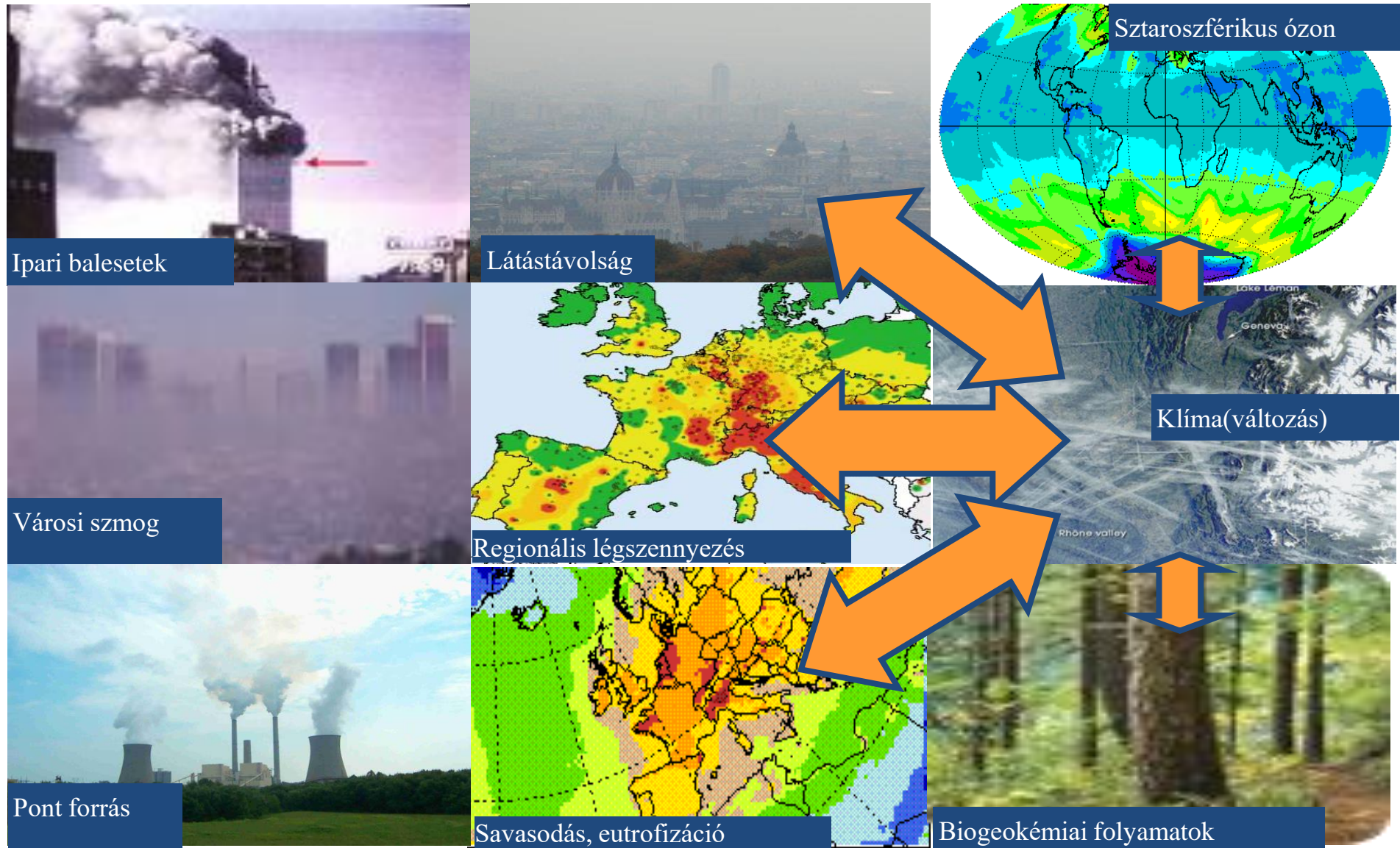


Levegőminőségi vizsgálatok új megközelítése: kémiai transzport modellezés

Ferenczi Zita
Modellezési Osztály



Levegőminőségi problémák



LOKÁLIS
< 100 km

REGIONÁLIS
100-1000 km

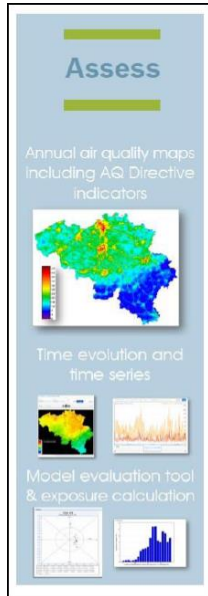
GLOBÁLIS SKÁLA
> 1000 km

Levegőminőségi problémák vizsgálata

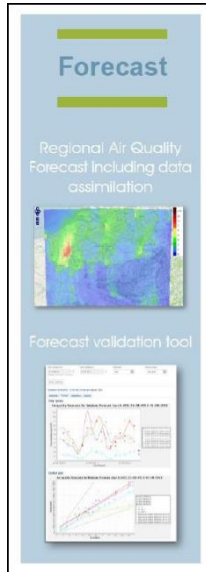
Mérés vagy modellezés?

- **Mérés:**
 - Pontos információt szolgáltat – amely azonban csak a mérési pont környezetére nézve reprezentatív
 - kritikus pont: térbeli reprezentativitás
- **Modellezés:**
 - Olyan területek levegőminősége is vizsgálható, ahol nincs mérőállomás (térbeli lefedettség növelése)
 - A modellekkel levegőminőség előrejelzés készíthető
 - A modellekkel a források hatásait komplexen vizsgálhatjuk
 - Mérési pontok száma optimalizálható
 - kritikus pont: megbízható rácsponti emissziós adatok
- **Jó gyakorlat (good practice):**
 - a két módszer eredményeinek kombinálása
 - pl. RIO szoftver: modell + mérés

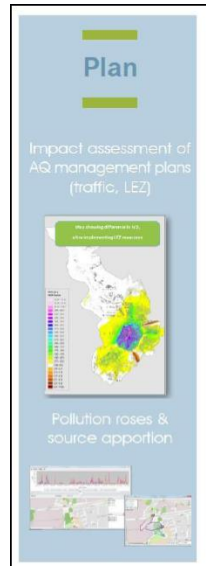
Mire lehet használni a levegőminőségi modelleket?



- Az aktuális levegőminőségi helyzet felmérése, **értékelése**



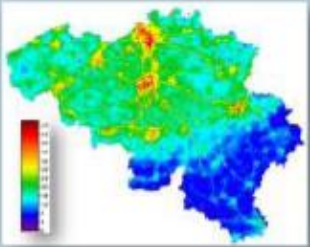
- Levegőminőség **előrejelzése**



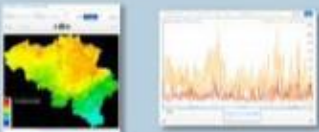
- Levegőminőség **tervezése**

Assess

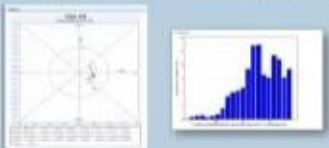
Annual air quality maps
including AQ Directive
indicators



Time evolution and
time series



Model evaluation tool
& exposure calculation

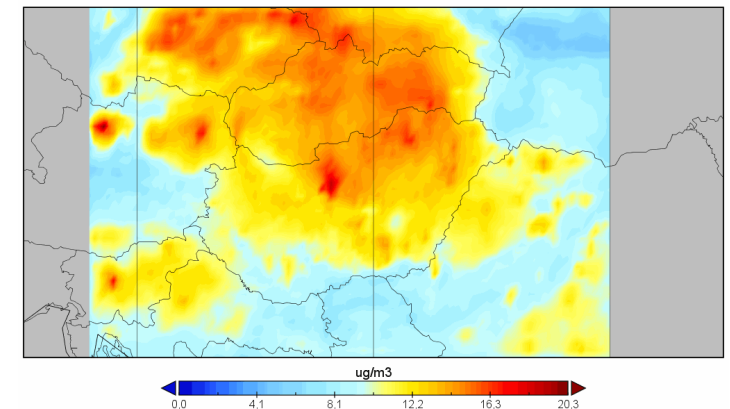


Levegőminőség - Értékelés

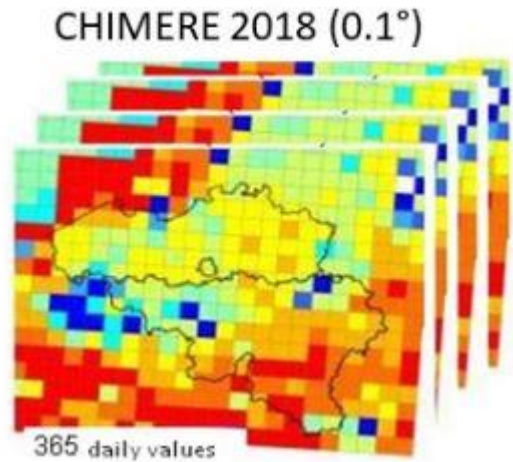
Kialakult levegőminőségi helyzet értékelése:

- EU ill. hazai határértékek függvényében a levegőminőségi helyzet értékelése
- A rossz levegőminőség által érintett lakosság szám meghatározása, negatív egészségügyi hatások feltérképezése
- Források azonosítása, hozzájárulásuk mértékének meghatározása a kialakult légszennyezettséghez

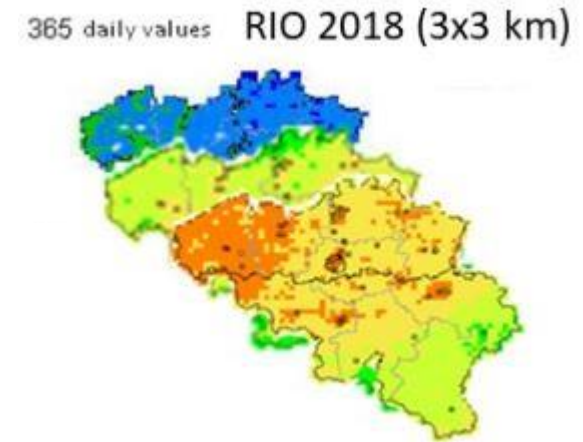
2018 éves átlag PM2.5



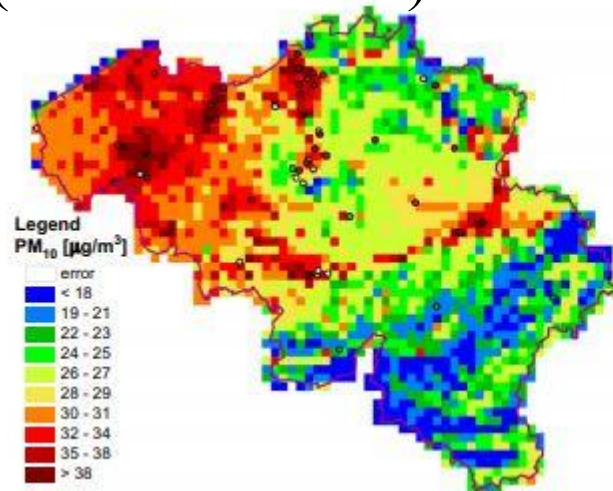
A két módszer (mérés + modellezés) kombinálása



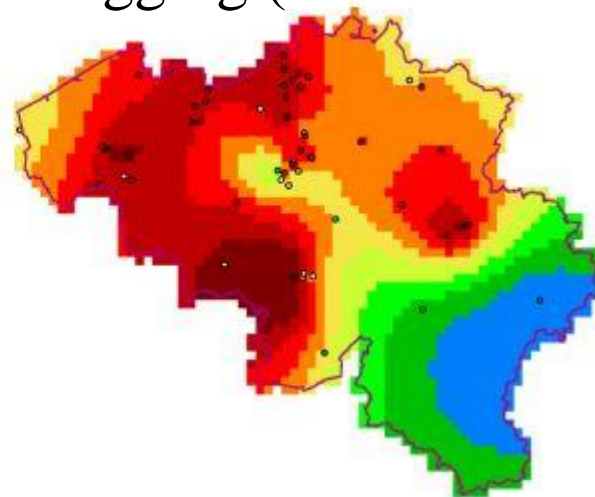
+ mérési adatok 2018-ra



RIO (mérés + modell)



Krigging (mérési adatok interpolálása)



Határértékek – hazai szabályozás

- Egészségügyi határérték: tartós egészségkárosodást nem okoz, és amelyet az emberi egészség védelme érdekében a jogszabályban meghatározott módon és időn belül be kell tartani. Elérése és túllépése veszélyes légszennyezettséget eredményez.
- Tájékoztatási küszöbérték: a légszennyezettségnek egyes légszennyező anyagok tekintetében a lakosság egyes érzékeny (gyermek, időskorú, beteg) csoportjaira megállapított szintje, amelynek túllépése esetén a lakosságot - Budapesten a Fővárosi Önkormányzatnak - tájékoztatni kell. Elérése és túllépése enyhébb intézkedéseket jelentő, tájékoztatási fokozatú szmoghelyzetet eredményez.
- Riasztási küszöbérték: a légszennyezettség azon szintje, amelynek rövid idejű túllépése is veszélyeztetheti az emberi egészséget, és amelynél azonnali beavatkozást kell tenni. Elérése és túllépése forgalomkorlátozással járó intézkedéseket jelentő, riasztási fokozatú szmoghelyzetet eredményez.

| [µg/m ³ | Egészségügyi határérték | Tájékoztatási küszöbérték | Riasztási küszöbérték | Az eü. határértéktúllépésének évenként tűrhető esetszáma | Éves átlag határértéke |
|---------------------------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------|------------------------|
| Nitrogén-dioxid (órás átlag) | 100 | 350 | 400 | 18 | 40 |
| Kén-dioxid (órás átlag) | 250 | 400 | 500 | 24 | 50 |
| Ózon (órás átlag) | - | 180 | 240 | - | - |
| Ózon (8 órás mozgóátlagok napi maximuma) | 120 | - | - | 80* | - |
| Kisméretű részecske szennyezés (napi átlag) | 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

Levegőminőségi index (Air Quality Index - AQI)

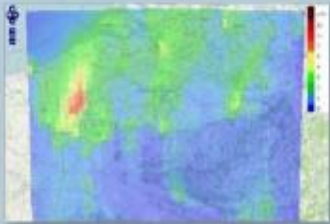
- Az index meghatározása az óránként beérkezett friss levegőminőségi adatokból történik.
- Értéke 5 kulcsfontosságú szennyezőanyag koncentrációjára van meghatározva, ezzel jellemezzük adott állomás aktuális levegőszennyezettségi állapotát.
- Az index ahhoz a szennyezőanyaghoz tartozó értéket kapja meg, amelynek koncentrációja az adott pillanatban a saját határértékéhez képest a legmagasabb.

| <u>Szennyezőanyag</u> | <u>Levegőtisztasági szint*</u> | | | | | |
|-----------------------|--------------------------------|-----------|-------------|-------------|--------------------|--------------------------|
| | Kiváló | Megfelelő | Elfogadható | Szennyezett | Erősen szennyezett | Extrém módon szennyezett |
| PM _{2,5} | 0–10 | 10–20 | 20–25 | 25–50 | 50–75 | 75–800 |
| PM ₁₀ | 0–20 | 20–40 | 40–50 | 50–100 | 100–150 | 150–1200 |
| NO ₂ | 0–40 | 40–90 | 90–120 | 120–230 | 230–340 | 340–1000 |
| O ₃ | 0–50 | 50–100 | 100–130 | 130–240 | 240–380 | 380–800 |
| SO ₂ | 0–100 | 100–200 | 200–350 | 350–500 | 500–750 | 750–1250 |

*(a szennyezőanyagok koncentrációja [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] alapján)

Forecast

Regional Air Quality
Forecast including data
assimilation



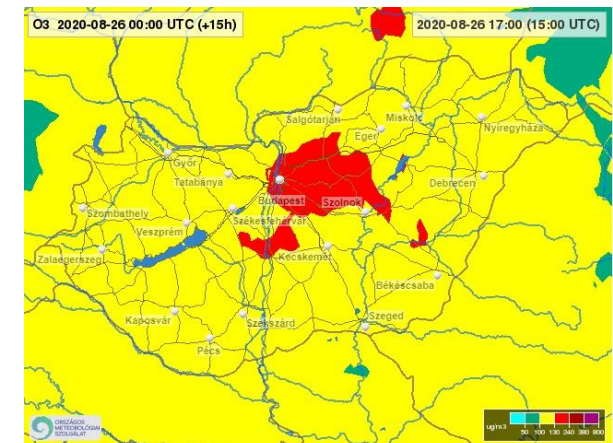
Forecast validation tool

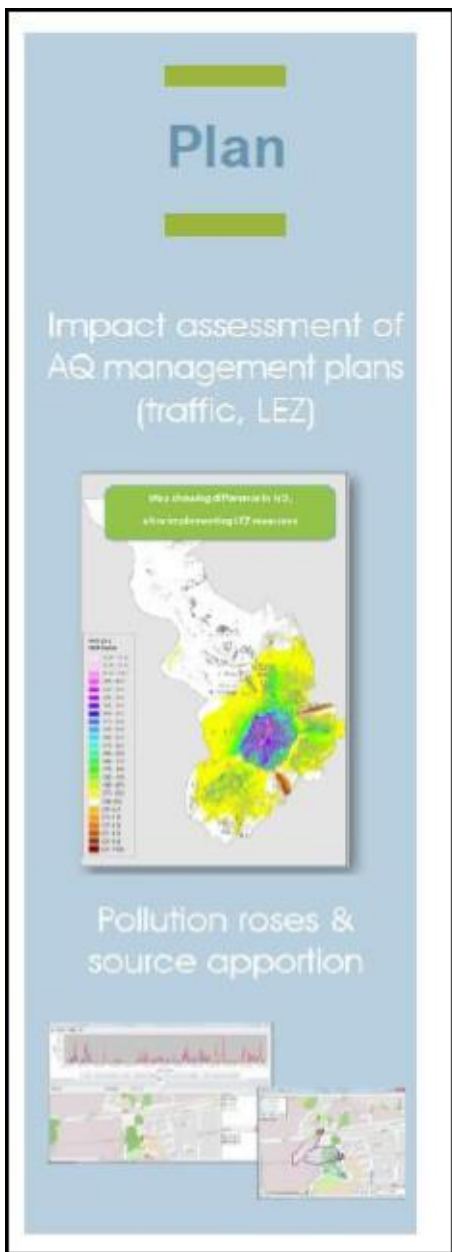


Levegőminőség - Előrejelzés

Levegőminőség előrejelzés:

- Cél a lakosság tájékoztatása a levegőminőség várható alakulásáról (rossz levegőminőség várható kialakulása, lesz-e határérték túllépés?)
- Levegőminőség javítását célzó intézkedések várható hatásának előrejelzése

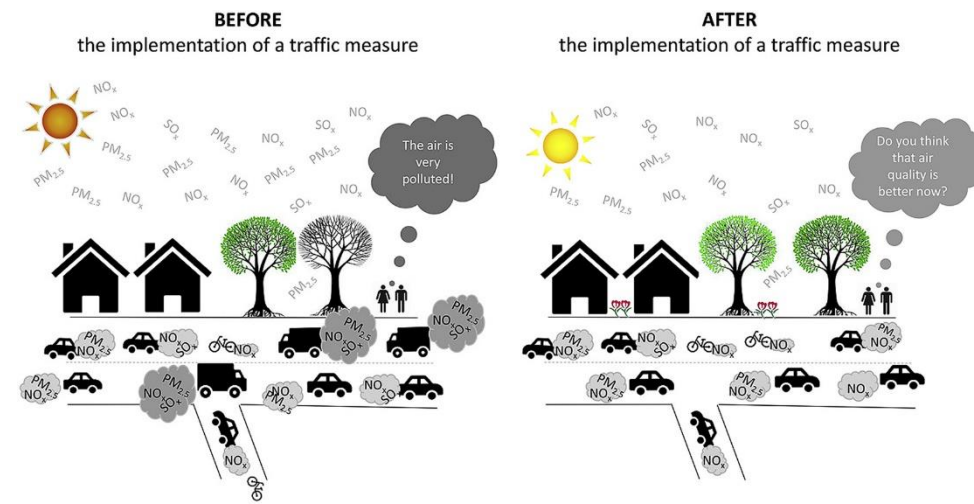




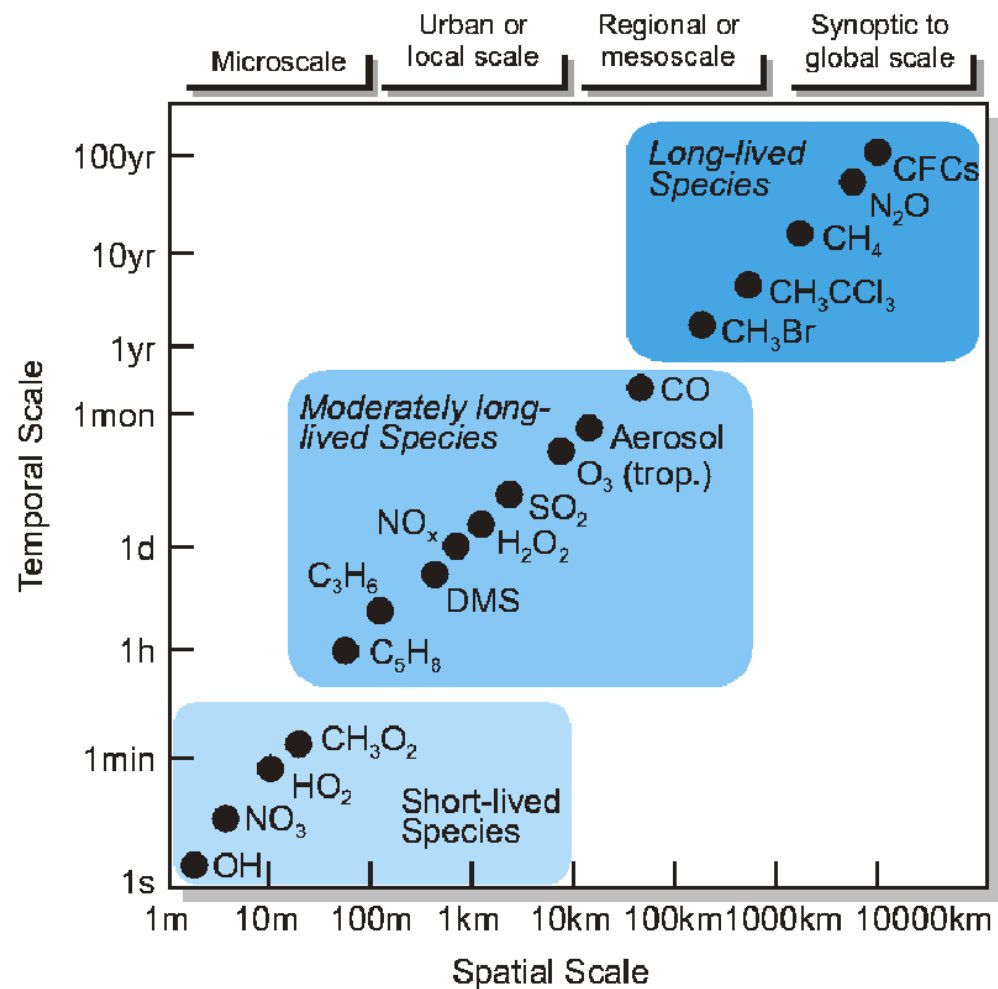
Levegőminőség - Tervezés

Levegőminőség tervezése:

- Szennyezőanyag kibocsátás mérséklésének elősegítésére lehetséges intézkedések azonosítása
- Kibocsátás csökkentési forgatókönyvek kidolgozása
- légszennyezettség-csökkentési intézkedési programok
 - Országos szint: Országos Levegőterhelés-csökkentési Program
 - Települési (városi szint) szint: Levegőminőségi Tervek

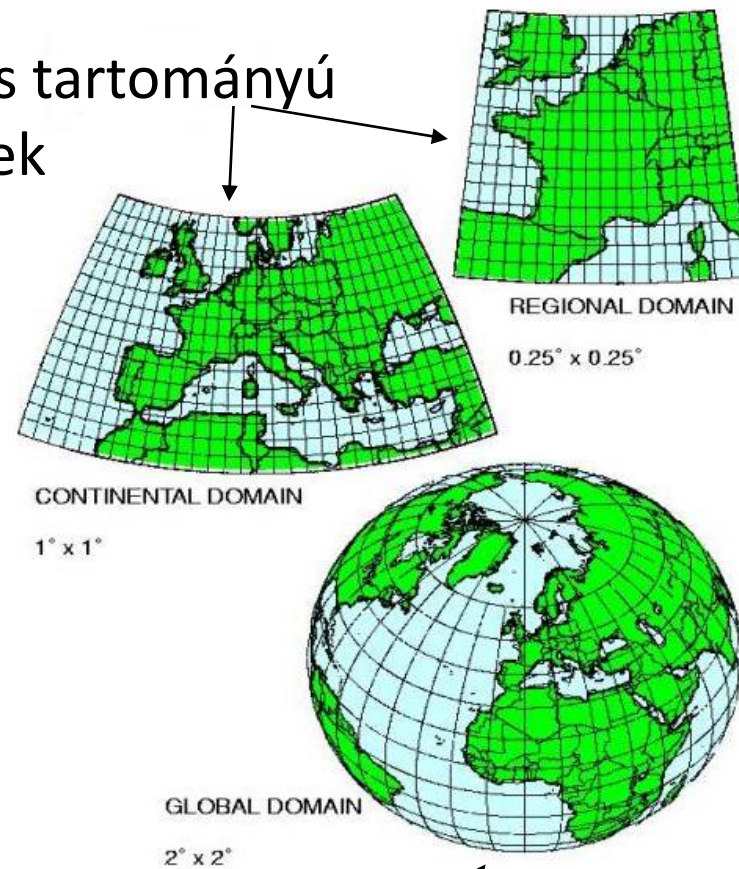


Tér és időskálák



Seinfeld and Pandis [1998]

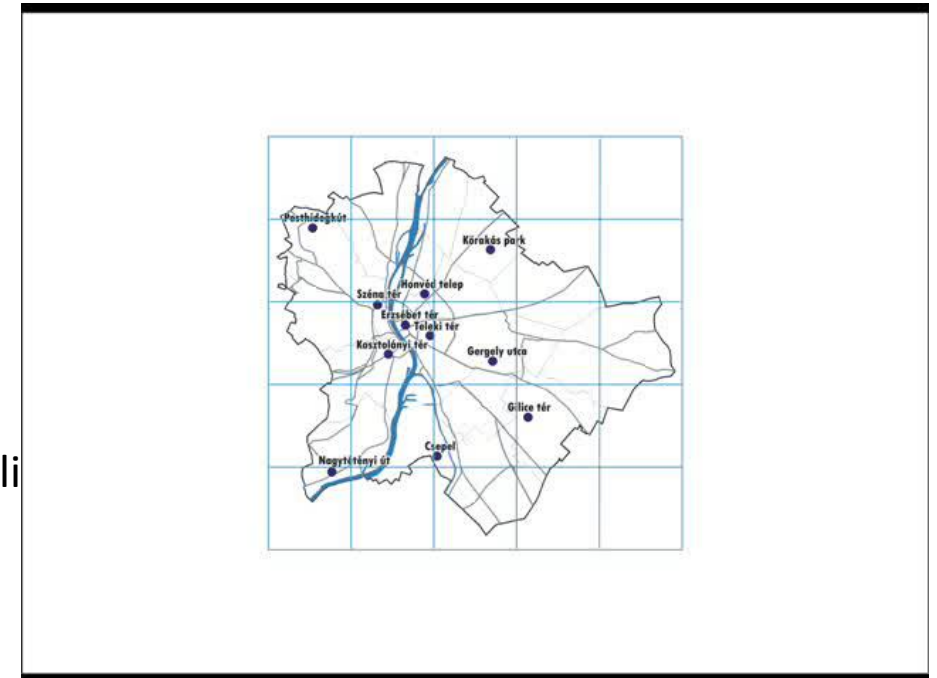
Korlátos tartományú modellek



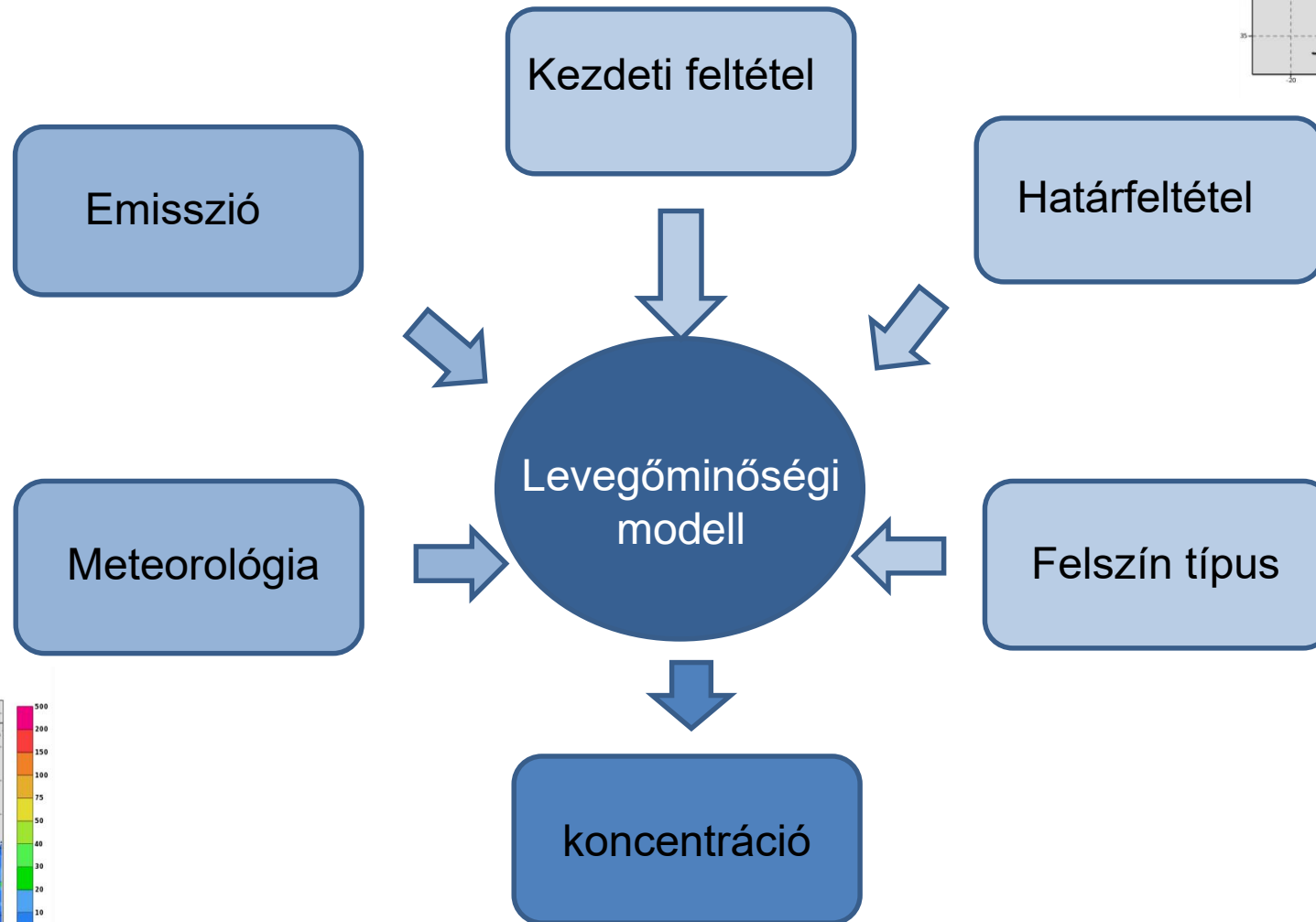
Globális modellek

Kémiai transzport modellek

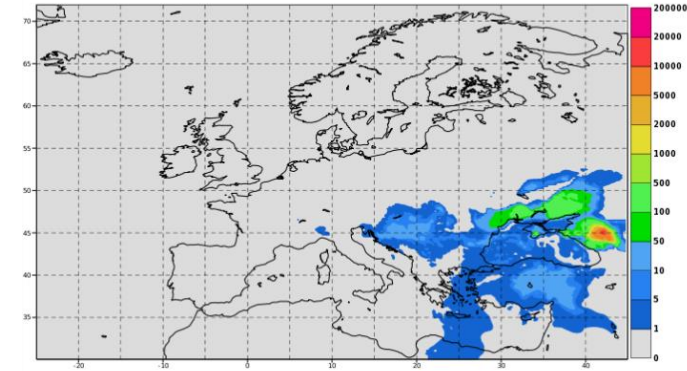
- A kémiai transzport modellek a légszennyezőanyagok térbeli és időbeli eloszlását határozzák meg
 - légkörben lezajló fizikai és kémiai folyamatok leírása differenciálegyenletekkel
 - differenciál egyenletek megoldása numerikus sémák alkalmazásával
- Figyelembe vett legfontosabb folyamatok:
 - az advekció,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



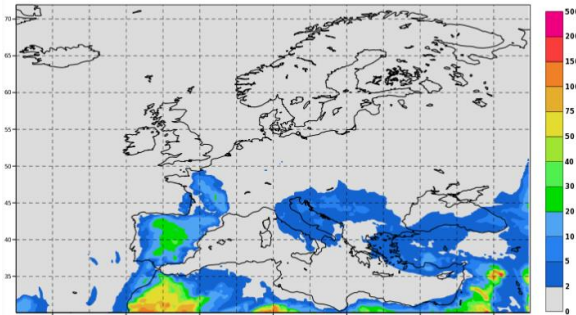
Levegőminőségi modellek felépítése



Wednesday 12 August 2020 00UTC CAM5 Forecast t+005 VT: Wednesday 12 August 2020 05UTC
Model: ENSEMBLE Height level: Surface Parameter: Ragweed Pollen Grain [grains/m3]



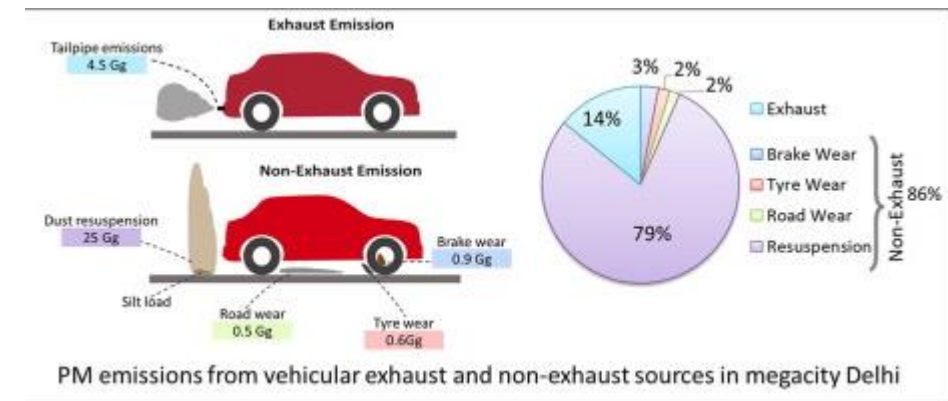
Friday 07 August 2020 00UTC CAM5 Forecast t+045 VT: Saturday 08 August 2020 21UTC
Model: ENSEMBLE Height level: Surface Parameter: Dust dry [µg/m3]



Input adatok: Emisszió - kibocsátás



- **Emisszió:** adott légszennyező forrásból időegység alatt kijutó szennyezőanyag mennyisége.
- Az emisszió lehet
 - antropogén eredetű (közlekedés, ipar, mezőgazdaság stb.)
 - szabadon elérhető adatbázisok (EMEP, TNO, CAMS...)
 - természetes eredetű (vulkánok, szaharai por stb.)
 - biogén (MEGAN modell)
 - ásványi, talaj eredetű részecskék
 - vulkánok, erdőtüzek
- **Reszuszpenzió:** a gépjármű forgalom és a szél által által felvert részecskék, amelynek során az egyszer már az útestre kiülepedett főként durva részecskék újra visszajutnak a légkörbe.



Emisszió - kibocsátás

- Emissziós adatbázisok:
 - Nemzeti totál - évente
 - Rácsponti: $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ (long-lat) földrajzi felbontás – 4 évente frissül
- Alap légszennyezőkre:
 - NO_x , SO_x , NH_3 , NMVOC, CO, $\text{PM}_{2.5}$, PM_{co} , (nehézfémek és POP-ok)
- Statikus adatbázis – éves összeg (Mg/év vagy kt/év)
 - a modellbe beépített függvényekkel tudjuk az emisszió időbeli változásait szimulálni (éves, évszakos, heti, napi menetek)



Emisszió – kibocsátási szektorok

GNFR (Gridded Nomenclature For Reporting) kódok:

SNAP (Selected Nomenclature for sources of Air Pollution Prototype) kódok:

| |
|--------------------------------------------------------------------------|
| Energiipari tüzelés |
| Nem ipari tüzelés (pl. épületek energiafelhasználása) |
| Feldolgozóipari tüzelés |
| Termelési folyamatok |
| Fosszilis tüzelőanyagok és geotermikus energia kinyerése és elszállítása |
| Oldószerek és egyéb termékek felhasználása |
| Közúti szállítás |
| Egyéb mobil források és gépek |
| Hulladékkezelés |
| Mezőgazdaság |

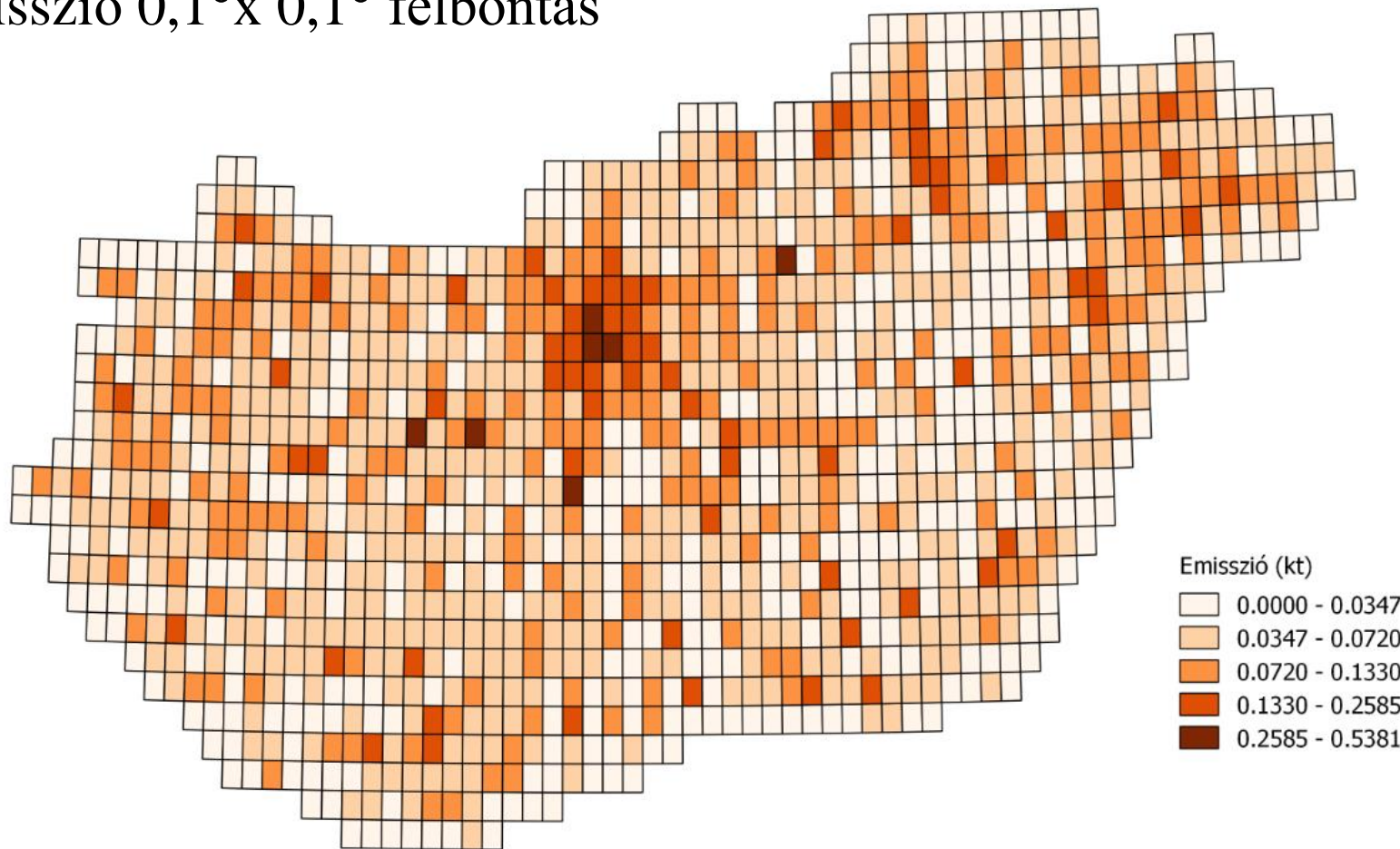


GNFR Sectors

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

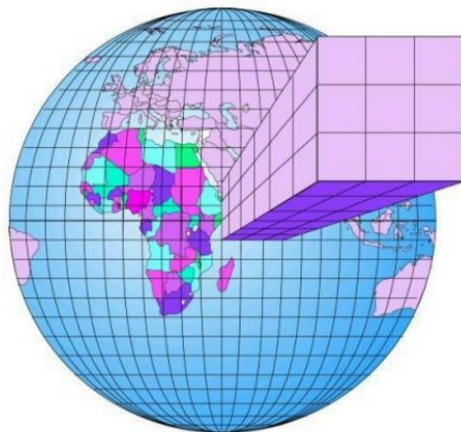
Magyarország rácsponti emissziós adatbázis - 2015

PM₁₀ emisszió 0,1°x 0,1° felbontás



Input adatok - Meteorológia

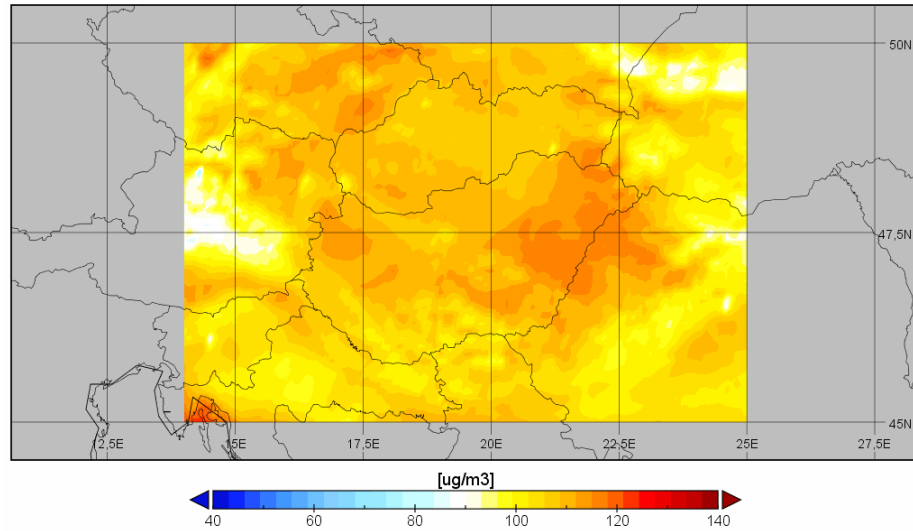
- Rácsponti meteorológiai adatok
 - Kémiai átalakulások, valamint a szennyezőanyag transzport és ülepedés szempontjából meghatározó meteorológiai paraméterek



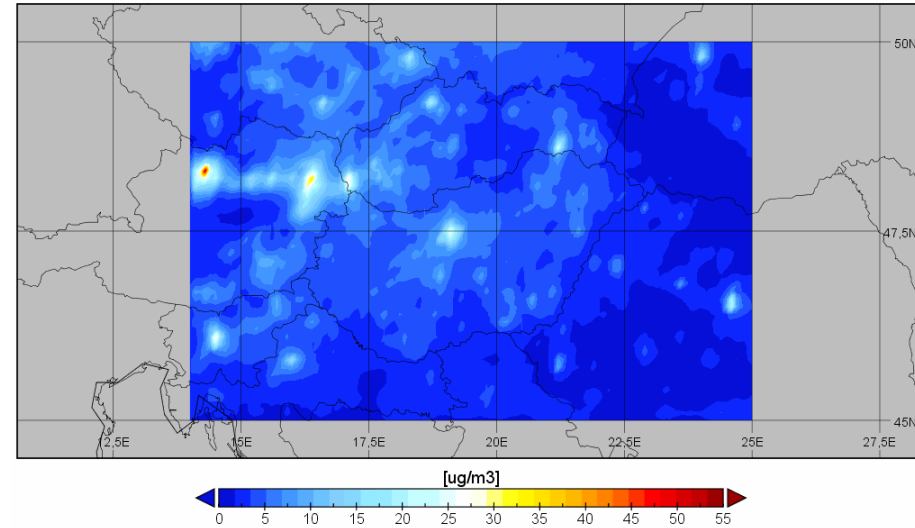
| Paraméter neve | dimenzió | Folyamat, amelynek leírásában felhasználjuk az adott meteorológiai paramétert |
|-----------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 3-D mezők: | | |
| Horizontális szélesség komponensek | ms-1 | Advekcio |
| Specifikus nedvesség | kg kg-1 | Kémiai reakciók, száraz ülepedés |
| Potenciális hőmérséklet | K | Kémiai reakciók, diffúzió |
| Csapadék | mm | száraz és nedves ülepedés |
| Felhő fedettség | % | Nedves ülepedés, fotolízis |
| Vertikális szél komponens | s-1 | Vertikális advekcio |
| Felfelé irányuló konvektív fluxus, | Kgm-2s-1 | Vertikális transzport, nedves ülepedés |
| Lefelé irányuló konvektív fluxus | Kgm-2s-1 | Vertikális transzport, nedves ülepedés |
| 2-D mezők- talajfelszínre: | | |
| Felszíni légnyomás | hPa | Levegő sűrűsége, vertikális szintek kijelölése |
| Hőmérséklet 2m-en | K | Száraz ülepedés, stabilitás |
| Felszíni szenzibilis hőfluxus | Wm-2 | Száraz ülepedés, stabilitás |
| Felszíni látens hőfluxus | Wm-2 | Száraz ülepedés |
| Momentum fluxus vagy | N m-2 vagy | Száraz ülepedés, stabilitás |
| Súrlódási sebesség | ms-1 | |
| Hó magasság | m | Száraz ülepedés |
| Jégborítottság aránya | % | Száraz ülepedés |
| Tengerfelszín hőmérséklete | K | Tengeri só |
| Szélesség 10m-en | ms-1 | Tengeri só |
| A felszín közeli rétegben a talaj víztartalma | - | Por emisszió |
| Gyökér zónában a talaj víztartalma | - | Száraz ülepedés |

Modell eredmények: térképek

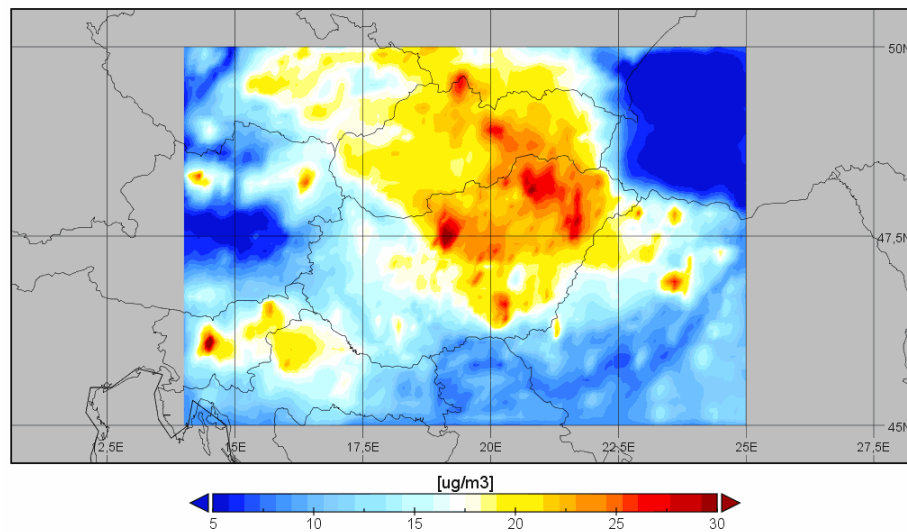
O3 Koncentráció - 2019 július



NO2 Koncentráció - 2019 szeptember

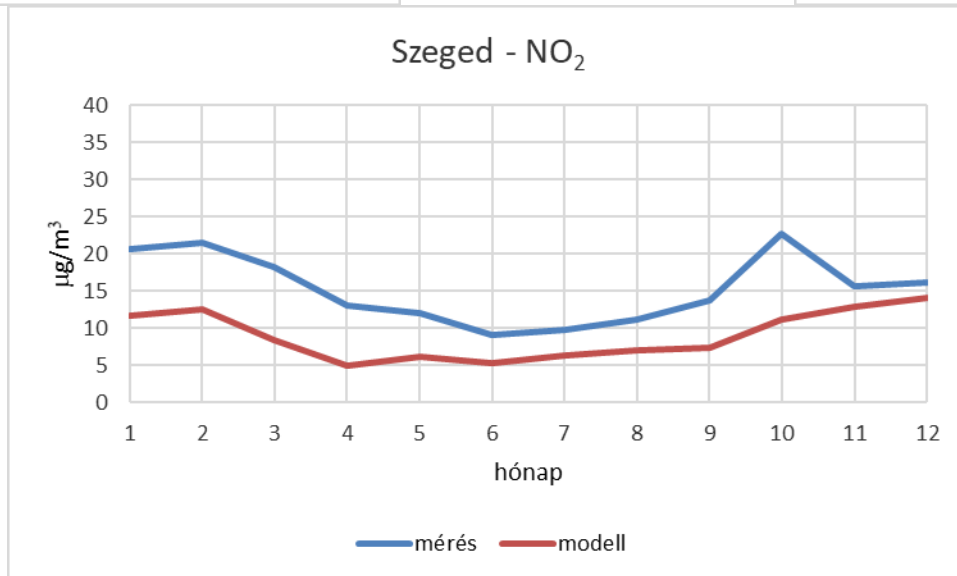
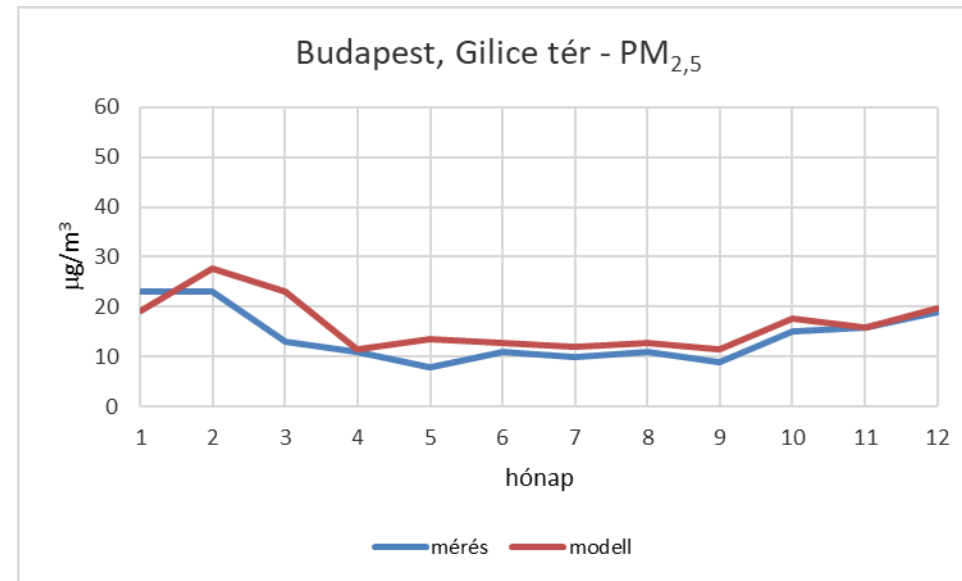
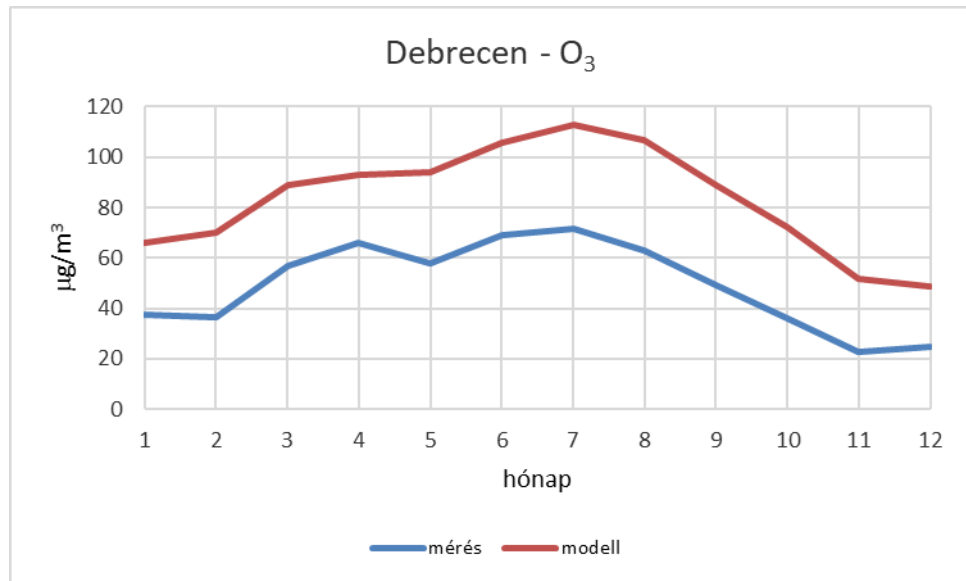


PM2,5 Koncentráció - 2019 február



Térkép: jó áttekintést ad a szennyező anyagok térbeli eloszlásáról. Segítségével adott vizsgált régióba az ún. hot spot-ok azonosíthatók.

Modell eredmények: térképek: grafikonok



Grafikon: jó áttekintést ad a szennyezőanyag időbeli változásáról egy meghatározott időszakon belül. Meg lehet határozni azt az időpontot/időszakot, amikor a legmagasabb koncentrációértékek várhatók.

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 modellek bizonytalansága összeadódik
- Helyről-helyre és időről időre változik a pontosság
- 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)

Hiteles tájékoztató portálok

- OMSZ: <https://www.met.hu/levegokornyezet/>



- EMEP: <https://emep.int/>



- CAMS: <https://atmosphere.copernicus.eu/>



- EEA: <https://www.eea.europa.eu/>



Web-en elérhető, egyszerűen használható programok

- Policy Support:
 - <https://policy.atmosphere.copernicus.eu/>
 - Különféle forgatókönyvek hatása
 - Forrásazonosítás Európa fővárosai esetében
- FAIRMODE: SHERPA
 - <https://aqm.jrc.ec.europa.eu/sherpa.aspx>
 - Regisztráció után letölthető a program
 - Egyszerű használat

Köszönöm a figyelmet!



„A természetnek nincs szüksége az emberre, az embernek van szüksége a természetre” *Harrison Ford, Global Climate Action Summi környezetvédelmi konferencián*