

Sähkövirta-analogia

virta I

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

jännite V

$$I = c(V_1 - V_0)$$

resistanssi r

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

(Ohmin laki)

Rajakerroksen esittäminen malleissa

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

Sacidaan: $-u'w' = C_d |V|V$

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

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

Siirtokertoimet: C_d , C_h , C_q ($d = \text{drag}$)

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)

Prüfung S. 20:

Kinematische Längenausdehnung $Q_0 = \overline{\theta'w'} = \frac{H_0}{\rho c_p}$

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

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

Stirtoberflächen für Sanden:

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

$$\uparrow$$

$$= u_*^2$$

Valitaan u pintatulen suunnaksi

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

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

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

$$u = u(10-u)$$

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

↑

$$= -T_* u_*$$

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

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

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

↑

$$= -q_* u_*$$

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

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

Slis:

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

$$C_h = \frac{-T_x u_x}{u(\theta_0 - \theta)}$$

$$C_q = \frac{-q_x u_x}{u(q_0 - q)}$$

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

pieni

Monin-Obukhov - teoriasta :



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

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

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

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

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

↙ 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:

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

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

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

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

Siirtokertoimet C_d , C_h , C_q

riippuvat siis:

- $z_0 / z_{0n} / z_{0q}$ alustan rosoisuus
- L stabiilisuus
- z referanssi 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 stabilisuus lähellä neutraalia

Tuulen nopeus u , siirto kertoimien osalta, tarkoittaa ilman ja veden välistä nopeuseroa

Tuulen nopeus vaikuttaa rosoisuuteen

Charnockin kaava, s. 18

$$z_0 = 0.015 \frac{u_w^2}{g}$$

Maa-alusta

z_0 rosoisuus voidaan arvioida kun tiedetään alustan laatu

θ_0, z_{0h} vaikeita

q_0, z_{0g}

Jos mittauksia useammalta korkeudelta, voidaan nämä laskea profiileista

Prujun 5 < 2:

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

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

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

$$\Rightarrow K_m = \frac{(kz)^2}{\phi_m(z)^2} \frac{\partial u}{\partial z}$$

$$K_n = \frac{(kz)^2}{\phi_m(z) \phi_n(z)} \frac{\partial u}{\partial z}$$

(prujussa
nieman erillinen
johto)

Merk, täin

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

$$K_m = k^2 z^2 \frac{\partial^4}{\partial z^2} f_m(z)$$

$$K_n = k^2 z^2 \frac{\partial^4}{\partial z^2} f_n(z)$$

Epā stabili

pružu s. 22

Businger-Dyer:

$$\varnothing_m^2 = \varnothing_h = (1 - 16\zeta)^{-\frac{1}{2}}$$

$$R_i \approx \zeta = \frac{z}{L}$$

$$f_m(\zeta) = f_m(R_i) = (1 - 16 R_i)^{\frac{1}{2}}$$

$$f_h(\zeta) = f_h(R_i) = (1 - 16 R_i)^{\frac{3}{4}}$$

Stabilität

Prüfung S. 22

Businger - Dyer

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

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

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

$$f(R_i) = (1-5R_i)^2$$

$$Eli: K_m = (kz)^2 \frac{\partial^4}{\partial z^4} f_m(Ri)$$

$$K_h = (kz)^2 \frac{\partial^4}{\partial z^4} f_h(Ri)$$

Vaihto kerroimien riippuvuus
 stabiilitetista saadaan kuvattua
 Richardsonin luvun avulla.

Ri_b bulk - Richardsonin luku

Alunperin siirto kerroin määriteltiin:

22

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

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

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 stabiilisuuskerrointen f_m , f_h avulla:

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

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

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

Stabiilissa tilanteessa sekä

vaihtokertoimet K että

siirtokertoimet C pienempiä.

Epästabiilissa suurempia.

Rosoisuuden kasvu voimistaa

siirtokertoimia, mutta jarruttaa

tuulta, mikä heikentää vaihtokertoimia.

Raja kerros ilmakohamalleissa

 z_5

• $x_1 \rightarrow x_2$ •

 z_4

• •

logaritminen
hila

 z_3

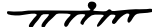
• •

 z_2

• •

 z_1

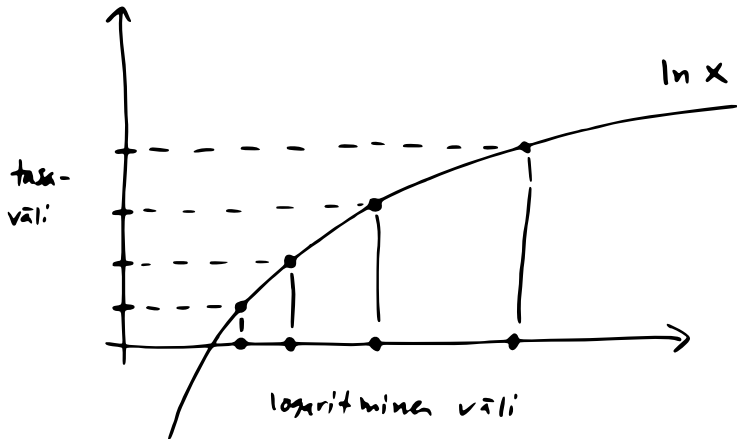
• •

 z_0 

$u(z) \quad v(z) \quad w(z)$

$\theta(z) \quad q(z)$

Logaritminen hila



7. asteen sulkeuma

27

$$\left. \begin{array}{l} \vec{V}_t(z_i) \\ \theta_t(z_i) \\ q_t(z_i) \end{array} \right\} \rightarrow \begin{array}{l} \vec{V}_{t+1}(z_i) \\ \theta_{t+1}(z_i) \\ q_{t+1}(z_i) \end{array}$$

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

28

$$\left. \begin{array}{l} \vec{V}_k(z_i) \\ \theta_k(z_i) \\ q_k(z_i) \\ \frac{TKE_k(z_i)}{\epsilon_k(z_i)} \end{array} \right\} \rightarrow \begin{array}{l} \vec{V}_{k+1}(z_i) \\ \theta_{k+1}(z_i) \\ q_{k+1}(z_i) \\ \frac{TKE_{k+1}(z_i)}{\epsilon_{k+1}(z_i)} \end{array}$$

jos ilman
 $\epsilon: \bar{\epsilon}$

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

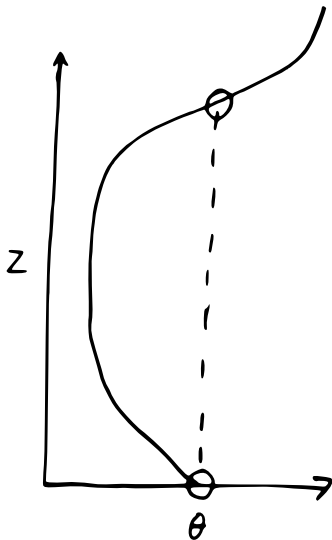
K-teoria on paikallinen

29

$$\left[\frac{\partial \theta}{\partial x} = S_{\theta} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_n \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) \right]$$

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

$$\begin{array}{l} z_{i+1} \\ z_i \\ z_{i-1} \end{array} \begin{array}{l} \bullet \\ \bullet \\ \bullet \end{array} \begin{array}{l} \uparrow \\ \uparrow \\ \uparrow \end{array}$$

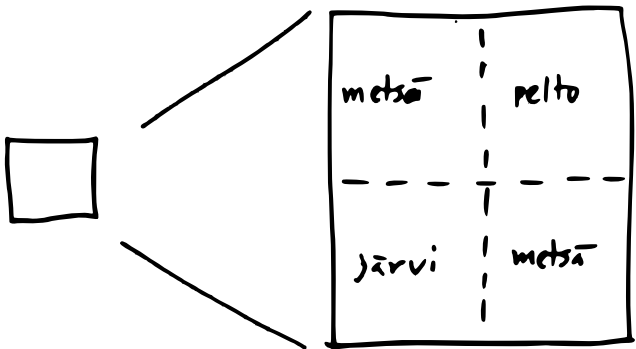


Alustan heterogeenisyys

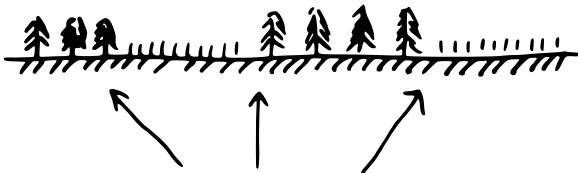
30

Säämalleissa ruudun koko kilometrejä, esim. 8 km.

Ilmasto malleissa kymmeniä tai satoja kilometrejä.



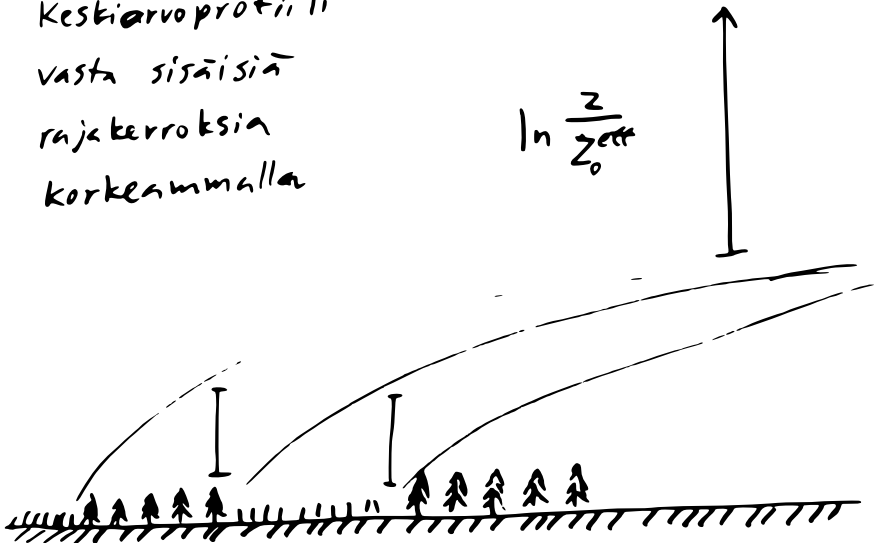
$$z_0(\text{mosaiikki}) > z_0(\text{metsä})$$



rennat aiheuttavat suuremman
mittakaavan kitkan

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

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

$\begin{matrix} \nearrow & \uparrow & \uparrow \\ z_{oh}^i & \text{pinta} & \text{ilma} \end{matrix}$

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