

# Levegőminőségi vizsgálatok új megközelítése: kémiai transzport modellezés

---

Összeállította: Ferenczi Zita

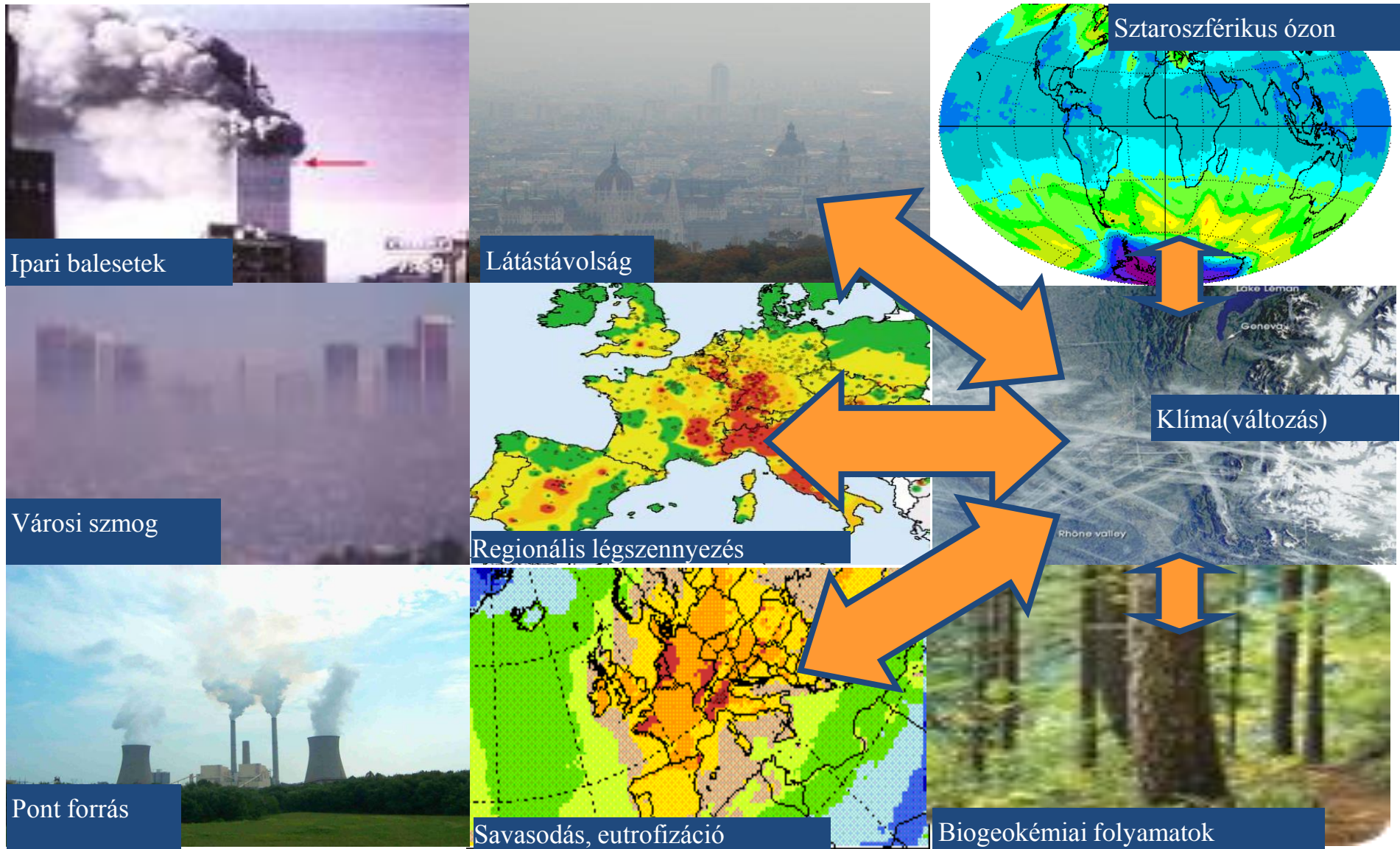
Előadó: Tóth Anita

Modellezési Osztály



ORSZÁGOS  
METEOROLÓGIAI  
SZOLGÁLAT  
1870-2020

# Levegőminőségi problémák



**LOKÁLIS**  
< 100 km

**REGIONÁLIS**  
100-1000 km

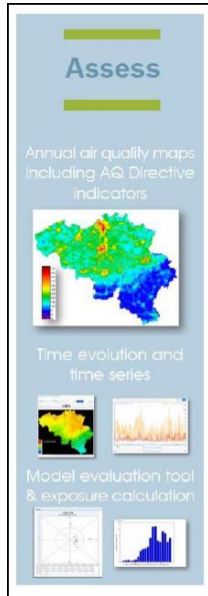
**GLOBÁLIS SKÁLA**  
> 1000 km

# Levegőminőségi problémák vizsgálata

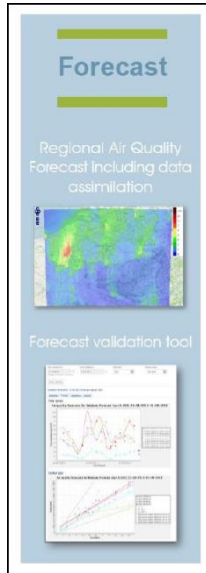
## Mérés vagy modellezés?

- **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

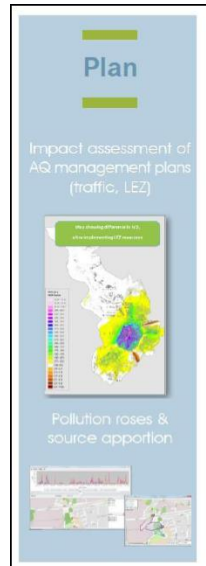
# Mire lehet használni a levegőminőségi modelleket?



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



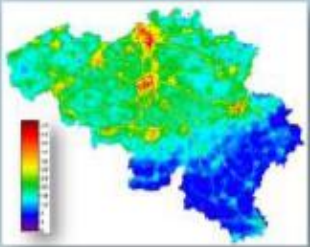
- Levegőminőség **előrejelzése**



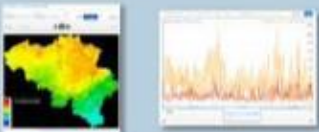
- Levegőminőség **tervezése**

## Assess

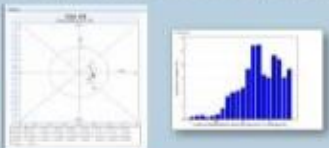
Annual air quality maps  
including AQ Directive  
indicators



Time evolution and  
time series



Model evaluation tool  
& exposure calculation

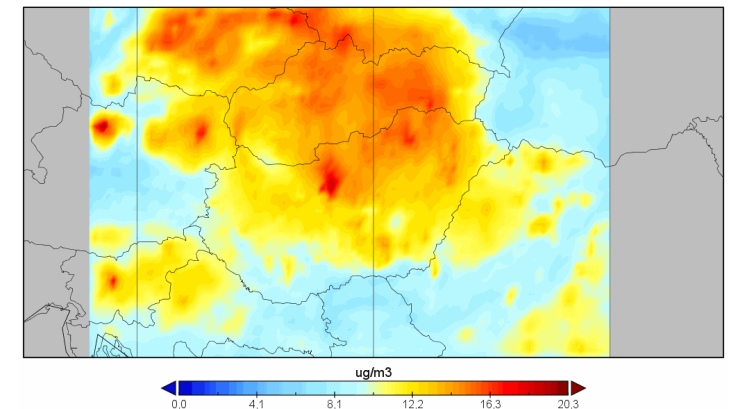


# Levegőminőség - Értékelés

## 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



# 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 <sup>3</sup>	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)

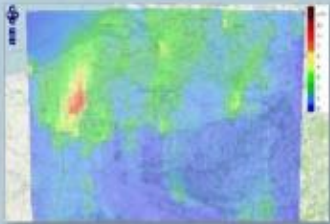
- Az index meghatározása az óránként beérkezett friss levegőminőségi adatokból történik.
- Értéke 5 kulcsfontosságú szennyezőanyag koncentrációjára van meghatározva, ezzel jellemezzük adott állomás aktuális levegőszennyezettségi állapotát.
- Az index ahhoz a szennyezőanyaghoz tartozó értéket kapja meg, 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 <sub>2,5</sub>	0–10	10–20	20–25	25–50	50–75	75–800
PM <sub>10</sub>	0–20	20–40	40–50	50–100	100–150	150–1200
NO <sub>2</sub>	0–40	40–90	90–120	120–230	230–340	340–1000
O <sub>3</sub>	0–50	50–100	100–130	130–240	240–380	380–800
SO <sub>2</sub>	0–100	100–200	200–350	350–500	500–750	750–1250

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

## Forecast

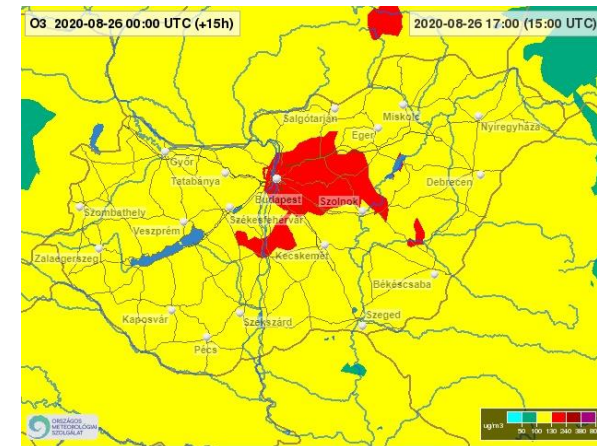
Regional Air Quality  
Forecast including data  
assimilation



Forecast validation tool



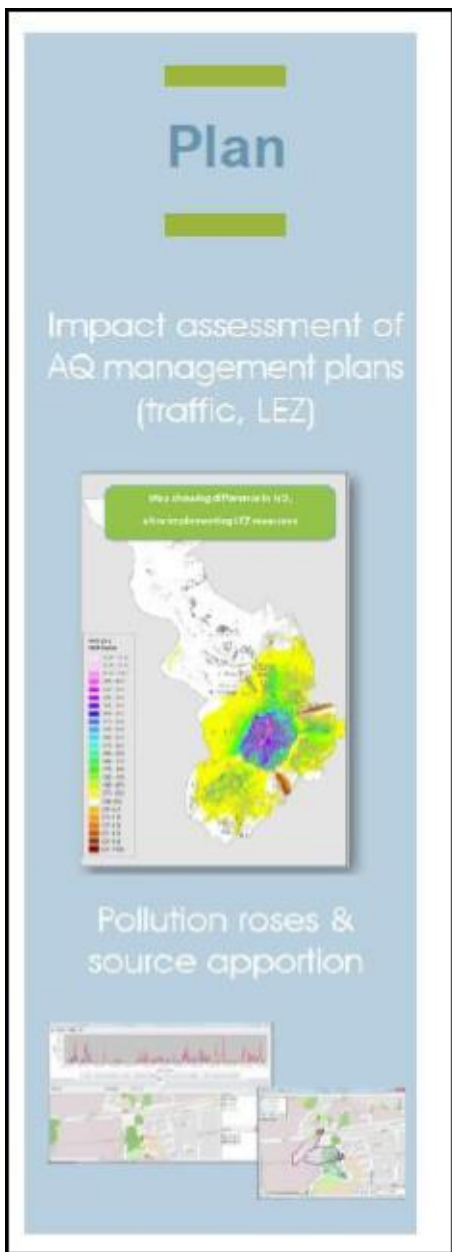
# Levegőminőség - Előrejelzés



## Levegőminőség előrejelzés:

- Cél a lakosság és a döntéshozók tájékoztatása a levegőminőség várható alakulásáról (rossz levegőminőség várható kialakulása, lesz-e határérték túllépés?)
- Levegőminőség javítását célzó intézkedések várható hatásának előrevetítése
- <https://legszenyezettseg.met.hu/modellezes/terkepes>

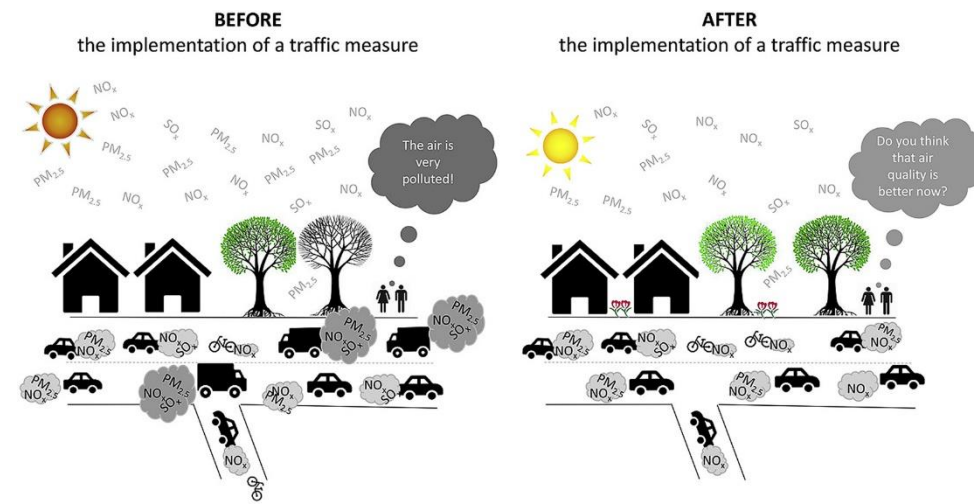




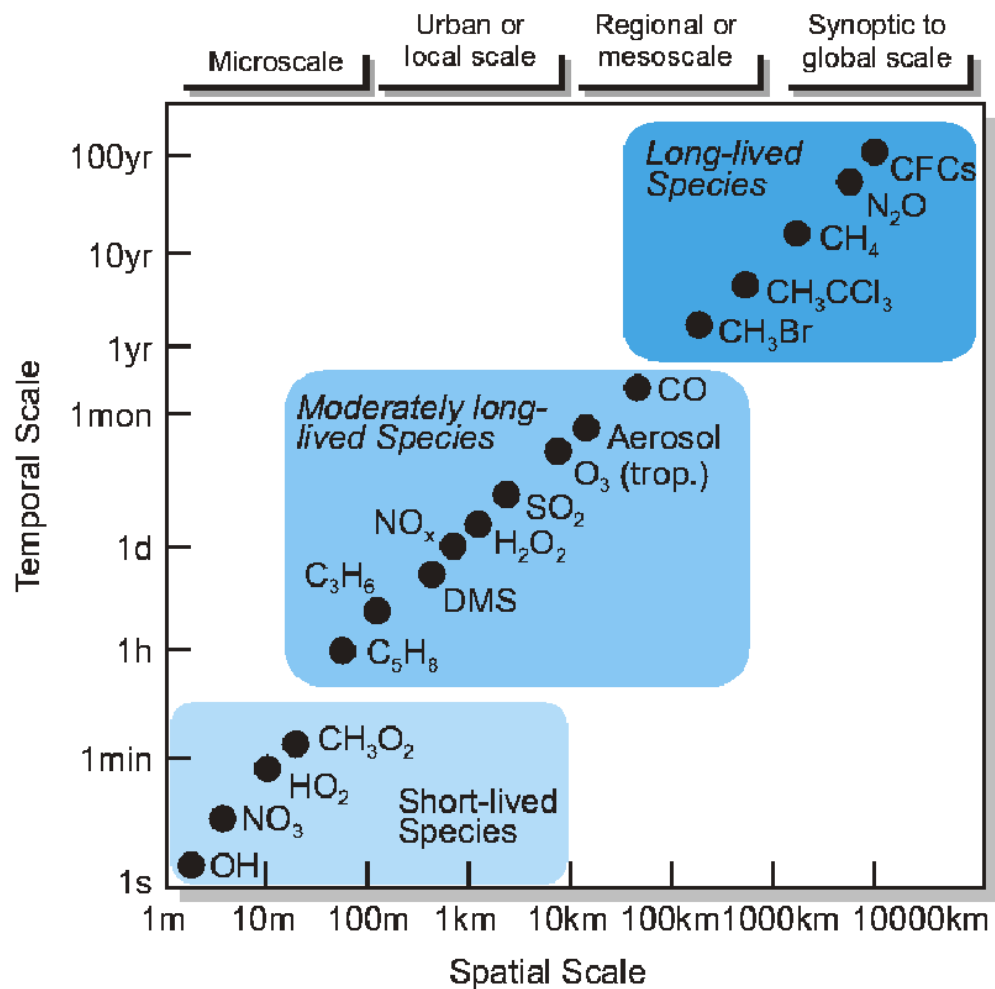
# Levegőminőség - Tervezés

## 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**

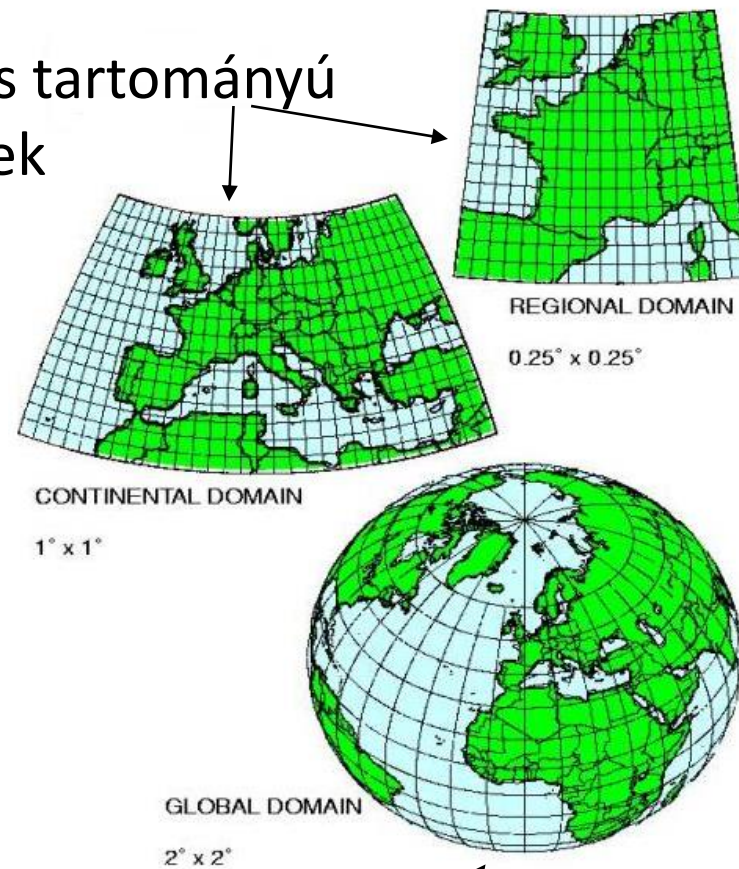


# Tér és időskálák



Seinfeld and Pandis [1998]

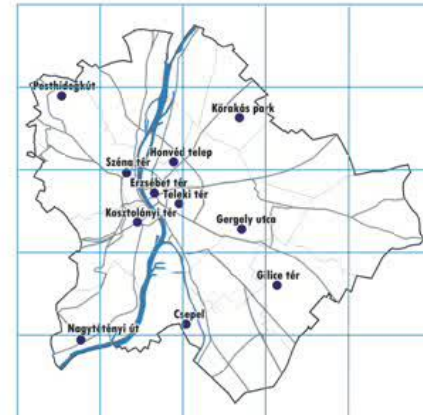
Korlátos tartományú modellek



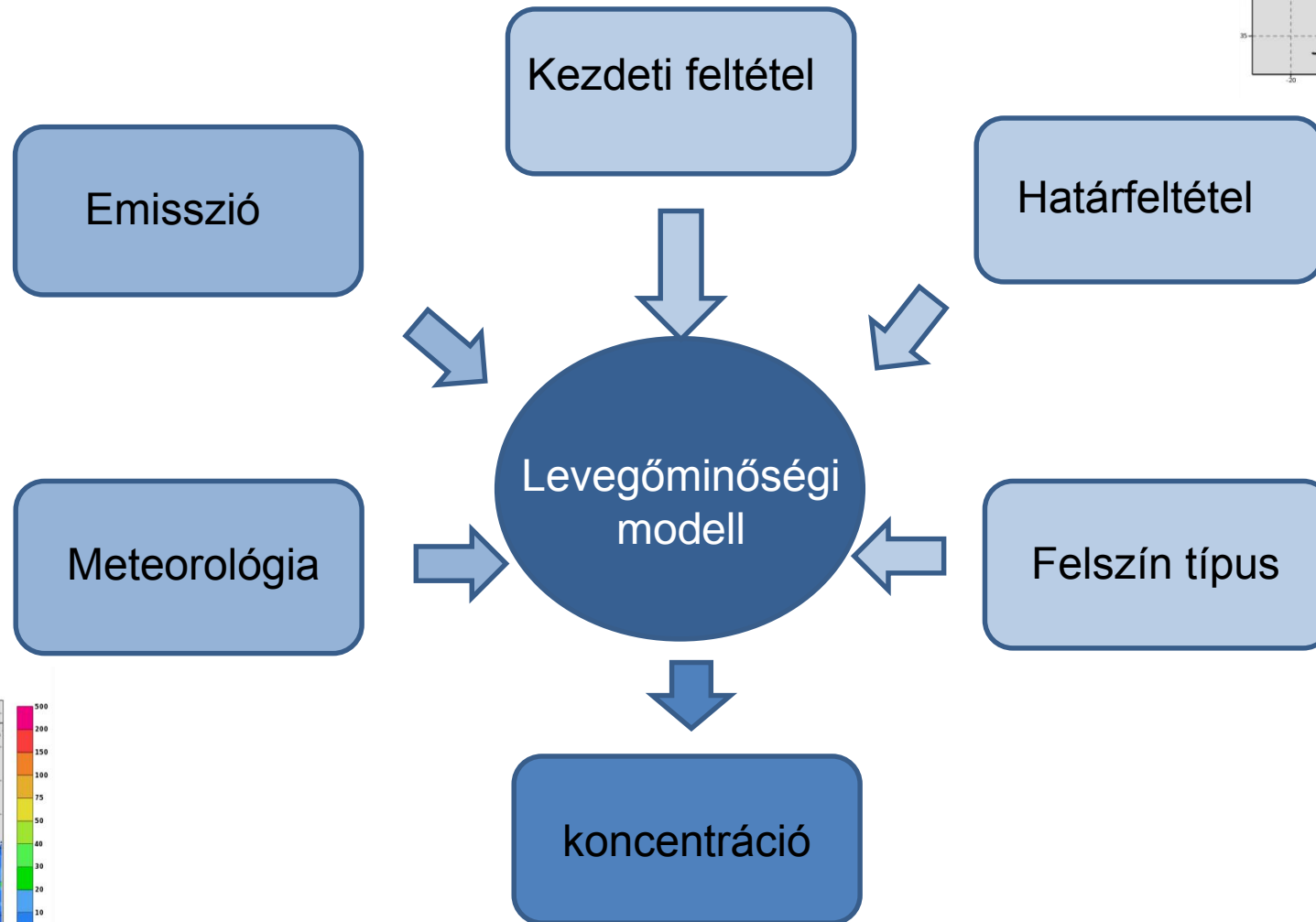
Globális modellek

# Kémiai transzport modellek

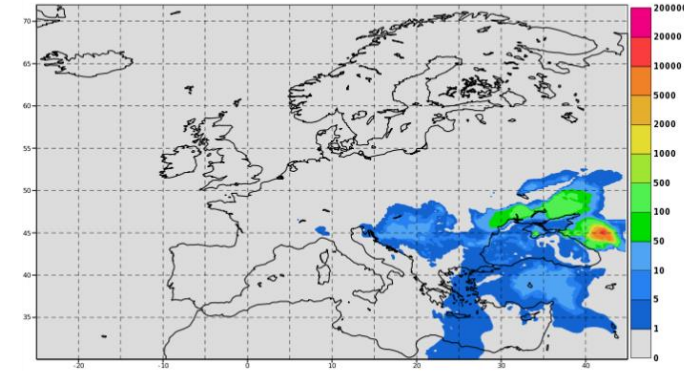
- A kémiai transzport modellek a légszennyezőanyagok térbeli és időbeli eloszlását határozzák meg
  - légkörben lezajló fizikai és kémiai folyamatok leírása differenciálegyenletekkel
  - differenciál egyenletek megoldása numerikus sémák alkalmazásával
- Figyelembe vett legfontosabb folyamatok:
  - az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



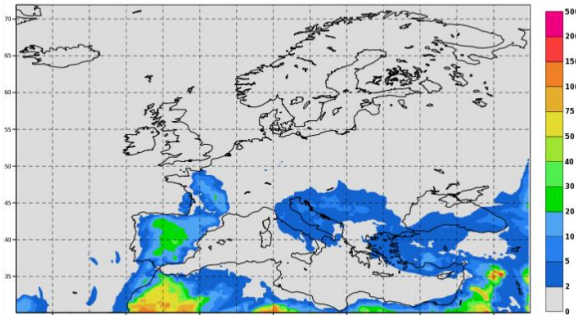
# Levegőminőségi modellek felépítése



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 ]



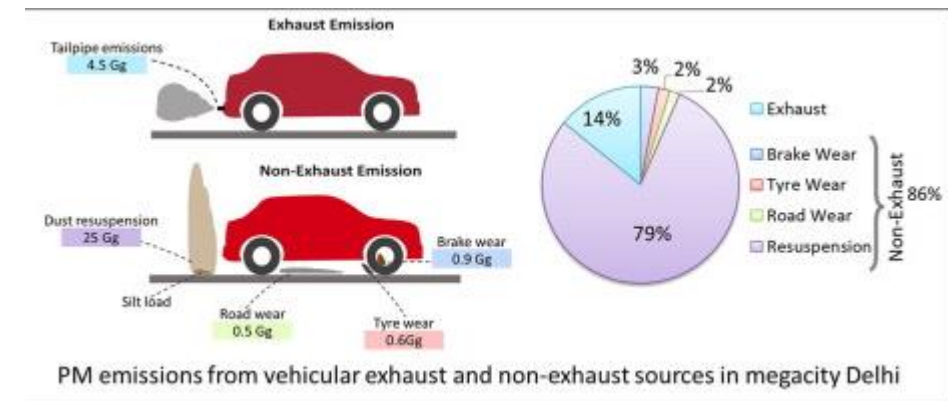
Friday 07 August 2020 00UTC CAM5 Forecast t+045 VT: Saturday 08 August 2020 21UTC  
Model: ENSEMBLE Height level: Surface Parameter: Dust dry [ µg/m3 ]



# 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 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:
  - $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ , NMVOC, CO,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{\text{co}}$ , ( 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:

Energiaipari 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



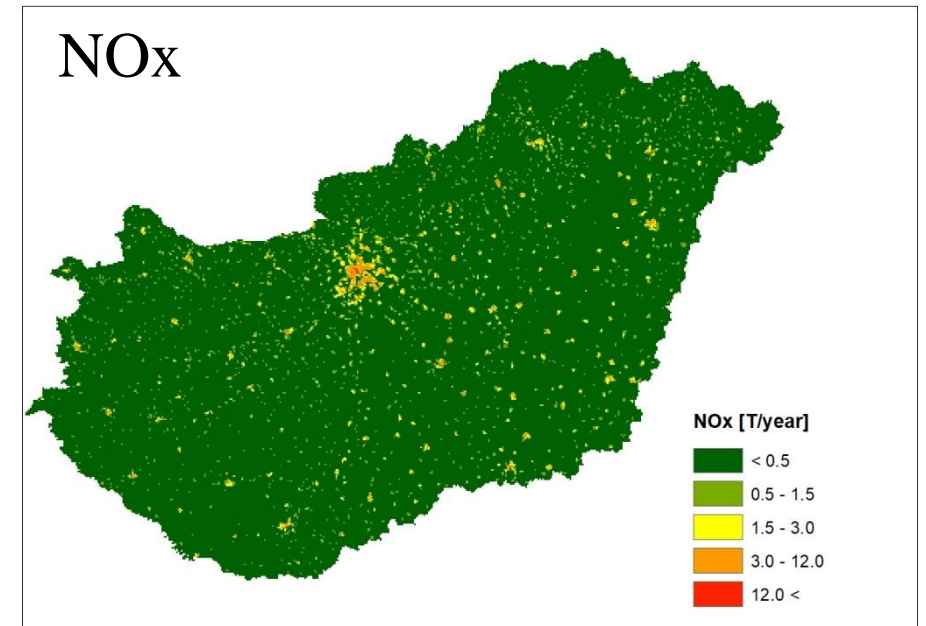
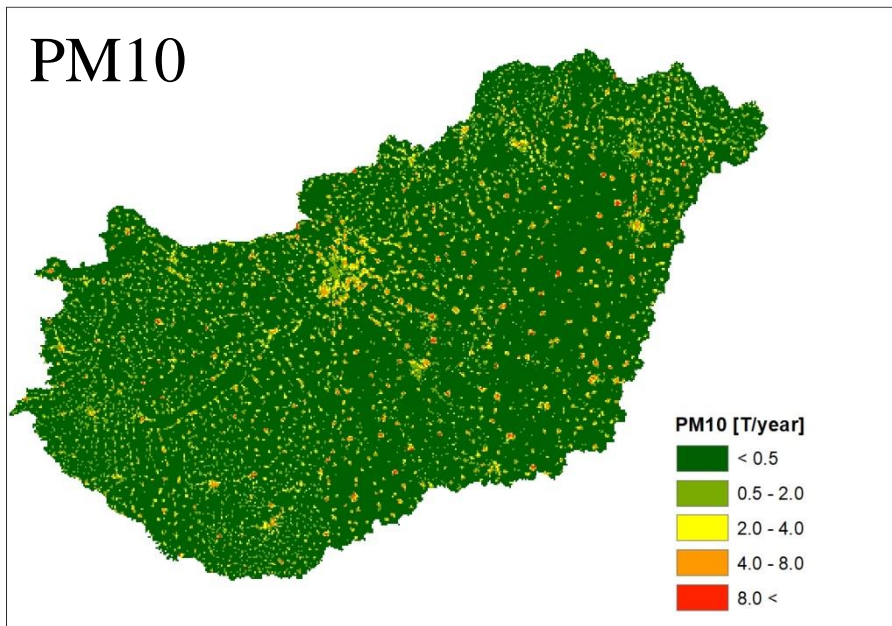
## GNFR Sectors

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 - 2019

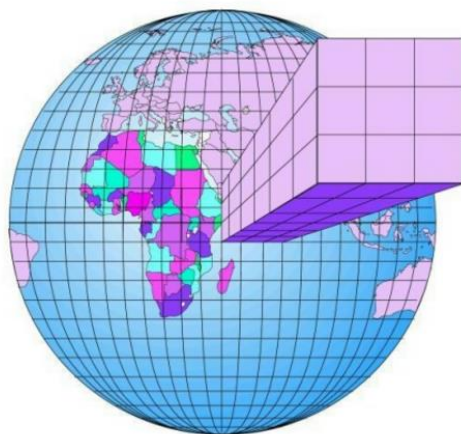
rácsponti adatbázis: nemzetközi jelentési kötelezettség:  $0.1^\circ$  ( $\sim 10\text{km}$ )  
térbeli felbontás

=> térbeli felbontás finomításának eredménye: 1km-es térbeli felbontás



# Input adatok - Meteorológia

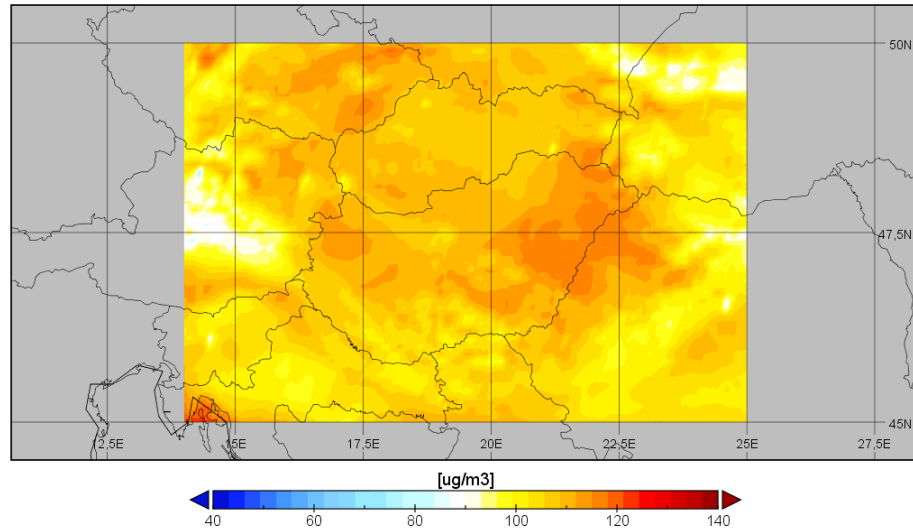
- Rácsponti meteorológiai adatok
  - Kémiai átalakulások, valamint a szennyezőanyag transzport és ülepedés szempontjából meghatározó meteorológiai paraméterek



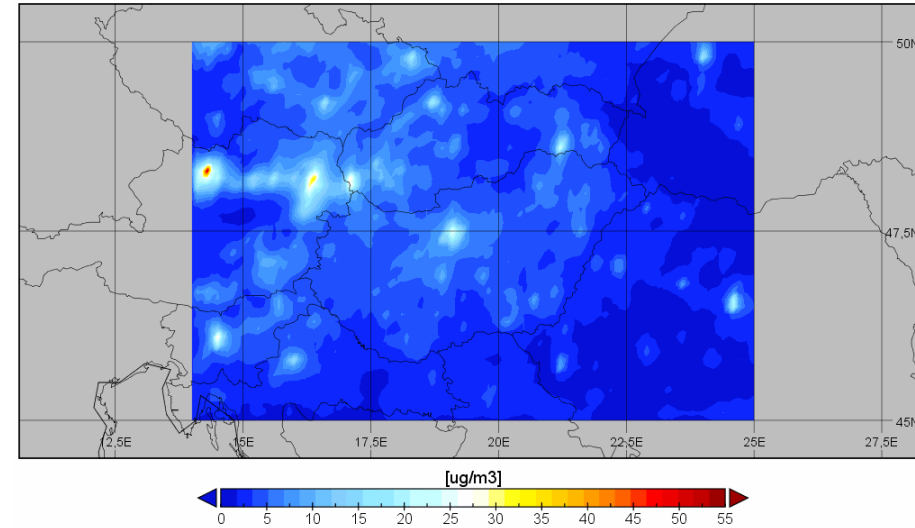
Paraméter neve	dimenzió	Folyamat, amelynek leírásában felhasználjuk az adott meteorológiai paramétert
<b>3-D mezők:</b>		
Horizontális szélesség komponensek	ms <sup>-1</sup>	Advekcio
Specifikus nedvesség	kg kg <sup>-1</sup>	Kémiai reakciók, száraz ülepedés
Potenciális hőmérséklet	K	Kémiai reakciók, diffúzió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

# Modell eredmények: térképek

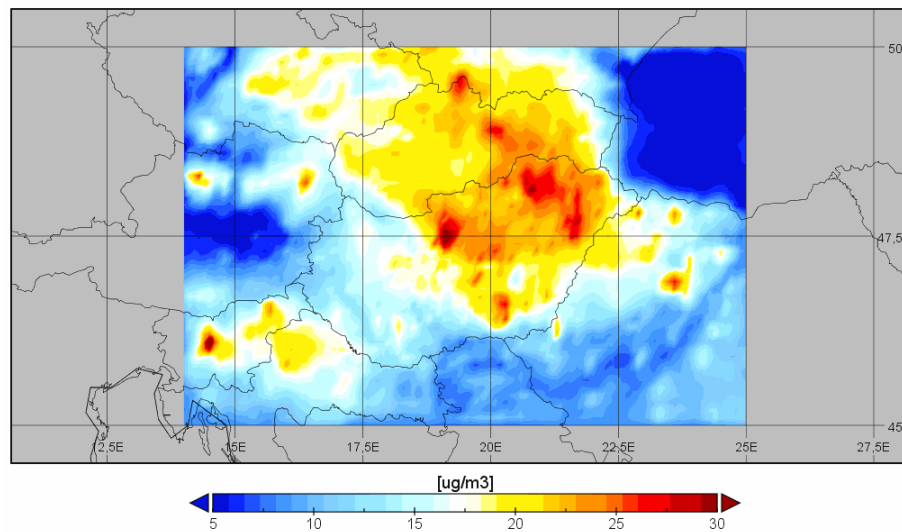
O3 Koncentráció - 2019 július



NO2 Koncentráció - 2019 szeptember

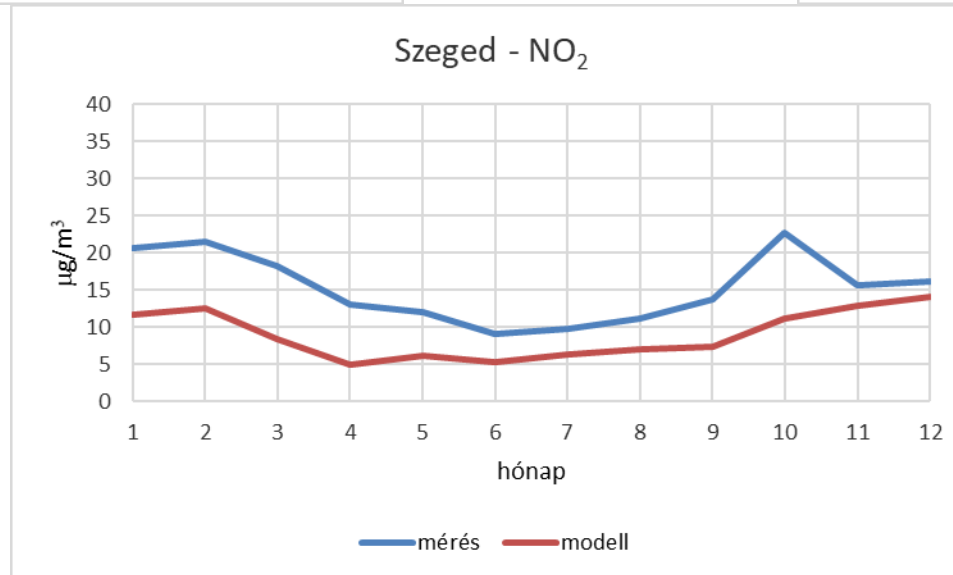
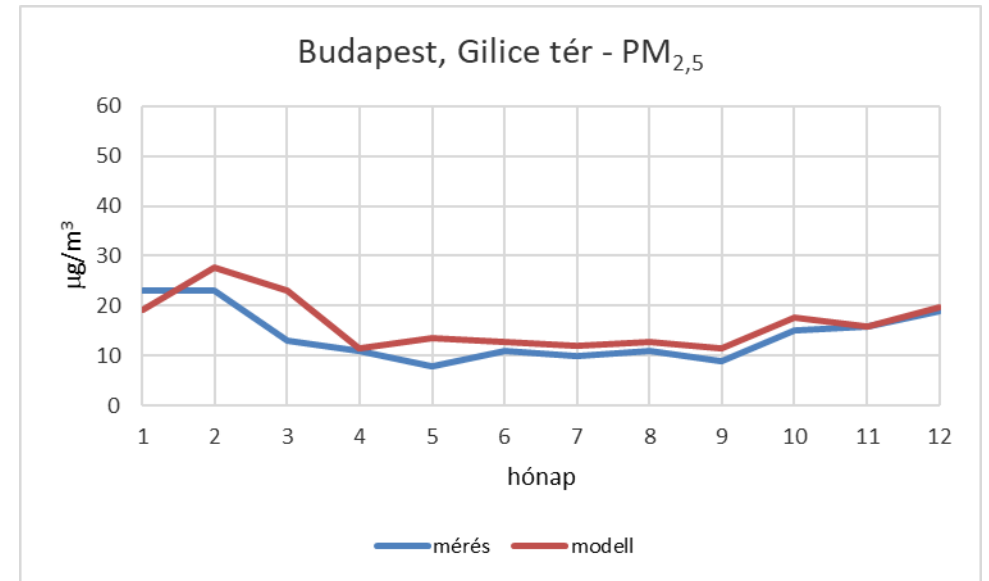
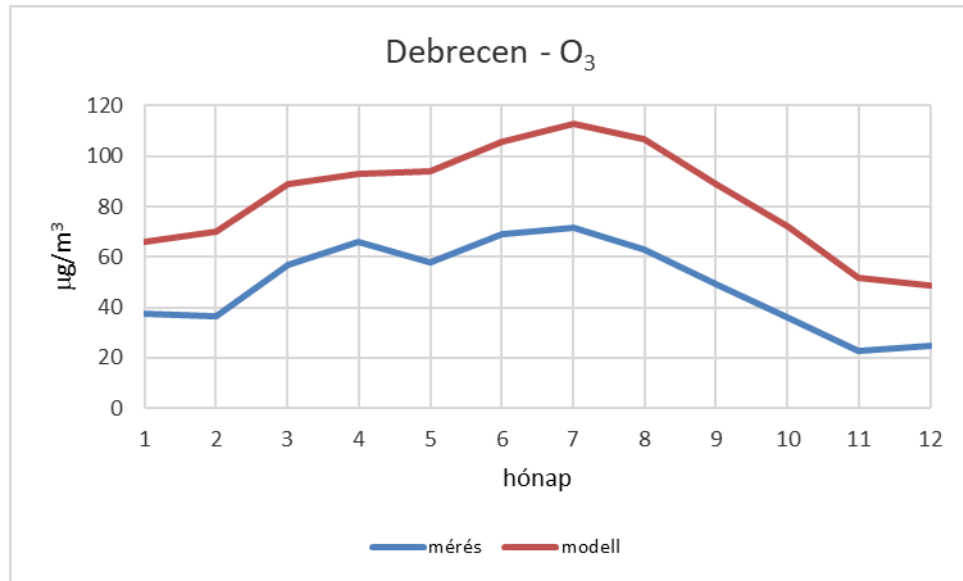


PM2,5 Koncentráció - 2019 február



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

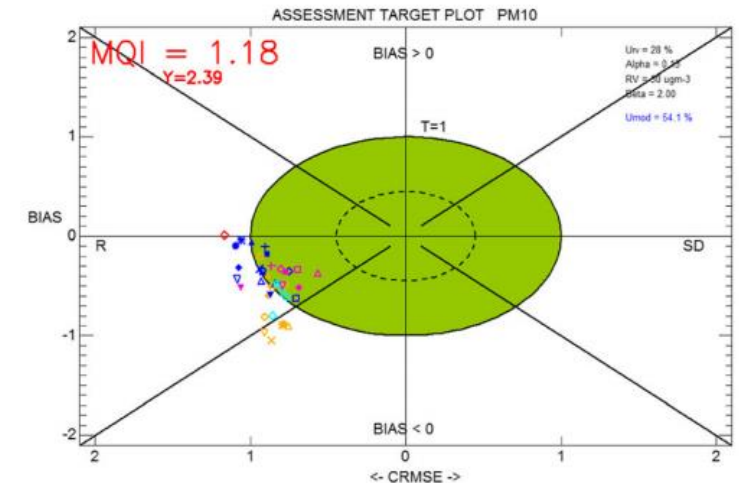
# Modell eredmények: grafikonok



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

# Számítási eredmények értékelése

- Delta Tool: interaktív modell eredmények kiértékelésére alkalmas szoftver
- A legfontosabb indexek:
  - root mean square error (RMSE),
  - correlation coefficient (R),
  - normalised mean bias(NMB),
  - normalised mean standard deviation (NMSD)
  - centred root mean square error (CRMSE)





# 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/>  
( <https://legszenyezettseg.met.hu/> )



Convention on Long Range Transboundary Air Pollution

emep

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



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

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

European Environment Agency



# 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*