

A FELSZÍN KÖZELI LEVEGŐ RÉTEGZŐDÉSÉNEK EMPIRIKUS BECSLÉSÉRŐL

Bevezetés

A felszín közeli levegő rétegződése sok tényezőtől függ. Ezek közül a tényezők közül a fontosabbak: a hőmérsékleti profil, a szélnyírás, a szellőkés, a felhőzet és a felszín érdessége. Következésképpen a rétegződés a hőmérsékleti profil, a szélesség, a szélirány ingadozása, a felhőzet, vagy valamilyen az előbbi elemekből származtatott mutató alapján (pl. Richardson szám) becsülhető. A becslésre szolgáló módszerek két nagy csoportra oszthatók: azokra, amelyeknél a becslés kisebb-nagyobb számítási eljárást igényel, és azokra, melyeknél a becslés a könnyebben megfigyelhető elemek csoportosításán alapul. Az előbbi módszereket „elméleti”, míg az utóbbiakat „empirikus” módszereknek nevezhetjük. Tipikus elméleti módszerek egyike pl. a Monin-Obukhov-féle hasonlósági elmélet (Monin és Obukhov, 1954), a Richardson-szám (pl. Paulson, 1970; Sutherland és mtsai, 1986) vagy a Kazanski-Monin stabilitási paraméter (Sutherland és mtsai, 1986) számításán alapuló módszerek. Érdekességből megemlítendő, hogy a Kazanski-Monin módszer számításba veszi a földrajzi helyzet rétegződésre kifejtett hatását is! Az empirikus módszerek közül a legrégebbi módszerek közé tartozik pl. Pasquill (1961) és Turner (1964) módszere. A két megközelítés kb. egy időben jelentkezett, az alkalmazások pedig igen sokrétűek voltak: erdők, erdőirtások (Pinker és Holland, 1988), szántóföldek és füves (Golder, 1972) területek felett, de városokban (Turner, 1964) is. A módszereket - a felszín típusoktól függetlenül – a légszennyező anyagok transzmissziójának meghatározása során is használják. Említsük meg ilyen vonatkozásban pl. Fekete és mtsai. (1983) kiadványát. Az „empirikus” módszerek alkalmazása során az adott „empirikus” módszer és a valamelyik kiválasztott „elméleti” módszer összehasonlítása – pl. verifikálási célokból – szinte szükségszerű volt.

E tanulmányban Pasquill (1961) és Monin-Obukhov (1954) módszer összehasonlítására kerül sor. Azért hasonlítjuk össze ezt a két módszert, mert a legrégebbi és a legismertebb módszerek közé tartoznak. Az összehasonlítás inkább áttekintő jellegű és didaktikai célokat szolgál. Az „empirikus” módszerek megismerése és az „elméleti” módszerekkel való összevetése megkönnyíti az „elméleti” módszerek fizikai hátterének megértését és a felszín közeli levegő rétegződésének becslését. E tanulmány célja az előbbi képességek fejlesztésének segítése az ELTE Meteorológiai Tanszék képzési folyamatában.

2. Adatok és módszerek

2.1. Az adatbázis

Összehasonlító vizsgálatunkat a braunschweigi (Németország) adatbázison végeztük. Ez tartalmazza a szinop-

tikus állomáson mért globálsugárzást, légköri visszasugárzást, léghőmérsékletet, légnedvességet és szélességet. Az adatok 1992. április 28-tól május 3-ig tartó időszakra vonatkoznak és 15 perces időléptékben (összesen 576 sor) vannak megadva. Bár a vizsgált időszak rövid, az időjárás igen változatos volt. Észlelhettünk ciklonális és anticiklonális hatásokat egyaránt, frontátvonulás is volt. A vizsgálatot csupasz talajra végeztük el. Azt tételeztük fel, hogy a talaj száraz ($\theta = 0,14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) és érdes ($z_0 = 0,1 \text{ m}$).

2.2. Pasquill módszere

A Pasquill-féle empirikus módszer (Pasquill, 1961) szerint a rétegzódések típusai 6 kategóriába sorolhatók. Ezek az extrém stabilistól az extrém labilisig változnak. A kategorizálást és a kategóriák jelölését az 1. táblázat szemlélteti

Stabilitás	Pasquill kategória
Extrém labilis	A
Labilis	B
Gyengén labilis	C
Neutrális	D
Gyenge stabilis	E
Stabilis	F

1. táblázat: A légköri rétegzódést jellemző Pasquill-féle kategóriák

A kategóriák megállapítása, azaz a rétegződés becslése – az esetek többségében – Turner (1959) kritériumrendszerének alkalmazásával történik. Ezt a 2. táblázat szemlélteti. Láthatjuk, hogy csupán a szélesség esetében van számszerű leírás; a besugárzás és a borultság esetében ez hiányzik. Turner (1964) a kritériumrendszerén később változtatott, azaz teljes egészében számszerűsítette bevezetve egy új rétegződési kategóriát is. E módszert Pasquill-Turner klasszifikációnak nevezik, de ezzel a részletesebb és objektívebb módszerrel mi most nem fogunk foglalkozni. A 2. táblázatban láthatjuk azt is, hogy a rétegződési kategóriák számszerű határértékeinek becslése hiányzik.

A módszer alkalmazásához szükséges adatok: a szélesség, a besugárzás és a borultság. A módszer feltételezi, hogy a besugárzás és a borultság – a módszer igényeinek megfelelően – vizuálisan becsülhető. Az adatok hiányában azonban más becslési módszerek alkalmazása is lehetséges.

2.3. A borultság becslése

A borultság nem mindig ismert adat és áll rendelkezésünkre. Az éjjeli időszakban a légköri visszasugárzás

Szélsebesség (ms ⁻¹)	Besugárzás			Borultság	
	Erős	Közepes	Gyenge	Többnyire derült	Többnyire borult
<2	A	A-B	B		
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

2. táblázat: A Pasquill-féle rétegződési kategóriákra vonatkozó Turner-féle (Turner, 1959) kritériumok. A szélsebesség értékek 10 m-es magasságra vonatkoznak. A felszíntípus: gyepek, melynek érdessége 10 cm.

alapján becsülhető, nyilván akkor, ha ezek az adatok ismertek. A kapcsolat nemlineáris, ez sok nehézséget okoz, de ha megnézzük a 2. táblázatot, láthatjuk, hogy a becslésnek nem kell pontosnak lennie. Mivel a használt adatbázisunkban vannak légköri visszasugárzási adatok, úgy döntöttünk, hogy kipróbáljuk a légköri visszasugárzás számítására szolgáló empirikus képletek alkalmazását a borultság becslésére. E becslések során használt tapasztalati képleteket az alábbiakban mutatjuk be.

Brutsaert (1982) szerint a légköri visszasugárzás R_{ld} és a borultság m_c közötti kapcsolatot a következőképpen jellemezhető:

$$R_{ld} = R_{ldc} (1 + a \cdot m_c^b). \quad (1)$$

Bolz (1949) munkája alapján $b=2$ -vel, míg az a paraméter a felhőzet típusától függő paraméter. Mivel felhőzet típusát sem ismerjük, az a átlagos 0,22-os értékével számoltunk. Az R_{ldc} a derült égboltra vonatkozó légköri visszasugárzás. Brutsaert (1982) szerint

$$R_{ldc} = \varepsilon_{ac} \sigma T_a^4, \quad (2)$$

ahol az ε_{ac} a légkör emisszivitása derült égbolt esetén. Az ε_{ac} többféleképpen parametrizálható. Mi a következő kettőt használtuk a rendelkezésre álló adatok miatt:

$$\varepsilon_{ac} = 1,24 \left(\frac{e_a}{T_a} \right)^{1/7}, \quad (3)$$

$$\varepsilon_{ac} = 0,92 \cdot 10^{-5} \cdot T_a^2, \quad (4)$$

ahol e_a a levegő parciális vízgőznyomása és T_a a levegő hőmérséklete a 2 m-es magasságban. A (3)-as egyenlet Aase és Idso (1978) parametrizációja, míg a (4)-es egyenlet az ún. Swinbank-féle (Swinbank, 1963) parametrizáció.

2.4. A légköri rétegződés becslése a Monin-Obukhov-féle elmélet alapján

A légköri rétegződés egzakt módon a Monin-Obukhov-féle hasonlósági elmélet alapján is becsülhető.

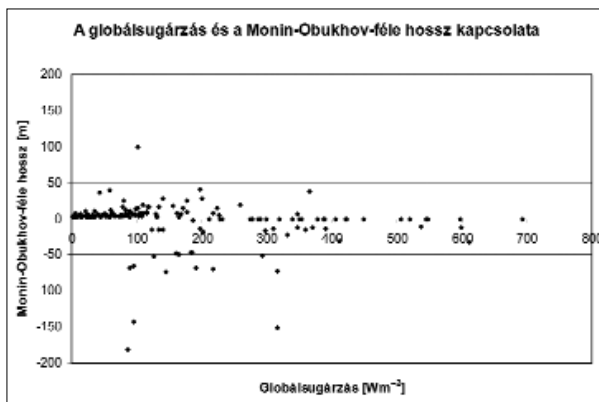
Az elmélet kulcsparamétere a Monin-Obukhov-féle hossz. Meghatározására iteratív eljárást alkalmaztunk. Az első lépésben – neutrális rétegződést feltételezve – meghatározzuk a súrlódási sebességet, majd a szenzibilis és látens hőáramot, ezekből pedig a Monin-Obukhov-féle hosszt. Ez utóbbi előjele alapján megállapítjuk a légköri rétegződést. Amennyiben azt kapjuk, hogy a rétegződés neutrális, a további számításokat be is fejezzük. Ha stabilis vagy labilis rétegződést kapunk, a második iterációs lépésben újra számítjuk a súrlódási sebességet, és a turbulens áramokat, valamint a Monin-Obukhov-féle hosszt, de ekkor már az adott légrétegződésre vonatkozó egyenletek alapján. Az iterációt addig folytatjuk, amíg a két egymás utáni lépésben kapott Monin-Obukhov-féle hosszak közötti különbség nem lesz kisebb egy adott küszöbértéknél, pl. 10^{-3} -nál. Ha ez nem következik be pl. 50 iterációs lépés után sem, a számításokat leállítjuk és az esetet nem konvergens esetnek minősítjük. A konvergens esetekben nyilván az utolsó lépésben kapott eredményeket vesszük végeredménynek.

3. Eredmények

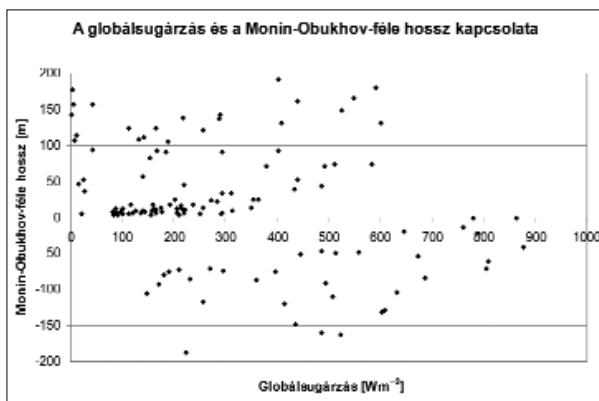
3.1. A rétegződés vizsgálata nappal

Mivel minden időléptékben rendelkezünk a szélsebesség és a globál sugárzás adataival, valamint számítottuk a Monin-Obukhov-féle hosszt, L_{mon} -t, lerajzolhatjuk az L_{mon} és az adott állapotjelzők közötti kapcsolatot. A Monin-Obukhov-féle hossz és a globálisugárzás közötti kapcsolatot a 3 ms^{-1} -nél kisebb, valamint az annál nagyobb szélsebesség értékek esetén az 1. és a 2. ábra szemlélteti. Vessük össze az 1. ábra eredményeit a 2. táblázat becslésével! Erős besugárzás esetén (kb. 400 Wm^{-2} értékeknél nagyobb értékek) a rétegződés labilis, sok esetben extrém labilis, amikor az L_{mon} -1 és 0 között változott. A besugárzás csökkenésével ($100\text{--}400 \text{ Wm}^{-2}$ értékek közötti tartomány) a labilitás mértéke láthatóan

csökken, mert az $|L_{\text{mon}}|$ megnő. Látható az is, hogy a kiválasztott „elméleti” modellünk alapján ezekben az esetekben neutrális közeli, sőt stabilis rétegződés is lehetséges. Ezzel szemben a Pasquill-féle, vagy az ehhez hasonló Turner-féle modell alapján a rétegződés labilis, amikor kicsi a szél, vagy legfeljebb neutrális, amikor nagyobb a szél, de soha sem lehet stabilis (Pinker és Holland, 1988; Turner, 1964; Fekete és mtsai., 1983). Ez egyértelmű eltérés a két becslés között. Azt viszont el kell vetnünk, hogy nappal nem lehetséges a stabilis rétegződés! Továbbá kicsi besugárzás (0–100 Wm^{-2} értékek közötti tartomány) esetén az „elméleti” módszerünkkel kapott stabilis rétegződés igen gyakori. Ha összevetjük az 1. és a 2. ábrát, láthatjuk, hogy a 2. ábrán a szórás sokkal nagyobb, mint az 1. ábrán. Ez összhangban van a Pasquill-féle módszer becslésével, mert a szélesség növekedésével a labilitás csökken (nő az $|L_{\text{mon}}|$), azaz a rétegződés mindinkább neutrálisá válik.



1. ábra: A Monin-Obukhov-féle hossz és a globálisugárzás kapcsolata 3 ms^{-1} -nél kisebb szélességek esetén



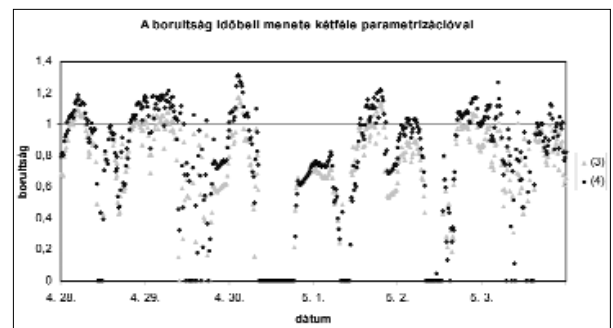
2. ábra: A Monin-Obukhov-féle hossz és a globálisugárzás kapcsolata a 3 ms^{-1} -nél nagyobb szélességek esetén

3.2. A rétegződés vizsgálata éjjel

Az éjjeli vizsgálathoz nélkülözhetetlen a borultság ismerete. Ezért előbb értékeljük a becsült borultságot és csak ezután térünk rá a rétegződés elemzésére!

A borultság becslése

Mindjárt a legelején hangsúlyozzuk ki, hogy a 2.3-as fejezetben bemutatott empirikus képletek adatbázisai és a mi németországi adatbázisunk egymástól teljesen függetlenek. A (3)-as és a (4)-es képlet alapján kapott borultsági értékek a 3. ábrán láthatók. A számítások során voltak olyan esetek is, amikor a mért légköri visszاسugárzás kisebb volt, mint a számított derült égboltra vonatkozó légköri visszاسugárzás. Az ilyen adatot rossznak tekintettük, ugyanis a szinoptikus térképek alapján abból indultunk ki, hogy a mért értékek többnyire borús égboltra vonatkoznak. Emellett kaptunk 1 feletti borultságot is, ami nyilvánvalóan fizikailag értelmezhetetlen. Ez mindkét légköri emisszivitás parametrizáció esetén megfigyelhető, de a (3)-as parametrizációval kapott eredmények egyértelműen jobbak a (4)-es parametrizációval kapott eredményeknél. Nyilvánvaló az is, hogy a képletek alapján különválaszthatók a "többnyire derült" és a "többnyire borult" esetek egymástól. Így az adott légköri visszاسugárzás értékekhez hozzá tudtuk rendelni a kettő közül az egyik kategóriát.

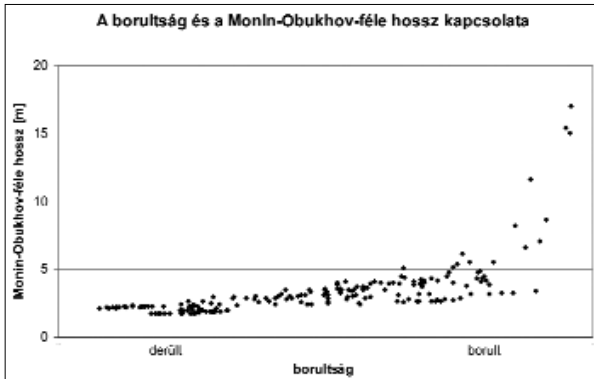


3. ábra: A borultság időbeli menete a kétféle derült égre vonatkozó légköri emisszivitás parametrizációt használva. (3): Aase és Idso (1978) parametrizációja, (4): Swinbank (1963) parametrizációja.

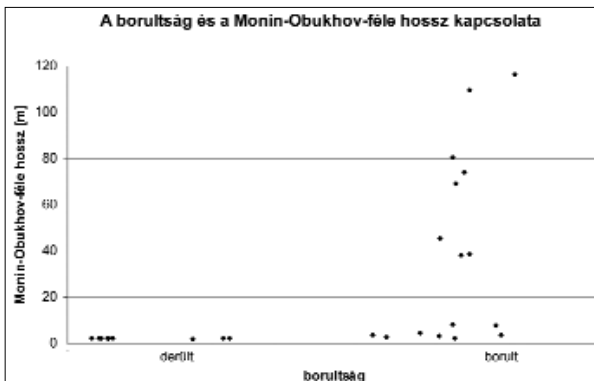
A rétegződés elemzése

Az L_{mon} és a borultság közötti kapcsolatot a 3 ms^{-1} -nél kisebb, valamint az annál nagyobb szélesség értékek esetén a 4. és az 5. ábra szemlélteti. Mint ahogy láthatjuk a szél-sebességek szerinti elemzést ugyanúgy végezzük, mint a nappali időszakban. Éjszaka az L_{mon} pozitív értékű, azaz a rétegződés stabilis. A felhőzet növekedésével az L_{mon} is növekszik. A növekedés jellege egyformának, míg a kapcsolat nemlineárisnak mondható mindkét ábra esetében. A nemlinearitás talán tipikusabb a 3 ms^{-1} -nél nagyobb szélességek esetén (5. ábra). Láthatjuk azt is, hogy itt az esetek száma kisebb, mint az előbbi esetben.

A kapott eredmények összhangban vannak a Pasquill-féle módszer becslési eredményeivel. Például azzal, hogy kicsi szél esetén a rétegződés erősebben stabilis, míg a szél növekedésével a stabilitás csökken. Vagy éppen-séggel azzal, hogy a stabilitás mértéke a borultság növe-



4. ábra: A Monin-Obukhov-féle hossz és az éjjeli időszakban becsült felhőzet kapcsolata a 3 ms^{-1} -nél kisebb szélességek esetén



5. ábra: A Monin-Obukhov-féle hossz és az éjjeli időszakban becsült felhőzet kapcsolata 3 ms^{-1} -nél nagyobb szélességek esetén

kedésével csökken. Meggyőződhetünk arról is, hogy ebben az esetben nincs olyan jellegű ellentmondás az „elméleti” és az „empirikus” becslés között, mint amilyennel találkoztunk a nappali időszakban.

4. Befejezés

E munkában a felszín közeli levegő rétegződésének becslésére szolgáló Pasquill-féle és a Monin-Obukhov-féle módszert hasonlítottuk össze. A vizsgálatban a felszíntípusok különböznek. A Pasquill-módszer 10 cm-es érdeséggel rendelkező gyepre, míg a vizsgálat a 10 cm-es érdeséggel rendelkező csupasz talajra vonatkozik. Az érdeség azonban megegyezik és a vizsgálat szempontjából e tény a fontos (Pinker és Holland, 1988). Az összehasonlítást nem a teljesség igényével végeztük el. Ehhez több mérésre és számításra lenne szükség. Az alapvető tendenciákról és tényekről azonban így is meggyőződhetünk: nevezetesen arról, hogy a lehetséges ellentmondások a két módszer között többnyire csak a nappali időszakban jelentkezhetnek, éspedig azért, mert a Pasquill-féle módszer szerint nem létezhet stabilis rétegződés a kisebb-nagyobb besugárzással rendelkező nappali időszakban. Ennek ellenére mondhatjuk, hogy a rétegződés „empirikus” módszerek használatával is sok esetben sikeresen becsülhető.

Értelemszerűen vannak sokkal részletesebb összehasonlító vizsgálatok is. Ezek tudományos igényű tanulmányok, ilyen pl. Golder (1972) vagy Pinker és Holland (1988) tanulmánya is. Golder tanulmányában az L_{mon}^{-1} és a Pasquill-féle kategóriák közötti kapcsolatot nomogramok formájában jellemzi. Tegyük hozzá azt is, hogy a különböző érdeségekre vonatkozó nomogramokat szubjektív módon állapította meg. Pinker és Holland a Richardson szám és a Pasquill-féle kategóriák közötti megegyezést elemezte, inkább mellékes feladatként mintsem fő célként.

A jövőben a módszertant és az eredményeinket az oktatásban fogjuk hasznosítani. Ugyanis véleményünk szerint a felszín közeli levegő rétegződésének megállapítása legalább annyira fontos és alapvető feladat, mint pl. a felhőtípusok klasszifikálása.

Ács Ferenc és Vincze Csilla
ELTE Meteorológiai Tanszék

Irodalom

- Aase, J.K., és Idso, S.B., 1978: A comparison of two formula types for calculating long wave radiation from the atmosphere. *Water Resour. Res.*, 14, 623-625.
- Bolz, H.M., 1949: Die Abhängigkeit der infraroten Gegenstrahlung von der Bewölkung. *Z. Meteorol.*, 3, 201-203.
- Brutsaert, W., 1982: *Evaporation into the Atmosphere. Theory, History, and Applications.* Reidel Publishing Company, Dordrecht, Boston, London, 299 pp.
- Fekete, K., Popovics, M., és Szepesi, D., 1983: Légszennyező anyagok transzmissziójának meghatározása. Országos Meteorológiai Szolgálat hivatalos kiadványai LV kötet, Budapest, ISBN 963 7701 63 X, 168 pp.
- Golder, D., 1972: Relations Among Stability Parameters in the Surface Layer. *Bound.-Layer Meteorol.*, 3, 47-58.
- Monin, A.S., és Obukhov, H.M., 1954: Basic laws of turbulent mixing in the atmosphere near the ground. *Tr. Akad. Nauk. SSSR Geofiz. Inst.*, 24, 163-187.
- Pasquill, F., 1961: The estimation of the dispersion of windborne material. *Meteor. Mag.*, 90, 33-49.
- Paulson, C.A., 1970: The Mathematical Representation of Wind Speed and Temperature Profiles in the Unstable Atmospheric Surface layer. *J. Appl. Meteorol.*, 12, 857-861.
- Pinker, R.T., and Holland, J.Z., 1988: Dispersion Parameters over Forested Terrain. *J. Appl. Meteorol.*, 27, 1198-1217.
- Sutherland, R.A., Hansen, F.V., and Bach, W.D., 1986: A Quantitative Method for Estimating Pasquill Stability Class from Windspeed and Sensible Heat Flux Density. *Bound.-Layer Meteorol.*, 37, 357-369.
- Swinbank, W.C., 1963: Long-wave radiation from clear skies. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 89, 339-348.
- Turner, D.B., 1959: *Workbook of atmospheric dispersion estimates.* U.S. Dept. of Health, Education and Welfare, 5-29.
- Turner, D.B., 1964: A Diffusion Model for an Urban Area. *J. Appl. Meteorol.*, 3, 83-91.