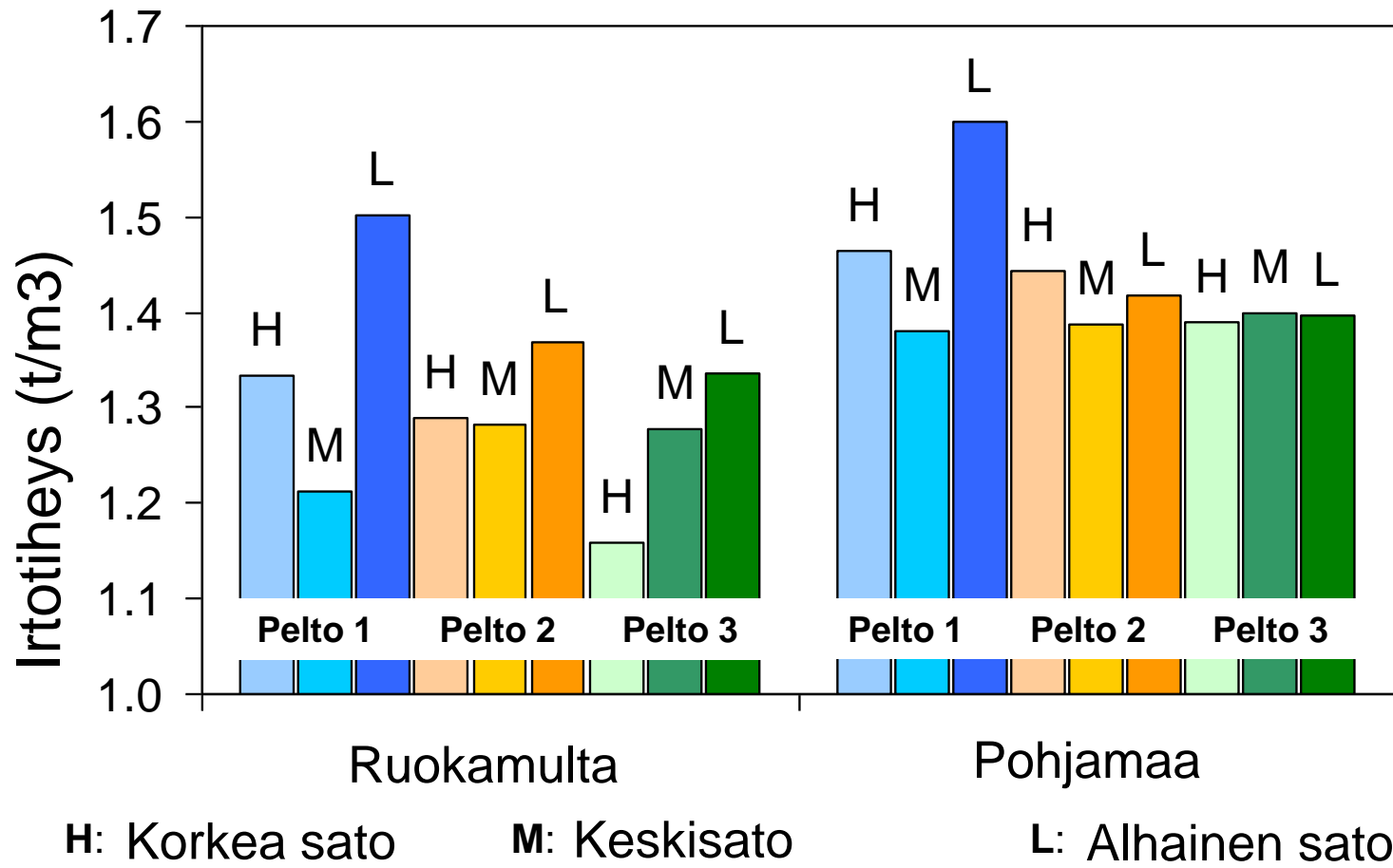
Alue = vakaa, jos CV < 30% (Blackmore, 2000, Computers and Electronics in Agriculture 26: 37-51)

Pitkän aikavälin keskisato lohkon eri osissa kolmella alueella

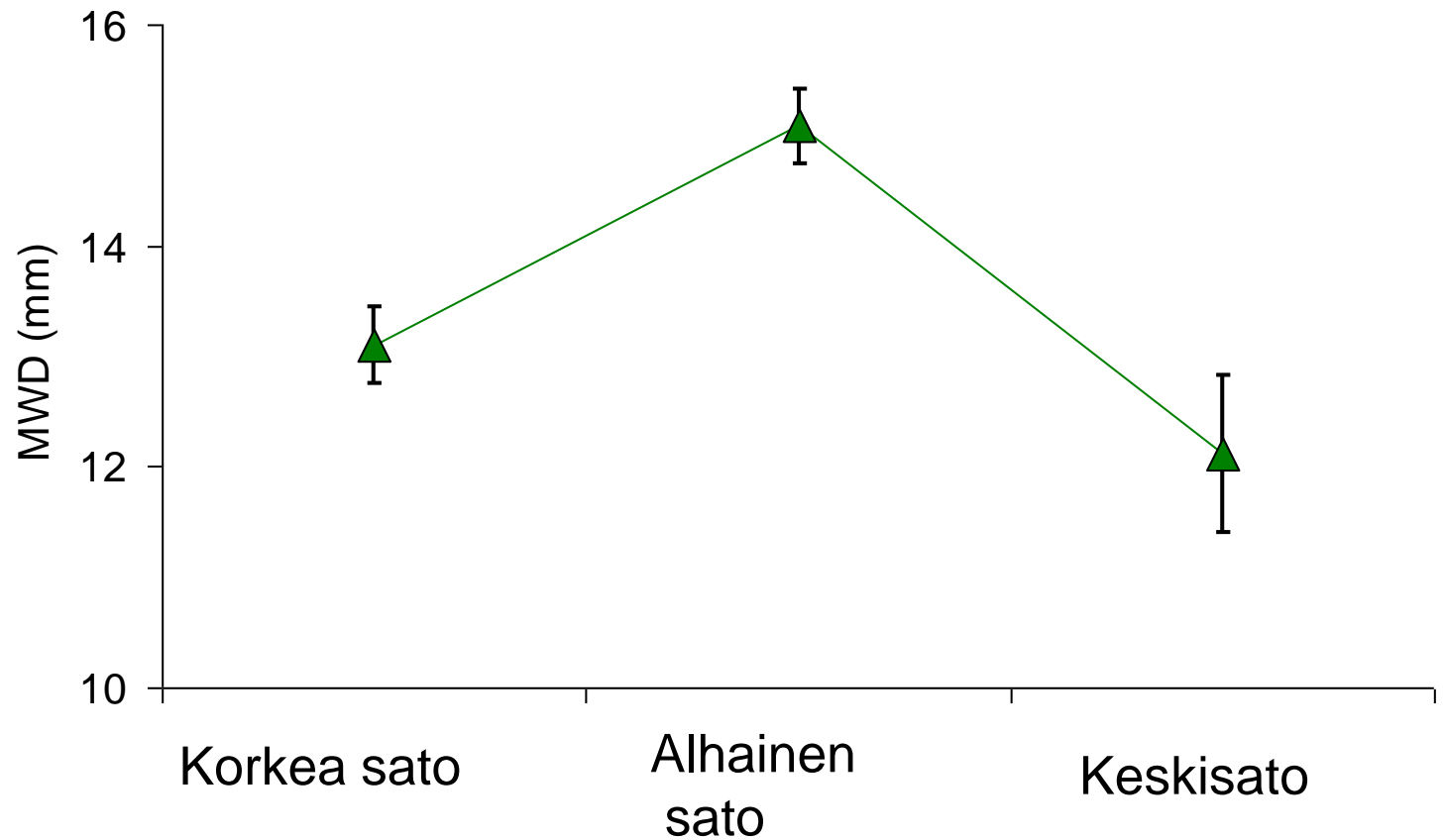
Korkean sadon alue, H:	112,5% (CV=16,3%)
Keskisadon alue, M:	99,5% (CV=16,7%)
Alhaisen sadon alue, L:	84,0% (CV=20,7%)

(Erot satotasoissa merkittäviä luotettavuusrajalalla $P < 0,05$)

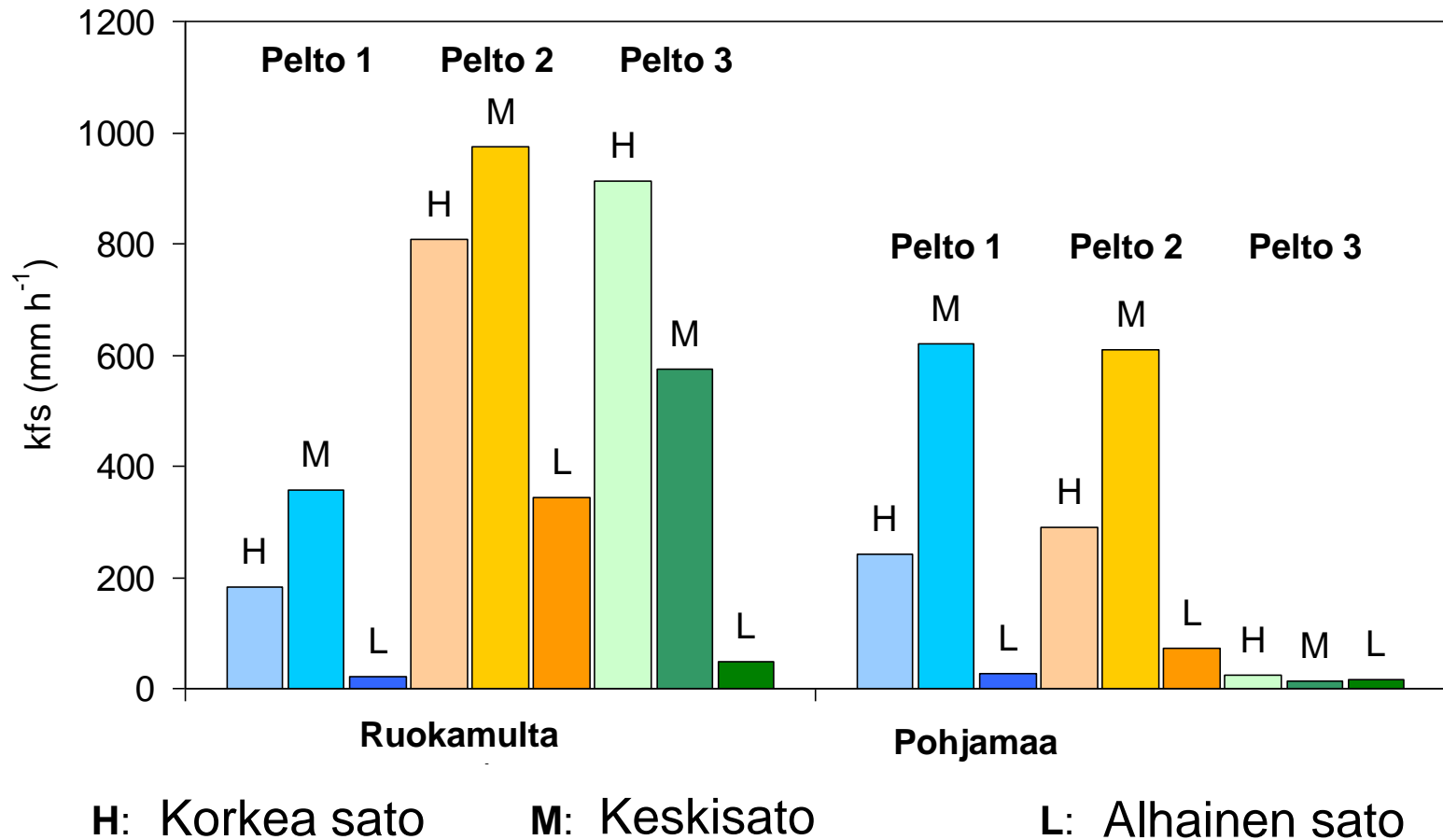
Irtotiheys eri satotasojen alueilla



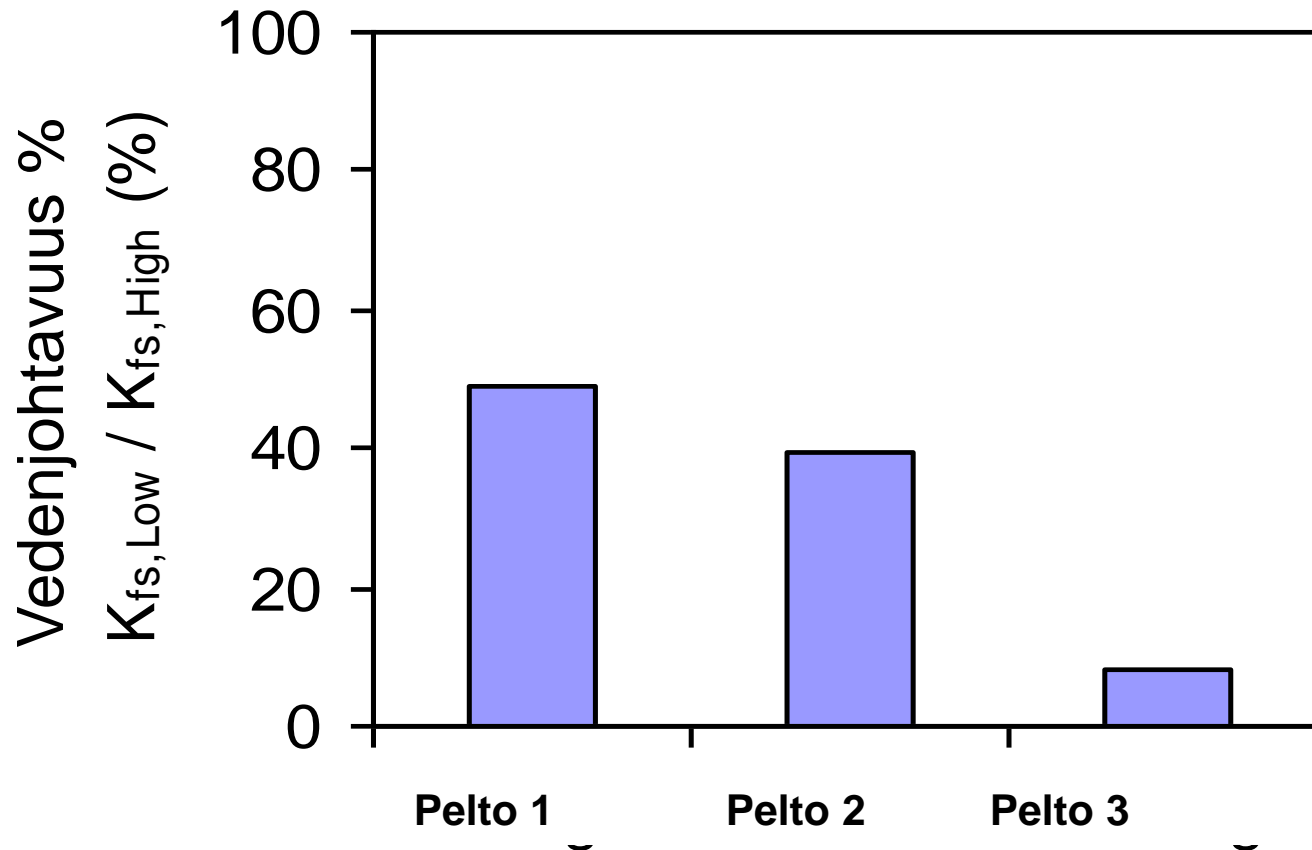
Murujen keskipainohalkaisija



Saturoituneen maan vedenjohtavuus, K_{fs} (kattilamenetelmällä)

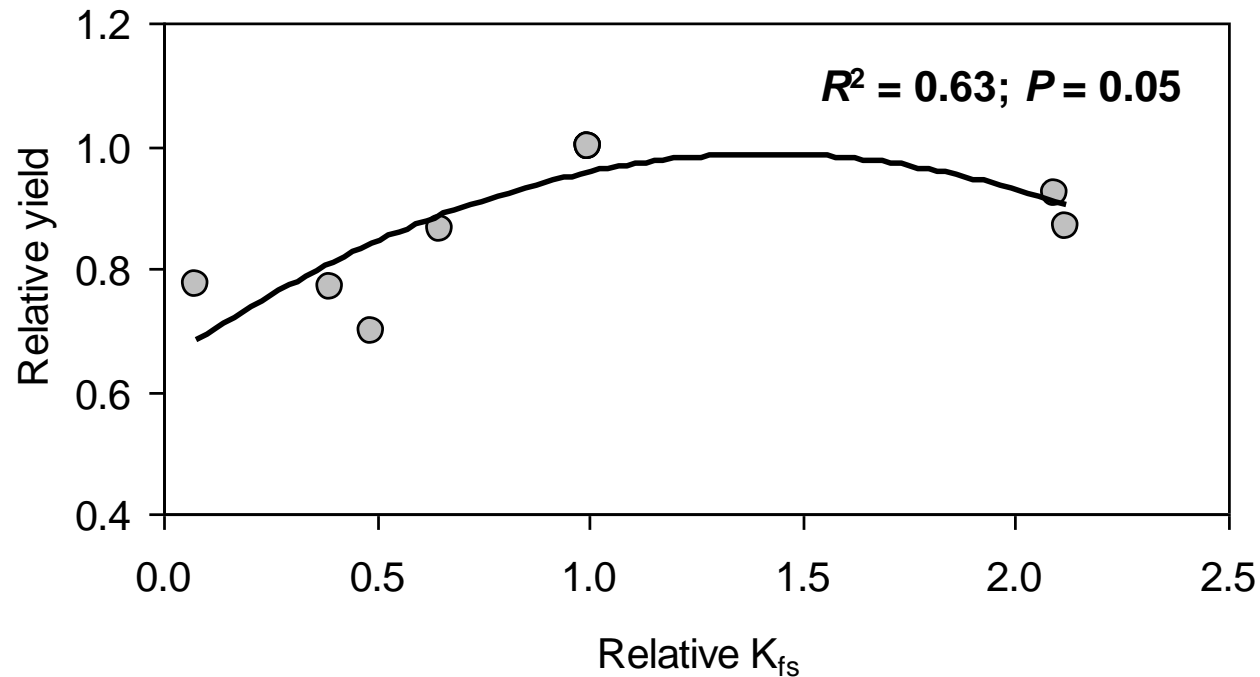


Vedenjohtavuus alhaisen sadon alueilla verrattuna korkean sadon alueisiin K_{fs}



Suhteellinen jyväsato suhteessa suhteelliseen veden imeytymiseen K_{fs}

1.0 (100%) = keskisatoinen alue



...miten tämä liittyy kosteustilanteeseen muokkaushetkellä..?

- (1) Murukokojakauma muokkauksen jälkeen riippuu pellon kosteudesta
- (2) Oletuksena on vaihteleva kosteus pellolla muokkaushetkellä
- (3) Tämä:
 - Vaikuttaa maan rakenteeseen
 - Voi vaikuttaa maan oloihin kylvöhetkellä ja kylvöalustan ominaisuuksiin
- (4) Mikä vaikuttaa sadon kasvuun ja satoon

Johtopäätökset ja miten sovelletaan (täsmä)viljelyyn

- (1) Alhaisen sadon alueilla oli huono maan rakenne. Tämä näkyi etenkin:
 - Selvästi alempana vedenjohtavuutena, K_{fs} , heikon satotason alueilla
 - Suurempana murujen keskikokona ja korkeamana irtotiheytenä heikon sadon alueilla

- (2) Maan rakenne on tärkeä

- (3) Emme saa unohtaa pohjamaata, *eli* vuotuisen muokkauksen alapuolista kerrosta

Johtopäätökset

- Maan muokkaukselle on optimaalinen kosteus
- Optimi on kosteudessa, joka on hieman kuivempaa kuin (alempi) muovautumisraja
- Muokkaus liian märissä oloissa vahingoittaa maan rakennetta
- Muokkaus liian kuivissa oloissa vaatii paljon energiaa
- Muokkautuvuusikkuna riippuu maan tilasta: heikkorakenteinen maa -> hyvin kapea ikkuna

- Muokkauksella luotu maan mururakenne (murujakauma) vaikuttaa kasvien kasvuoloihin ja siten satoon
- Kosteustilanne ei yleensä ole tasainen koko lohkolla, joten pellon rakenteeseen tulee vaihtelua muokkauksen johdosta, mikä aiheuttaa eroja satotasossa.

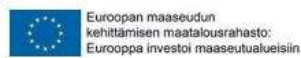
- Vetotehon tarve on suurin kyntöauralla, mutta maatilavuutta kohden vetotehon tarve on alhaisempi kuin kultivaattorilla tai lautasäkeellä
- Kun maa on liian märkä, maan liikuttamiseen menee paljon energiaa, mutta maa ei murustu

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