

REGIONÁLIS LEVEGŐMINŐSÉGI MODELLEK ÉS MAGYARORSZÁGI MÉRÉSEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA LÉGKÖRI GÁZOKRA, VALAMINT AEROSZOL RÉSZECSKÉKRE – A CHIMERE MODELL ÉRZÉKENYSÉGVIZSGÁLATA

Horváth Krisztina Kitti ^(1,2) , Ferenczi Zita ⁽²⁾ , Mészáros Róbert ⁽¹⁾ 

⁽¹⁾ ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.

⁽²⁾ HungaroMet Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt., 1024 Budapest, Kitaibel Pál u. 1.

e-mail: horvath.k@met.hu, ferenczi.z@met.hu, meszaros.robort@ttk.elte.hu

Bevezetés

A levegőminőség térbeli változatosságának vizsgálata és előrejelzése kiemelt fontosságú a lakosság tájékoztatása és a döntéshozók támogatása szempontjából. Ugyanakkor a levegőminőségi modellek bizonytalansága gyakran ismeretlen vagy nehezen érthető. Ezen felül az egyes modellek teljesítménye időszakonként eltérő lehet. A Kárpát-medence földrajzi sajátosságai és a helyi lakossági fűtés dominanciája a téli időszakban szintén erősen befolyásolják a levegőminőségi modellek eredményeit.

Korábbi számításaink során légekri gázok (NO₂, O₃) és aeroszol részecskék (PM_{2,5}, PM₁₀) koncentrációit vizsgáltuk, melynek keretében a HungaroMet által futtatott CHIMERE modell [1 – CHIMERE] és a CAMS (Copernicus Atmosphere Monitoring Service) modellcsalád [2 – CAMS] modelleredményeit hasonlítottuk össze az OLM (Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat) órás felbontású mérőállomásainak adatsoraival. Ezt követően a kutatásunkat a HungaroMet által futtatott CHIMERE modellre összpontosítottuk. Érzékenységvizsgálatot végeztünk, módosítottuk a modell paraméter-beállításait, illetve a modell számításokhoz input adatként használt planetáris határreteg magasságát különböző számítási módszerekkel is meghatároztuk, és vizsgáltuk ennek hatását a számított koncentráció értékekre. A módosításokat követően a modell eredményeit kezdetben egy rövidebb, egy hetes intervallumban vizsgáltuk 2024.07.11. és 2024.07.18. között, majd a vizsgált időszakot kibővítettük egy hosszabb, fél éves időintervallumra.

A CHIMERE modell

A CHIMERE egy offline, Euler-típusú kémiai transzportmodell. A modell forráskódja főként Fortran90 nyelven íródott és a futtatások előkészítését és vezérlését Shell scriptek segítik. A modell futtatásához a CHIMERE-nek meg kell adni a meteorológiai mezőket, az elsődleges szennyezőanyag-kibocsátásokat, valamint a légszennyezőanyagok koncentrációjára vonatkozó kezdeti- és peremfeltételeket. Ezek az adatok együttesen alkotják a modell futtatásához szükséges háttérinformációkat. A CHIMERE modell a szennyezőanyagok koncentrációját az advekción, keveredés, kémiai reakciók és ülepedés figyelembevételével számolja (Mailler et al., 2017).

Mivel a CHIMERE korlátos tartományú modell, a kezdeti- és peremfeltételeket ennek megfelelően kell meghatározni. A modell órás időbeli és 0,1° × 0,1° térbeli felbontású mezőkkel dolgozik, valamint az éghajlati peremfeltételeket az LMDz-INCA (Laboratoire de Météorologie Dynamique - Interaction with Chemistry and Aerosols) kémiai és aeroszol modell biztosítja. A kezdeti értékek megadására több lehetőség is van, klimatológiai átlagok használata, vagy a modell előző futtatásából származó értékek. A CHIMERE levegőminőségi

előrejelzésekhez szükséges meteorológiai mezőket a HungaroMet által futtatott AROME modell szolgáltatja. Az antropogén kibocsátási adatokat $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ felbontással az EMEP 2019-es emissziós leltár, míg a biogén kibocsátásokat a MEGAN globális modell biztosítja.

Emissziós leltárak

A CAMS az Európai Unió Föld-megfigyelési keretrendszerét alkotó hat szolgáltatás egyike, mely Föld-megfigyeléseken, földfelszíni adatokon és modellezésen alapuló információs szolgáltatásokat kínál a felhasználók számára (Gawuc et al., 2021). Emissziós leltára globális és regionális emissziós adatokat tartalmaz. Az adatbázis $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ térbeli felbontású, GNFR szektorok szerint tartalmazza a kibocsátásokat. Az adatok havi bontásban, $\text{kg/m}^2/\text{s}$ mértékegységben állnak rendelkezésre [2 – CAMS].

Az EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) a nagy távolságra jutó, országhatárokon átterjedő levegőszennyezésről szóló genfi egyezmény (CLRTAP) egyik programja, amelynek keretében a CEIP (Centre on Emission Inventories and Projections; [3 – CEIP]) állítja össze az európai szintű hivatalos emissziós adatbázist, amelyeket az országok jelentései alapján éves gyakorisággal állítanak elő (Gawuc et al., 2021). Az EMEP emissziós adatok éves összegeket tartalmaznak, $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ felbontással, Mg mértékegységben, GNFR szektoronként.

A két leltár közti legfőbb különbség a kibocsátások időbeli felbontásában és a számítási módszerben rejlik. Bár mindkét leltár bottom up típusú becsléseken alapul, de a CAMS harmonizált módszertan szerint készül, térbeli újraleosztást alkalmaz, pl. műholdas, illetve egyéb proxy-adatok alapján (Gawuc et al., 2021). Ezzel szemben az EMEP a tagországok hivatalos nemzeti jelentéseire épül, amelyek az aktivitási adatokon és országspecifikus, vagy alapértelmezett emissziós faktorokon alapulnak. Az adatok feldolgozását és griddelését a CEIP végzi, de a térbeli eloszlás részletezettsége és a szektorok közti bontás nagyban függ az egyes országok által szolgáltatott emissziós értékektől, ezért előfordulhatnak területi és szektorális különbségek a pontosságban. Ezen túlmenően a CAMS és az EMEP/CEIP emissziós leltárak ugyan mind GNFR kategóriákat használnak, de az alszektorok eltérő elnevezésben jelennek meg.

Planetáris határréteg magasság számítása

A planetáris határréteg (planetary boundary layer – PBL) magasságának ismerete elengedhetetlen a szennyezőanyag terjedés és a levegőminőség vizsgálata szempontjából. A planetáris határréteg magasság értékét az AROME (Applications of Research to Operations at Mesoscale) modell szolgáltatja a CHIMERE számára. A PBL magassága függ az aktuális évszaktól, napszaktól, szinoptikus helyzettől, valamint a domborzati viszonyoktól (Timár et al., 2017). A határréteg magassága alapvetően befolyásolja a szennyezőanyagok vertikális keveredését, ezért annak pontos meghatározása elengedhetetlen a megfelelő felszínközeli koncentráció modellezésére. Alacsonyabb planetáris határréteg esetén a szennyezőanyagok kisebb légtérben oszlanak el, ami magasabb koncentrációkat eredményezhet, míg magasabb planetáris határréteg esetén hígulhatnak az értékek (Ferenczi et al., 2021).

Az AROME egy nem-hidrosztatikus mezoskálájú numerikus előrejelző modell, mely a planetáris határréteg felső határát diagnosztikus úton, a turbulens kinetikus energia vertikális profilja alapján határozza meg, a TKE egy kritikus érték alá csökkenéséből (Seity et al., 2011). A stabilitási viszonyok megállapítására a Richardson szám (Ri) áll rendelkezésre, amely a hőmérsékleti gradiens (stabilitás) és a szélesség gradiens (turbulencia) arányát fejezi ki (André et al., 2013).

A CHIMERE modell az AROME modellhez hasonlóan a stabilitási viszonyokat az Ri szám alapján határozza meg [1 – CHIMERE]. A planetáris határreteg magasságát a stabilitásától függően különböző módszerek alapján számolja. Stabil esetben a Troen & Mahrt (1986) séma alapján, míg konvektív rétegződés esetén, vagyis instabil esetben a modell a Cheinet & Teixeira (2003) megközelítés egy egyszerűsített, diagnosztikus változatát használja. Ez a száraz termik oszlop egyenletének és a diffúzióknak a megoldásán alapul. A planetáris határreteg magasságát az a szint jelöli, ahol a számított függőleges sebesség eléri a nullát, jelezve a konvektív feláramlások megszűnését [1 – CHIMERE].

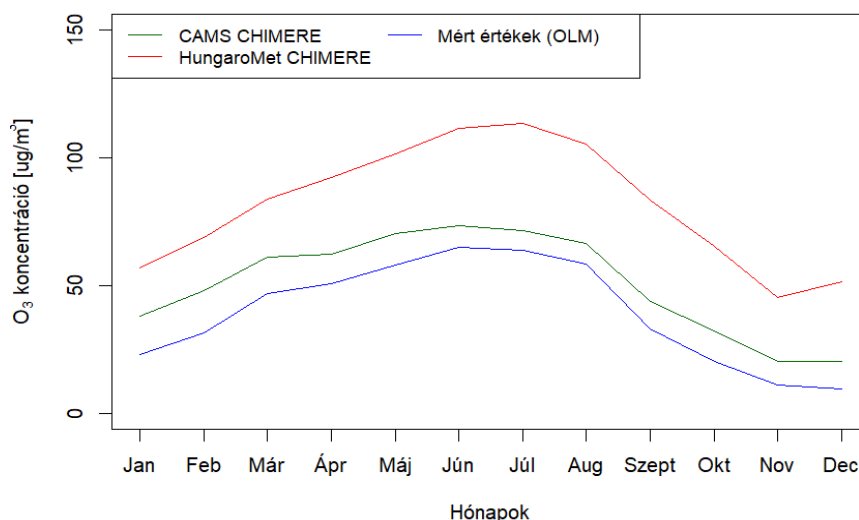
Nyári időszakban, a délelőtti órákban történő hőmérséklet emelkedéssel egy időben, illetve a maximum hőmérséklet idején, mikor a PBL magassága eléri a maximumot, az AROME modell jellemzően alábecsüli a planetáris határreteg magasságát (Szintai et al., 2017). Mivel a CHIMERE modell a PBL magasságát az AROME modelltől kapja, ezért annak alulbecslése torzíthatja a fotokémiai aktivitást, vagyis a felszínközeli ózonkoncentráció túlbecsléséhez vezethet.

Eredmények

CAMS modellek és a CHIMERE modell összehasonlítása

A HungaroMet-nél futtatott CHIMERE modell és az OLM mérések összehasonlítása alapján a modell a nitrogén-dioxid koncentrációkat egész évben alulbecsülte, különösen a téli hónapokban, míg tavasztól ősziig jó közelítést adott. Hasonló tendencia mutatkozott a PM₁₀ és PM_{2,5} esetében is. A legnagyobb eltéréseket télen tapasztaltuk, míg a melegebb hónapokban a modell eredményei jobban követték a PM₁₀ és PM_{2,5} mért értékeit. Minden vizsgált komponens esetében Miskolcon jelentkezett a legnagyobb alulbecslés a kutatásban részt vevő városok közül.

Ózon esetében a modell hajlamos egész évben felülbecsülni a mért értéket. A legnagyobb eltérések a nyári hónapokban jelentkeztek, amikor az ózonkoncentráció a magasabb napsugárzás intenzitás következtében emelkedettebb (*1. ábra*). A CAMS modellek és az OLM mérések összehasonlítása alapján a PM₁₀, PM_{2,5} és az NO₂ koncentrációk esetében a HungaroMet CHIMERE modellhez hasonló tendenciák jelentkeztek. Ellenben az ózon koncentrációja a CAMS CHIMERE modell szimulációival közelebb álltak a mérésekhez, mivel kisebb felülbecslést adtak, mint a HungaroMet modell.



1. ábra: O₃ koncentráció éves menete a CAMS CHIMERE modell, HungaroMet CHIMERE modell és az OLM mért értékek alapján Miskolcon.

A CAMS modellek esetében a modellek túlnyomó többsége kissé felülbecsüli az ózonkoncentrációt, különösen a nyári hónapokban. A modellek eltérően teljesítenek a nitrogén-dioxid koncentráció előrejelzésében, néhány jelentősen alulbecsüli a mért adatokat, míg mások közelebb vannak a tényleges értékekhez. Összességében a modellek változó pontossággal követik a méréseket, és a szennyezőanyag típusától függően eltérések tapasztalhatók. A kísérlet során RMSE (átlagos négyzetes hiba) és BIAS (átlagos eltérés) segítségével kiválasztottuk, hogy melyek azok a CAMS modellek, amelyek a legnagyobb egyezést mutatták az ózon esetében a mért értékekkel, melyek között megtalálható a CAMS által futtatott CHIMERE modell is (1. táblázat).

Általánosságban elmondható, hogy a CAMS modellek közül az EMEP, a MOCAGE, a CHIMERE és a SILAM produkálta a legjobb eredményeket, mivel ezek mutatták a legkisebb torzítást (BIAS) és hibát (RMSE) a megfigyelésekhez képest. Ezzel szemben a DEHM, a GEMAQ, és különösen a MATCH modell teljesítettek leggyengébben, főként Miskolc és Budapest területén. Összességében az EMEP modell mutatja a legmegbízhatóbb eredményt, míg a HungaroMet CHIMERE modell jelentős túlbecslést és nagy szórást mutat.

1. táblázat: A CAMS modelleszalád és a HungaroMet CHIMERE modell által számított ózonkoncentrációk éves értékeinek összehasonlítása az OLM hálózat 2022-es méréseivel négy kijelölt városában (Miskolc, Budapest, Pécs, Debrecen), statisztikai mutatók – BIAS és RMSE – alapján.

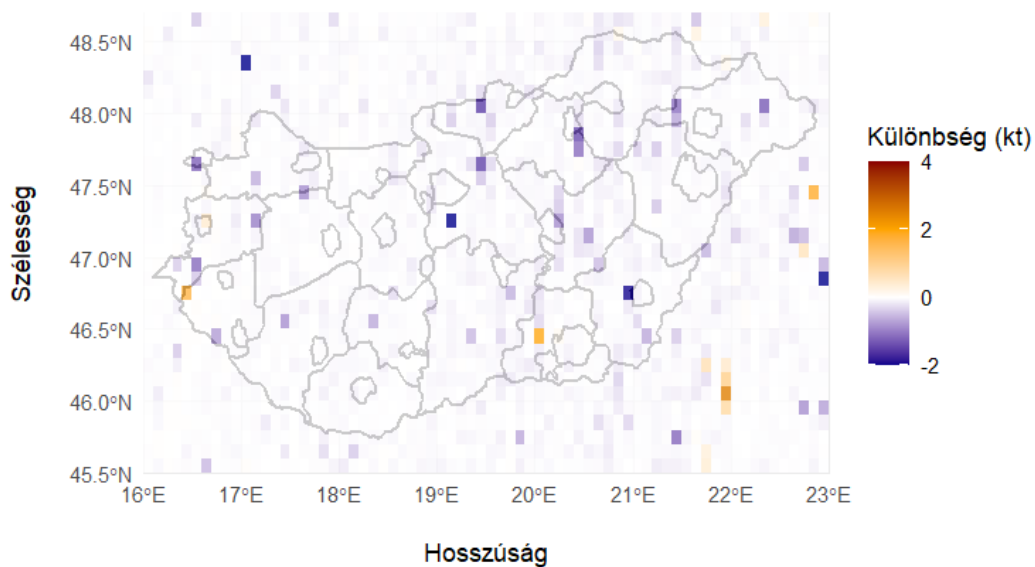
CAMS modelleszalád – OLM								
	Miskolc		Budapest		Pécs		Debrecen	
	BIAS	RMSE	BIAS	RMSE	BIAS	RMSE	BIAS	RMSE
CHIMERE	11,30	12,89	0,36	8,66	-7,09	11,41	1,54	5,37
DEHM	24,63	26,63	10,70	15,78	4,45	10,13	13,35	15,82
EMEP	10,98	13,43	-0,09	7,89	-2,23	6,57	1,37	4,49
EURADIM	15,21	19,74	1,84	13,30	-0,21	12,16	7,12	14,27
GEMAQ	18,70	21,58	3,79	10,67	1,38	14,33	11,89	18,00
LOTOS	11,31	13,20	2,76	9,46	0,08	6,06	4,79	6,88
MATCH	28,69	31,06	4,15	11,81	-5,21	11,61	10,11	14,22
MOCAGE	10,90	12,88	2,56	7,63	-4,66	7,72	2,41	5,31
SILAM	10,81	14,08	0,20	6,77	-4,32	7,17	2,39	5,66
HungaroMet CHIMERE – OLM								
	Miskolc		Budapest		Pécs		Debrecen	
	BIAS	RMSE	BIAS	RMSE	BIAS	RMSE	BIAS	RMSE
CHIMERE	42,20	44,42	-2,25	28,20	19,76	25,21	34,25	36,73

Emissziós leltárak

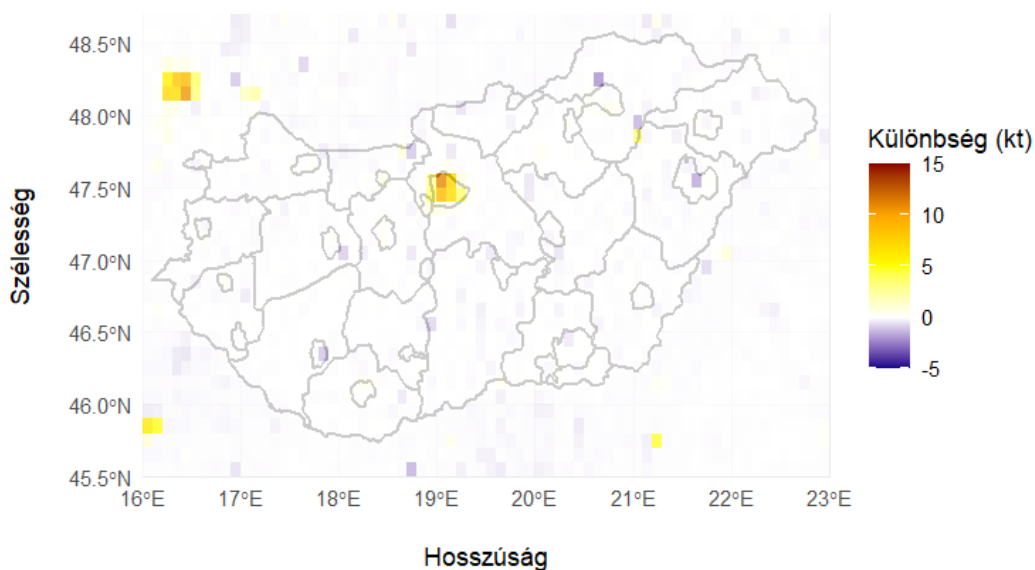
Az OLM állomások közül Budapest (Gilice tér), Miskolc (Búza tér), Debrecen (Kalotaszeg tér) és Pécs (Boszorkány utca) mérési adatait hasonlítottuk össze a HungaroMet CHIMERE, és a CAMS modellek legközelebbi rácsponti O₃ koncentráció modellezett értékeivel. Mivel az emissziós források döntően befolyásolhatják a modell ózonválaszát (Real et al., 2024), ezért felülbecslés vizsgálata érdekében a troposzférikus ózon prekursor anyagai közül a NO_x és a NMVOC kibocsátását vizsgáltuk meg. Az összehasonlítást országos szinten végeztük el, a 45,5°–48,7° északi szélesség és 16°–23° keleti hosszúság közötti területre fókuszálva. Az elemzés során külön figyelmet fordítottunk azokra a rácspontokra, amelyek a budapesti, miskolci, debreceni és pécsi OLM mérőállomásokhoz esnek legközelebb, annak érdekében, hogy megvizsgáljuk, vajon az eltérő kibocsátási adatok (EMEP vs. CAMS) mennyiben járulhatnak hozzá a megfigyelt modellbeli eltérésekhez.

A kísérlet elvégzéséhez szükséges NO_x , illetve NMVOC kibocsátási adatok az EMEP, illetve a CAMS hivatalos adatbázisából származnak 2020-ra vonatkozóan.

Az EMEP kibocsátási leltár általában alacsonyabb emissziós értékeket mutat mindkét szennyezőanyag esetében, valamint a forráseloszlás is finomabbnak tűnik a CAMS kibocsátási adatokhoz viszonyítva (2., 3. ábra). Korábbi, összehasonlítási kísérletek is azt mutatják, hogy a leltárak hasonlóak, de az emissziók térbeli eloszlása különböző lehet. A CAMS adatbázis egyes rácspontok esetében magasabb emissziós értékeket mutat, melyek főleg városi területeken jelennek meg, mivel figyelembe veszi a lokalizált forrásokat is. Az EMEP értékei inkább országos szinten pontosak, de nem mindig reprezentálják jól a területi különbségeket (Gawuc et al., 2021).



2. ábra: NO_x esetében a CAMS és az EMEP emissziós adatbázisok közötti különbség Magyarország területén.



3. ábra: NMVOC esetében a CAMS, EMEP emissziós adatbázisok közötti különbség Magyarország területén.

Budapestre fókuszálva a különbségtérképek alapján megfigyelhetjük, hogy a nitrogén-oxidok mennyisége közel azonos a CAMS és az EMEP emissziós leltárban (2. ábra), azonban az NMVOC emissziója a CAMS esetében magasabb, vagyis ugyanannyi NO_x kibocsátás mellett, magasabb NMVOC kibocsátással számol O₃ koncentrációt a főváros területén a CAMS modell (3. ábra). Az ózonképződés során a peroxi gyökök kulcsfontosságú szerepet töltenek be azért, hogy NO-val reagáljanak. Azonban a CAMS modellben magasabb az NMVOC emisszió, ami több peroxi gyök pl. alkil-peroxi gyök (RO₂) képződéséhez vezethet. Ha a rendelkezésre álló NO mennyisége korlátozott, ezek a gyökök nem tudnak hatékonyan részt venni ózonképzésben. Ennek következtében az O₃ koncentráció nem emelkedik tovább, vagy csak kis mértékben. Ez magyarázhatja, hogy a CAMS modellek a főváros térségében jobban közelítették a megfigyelt O₃ értékeket, míg a HungaroMet CHIMERE modellje ezeket felülbecsülte.

Debrecen esetén a NO_x kibocsátás mennyisége szintén megegyező a két leltárban, azonban az EMEP NMVOC emissziós értéke magasabb a különbségtérkép alapján, vagyis nincs elég peroxi gyök az NO oxidálásához, ami okozhatja az ózon koncentráció csökkenését az EMEP adatbázisát használó CHIMERE modellhez képest.

Miskolcon és Pécsen azonban a különbségtérképek alapján az eredmények közel azonosak.

Planetáris határréteg magasságának hatása az O₃ koncentrációra

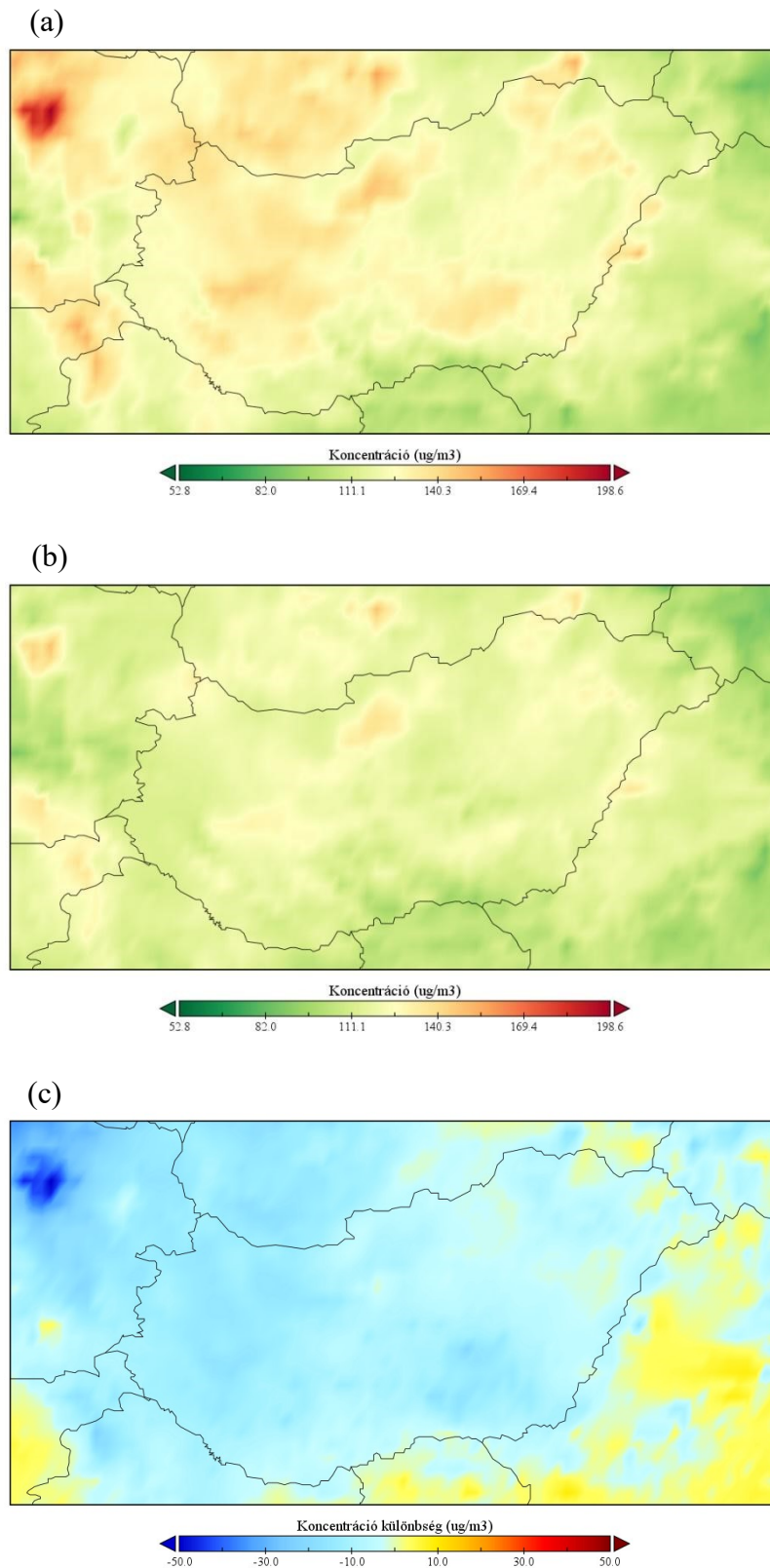
A továbbiakban a planetáris határréteg magasságának szerepét vizsgáltuk. Egy Phytos kód segítségével töröltük a bemeneti meteorológiai változók közül az AROME modell által számított PBL magasságát. Ezt követően a PBL magasságát a CHIMERE modell egy belső rutinja határozta meg, felhasználva az input meteorológiai adatokat (AROME) és felszíni paraméterezéssel alapulva a korábban említett módszer alapján.

Kezdetben egy rövidebb, nyári hetet választottunk ki a modell eredmények összehasonlításához. A CHIMERE modellt kétféle módon futtattuk, kezdetben a bemeneti meteorológiai adatokat, köztük a PBL magasságát is az AROME modell szolgáltatta a modell számára, majd a második kísérlet során a CHIMERE belső rutinjával határoztuk meg a PBL magasságát. A térképeket Panoply segítségével jelenítettük meg ahhoz, hogy felmérjük a változás térbeli eloszlását, és a napi átlag O₃ koncentráció különbségeket vizsgáltuk.

A vizsgált időszakban (2024. július 11-től július 17-ig) forró, szubtrópusi légtömeg érkezett Európába, egy hullámzó frontrendszer határozta meg hazánk időjárását, kifejezetten forró levegőt hozva magával. A maximum hőmérséklet 40–41 °C fok között alakult, helyenként kialakultak záporok, zivatarok.

A 4. ábrán az O₃ koncentrációra vonatkozó napi átlagokat jelenítettük meg. A vizsgált időszakban a határréteg magasság számítási módszerének megváltoztatása hatással volt a napi átlagos ózon koncentrációra, azonban a különbségek területileg eltérőek, nem figyelhető meg koncentráció csökkenés az ország teljes területén, sőt egyes területeken a napi átlag koncentráció megnövekedett. Míg az első vizsgált napon a koncentráció értéke inkább csökkent az új módszerrel, addig a hetedik napon már az ország északi és középső területein kismértékben növekedett.

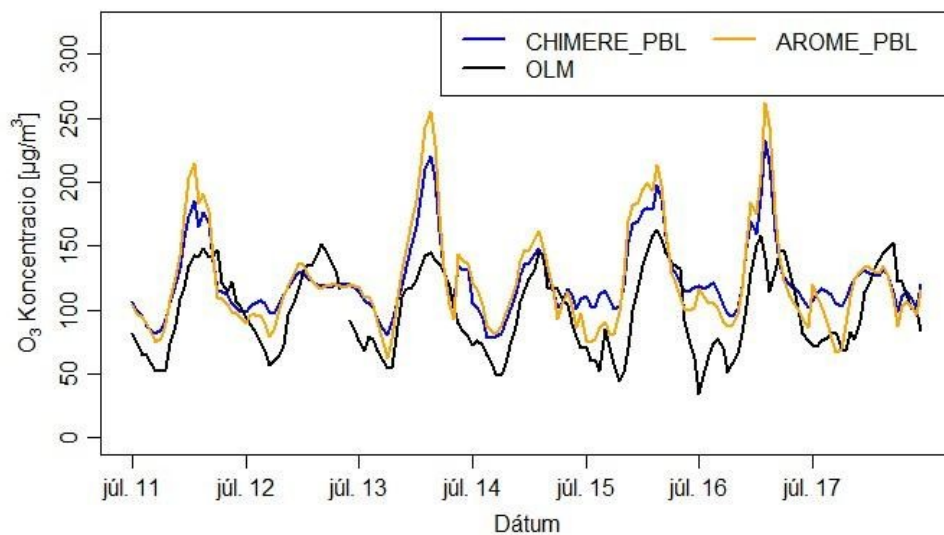
A változás okának pontosabb felderítése érdekében a határréteg magasság vizsgálata is fontos, hiszen tudjuk, hogy az AROME modell a délelőtti órákban becsüli alá a PBL magasságát (Szintai et al., 2017).



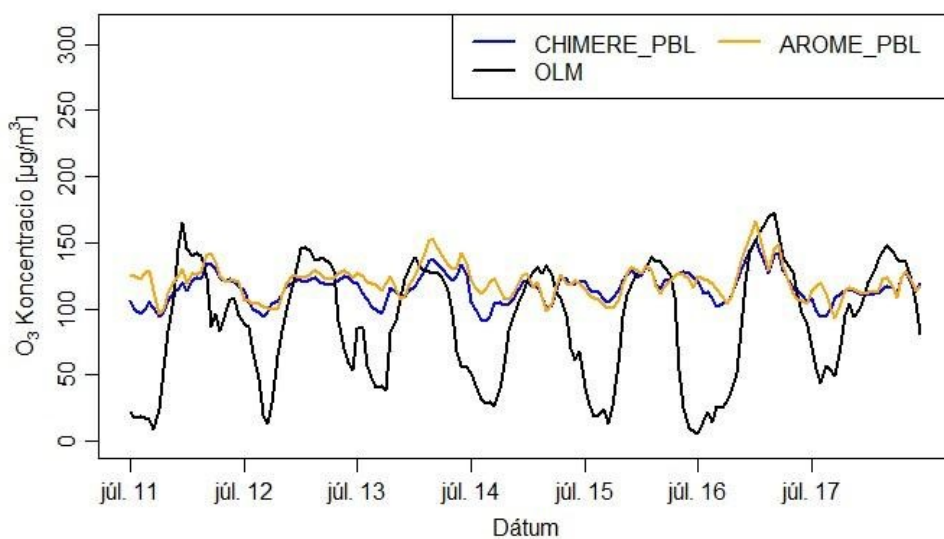
4. ábra: Napi átlagos ózonkoncentráció mezők 2024.07.11-én az AROME (a) és CHIMERE (b) modellek planetáris határreteg-számítási módszerei alapján, valamint a két mező napi átlagának különbsége (c) a Magyarországot lefedő modelltarományon.

A vizsgált időszakban idősor elemzést is végeztünk három városi háttérállomáson (Budapest, Győr, Debrecen), illetve egy vidéki háttérállomáson (K-pusztá). Ezekből Budapest mint városi háttérállomás és K-pusztá mint vidéki háttérállomás eredményei láthatók az alábbi ábrákon (5., 6. ábra). Fekete vonal jelzi az OLM állomás mért értékeit, a kék vonal (CHIMERE_PBL) a CHIMERE modell szimuláció PBL-magasság alapján, amit a CHIMERE modell saját maga számolt, míg a sárga vonal (AROME_PBL) esetén a PBL magasságot az AROME modell szolgáltatva bemeneti meteorológiai adatként.

Mind Budapest, mind K-pusztá esetén megfigyelhető, hogy a modell eredmények nagyon hasonló értékeket mutatnak, a különbségük inkább a koncentráció maximum és minimum értékében figyelhető meg. Budapest esetén a modellek jobban követik a megfigyelt csúcserőteket (5. ábra), a vidéki háttérállomás esetén azonban a modell beállítást követően is jelentősen felülbecsüli a napi minimumokat (6. ábra), a megfigyelések az éjszakai órákban $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alá is esnek, amit a modell nem képes reprodukálni. Győr esetében K-pusztához hasonló, míg Debrecen esetében inkább Budapesthez hasonló eredményeket kaptunk.



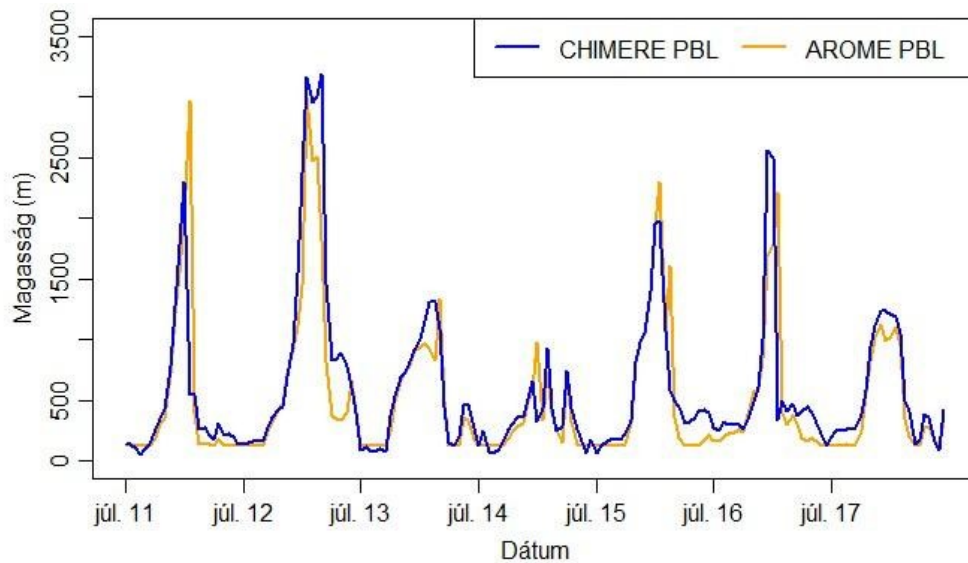
5. ábra: Budapest Gilice tér mérőállomás ózonkoncentráció mért (OLM) és modellezett (CHIMERE_PBL, AROME_PBL) értékeinek időszora 2024.07.11 és 07.17. között.



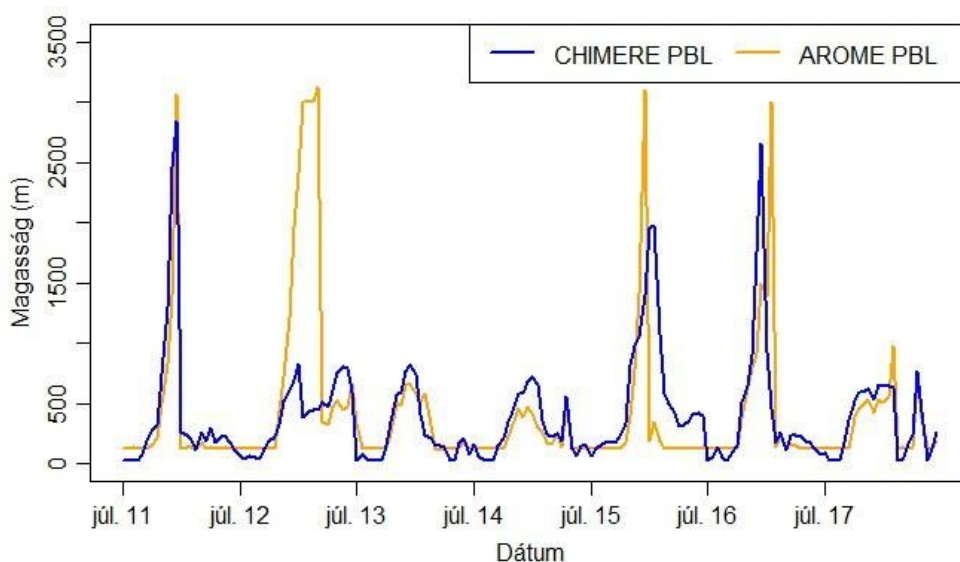
6. ábra: K-pusztá mérőállomás ózonkoncentráció mért (OLM) és modellezett (CHIMERE_PBL, AROME_PBL) értékeinek időszora 2024.07.11 és 07.17. között.

A napi maximum ózonkoncentrációk alakulása összefüggésben áll a planetáris határréteg napi ciklusával. A CHIMERE és AROME modellek által számolt PBL-magasságok napközben megnövekednek, amit az ózonkoncentrációk emelkedése követ (7., 8. ábra).

Mindkét modell hasonló napi ciklust mutat Budapest esetén (7. ábra), azonban az AROME modellel számolt PBL a délelőtti órákban kissé alacsonyabb, ami néhány esetben a magasabb ózonkoncentrációval is összefügghet. K-pusztánál a CHIMERE modell az új PBL számítási módszert követően sem képes követni a mért napi menetet (6. ábra), az azonban megfigyelhető, hogy a minimum értékek csökkenése összefüggésben áll a PBL magasság minimum értékének növekedésével (8. ábra).



7. ábra: Budapest feletti planetáris határréteg magassága a CHIMERE modell saját számítási módszere, illetve az AROME modell alapján 2024.07.11 és 07.17. között.



8. ábra: K-pusztánál feletti planetáris határréteg magassága a CHIMERE modell saját számítási módszere, illetve az AROME modell alapján 2024.07.11 és 07.17. között.

Konklúzió

A CHIMERE modell eredményeinek javításához szükséges felderíteni, hogy mely paraméterek vagy beállítások befolyásolják legérzékenyebben az eredményeket. A kutatásunk célja az volt, hogy megértsük, hogy a HungaroMetnél futtatott CHIMERE modell által számolt felszínközeli ózonkoncentráció milyen mértékben függ egyes bemeneti paraméterektől.

Először az emissziós leltárak hatását vizsgáltuk. Az emissziós leltárak összehasonlítása során azt tapasztaltuk, hogy a CAMS adatbázis magasabb kibocsátási értékeket tartalmazott a nagyobb városok térségében, mint az EMEP. Ez hatással lehet a fotokémiai folyamatok intenzitására, és részben magyarázhatja, hogy a CAMS CHIMERE modellje jobban közelítette az OLM által mért O₃ értékeket pl. a főváros területén.

Ezt követően a határréteg magasságának az ózonkoncentrációra gyakorolt hatását vizsgáltuk. A kétféle módszerrel meghatározott határérték magasság értékeket és az ezen adatokkal meghatározott ózonkoncentráció értékeket hasonlítottuk össze.

A szakirodalom (Szintai et al., 2017) alapján az AROME modell gyakran alulbecsli a PBL magasságot, különösen a délelőtti órákban és a napi maximum közelében. Ez a hibás becslés hozzájárulhat a CHIMERE modell ózonkoncentrációinak szisztematikus felülbecsléséhez. Fontos megjegyezni, hogy a meteorológiai bemeneti mezők pontossága, így a határréteg magasság is időjárási helyzetfüggő. Egyes epizódokban, mint az általunk vizsgált időszakban, a modellek hajlamosak lehetnek a koncentrációk felülbecslésére, mivel az alacsony keveredési potenciált nem minden konfiguráció reprezentálja megfelelően, ezért az érzékenységvizsgálat segít jobban megérteni a modell bizonytalanságát (Ferenczi et al., 2021).

A CHIMERE saját határréteg-számítási módszerét alkalmazva a vizsgált időszakban azt tapasztaltuk, hogy a városi területeken (pl. Budapest) a napi maximum koncentrációk csökkentek. Ugyanakkor vidéki háttérállomások esetében a módosítás nem eredményezett számottevő javulást a korábbi számításhoz képest.

Bár nem tekinthető önmagában megoldásnak az ózon-felülbecslés problémájára, a határréteg magasság számításának érzékenységi vizsgálata egy lényeges lépés a modellvalidálás és a további fejlesztések irányába.

Köszönetnyilvánítás

Készült az RRF-2.3.1-21-2022-00014 azonosítószámú „Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium létrehozása” elnevezésű projektben a Magyarország Helyreállítási és Ellenállóképességi Tervének keretében, az Európai Unió Helyreállítási és Ellenállóképességi Eszközének támogatásával.

Hivatkozások

- André, K., Balogh, M., Baranka, Gy., Bozó, L., Bölöni, G., Grosz, B., ... & Weidinger T., 2013: I.1.3. A numerikus időjárás előrejelzés Richardson modelljétől a mai fejlesztési irányokig Alkalmazott számszerű előrejelzés: numerikus időjárási és csatolt modellek a gyakorlatban (Gyöngyösi A. Z., Weidinger T.). ELTE (Eötvös Loránd Tudományegyetem), Budapest. 8-13.
- Cheinet, S., Teixeira, J., 2003: A simple formulation for the eddy-diffusivity parameterization of cloud-topped boundary layers. *Geophysical Research Letters*, 30(18): 1–4.
<https://doi.org/10.1029/2003GL017377>

- Ferenczi, Z., Homolya, E., Lázár, K., Tóth, A., 2021: Effect of the uncertainty in meteorology on air quality model predictions. *Időjárás - Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 125(4): 625–646. <https://doi.org/10.28974/idojaras.2021.4.5>
- Gawuc, L., Szymankiewicz, K., Kawicka, D., Mielczarek, E., Marek, K., Soliwoda, M., Maciejewska, J., 2021: Bottom–Up Inventory of Residential Combustion Emissions in Poland for National Air Quality Modelling: Current Status and Perspectives. *Atmosphere*, 12(11), 1460. <https://doi.org/10.3390/atmos12111460>
- Mailler, S., Menut, L., Khvorostyanov, D., Valari, M., Couvidat, F., Siour, G., ... & Meleux, F., 2017: CHIMERE - 2017: from urban to hemispheric chemistry-transport modeling. *Geoscientific Model Development*, 10(6): 2397–2423. <https://doi.org/10.5194/gmd-10-2397-2017>
- Real, E., Couvidat, F., Chantreux, A., Megaritis, A., Valastro, G., Colette, A., 2024: Assessing the Robustness of Ozone Chemical Regimes to Chemistry-Transport Model Configurations. *Atmosphere*, 15(5): 532. <https://doi.org/10.3390/atmos15050532>
- Seity, Y., Brousseau, P., Malardel, S., Hello, G., Bénard, P., Bouttier, F., ... & Masson, V., 2011: The AROME-France Convective-Scale Operational Model. *AMS Journals*, 139(3): 976–991. <https://doi.org/10.1175/2010MWR3425.1>
- Szintai, B., Homonnai, V., Szűcs, M. T., 2017: Az AROME modell optimalizálása veszélyes időjárási helyzetek előrejelzéséhez. 43. Meteorológiai Tudományos Napok 2017. november 23–24., Mikro- és mezoskálájú légköri folyamatok modellezése (Geresdi I., Ács F., Szintai B., Weidinger T). Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest: 18. <https://doi.org/10.21404/43.MTN.2017>
- Timár, Á., Szabó, Z. A., Weidinger, T., 2017: A keveredési réteg magasságának meghatározása felhőalap-mérők visszaszóródási időszoraiból. *Repüléstudományi Közlemények*, 29(1): 220–222.
- Troen, I., Mahrt, L., 1986: A simple model of the atmospheric boundary layer: Sensitivity to surface evaporation. *Boundary-Layer Meteorology*, 37:129–148. <https://doi.org/10.1007/BF00122760>

Internetes hivatkozások

- [1 – CHIMERE] <https://www.lmd.polytechnique.fr/chimere/>
[2 – CAMS] <https://ads.atmosphere.copernicus.eu/>
[3 – CEIP] <https://www.ceip.at/>
-

ORCID

- Horváth K.  <https://orcid.org/0009-0007-5008-7836>
Ferenczi Z.  <https://orcid.org/0000-0002-9163-4628>
Mészáros R.  <https://orcid.org/0000-0002-0550-9266>