

1. Lähes neutraali rajakerros
2. Epästabiili rajakerros
3. Stabiili rajakerros

# Lähes neutraali rajakerros

Pintakerroksessa logaritminen tuuliprofiili

Ekman-kerroksessa spiraali

Pyörteiden koko  $l \approx k z$

Vaihtokerroin  $K \approx l^2 |dU/dz|$

$l^2$  kasvaa kuin  $z^2$

$|dU/dz|$  pienenee ylöspäin

$K$  pieni pinnalla, maksimi 200-300 m korkeudella

Konvektiivisessa (epästabiilissa) rajakerroksessa

$K$ :n maksimi 700-800 m korkeudella

Voimakkaan tuuliväänteen aluea, esim. suihkuvitauksissa, tai aallot esim. vuorien jälkeen, voivat aiheuttaa kirkkaan ilman turbulenssia.  
(Clear Air Turbulence, CAT)

$|dU/dz|$  on suuri

Vaarallista lentokoneille, ei näy silmällä eikä tutkassa.

Näkyä skintillometrillä (painevaihtelut) tai doppler-LIDARilla (doppler näkee nopeusvaihtelut)

# Kovektiivinen (hyvin sekoittunut, epästabili) rajakerros

Pintakerros, 5-10%, Monin-Obukhov profiili

(Hyvin) sekoittunut kerros, 35%-80%,  
suureiden arvot melko vakioita

Entrainment zone (vaihtokerros?),  
10%-60%

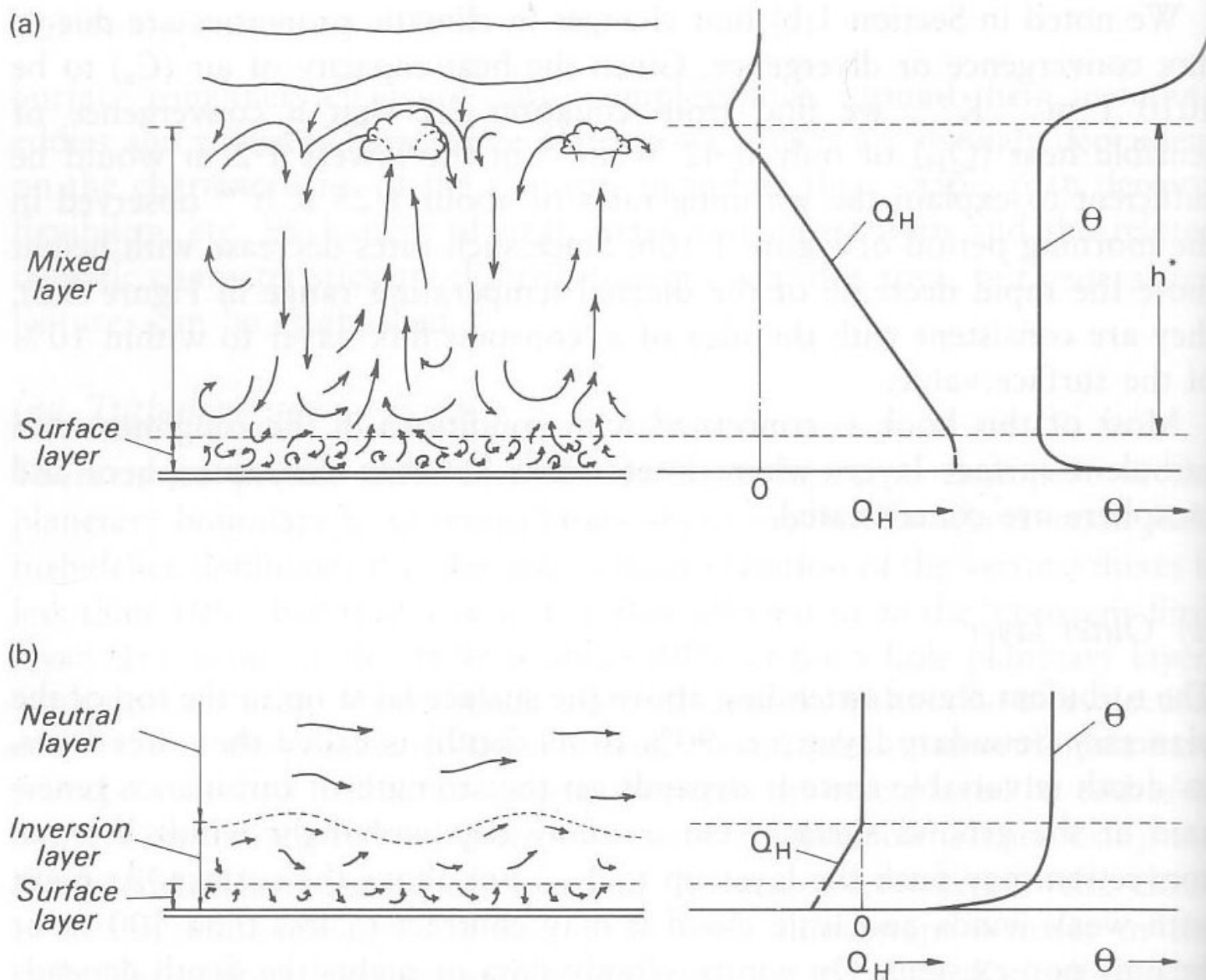


Figure 2.4 Schematic representation of airflows in the outer layer. (a) The daytime mixed layer, and the associated vertical profiles of the sensible heat flux density ( $Q_H$ ) and potential temperature ( $\theta$ ) within a mixed layer of depth  $h^*$ . (b) The corresponding conditions in the nocturnal stable layer. (Note – see p. 53 for the definition of  $\theta$ .)

Pintakerros:

Yliadiabaattinen lämpötilavähete (lapse rate)

Kosteus vähenee ylöspäin

Vahva tuuliväanne

Voi kuvata Monin-Obukhov teoriolla

Aivan pinnassa (pari mm) jyrkkä

lämpötilagradiendi, molekulaarinen diffuusio

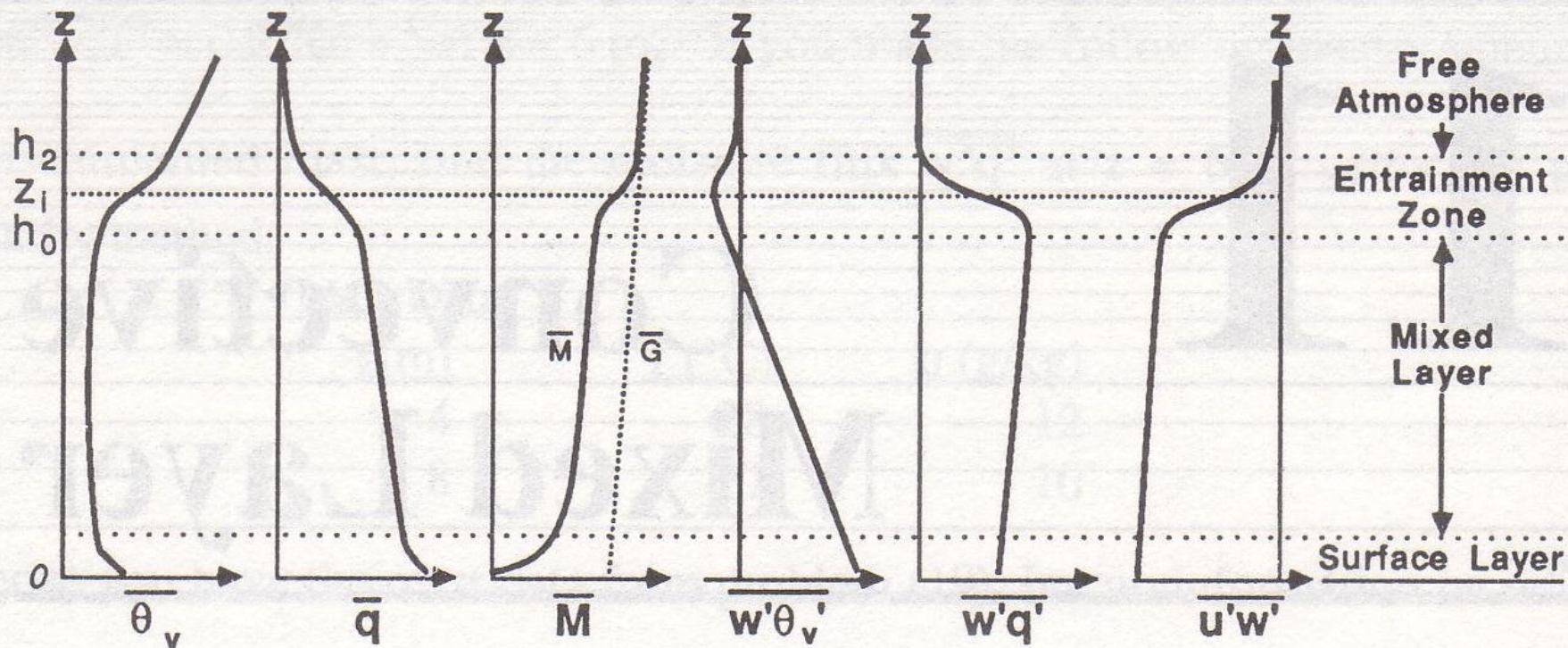
Sitten pienten pyörteiden kuljetusta

Pinnasta evaporaatiota / evapotranspiraatiota  
jos pinta kostea / on kasvillisuutta

Sekoittumisen takia tyypillisellä(?)  
mittauskorkeudella 10 m jo huomattava tuulen  
nopeus

(Päivällä tuuli voimakkaampaa kuin yöllä)





**Fig. 11.1** Mean characteristics of layers within the convective boundary layer. (After Driedonks and Tennekes, 1984).

# Sekoittunut kerros (ML, Mixed Layer)

Pystysuutaisen sekoittumisen takia suureet melkein vakioita, jopa tuulen nopeus ja suunta

Yläosassa inversio ennen vapaata ilmakehää

Jos lämpökumpuaminen on voimakasta, syntyy erityisen hyvin sekoittunut sekoittunut kerros.

Lämmöstä aiheutuva turbulenssi pystysuuntaista, anisotrooppista

Pinnan lähellä mekaaninen vääntö olennaisempaa

Potentiaalilämpötilan profiili ei kuitenkaan aivan vakio

Keskellä minimi

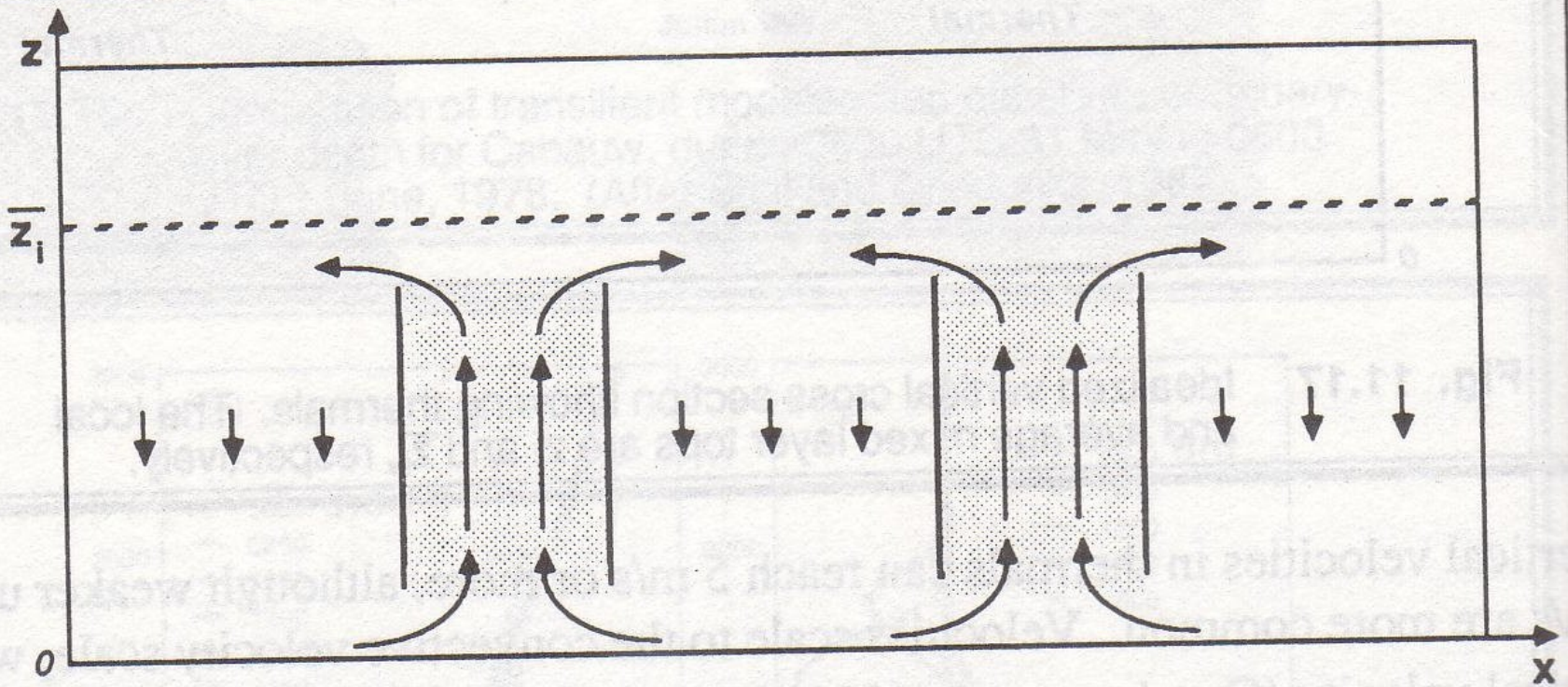
Sekä alhaalta että ylhäältä (entrainment) sekoittuu  
lämpimämpää ilmaa

Kun lämmin ilma yrittää ylöspäin ja viileä alaspäin,  
syntyy 3-ulotteisia rakenteita

Plume = lämpöpatsas? lämpökumpuaminen?

Halkaisija ~ pintakerroksen paksuus

Kattavat ehkä jonkin verran  $< 50\%$  pinta-alasta



**Fig. 11.19** Exaggerated idealization showing thermals with strong updrafts covering a relatively small fraction of the area, with weak downdrafts in between.

Koska lämpöpatsaiden nouseva ala pienempi kuin laskevan ilman ala lämpöpatsaiden ulkopuolella, nousevalla ilmalla suurempi nopeus kuin laskevalla

Eivät noin “siistejä” kuin edellinen kuva

Voivat myös yhtyä toisiinsa korkeammalla

Kova tuuli, heikko lämpönoeste => pitkiä, kapeita

Vahva lämpönoeste => leveitä, vaeltelevia “verhoja”

Etenevät, “mikrorintamia”

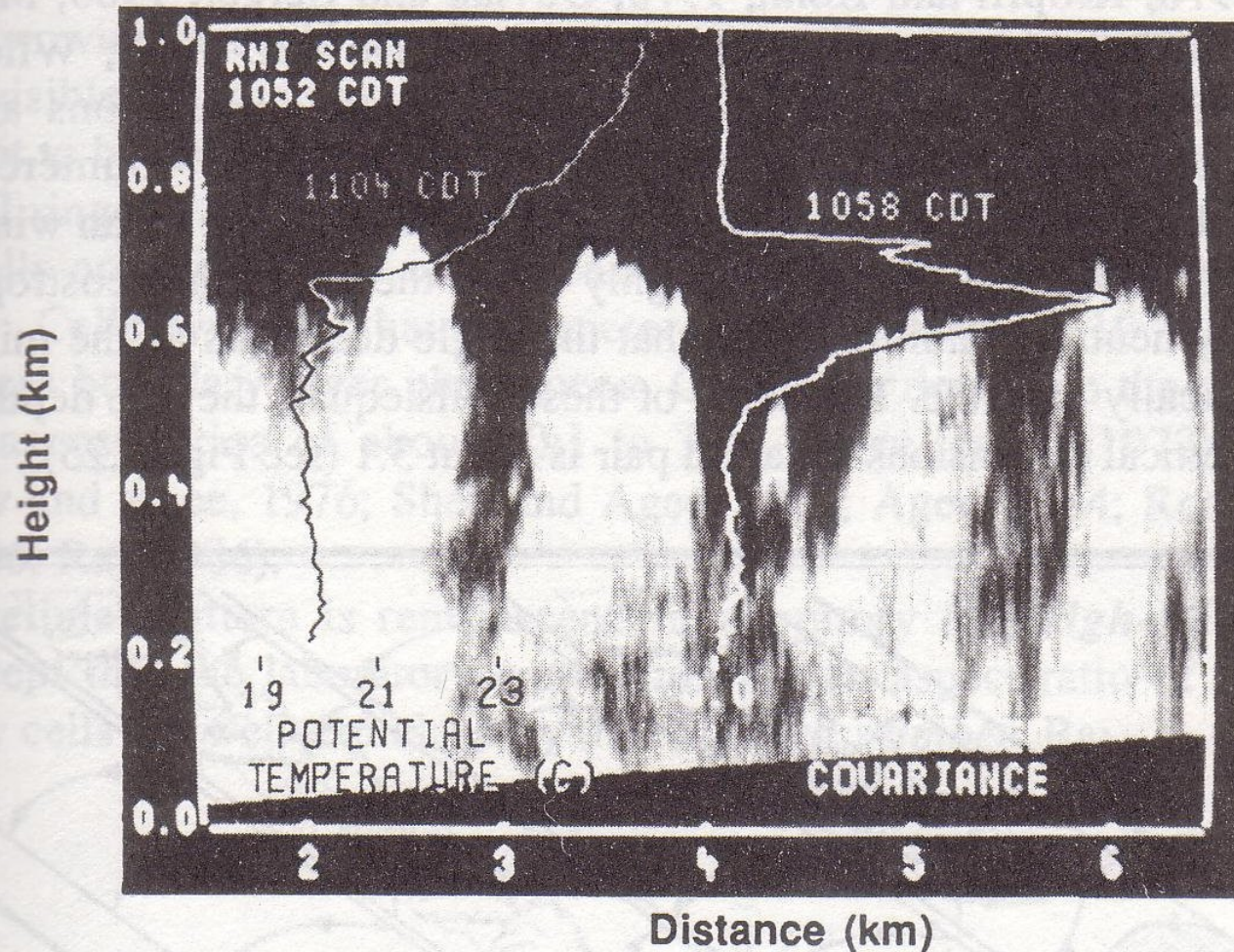
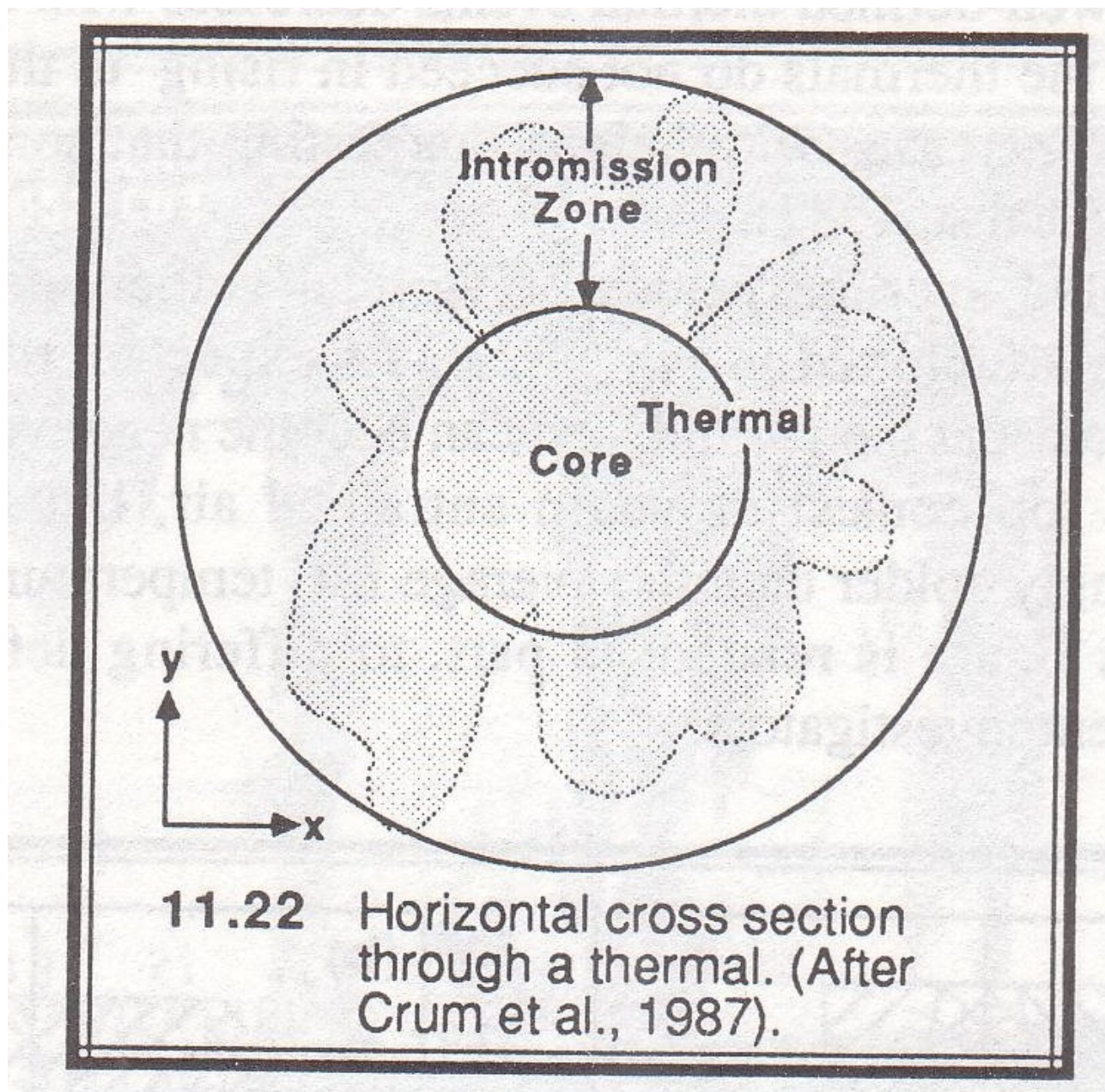


Fig. 11.24 RHI scan taken on 17 July at 1052 CDT. The light areas are areas of high aerosol concentrations carried aloft by rising convective plumes. The left overlay graph is the potential temperature profile at 1104 CDT. The right overlay is the normalized covariance profile of the aerosol density inhomogeneities. (After Hooper, 1982).

RHI = Range-Height Indicator (LIDAR)



Vain patsaan keskellä on “puhdasta” pinta-ilmaa



Konvektion aikaskaala ~10-20 min.

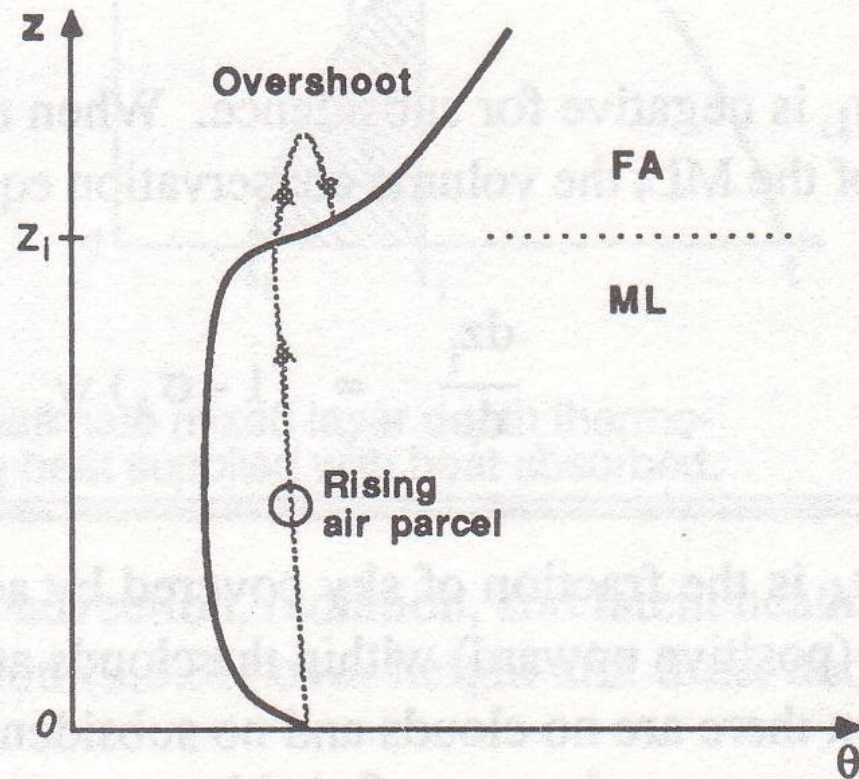
Tässä ajassa ilmapaketti ehtii kiertää pinnalta  
ylös ja takaisin

# Overshoot “yliampuminen”, penetratiivinen konvektio

Liikkeen inertia vie ilmapaketin hetkeksi korkeammalle kuin lämpötasapainon mukaan pitäisi

**Fig. 11.11**

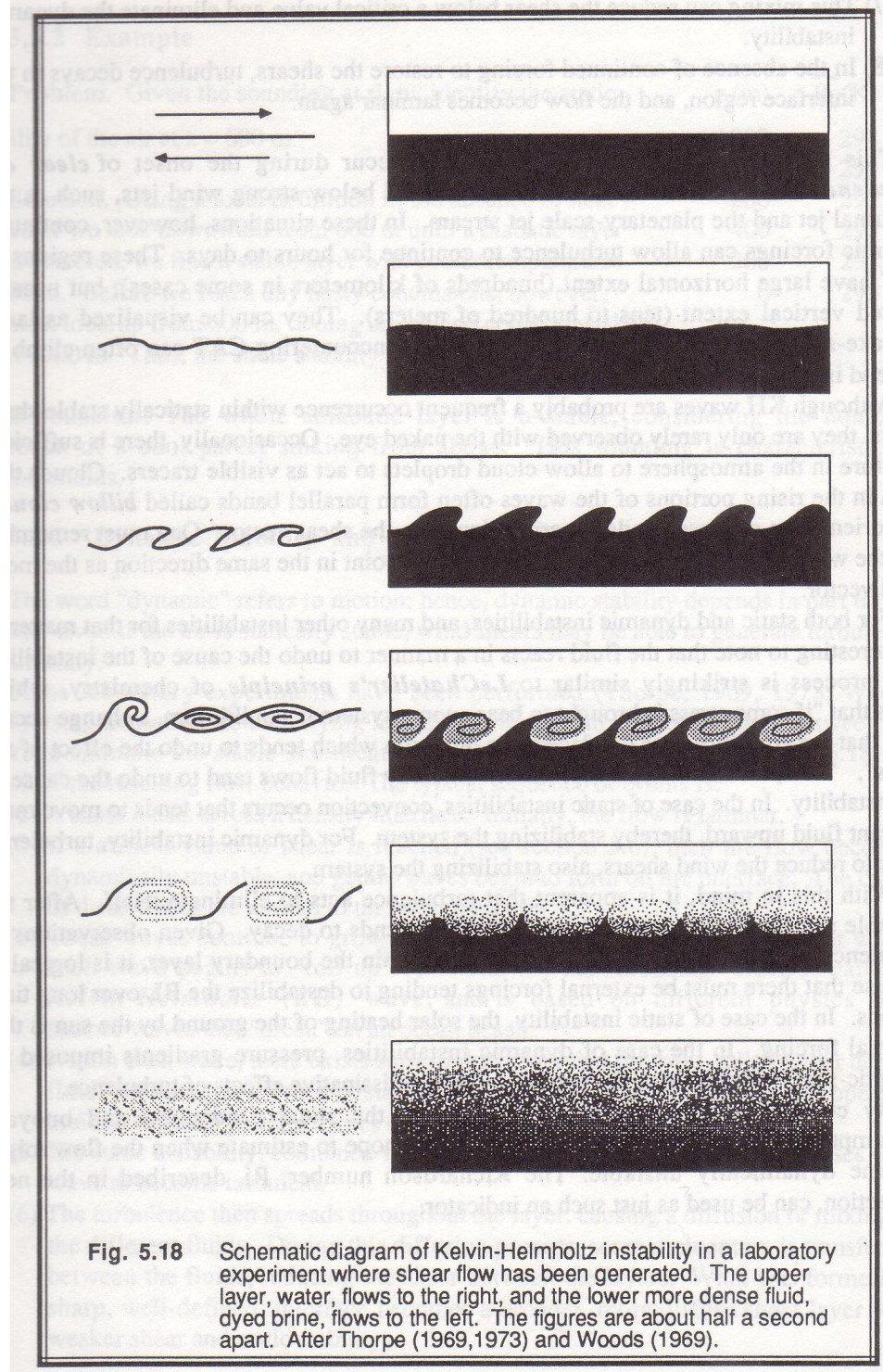
Penetrative convection is associated with an air parcel rising from the surface layer. The solid line is the mean background state, and the dashed line shows air parcel evolution including its penetrative overshoot into the FA.



# Kelvin-Helmholtz -aallot

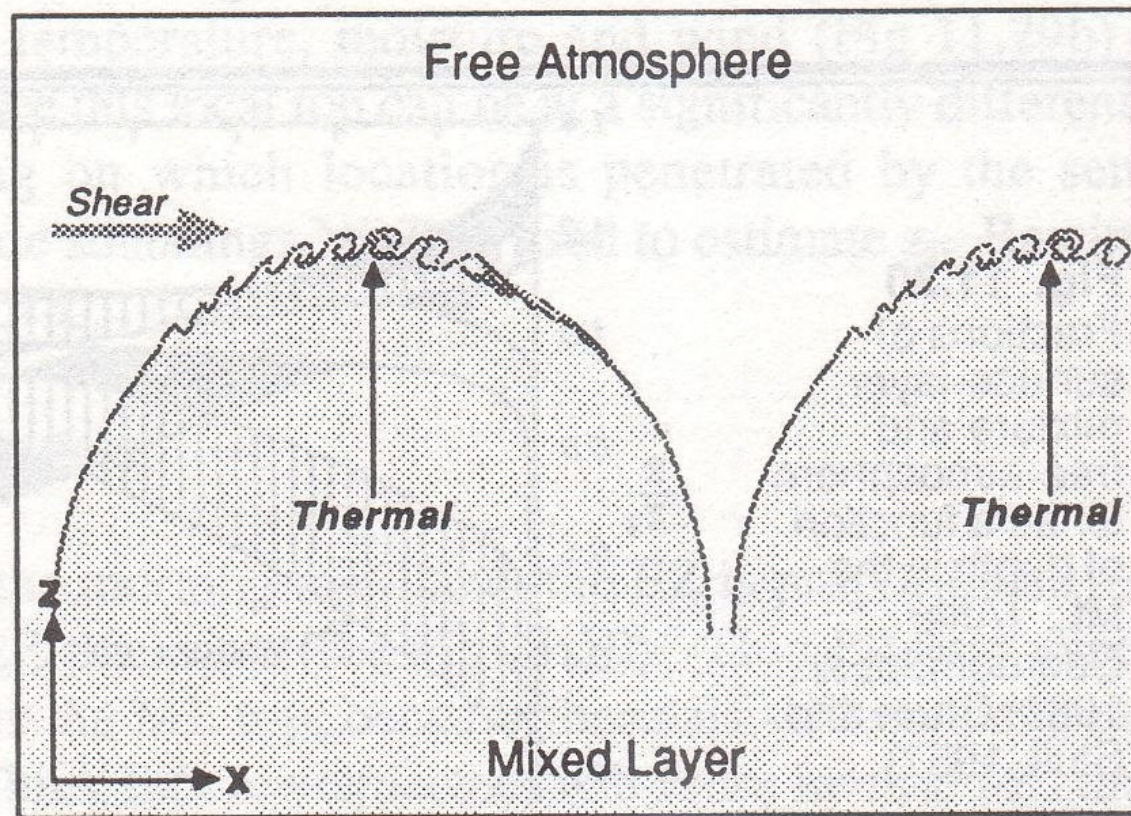
## K-H-aallot

## Kahden virtauksen rajalla

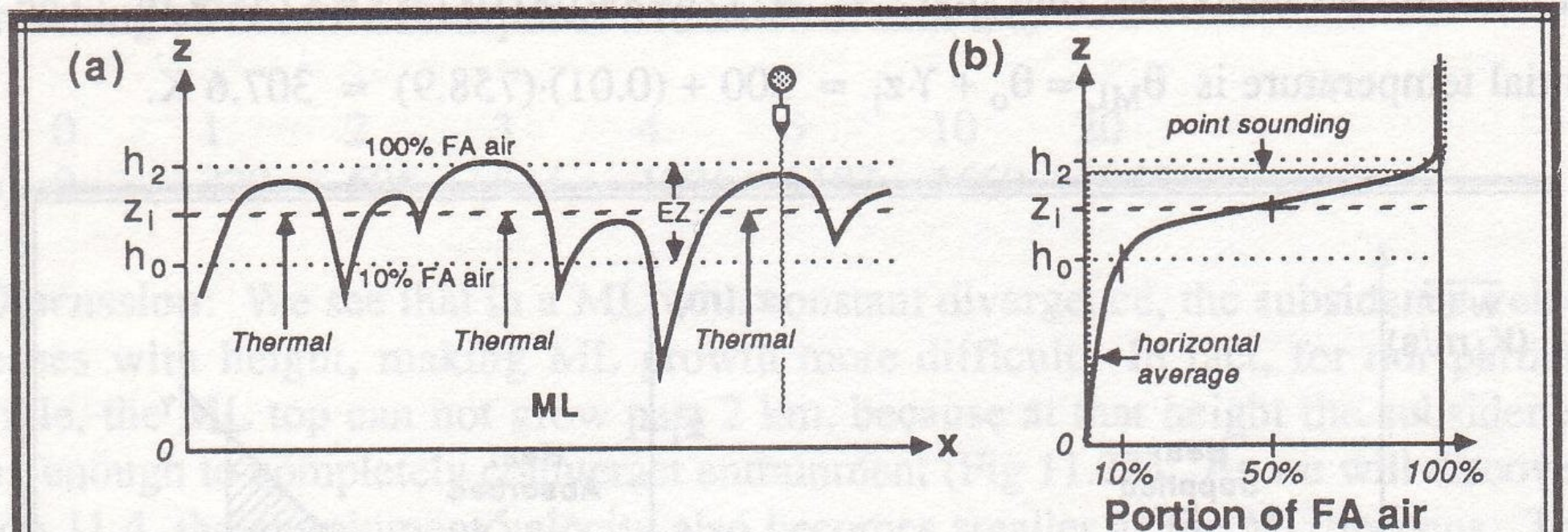


# Vapaan ilmakehän tuulivänne aiheuttaa K-H-aaltoja lämpöpatsaiden huipuilla

**Fig. 11.31**  
Small-scale K-H waves can form at the top of overshooting thermals as a result of the enhanced shear and stability. (After Rayment and Readings, 1974).



Lämpöpatsaisen takia Entrainment Zone (EZ)  
on korkeudeltaan hyvin vaihteleva



**Fig. 11.29** The entrainment zone (EZ) can be defined in terms of the fraction of FA air. (a) Overshooting thermals cause rawinsonde soundings to indicate improper values of  $z_1$ . Solid line is the local ML top, while the dashed line is the average ML top,  $z_1$ . (b) Variation of fraction of FA air with height in the entrainment zone as measured by horizontal averages (solid line) and a point sounding (dotted line).

# Aamalla sekoittunut kerron alkaa kasvamaan maan pinnalta

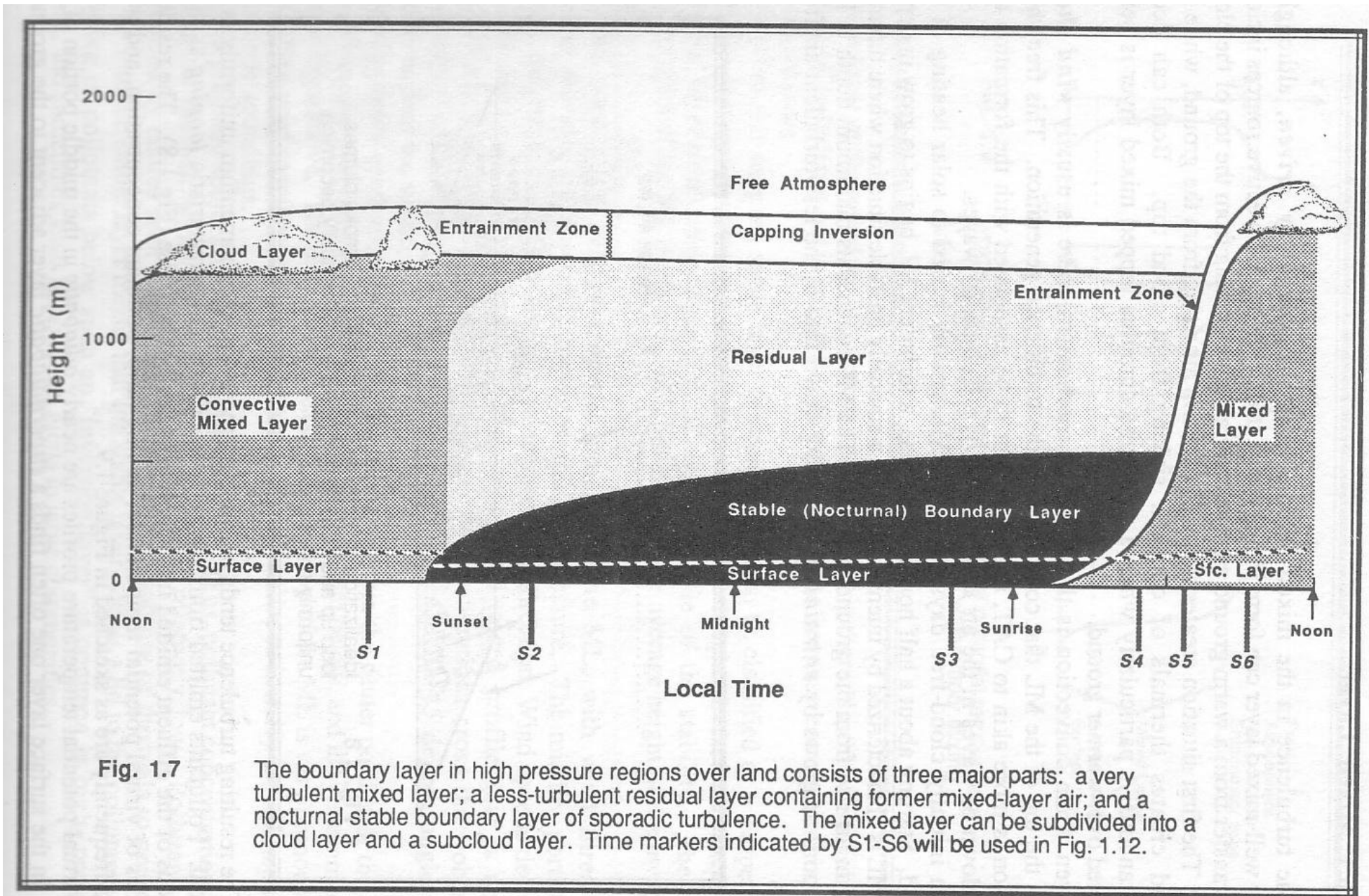


Fig. 1.7

The boundary layer in high pressure regions over land consists of three major parts: a very turbulent mixed layer; a less-turbulent residual layer containing former mixed-layer air; and a nocturnal stable boundary layer of sporadic turbulence. The mixed layer can be subdivided into a cloud layer and a subcloud layer. Time markers indicated by S1-S6 will be used in Fig. 1.12.

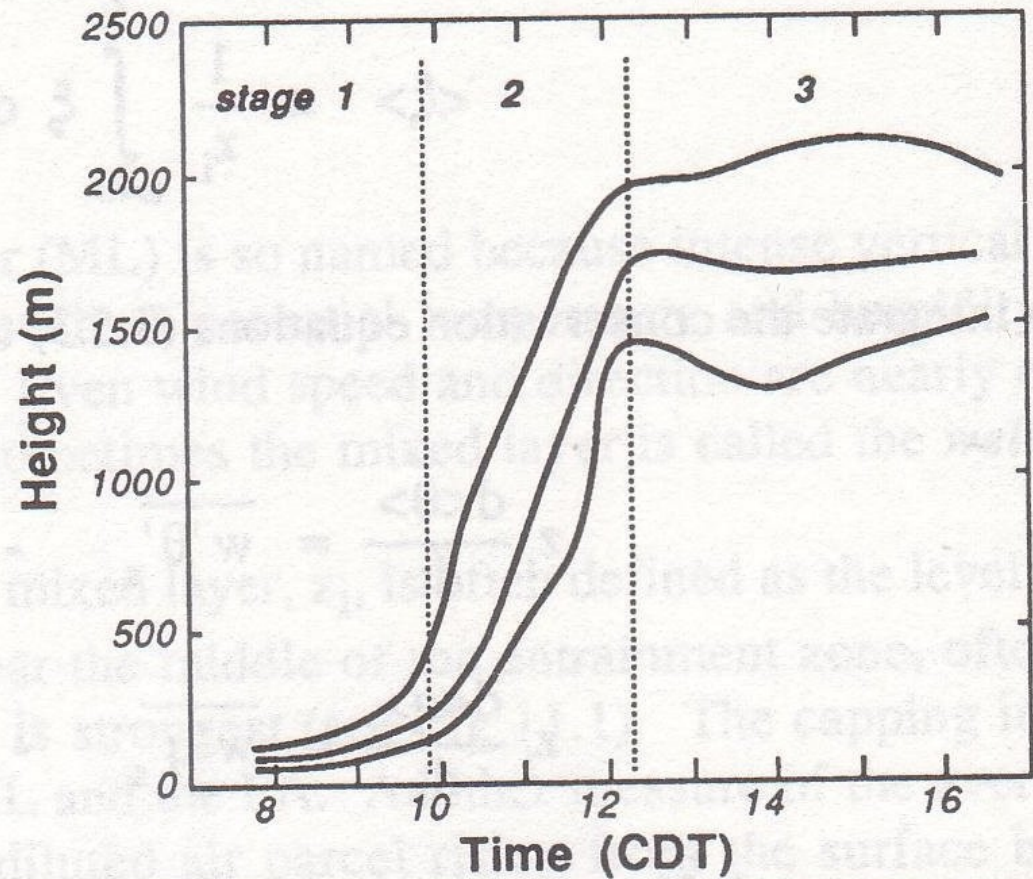
Mekanismi:

Lämpöpatsaiden huiput nousevat ylempään kerrokseen, tuuliväänne aiheittaa sekoittumista (K-H-aaltoja)

Ylemmän ilman “taskuja” sekoittuu alemmaksi, näin sekoittunut kerros aamun mittaan valtaa alaa korkeammalle

**Fig. 11.10**

Evolution of the entrainment zone measured by lidar at the BLX83 field site for 15 June 1983. The top and bottom lines represent the top and bottom of the entrainment zone, respectively, while the middle line is the average, mixed layer depth,  $\bar{z}_i$ . (After Wilde, et al., 1985.)





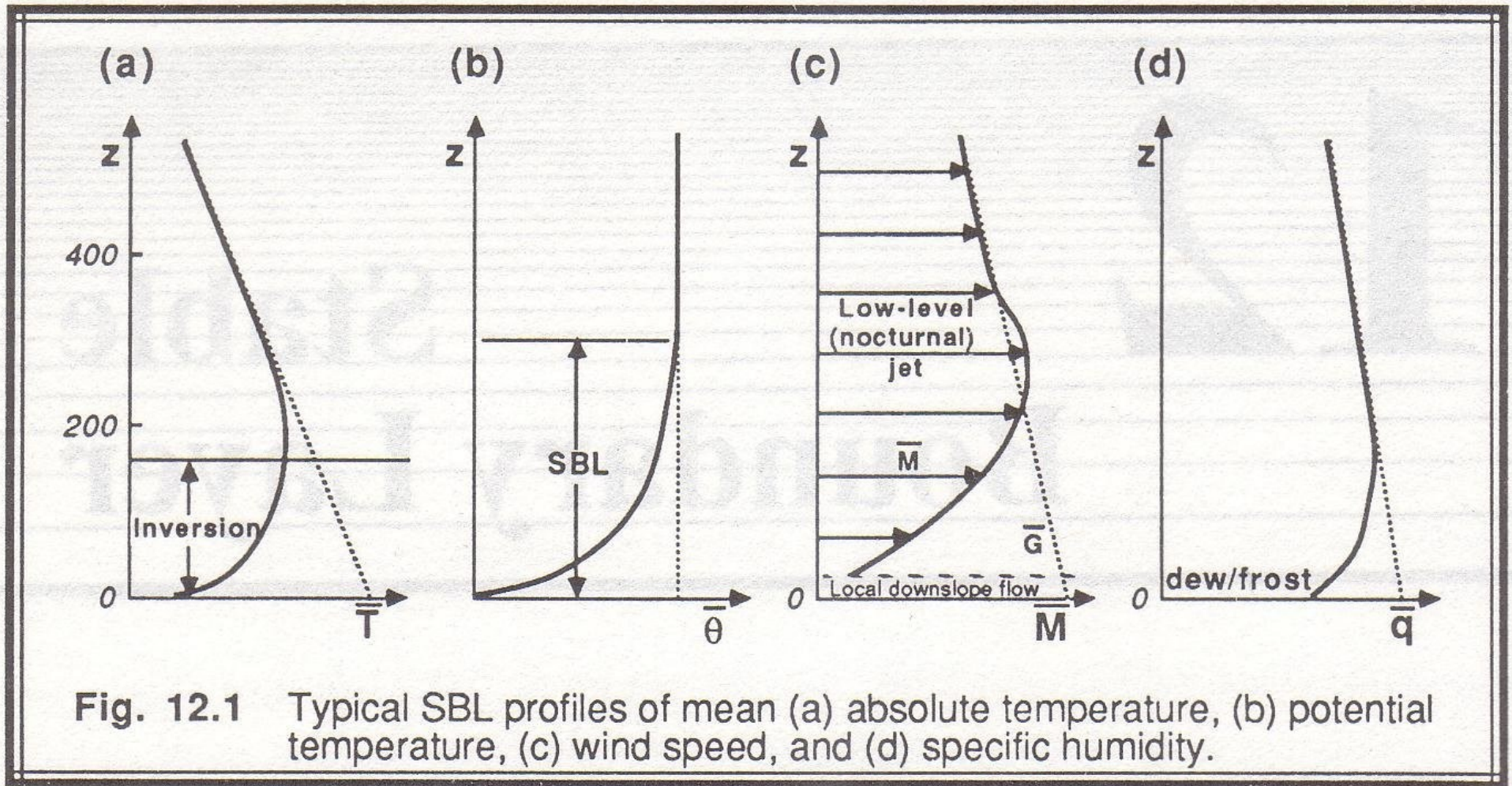
Sekoittuneen kerroksen kasvunopeus riippuu olennaisesti lämmönvuon suuruudesta pinnasta

Stulle esittää kasvunopeudelle jonkinlaisia kaavojakin, mutta pääasiassa mainitsee että niitä on esitetty jos jonkinlaisia, eivätkä ne ole kovin tarkkoja / yleispäteviä

Kasvaa päivän mittaan 1-2 km korkeuteen

Aavikolla jopa 5 km, merellä esim. 400 m

# Stabiili, kerrostunut, pintakerros



SBL = Stable Boundary Layer

Kun pinta on ilmaa kylmempi, alimpien kerroksien ilma viilenee, ja lämpökerrostuminen on stabiili

Esiintyy yöllä, kun ulossäteily jäähdyttää maanpinnan

Voi esiintyä myös, jos lämmin ilmamassa kulkee viileämmän pinnan päälle, esim. lämpimältä maalta viileämmän meren päälle. Tai mereltä vielä kylmemmän jään (tai lumisen maan) päälle.

Riittävän stabiileissa oloissa ei vain potentiaali-  
lämpötila, vaan myös absoluuttinen lämpötila laskee kohti pintaa, puhutaan inversiosta

Kaupunkialueilla (rakennetuilla) pinnan (rakennusten) lämpökapasiteetti ja lämmitys voivat pitää yllä pinnan lähellä sekoittunutta kerrosta yölläkin

Kun ympäröivä stabiili kerros kasvaa tarpeeksi korkeaksi, se siirtyy myös kaupungin ML:n yläpuolelle

Stabiilia kerrosta on hankala mallintaa,  
(yksinkertaisilla malleilla) useista syistä:

Kuten: pinnan lähellä kylmä ilma valuaa alamäkeen  
(eli pitäisi ottaa huomioon pinnanmuodot)

Joskus kosteuden haihdunta jatkuu yölläkin  
(vesistöjä). Kasvit yleensä sulkevat ilmarakonsa  
yöksi.

Jos on hyvin heikko turbulenssi ja sekoittuminen,  
tulee alas suuri kosteusgradientti.

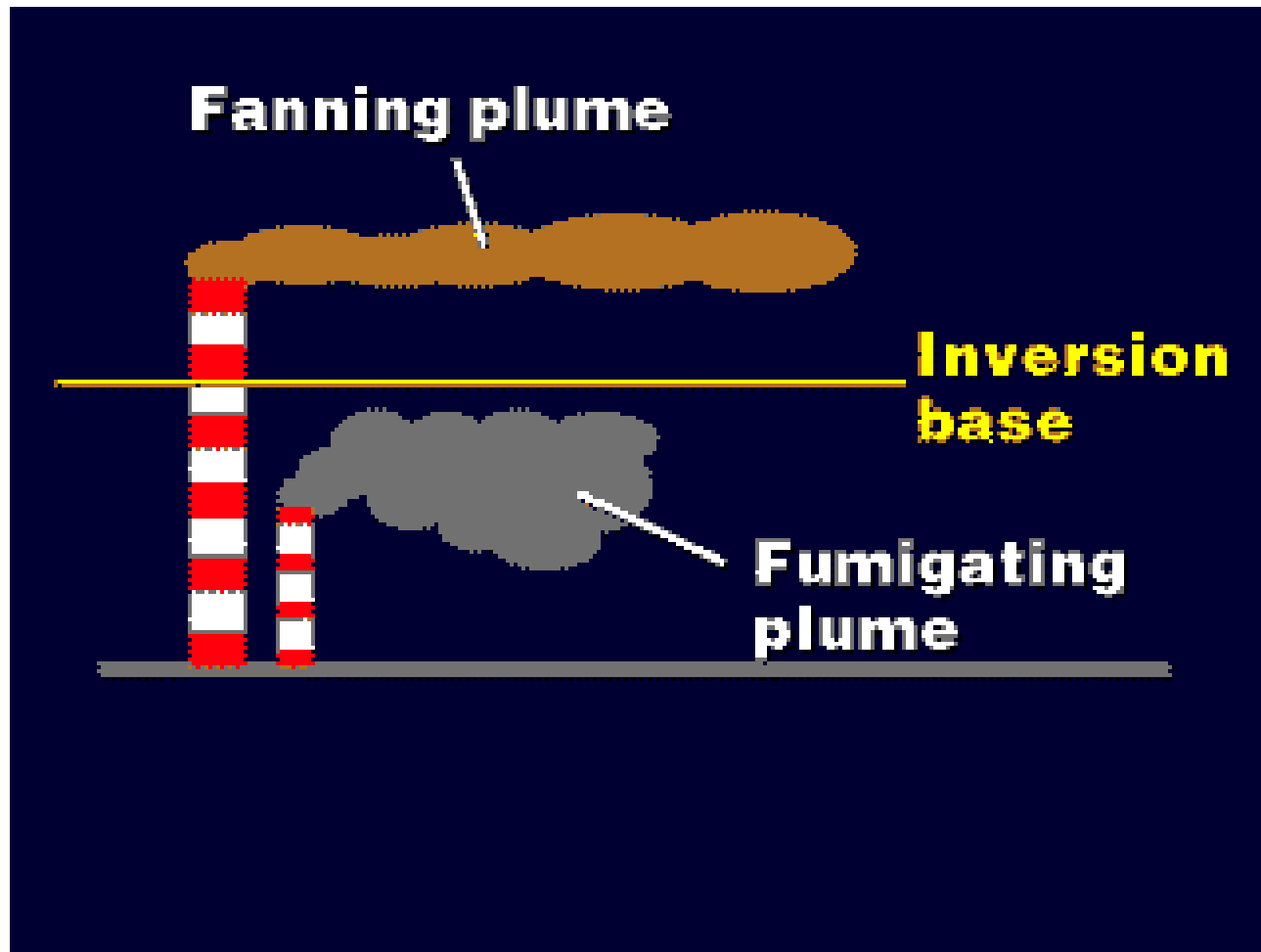
Kosteus saattaa myös tiivistyä. Tai jäätyä.

# Yöllinen suihkuvirtaus

Tuulen nopeus kasvaa stabiilissa kerroksessa ylöspäin. Yläosassa se voi olla geostrofista tuulta suurempi.

Määritelmä: jos se on yli 2 m/s geostrofista tuulta suurempi, kutsutaan yölliseksi suihkuvirtaukseksi.

Epäpuhtaudet (esim. savupiippu) eivät juuri sekoitu pystysuunnassa, leviävät “viuhkana”



Aikaskaaloja:

Heikon turbulenssin oloissa sekoittumisen aika-skaala voi olla 7-30 tuntia

Eli stabiili kerros ei ehdi yön aikana tasapainotilaan (steady state)

Inertiaali-oskillaatio: Kun päivällä vallinnut vahva sekoittuminen lakkaa, painegradientti pääsee paremmin kiihdyttämään tuulta, coriolisvoima vaikuttaa, tuulen nopeuteen ja suuntaan syntyy oskillaatio, aikaskaala esim. 17 tuntia.



Hyvin stabiilissa kerroksessa turbulenssia saattaa esiintyä vain siellä täällä, silloin tällöin

Laminaarisella alueella tuuli pääsee kiihtymään, kunnes vääntö kasvaa riittävän suureksi ja syntyy turbulenssia. Tämä hidastaa virtausta paikallisesti. Kun virtaus hidastuu tarpeeksi, alkaa turbulenssikin heiketä pois.