

Metody měření a modelování energetické bilance na povrchu vegetace

Kamil Láška

Geografický ústav PŘF
Masarykova Univerzita
laska@sci.muni.cz

1.12.2009, Brno

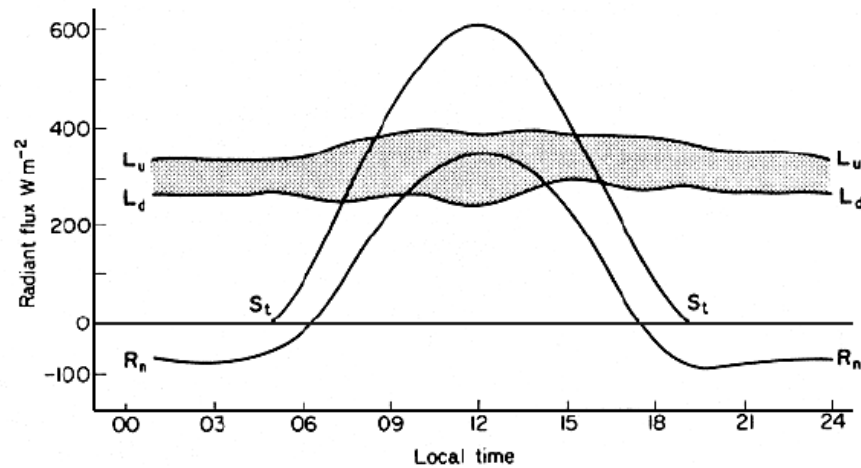
Energetická bilance aktivního povrchu

$$R_n = H + \lambda E + G + M + P$$

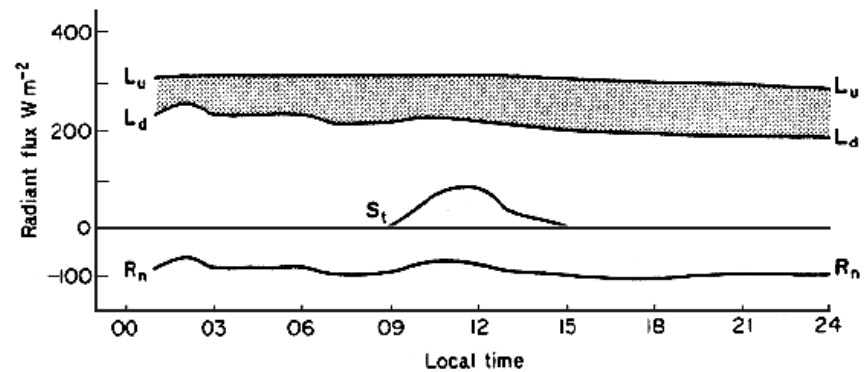
- Radiační bilance
odraz v krátkovlnné oblasti (albedo)
vyzařování v dlouhovlnné oblasti
- Turbulentní tok (teplo na ohřátí vzduchu - sensible heat)
- Latentní tok (teplo spotřebované na výpar - latent heat)
- Tok tepla do půdy
- Tok tepla do biomasy
- Fotosyntéza (energetická hodnota fotosyntetické produkce)

Radiační bilance (R_n)

a) za jasného letního dne v malých zeměpisných šířkách



b) za zataženého dne či ve velkých zeměpisných šířkách



Metody měření

- **Metoda Bowenova poměru**
 - založena na analýze radiační bilance stanoviště; měří se teplota a vlhkost vzduchu min. ve dvou výškách
- **Aerodynamická (gradientová)**
 - měří se rychlost větru a koncentrace příměsí ve více výškách nad porostem
- **Metoda turbulentní (vírové) difúze (eddy correlation)**
 - měří se přímo okamžitý vektor rychlosti větru a okamžitá hodnota koncentrace, a to v jednom místě nad porostem

Bowenův poměr

$$R_n = H + \lambda E + G + M + P$$

$$R_n = H + LE$$

$$\beta = H / LE$$

R_n – net radiation [J/m²]

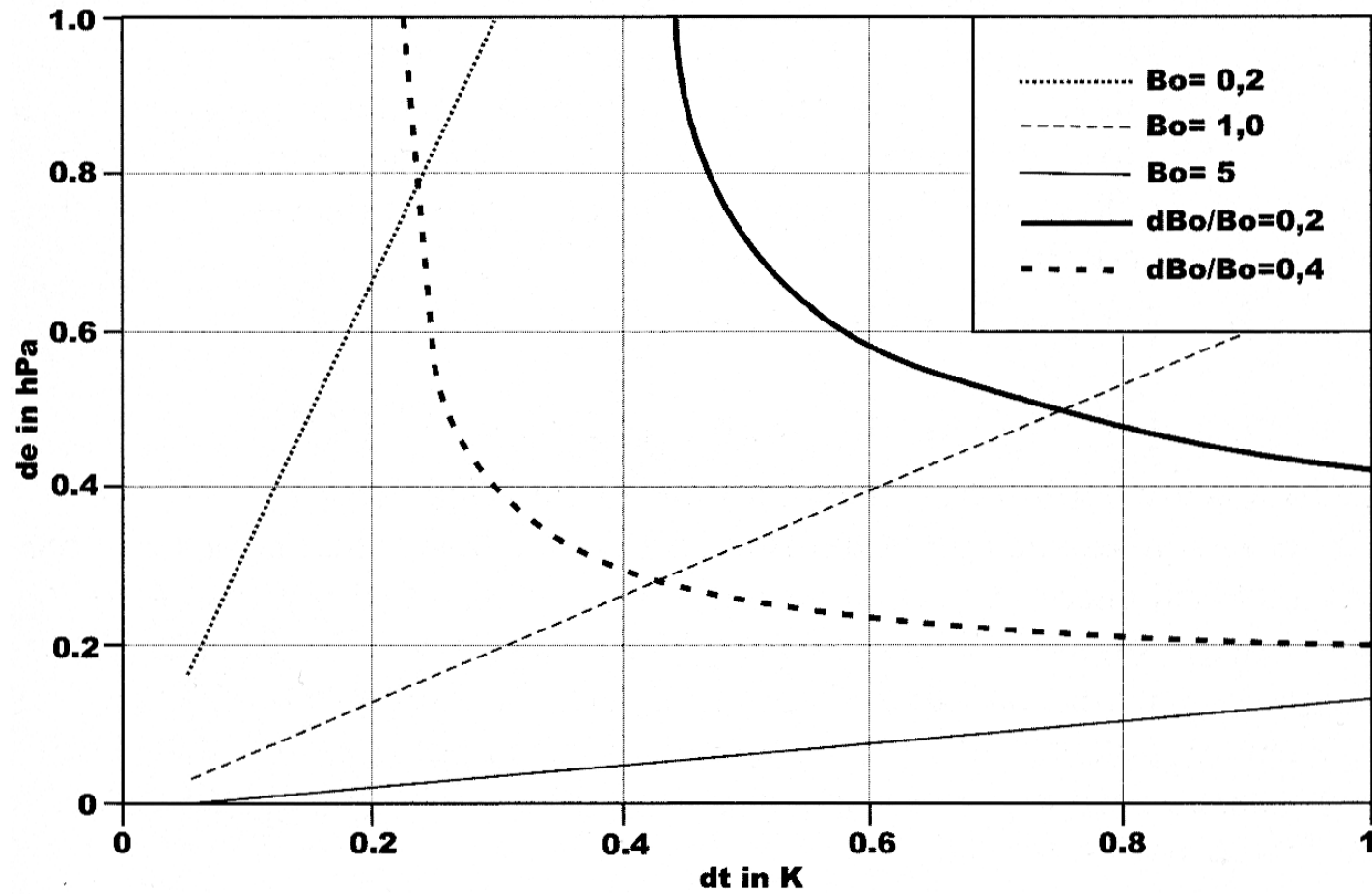
H – sensible heat [J/m²]

E – evapotranspirace [kg/m²]

L – výparné teplo [J/kg]

$$E = \frac{R_n}{L \cdot (1 + \beta)}$$

Bowenův poměr - chyby



Stanovení hodnoty Bowenova poměru

$$\beta = \gamma \cdot \frac{T_2 - T_1}{e_2 - e_1}$$

γ - psychrometrická konstanta

$T_2 - T_1$ - výškový gradient teploty

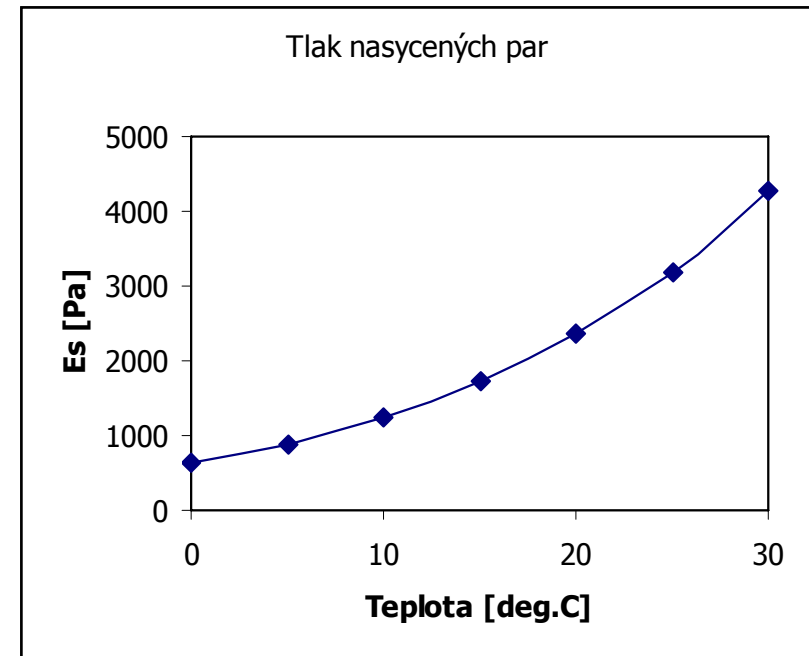
$e_2 - e_1$ - výškový gradient vlhkosti

$$e = E_s \cdot R_h$$

e - tlak vodní páry [Pa]

E_s - tlak nasycených par [Pa]

R_h - relativní vlhkost [%]



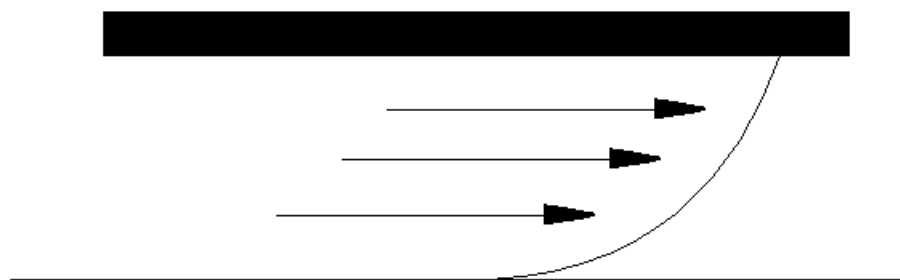
Terénní uspořádání
systému pro měření
Bowenova poměru
(celkového výparu)
z trávníku

Automatická meteo.
stanice firmy EMS Brno
Ing. Kučera

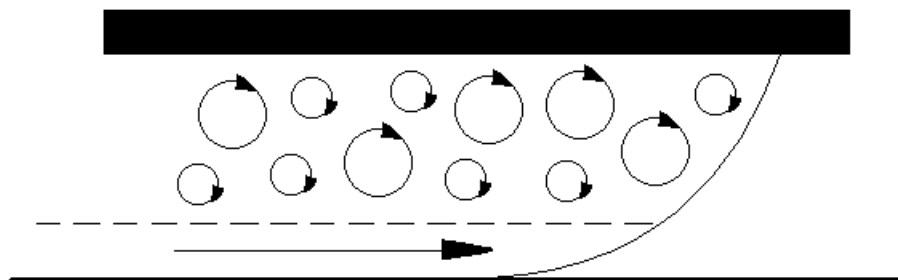


Teorie turbulentní difúze

nízká rychlost - laminární proudění



vyšší rychlost - objevují se turbulence



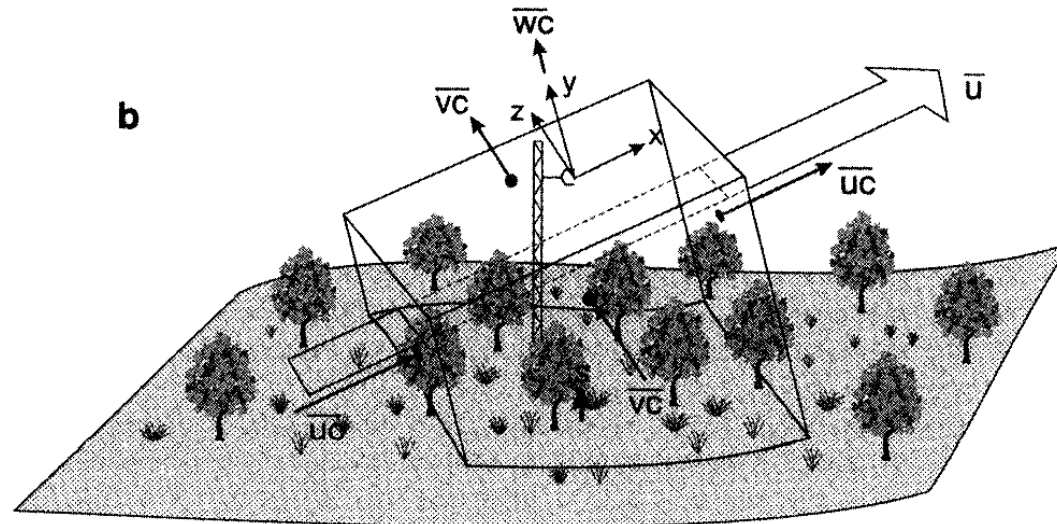
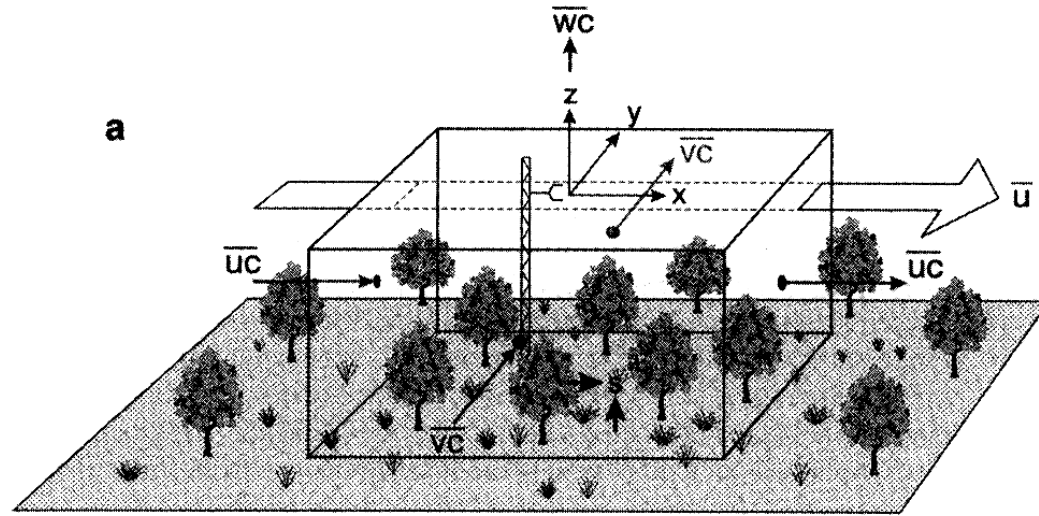
Teoretická východiska:

- Střední vertikální rychlost vzduchu je nulová
- K přenosu „vzdušných příměsí“ dochází pouze prostřednictvím turbulencí
- Koeficienty turbulentní výměny jsou stejné pro všechny druhy transportovaných látek

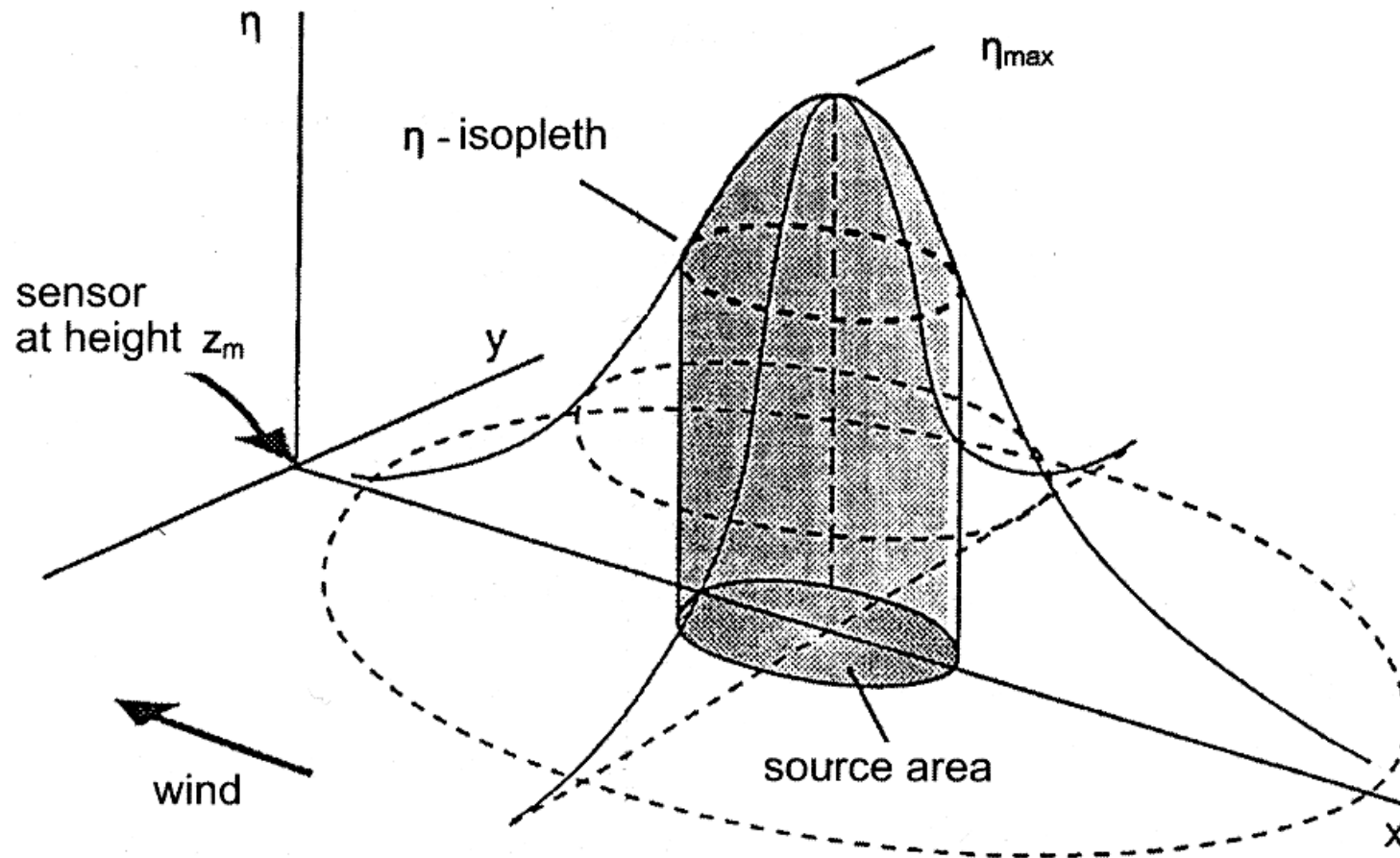
Limity metod měření transportu v přízemní vrstvě atmosféry:

- Fetch (vzdálenost od okraje porostu)
- Morfologie terénu (rovina)
- Homogenita porostu (footprint)
- Stabilita atmosféry ($dT/dz = 0$)

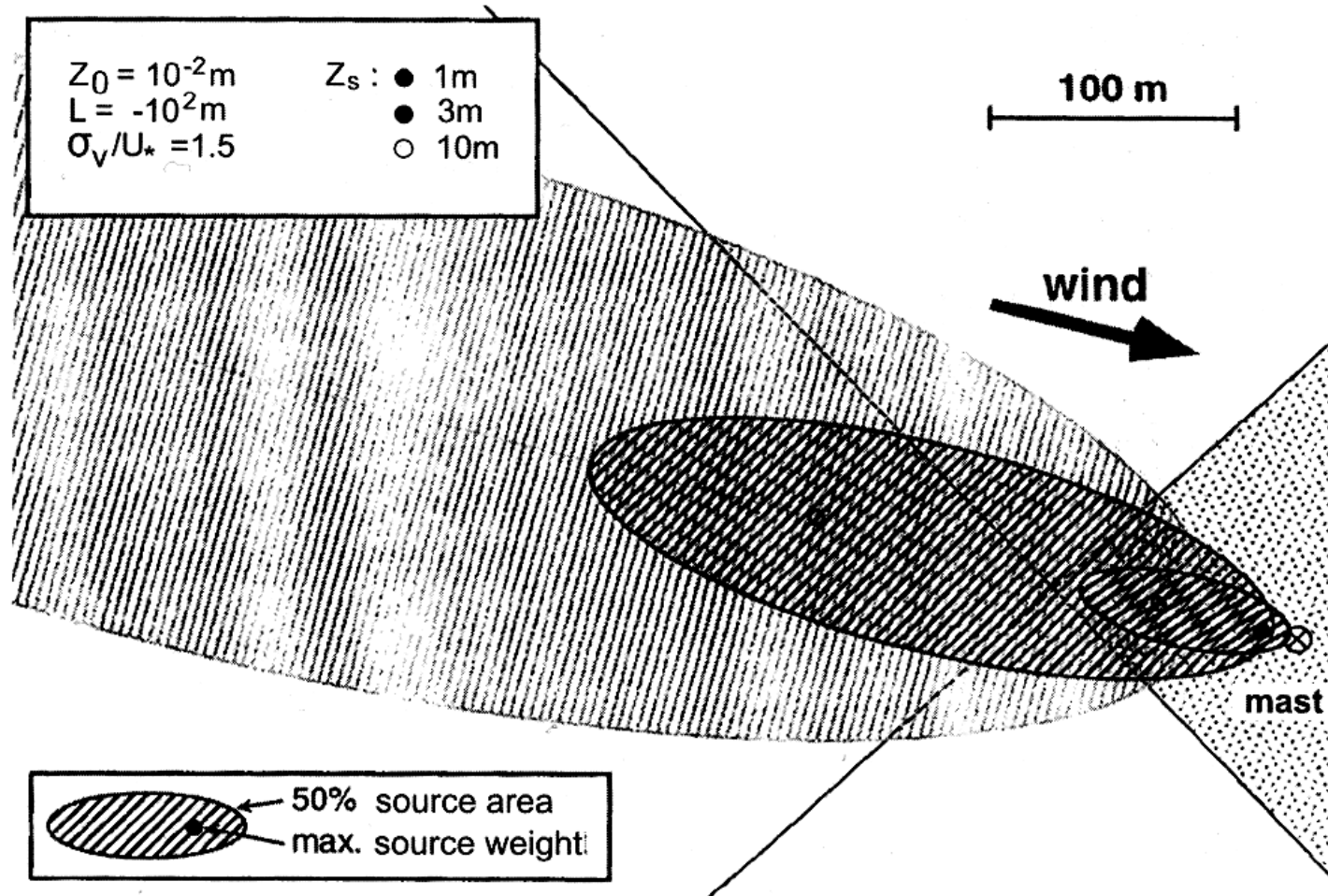
Limity metod – Fetch, terén



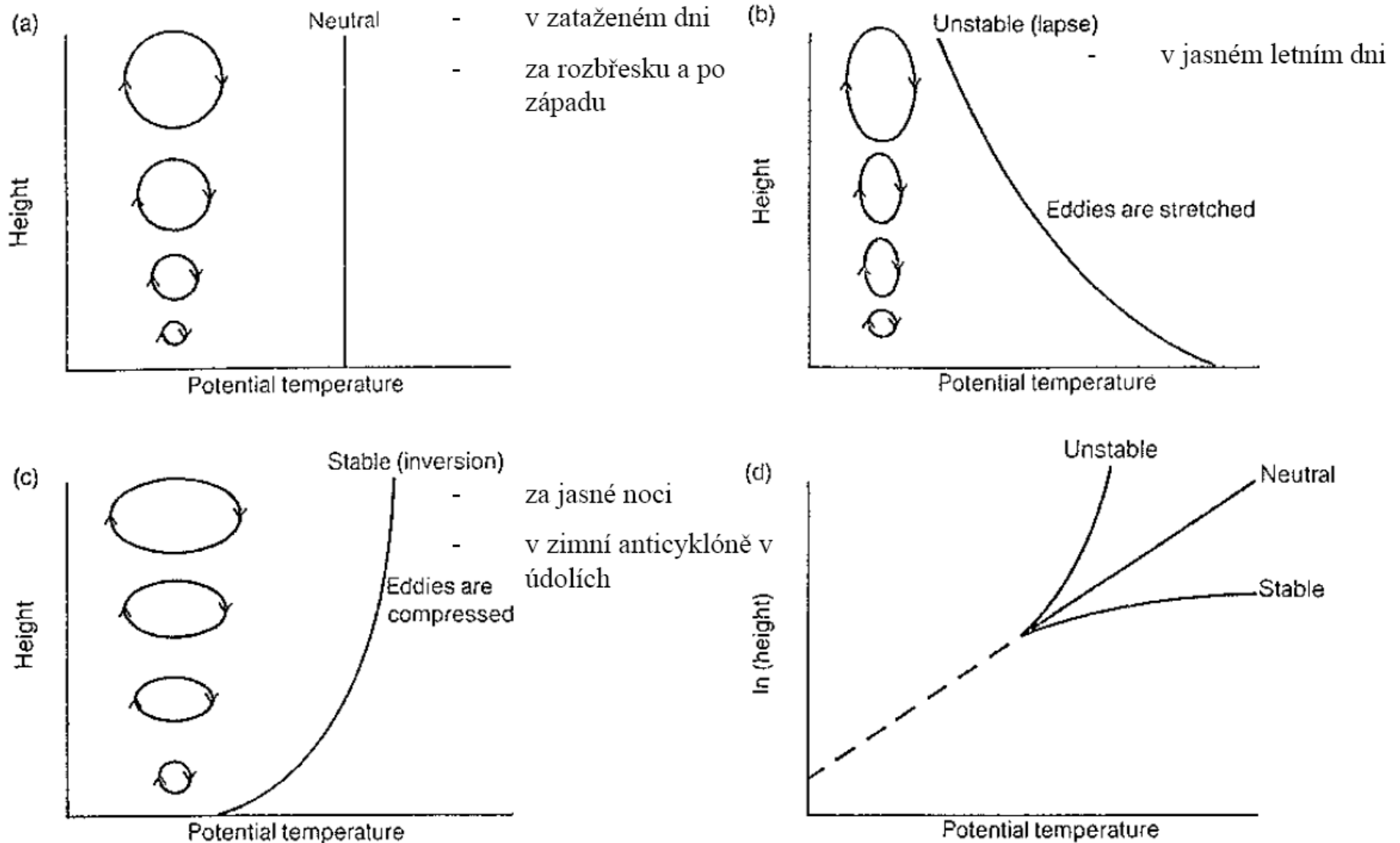
Limity metod - Footprint



Limity metod - Footprint



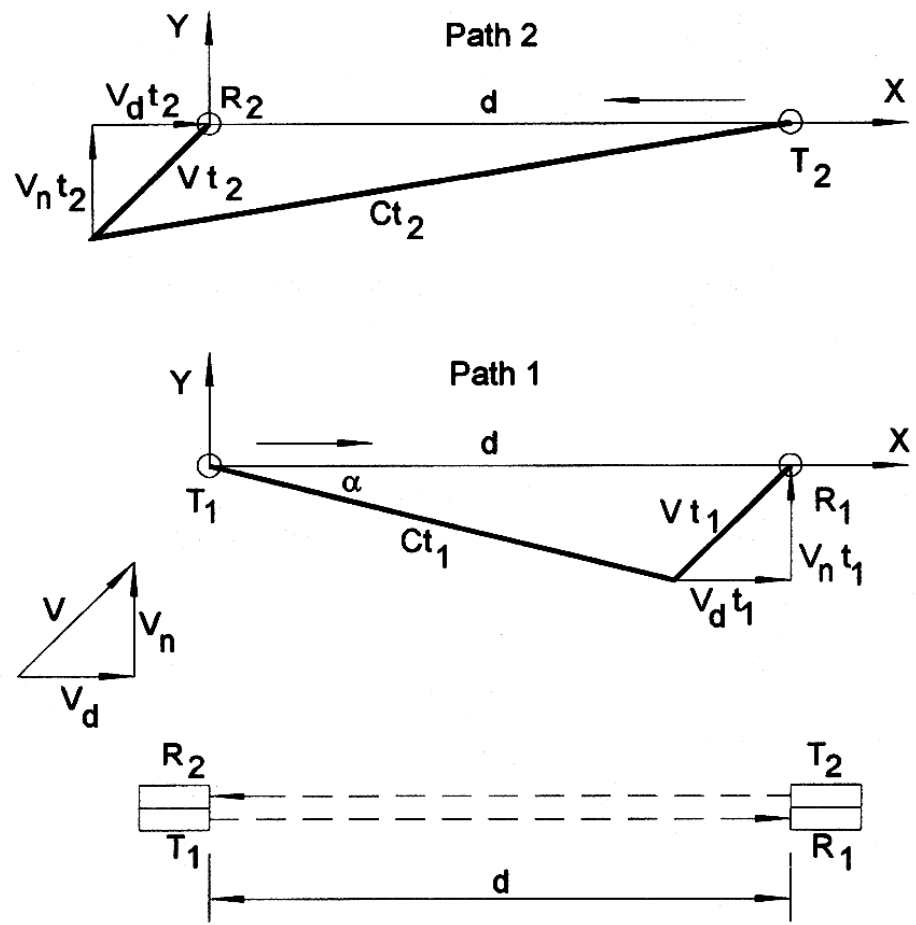
Limity metod - vliv vertikálního teplotního gradientu



Division of wind measuring sensors (anemometer)

measuring device	measuring principle				application	
	mech.	sound	therm.	other	mean	turb.
cup anemometer	x				x	
propeller anemometer	x				x	(x)
hot wire anemometer			x			x
sonic anemometer		x			x	x
laser anemometer				x	(x)	x





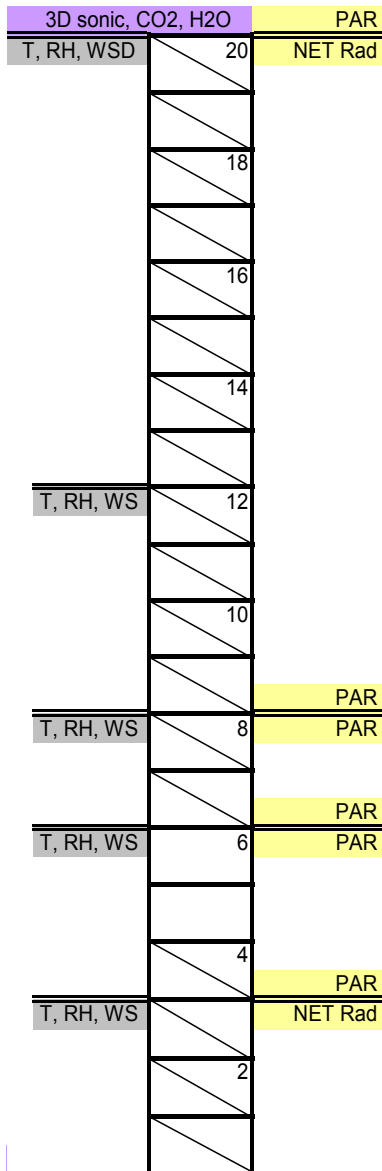
Sonic anemometer vector relation



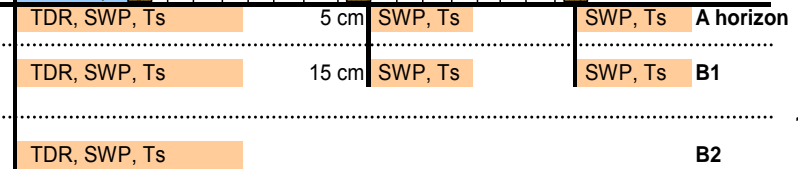
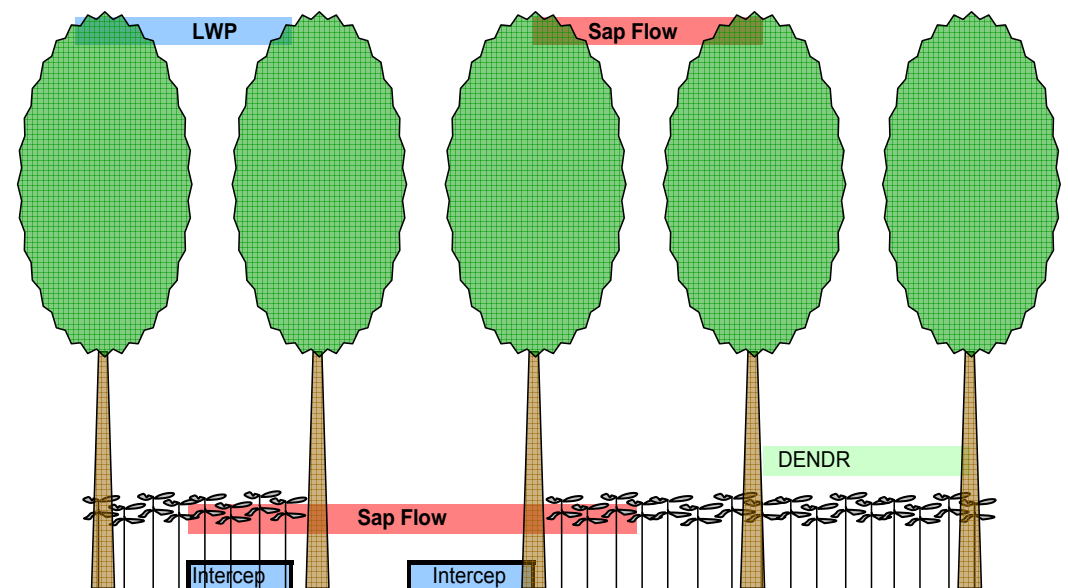


**Příklad uspořádání
měřicího systému
využívajícího eddy
correlation:**

- 3D ultrazvukový
anemometr**
- optický IR analyzátor
koncentrací H₂O, CO₂**



Příklad uspořádání měřicího systému využívajícího eddy correlation při měření v lesním porostu; vpravo systém pro měření transpirace a půdního mikroklimatu



Doporučená literatura:

Foken, T (2008): Micrometeorology. Springer, 306 s.

Kučera, J (2009): Environmental Measuring System, www.emsbrno.cz