

# Levegőminőségi elemzések és terjedésszámítás a Meteorológiai Szolgálatnál



**Homolya Emese**

Modellezési Osztály  
Országos Meteorológiai Szolgálat

# Tematika

- A légszennyezésről általában
- A levegőminőség kiértékelése
- A levegőminőségi modellek: típusok, felépítés, input adatok...
- A modellezés bizonytalanságai és az eredmények pontossága
- Modellezés a gyakorlatban
  - Érzékenységvizsgálat
  - Esettanulmány valós szmoghelyzetre
  - Lokális kibocsátás követése
  - A nagytávolságú transzport szerepe
  - Kibocsátási források azonosítása
  - Előrejelzés

# Légszennyezés

- Légszennyezés: az egészségre, az élővilágra és az ökológiai rendszerekre ártalmas anyagok levegőbe juttatása a vonatkozó határértékeket meghaladóan
  - **Természetes** (erdőtüzek, vulkáni hamu, tengeri só, talajerózió, biológiai folyamatok...)
  - **Antropogén** (közlekedés, ipar, lakossági tüzelés, mezőgazdaság, hulladékégetés...)
- Elsődleges szennyezőanyagok:  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ , VOC, PM
- Másodlagos szennyezők: az elsődlegesekből keletkeznek kémiai reakciók révén ( $\text{O}_3$ )
- Háttérszennyezettség – városi légszennyezés



# Határértékek

| [µg/m <sup>3</sup> ]                        |                  | Egészségügyi határérték | Tájékoztatási küszöbérték | Riasztási küszöbérték | Az eü. határérték túllépésének évenként tűrhető esetszáma | Éves átlag határértéke |
|---|------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|---|------------------------|
| Nitrogén-dioxid (órás átlag)                | NO <sub>2</sub>  | 100                     | 350                       | 400                   | 18  | 40                     |
| Kén-dioxid (órás átlag)                     | SO <sub>2</sub>  | 250                     | 400                       | 500                   | 24  | 50                     |
| Ózon (órás átlag)                           | O <sub>3</sub>   | -                       | 180                       | 240                   | -   | -                      |
| Ózon (8 órás mozgóátlagok napi maximuma)    | O <sub>3</sub>   | 120                     | -                         | -                     | 80*   | -                      |
| Kisméretű részecske szennyezés (napi átlag) | PM <sub>10</sub> | 50                      | 75**                      | 100***                | 35  | 40                     |

\* az utolsó három év átlagában

\*\* két egymást követő napon

\*\*\* két egymást követő napon és az OMSZ szerint a következő napon javulás nem várható

# A levegőminőség kiértékelése

## Mérések

- Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat (OLM) – automata és manuális hálózat <http://www.levegominoseg.hu/>
- Agrárminisztérium: a hálózat szakmai irányítása
- Megyei kormányhivatalok: állomások üzemeltetése
- OMSZ Levegőtisztaság-védelmi Referencia Központ (LRK): operatív szakmai feladatok, levegőminőség értékelés, háttérállomások üzemeltetése

## Modellezés

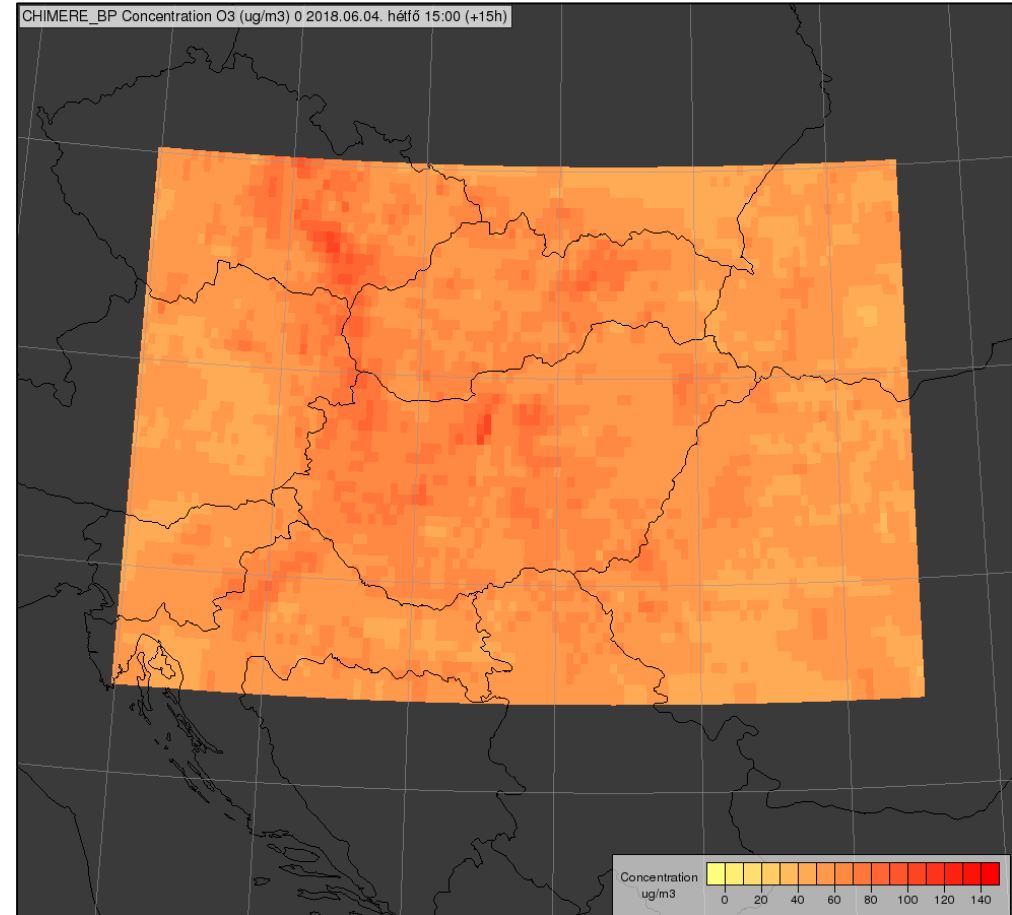
- A modell segítségével kapcsolat határozható meg a források és a kialakult levegőminőség között, valós fizikai és kémiai folyamatok matematikai leírásán alapszik
- Felhasznált bemeneti adatok: emisszió, meteorológiai adatok, kezdeti- és határfeltételek, felszínborítás
- A bizonytalanság összeadódik



Az OMSZ háttérszennyezetségi mérő állomásai

# Miért modellezünk?

- Olyan területekre vonatkozóan is kaphatunk információt, ahol nincs mérés
- Olyan vizsgálatokat lehet a modellel elvégezni, amely a mért adatok felhasználásával nem lehetséges
- Komplex hatásvizsgálatok végezhetőek (bizonyos intézkedések eredménye számszerűsíthető)
- Levegőminőségi előrejelzést készíthetünk

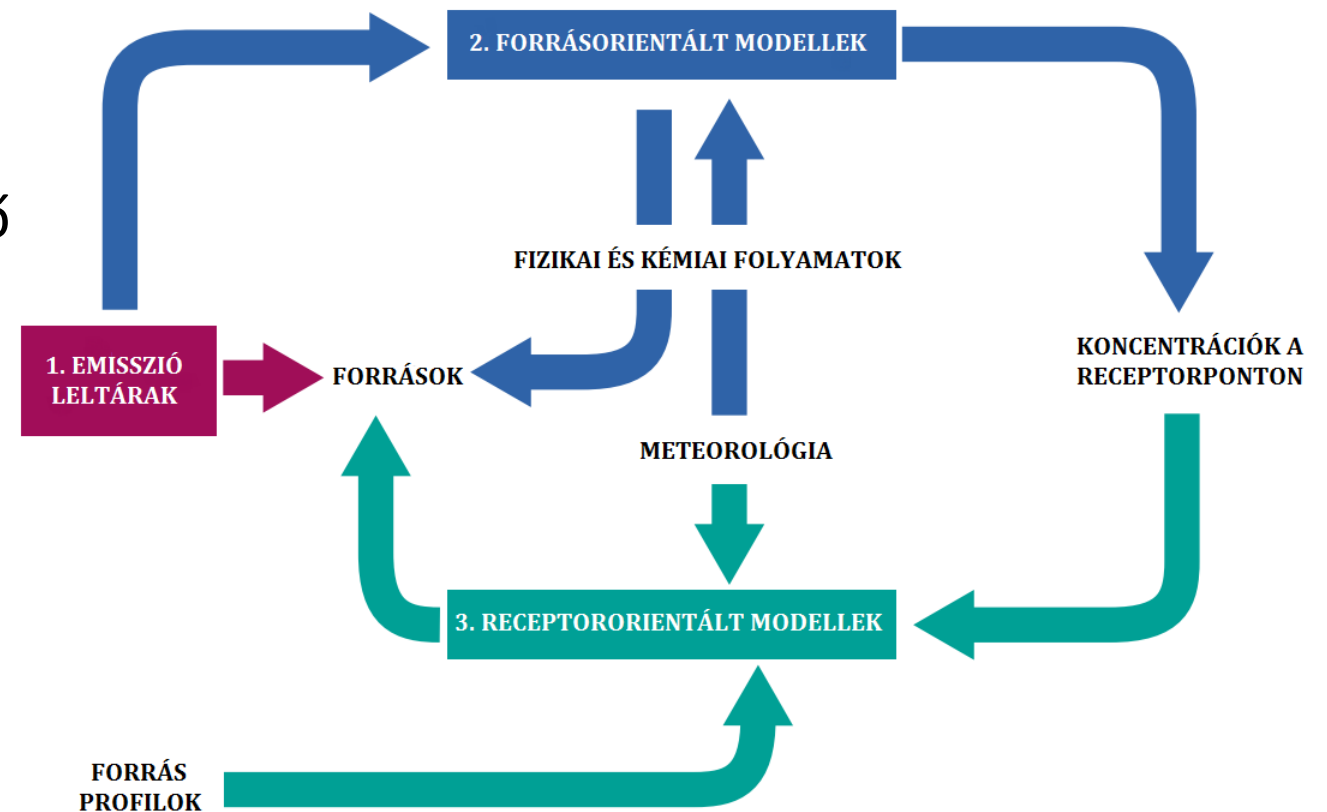


# Levegőminőségi modellekkel történő vizsgálatok jelentősége

- Rövid távon (előrejelzés):
  - A légkörben lezajló fizikai és kémiai folyamatok jobb megismerése
  - Rövid távon is ható, megelőző intézkedések lehetősége (Levegőminőségi Tervek, Szmogriadó tervek)
  - Tájékoztatás: lakosság, hatóság
- Hosszú távon (hatáselemzés):
  - Hosszú távon jelentkező hatások vizsgálata
    - Rácsponti éves átlagkoncentrációk meghatározása
    - Emisszió csökkentési egyezmények várható hatásának vizsgálata
    - Trendvizsgálatok
  - A várható klímaváltozás milyen hatással lehet a levegő minőségére – pl. a hőhullámok magas O<sub>3</sub> légszennyezettség kialakulását eredményezhetik (második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia)

# A levegőminőségi modellek típusai

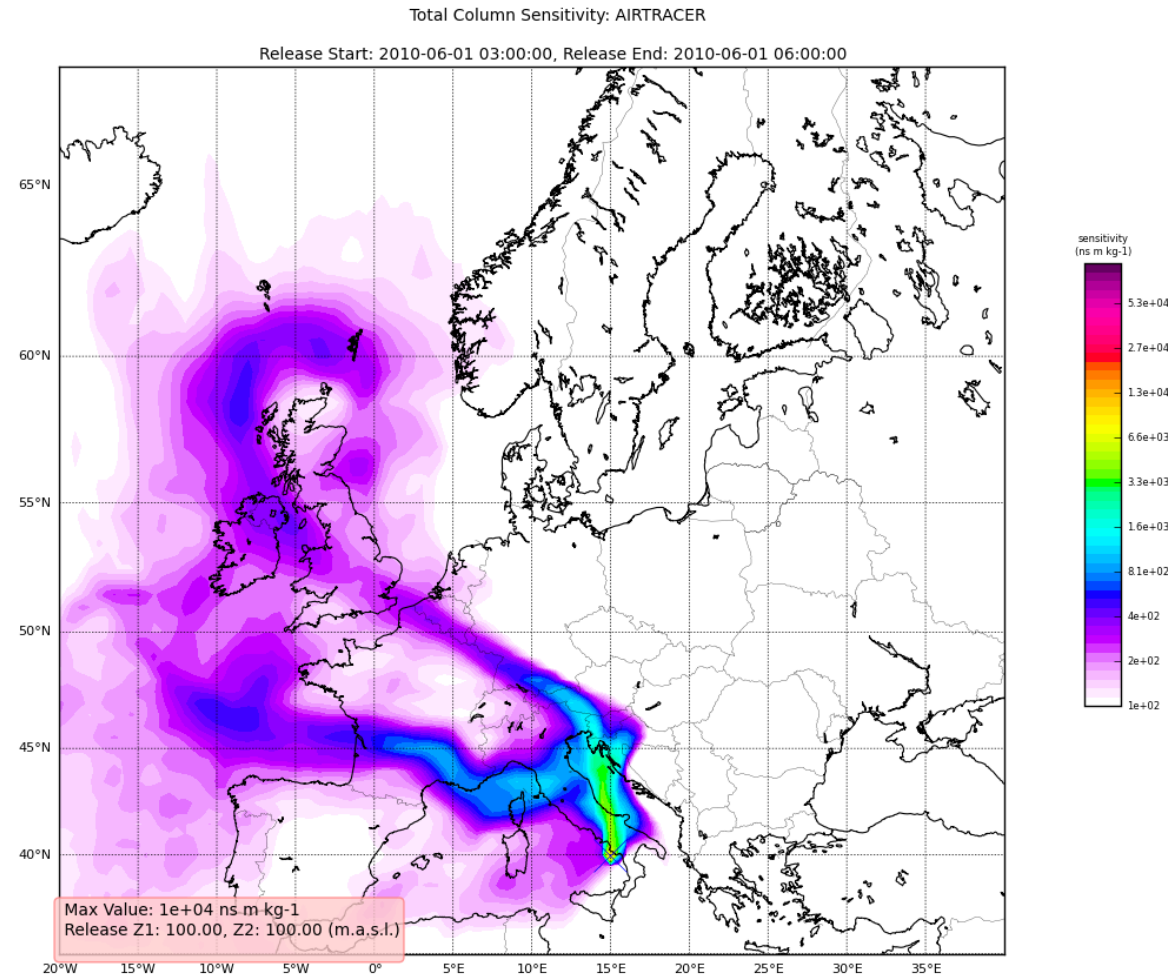
- **Forrás-orientált** (kémiai transzport) modellek: a terjedési, kémiai és a kiülepedési folyamatok, valamint a köztük lévő kölcsönhatások matematikai leírásán alapulnak.
- **Receptor-orientált** modellek: adott pont közvetlen környezetére jellemző tulajdonságokat és azok megváltozásait veszik elsőként figyelembe, a mért koncentrációkat arányítják az emissziós forrásokhoz.





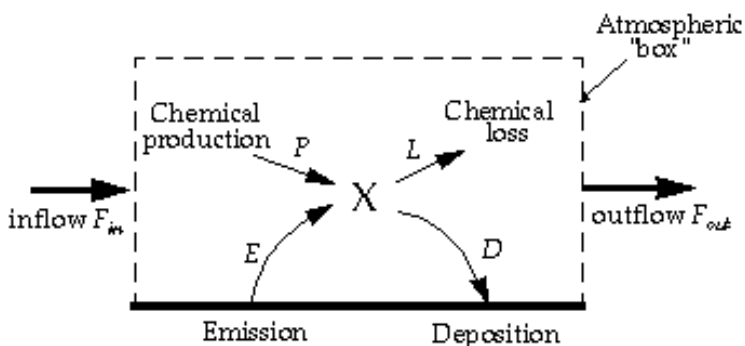
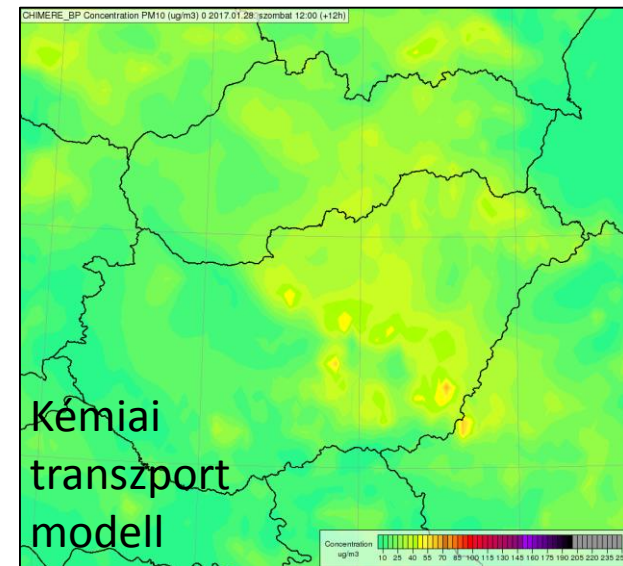
# A kémiai transzport modellek

- A légszennyezőanyagok térbeli és időbeli eloszlását határozzák meg
  - A légkörben lezajló fizikai és kémiai folyamatok leírása differenciálegyenletekkel
  - A differenciálegyenletek megoldása numerikus sémák alkalmazásával
- A figyelembe vett legfontosabb folyamatok:
  - advekció,
  - turbulens diffúzió,
  - a légkörben lezajló kémiai átalakulások,
  - aeroszolok összetett hatásai,
  - kiülepedés (száraz és nedves),
  - antropogén és természetes eredetű emissziók időbeli és térbeli változékonysága.

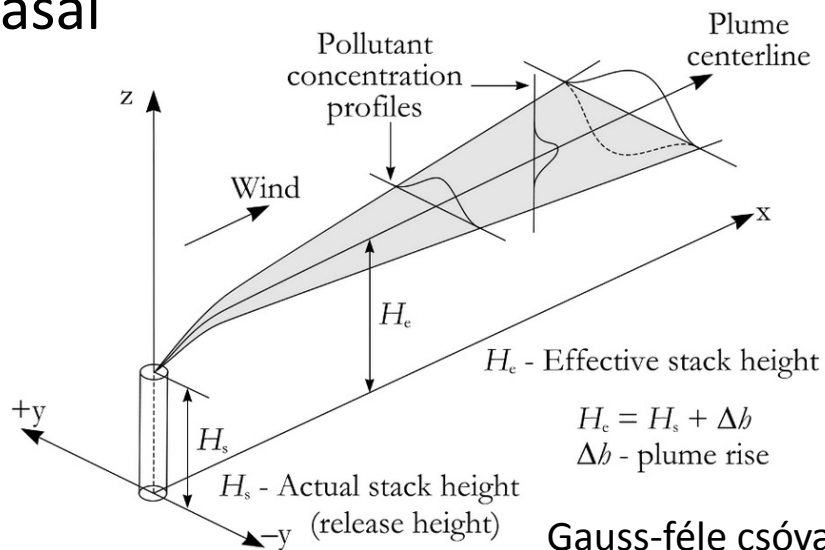


# A levegőminőségi modellek típusai

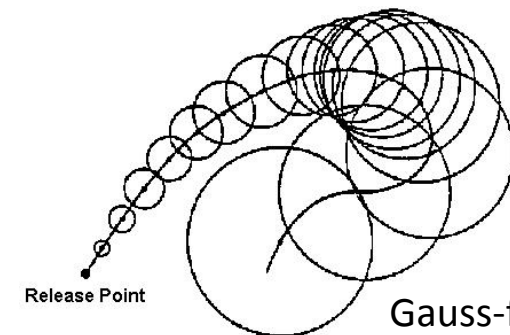
- Euler-típusú modellek: Földhöz rögzített koordináta-rendszer, szennyezőanyag-koncentrációmezők tér- és időbeli eloszlásának megváltozása
- Lagrange-típusú modellek: mozgó koordináta-rendszer, egy légpálya mentén, rögzített emissziós mező fölött haladó levegőcellában található nyomanyagok koncentrációjának változásai



Bokszmodell



Gauss-féle csóvamodell

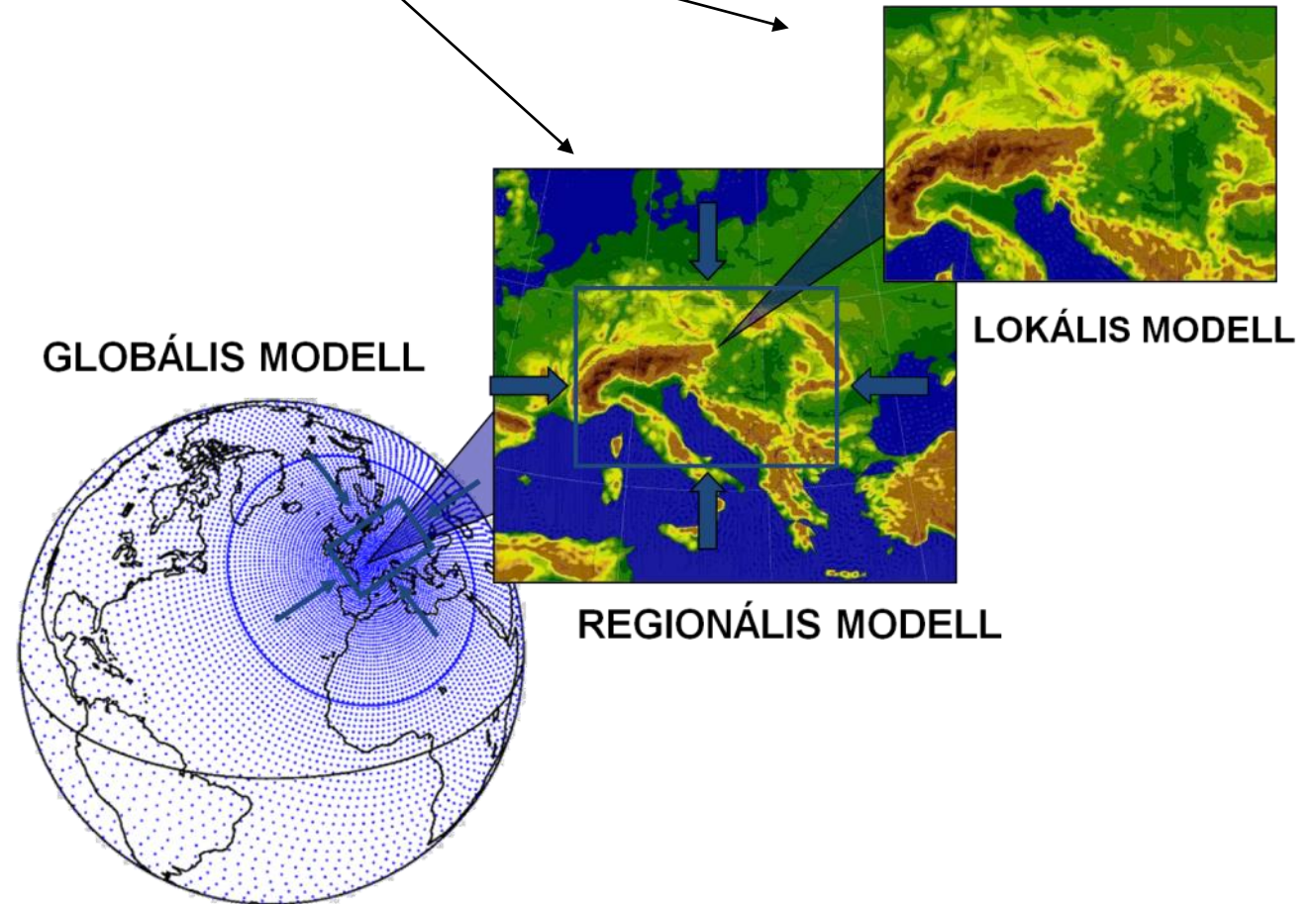


Gauss-féle pöff modell

# Modellezési tartományok

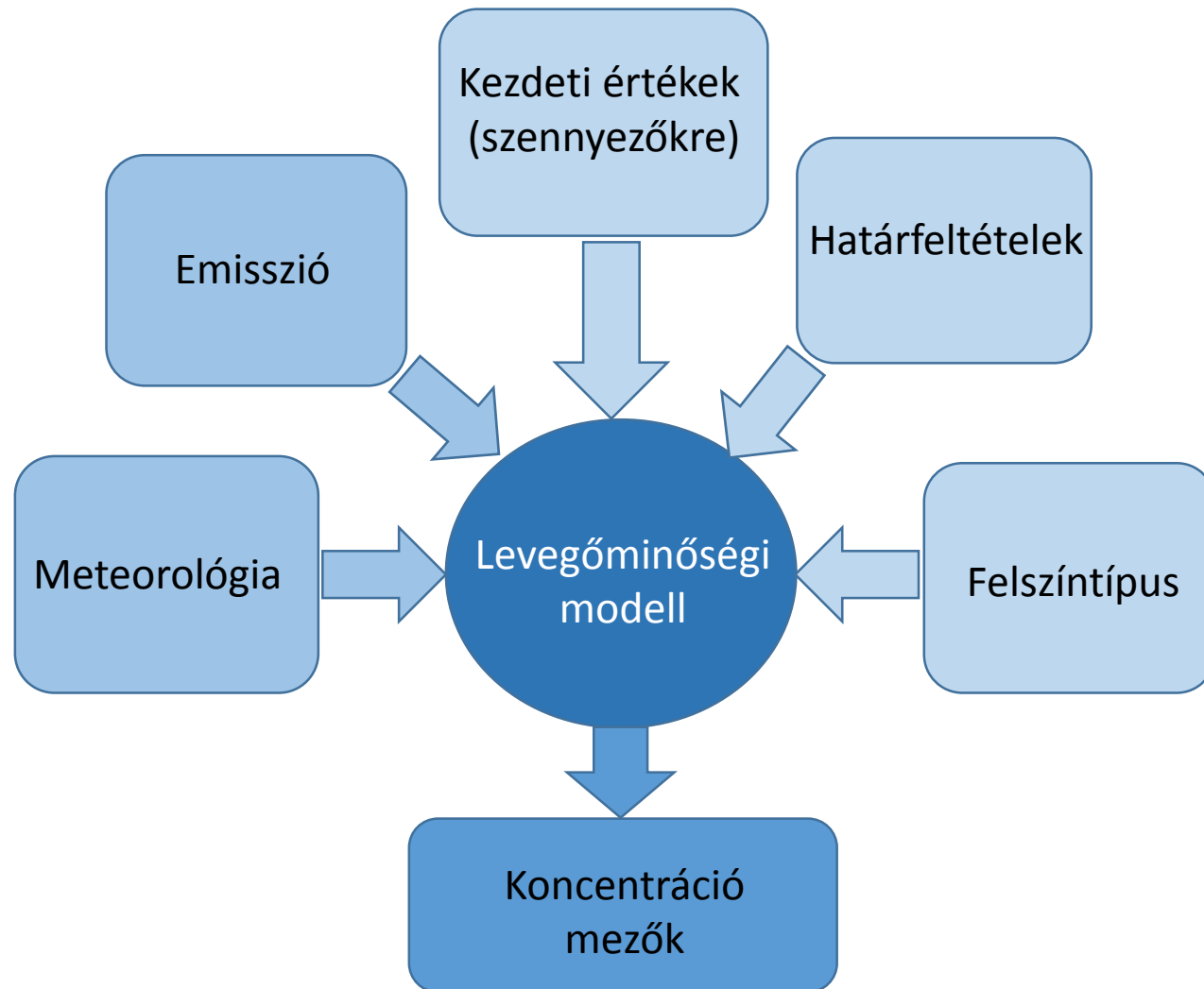
Korlátos tartományú modellek

- A rácsfelbontás függ a modell tartomány skálájától
- Input adatok felbontása
- Kezdeti és határfeltételek:
  - Vertikális profilok, megfigyelések alapján
  - Globális kémiai transzport modellekből

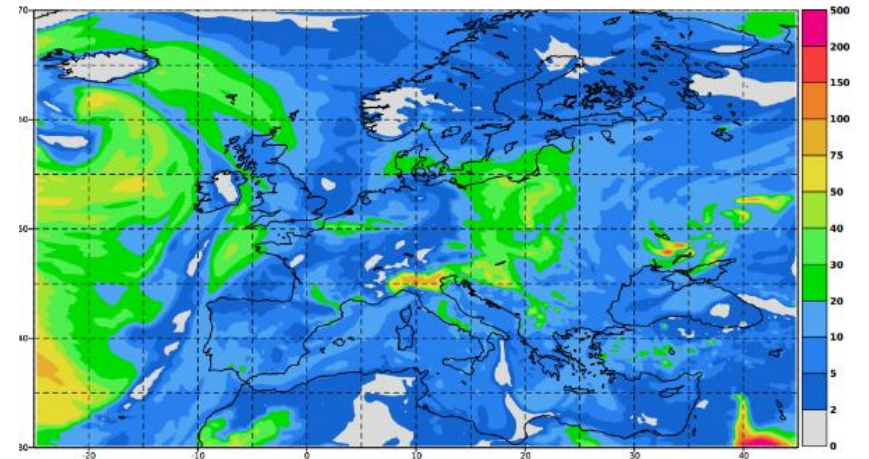




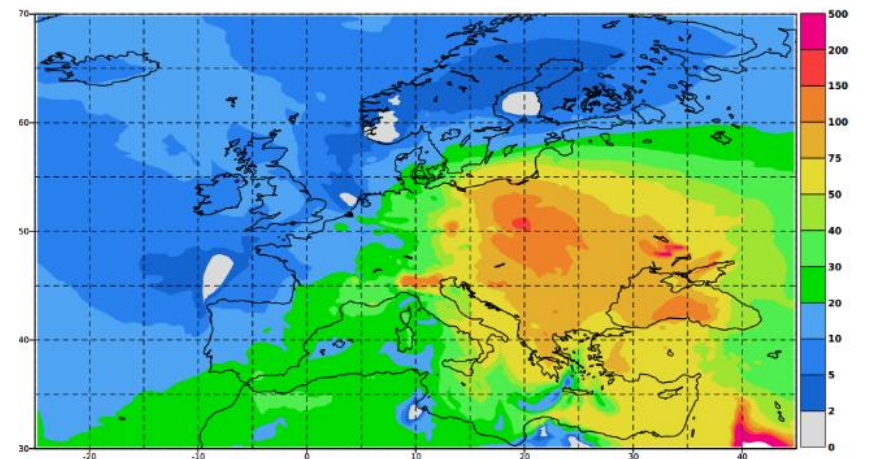
# A levegőminőségi modellek felépítése



Wednesday 01 February 2017 00UTC CAMS Analysis t-024 VT: Tuesday 31 January 2017 00UTC  
Model: EMEP Height level: Surface Parameter: PM10 Aerosol [  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ]



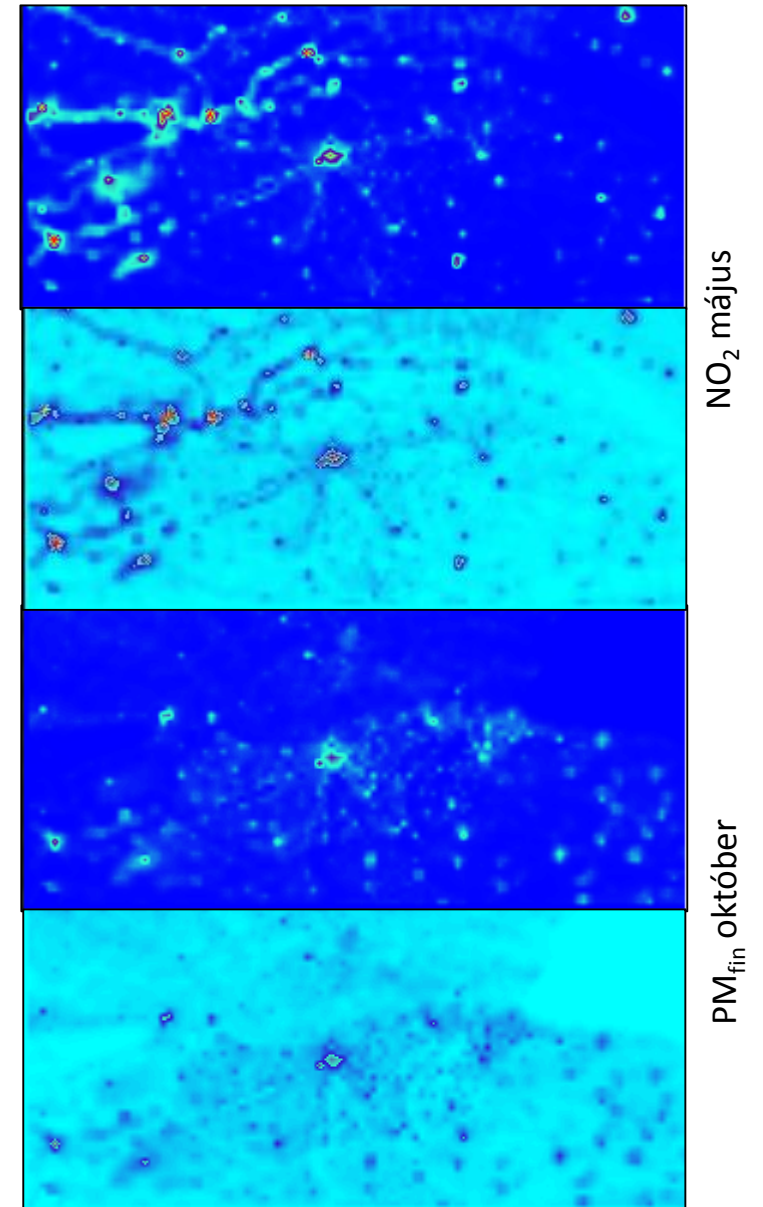
Wednesday 01 February 2017 00UTC CAMS Analysis t-024 VT: Tuesday 31 January 2017 00UTC  
Model: CHIMERE Height level: Surface Parameter: PM10 Aerosol [  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ]



# Input adatok – emisszió

- Emisszió: adott légszennyező forrásból időegység alatt kijutó szennyezőanyag mennyisége.
- Rácsponi emissziós adatok
- Az emisszió lehet:
  - természetes eredetű (vulkánok, szaharai por, tengeri só stb.)
  - antropogén eredetű (közlekedés, ipar, mezőgazdaság stb.)
- Az emissziós adatbázisok az alábbi szennyezőkre vonatkozó információt tartalmaznak:
  - Kén-dioxid ( $\text{SO}_2$ )
  - Nitrogén-oxidok ( $\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$ )
  - Ammónia ( $\text{NH}_3$ )
  - Nem metán illékony szerves vegyületek (NMVOC)
  - Szén-monoxid (CO)
  - Aeroszol részecskék ( $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{\text{coarse}}$ )

A Kárpát-medence emissziós mezeje  
különbéféle interpolációs módszerekkel ábrázolva



# Emissziós adatbázis – EMEP

- Elkészítése Európa összes állama számára nemzetközi kötelezettség
- Korábban csak országos összegeket jelentettek a tagállamok, mára elérhetővé vált egy egész Európára vonatkozó, *finom térbeli felbontású, rácsponti emissziós adatbázis*
- A legfrissebb rácsponti emissziós adatbázis 2017-ben készült el és 2015-re vonatkozó adatokat tartalmaz
- Az országoktól beérkező adatok az EMEP nemzetközi szervezet emissziós központja, a CEIP (Centre on Emission Inventories and Projections) koordinálásával kerülnek egységesítésre (<https://www.ceip.at/>)
- Az adatbázis térbeli felbontása:  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$  (kb. 10 x 10 km)
- Statikus adatbázis – éves összeg (Mg/év vagy kt/év )
  - a modellbe beépített függvényekkel tudjuk az emisszió időbeli változásait szimulálni (éves, évszakos, napi menetek)

# Kibocsátási szektorok

- Emisszió megadása szektoriális bontásban: felület egységre eső **egy évi** kibocsátott anyagmennyiség [Mg]
- Korábban: **SNAP** szektorok, a modellek ma is ezt használják
- Új felosztás: **GNFR** szektorok, az adatok ennek megfelelően tölthetők le

|             |  |
|-------------|--|
| 1. SZEKTOR  | Energiaipari tüzelés   |
| 2. SZEKTOR  | Nem ipari tüzelés  |
| 3. SZEKTOR  | Feldolgozóipari tüzelés  |
| 4. SZEKTOR  | Termelési folyamatok   |
| 5. SZEKTOR  | Fosszilis tüzelőanyagok és geotermikus energia kinyerése és elszállítása |
| 6. SZEKTOR  | Oldószerek és egyéb termékek felhasználása                               |
| 7. SZEKTOR  | Közúti szállítás   |
| 8. SZEKTOR  | Egyéb mobil források és gépek  |
| 9. SZEKTOR  | Hulladékkezelés  |
| 10. SZEKTOR | Mezőgazdaság   |
| 11. SZEKTOR | Egyéb  |

A SNAP szektorok

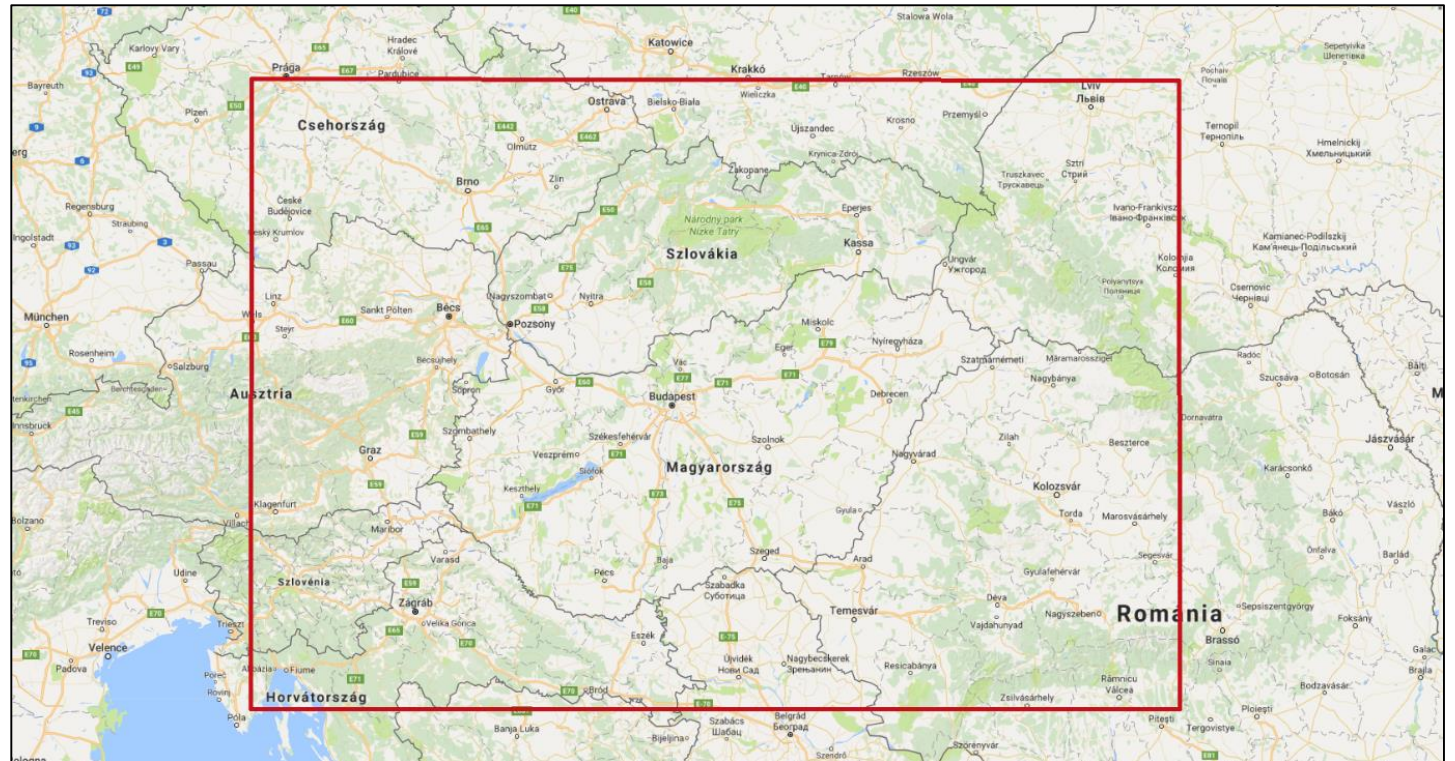
## GNFR Sectors

A\_PublicPower  
B\_IndustrialComb  
C\_SmallComb  
D\_IndProcess  
E\_Fugitive  
F\_Solvents  
G\_RoadRail  
H\_Shipping  
I\_OffRoadMob  
J\_AviLTO  
K\_CivilAviCruise  
L\_OtherWasteDisp  
M\_WasteWater  
N\_WasteIncin  
O\_AgriLivestock  
P\_AgriOther  
Q\_AgriWastes  
R\_Other  
S\_Natural  
T\_IntAviCruise  
z\_Memo



# Emissziós adatbázis Magyarországra

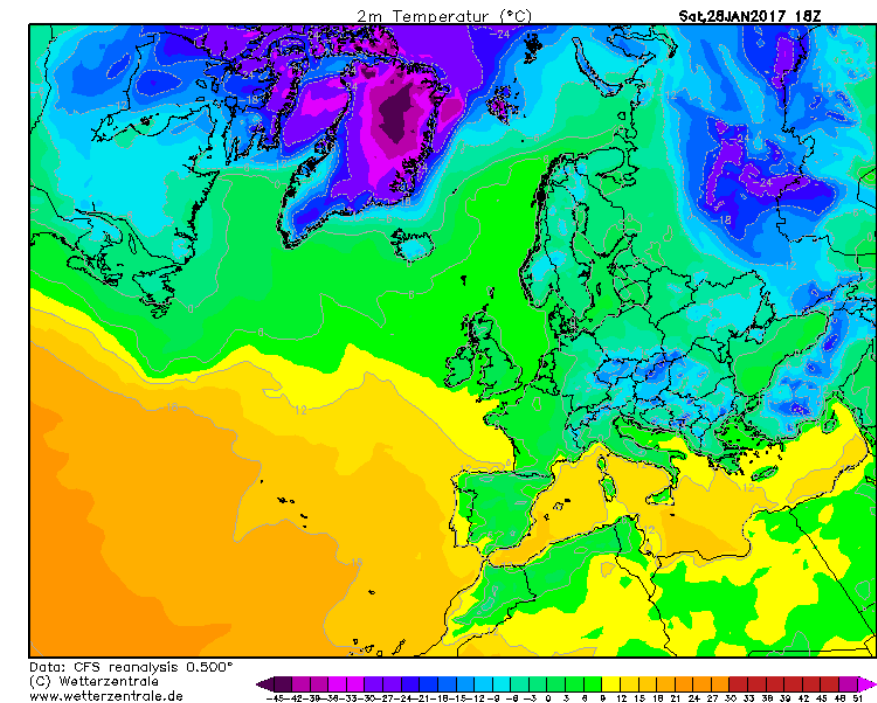
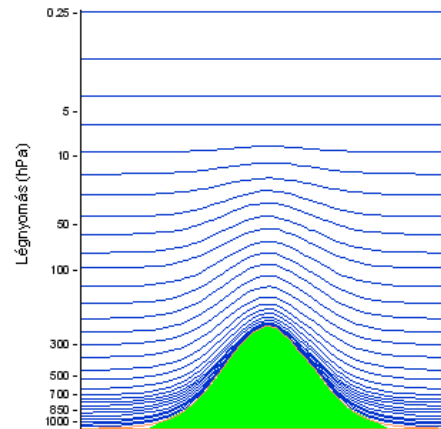
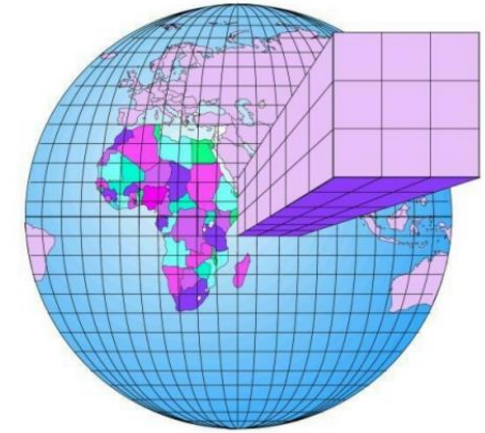
- Magyarországi emissziós adatok: OMSZ Nemzeti Emissziós Leltárak Osztálya
- Az emissziós leltár adatai letölthetők: EMEP – CEIP  
[https://www.ceip.at/ms/ceip\\_home1/ceip\\_home/webdab\\_emepdatabase/emissions\\_emepmodels/](https://www.ceip.at/ms/ceip_home1/ceip_home/webdab_emepdatabase/emissions_emepmodels/)
- Modellezési tartományok
  - Kárpát-medence
  - Budapest
  - Pécs
  - Miskolc
- Aktuálisan operatívan futó modellek
  - CHIMERE
  - FLEXPART





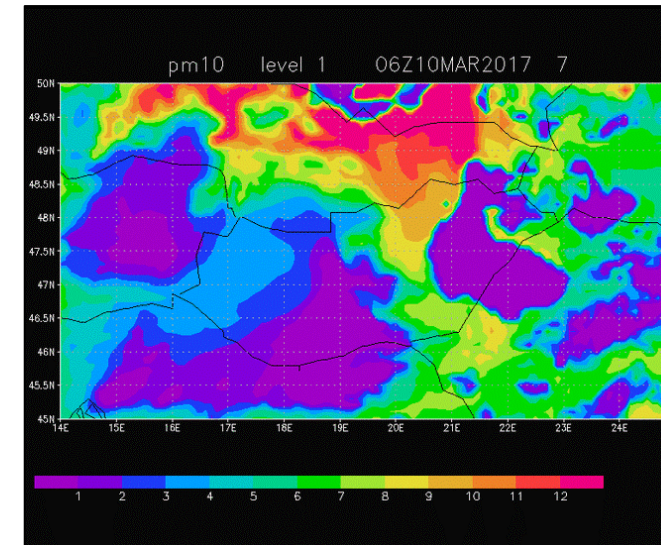
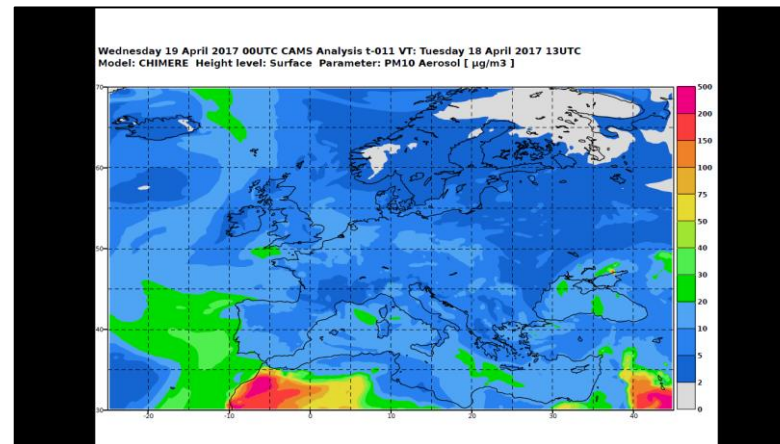
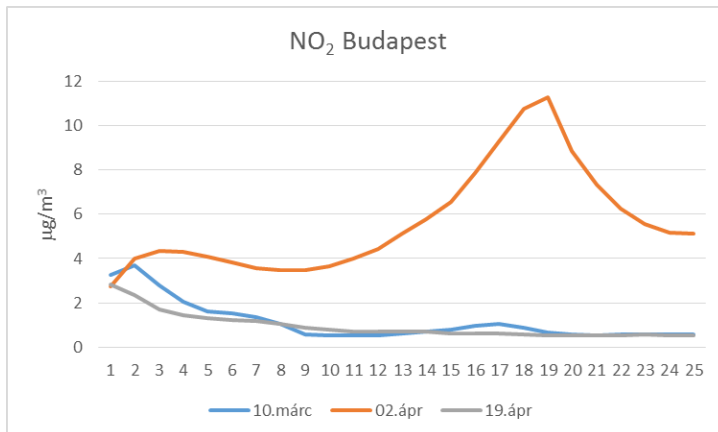
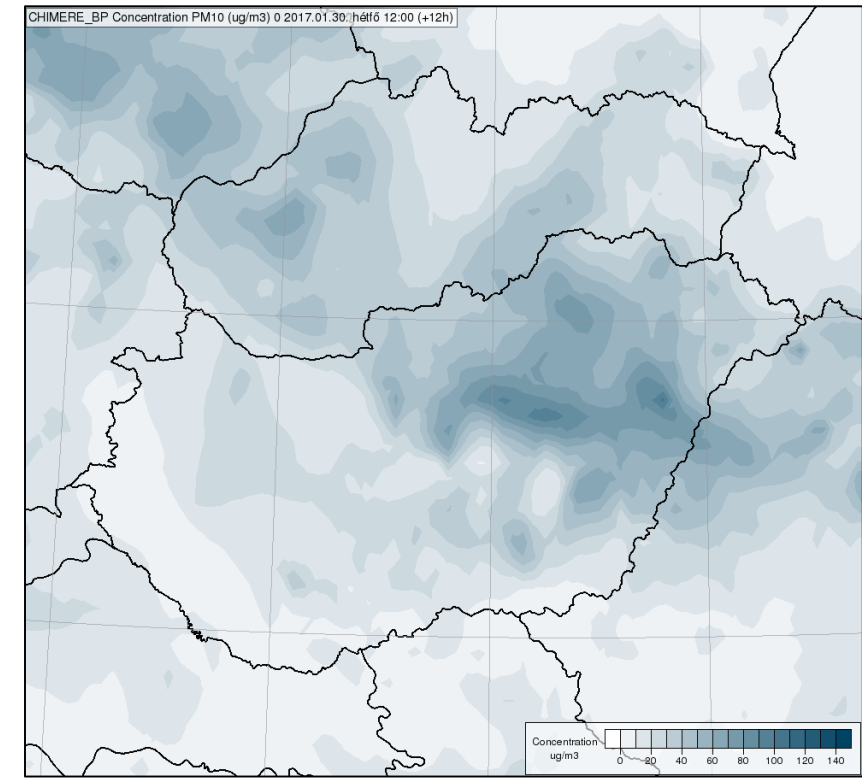
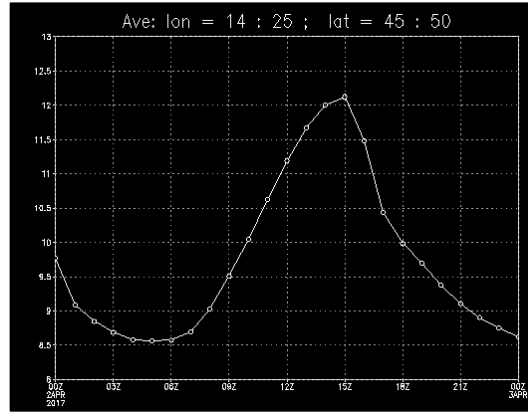
# Input adatok – meteorológia

- Rácsponti meteorológiai adatok
  - Kémiai átalakulások, valamint a szennyezőanyag transzport és ülepedés szempontjából meghatározó meteorológiai paraméterek:
    - súrlódási sebesség
    - hőfluxusok
    - Monin-Obukhov úthossz
    - planetáris határréteg...
  - 2 és 3 dimenziós mezők
- Vertikális kiterjedés
- OMSZ: AROME, WRF, ECMWF...
- Térbeli felbontás:  $0,1^\circ$



# Modell eredmények

- Előre definiált rácshálózaton
- 2D / 3D mezők
- Légköri koncentráció és depozíció
- Többféle szennyezőanyag típus
- Output adatfájlok: szöveges, netCDF...
- Megjelenítés



# A számítási eredmények megbízhatósága

- A **meteorológiai és az emissziós adatok** pontatlansága/pontossága jelentősen befolyásolja a számítások sikerét!
  - Az emissziós leltárak becslések alapján készülnek
  - A meteorológiai előrejelzéseknél pontatlanabb, a modell bizonytalanság összeadódik
- Helyről-helyre és időről időre **változik**
- Nagyon sok **fizikai-kémiai folyamatot** még nem ismerünk a légkörben
- A változások **tendenciájára** vonatkozó eredmények megbízhatóak
- Nemzetközi összehasonlítások alapján a számított és a mért értékek közötti azonosság tekintetében:
  - legjobb: troposzférikus ózon
  - legkevésbé jó: PM (másodlagos aeroszol kérdése)

# A modellezés előnyei és hátrányai

## Előnyök

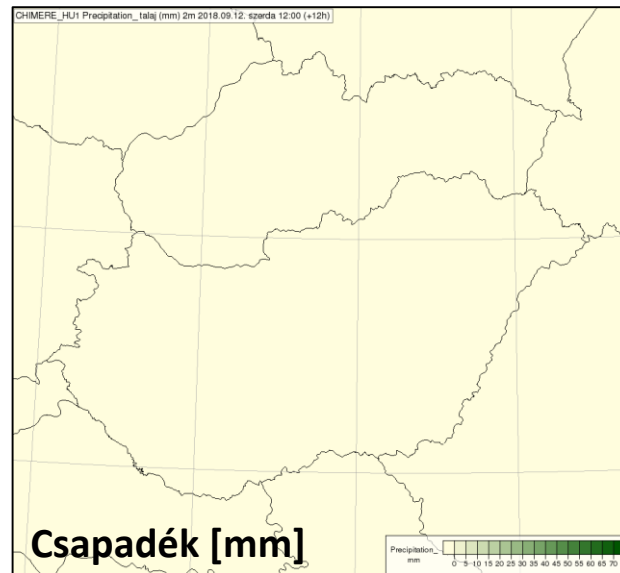
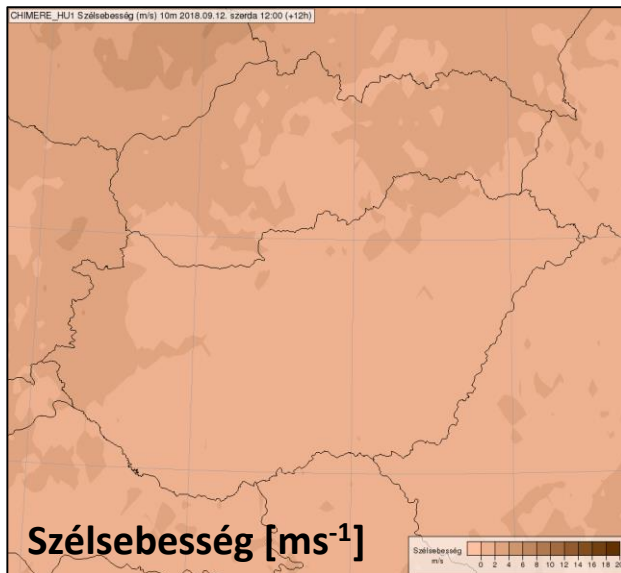
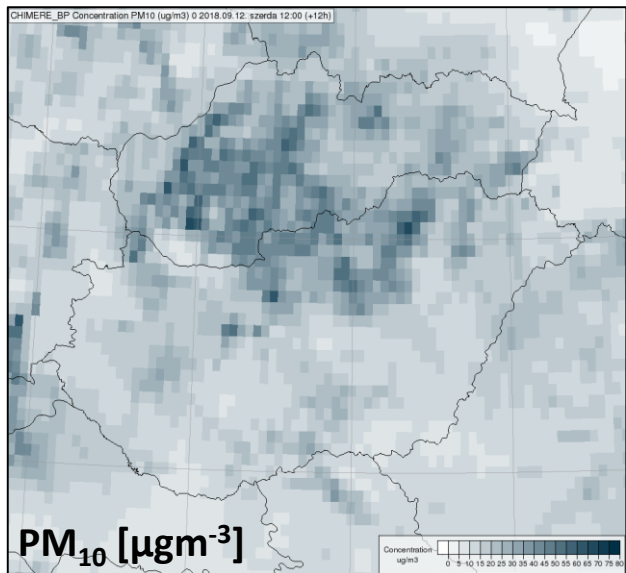
- Olyan területek levegőminősége is vizsgálható, ahol nincs mérőállomás (térbeli lefedettség növelése)
- A mérési pontok száma optimalizálható
- A mérések azokra a helyekre koncentráljanak, ahol a levegőminőség problematikus
- A levegőminőség komplex vizsgálatának lehetősége

## Hátrányok

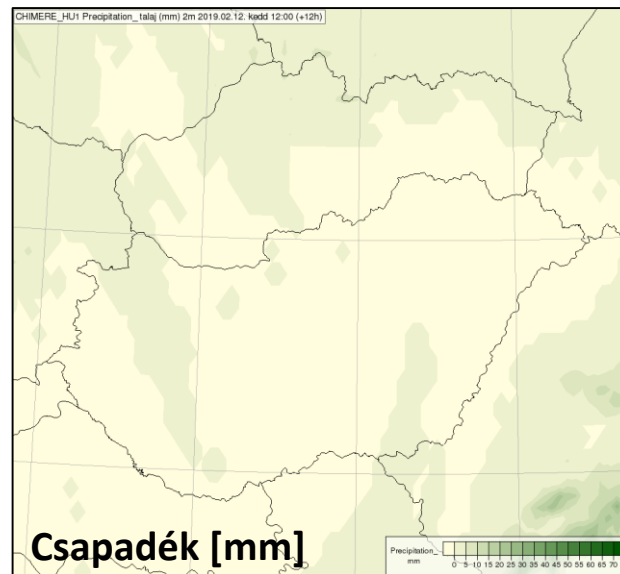
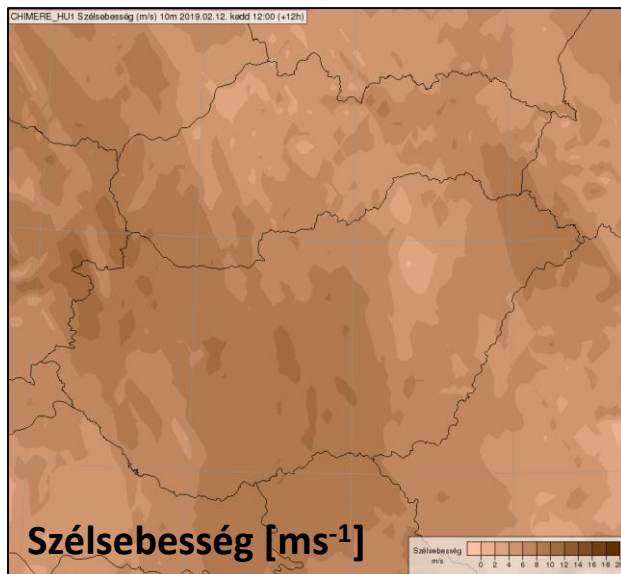
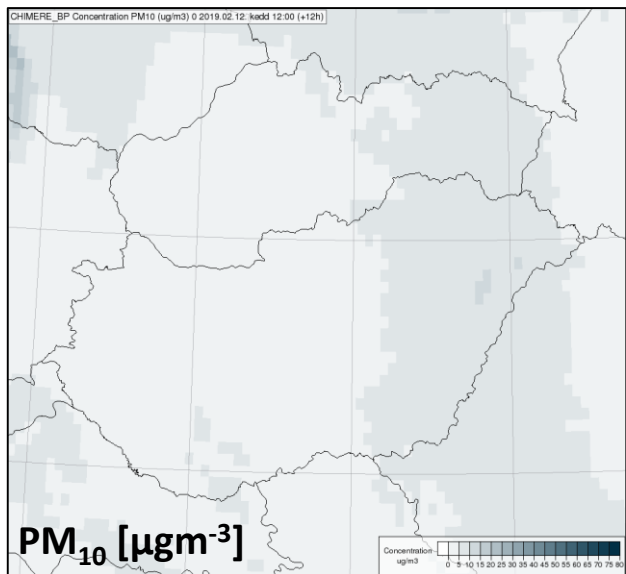
- A modelleket megbízható input (emisszió + meteorológia) adatokkal kell ellátni
- A modelleket validálni kell (összehasonlítani a modellszámítások eredményeit a mérési adatokkal)
- A modellek fizikai, kémiai korlátainak ismerete
- Szakember futtassa a modellt és értékelje az eredményeket (korlátok ismerete)

# CHIMERE – a szélesebbég hatása a légköri koncentrációkra

Szélcsend



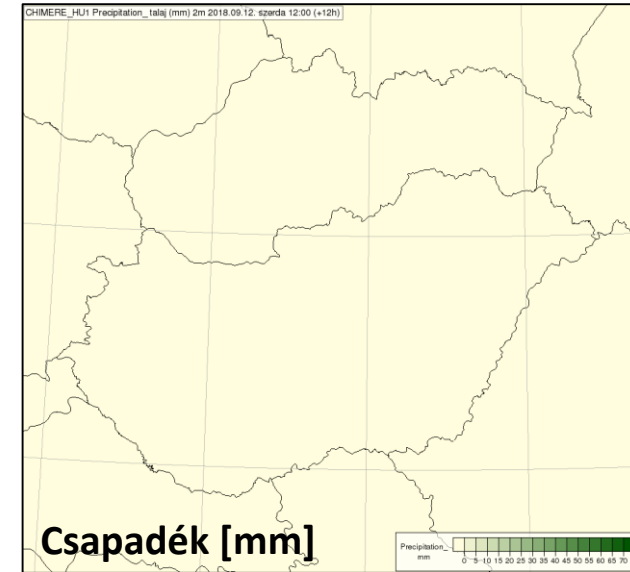
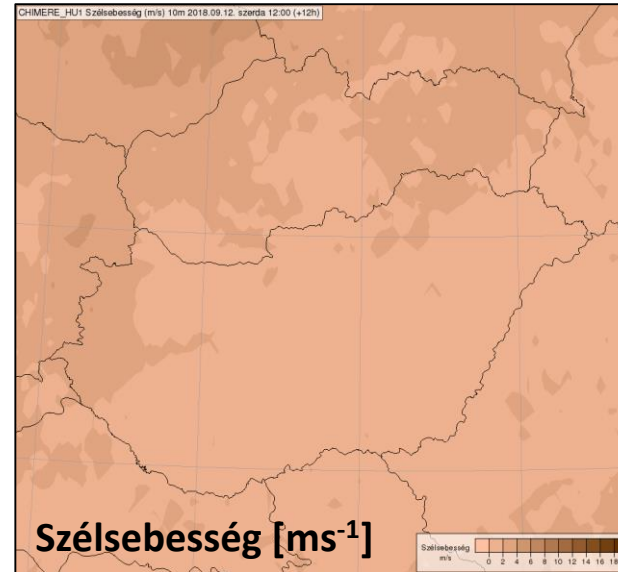
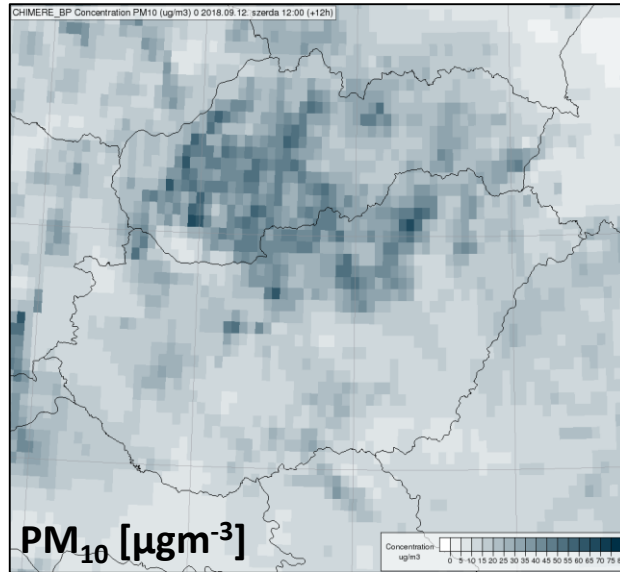
Szeles idő



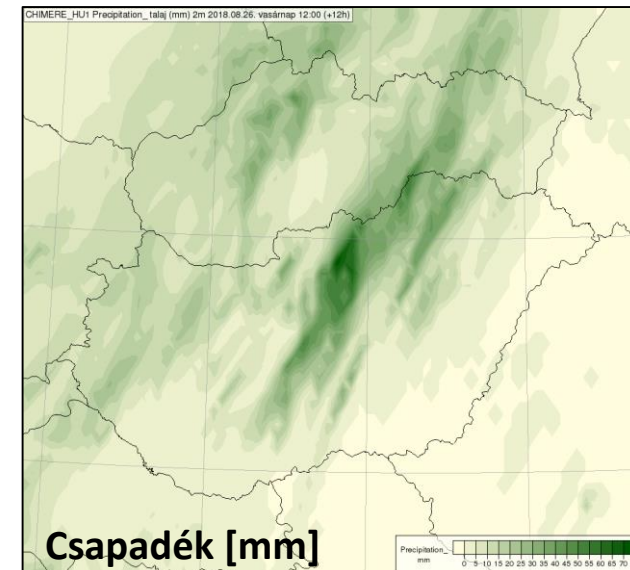
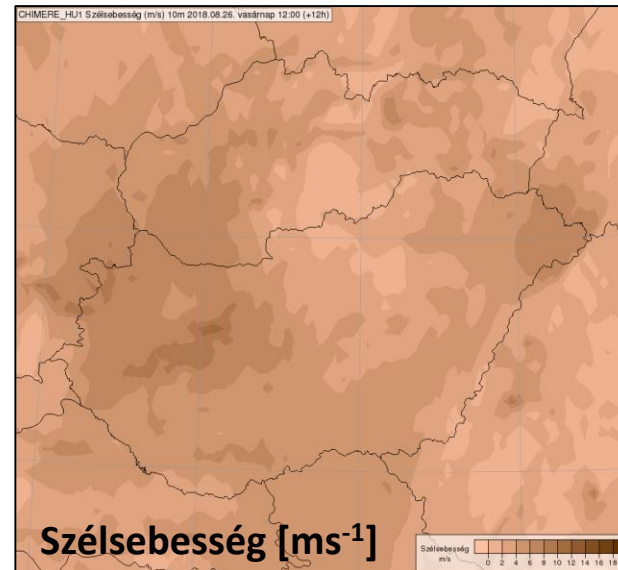
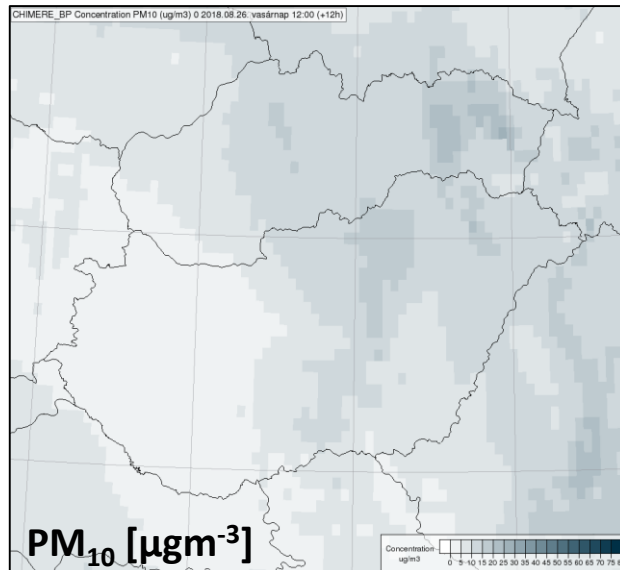


# CHIMERE – a csapadék hatása a légköri koncentrációkra

Csapadék-  
mentes idő

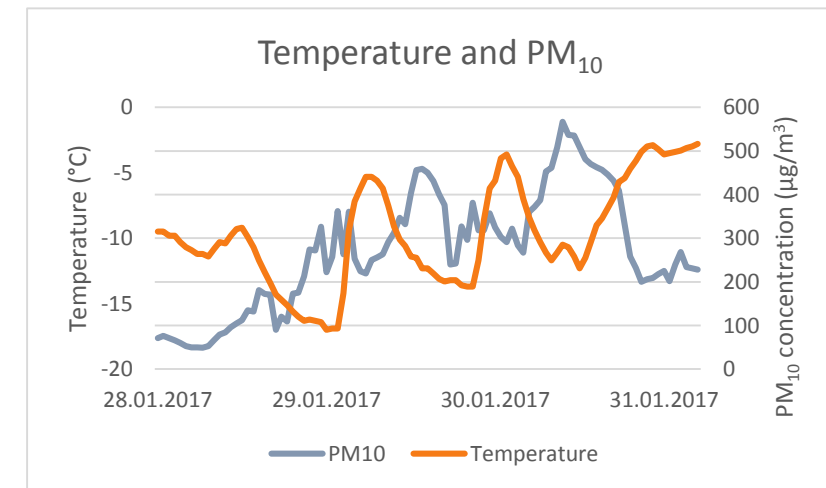
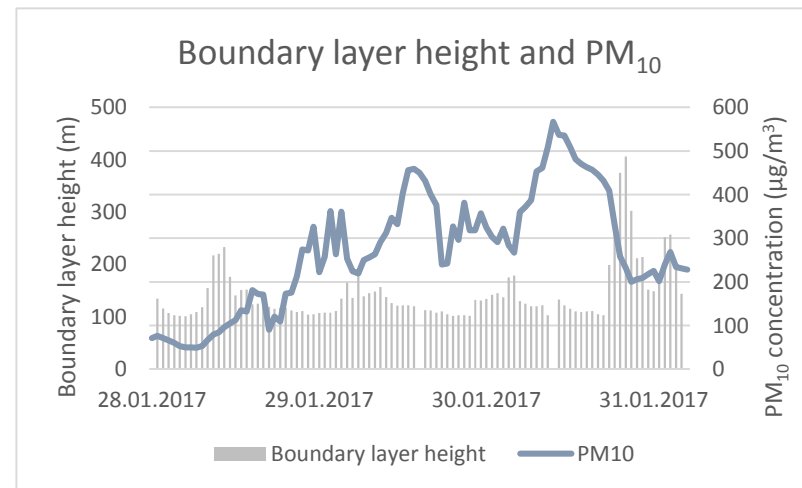
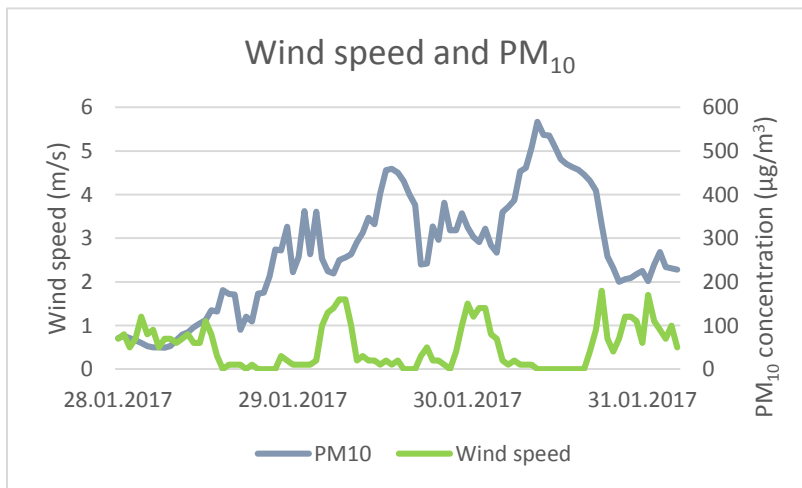
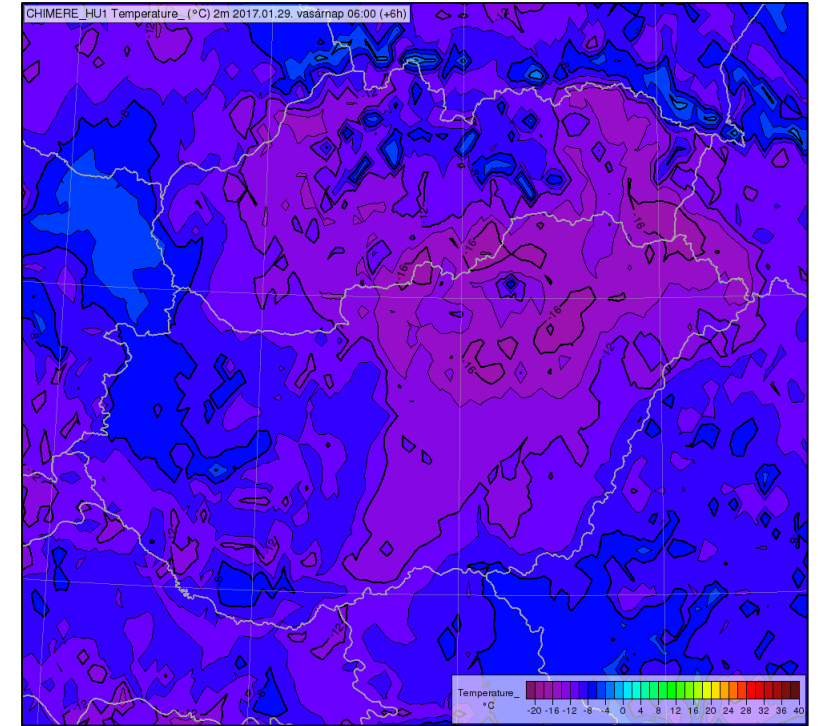


Csapadékos  
idő

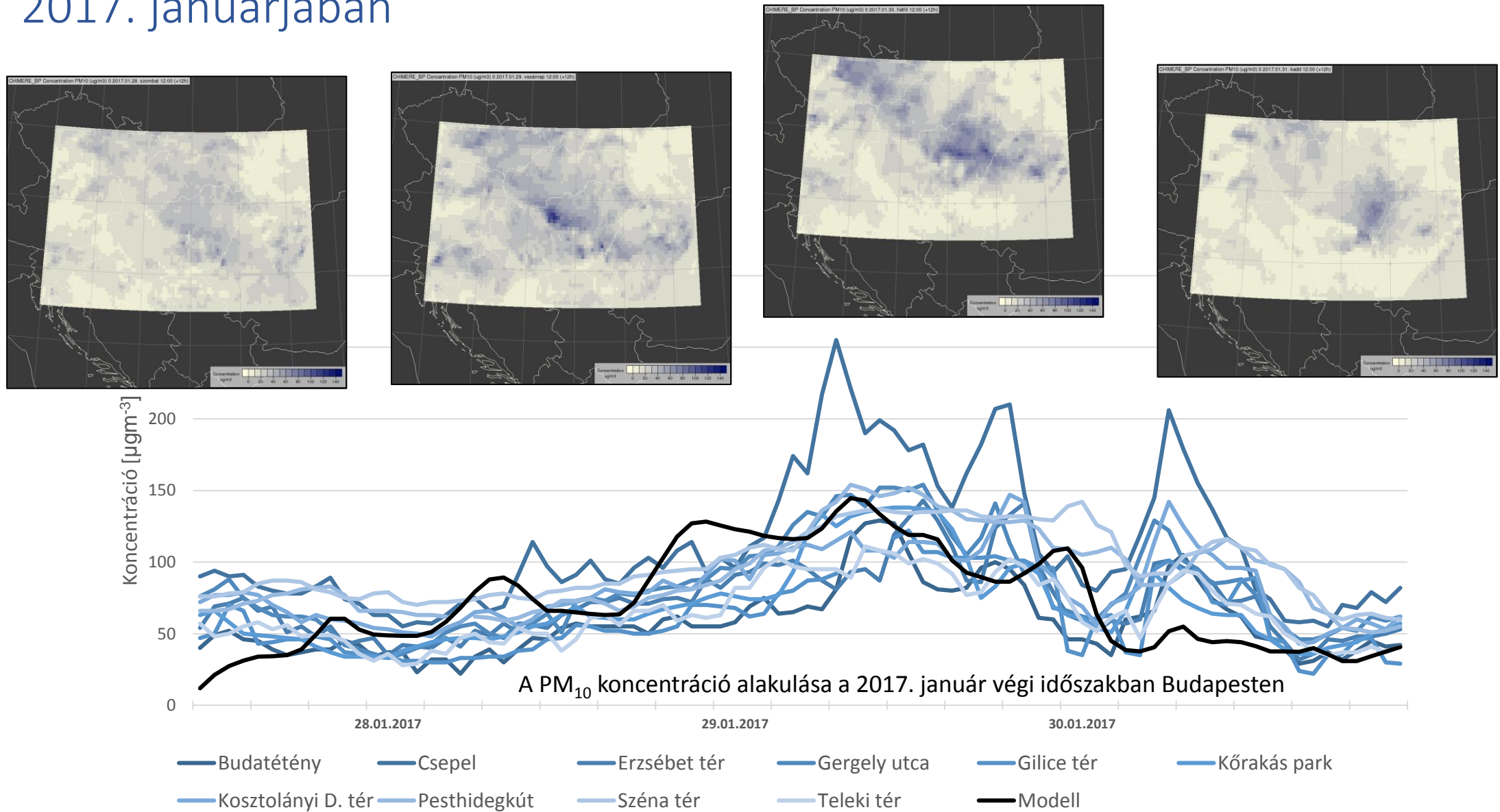


# Esettanulmány – szmoghelyzet a Sajó-völgyben 2017. januárjában

- Speciális meteorológiai helyzet – hideg légpárna
  - $-10^{\circ}\text{C}$  alá süllyedő hőmérséklet
  - 150 m alatti planetáris határrétegmagasság
  - Kis szélesebesség
- Határértéket meghaladó  $\text{PM}_{10}$  koncentrációk országszerte
- Különösen magas értékek január 31-én a keleti országrészben ( $>500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

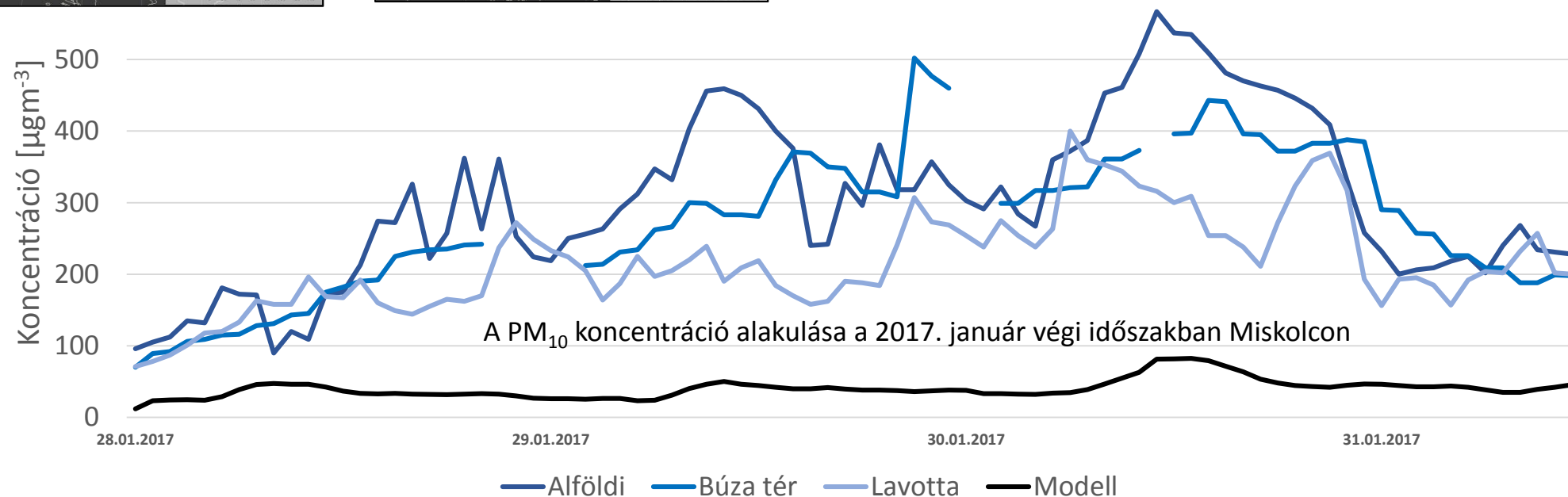
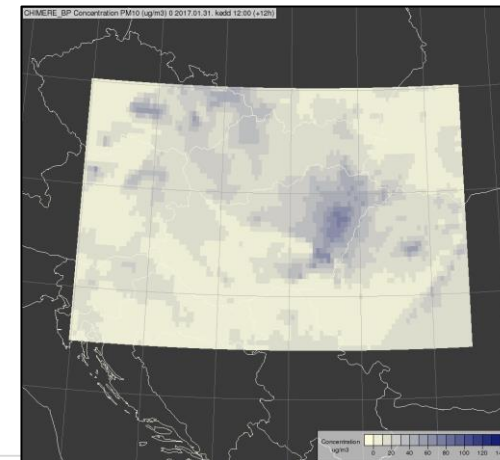
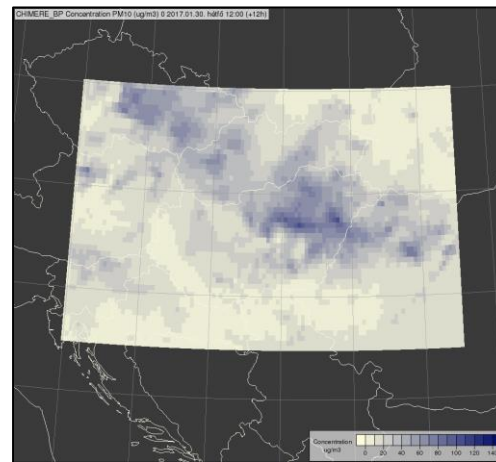
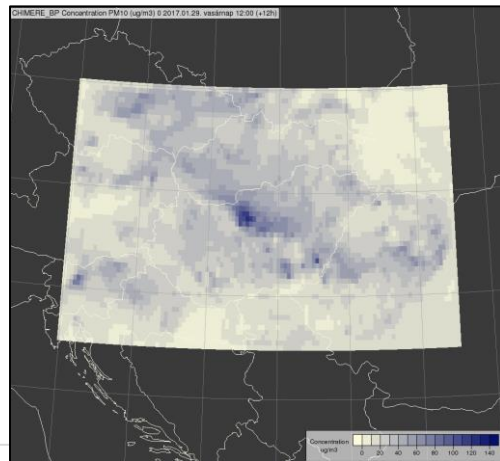
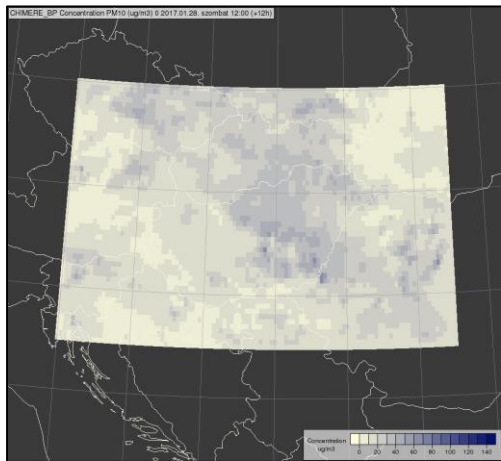


# Esettanulmány – szmoghelyzet a Sajó-völgyben 2017. januárjában



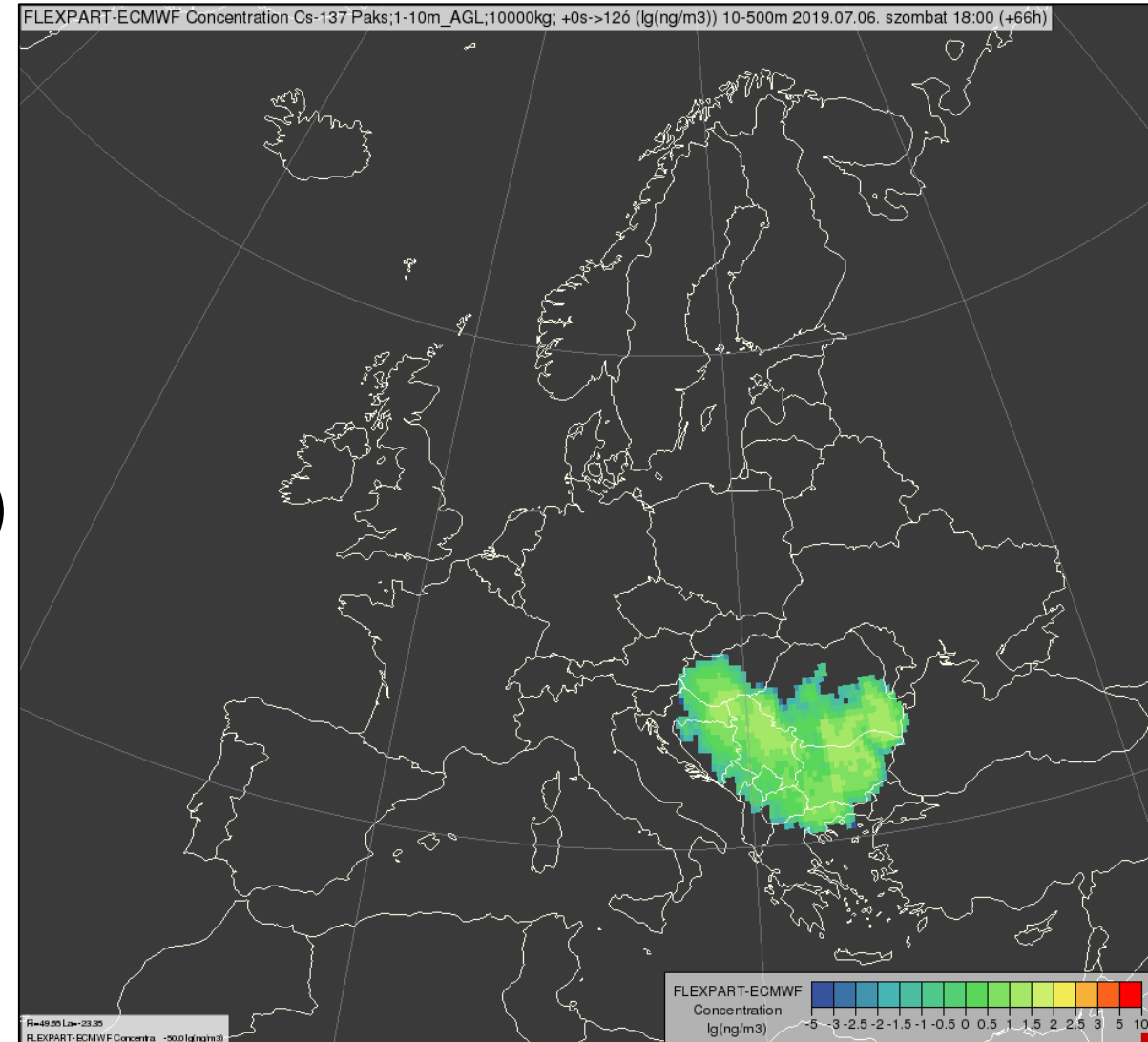


# Esettanulmány – szmoghelyzet a Sajó-völgyben 2017. januárjában

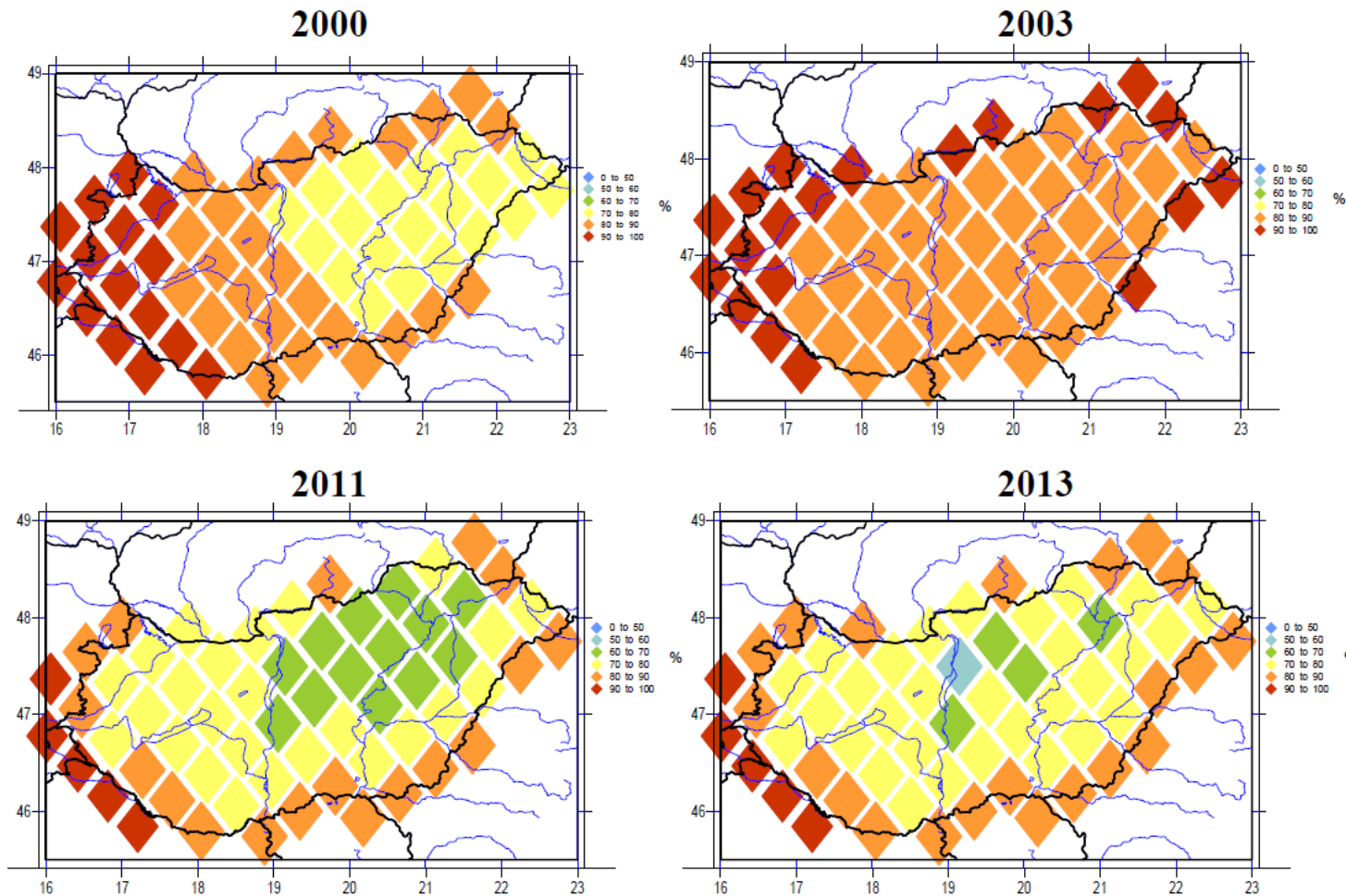


# Pontforrásból történő lokális kibocsátás követése – FLEXPART

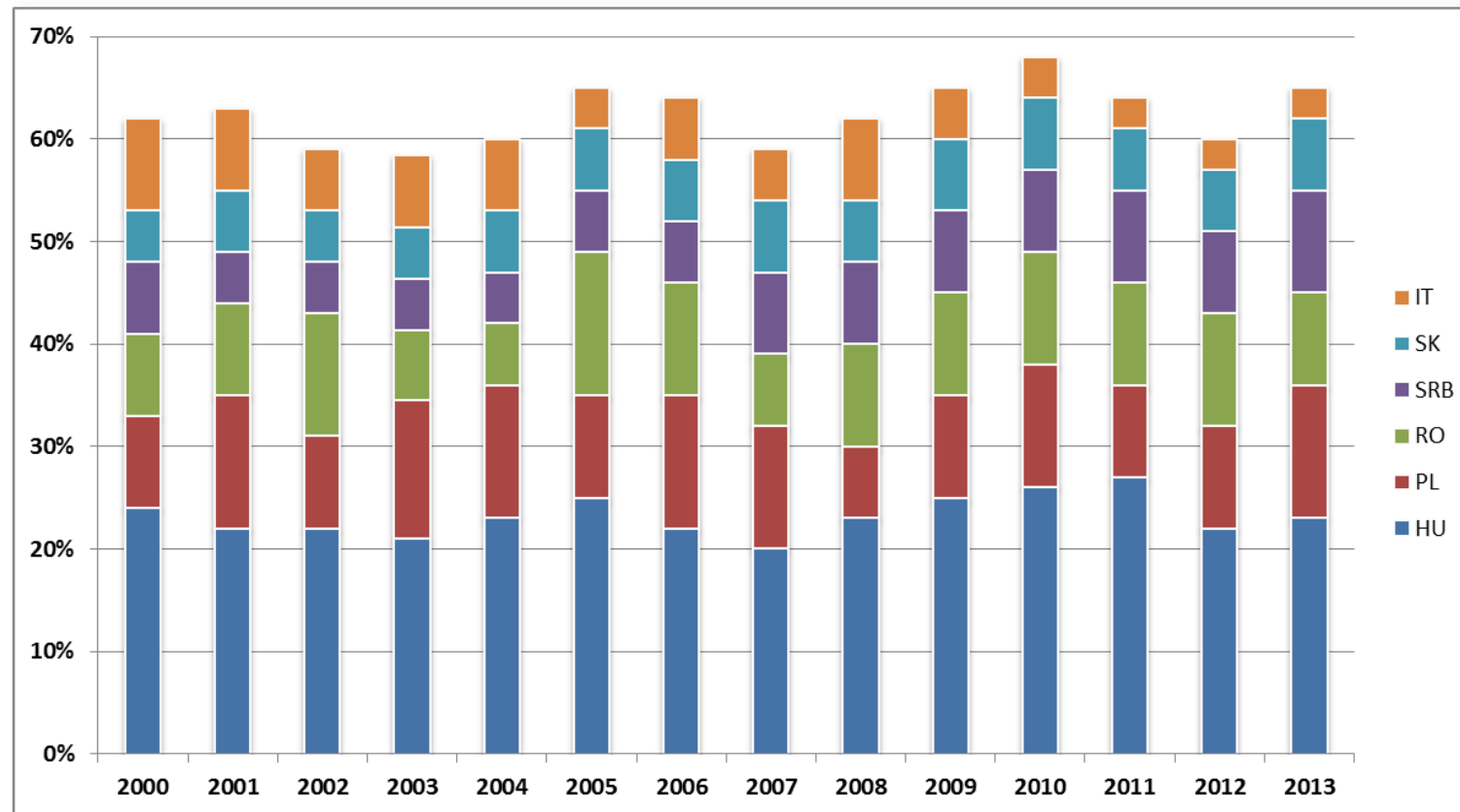
- Baleseti modellezés – pl. atomerőművek...
- FLEXPART: részecske modell
- OMSZ: operatív – napi 2 futás
- Pontforrás: Paks
- Izotópok:  $\text{Cs}^{137}$ ,  $\text{I}_2^{131}$  (gáz) és  $\text{I}^{131}$ (részecske)
- Szimuláció 96 órára



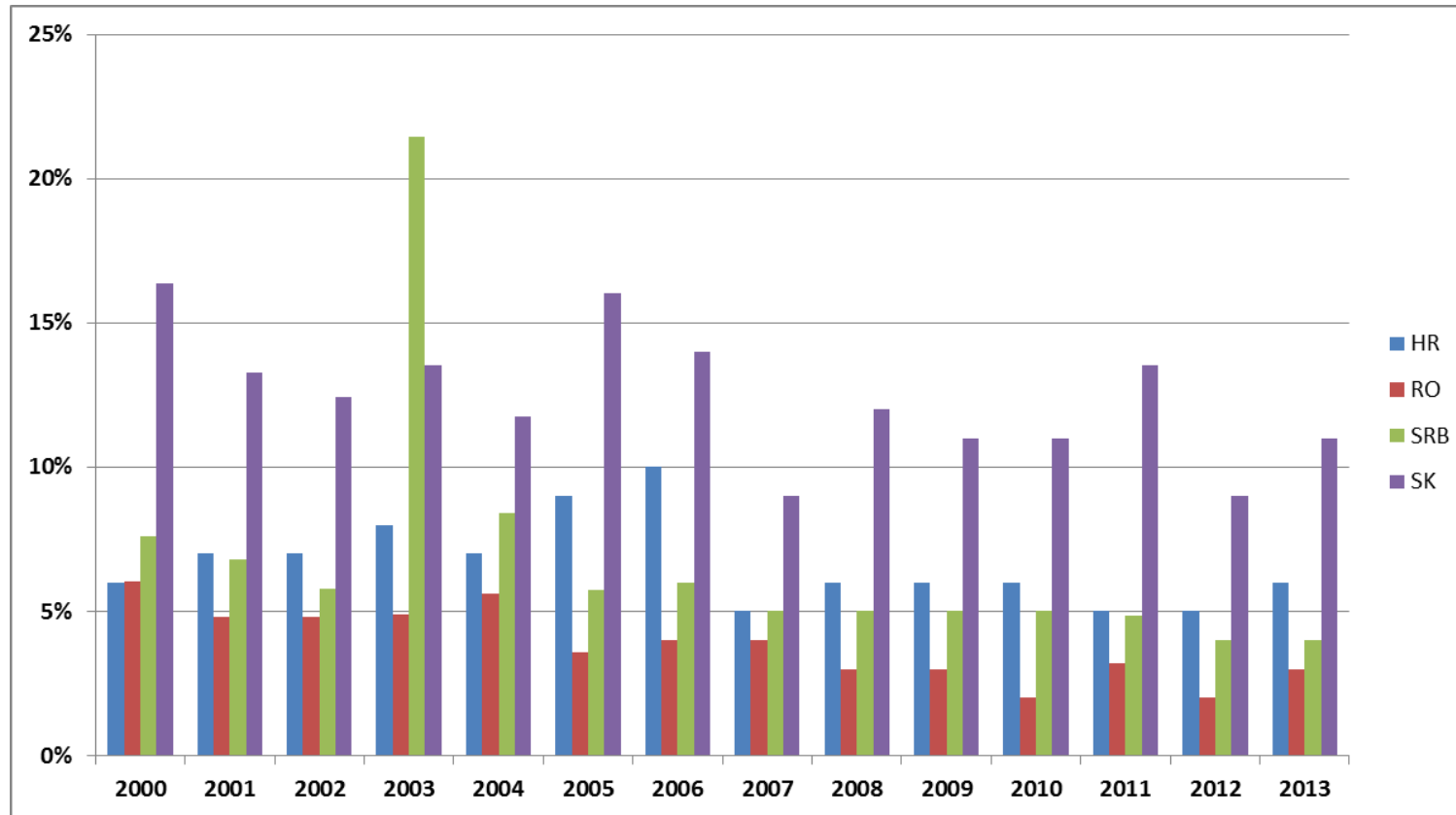
# A nagytávolságú transzport hozzájárulásának aránya a magyarországi PM<sub>10</sub> szennyezettséghez



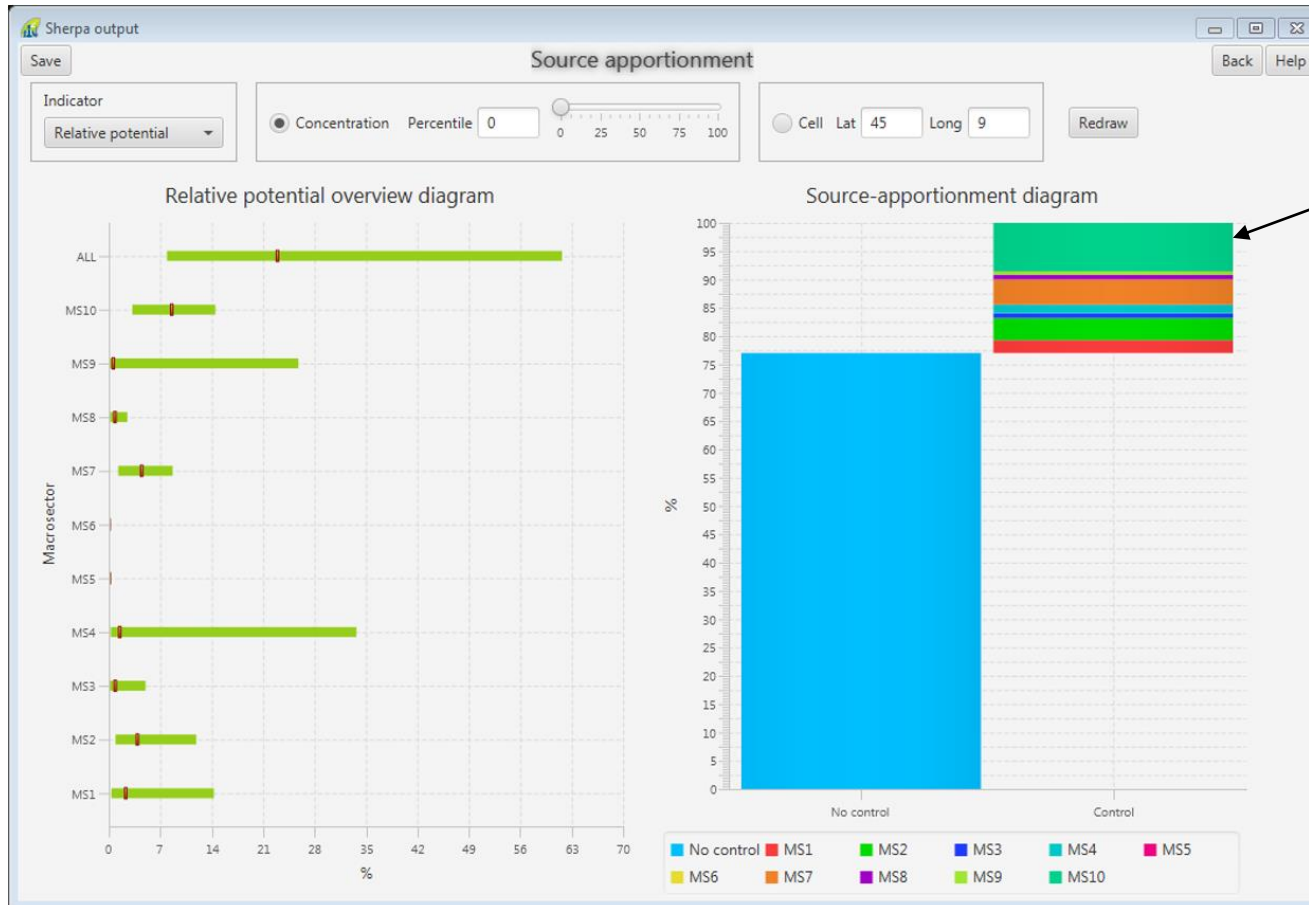
# Az egyes országok százalékos hozzájárulása a magyarországi PM<sub>2.5</sub> szennyezethez



# Magyarország százalékos hozzájárulása a környező országok PM<sub>2.5</sub> légszennyezettségi viszonyaihoz



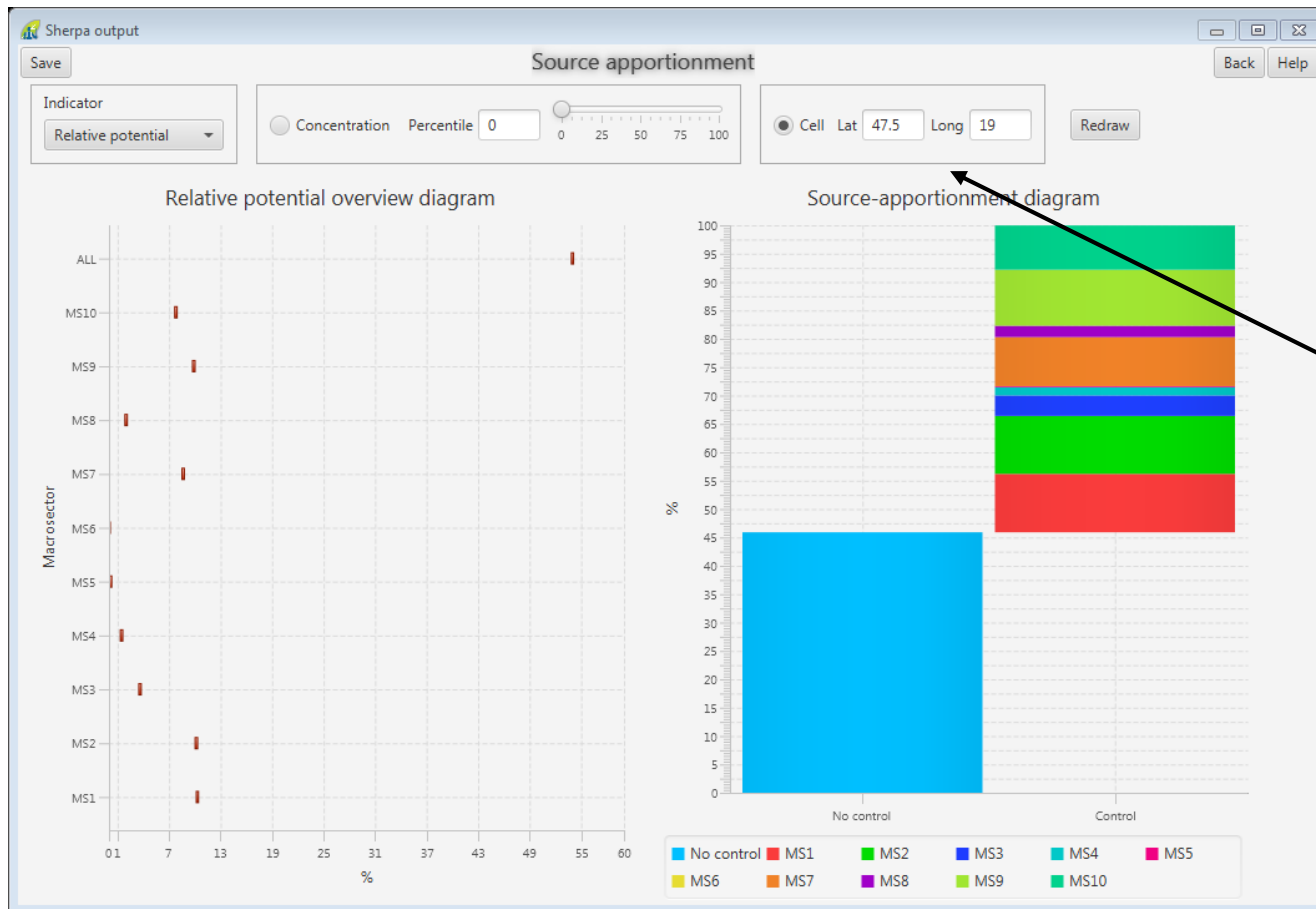
# Magyarország PM<sub>10</sub> szennyezettségét meghatározó források azonosítása



*mezőgazdaság*

|             |  |
|-------------|--|
| <b>MS1</b>  | Energiapiari tüzelés   |
| <b>MS2</b>  | Nem ipari tüzelés (pl. épületek energiafelhasználása)                    |
| <b>MS3</b>  | Feldolgozóipari tüzelés  |
| <b>MS4</b>  | Termelési folyamatok   |
| <b>MS5</b>  | Fosszilis tüzelőanyagok és geotermikus energia kinyerése és elszállítása |
| <b>MS6</b>  | Oldószeres és egyéb termékek felhasználása                               |
| <b>MS7</b>  | Közúti szállítás   |
| <b>MS8</b>  | Egyéb mobil források és gépek  |
| <b>MS9</b>  | Hulladékkezelés  |
| <b>MS10</b> | Mezőgazdaság   |

# Budapest PM<sub>10</sub> szennyezettségét meghatározó források azonosítása

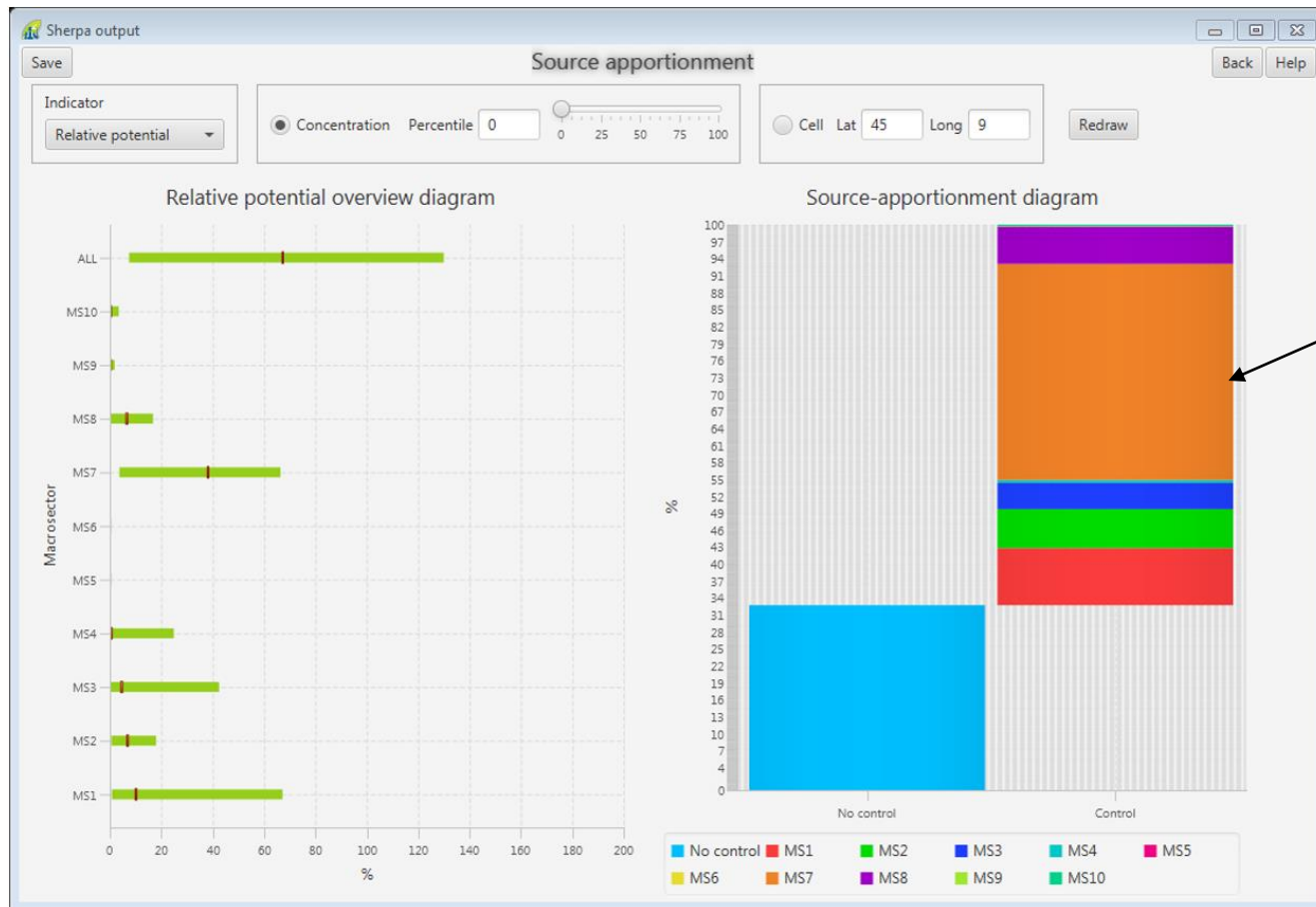


*Budapest cella kijelölve*

|             |  |
|-------------|--|
| <b>MS1</b>  | Energiipari tüzelés  |
| <b>MS2</b>  | Nem ipari tüzelés (pl. épületek energiafelhasználása)                    |
| <b>MS3</b>  | Feldolgozóipari tüzelés  |
| <b>MS4</b>  | Termelési folyamatok   |
| <b>MS5</b>  | Fosszilis tüzelőanyagok és geotermikus energia kinyerése és elszállítása |
| <b>MS6</b>  | Oldószerek és egyéb termékek felhasználása                               |
| <b>MS7</b>  | Közúti szállítás   |
| <b>MS8</b>  | Egyéb mobil források és gépek  |
| <b>MS9</b>  | Hulladékkezelés  |
| <b>MS10</b> | Mezőgazdaság   |



# Magyarország NO<sub>2</sub> szennyezetttségét meghatározó források azonosítása



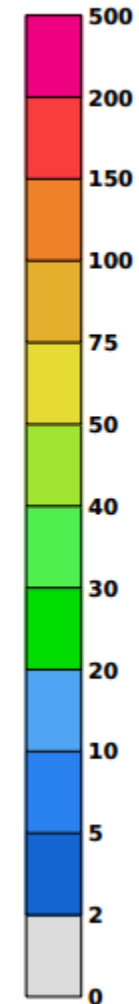
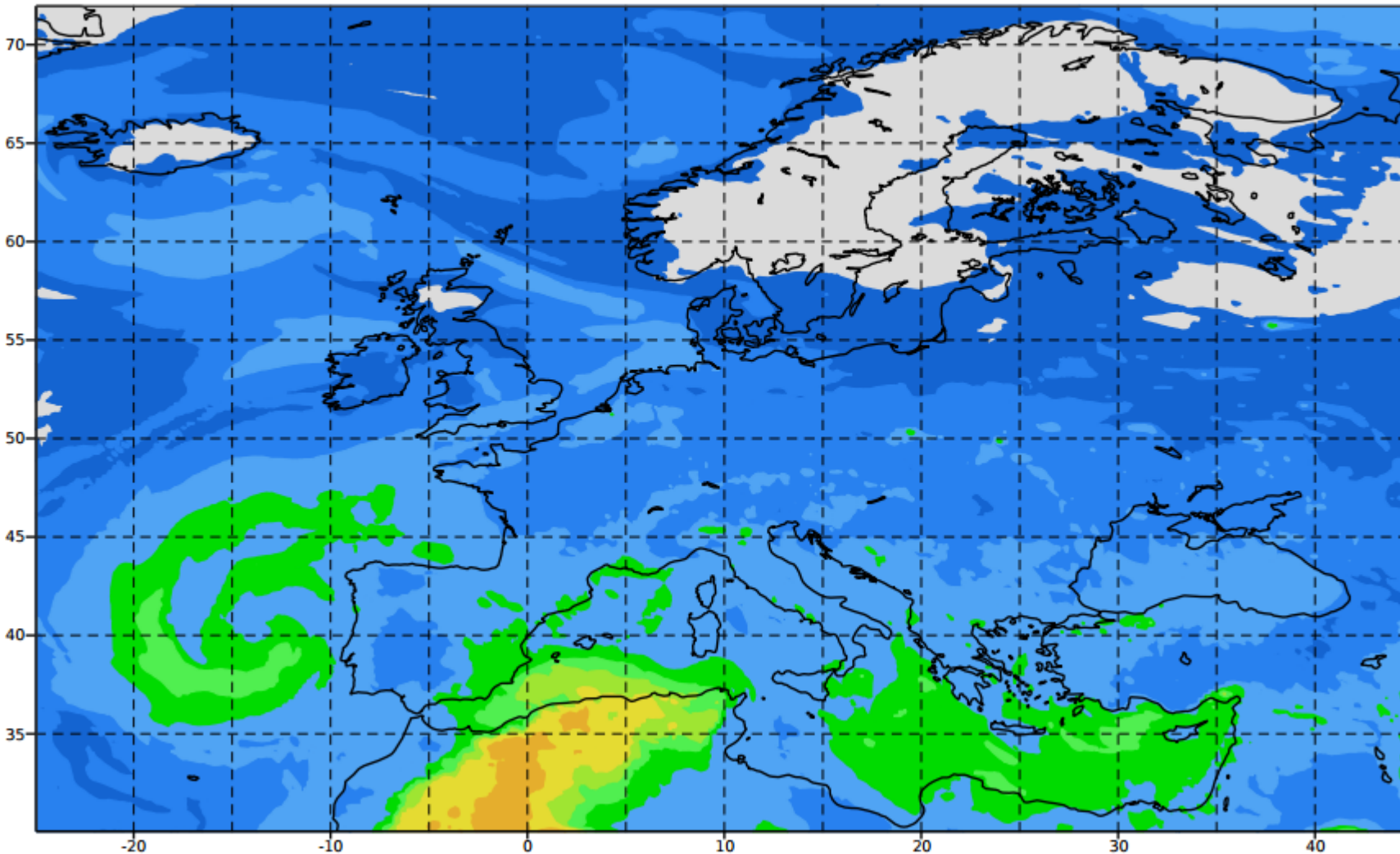
*közlekedés*

|      |  |
|------|--|
| MS1  | Energiipari tüzelés  |
| MS2  | Nem ipari tüzelés (pl. épületek energiafelhasználása)                    |
| MS3  | Feldolgozóipari tüzelés  |
| MS4  | Termelési folyamatok   |
| MS5  | Fosszilis tüzelőanyagok és geotermikus energia kinyerése és elszállítása |
| MS6  | Oldószerek és egyéb termékek felhasználása                               |
| MS7  | Közúti szállítás   |
| MS8  | Egyéb mobil források és gépek  |
| MS9  | Hulladékkezelés  |
| MS10 | Mezőgazdaság   |



# CAMS: Copernicus Atmosphere Monitoring Service

Wednesday 03 July 2019 00UTC CAMS Forecast t+049 VT: Friday 05 July 2019 01UTC  
Model: ENSEMBLE Height level: Surface Parameter: PM10 Aerosol [  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ]



Köszönöm a figyelmet!