
Mikrometeorológia

Pogány Andrea

Természeti jelenségek fizikája
2010.10.14.

A mikrometeorológia tárgya

- kis léptékű folyamatok ($<1000\text{m}$, $<1\text{nap}$)
- a légkör alsó rétegében (néhány 10m) – a légköri határréteg alsó rétege

- a környezeti áramlások általában turbulensek
- turbulens áramlás \rightarrow erős keveredés, nagyobb diffúziós állandó, viszkozitás

- ↓
- energia, nyomanyagok stb. kicserélődése a felszín és a légkör között a turbulens keveredés hatására történik

A légköri határréteg

A troposzféra alsó része, kb. 1 km magasságig, ahol a felszín hatása egy napon belül érvényesül

Magasság	Elnevezés	Anyag- és energia kicserélődés		Stabilitás szerepe
1000 m	Ekman-réteg	turbulens	változó fluxus	fontos
20 m	turbulens réteg		állandó fluxus	
1 m	dinamikus alréteg			
0,01 m	viszkózus réteg	turbulens+ diffúzió		elhanyagolható
0,001 m	lamináris réteg	diffúzió		

Dimenziómentes számok

Rossby-szám: forgatás (Coriolis-erő) hatása

Euler-szám: nyomási gradiens hatása

Reynolds-szám: viszkozitás szerepe

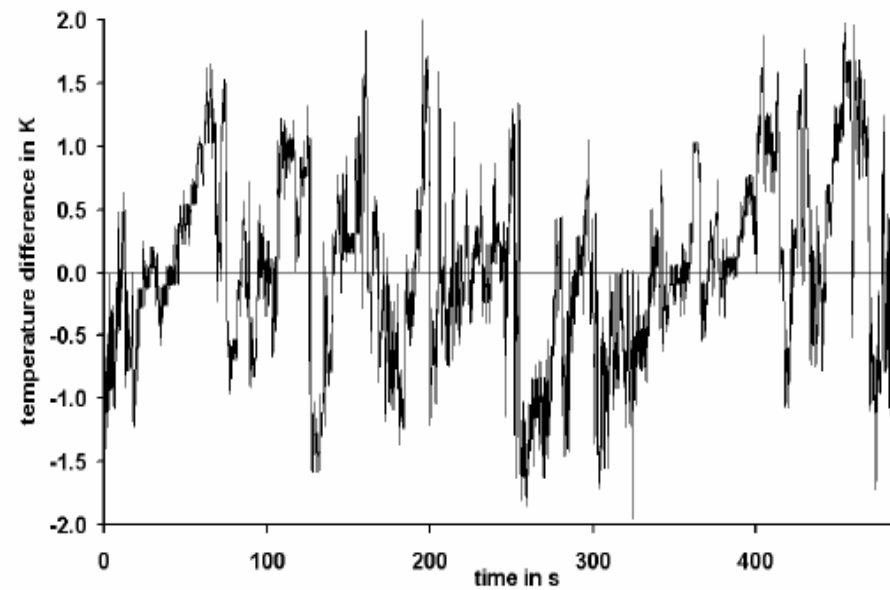
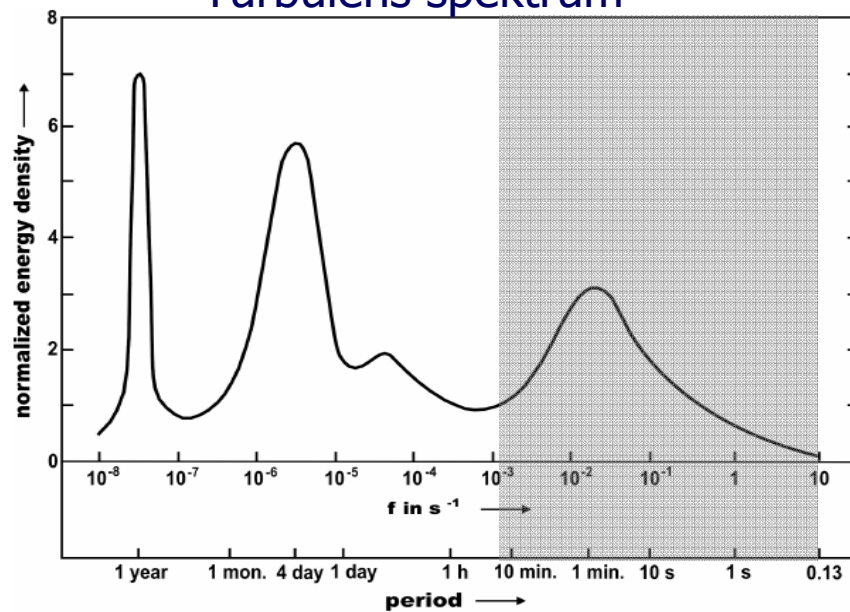
Richardson-szám: helyzeti/mozgási energia (rétegződés szerepe)

Magasság	Elnevezés	$\lg Ro$	$\lg Eu$	$\lg Re$	$\lg Ri$
1000 m	Ekman-réteg	<0	<0	>8	>-2
20 m	turbulens réteg	~ 0	<0	7-8	>-2
1 m	dinamikus alréteg	>0	~ 0	>0	~ -2
0,01 m	viszkózus réteg	>0	>0	~ 0	<-2
0,001 m	lamináris réteg	>0	>0	<0	<-2

Turbulencia a légköri határrétegben



Turbulens spektrum



Áramlás (szél) a légköri határrétegben

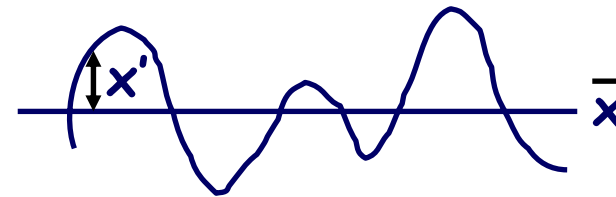
Az áramlás falhoz (=földfelszín) közeli turbulens áramlásként írható le.

Turbulens folyamatok leírása: Reynolds-féle átlagolás

$$x = \bar{x} + x'$$

\bar{x} : átlagos érték

x' : fluktuáció, az átlagtól való pillanatnyi eltérés
(a fluktuációk átlaga 0)

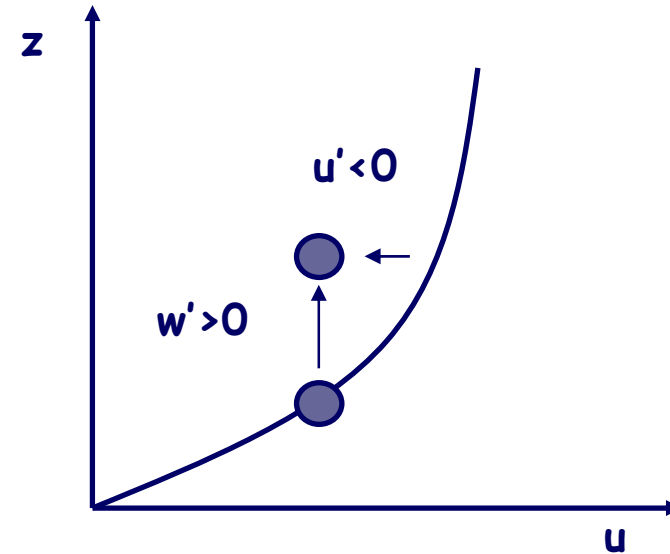


Örvények hatása: függőleges irányú légmozgás
a függőleges szélesség átlaga 0

Áramlás (szél) a légköri határrétegben

Két mennyiség közötti korreláció: a két mennyiség átlagtól való pillanatnyi eltérésének szorzata, egy hosszabb időtartamra átlagolva

A légköri határrétegben a függőleges és vízszintes szélesség antikorreálta, azaz: $\overline{u'w'} < 0$



- Ha a vízszintes és függőleges szélesség között nem lenne korreláció ($\overline{u'w'} = 0$), az azt jelentené, hogy a vízszintes szélesség független a magasságtól
- Minél erősebb a korreláció a két mennyiség között, annál nagyobb mértékben változik a vízszintes szélesség a magassággal.

$$\overline{u'w'} \sim \frac{\partial u}{\partial z}$$

$$-\overline{u'w'} = -v_{turb} \cdot \frac{\partial u}{\partial z} = F$$

F: az adott mennyiség (ebben az esetben a vízszintes szélesség) fluxusa egységnyi felületen, egységnyi idő alatt átáramlott anyag v. energia

Áramlás (szél) a légköri határrétegben

$$\overline{-w'u'} = \nu_{turb} \cdot \frac{\partial \bar{u}}{\partial z}$$

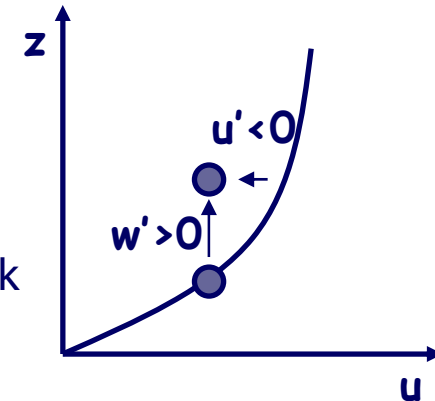
$$F = \overline{-w'T'} = \kappa_{turb} \cdot \frac{\partial \bar{T}}{\partial z}$$

$$\overline{-w'c'} = D_{turb} \cdot \frac{\partial \bar{c}}{\partial z}$$

Hasonló egyenletek írhatók fel hőmérsékletre, szennyezőanyagok koncentrációjára stb.

Sőt: $\nu_{turb} \approx \kappa_{turb} \approx D_{turb}$

A turbulens transzport nem az anyagi állandóktól, hanem az áramlástól, a turbulencia mértékétől függ



Az anyag- és energiaáramok kétféleképp mérhetők:

- Gyors változások mérése
- Az adott mennyiség magasságfüggésének mérése és a diffúziós együttható meghatározása

A logaritmikus sebességprofil

viszkózus réteg (lineáris sebességprofil)

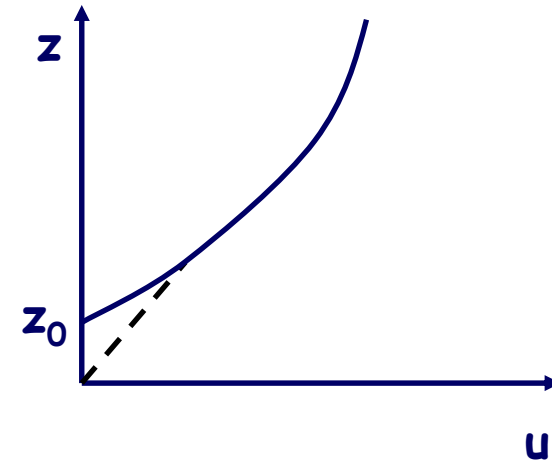
$$\bar{u}(z) = \frac{z \cdot u_*^2}{\nu}$$

$u_* = \sqrt{-\overline{u'w'}}$: a mikrometeorológiában elterjedten használt paraméter
 ν : a levegő kinematikai viszkozitása

turbulens réteg (logaritmikus sebességprofil)

$$\bar{u}(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln z + \text{konstans} \quad \rightarrow \quad \bar{u}(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln \frac{z}{z_0}$$

κ : Kármán-konstans, értéke 0,4



Az összefüggés légköri határréteg alsó 10%-ában érvényes (kb. 100m-es magasságig)

Nagyobb magasságban figyelembe kell venni a határréteg feletti légrétegek áramlását és a Föld forgását is.

A hőmérséklet, szennyezőanyagok koncentrációja ugyanígy logaritmikusan változik a magassággal.

De: a logaritmikus profil csak ideális körülmények között alakul ki

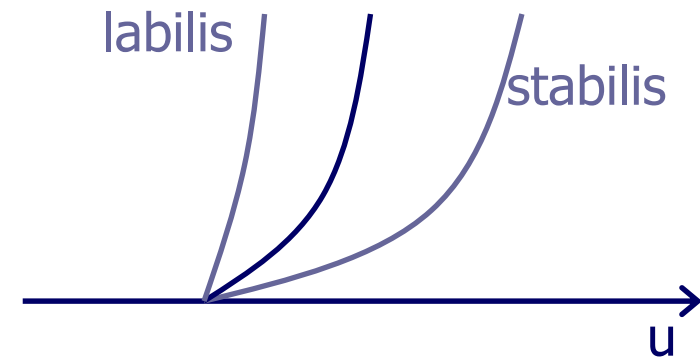
A légköri stabilitás hatása

Stabilitás hatásának figyelembevétele:

$\Psi(z/L)$ stabilitási függvény segítségével

z/L : dimenziómentes stabilitási paraméter

L : Monin-Obukhov paraméter



$$L = \frac{u_*^3}{\kappa \cdot \frac{g}{T} \cdot \frac{Q_H}{\rho \cdot c_p}}$$

$L > 0$ stabilis

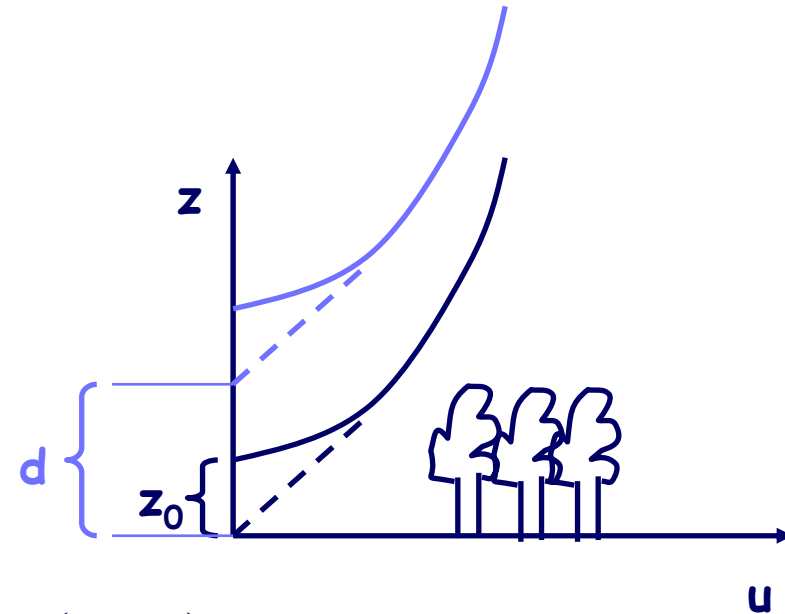
$L = 0$ semleges rétegződés

$L < 0$ labilis

$$\bar{u}(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln \frac{z}{z_0} + \Psi(z/L)$$

A felszín egyenetlenségeinek hatása

z_0 – érdességi paraméter
 d – nullszint eltolódás

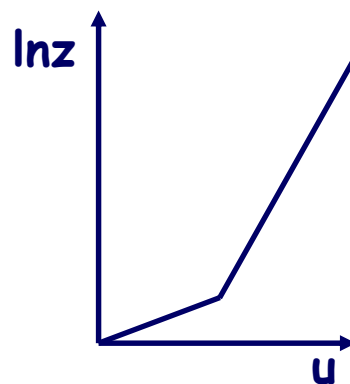
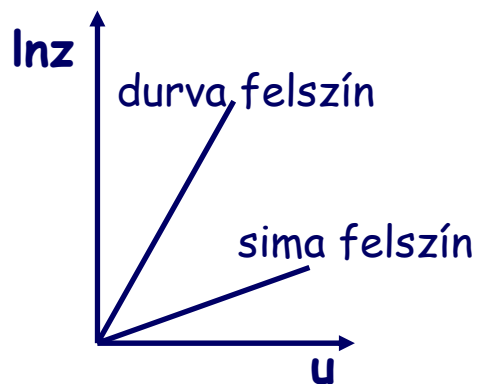
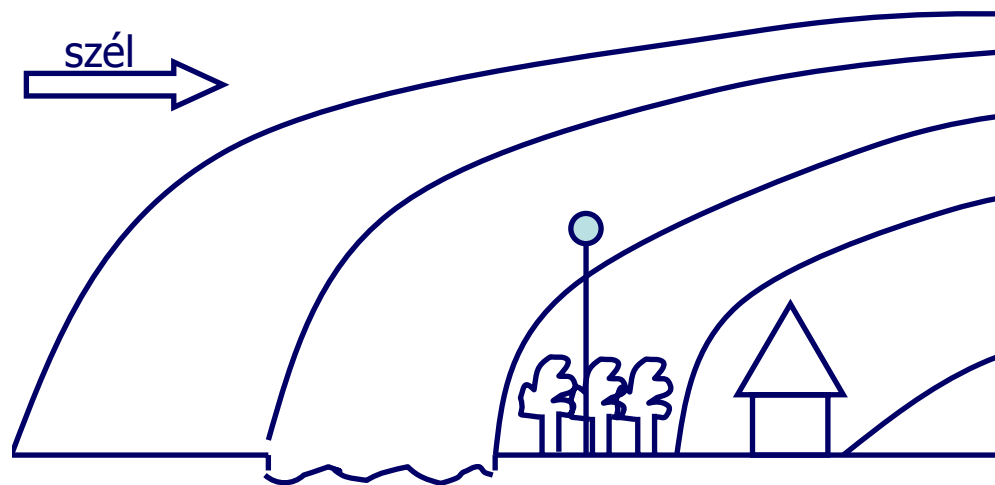


$$\bar{u}(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln \frac{z}{z_0} \quad \longrightarrow \quad \bar{u}(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln \frac{z-d}{z_0-d} + \Psi \left(\frac{z-d}{L} \right)$$

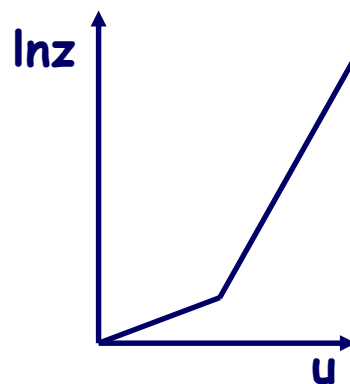
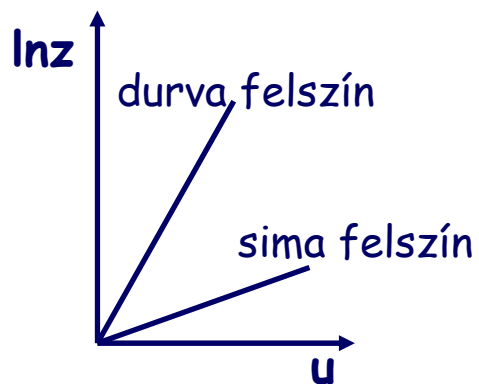
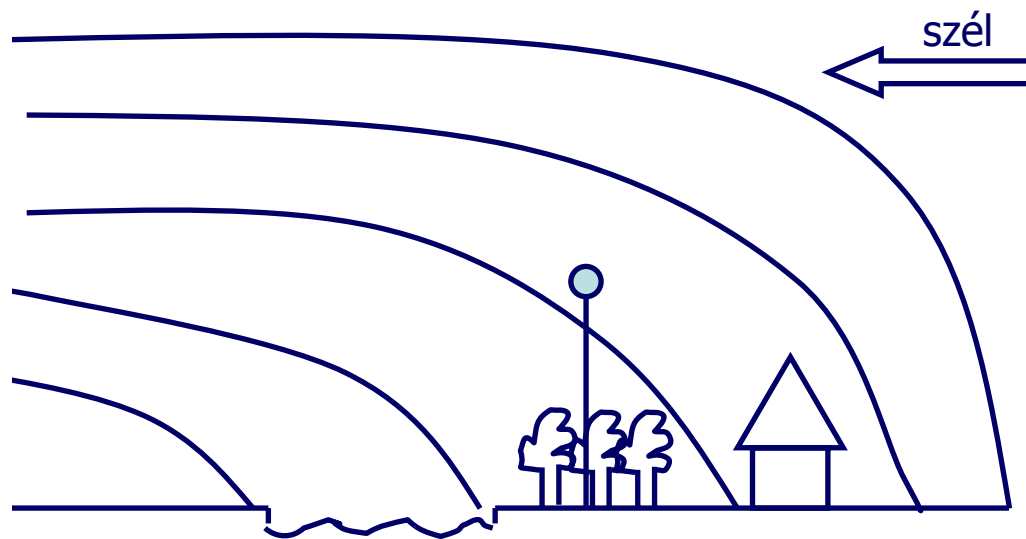
$z_0 \sim 0,1 \times$ tereptárgyak jellemző magassága

$d \sim 0,5-0,8 \times$ tereptárgyak magassága
 függ a növényzet sőrűségétől, szélesebségtől

A felszín heterogenitásának hatása



A felszín heterogenitásának hatása

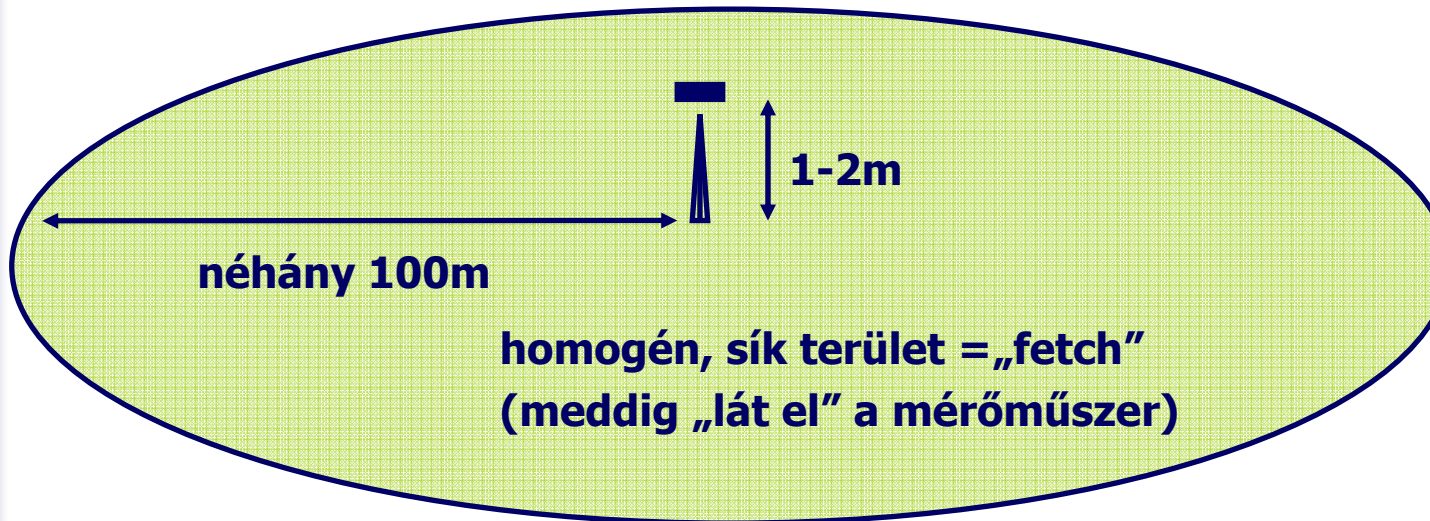


Szennyezőanyagok fluxusának mérése

Környezetvédelmi szempontból nem csak a szennyezőanyagok koncentrációja, hanem azoknak a légkör és a földfelszín (pl. talaj, növényzet) közötti kicserélődése, azaz fluxusa is jelentős

A szennyezőanyagok fluxusának nagy területeken történő meghatározása (pl. műtrágyázott mezőgazdasági terület ammóniakibocsátása, ózon ülepedése egy területen) mikrometeorológia módszerekkel lehetséges

A mikrometeorológiai mérések helyszíne:



A fluxusmérési módszerek csak különböző feltételek mellett alkalmazhatók, ezért fontos a mérések helyének gondos megválasztása

Szennyezőanyagok fluxusának mérése

Környezetvédelmi szempontból nem csak a szennyezőanyagok koncentrációja, hanem azoknak a légkör és a földfelszín (pl. talaj, növényzet) közötti kicserélődése, azaz fluxusa is jelentős

A szennyezőanyagok fluxusának nagy területeken történő meghatározása (pl. műtrágyázott mezőgazdasági terület ammóniakibocsátása, ózon ülepedése egy területen) mikrometeorológia módszerekkel lehetséges

Nyomanyagok kicserélődésének mérésére alkalmas mikrometeorológiai mérési módszerek:

- Eddy kovariancia
- Eddy akkumuláció
- Gradiens módszer
- Kamrás módszer

$$F = -\overline{w'x'} = D_{turb} \cdot \frac{\partial x}{\partial z}$$

Eddy kovariancia módszer

A fluxus a függőleges szélesség és a mérni kívánt mennyiség kovarianciájából számítható ki.

$$F_p = -\overline{u'w'} \quad \text{impulzus}$$

$$Q_H = -\rho \cdot c_p \cdot \overline{T'w'} \quad \text{érzékelhető hő}$$

$$Q_E = -\rho \cdot \lambda \cdot \overline{q'w'} \quad \text{látens hő}$$

$$F = -\overline{c'w'} \quad \text{szennyezőanyag}$$

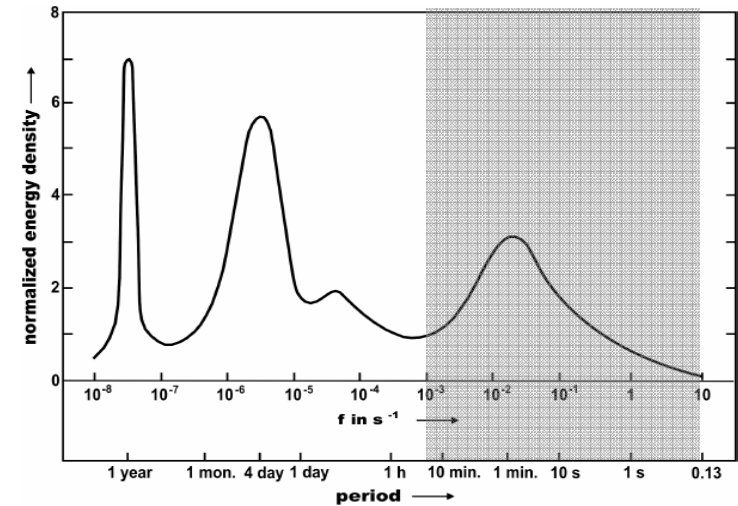
Előnyök:

-egyszerű, megbízható elmélet

Hátrányok:

-sok korrekció szükséges (pl. fluktuáció – mérési hiba megkülönböztetése, függőleges irány)

-a megfelelően gyors mérőműszer nem mindig áll rendelkezésre



Gradiens módszer

Koncentrációprofil mérése és a turbulens diffúziós együttható becslése.

$$F_p = -D \cdot \frac{\partial u}{\partial z} \quad \text{impulzus}$$

$$Q_H = -\rho \cdot c_p \cdot D \cdot \frac{\partial T}{\partial z} \quad \text{érzékelhető hő}$$

$$F = -D \cdot \frac{\partial c}{\partial z} \quad \text{szennyezőanyag}$$

Előnyök:

-nem kell gyors mérőműszer

Hátrányok:

-a függőleges homogenitás is feltétel

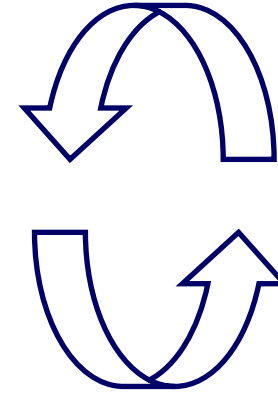
-D empirikus paraméter



Eddy akkumulációs módszer

Mintavétel a függőleges szélesség irányától függően két tartályba, fluxusszámítás a két tartályban mért koncentráció különbségéből.

c_- → kisebb koncentráció



c_+ → nagyobb koncentráció

pl. kibocsátás esetén

$$F = b \cdot \sigma_w \cdot (c_+ - c_-)$$

b : empirikus paraméter

σ_w : a függőleges szélesség szórása
– a turbulencia mértékét jellemzi

Előnyök:

- nem kell gyors mérőműszer
- nem feltétel a függőleges homogenitás

Hátrányok:

- b empirikus paraméter

Kamrás módszer

A talaj gázkibocsátásának mérése

Ha lefedjük a talajt, a talaj által kibocsátott anyagok feldúsulnak a fedél alatt

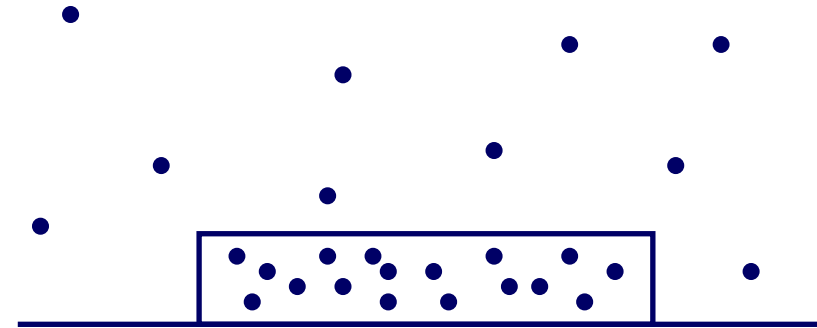
Automata vagy manuális kamrák, folyamatos gázáramlás vagy mintavétel

Előnyök:

-egyszerű

Hátrányok:

-csak kibocsátás mérhető



Mikrometeorológiai mérőállomás



Napsugárzás mérése

Fekete és fehér felületek közötti hőmérsékletkülönbség mérése (működési elv: termoelektromos hatás)

Rövidhullámú sugárzás: 290nm-3 μ m

napból érkező sugárzás (direkt vagy szórt)

Fotoszintetikusan aktív sugárzás (PAR): 400-700nm

Hosszúhullámú sugárzás: 4-100 μ m

földfelszín, felhők kisugárzása

Irányítás: égbolt vagy földfelszín felől érkező sugárzás

Búra: védelem, hullámhossz szerinti megkülönböztetés

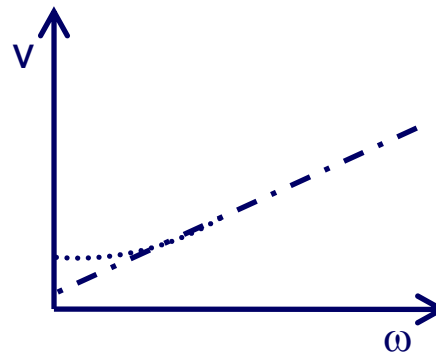
Földfelszín hőmérsékletének mérése



Szélesség és szélirány mérése

Kanalas, propelleres szélmérő

- kalibrálni kell
- tehetetlenségét figyelembe kell venni



Szónikus anemométer

- ultrahang impulzus terjedési sebességének különbségét méri két irányban
- három pár hangszóró és mikrofon → szélesség mérés 3D-ban
- terjedési sebesség abszolút értéke → „szónikus” hőmérséklet



Hőmérséklet, páratartalom mérése

Levegő- és talajhőmérséklet mérése

- ellenállás hőmérővel (platina szál)



Relatív páratartalom mérése

- pszichrométer (nedves és száraz hőmérő)
- kapacitív szenzor
- abszolút páratartalom pontos mérése: optikai abszorpciós elven működő műszerekkel, vagy tükrös harmatpont-mérővel



Árnyékolás

- napsugárzás fűtő hatásának kiküszöbölése
- csapadék elleni védelem

A hőmérsékletmérés pontossága a hőmérő árnyékolásától függ (a modern hőmérők pontossága $<0,001^{\circ}\text{C}$, a sugárzásos fűtés hatása jó árnyékolás esetén is tipikusan $0,05-0,1^{\circ}\text{C}$)

Csapadék, talaj-víz tartalom, levélnedvesség mérése

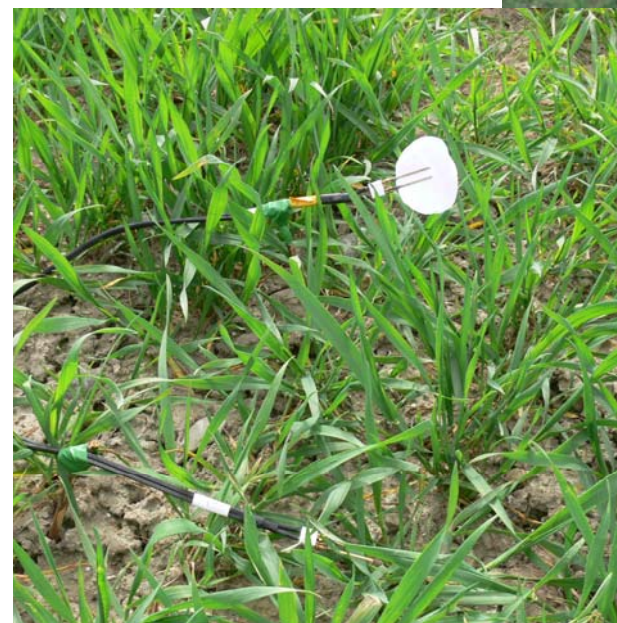
Csapadékmérő

Talaj-víz tartalom mérés

- kapacitív szenzorok (légnedvesség méréshez hasonló)

Levélnedvesség (harmat)

- vízben oldható nyomanyagok fluxusa szempontjából lényeges paraméter
- levélfelület ellenállásának mérése



Nyomanyagok fluxusának mérése

Eddy kovariancia módszer:

- vízgőz, szén-dioxid, ózon

Gradiens módszer:

- ha nincs megfelelően gyors mérőműszer
- pl. ammónia, aeroszolok

Kamrás mérések:

- talajkibocsátás mérése
- metán, szén-dioxid, dinitrogén-oxid

