

# Sähkövirta-analogia

virta  $I$

"vuoto"  $I = \frac{V}{r} = cV$

jännite  $V$

resistanssi  $r$

$I = c(V_1 - V_0)$

konduktanssi  $c = \frac{1}{r}$

(Ohmin laki)

## Rajakerroksen esittäminen malleissa

2

pruju s. 44

$$T_0 = \rho C_d |V| V$$

$$H_0 = \rho c_p C_h |V| (\theta_0 - \theta)$$

$$E_0 = \rho C_q |V| (q_0 - q)$$

pruju s. 15

$$T = -\rho \overline{u'w'}$$

$$H = \rho c_p \overline{\theta'w'}$$

$$E = \rho \overline{q'w'}$$

$$V = \sqrt{u^2 + v^2}$$

termi  $|V|V$  ajaa takaa että kitkalla on sama suunta kuin pinta tuulella

Saadetaan:  $-\overline{u'w'} = C_d |V| V$

3

$$\overline{\theta'w'} = C_h |V| (\theta_0 - \theta)$$

$$\overline{q'w'} = C_q |V| (q_0 - q)$$

Siirtokertoimet:  $C_d$ ,  $C_h$ ,  $C_q$  (d = drag)

Kuin Ohmin laki, paitsi että lisäksi

termi  $|V|$ .

$C_d$  kitkakerroin

$C_h$  Stantonin luku

$C_q$  Daltonin luku

Tässä  $T_0$ ,  $H_0$ ,  $E_0$  kuvaavat vuotoa maanpinnan ja mallin (tai mittauksen) alimman hilakorkeuden, esim. 10 m, välillä. (Arvot muuttavat jos korkeus muuttuu)

Prujin s. 20:

Kinemaattinen lämmönsiirto  $Q_0 = \overline{\theta'w'} = \frac{H_0}{\rho c_p}$

$$T_* u_* = -\overline{\theta'w'} = -Q_0$$

$$q_* u_* = -\overline{q'w'} = \frac{E_0}{\rho}$$

Siirtokertoimille saadaan:

---

$$-\overline{u'w'} = C_d |v| v$$

$$\uparrow$$

$$= u_*^2$$

Valitaan  $u$  pintatulen suunnaksi:

$$u_*^2 = C_d u^2 = C_d u(u-0)$$

$$= -C_d u(0-u)$$

$$\left[ C_d = \frac{-u_* u_*}{u(0-u)} \right. \quad u = u(10 \text{ m})$$

$$\overline{\theta' w'} = C_h |v| (\theta_0 - \theta)$$

↑

$$= -T_* u_*$$

$$\Rightarrow \left[ C_h = \frac{-T_* u_*}{u(\theta_0 - \theta)} \right]$$

$$\theta = \theta(10 \text{ m})$$

$$\overline{q'w'} = C_q |v| (q_0 - q)$$

↑

$$= -q_* u_*$$

$$\Rightarrow \left[ C_q = \frac{-q_* u_*}{u(q_0 - q)} \right]$$

$$q = q(10 \text{ m})$$



5115:

$$C_d = \frac{-u_* u_*}{u(0-u)}$$

$$C_h = \frac{-T_* u_*}{u(\theta_0 - \theta)}$$

$$C_q = \frac{-q_* u_*}{u(q_0 - q)}$$

$$C_d = \frac{-u_* u_*}{u(0-u)} = \frac{-u_*^2}{-u^2} = \frac{u_*^2}{u^2}$$

pieni

Monin-Obukhov-teoriasta:



$$u = \frac{u_*}{k} \left( \ln \frac{z}{z_0} - \psi_m \left( \frac{z}{L} \right) + \psi_m \left( \frac{z_0}{L} \right) \right)$$

$$u = \frac{u_*}{k} \left( \ln \frac{z}{z_0} - \psi_m \left( \frac{z}{L} \right) \right)$$

$$\Rightarrow \frac{u_*}{u} = k \left( \ln \frac{z}{z_0} - \psi_m \left( \frac{z}{L} \right) \right)^{-1}$$

$$\left[ C_d = k^2 \left( \ln \frac{z}{z_0} - \psi_m \left( \frac{z}{L} \right) \right)^{-2} \right]$$

$$C_h = \frac{-u_* T_*}{u(\theta_0 - \theta)} = \frac{u_* T_*}{u \theta - \theta_0} \quad \text{||}$$

← pieni

$$\theta - \theta_0 = \frac{T_*}{k} \left( \ln \frac{z}{z_{oh}} - \psi_h \left( \frac{z}{L} \right) + \psi_h \left( \frac{z_{oh}}{L} \right) \right)$$

$$\frac{T_*}{\theta - \theta_0} = k \left( \ln \frac{z}{z_{oh}} - \psi_h \left( \frac{z}{L} \right) \right)^{-1}$$

$$\Rightarrow C_h = k^2 \left( \ln \frac{z}{z_0} - \psi_m \left( \frac{z}{L} \right) \right)^{-1} \left( \ln \frac{z}{z_{oh}} - \psi_h \left( \frac{z}{L} \right) \right)^{-1}$$

Ihan samalla tavalla:

12

$$C_q = \frac{-u_* q_*}{u(q_0 - q)} = \frac{u_*}{u} \frac{q_*}{q - q_0}$$

$$q - q_0 = \frac{q_*}{k} (\dots)$$

$$\frac{q_*}{q - q_0} = (\dots)$$

$$C_q = k^L \left( \ln \frac{z}{z_0} - \psi_m \left( \frac{z}{L} \right) \right)^{-1} \left( \ln \frac{z}{z_{0q}} - \psi_q \left( \frac{z}{L} \right) \right)^{-1}$$

Siirtokerroimet  $C_d$ ,  $C_h$ ,  $C_q$

riippuvat siis:

- $z_0 / z_{0n} / z_{0q}$  alustan rosoisuus
- $L$  stabiilisuus
- $z$  referenssi korkeus

## Vesialusta

rosoisuus  $z_0$  pientä

$T_0$  = pintaveden lämpötila, helppo

$q_0$  voidaan olettaa että ilma heti  
veden pinnassa on kyllästynyt,

$$\text{eli } q_0 = q_{\text{sat}}(T_0, p_0)$$

L yleensä stabiilisuus lähellä neutraalia

Tuulen nopeus  $u$ , siirtokertoimien osalta, tarkoittaa ilman ja veden välistä nopeuseroa

Tuulen nopeus vaikuttaa rosoisuuteen

Charnockin kaava, s. 18

$$z_0 = 0.015 \frac{u_*^2}{g}$$

## Maa-alusta

$z_0$  rosoisuus voidaan arvioida kun  
tiedetään alustan laatu

$\theta_0, z_{0h}$  vaikeita

$q_0, z_{0q}$

Jos mittauksia useammalta korkeudelta,  
voidaan nämä laskea profiileista



Pruj'a s 22:

17

$$K_m = \frac{kz}{\phi_m(z)} u_x$$

$$K_n = \frac{kz}{\phi_n(z)} u_x$$

s. 21:  $\frac{z}{u_x} \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{1}{k} \phi_m(z) \Leftrightarrow u_x = \frac{kz}{\phi_m(z)} \frac{\partial u}{\partial z}$

$$\Rightarrow \left[ \begin{aligned} K_m &= \frac{(kz)^2}{\phi_m(z)^2} \frac{\partial u}{\partial z} \\ K_n &= \frac{(kz)^2}{\phi_m(z) \phi_n(z)} \frac{\partial u}{\partial z} \end{aligned} \right.$$

(prujassa  
nieman erillinen  
johto)

Merkitään

19

$$f_m(z) = \frac{1}{\phi_m(z)^2}, \quad f_n(z) = \frac{1}{\phi_m(z)\phi_n(z)}$$

$$K_m = k^2 z^L \frac{\partial u}{\partial z} f_m(z)$$

$$K_n = k^L z^L \frac{\partial u}{\partial z} f_n(z)$$

Epāstabiili

pruju s. 22

19

Businger - Dyer:

$$\phi_m^2 = \phi_h = (1 - 16 \zeta)^{-\frac{1}{2}}$$

$$Ri \approx \zeta = \frac{z^2}{L}$$

$$f_m(\zeta) = \left[ f_m(Ri) = (1 - 16 Ri)^{\frac{1}{2}} \right]$$

$$f_h(\zeta) = \left[ f_h(Ri) = (1 - 16 Ri)^{\frac{3}{4}} \right]$$

# Stabiliti

pruj 5. 22

20

Businger - Dyer

$$\phi_m = \phi_n = 1 + 5\zeta$$

$$R_i \approx \frac{\zeta}{1+5\zeta} \Rightarrow \zeta = \frac{R_i}{1-5R_i}$$

$$f(\zeta) = \frac{1}{\phi^2} = \frac{1}{(1+5\zeta)^2}, \quad 1 + 5 \frac{R_i}{1-5R_i} = \frac{1}{1-5R_i}$$

$$\boxed{f(R_i) = (1-5R_i)^2}$$

$$Eli: K_m = (kz)^2 \frac{\partial u}{\partial z} f_m(Ri)$$

$$K_h = (kz)^2 \frac{\partial u}{\partial z} f_h(Ri)$$

Vaihto kerroimien riippuvuus  
 stabiilitetistä saadaan kuvattua  
 Richardsonin luvun avulla.

$Ri_b$  bulk-Richardsonin luku

Alunperin siirto kerroin määriteltiin:

$$-\overline{u'w'} = C_d |V|V$$

$$-\overline{u'w'} = K \frac{\partial u}{\partial z}$$

Neutraalissa:

$$C_d |V|V = K \frac{\partial u}{\partial z} = (kz)^2 \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2$$

Ei-neutraalissa:

$$C_d |V|V = K \frac{\partial u}{\partial z} = (kz)^2 \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 f_m(Ri)$$

Siirtokerroimet voidaan siis ilmoittaa  
neutraalin tilanteen siirtokerrointen ja  
stabiilisuskorjausten  $f_m, f_h$  avulla:

$$C_d = C_{dn} f_m(Ri)$$

$$C_h = C_{hn} f_h(Ri)$$

$$C_g = C_{gn} f_n(Ri)$$

Stabiilissa tilanteessa sekä

24

vaihtokertoimet  $K$  että

siirtokertoimet  $C$  pienempiä.

Epästabiilissa suurempia.

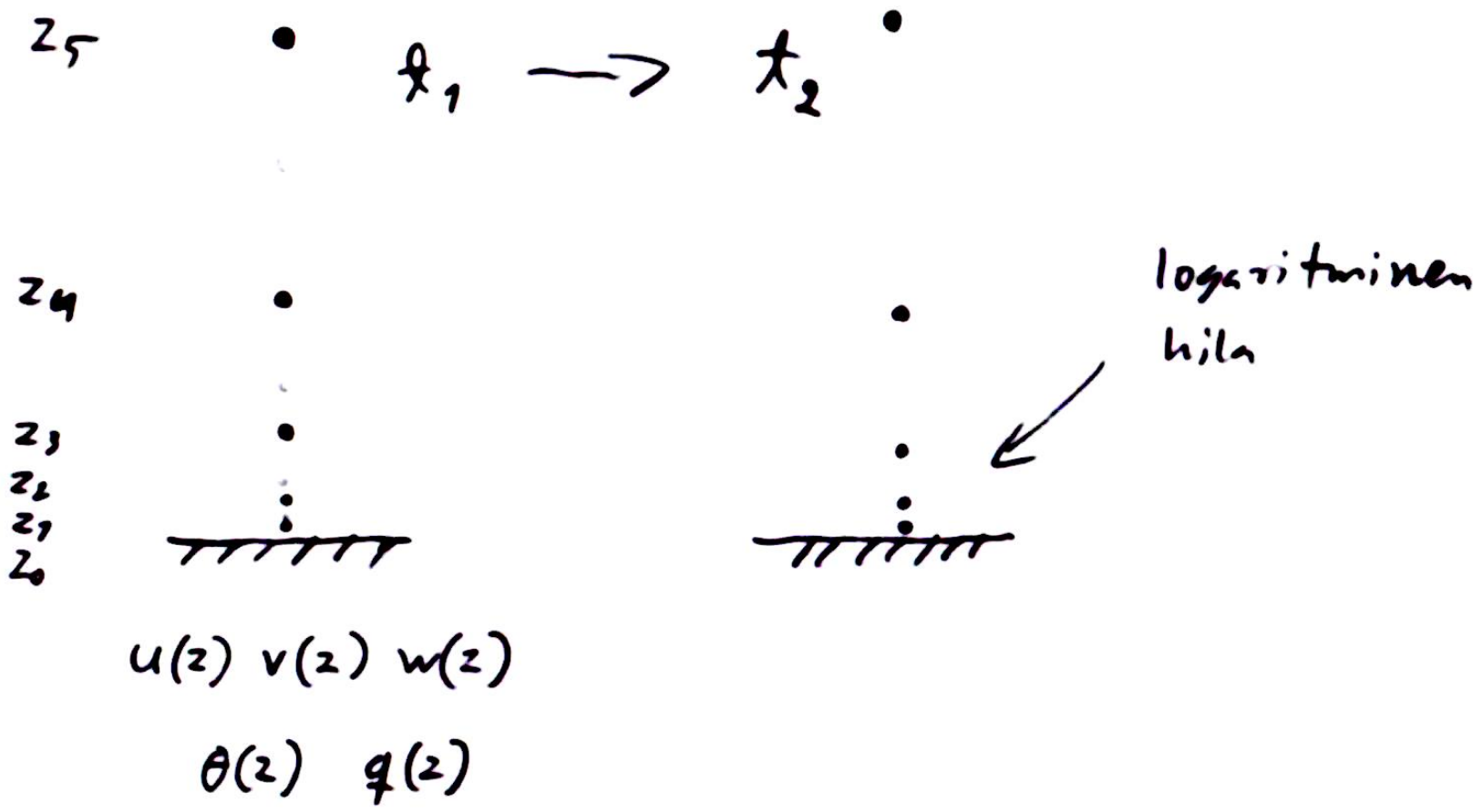
Rosisuuden kasvu voimistaa

siirtokertoimia, mutta jarruttaa

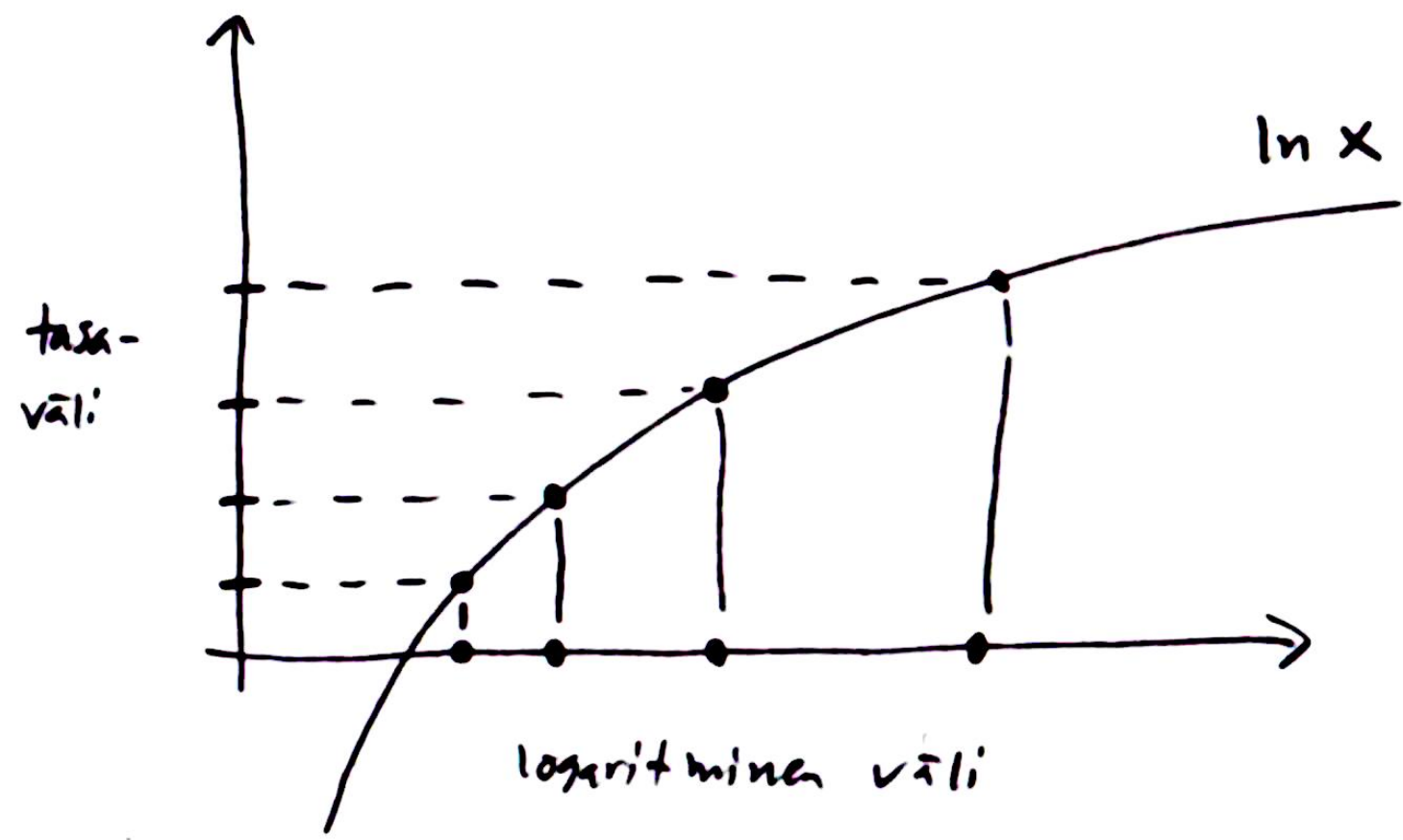
tuulta, mikä heikentää vaihtokertoimia.



# Raja kerros ilmakedä malleissa



# Logaritminen hila



## 1. asteen sulkeuma

27

$$\vec{V}_t(z_i)$$

$$\theta_t(z_i)$$

$$q_t(z_i)$$



$$\vec{V}_{t+1}(z_i)$$

$$\theta_{t+1}(z_i)$$

$$q_{t+1}(z_i)$$

Blackadar:

$$l = \frac{kz}{1 + \frac{kz}{\lambda}}$$

$$\lambda = 300 \mu$$

$$(l = kz)$$

$$\overline{s'w'} = -K_s \frac{\partial s}{\partial z}, \quad K_s = l^2 \left| \frac{\partial V}{\partial z} \right| f_s(R_i)$$

lasketaan joka kerrokselle

# 1.5 asteen sulkeuma

$$\left. \begin{array}{l} \vec{V}_x(z_i) \\ \theta_x(z_i) \\ q_x(z_i) \\ \underline{\text{TKE}_x(z_i)} \\ \epsilon_x(z_i) \end{array} \right\} \rightarrow \begin{array}{l} \vec{V}_{x+1}(z_i) \\ \theta_{x+1}(z_i) \\ q_{x+1}(z_i) \\ \underline{\text{TKE}_{x+1}(z_i)} \\ \epsilon_{x+1}(z_i) \end{array}$$

jos ilman  
 $\epsilon$ :n

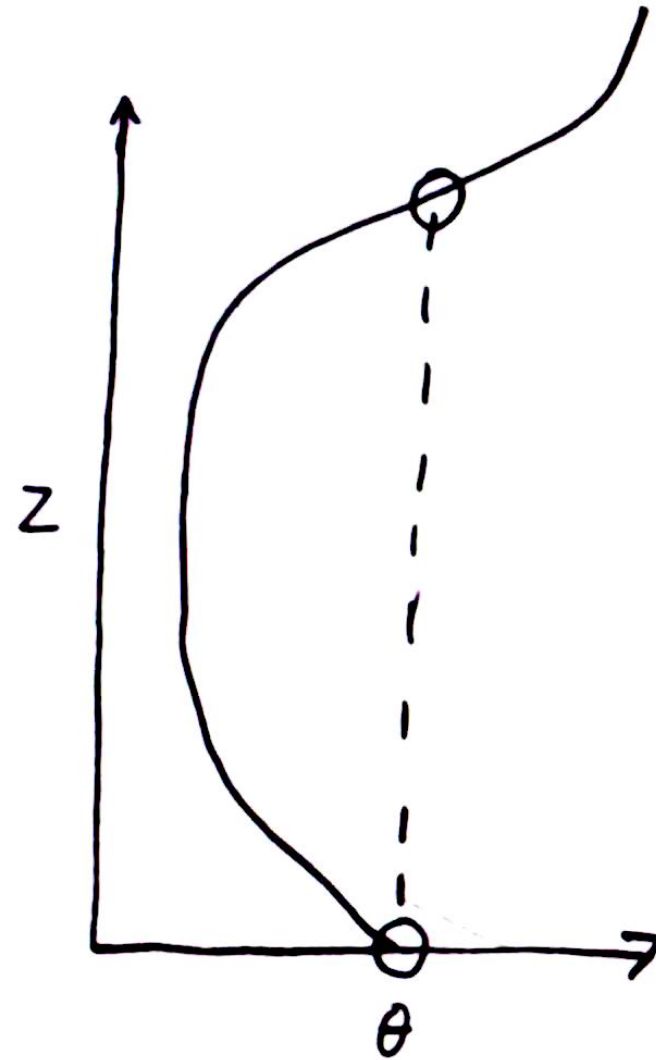
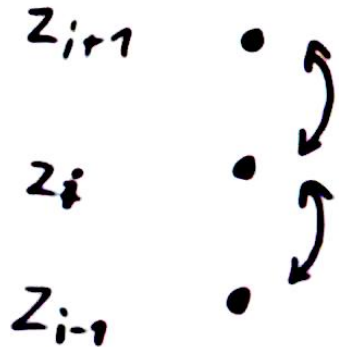
$$\overline{s'w'} = -K_s \frac{\partial s}{\partial z}, \quad K_s = \Lambda_s \text{TKE}^{1/2}, \quad \epsilon = \frac{\text{TKE}^{3/2}}{\Lambda_\epsilon}$$

K-teoria on paikallinen

29

$$\frac{\partial \theta}{\partial x} = s_{\theta} + \frac{\partial}{\partial z} \left( k_n \frac{\partial \theta}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} \approx \frac{\theta_{i+1} - \theta_{i-1}}{z_{i+1} - z_{i-1}}$$

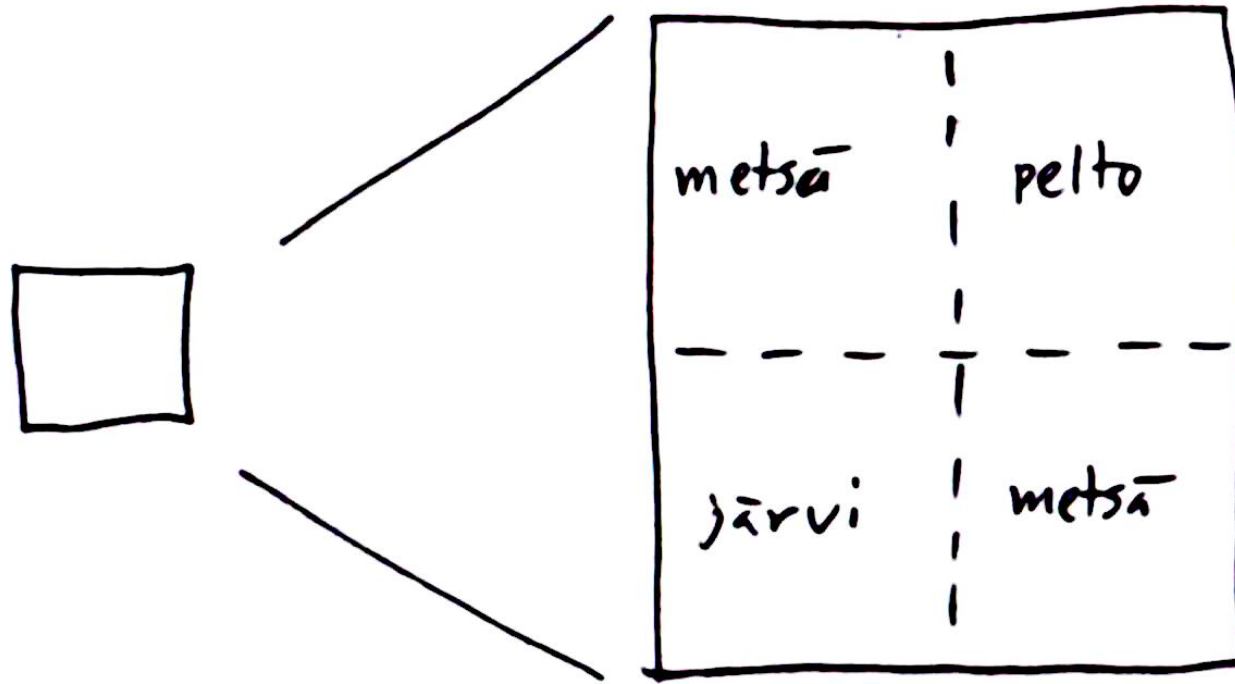


## Alustan heterogeenisyys

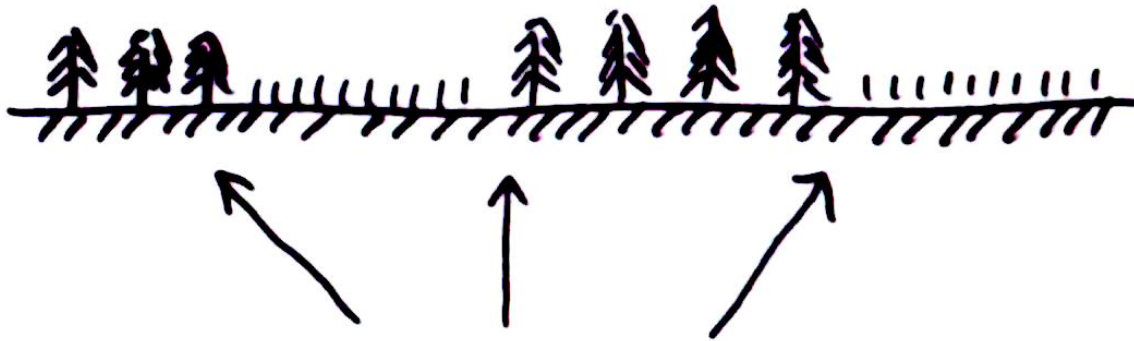
30

Säämalleissa ruudun koko kilometrejä, esim. 8 km.

Ilmasto malleissa kymmeniä tai satoja kilometrejä.



$Z_0$  (mosaiikki) >  $Z_0$  (metsä)

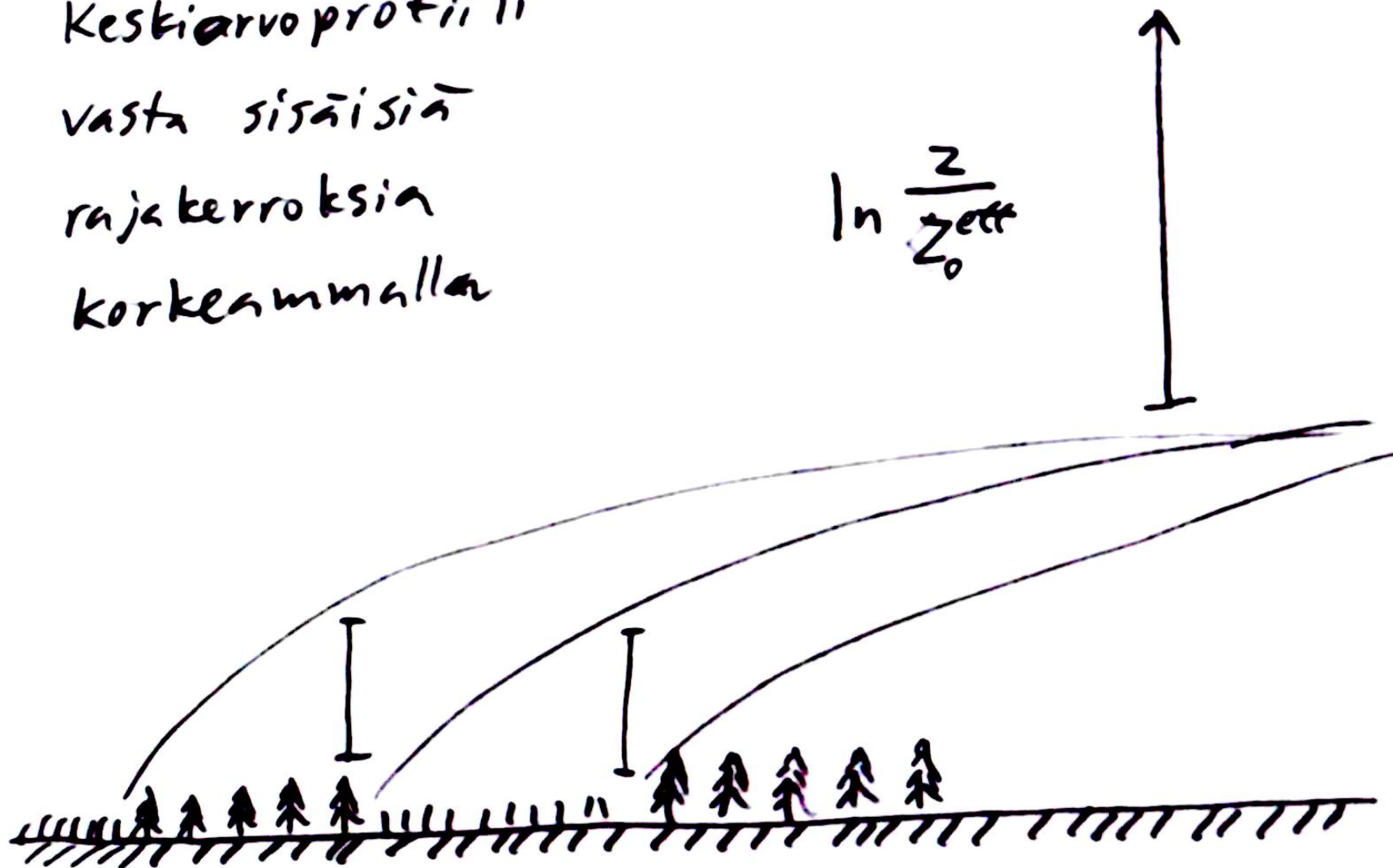


rennat aiheuttavat suuremman  
mittakaavan kitkaa



Kestiarvo profiili  
vasta sisäisiä  
raja kerroksia  
korkeammalla

$$\ln \frac{z}{z_0}$$



# Lämmön ja kosteuden vuot helpompia

34

Ruutu = 30% metsää  
50% peltoa  
20% vettä

$$H_i = \rho c_p C_h^i (\theta_s^i - \theta_a) |u|$$

$Z_{oh}^i$                       Pinta                      ilma

$$\langle H \rangle = 0.3 H_1 + 0.5 H_2 + 0.2 H_3$$