TKE

$$\frac{\partial \bar{k}}{\partial t} = \underbrace{-\frac{\partial}{\partial z}\left[\overline{k w'}\right.}_{T} + \underbrace{\left.\frac{\overline{p'w'}}{\bar{\rho}}\right]}_{(P)} \underbrace{- \overline{u'w'}\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} - \overline{v'w'}\frac{\partial \bar{v}}{\partial z}}_{S} + \underbrace{\frac{g}{\bar{\theta}_v}\overline{w'\theta_v'}}_{B} \underbrace{- \varepsilon}_{D}$$

T = transport

S = shear, mekaaninen tuotto

B = buoyancy, noste

D = dissipaatio, molekulaarinen kitka

P = painekorrelaatio

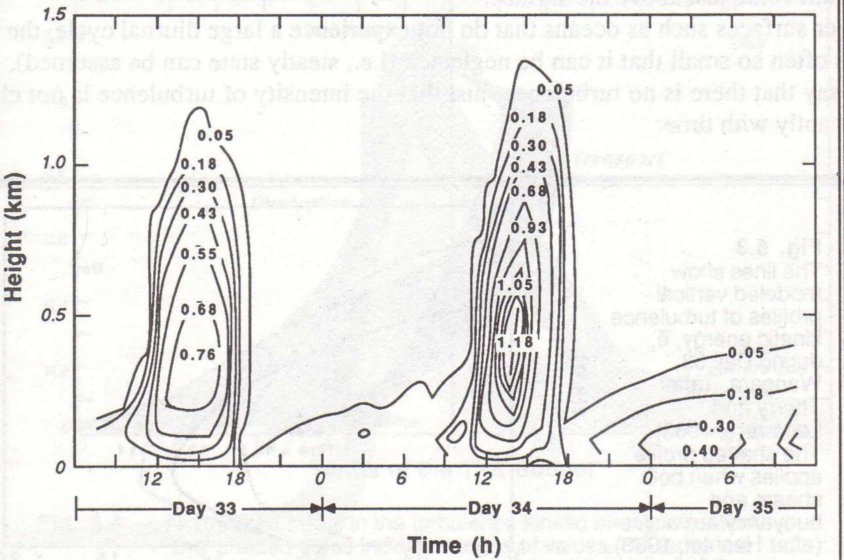
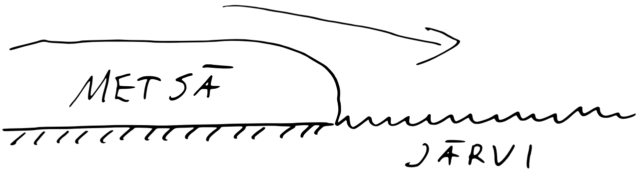


Fig. 5.1 Modeled time and space variation of $\bar{e}$ (turbulence kinetic energy, units m^2s^{-2}), for Wangara. From Yamada and Mellor (1975).

Se että vasemmalla puolella on vain $\frac{\partial \bar{k}}{\partial t}$ perustuu oletukseen horisontaalisesta homogeenisuudesta. Yleisemmässä tapauksessa olisi

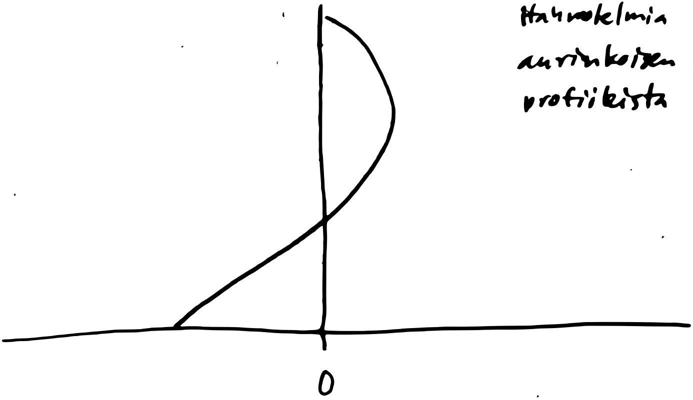
$$\frac{\partial \bar{k}}{\partial t} + \bar{V} \cdot \nabla \bar{k} = \ldots$$

adevektio



$$-\frac{\partial}{\partial z}\overline{k w'}$$

TKE:n pystysuuntainen kuljetus

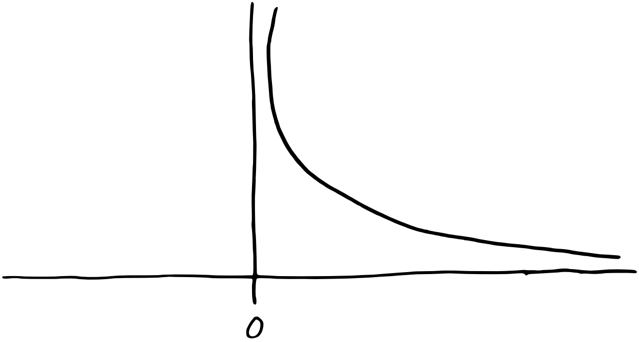


Havaitelmia aurinkoisen päivän profiileista

$$-\overline{u'w'}\,\frac{\partial \overline{u}}{\partial z} - \overline{v'w'}\,\frac{\partial \overline{v}}{\partial z}$$

Mekaaninen tuotto.

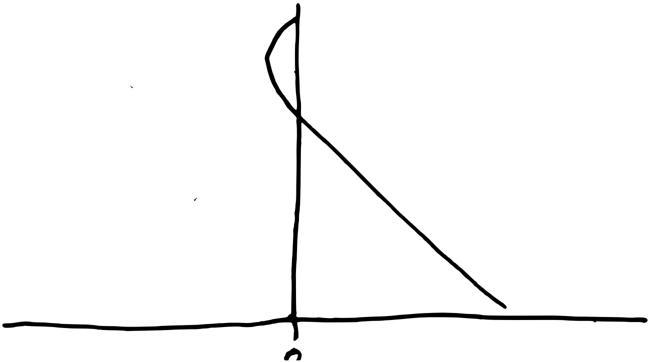
Pääsääntöisesti $\overline{u'w'} < 0$, $\frac{\partial \overline{u}}{\partial z} > 0$ joten koko termi > 0.



$$\frac{g}{\overline{\theta}_v}\overline{w'\theta_v'}$$

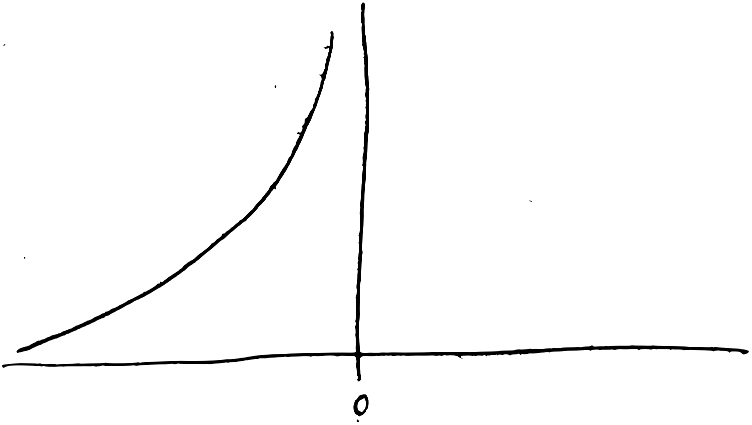
Nosteen tuotto tai nielu.

Stabiilissa < 0, epästabiilissa > 0.

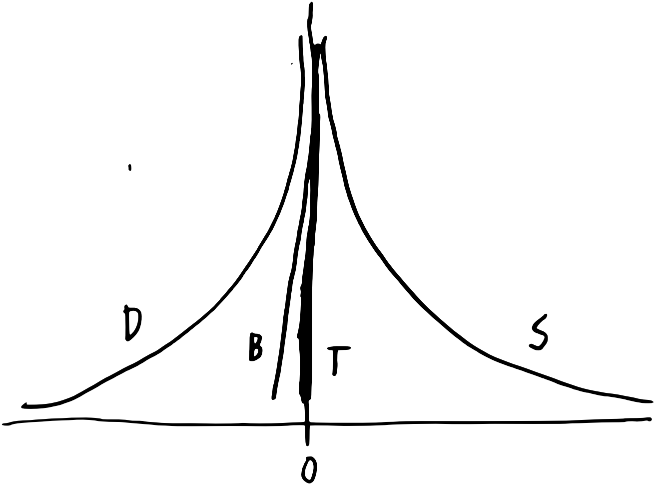


ε

Molekulaarinen dissipaatio



Stabiilissa tilanteessa (selkeä yö)



$$-\frac{\partial}{\partial z}\frac{\overline{p'w'}}{\bar{\rho}}$$

Painekorrelaatio

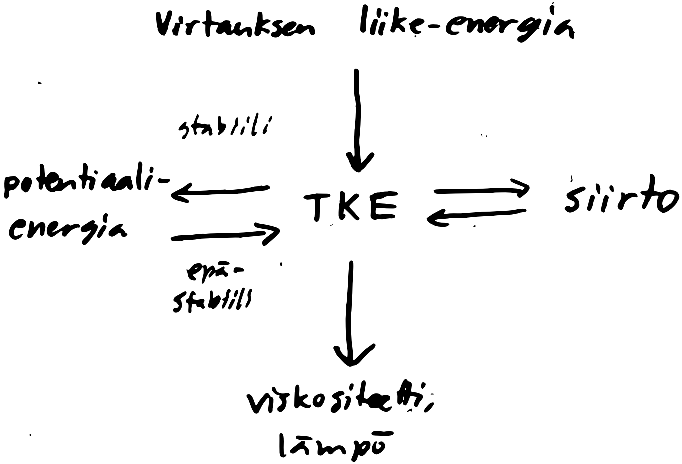
Miten paine-erot siirtävät TKE:tä

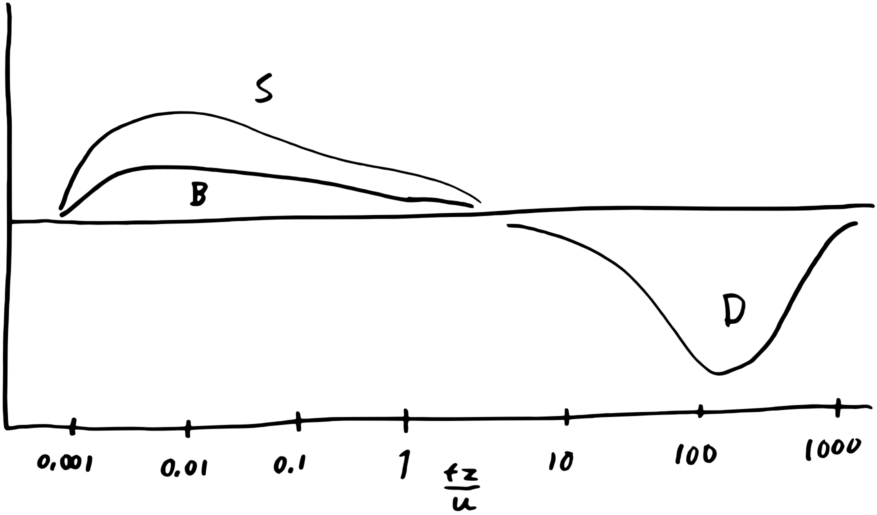
Hankala mitata, paine-erot vain luokkaa

0.001 - 0.005 kPa

$\overline{p'w'}$ voi sisältää enemmän kohinaa kuin signaalia

Termistä tiedetään vain vähän (Stull)


Virtauksen liike-energia
stabiili
potentiaali-
energia
epä-
stabiili
TKE
siirto
viskositeetti,
lämpö


S
B
D
0,001
0,01
0,1
1
$\frac{fz}{u}$
10
100
1000

Stabiliteetti

Missä määrin nosteesta (potentiaalilämpötilan pystyprofiilista) johtuvat ilmiöt vaikuttavat turbulenssiin?

synnyttävät: epästabiili

eivät vaikuta: neutraali

vaimentavat: stabiili

TKE yhtälö vaan

$$\frac{\partial \bar{k}}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z}\left[\overline{k w'} + \frac{\overline{p'w'}}{\bar{\rho}}\right] \underbrace{-\overline{u'w'}\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} - \overline{v'w'}\frac{\partial \bar{v}}{\partial z}}_{S} + \underbrace{\frac{g}{\bar{\theta}_v}\overline{w'\theta_v'}}_{B} - \varepsilon$$

vuo-Richardsonin luku Ri_f

$$\frac{B}{-S} = \frac{\frac{g}{\bar{\theta}}\overline{w'\theta'}}{\overline{u'w'}\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} + \overline{v'w'}\frac{\partial \bar{v}}{\partial z}}$$

Tai vain $$\frac{\frac{g}{\overline{\theta}_v}\,\overline{w'\theta_v'}}{\overline{u'w'}\,\frac{\partial \overline{u}}{\partial z}}$$

jos $\overline{u}$ valitaan keskituulen suuntaiseksi

$$Ri_f = \frac{\frac{g}{\theta}\,\overline{w'\theta'}}{\overline{u'w'}\,\frac{\partial \overline{u}}{\partial z}} = \frac{B}{-S}$$

Mekaaninen turbulenssin tuotto $-S < 0$

Epästabiili, lämmön vuo ylös $B > 0$, $Ri_f < 0$

Neutraali $B = 0$, $Ri_f = 0$

Stabiili, lämmön vuo alas $B < 0$, $Ri_f > 0$

Käytetään stabiilisuusindikaattorina

gradientti-Richardsonin luku Ri_g

Turbulenttiset vuot hankalia mitata ☹

$$\overline{w'\theta'} = -K_h \frac{\partial\bar{\theta}}{\partial z}$$

ja vielä $K_h = K_m$

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

$$\frac{\frac{g}{\theta}\overline{w'\theta'}}{u'w' \frac{\partial\bar{u}}{\partial z}} = \frac{-K \frac{g}{\theta}\frac{\partial\bar{\theta}}{\partial z}}{-K \frac{\partial\bar{u}}{\partial z}\frac{\partial\bar{u}}{\partial z}} = \frac{\frac{g}{\theta}\frac{\partial\bar{\theta}}{\partial z}}{\left(\frac{\partial\bar{u}}{\partial z}\right)^2} = Ri_g$$

bulk-Richardsonin luku Ri_b ~~ja~~ R_B

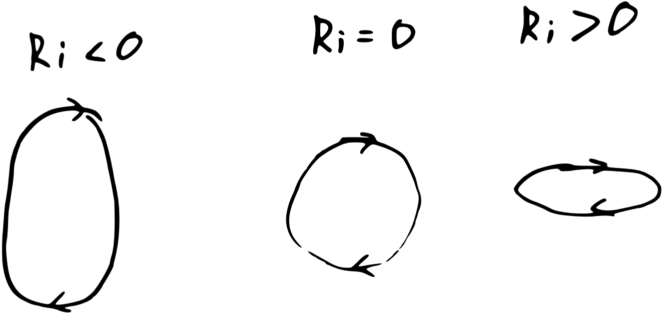
Jos ei jakseta mitata edes $\bar{\theta}$:n ja $\bar{u}$:n pystyprofiileja, riittää mitata edes 2 korkeudelta.

Tällöin $\frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z} \approx \frac{\Delta \bar{\theta}}{\Delta z}$ $\quad \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \approx \frac{\Delta \bar{u}}{\Delta z}$

$$\frac{\frac{g}{\bar{\theta}} \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z}}{\left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial z}\right)^2} = \frac{\frac{g}{\bar{\theta}} \Delta \bar{\theta}}{\frac{(\Delta \bar{u})^2}{\Delta z}} = \frac{g}{\frac{1}{2}(\bar{\theta}_1 + \bar{\theta}_2)} \frac{\bar{\theta}_2 - \bar{\theta}_1}{(\bar{u}_2 - \bar{u}_1)^2} (z_2 - z_1)$$

$$z_2 > z_1$$

Ri myös turbulenssin anisotrooppisuuden mitta



Pruju sanoo myös että

$$Ri_g = \frac{\frac{g}{\bar{\theta}}\frac{\partial\bar{\theta}}{\partial z}}{\left(\frac{\partial\bar{u}}{\partial z}\right)^2} = \frac{N^2}{\left(\frac{\partial\bar{u}}{\partial z}\right)^2}$$

missä N on Brunt-Väisälä-taajuus,

eli:

$$N = \sqrt{\frac{g}{\bar{\theta}}\frac{\partial\bar{\theta}}{\partial z}}$$

Mitä tämä tarkoittaa?

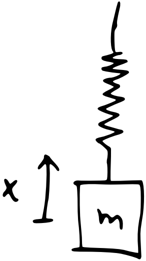
Harmoninen oskillaattori:

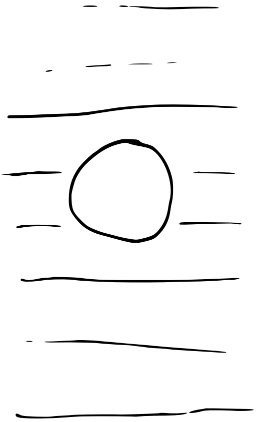
Jousivoima

$$F = -kx$$

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$N = \sqrt{\frac{g}{\bar{\theta}}\frac{\partial\bar{\theta}}{\partial z}}$$





ilmapaketti

Pruju ottaa pintakerrosta varten käyttöön merkinnät:

$$\tau_x = -\rho\,\overline{u'w'} \qquad [\tau] = \frac{kg}{m^3}\,\frac{m^2}{s^2} = \frac{kg}{m\,s^2} = Pa$$

$$\tau_y = -\rho\,\overline{v'w'}$$

$H = \rho\, c_p\, \overline{\theta' w'}$ havaittavan lämmön vuo, $\frac{W}{m^2}$

$E = \rho\, \overline{q' w'}$ vesihöyryvuo, $\frac{kg}{m^2 s}$

Ja aivan pinnan lähellä, kun eivät juuri muutu,

τ_{x0} τ_{y0} H_0 E_0 (Pintakerros/vakiovuokerros)

Pruju sanoo:

pinnassa $\vec{V} = (\bar{u}, \bar{v}) = 0$

ja pinnan lähellä $\vec{T} = \rho K_m \frac{\partial \vec{V}}{\partial z}$

Ja <u>koska</u> $\vec{T}$ on pinnan lähellä vakio, niin vaikka K_m ei olekaan niin $\vec{T}$, $\frac{\partial \vec{V}}{\partial z}$, $\vec{V}$ ovat samansuuntaiset.

$$V_x(z) = \int_0^z \frac{\partial V_x}{\partial z}\, dz = \int_0^z \frac{T_x}{\rho K_m}\, dz$$

$V_y(z) =$ samoin

Kitkanopeus

Jos taas $\bar{u}$ keskituulen suuntaan,

$$\tau = -\rho\, \overline{u'w'}$$

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} = \sqrt{-\overline{u'w'}}$$

Yleisesti käytetty, helpompi yksikkö (nopeus) kuin liikemäärän vuolle.