

# Metsämaan fysikaalisten ominaisuuksien ja olosuhteiden mittaamisen perusteet

Juha Heiskanen

[juha.heiskanen@luke.fi](mailto:juha.heiskanen@luke.fi)

[www.luke.fi/henkilosto/juha.heiskanen](http://www.luke.fi/henkilosto/juha.heiskanen)

Maan fysikaaliset ominaisuudet  
seminaari, Luke, Vantaa 4.4.2016



# Mitä on metsämaa?

## ➤ Maaperä

= kallioperää peittävä irtomaakerros

-Suomessa paksuus vaihtelee, keskimäärin 8.5 m paksu

## ➤ Metsämaa

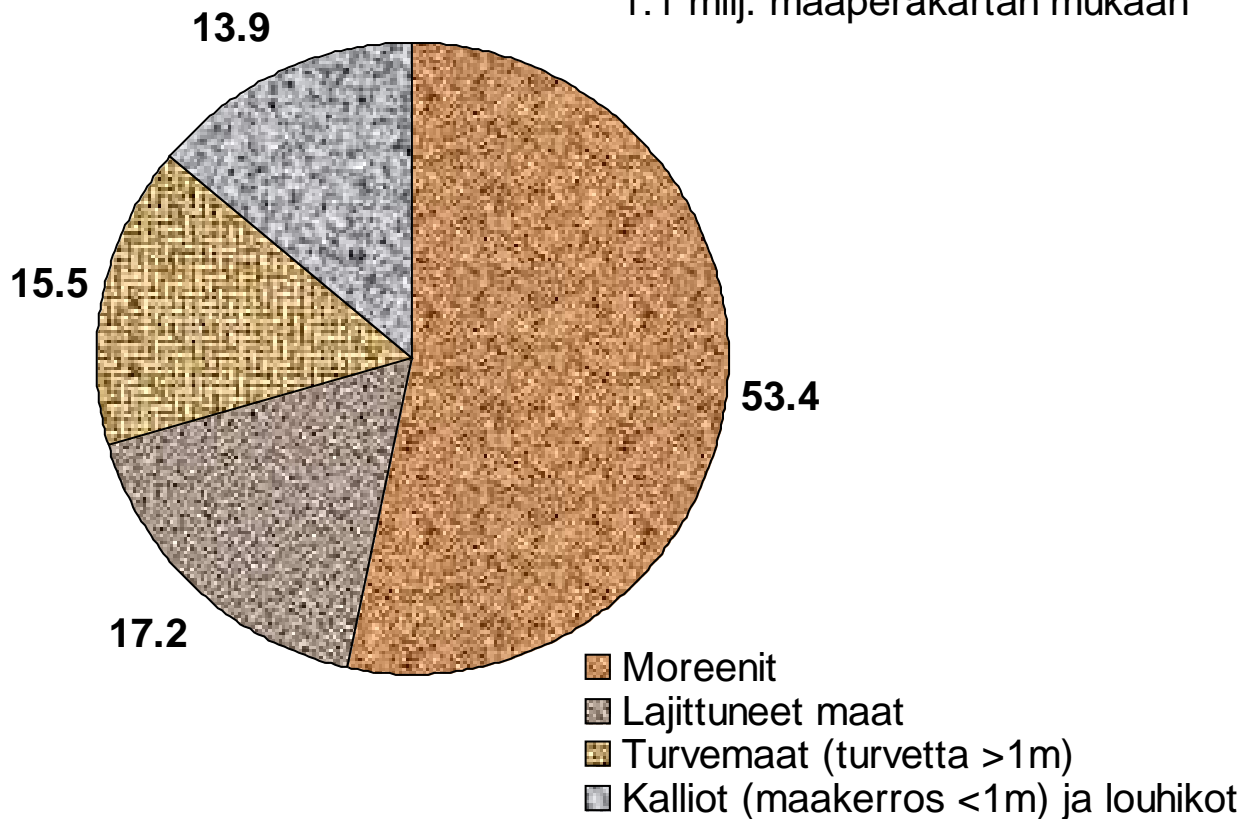
-Suomen maaperä on syntynyt pääosin viimeisimmän jääkauden aikana ja sen jälkeen; geologisesti katsottuna maapallon nuorimpia

-Suomen metsämaat sisältävät vähän hienoja aineksia, koska rapautumisen tuloksena ei ole ehtinyt muodostunut paljon hienoja aineksia

-Suomen metsämaat jaetaan erilaisiin luokkiin sen perusteella millainen on maaperän viljavuus eli maaperän luontaisista fyysikaalisista ja kemiallisista ominaisuuksista johtuva tuottokyky => kasvupaikkaluokat => vyöhykkeittäiset metsätyypit

# Suomen metsämaat

Suomen maalajit ja -muodostelmat  
1:1 milj. maaperäkartan mukaan



**Maa-alasta 1/3 eli 8.9 milj. ha on suota, kun suo määritelty >30 cm turvekerroksella**

# Suomen metsämaat...

- **Suomen metsämaista suurin osa on moreeneja**  
suuri osa on jonkin verran lajittuneita tai ns. sekamaalajeja  
=> ei ole lainkaan tai hyvin vähän joko kaikkein hienoimpia tai karkeimpia lajitteita
- **Moreeni koostuu eri lajitteista ja ne nimetään keskimääräisen lajitteen mukaan**  
10% soramoreeni SrMr  
75% hiekkamoreeni HkMr (Hk, Ht)  
15% hienoaineksinen moreeni HMr (Hs, S)
- **Lajittuneet maat**
  - Sisältävät vallitsevan lajitteen lisäksi myös pienempiä määriä muita lajitteita
  - Lajittuneisuus ilmaistaan indeksillä esim.  $(d_{75}/d_{25})^{0.5}$  (jossa d-arvot 75 ja 25 summaprosenttia vastaavat raeläpimitat); moreenin indeksi on yleensä >3
  1. Somerot (harjusora)
  2. Hiekkamaat
  3. Hietamaat (pääasiassa hietaa, savesta voi olla alle 20 %)
  4. Hiesumaat (pääasiassa hiesua, savesta tavallisesti 20-30 %, hietaa vähän)
  5. Savimaat

# Maalajit

## Raekokoluokat (Atterberg 1912)

Lajite	Lyhenne	Raekoko,mm	Karkeus	Tunnistus	Ominaisuuksia
lohkareet kivet karkea sora hieno sora	kSr hSr	>200 20-200 6,0-20,0 2,0-6,0	Karkeat lajitteet	Raekoko selvästi nähtävissä silmävaraisesti	Läpäisee vettä helposti
karkea hiekka hieno hiekka karkea hieta	kHk hHk kHt	0,6-2,0 0,2-0,6 0,06-0,2	Keskikarkeat lajitteet	Yksittäiset rakeet irralaisia ja silmin erotettavissa	Vedenläpäisevyys ja pidätys usein tasapainossa
hieno hieta karkea hiesu hieno hiesu saves	hHt kHs hHs S	0,02-0,06 0,006-0,02 0,002-0,006 <0,002	Hienot lajitteet	Yksittäisiä rakeita ei erota silmä- varaisesti. Kos- tutettuna pyöritet- tävissä <4 mm paksuinen pötkö	Tiivistä ja routivaa. Märkänä juoksevaa, vedenläpäisevyys heikko

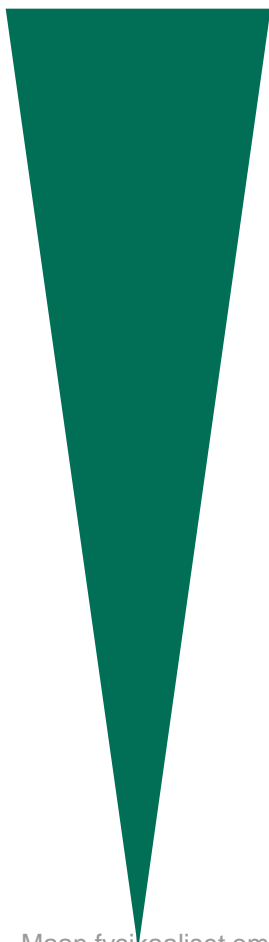
### Maaperäkartoituksessa hienojakoinen maa sisältää

>30% hienoa maata (<0,06 mm) josta

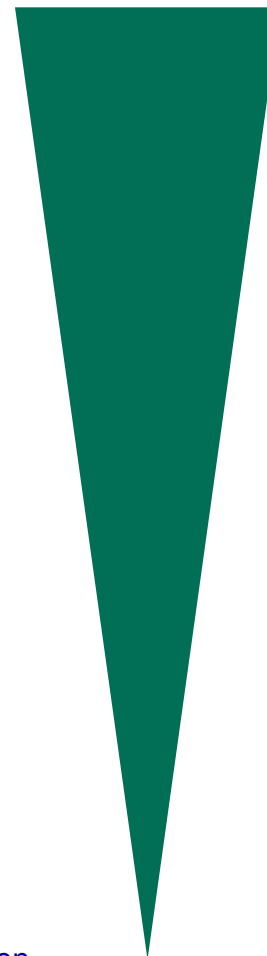
>5% savea (<0,002 mm)

# Kangasmaan kerrokset

kasveille käyttökelpoisten  
ravinteiden määrä



juurten määrä



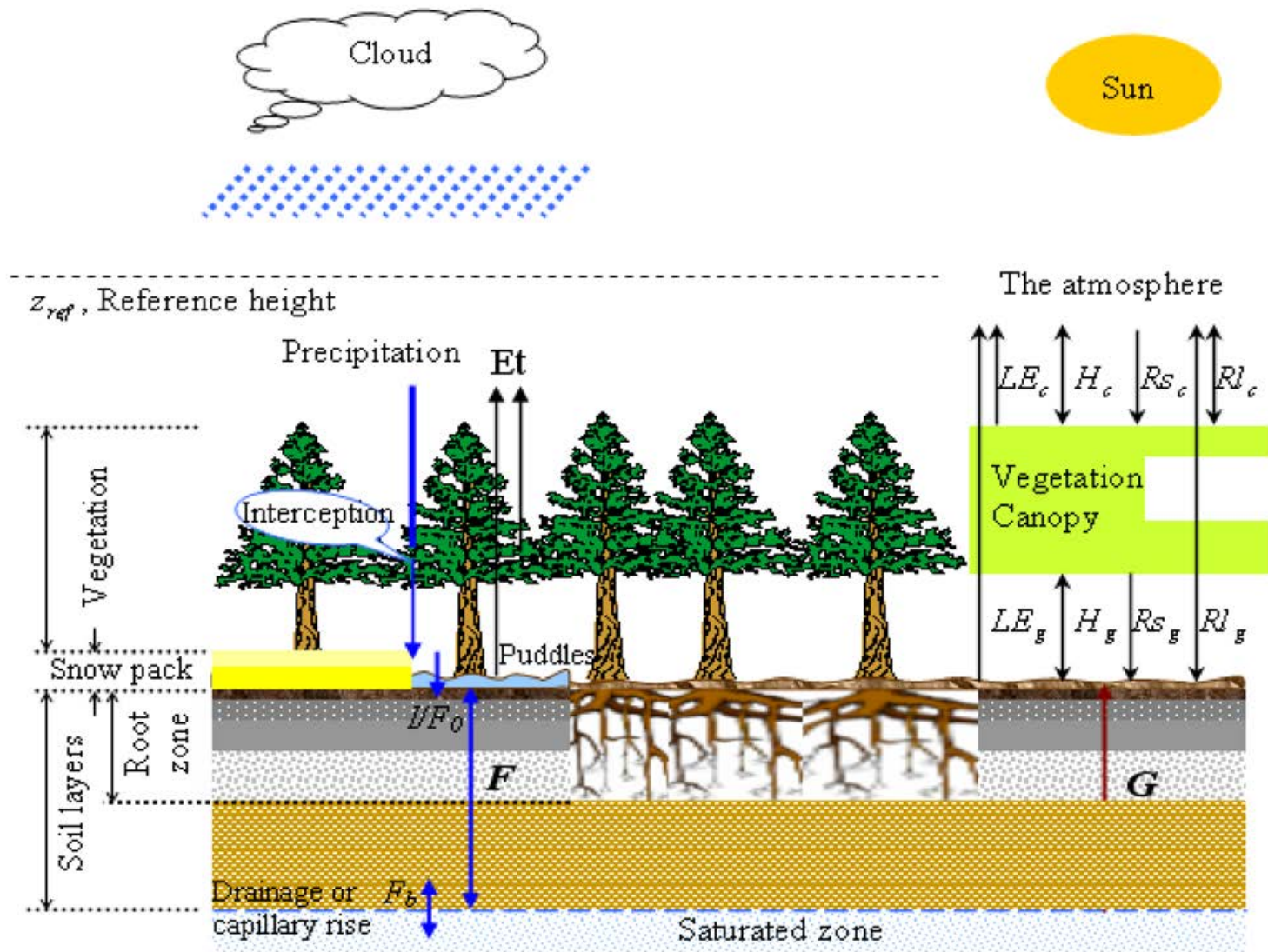
# Yleisimmän maannosprofiilin horisontit



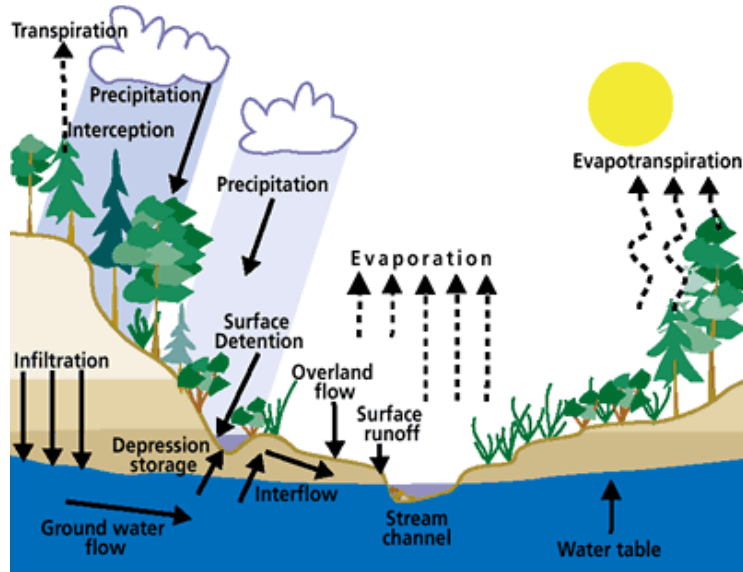
- O** kangasmaan kasvillisuudesta muodostunut orgaaninen kerros  
(**H** suokasvillisuudesta muodostunut turvekerros)
- A** kivennäismaan pehmeä humuspitoinen pintakerros, jossa voi olla muruisuutta
- E** huuhtoutunut vaalea kivennäismaakerros
- B** rikastunut tai paikallaan muuttunut punertava kerros
- C** muuttumaton pohjamaa

P. Tamminen

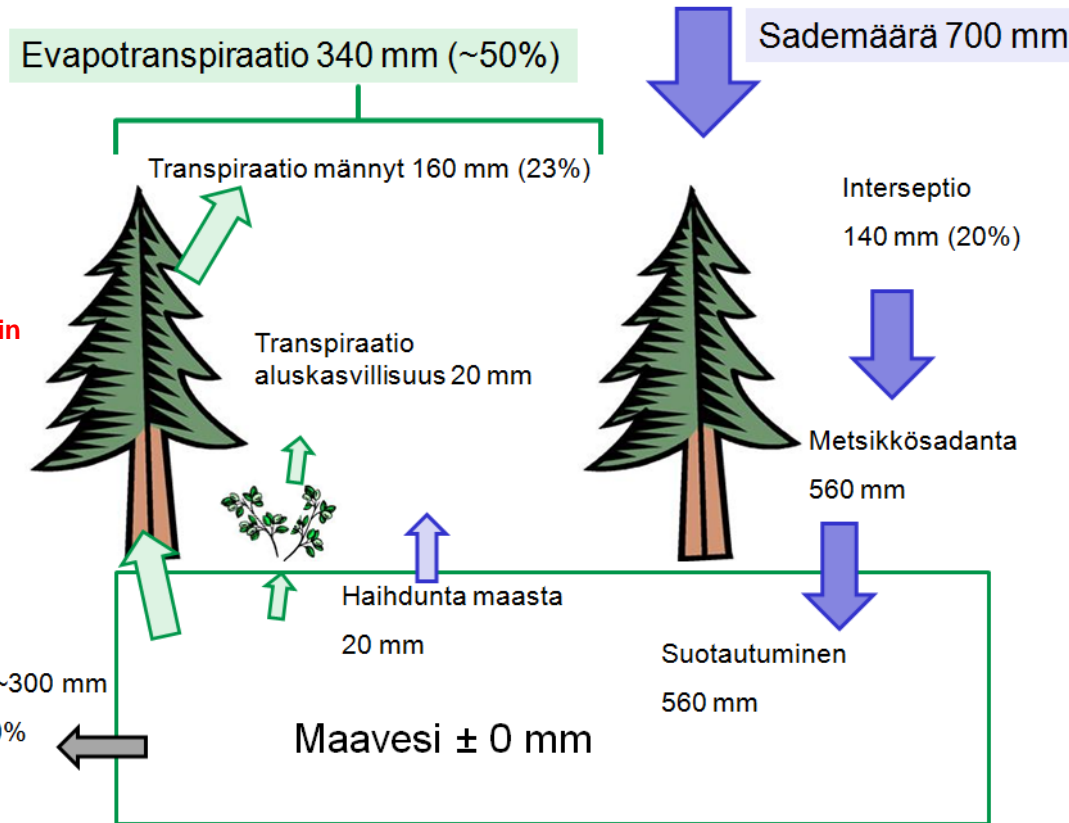
# Maafysiikan pääviitekehys: Metsän vesi- & energiatase



# Pääviitekehys... Hydrologinen kierto



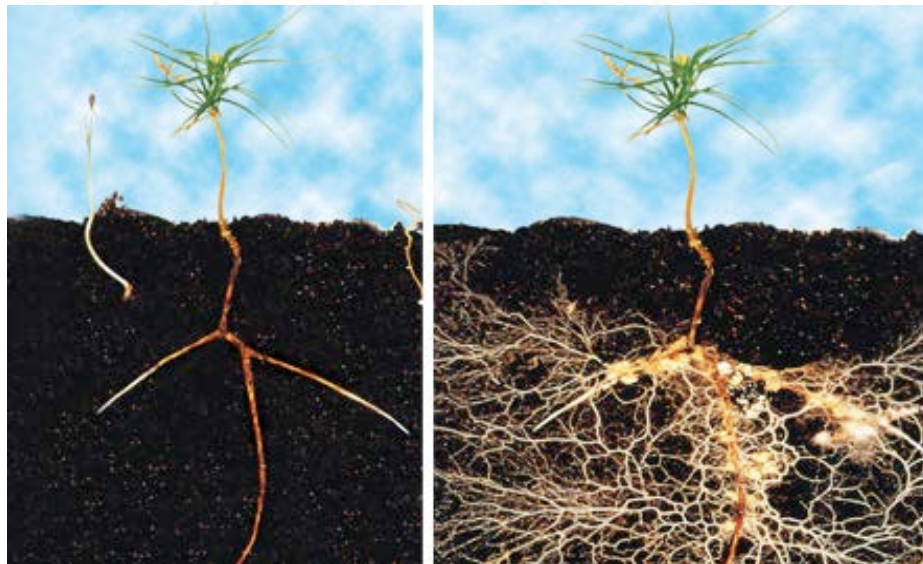
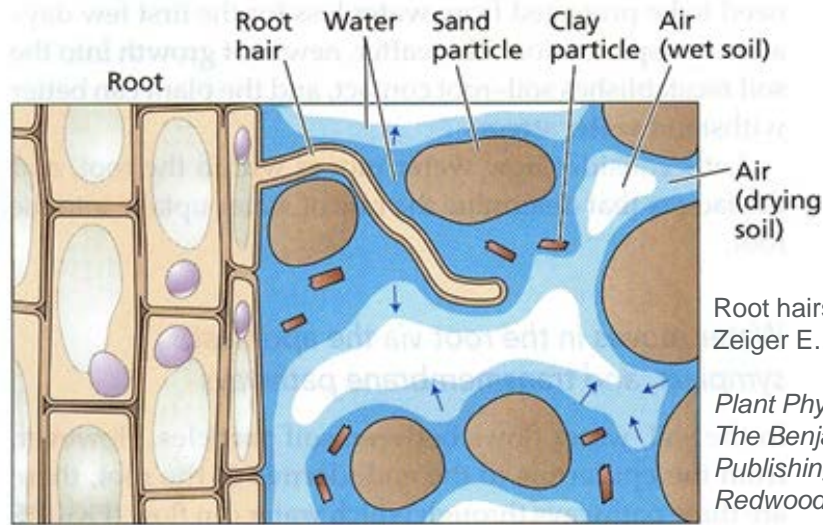
Vaje noin  
60 mm



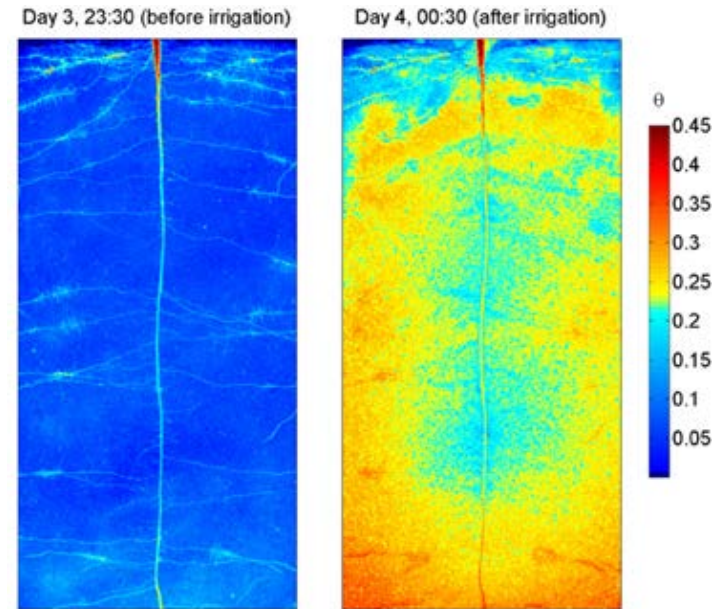
Iivesniemi et al., 2010; Launiainen S., 2010

Männikön yhden vuoden vesitase Hyytiälässä

# Vedenpidätyskyky ja -johtavuus sekä saatavuus...



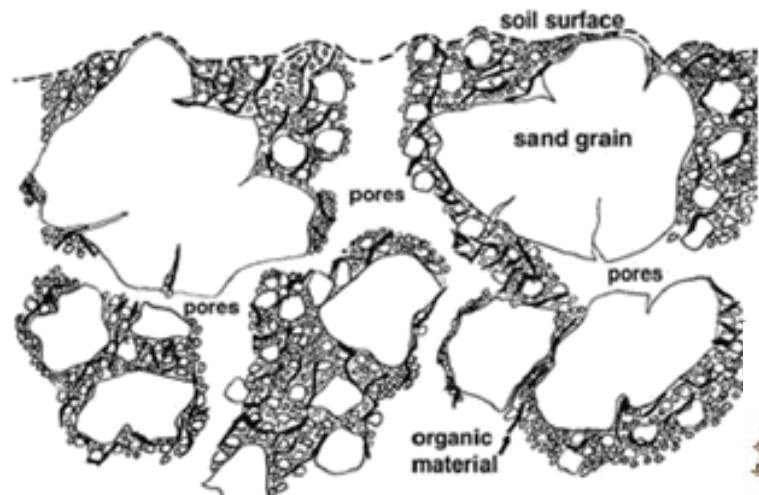
[www.appliedturf.com/organics/mycorrhizae](http://www.appliedturf.com/organics/mycorrhizae)



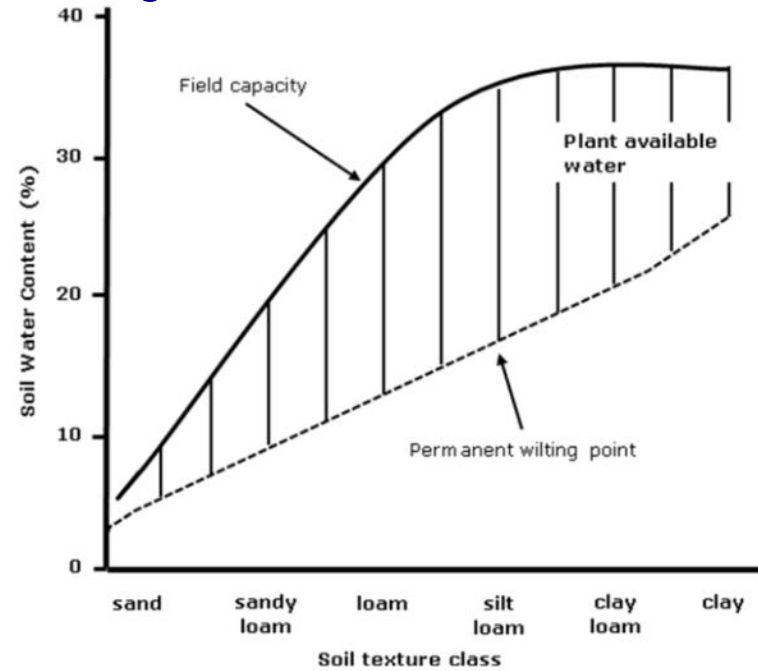
Neutron radiography of roots and soil during a drying period and after irrigation. The color map is proportional to the water content (Carminati 2013).

*Frontiers in Plant Science* 298. =>  
[www.frontiersin.org/Journal/Abstract.aspx?s=1201&name=functional\\_plant\\_ecology&ART\\_DOI=10.3389/fpls.2013.00298](http://www.frontiersin.org/Journal/Abstract.aspx?s=1201&name=functional_plant_ecology&ART_DOI=10.3389/fpls.2013.00298)

# ...riippuvat maan ominaisuuksista ja olosuhteista



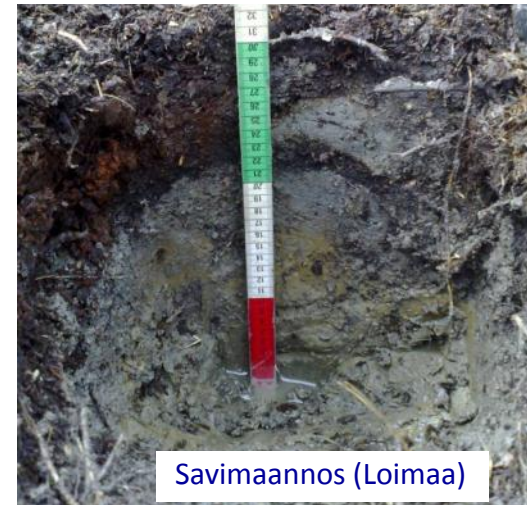
Rahkaturve



HHkMr (Suonenjoki)



HHtMr (Suonenjoki)



Savimaannos (Loimaa)

# Mitä mitata metsämaasta?

- **Suure**  
= asian tai esineen mitattava **ominaisuus tai olosuhde**, joka voi olla määrällinen tai laadullinen. Suureen **arvo** mitataan käyttäen sovittua **yksikköä** (esim. °C)  
Esim. maaositteiden määrät (massa, tilavuus, ala), virtaukset, vuot ja johtavuudet sekä potentiaalit ja pidätysvoimat
- **Ominaisuus** (*property*)
  - Lähes muuttumattomia (esim. maan raekoko, vedenpidätyskyky)
  - Mittaukset ja analyysit tehdään useinmiten **labrassa**
- **Olosuhde** (*condition*)
  - Muuttuvat ajassa (esim. maan lämpötila, vesipitoisuus)
  - Mittaukset ja analyysit tehdään useinmiten **maastossa**
- **Mittarin kalibrointi !**  
= tarkastettavan mittasysteemin vertaaminen tarkempaan mittausmenetelmään eli kalibraattoriin

# Miksi yleensä mitataan?

- **Kuvaaminen ja luokittelu**  
Kohteita ja prosesseja pystytään analysoimaan ja vertailemaan
- **Arviointi**  
Voidaan selvittää ovatko laatu ja prosessit hallinnassa
- **Ennustaminen**  
Mittaustuloksista voidaan tehdä malleja suunnitelun apuna
- **Kehittäminen**  
Mittausten ja mallien avulla löydetään pullonkauloja ja tehottomia käytäntöjä

# Metsämaan fysiikan/hydrologian tutkimustarve?

## A) Mittausdata:

- \* metsämaan vedenpidätyskyky ja hydraulinen johtavuus
- \* siirtofunktioiden laadinnassa tarvittavien taustamuuttujat (kuten raekoko, org.aines, kivisyys, maaperän paksuus, topografia)
- \* mallinuksissa tarvittavat olosuhdemuuttujat (kuten sadanta, lpt, maan vesipit., pohjavesitaso)

## B) Datan esilaskenta:

- \* sovitus- (kuten van Genuchten, Brooks & Corey), siirto- ja selitysfunktiot

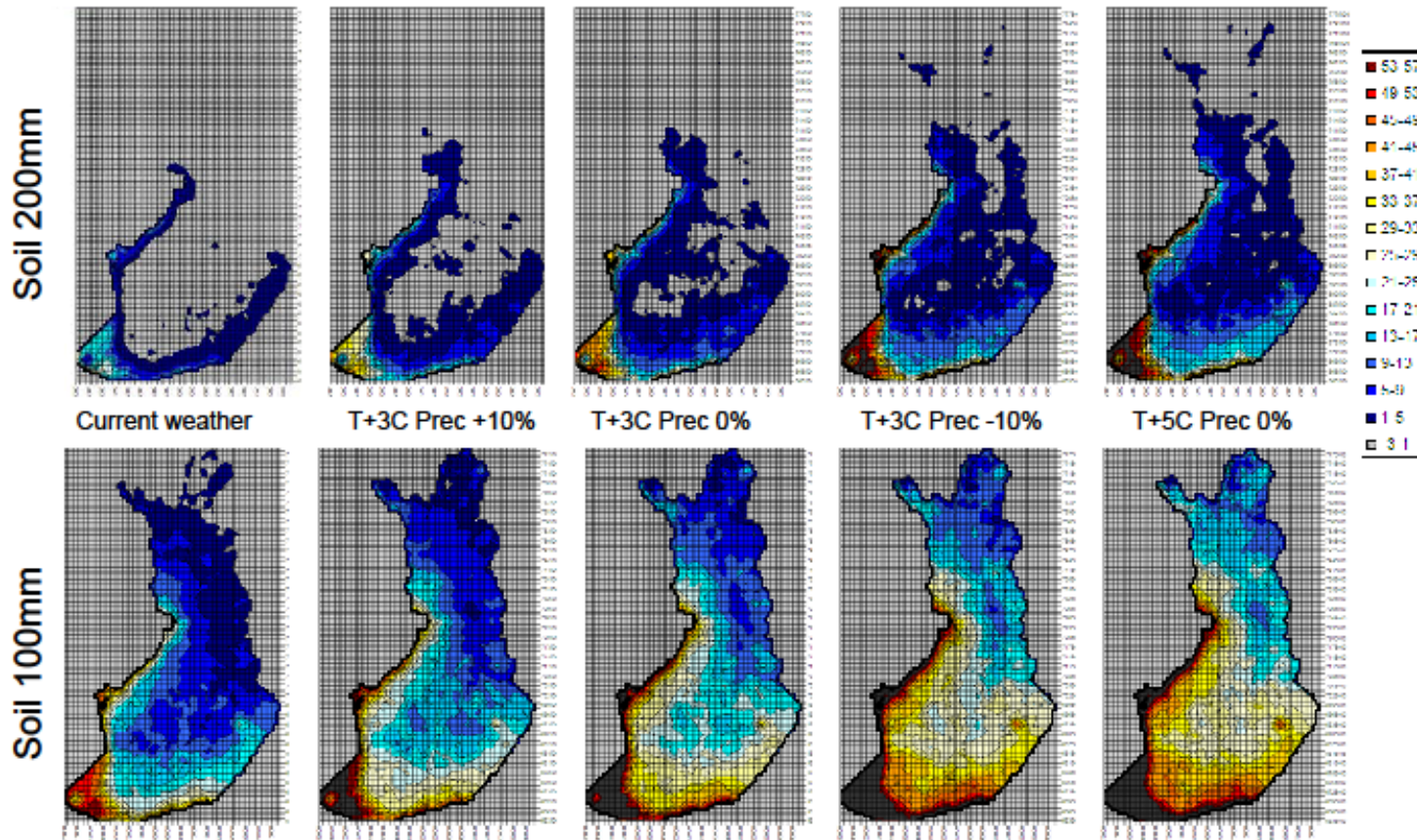
## C) Datan soveltaminen & mallinnus:

- \* maatunnusten mallinnus koealoille ja **yleistäminen** edelleen Suomen metsille
- \* sovellukset eri käyttötarkoituksille (kuten maan **vesivaraston** määrä, kasveille käyttökelp. vesi, **valunta**, veden liikkeet maaprofiilissa, **maastokantavuus** ym.)
- \* osamalleja **puuston kasvun** vaihtelulle (ravinne-, sadanta- ym. mallien lisäksi)
- \* osamalleja metsämaihin varastoituneen **hiilen** määrälle
- \* **ilmastonmuutoksen** vaikutusmallit metsien vesi- ja energiataseisiin
- \* jne.

# Model application

## 1. Number of drought days

(soil water below 10% of capacity)



Prediction of droughts using the soil water balance model by Mäkelä & Linkosalo

Linkosalo, T, Duursma, R.A., Pumpanen, J., Mäkipää, R. & Mäkelä, A. 2009. Predicting the probability of severe droughts and changes in potential GPP under changing climate. Oral presentation in 6th International Symposium on Ecosystem Behavior BIOGEMON 2009', June 29 - July 3, 2009, Helsinki.

# Mittausdatan suureita...

- **Maan koostumus**
  - maalaji, maannos
  - maan orgaanisen aineen määrä ja laatu
  - ominaispinta-ala
- **Maan huokoisuus**
  - rakenne, kokonaishuokostila ja huokoskokojakauma
  - ilmalla täyttynyt huokostila
  - kaasujen diffuusioiden nopeus
- **Maan hydrauliset ominaisuudet**
  - vedenpidätyskyky
  - vedenjohtavuus
- **Maan termiset ominaisuudet**
  - lämmönjohtavuus
  - lämmönvarastoimiskyky

# Näytteenotto laboratoriomittauksia varten

- **Häiriintynyt irtonäyte**
  - Fysikaaliset analyysit <20 mm fraktiosta (esim. reaekoko)
  - Kemialliset analyysit <2 mm fraktiosta (esim. ravinteet, pH)
- **Häiriintymätön (lieriö)näyte !**
  - Tiheys
  - Huokoisuus (rakenne)
  - Vedenpidätyskyky
  - Veden- ja ilmanjohtavuus
- **Maavesi (kemiall.)**
  - Kerätään lysimetrein
  - Ravinteet, yhdisteet, pH



M. Starr



J. Heiskanen

# Esimerkki: Maan vesipit. (olosuhde) mittaus...

## ➤ Gravimetrinen määrittäminen (punnitus)

Näyte punnitaan luonnontilaisena ja kuivattuna  
=> vesipitoisuus = massojen erotus

## ➤ Mittarit

Perustuvat sähköisten ominaisuuksien muutoksiin kosteuden ja usein johtokyvyn muuttuessa (=> lannoitus voi vaikuttaa)

-sähkönjohtavuus => esim. kipsiblokit

-kapasitanssi, impedanssi => FDR (Frequency Domain Reflectometry)

-sähkömagneettisen pulssin nopeus => TDR (Time Domain Reflectometry)

-radioaktiivinen säteily => neutronisondi

-maaveden potentiaali/paine

=> tensiometri (matriisipotentiaali >-85 kPa)

=> termopari-psykrometri (kok.potentiaali -0.05...-8 MPa)

(lakastumisraja -1500 kPa = -1.5 MPa)

## ➤ Dataloggerit

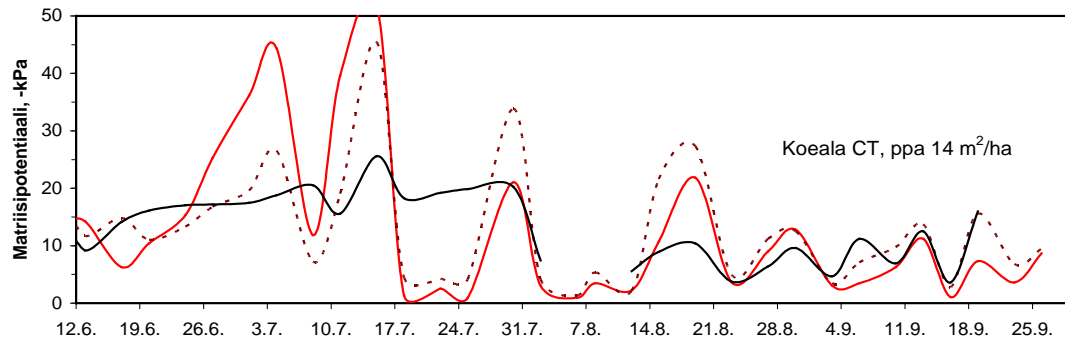
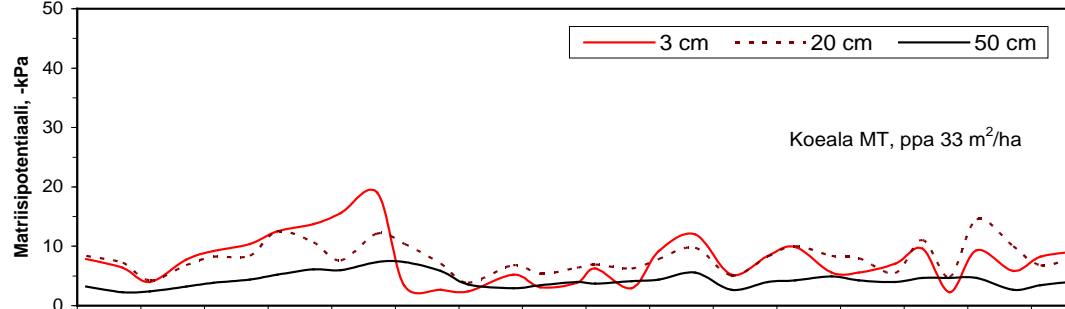
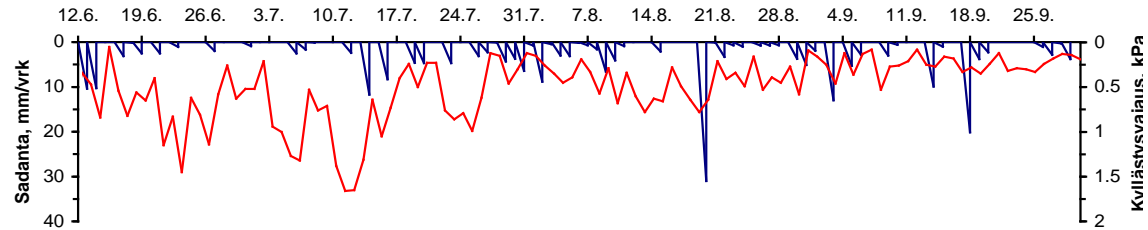
Ajallisen vaihtelun mittaus



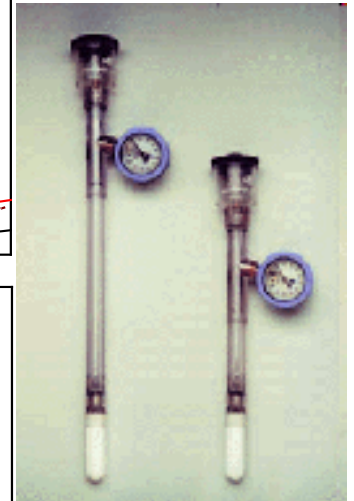
Psykrometrin anturiossa; mittaa maan ilmatilan RH:ta (Wescor Inc.)

# Esimerkki: Maan vesipot. (olosuhde) mittaus...

Maan vesipotentiali kahdessa eteläsuomalaisessa metsikössä v. 1985



(Heiskanen 1987)



Tensiometrejä  
(SoilMoisture Inc.)



Tensiometrejä (UMS GmbH ja  
Decagon Devices Inc.)

# Esimerkki: Maan vesipit., sähkönjoht. ja lpt:n mittaus maastossa



Decagon EC-5 anturi ja ECH2O-Check käsimittari (tai 5-kanavainen loggeri Em5b) mittaavat maan dielektrisyttä sähkömagneettisen kentän kapasitanssin perusteella



Delta-T Devices'in ThetaProbe mittaa seisovan aallon periaatteella sähkökentän impedanssia / kapasitanssia



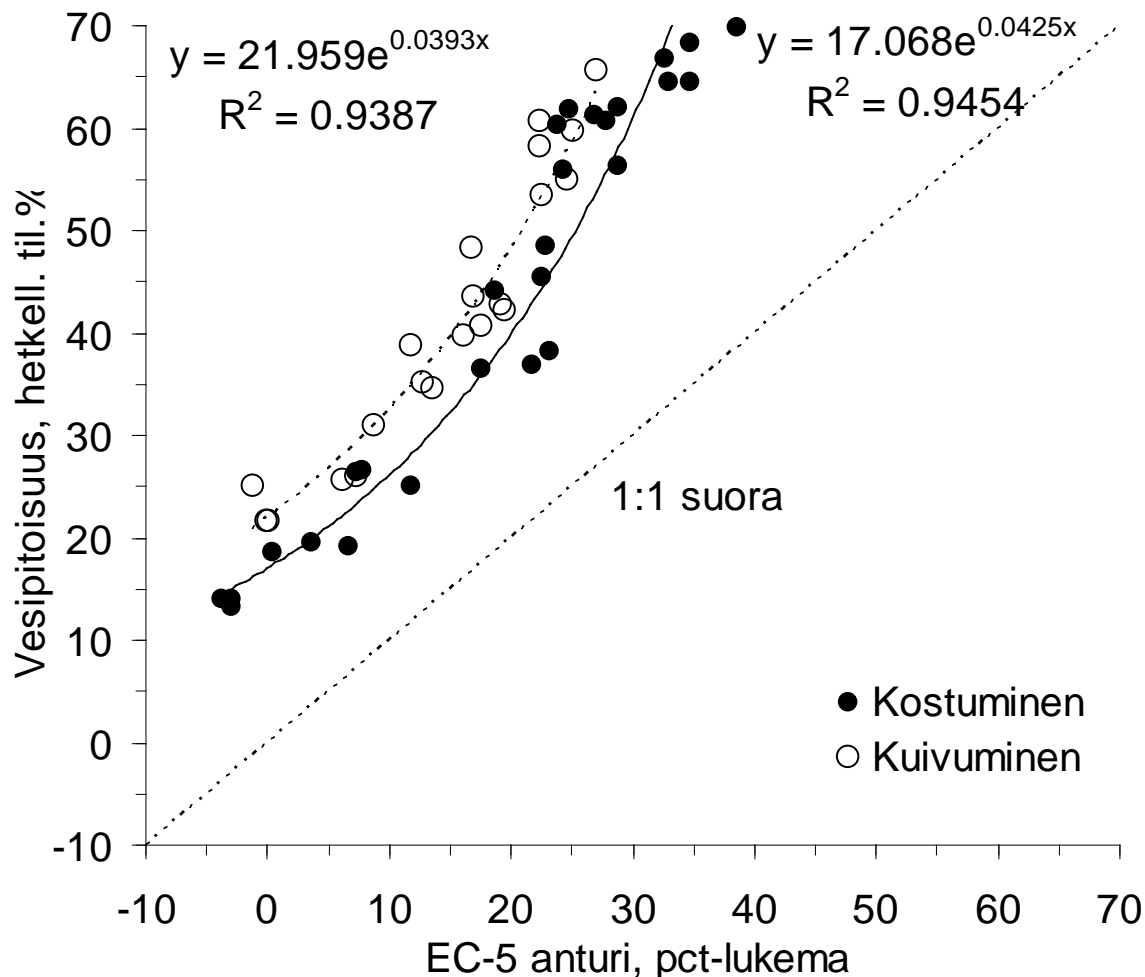
Delta-T Devices WET sensor + HH2 käsimittari (vesipitoisuus ja sähkönjohtavuus)



ProCheck mittari ja 5TE-anturi (vesipitoisuus ja sähkönjohtavuus)



# Mittarin kalibrointi tärkeää!



Decagon EC-5 anturin ja ECH2O-Check mittarin kalibrointi turpeelle

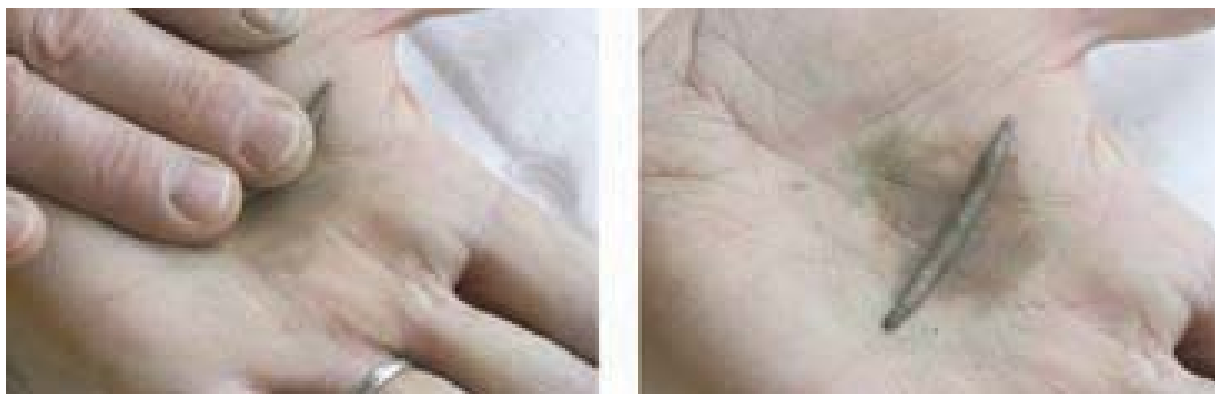
# Esimerkki: Maan raekokojakauma (ominaisuus)

## Mihin raekoko ja maalaji vaikuttavat?

- Tiheys
- Rakenne, huokoisuus ja vedenpidätyskyky
- Veden- ja kaasunjohtavuus
- Kantavuus
- Ravinteisuus

## Määrittymenetelmiä

- Kuivaseulonta
  - Sopii karkeille fraktioille  $>0.06$  mm
  - Kivennäismaalle ja turpeelle eri seulasarjat
- Pesuseulonta
  - Hienoaineksen määrittäminen  $\leq 0.06$  mm
- Sedimentointi (pipetointi tai areometrinen menetelmä)
  - Hienoaineksen määrittäminen  $< 0.06$  mm
- Laserdiffraktio (ei karkeille eikä aivan hienoimmille savimaille)
- Kuva-analyysi (ei hienoille fraktioille)



# Maalajitteiden aistinvarainen määrittäminen

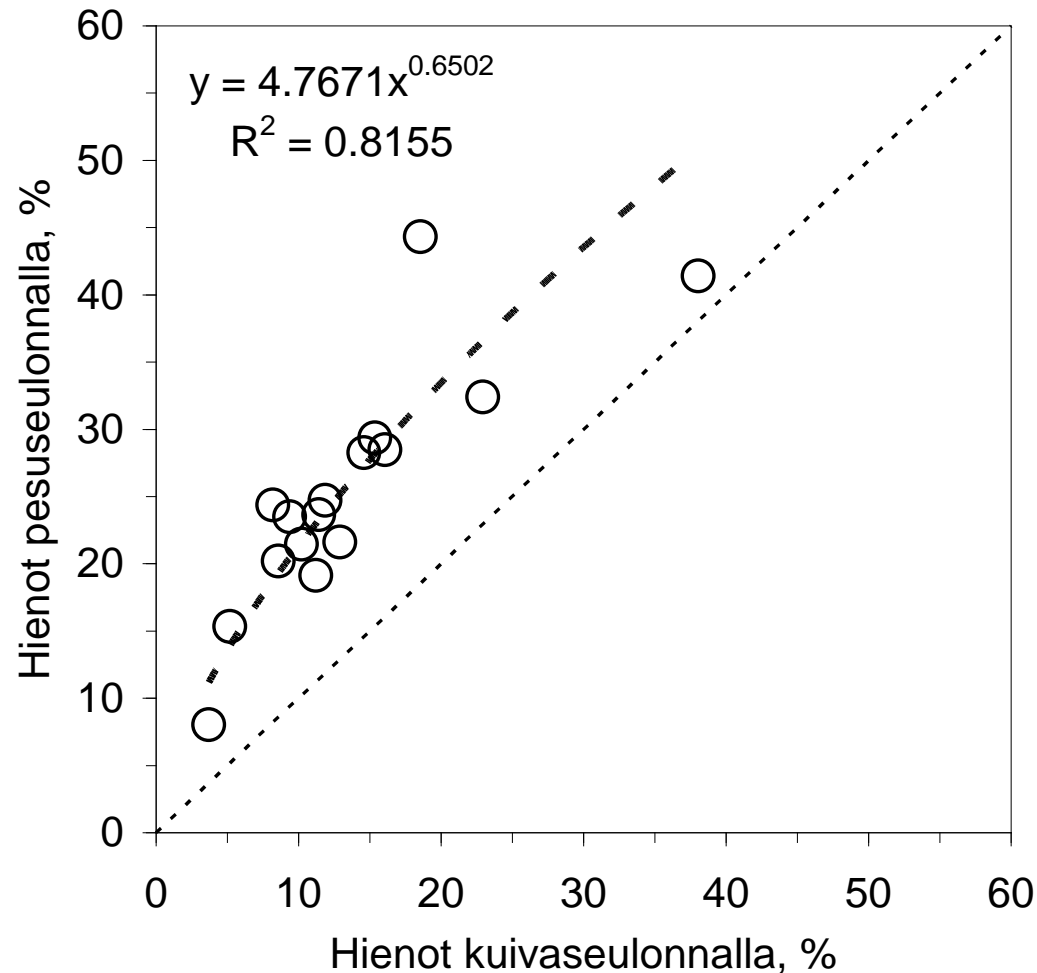
(Maanmuokkausopas)

Sopii parhaiten  
lajittuneille maalajeille



E. Oksanen

# Menetelmien vertailu/kalibrointi tärkeää...



Kuivaseulonta aliarvioi hienojen ainesten (<0,06 mm) osuuden.  
Pintamaat Suonenjoen ja Pieksämäen alueelta.

# Esimerkki: Vedenpidätyskyvyn ja -johtavuuden määrittäminen laboratoriossa



Painelevylaitteisto (SoilMoisture Inc. ja Luke Su), lieriöt k 60, Ø 58 mm => 158 cm<sup>3</sup>



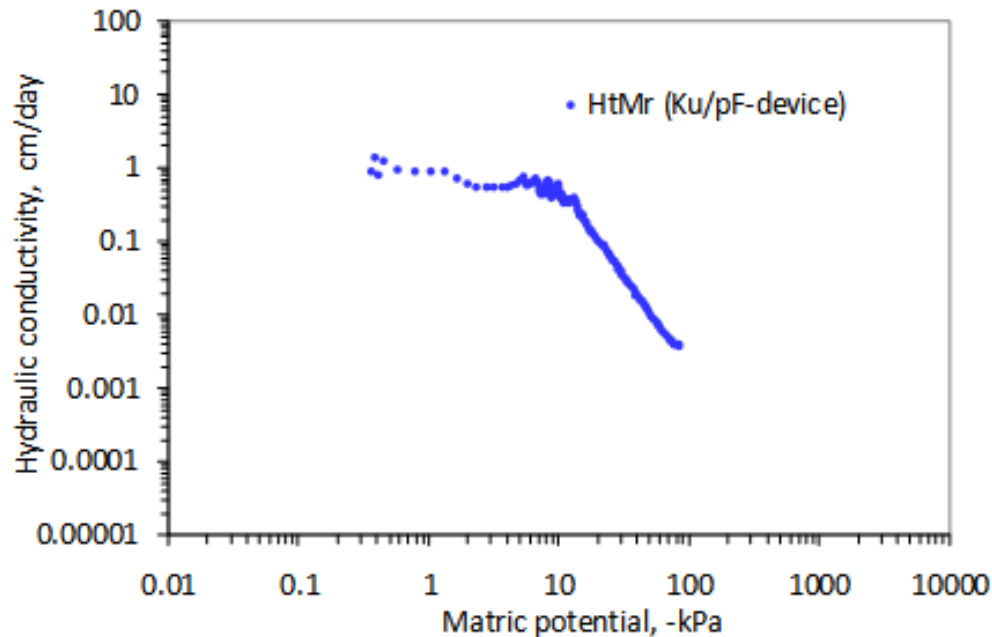
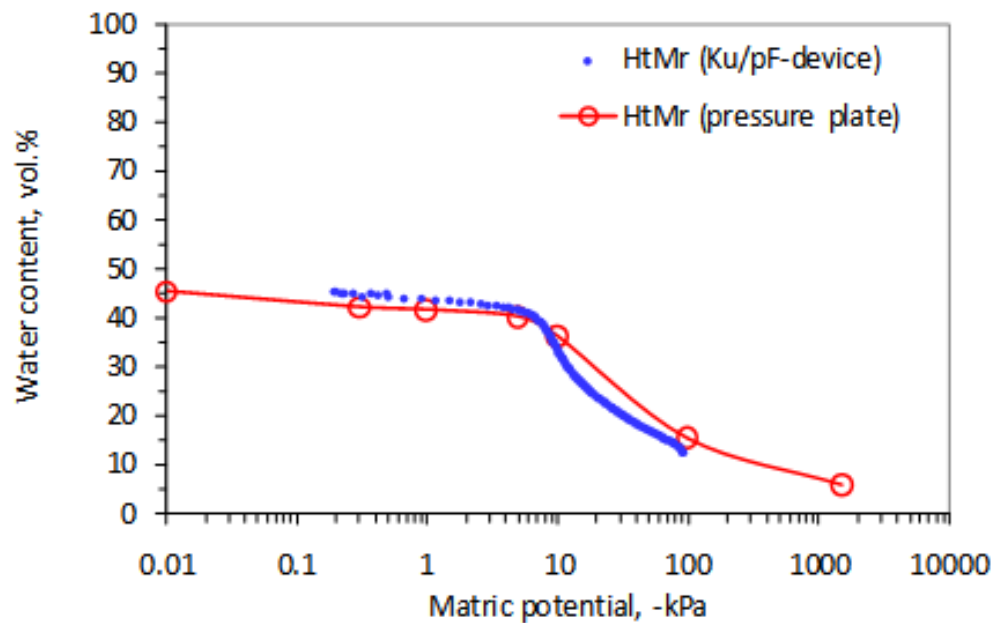
1 bar painelevy



15 bar painelevy



Ku-pF laite (UGT GmbH) lieriöt 250 cm<sup>3</sup>



**Esimerkki:**  
 Näytteen  
 vedenpidätyskyky  
 (kahdella eri  
 menetelmällä) ja  
 vedenjohtavuus  
 kuivussa

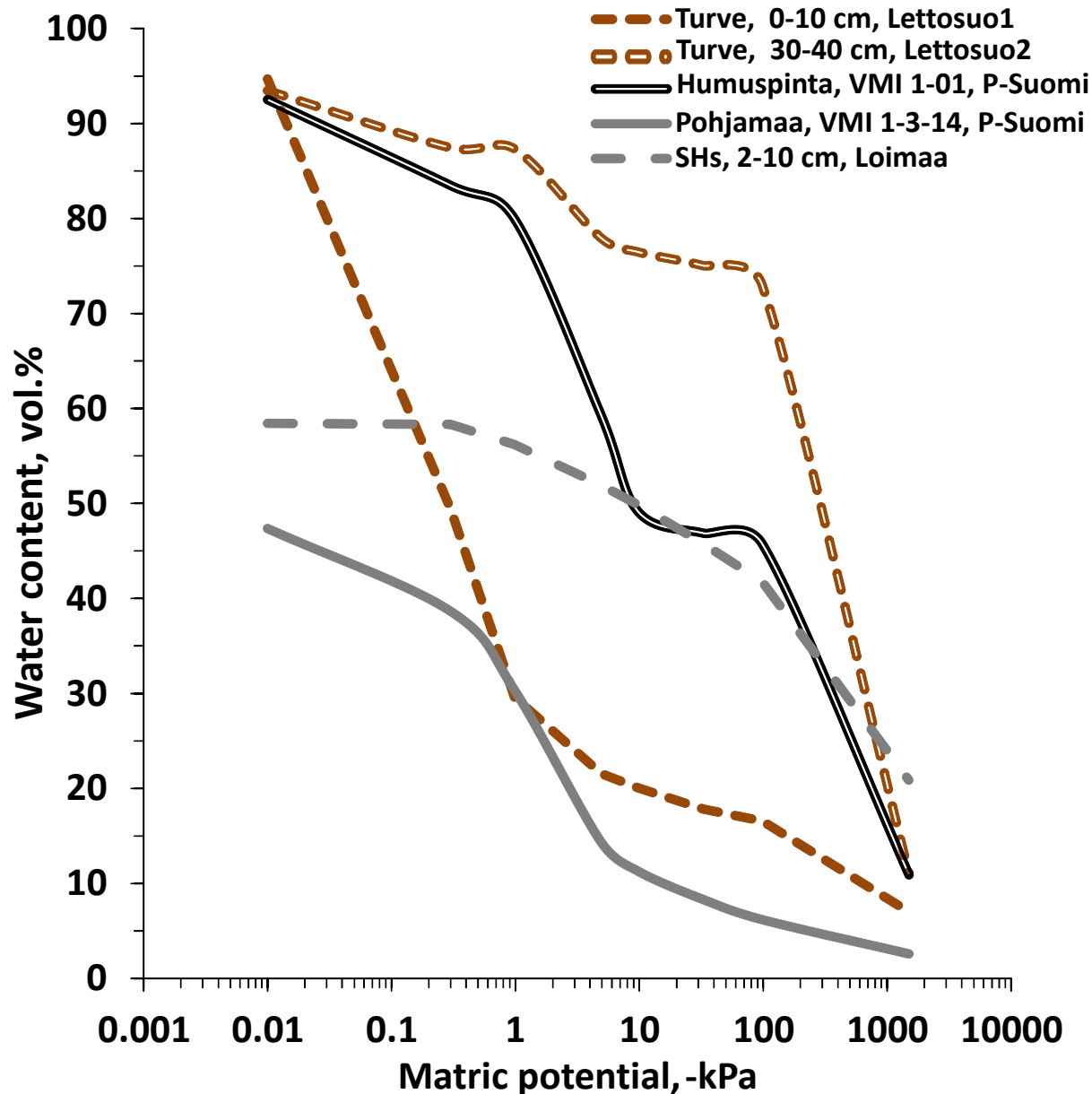
# Olemassa olevia maaperän ved.pid.aineistoja

Kohteet	Otosv.	Vastuututkija(t)	$\theta(\psi)$	Ksat	K( $\psi$ )	Raekoko	<i>in situ</i>		
							$\theta$	$\psi$	Lieriöitä
Hyytiälä	1985	Heiskanen Juha	On	Ei	Ei	On	Ei	On	116
Hyytiälä	1987-88	Jauhainen Mikko	On	?	?	On	?	?	360
Hyytiälä	1995-96	Ilvesniemi Hannu	On	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	131
Hyytiälä	1995-97	Ilvesniemi Hannu	On	?	?	?	?	?	189
VMI BioSoil	2006-07	Tamminen, Ilvesniemi, Heiskanen	On	Ei	Ei	On	On	?	379
FutMon	2009-10	Derome, Lindroos, Heiskanen	On	Ei	Ei	?	?	Ei	65
VMI	2011	Ilvesniemi, Heiskanen	On	Ei	Osin	On/VMI?	Osin	Ei	36
VMI	2012	Ilvesniemi, Heiskanen	On	Ei	Osin	On/VMI?	Osin	Ei	106
VMI	2013	Ilvesniemi, Heiskanen	On	Ei	Osin	On/VMI?	Osin	Ei	103
VMI	2014	Ilvesniemi, Heiskanen	On	Ei	Osin	On/VMI?	Ei	Ei	95
VMI	2015	Ilvesniemi, Heiskanen	On	Ei	Osin	On/VMI?	Ei	Ei	108
Loimaa	2013	Heiskanen, Saksa	On	Ei	Ei	On	Ei	Ei	30
M&V-ohjelma	2013-15	Hökkä, Heiskanen	On	On	Osin	Ei	Ei	Ei	92

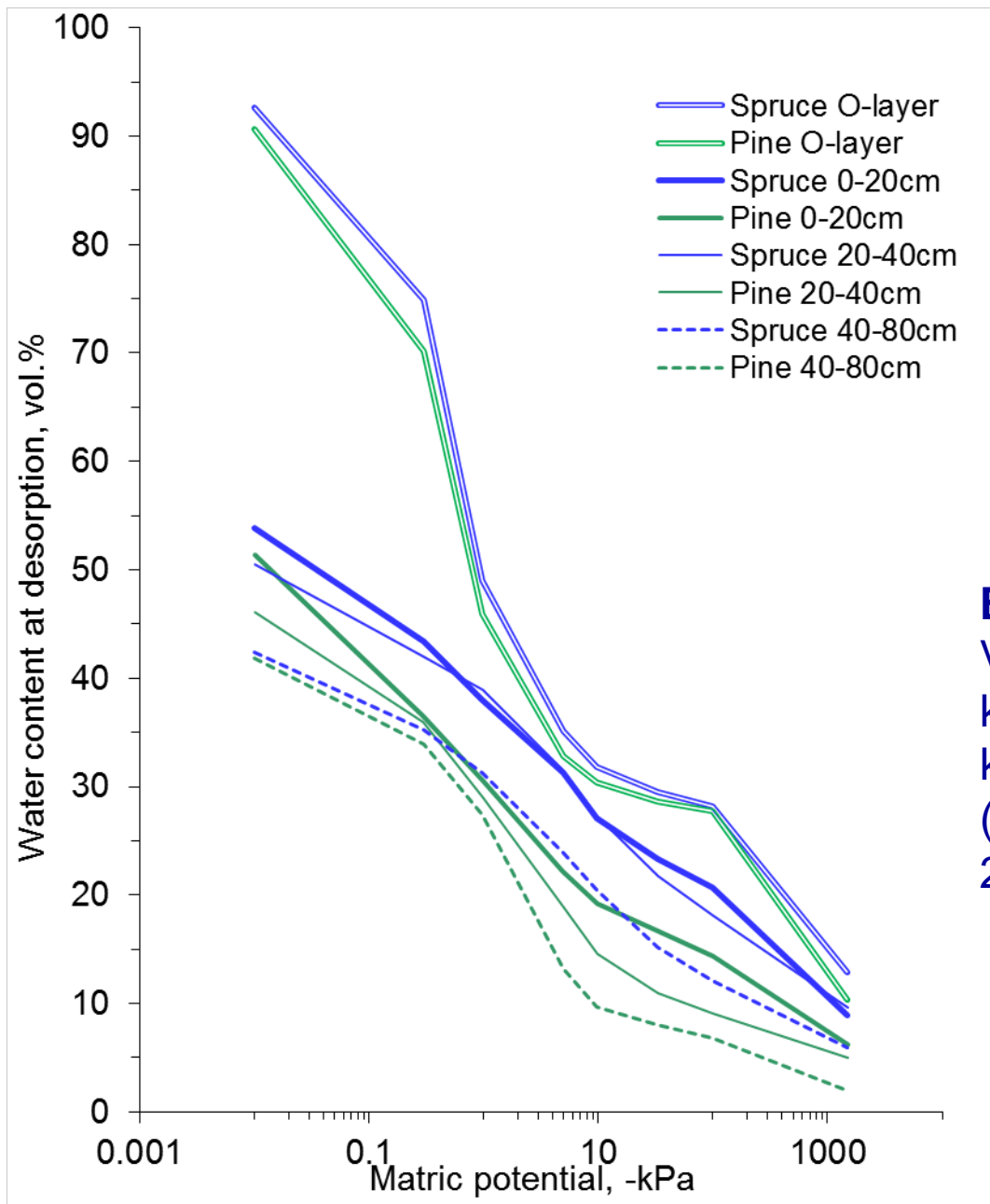
1 810



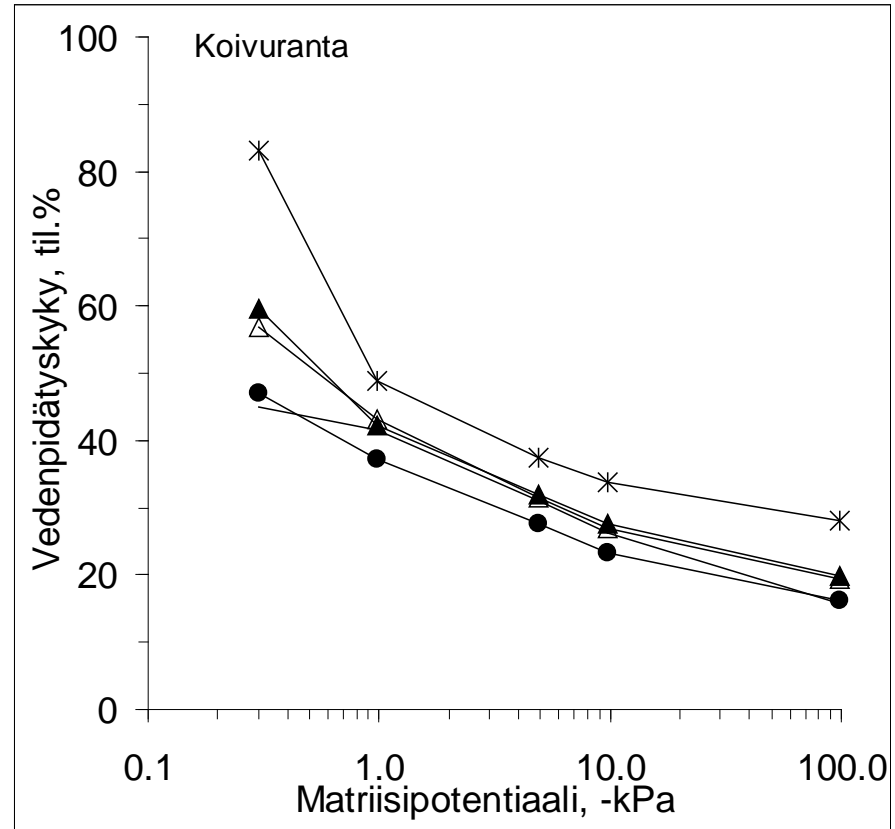
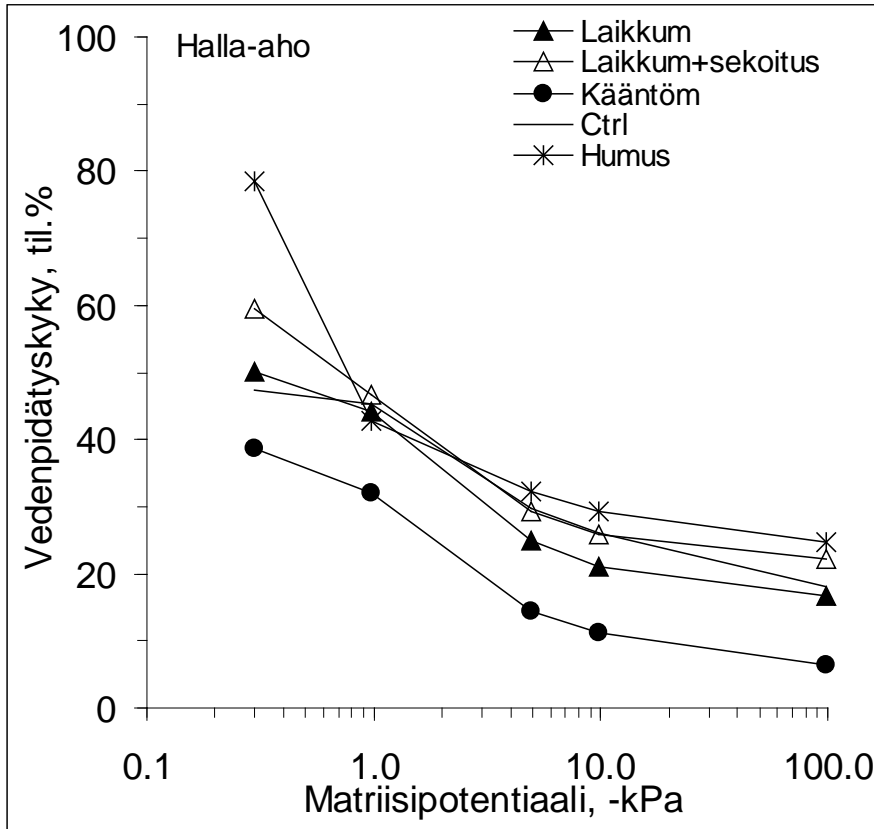
Maan fysikaaliset ominaisuudet seminaari, Luke, Vantaa  
4.4.2016 J. Heiskanen



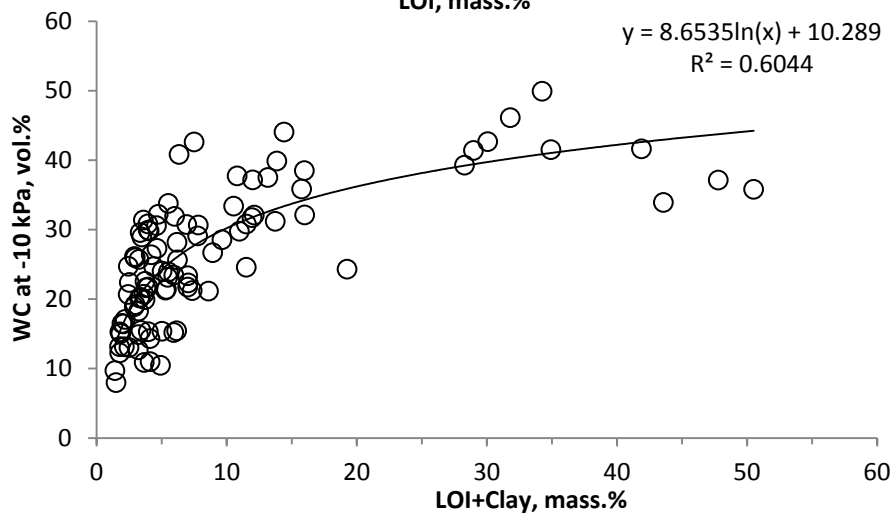
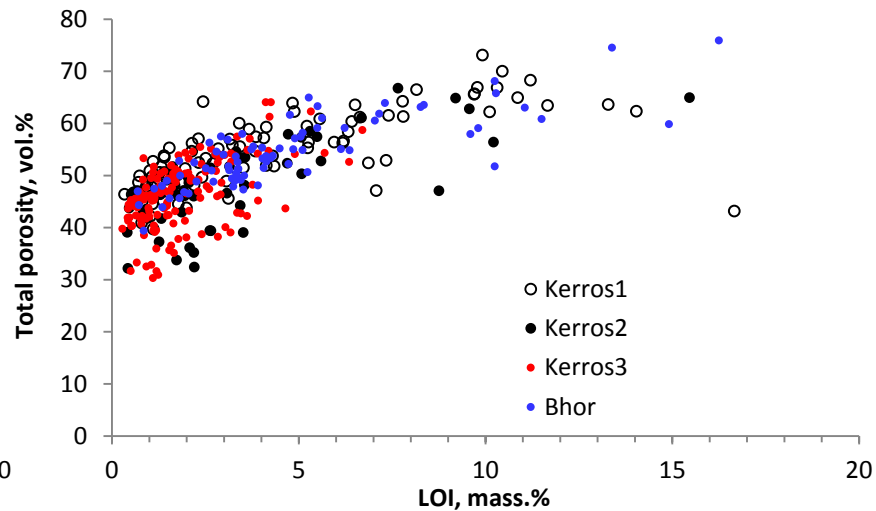
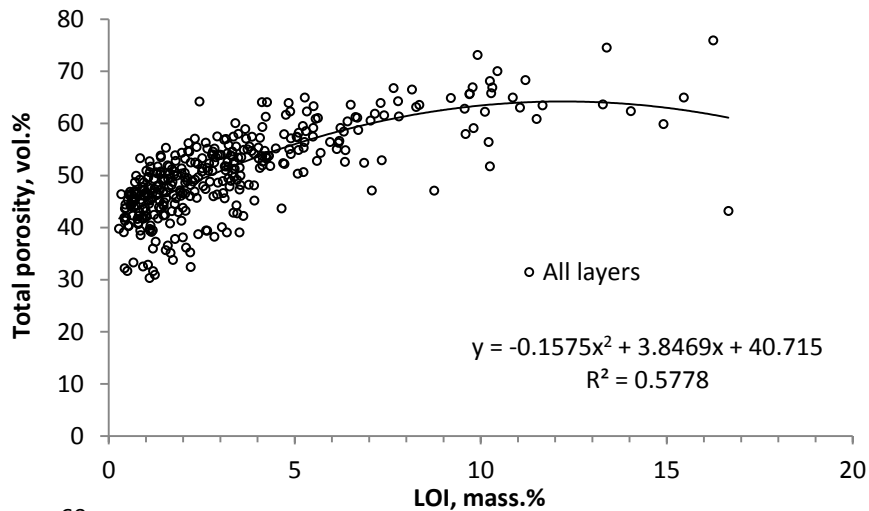
**Esimerkki:**  
 Vedenpidätyskyky eroaa kerroksittain ja maalajeittain suo- ja kivennäis- mailla



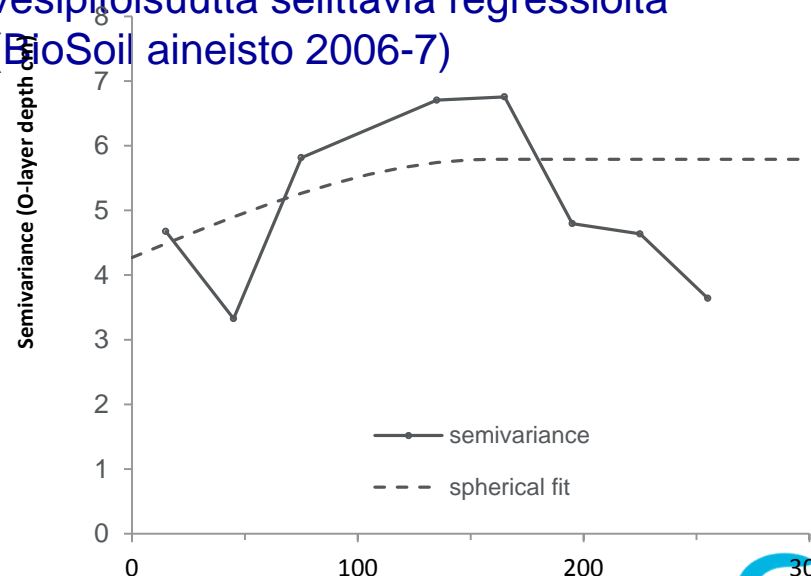
**Esimerkki:**  
 Vedenpidätyskyky eroaa kerroksittain mänty- ja kuusivaltaisilla aloilla (n=21) (FutMon aineisto 2009-10)



**Esimerkki:** Eri muokkauksittelyt muuttavat pintamaan vedenpidätyskykyä (koealat Suonenjoella).



**Esimerkki: Huokostilaa ja kenttäkapasiteetin vesipitoisuutta selittäviä regressioita (BioSoil aineisto 2006-7)**



**Esimerkki: Spatiaalisen vaihtelun semivariogrammi humuskerrokselle (Längelmäki 2012)**

**Kiitos !**

