Felhőalapmérő a felhőfizikai kutatómunkában

Schmeller Gabriella

PTE TTK

Földrajzi és Földtudományi Intézet

„Felhőalap mérése és előrejelzése” szakmai nap

2019.02.28. Budapest, OMSZ Székház

Bevezetés

Lidar egyenlet:

$$N_S(\lambda, z) = \left(\frac{P_L(\lambda_L) \cdot \Delta t}{hc/\lambda_L} \right) \cdot \left(\beta(\lambda, \lambda_L, z) \cdot \Delta z \right) \cdot \left(\frac{A}{z^2} \right) \cdot \left(\eta(\lambda, \lambda_L) \cdot T(\lambda) \cdot T(\lambda_L) \cdot O(z) \right) + N_B \cdot \Delta t$$

Visszavert jel: foton beütésszám (a foton csak egyszer verődik vissza). Az intenzitás a teljes intenzitás összege, amely visszaverődik a részecskékről.

N_s: várható foton beütésszám λ és z függvényében

1. Áteresztett lézer fotonok száma
2. Visszaverési valószínűség egy adott szögben (a térfogati visszaszórási együttható (β) és a visszaszórási vastagság szorzata)
3. A fogadó lencse visszavert foton begyűjtési valószínűsége
4. η a lidar teljes hatékonysága, T a légkör áteresztőképessége (transzmisszió), O(z) a lézersugarak átfedése a magasság függvényében („overlap function”)
5. A háttérzaj miatti várható foton beütésszám (pl. napsugárzás, rendszer zaj)

Forrás: Francesco Cairo, ISAC-CNR

Korrigálás

1. …a háttér zajra
2. …a távolságra

→ ezután megkapjuk a háttérrel csökkentett, távolsággal korrigált visszavert jelet.

3. Korrigálás a lézersugarak átfedési függvényével („overlap function”)
4. Kalibrálás, ezután megkapjuk a visszaszórást

β_{raw}(z) = $P(z) \cdot z^2 \quad ahol\ P(z) = \frac{P_{raw} - b}{c_s \cdot O(z) \cdot p_{calc}}$ (normalizált visszavert jel)

Ahol

P_{raw} = nyers visszavert jel (foton beütésszám)

b = alapvonal (háttérzaj)

c_s = átlagos lézerintenzitás

O(z) = átfedési függvény

p_{calc} = kalibrációs konstans

β_{raw} ezután megszorzott a c_{att} = $0{,}72 \cdot 10^{-12}$ értékkel, amiből megkapjuk a gyengített visszaszórást:

$$\beta_{att} = P(z) \cdot z^2 \cdot c_{att}$$

A gyengített visszaszórás a lidar egyenlet visszaszórás és transzmisszió szorzatával is kifejezhető:

$$\beta_{att} = \beta(z) \cdot T_{tot}{}^{2}(z)$$

T_{tot} a teljes transzmisszió minden szóró részecskére: $T_{tot}(z) = e^{-\tau_\alpha}$

$\tau_\alpha = \int_0^z \alpha(r)dr$ az aeroszol optikai mélység (integrált extinkció)

$$\beta_{att} = \beta(z) \cdot e^{-2\tau_\alpha}$$

A ceilométer mért adataiból az aeroszolok optikai tulajdonságaira vonatkozóan csak a visszaszórási együttható (β) magasság szerinti (és időbeli) változása származtatható.

- Extinkció: fénygyengítés (szórás+elnyelés)
- A részecskék mérete és alakja meghatározza az extinkció és a visszaverődés relatív mennyiségét
- LR = α_a / β_a
- A látástávolság az aeroszol részecskék extinkciójának függvénye (a levegőmolekulák fénygyengítése állandónak tekinthető) (Gácser és Molnár, 2012)
- Az extinkciós koefficiens értékét a mért visszavert jelből számolják (Klett-Fernald algoritmus). Nem szükséges semmilyen, a műszerre vonatkozó paraméter használata. Kiszámolható az extinkciós koefficiens profil.

Miért is annyira elterjedten használtak a ceilométerek?

Eredetileg a felhőalap magasságának mérésére fejlesztették ki

Elterjedten használtak:

- Planetáris határréteg magasságának meghatározása
- Aeroszol réteg detektálás
- Köd detektálás, előrejelzés
- Kémiai folyamatok hatásának nyomon követése

→ Vertikális profilok a mért értékekre

Planetáris határréteg tulajdonságainak meghatározása

- A ceilométerek megbízhatóan alkalmazhatóak az 5 km alatti aeroszol rétegek meghatározására, és a kémiai transzport modellek eredményeinek validálására is használhatók (pl. a határréteg magasságának megállapítására)

/Wiegner et al. 2014: What is the benefit of ceilometers for aerosol remote sensing? An answer from EARLINET /

- A ceilométerek ígéretes teljesítményt nyújtanak és a keveredési réteg automatikus meghatározása felé jelentenek egy újabb lépést.
- Számos módszer alkalmazott a határréteg meghatározására. Az idealizált visszaszórási módszer mind stabil, mind instabil körülmények mellett használható. A gradiens módszer számos jelentős információ vesztésével jár a profilokra nézve.

/Münkel et al. 2007: Retrieval of mixing height and dust concentration with lidar ceilometer/

- „Wavelet" módszer (CHM15k Nimbus is)
  - Automatikus keveredési réteg magasság meghatározásra fejlesztették ki (De Haij et al., 2006).
- Caicedo et al., 2017: Összességében ez a módszer adja a legmegbízhatóbb adatokat, 77,5 %-a az összes mérésnek kiváló egyezést mutatott a rádiószondás mérésekkel. (Illetve ez a módszer igényelte a legkevesebb manuális ellenőrzést)

Gradiens módszerek

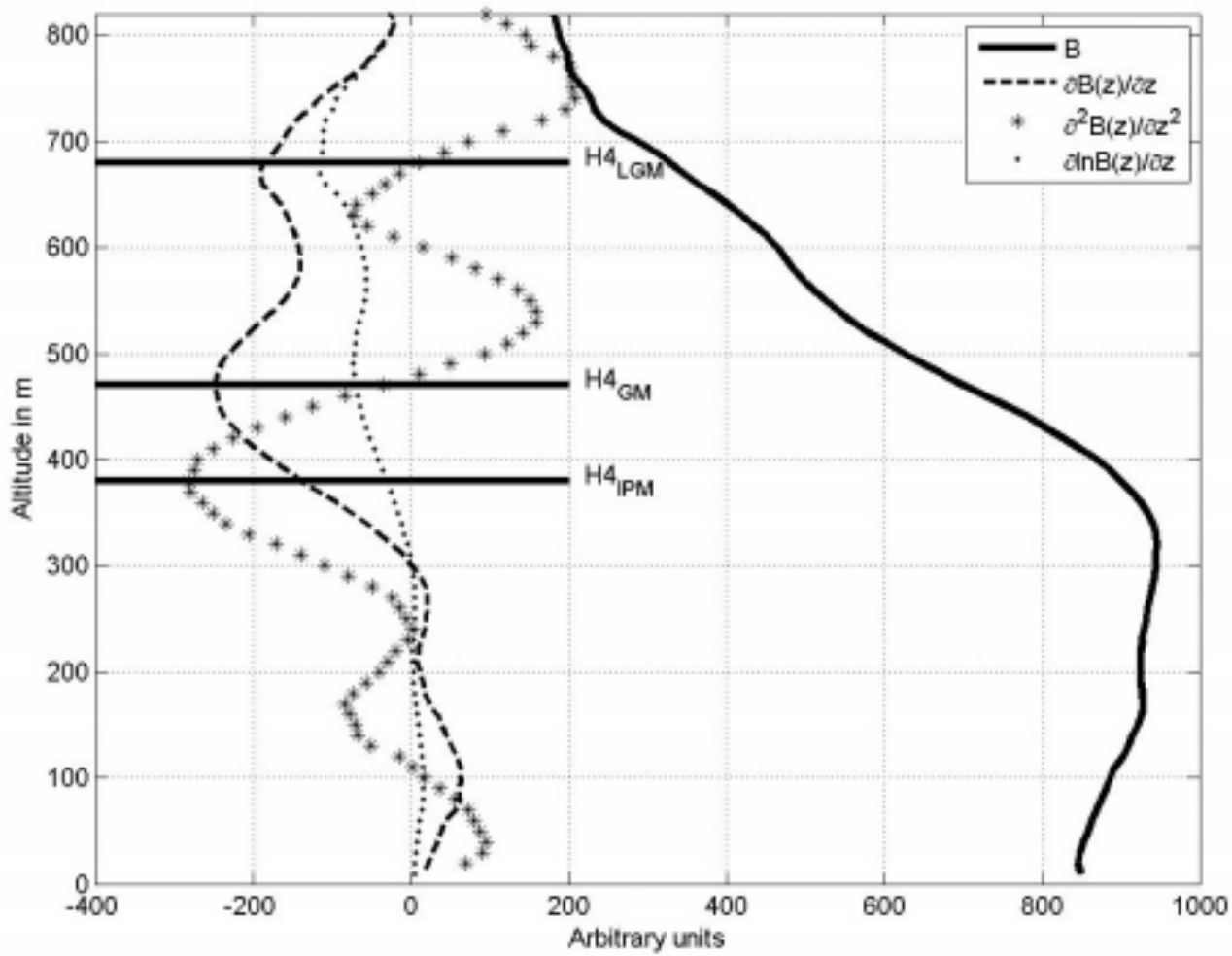


Fig. 1. Schematic of the three gradient or derivative methods for mixing layer height determination. B denotes the optical backscatter intensity. Source: *Emeis et al., 2008.*

Görbe illesztés/Idealizált gradiens módszer

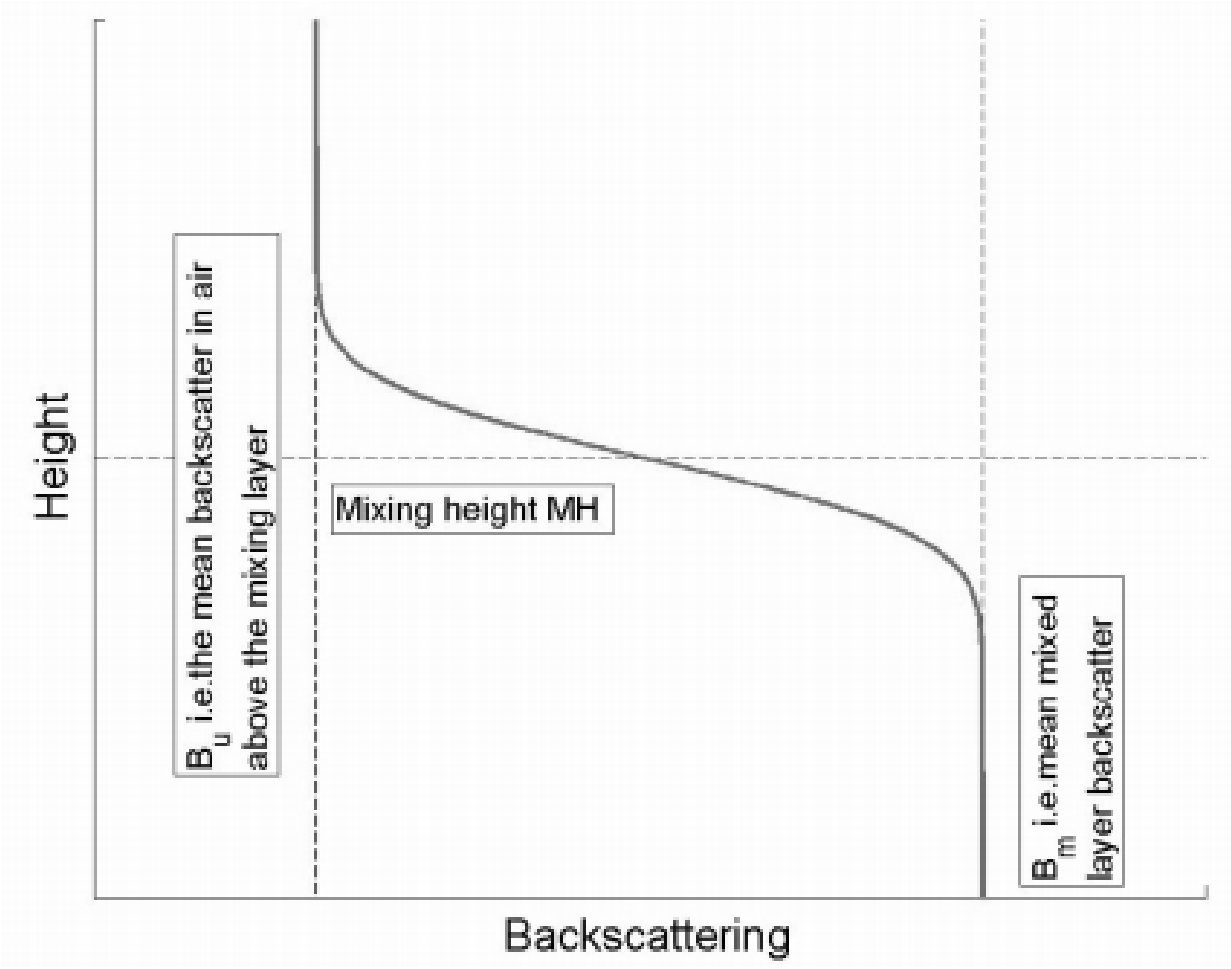


Fig. 2. Schematic of the idealized gradient method from Eresmaa et al. (2006). Source: *Emeis et al., 2008*

PM10 koncentráció meghatározása:

- Száraz időjárási körülmények esetén a ceilométer által mért visszaszórás és az in situ PM10 koncentráció között jó korreláció van.
- Egy ígéretes algoritmus kifejlesztése történt a porszemek koncentrációjának ceilométer általi mérésére.

/Münkel et al. 2007: Retrieval of mixing height and dust concentration with lidar ceilometer/

PM2,5 meghatározása:

- A ceilométerek előnye, hogy felhős időben is mérik a részecskékről visszavert jelet. Ez lehetővé teszi a felszín közeli extinkció meghatározását akkor is, amikor felsőbb légrétegekben felhők vannak jelen.
- A tanulmányban egy empirikus modell kifejlesztése kerül bemutatásra, amely a PM2,5 és a ceilométer által mért felszín közeli visszaszórás közti regresszión alapul.
- A ceilométerek által szolgáltatott adatok fontos adalékai a levegőminőség monitorozásának felhős és éjszakai esetekben. Mivel széleskörben használtak világszerte, fontos kiegészítő információt adhatnak az aeroszolokról a felszínközeli PM2,5 koncentrációk meghatározásához.

/Siwei Li et al. : Remote sensing of PM2.5 during cloudy and nighttime periods using ceilometer backscatter/

Köd

- Gyenge légmozgás, stabil rétegződés, szilárd vagy folyékony részecskék jelenléte (mint kondenzációs magvak)
- Légszennyező anyagok feldúsulása a felszín közelében
  - Magas gáz- és részecskekoncentráció – egészségügyi hatás
  - Csökkent látástávolság, ködcseppek + szálló por az utak felszínén – megnövekedett közlekedési kockázat
- Kisméretű vízcseppek – nem hullnak ki, akár több órás tartózkodás a légszennyező anyagok környezetében
- Vízcseppekben abszorbeálódó gázok és oldódó részecskék, kémiai folyamatok a ködcseppekben – a köd előtti és köd feloszlása után visszamaradt részecskék mérete, kémiai összetétele változik

Köd detektálása, előrejelzése

45 eset kisugárzási köd képződésére (megfigyelés: SIRTA (Párizs közelében) és Uccle, Belgium). A ceilométer által vett jelből számolt β_{att} értékekből információ az aeroszol részecskék higroszkópos növekedésére.

Mérőműszerek:

- SIRTA: Vaisala CL31, látástávolság mérők (4 és 20 m felszín felett, mérőtorony (hőmérséklet és relatív nedvesség adatok 1,2,5,10,20,30 m felszín felett)
- Uccle: Vaisala CL51, égképek webkamerával, hőmérséklet és relatív nedvesség mérő műszerek (2 m felszín felett)

„Predictive Alert of Radiation Fog (PARAFOG)"

Az algoritmus lépései:

- A körülmények (kedvező vagy nem kedvező a kisugárzási köd kialakulásához) és a referencia gyengített visszaszórás profil meghatározása
- Higroszkópikus növekedési függvény meghatározása (a mért gyengített visszaszórás és a száraz körülmények esetén mért gyengített visszaszórás aránya)
- Riasztási szintek: a higroszkópikus növekedés változásának gyorsasága és a gyengített visszaszórási profil függvényében
- A riasztás vége: amikor a körülmények már nem kedvezőek
- Riasztási szintek: nincs (none), alacsony (minor), közepes (moderate), erős (severe), köd (fog)

Ezt az algoritmust jelenleg is használják a párizsi Charles de Gaulle reptéren, CL31 típusú műszerekkel.

Haeffelin et al. (2016): Radiation fog formation alerts using attenuated backscatter power from automatic lidars and ceilometers

Pécsi felhőalapmérő

- Típus: Lufft CHM15k Nimbus
- Telepítés: 2017. 12. 15. PTE TTK, Meteorológiai Állomás

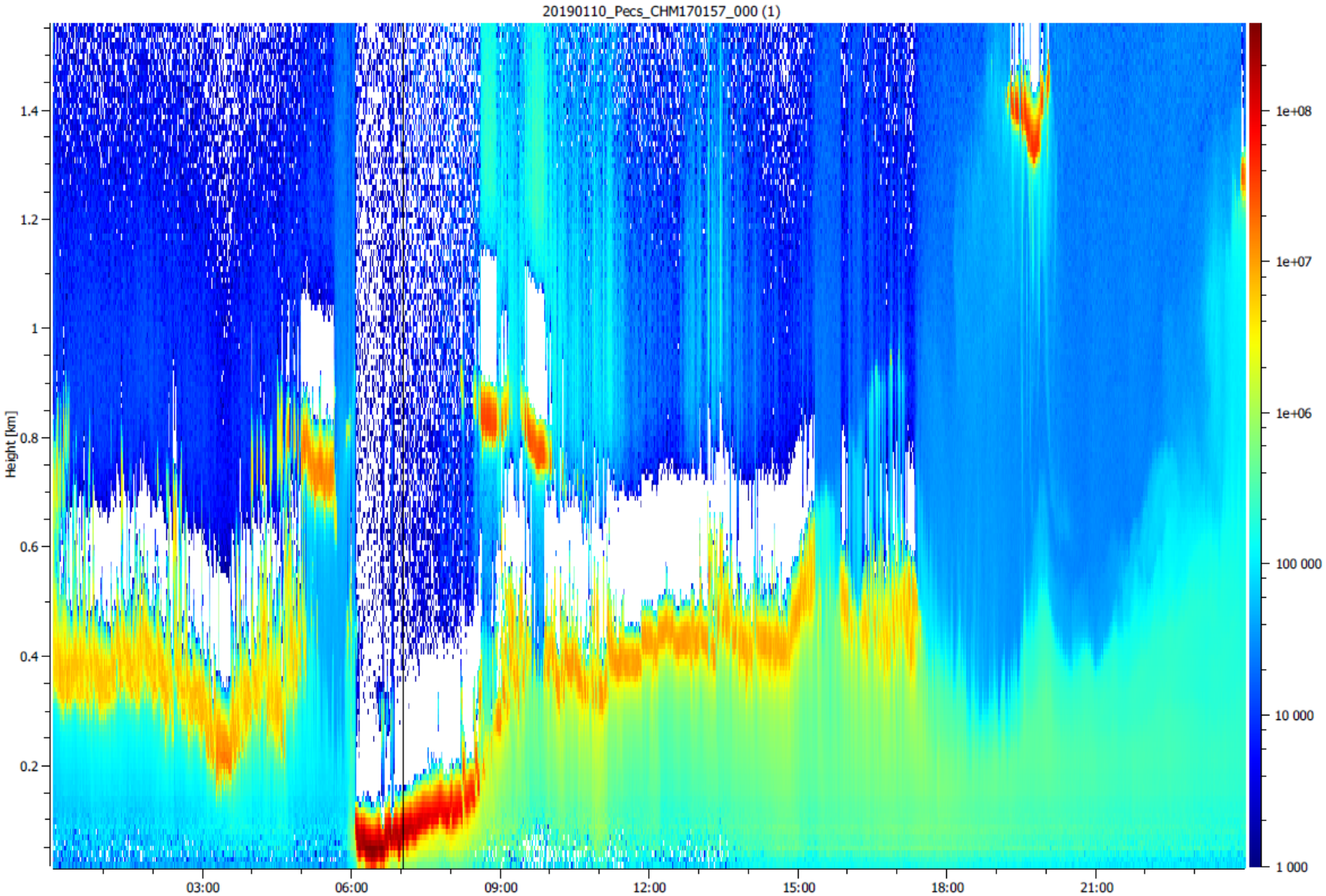
A projekt

- „Légszennyezettség előrejelző rendszer kifejlesztése légköri víz-aeroszol kölcsönhatások figyelembevételével” (GINOP-2.3.2-15-2016-00055)

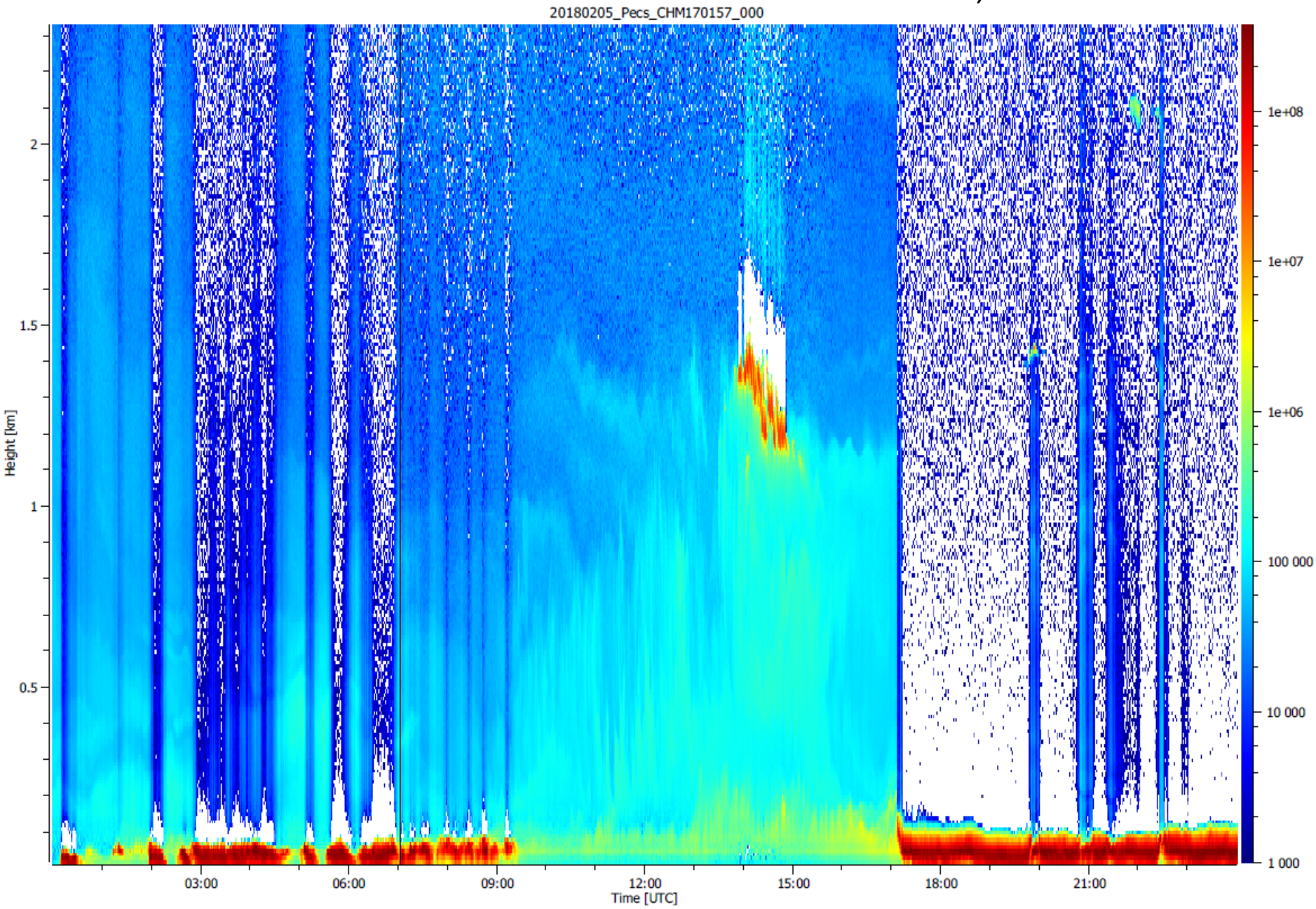
- Együttműködés:
  - Pannon Egyetem
  - Országos Meteorológiai Szolgálat
  - Pécsi Tudományegyetem

Feladatok: laboratóriumi és terepi mérések, műszeres megfigyelések, numerikus modellezés, előrejelzések fejlesztése

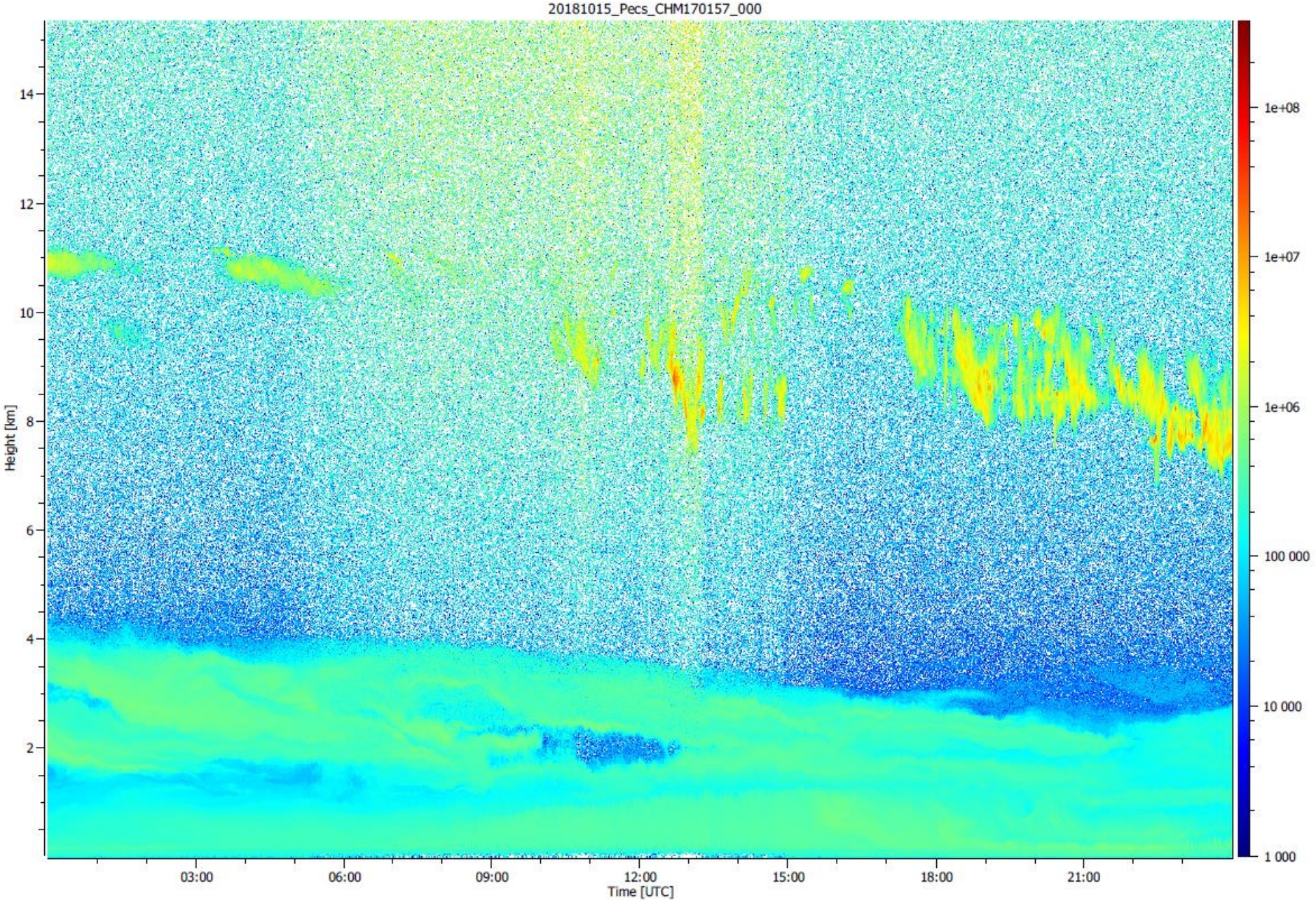
Köd megszűnése. Pécs, 2019.01.10.



Köd. Pécs, 2018.02.05.



Szaharai por. Pécs, 2018.10.15.



Összefoglalás

- A felhőalapmérők széleskörűen alkalmazhatóak a felhőfizikai kutatómunkában (planetáris határréteg, aeroszol rétegek, köd detektálás)
- Előnyeik: automatizálhatóság, mobilitás, felhasználóbarát
- Fontos jövőbeni feladat: a köd előrejelzésének pontosítása

Köszönöm a megtisztelő figyelmet!