Ekman-spiraali

Lähdetään liikkeelle rajakerrosyhtälöistä

$$\frac{\partial}{\partial t} u = f(v - v_g) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K \frac{\partial u}{\partial z}\right)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} v = -f(u - u_g) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K \frac{\partial v}{\partial z}\right)$$

$K = K_m$

$u = \overline{u}$

$v = \overline{v}$

Oletetaan:

ajallisesti vakio: $\frac{\partial}{\partial t} = 0$

horisontaalisesti homogeeninen, $\frac{\partial}{\partial x} = 0$, $\frac{\partial}{\partial y} = 0$
(on jo oletettu)

neutraali kerrostuminen, $\frac{\partial}{\partial z} \overline{\theta_v} = 0$

ei subsidenssia, $\overline{w} = 0$

barotrooppinen yläilma, $u_g(z)$ ja $v_g(z)$ vakioita

koordinaatiosto siten että $v_g = 0$

$$K_m = \text{vakio}, \text{ esim. } 5 \ \frac{m^2}{s}$$

Jäljelle jää:

$$fv = -K \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

$$f(u - u_g) = K \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}$$

Reunaehdot

$$u(0) = 0$$

$$v(0) = 0$$

$$u(z) \longrightarrow u_g \qquad z \to \infty$$

$$v(z) \longrightarrow 0 \qquad z \to \infty$$

Yhtälöt:

$$f\,v(z) = -K \frac{\partial^2 u(z)}{\partial z^2}$$

$$f\,u(z) = f u_g + K \frac{\partial^2 v(z)}{\partial z^2}$$

Ratkaisu:

$$u(z) = u_g\left(1 - e^{-\gamma z}\cos(\gamma z)\right)$$

$$v(z) = u_g\left(e^{-\gamma z}\sin(\gamma z)\right)$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{|f|}{2K}}$$

Ratkaisun ominaisuuksia

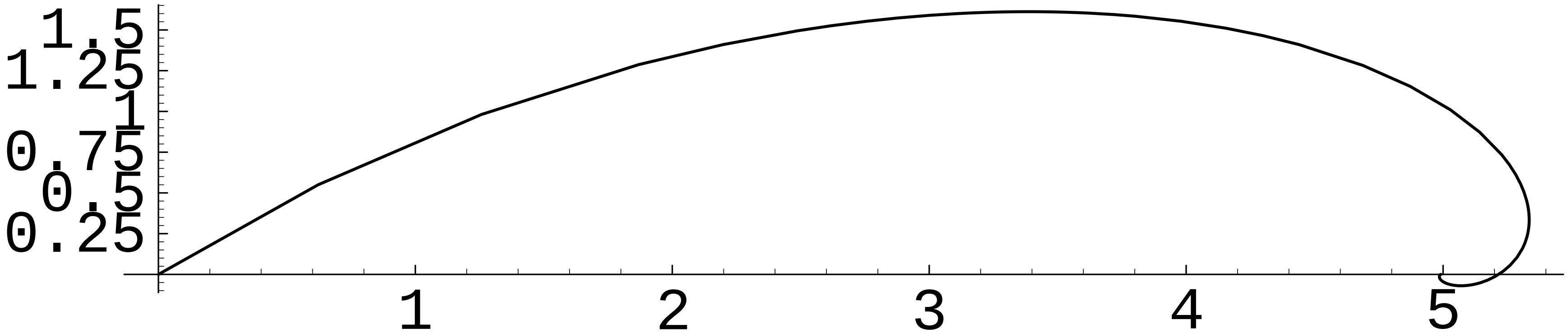
- Jos, $z=0$, $u_*^2 = \sqrt{\overline{u'w'}^2 + \overline{v'w'}^2}$

  $\overline{u'w'} = K\frac{\partial u}{\partial z}$, $\overline{v'w'} = K\frac{\partial v}{\partial z}$, saadaan

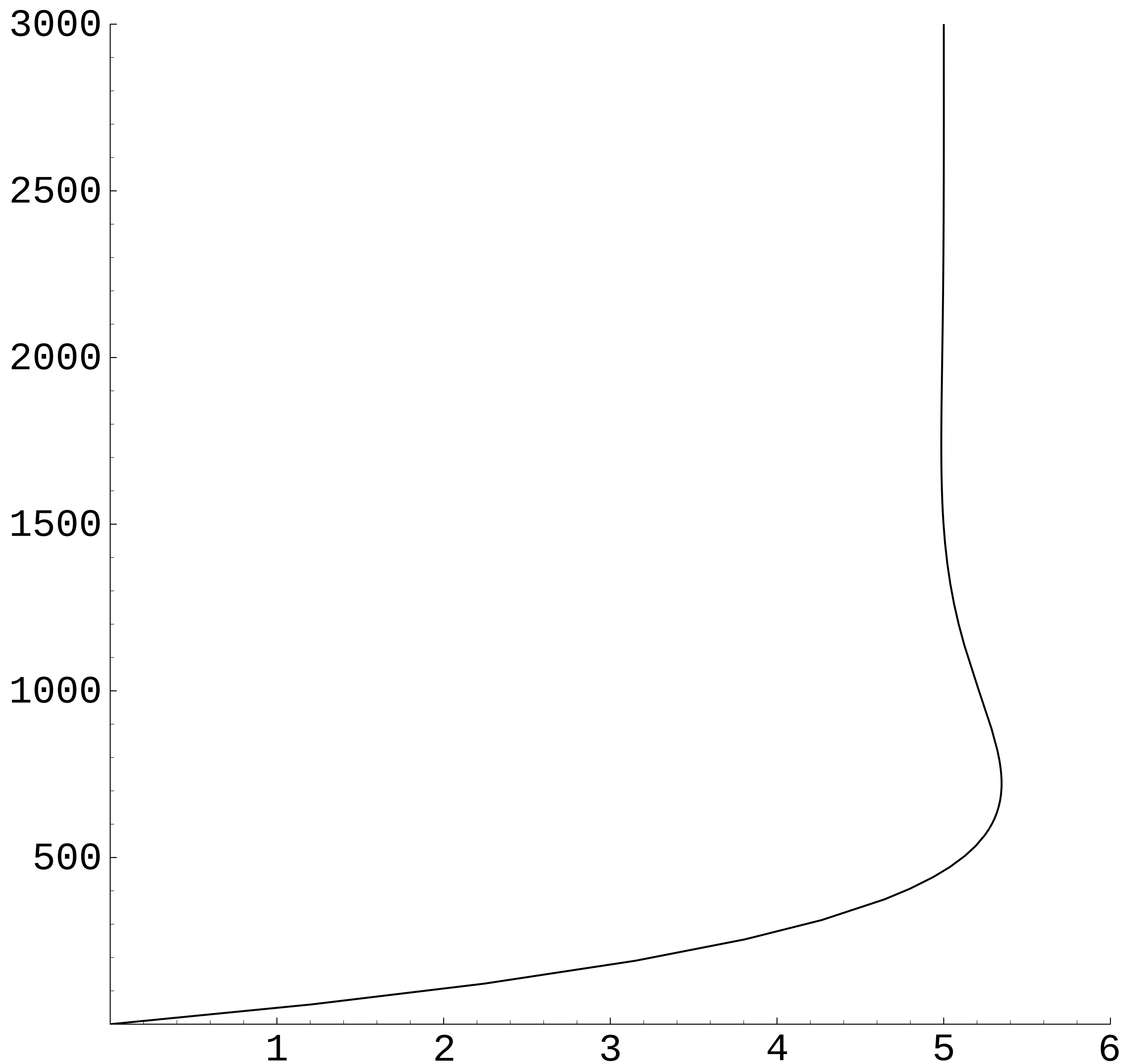
$$u_*^2 = u_g\sqrt{Kf}$$

- Pintastressi/pintavääntö/pintatuuli on 45° vasemmalle (pohjoinen pallonpuolisko) u_g:stä.

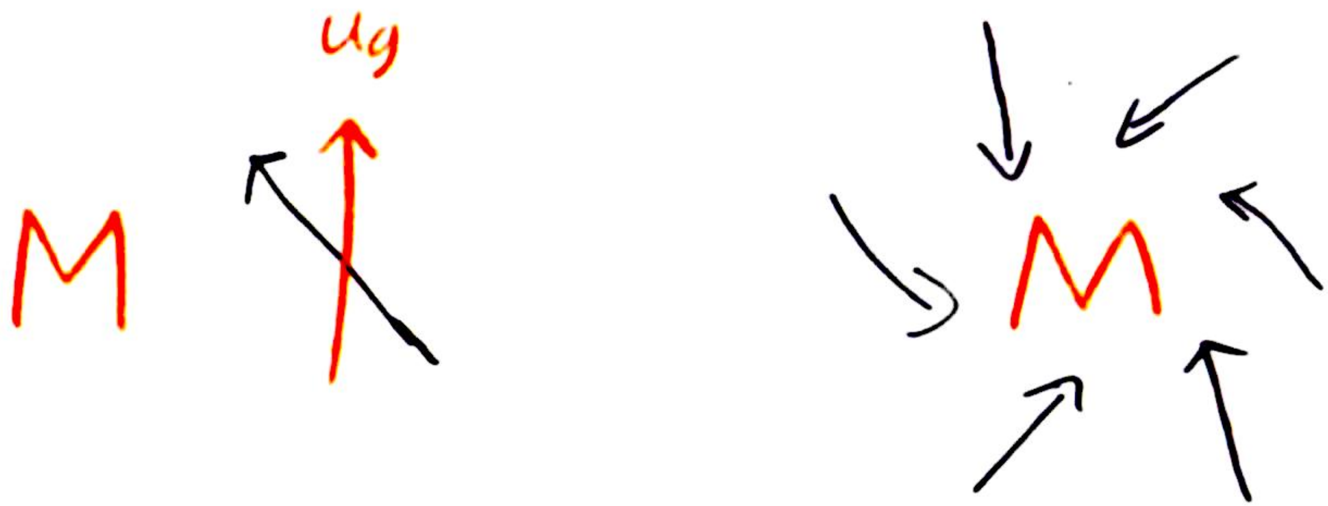
(KUVAT 1, 2)



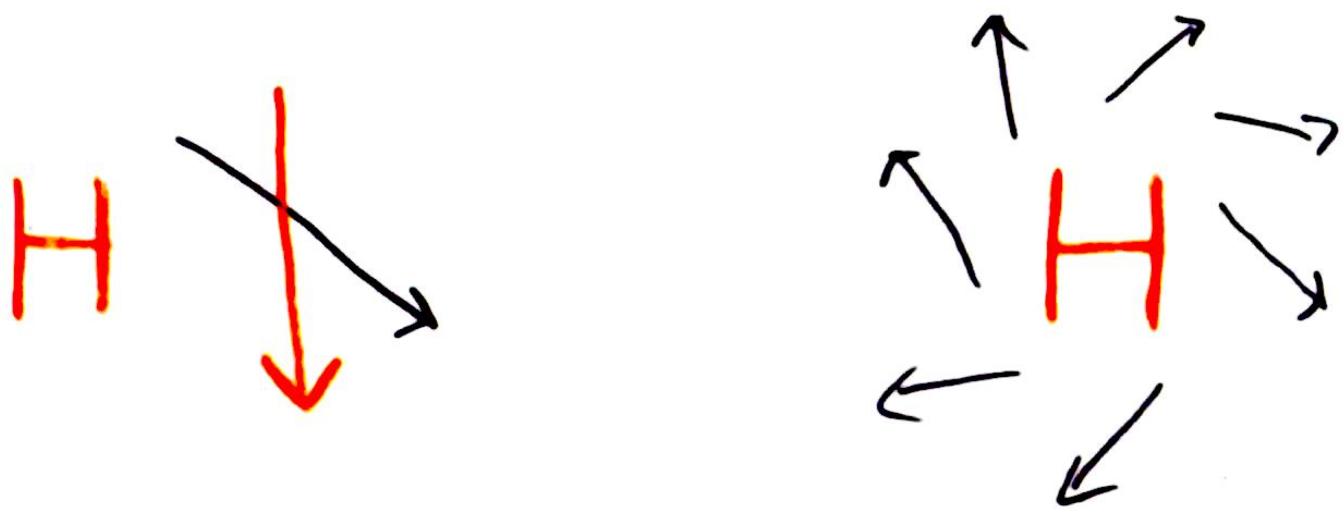
1.5
1.25
1
0.75
0.5
0.25
1
2
3
4
5


3000
2500
2000
1500
1000
500
1
2
3
4
5
6

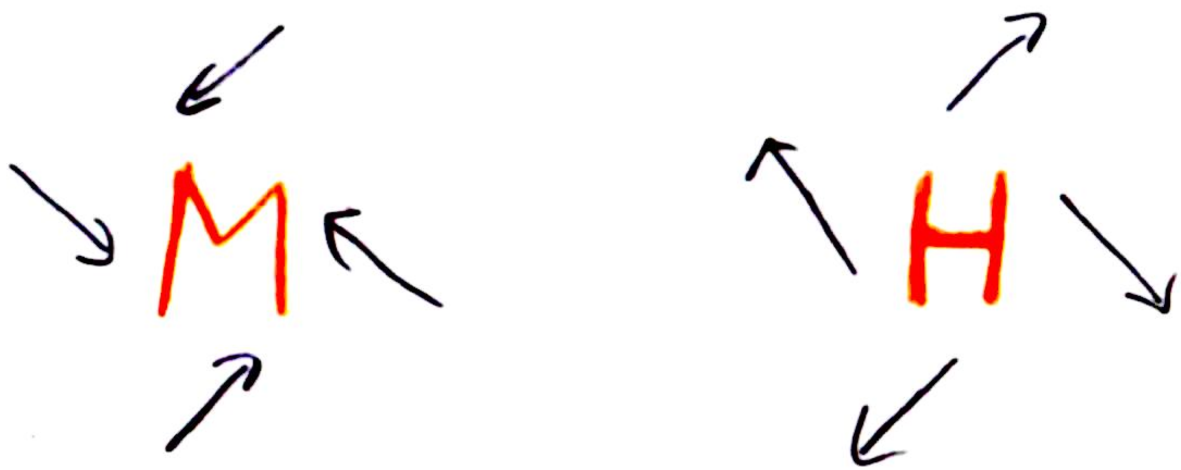
Kitkakonvergenssi



Kitka divergenssi



Ekman – pumppaus



Ekman-spiraali merivirroille

Ekman (1905) alunperin merivirroille, sitten sovellettiin ilmakehään.

- Ei geostrofista virtausta

$$f v = -K \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

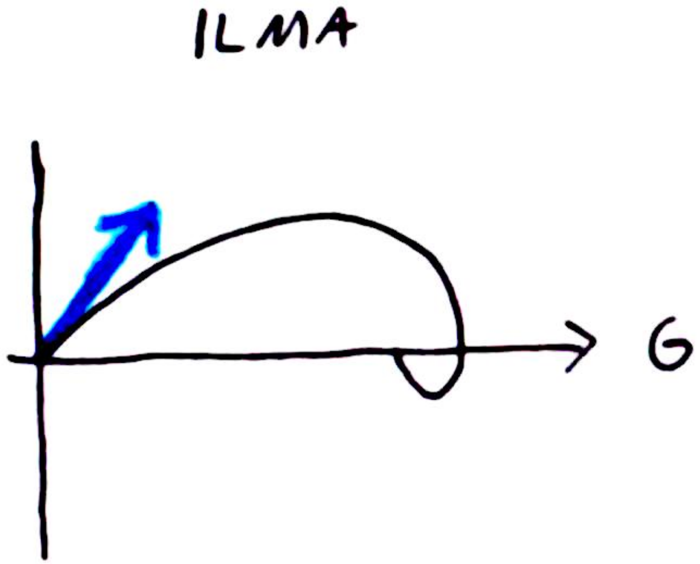
$$f u = K \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}$$

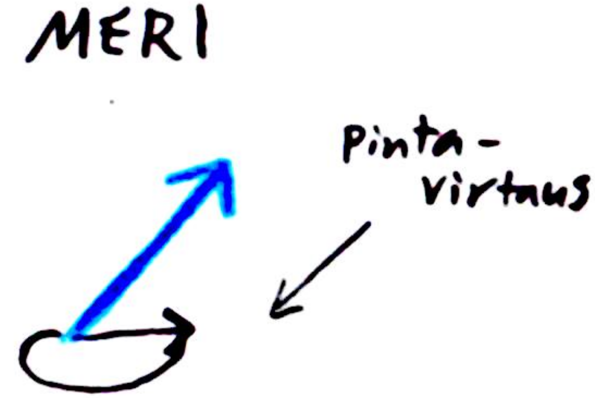
Pakote pintakitkasta $\quad K \frac{\partial u(0)}{\partial z} = u_*^2$

meren K

Pohjassa $u = v = 0$

samankaltainen ratkaisu löytyy,
en esitä tässä (Stull s. 213).





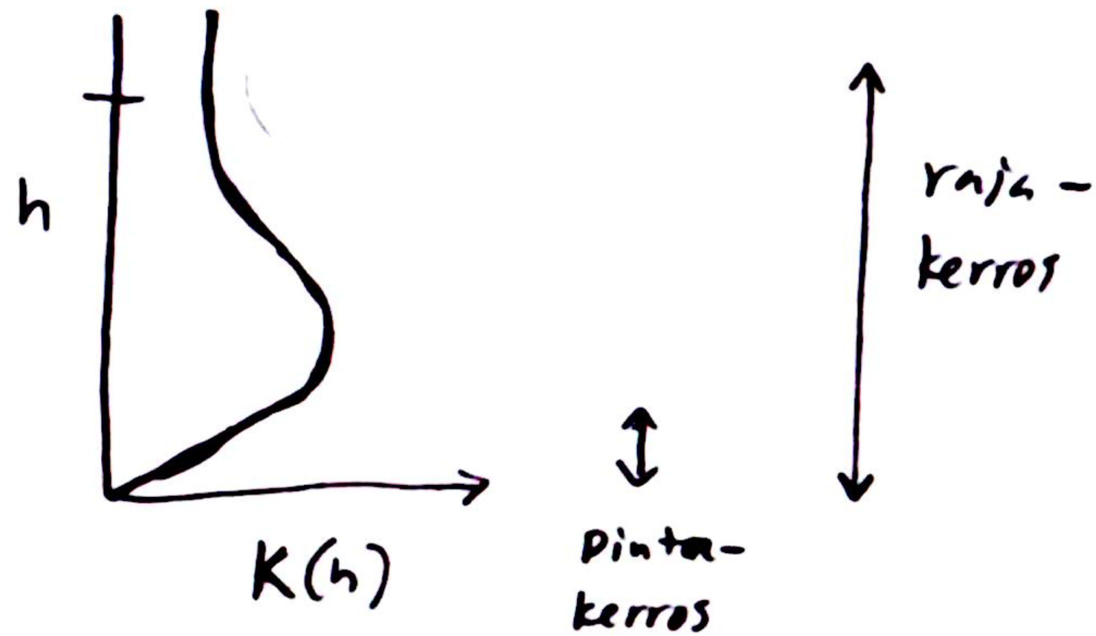
↗ = pintakitka

Ekman-spiraalin heikkouksia

- Suunnilleen järkevä kuvaus, jos kerrostuminen on neutraali
- Epästabiilille huono kuvaus, liikemäärävuo tasoittaa profiilia
- Stabiilissa voi olla supergeostrofisia tuulia rajakerroksessa, joten Ekman-spiraalin muotokin väärin

K = vakio on huono oletus

Pitemmmin:



⇒ numeeriset mallit

Ekman-spiraali kohtaa maanpinnan lineaarisesti.

- Ei huomioi pintakerrosta. Pintakerroksessa logaritminen tai Monin-Obukhov-tuuliprofiili
- 45° liian suuri kääntymiskulma

Ekman – Taylor – spiraali

Sovelletaan Ekman-spiraalia vasta
pintakerroksen yläpuolelta. Esim. $z > 10\,m$

Pitää antaa parametrinä alareunan
tuulen suuntakulma: α

α (pinnan rosoisuus)

$$u(z) = u_g\left(1 - \sqrt{2}\,\sin(\alpha)\, e^{-\gamma z} \cos\left(\gamma z + \frac{\pi}{4} - \alpha\right)\right)$$

$$v(z) = u_g \sqrt{2}\,\sin(\alpha)\, e^{-\gamma z} \sin\left(\gamma z + \frac{\pi}{4} - \alpha\right)$$

Rosoisella maalla $\alpha \approx 25^\circ$

pintatuuli $\approx 0.48\ u_g$

Merellä $\alpha \approx 15^\circ$

pintatuuli $\approx 0.71\ u_g$

Ekman-Taylor-ratkaisu riippuu

leveysasteesta coriolisparametrin f kautta

Ei välttämättä päde tropiikissa

Eteläisellä pallonpuoliskolla $f < 0$,

kääntymiskulmat eri suuntaan

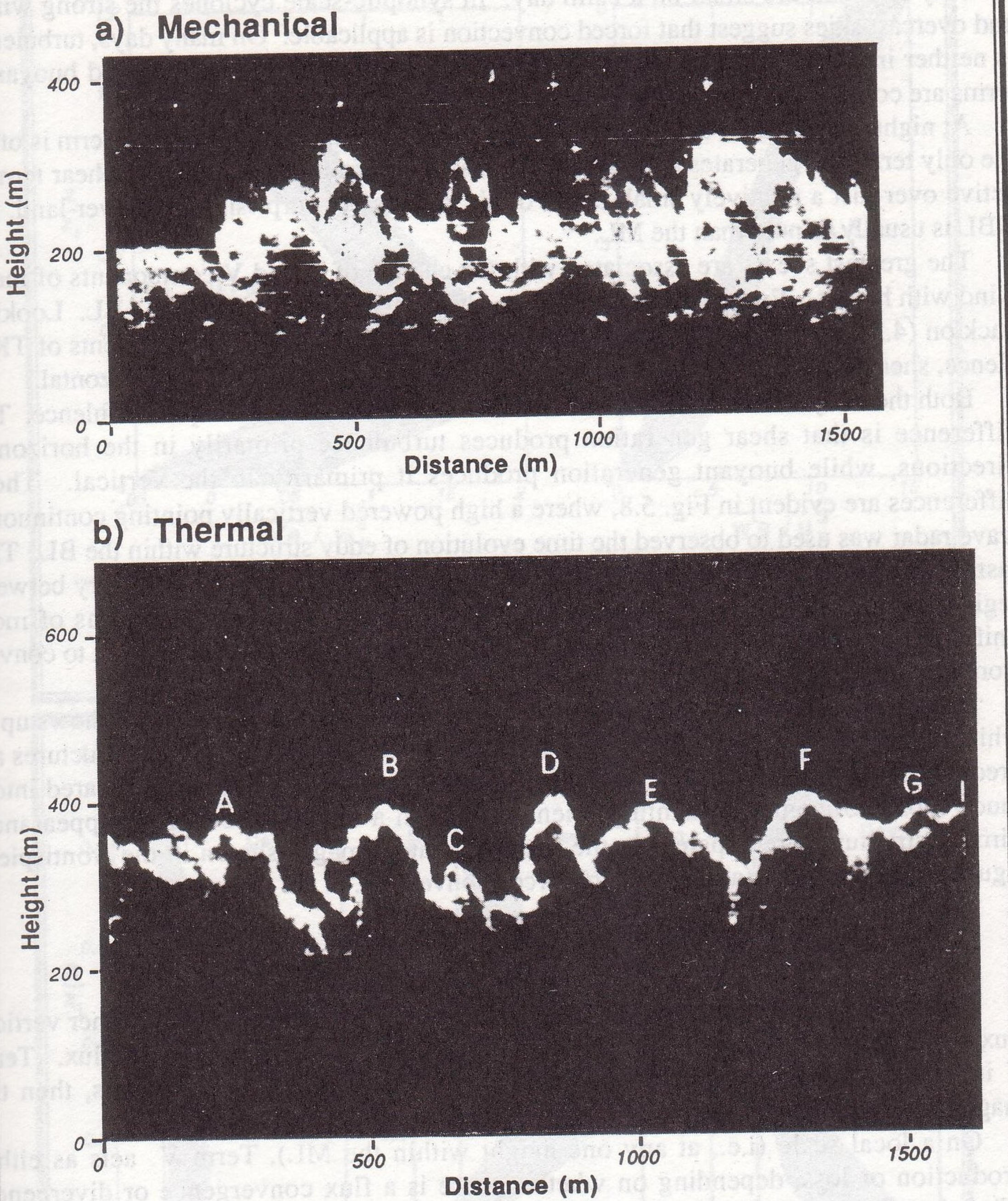


Fig. 5.8 Radar images of turbulence near the boundary layer top, showing (a) forced convection, and (b) free convection. After Noonkester (1974).

Ultraäänianemometri (3D)

Edinburghin yliopiston tutkimuslentokone

Pyranometri, nauhavarjostin

Pyrgeometri

Kuumalanka-anemometri