

Országos Meteorológiai Szolgálat

AZ ORSZÁGHATÁRON ÁTTERJEDŐ LEVEGŐSZENNYEZÉS MODELLEZÉSE

Szerző: dr. Ferenczi Zita

Budapest, 2016. február



1024 Budapest, Kitaibel Pál utca 1.
Tel: (1) 346 4600; Fax: (1) 346 4809
Internet: <http://www.met.hu>



Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék.....	2
1. Az országhatáron túlról érkező szálló por mennyiségének modellszámításokon alapuló meghatározása a 2012-2013. évekre	3
1.1 Az alkalmazott terjedési modell bemutatása	3
1.2 A modell bemenő adatainak bemutatása	5
1.2.1 Emisszió	5
1.2.2 Meteorológia	6
1.2.3 Kezdeti- és határfeltételek	7
1.3 A modellszámítások eredményei	7
1.3.1 A PM komponensek kibocsátásának változása 2000 és 2013 között.....	8
1.3.2 A hosszútávú transzport hatása a magyarországi PM ₁₀ szennyezettségre	9
1.3.3 Az egyes országok hozzájárulása a magyarországi PM _{2,5} szennyezettséghez	11
1.4 Összefoglalás - A modellszámítás eredményeiből levonható következtetések	14

1. Az országhatáron túlról érkező szálló por mennyiségének modellszámításokon alapuló meghatározása a 2012-2013. évekre

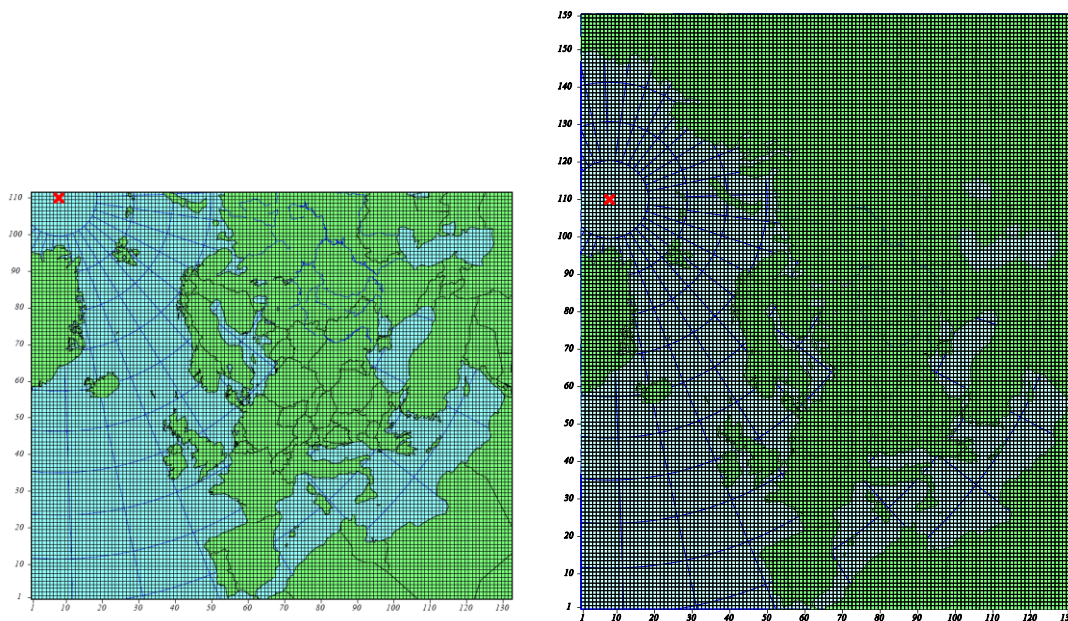
1.1 Az alkalmazott terjedési modell bemutatása

Az Európai Mérési és Kiértékelési Program (**EMEP** - European Monitoring and Evaluation Programme) 1977-ben egy sikeres kezdeményezés eredményeként indult, amelyhez majdnem minden európai ország csatlakozott azzal a céllal, hogy az akkor legjelentősebb környezeti problémát, a savas ülepedést vizsgálja. Amikor 1979-ben létrejött az „Egyezmény a nagy távolságra jutó, országhatárokon áterjedő levegőszennyezésről” (Genfi Egyezmény, CLRTAP), az EMEP integrált része lett az egyezménynek, amely azóta is fontos szerepet játszik az emissziócsökkentési forgatókönyvek kialakításában mind az Egyezményt aláíró, mind pedig az Európai Unió tagállamaira vonatkozóan.

Az EMEP két meteorológiai szintetizáló központja közül a nyugati központ (MSC-W) Oslóban található, és a fotooxidánsok, valamint az aeroszol részecskék nagytávolságú transzportjának modellszámításokkal történő vizsgálatáért felelős. A másik, keleti modellező központ Moszkvában dolgozik (MSC-E), és a nehézfémek és POP-ok (persistent organic pollutants – nehezen lebomló, a környezetben tartósan megmaradó szerves szennyezők) vizsgálatát végzi. A harmadik központ, a kémiai koordináló központ (CCC) az EMEP mérőhálózatának szakmai felügyeletét látja el, valamint évről évre összegyűjti, validálja, majd a modellező központok felé továbbítja a mérési eredményeket. Az MSC-W-nél futtatott modell egy 3-D Euler típusú kémiai transzport modell, amellyel a savas ülepedés, valamint a troposzférikus ózonhoz és az aeroszol részecskékhez köthető légszennyezettségi problémák vizsgálhatók. Az MSC-W kémiai transzport modelljének eredményei fontos információkat szolgáltatnak az International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) GAINS elnevezésű integrált hatáselemző modellje számára, amellyel a gazdasági és légszennyezettségi folyamatok komplex módon vizsgálhatók, és amely modell számítási eredményei meghatározó szerepet játszanak az emisszió csökkentési protokollok kidolgozásánál.

A tanulmányban található modellszámítási eredmények az EMEP nyugati központja (MSC-W) által kifejlesztett 3-D Euler típusú kémiai transzport modellel készültek. A modell szabad forráskódú, tehát bizonyos feltételek mellett a szoftver az interneten keresztül letölthető, installálható, majd futtatható. A továbbiakban ezt a modellt mutatjuk be röviden.

Az EMEP keretein belül elindult modellezési tevékenység Anton Eliassen és Øysten Hov norvég kutatók nevéhez fűződik, akik felismerték, hogy a légkörbe került szennyezőanyagok sok esetben nem a forrásukhoz közel, hanem attól távoli helyeken okoznak légszennyezettségi problémákat. A szennyezőanyagok nagytávolságú transzportjának vizsgálatára ezért indult meg a kémiai transzport modellek fejlesztése. Ezen modellek egyike az ún. **EMEP modell**. Az EMEP modell első verziója Lagrange típusú modell volt, amellyel egyedül a kén komponensek légköri terjedését lehetett tanulmányozni Európa térségében. A modelleredmények térbeli felbontása akkor $150\text{ km} \times 150\text{ km}$ volt, szemben a mai $50\text{ km} \times 50\text{ km}$ -es rácsfelbontással. Idővel a modellbe beépítették a nitrogén komponenseket és a troposzférikus ózont is, így Európa levegőszennyezettségét már komplexen lehetett vizsgálni a savasodás szempontjából. A modell fejlődésében lényeges mérföldkő volt, amikor matematikai leírásmód-váltás történt és a Lagrange-féle leírást az Euler-mód váltotta fel. A modell jelenlegi változatának is ez az Euler típusú kémiai transzport modell az alapja, bár az évek során jelentős fejlesztések történtek, elsősorban a kémiai mechanizmusokban. A modell továbbra is a savasodás és a fotooxidánsok nagytávolságú transzport vizsgálatának fontos eszköze.



1. ábra: Az EMEP modell számítási területe 1997 és 2008 között (bal oldal) és 2008-tól (jobb oldal)

A modell jelenlegi változata egy a 60. szélességi körön távolságtartó polár-sztereografikus vetületen, $50\text{ km} \times 50\text{ km}$ térbeli felbontású rácson számol. Az eredeti EMEP számítási terület csak Európát tartalmazta, de 2008-tól a modell számítási területét megnövelték Eurázsia felé. Az eredeti és a változás utáni térképkivágat az 1. ábrán látható. A modell számítási területe

vertikális irányban 100 hPa-ig (kb. 15 km magasságig) terjed, és ez a légréteg 20 szintre van felosztva oly módon, hogy a légszennyezőanyagok átkeveredése szempontjából lényeges alsó 3 km magasságú légrétegbe esik 10 réteg, amely lehetővé teszi ennek az alsó légrétegnek a jóval részletesebb vizsgálatát.

Az EMEP modellt története során több kémiai sémával futtatták, jelenlegi verziója az ún. EMEP-EmChem09 elnevezésű sémával dolgozik, amely 72 fajta kémiai anyag között lejátszódó 137 kémiai és 26 fotokémiai reakciót ír le.

A modell számol a kémiai anyagok száraz és nedves ülepedésével is. A száraz ülepedést az egyes szennyezőanyagok száraz ülepedési sebessége határozza meg. A nedves ülepedés lényegében két folyamat eredménye: az egyik a felhő alatti kimosódás, amikor a felhőből kihulló csapadékcseppek kimossák a levegőből a szennyeződések, a másik pedig a felhőkben történő kimosódás, amikor a szennyezőanyag részecskéi, mint kondenzációs magvak viselkednek, és rajtuk jönnek létre a felhőcseppek.

1.2 A modell bemenő adatainak bemutatása

1.2.1 Emisszió

Az EMEP modell standard input emissziós adatai az éves nemzeti rácsponti emissziós adatokból állnak elő, amelyek tartalmazzák a kén-dioxidot (SO_2), a nitrogén-oxidokat ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$), az ammóniát (NH_3), a nem-metán illékony szerves vegyületeket (NMVOC), a szén-monoxidot (CO) és az aeroszol részecskéket ($\text{PM}_{2,5}$, PM_{10}). Az aeroszol részecske kategória igény szerint tovább osztható elemi szénre, szerves anyagokra és más vegyületekre. Az emisszió lehet antropogén eredetű (fosszilis anyagok és biomassza alapú üzemanyagok égetése, oldószer kibocsátás stb.) vagy természetes forrású (pl. a lombkorona VOC kibocsátása, vulkánok stb.).

A CLRTAP jegyzőkönyvet aláíró országoknak minden évben nemzeti becsléseket kell készíteniük az antropogén szennyezőanyag kibocsátásukra vonatkozóan. Az adatok térbeli eloszlása meg kell, hogy egyezzen az EMEP rács térbeli felbontásával. Az emissziós adatokat 10 antropogén szektorra osztották fel, amelyeket SNAP kódoknak nevezünk (ez a típusú jelentési mód 2013-tól megváltozik, de jelenleg az EMEP modell még a SNAP kódok alapján készített emissziós fájlokat használja).

A talajközeli rétegre vonatkozó rácsponti, kétdimenziós emissziós adatokból háromdimenziós adatbázis készül, a szennyező fáklya emelkedését meghatározó fizikai törvényszerűségek figyelembevételével.

A nyers éves emissziós adatokból havi, heti és órás eloszlásfüggvények segítségével a kibocsátási adatok időbeli változékonyságát is előállítjuk. Ezekkel a függvényekkel lehet jellemezni pl. a fűtésből származó emisszióban tapasztalható havi változékonyságot vagy a közlekedésből származó kibocsátás jellegzetes napi és heti menetét.

1.2.2 Meteorológia

Az EMEP modell futtatásának nélkülözhetetlen bemenő adatai az adott év meteorológiai viszonyait leíró adatfájlok. Az EMEP modell története során több numerikus előrejelző modell rácsponti adatait használta, de 2009-től az ECMWF-IFS adatai jelentik a modell elsődleges meteorológiai inputját. Az ECMWF numerikus előrejelző modell 2011-től 3 órás időbeli és $0,14^\circ \times 0,14^\circ$ horizontális térbeli felbontással, 91 vertikális légköri szintre vonatkozóan az 1. táblázatban részletesen bemutatott adatokkal írja le a légkör viselkedését. A táblázatban feltüntettük azokat a fizikai és kémiai folyamatokat is, amelyeknek a leírásához az adott meteorológiai paramétert a modell felhasználja.

Paraméter neve	dimenzió	Folyamat, amelynek leírásában felhasználjuk az adott meteorológiai paramétert
3-D mezők:		
Horizontális szélesség komponensek	$m s^{-1}$	Advekción
Specifikus nedvesség	$kg kg^{-1}$	Kémiai reakciók, száraz ülepedés
Potenciális hőmérséklet	K	Kémiai reakciók, diffúzió
Csapadék	mm	Száraz és nedves ülepedés
Felhőfedettség	%	Nedves ülepedés, fotolízis
Vertikális szél komponens	s^{-1}	Vertikális advekción
Felfelé irányuló konvektív fluxus	$kg m^{-2} s^{-1}$	Vertikális transzport, nedves ülepedés
Lefelé irányuló konvektív fluxus	$kg m^{-2} s^{-1}$	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	$W m^{-2}$	Száraz ülepedés, stabilitás
Felszíni látens hőfluxus	$W m^{-2}$	Száraz ülepedés
Momentum fluxus vagy súrlódási sebesség	$N m^{-2}$ vagy $m s^{-1}$	Száraz ülepedés, stabilitás
Hó magasság	m	Száraz ülepedés
Jégborítottság aránya	%	Száraz ülepedés
Tengerfelszín hőmérséklete	K	Tengeri só
Szélesség 10m-en	$m s^{-1}$	Tengeri só
A felszín közeli rétegben a talaj víztartalma	–	Por emisszió
Gyökérszónában a talaj víztartalma	–	Száraz ülepedés

1. táblázat: Az EMEP modell input meteorológiai paraméterei

1.2.3 Kezdeti- és határfeltételek

A modell inicializálásához a hosszú tartózkodási idejű szennyezőkre vonatkozóan kezdeti koncentráció értékekre van szükség (kezdeti feltétel). Ezek azok a koncentráció értékek, amelyek a kémiai reakcióknál a kiindulási értéket jelentik. Mivel az EMEP modellt nem a teljes hemiszférára vonatkozóan futtatjuk, hanem egy európai kivágatra (korlátos tartomány), a számításokhoz a tartomány peremére vonatkozóan ún. határfeltételeket is definiálni kell. Annak érdekében, hogy a modell reális eredményeket szolgáltatson, megfelelő kezdeti- és határfeltételeket kell biztosítani a modell futtatásához. A szükséges adatokat kétféle módon is elő lehet állítani:

- 1) Az EMEP modell egyik korábbi futtatásának eredményei vagy egy globális kémiai transzport modell futtatásának eredményei.
- 2) Egyszerű függvények használata annak érdekében, hogy meg lehessen határozni koncentráció értékeket a földrajzi szélesség függvényében, évszakonként és napszakonként. Az egész számítási tartományra vonatkozóan a teljes ózon tartalom kezdeti értéke egy 3-D mezőre van megadva az éghajlati ózon-szonda adatbázis alapján, amelyet havonta pontosítanak a derült időben végzett felszíni megfigyelésekkel.

Gyakorlati felhasználások esetében a második módszer kerül alkalmazásra az EMEP modellben.

1.3 A modellszámítások eredményei

A PM (particulate matter) nagytávolságú transzportjának meghatározásánál a vizsgálati terület az EMEP jelenlegi modellverziója által lefedett térség (1. ábra). A számítások során az egyes országok hatásai mellett az adott térségben található természetes források együttes szerepét is figyelembe vettük. A természetes források közül legjelentősebb a tengerek és a vulkánok hatása a PM légszennyezettségi viszonyokra. A számításoknál figyelembe vett országok, földrajzi tájegységek és természetes kibocsátók a következők:

- | | |
|------------------------------|----------------------|
| 1) EU-27 kibocsátók | 8) Balti-tenger |
| 2) Albánia | 9) Fekete-tenger |
| 3) Örményország | 10) Fehéroroszország |
| 4) Ázsiai területek | 11) Svájc |
| 5) Északkeleti-Atlanti-óceán | 12) Grúzia |
| 6) Azerbajdzsán | 13) Grönland |
| 7) Bosznia-Hercegovina | 14) Horvátország |

- | | |
|------------------------|---------------------|
| 15) Izland | 24) Északi-tenger |
| 16) Kirgizisztán | 25) Szerbia |
| 17) Kazahsztán | 26) Oroszország |
| 18) Moldáv Köztársaság | 27) Tádzsikisztán |
| 19) Montenegró | 28) Türkmenisztán |
| 20) Földközi-tenger | 29) Törökország |
| 21) Makedónia | 30) Ukrajna |
| 22) Norvégia | 31) Üzbegisztán |
| 23) Észak-Afrika | 32) Vulkánkitörések |

1.3.1 A PM komponensek kibocsátásának változása 2000 és 2013 között

A 2. ábrán bemutatjuk, hogy a 2000 és 2013 közötti időszakban hogyan változott Európában és Magyarországon a PM₁₀ és a PM_{2,5} kibocsátása. Az ábrákon a 2000-es évre vonatkozó emissziós érték felel meg 100%-nak, a következő évek kibocsátási értékeit ehhez az értékhez viszonyítva adjuk meg. A 2. ábrán feltüntetett emissziós értékek az EMEP-CEIP (Centre on Emission Inventories and Projections, <http://www.ceip.int>) honlapjáról letöltött hivatalos emissziós adatok, amelyek alapján a modellszámítások során felhasznált rácsponti emissziós adatbázis készült. Magyarország az elmúlt évben felülvizsgálta a PM-re vonatkozó emissziós értékeket. Ez a magyarázata annak, hogy a korábbi jelentésekhez képest jelentős változást tükröz az emissziót bemutató ábra. Jellemző, hogy nemcsak hazánk, hanem az európai országok közül többen felülvizsgálják a már lejelentett kibocsátási adataikat. A felülvizsgálatok miatt az európai helyzetet ábrázoló grafikon is eltérést mutat a korábbiakhoz képest.



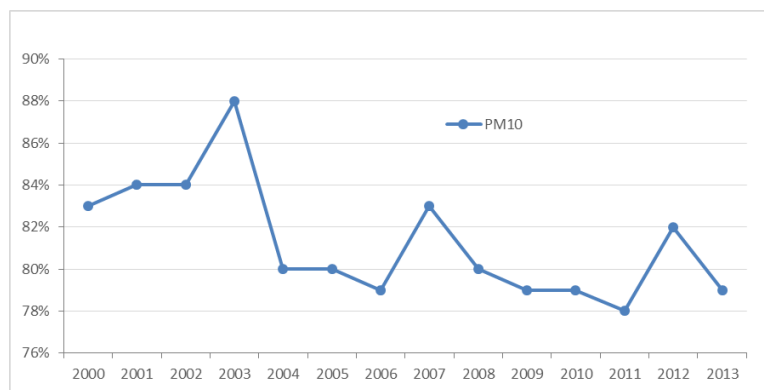
2. ábra: PM₁₀ és a PM_{2,5} emisszió Európában (baloldal) és Magyarországon (jobboldal) (forrás: <http://www.ceip.int>)

Az ábrák alapján megállapítható, hogy az elmúlt 14 év folyamán, Európában a PM komponensek kibocsátása folyamatosan csökkent. Magyarországon a változás iránya évről évre változott. Legdrasztikusabb csökkenés Magyarország esetében 2003 és 2005 között figyelhető meg. 2008 és 2011 között a kibocsátás ismét emelkedő tendenciát mutat, végül az utolsó 2

évben újra megindult a PM kibocsátás csökkenése hazánkban. Megállapítható, hogy a nagytávolságú transzport számításoknál figyelembe vett emissziós értékek sok esetben ellentétes irányú változást mutattak Európában, mint Magyarországon. Ezt azért fontos hangsúlyozni, mert ezek a változások jelentősen befolyásolják a modellszámítások eredményeit.

1.3.2 A hosszútávú transzport hatása a magyarországi PM₁₀ szennyezettségre

A modellszámítások alapján először azt határoztuk meg, hogy a magyarországi PM₁₀ szennyezettséghez a 2000 és 2013 közötti években a nagytávolságú transzport milyen arányban járult hozzá (3. ábra). A 3. ábrán a határon túli források hatásának mértékében tapasztalható időbeli változékonyságot elsősorban az európai és a magyarországi emisszióban megfigyelhető ellentétes irányú változások okozzák. A vizsgált 14 év során a nagytávolságú transzport szerepe 2003-ban volt a legmagasabb, míg 2011-ben a legkisebb. Ez azzal magyarázható, hogy míg Európában folyamatos a PM₁₀ emisszió csökkenése, addig Magyarországon időről időre emelkedés is megfigyelhető az emissziós értékekben. Természetesen a légkör áramlási viszonyaiban tapasztalható természetes változékonyság is szerepet játszik abban, hogy a nagytávolságú transzport mértéke évről évre változik.

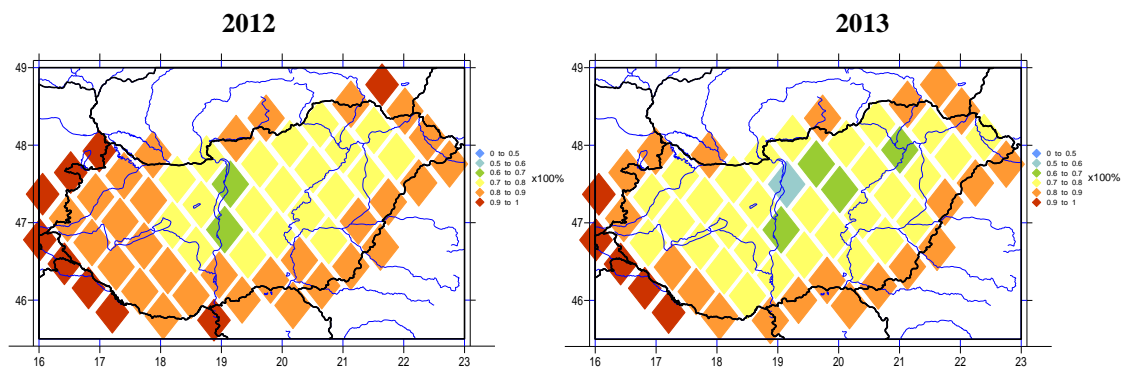


3. ábra: A nagytávolságú transzport hozzájárulásának aránya a magyarországi PM₁₀ szennyezettséghez 2000 és 2013 között

A modellszámítások alapján megállapítható, hogy a magyarországi PM₁₀ szennyezettség kialakulásáért kb. 80 %-ban Magyarország területén kívül eső források a felelősek. A 2. ábra jobb oldalán található grafikon alapján az is elmondható, hogy a vizsgált 14 évben a magyarországi PM₁₀ emisszió jelentős mértékben változott, és ez a változás okozhatja a nagytávolságú transzport hatásában tapasztalható néhány százalékos változékonyságot az egyes években.

A vizsgált 14 év során csökkenő trend figyelhető meg a nagytávolságú transzport hatásának mértékében. A határon túli források szerepe 2003-ban volt a legjelentősebb (88 %) és 2011-ben a legkisebb (78 %).

A modellszámítások alapján a nagytávolságú transzport hatásának térbeli változékonysága is vizsgálható (4. ábra), amely legjelentősebb az ország nyugati határvidékén, legkisebb a Duna és a Tisza által határolt északi területeken.



4. ábra: A nagytávolságú transzport hozzájárulásának aránya a magyarországi PM₁₀ szennyezettséghez

A környezetvédelmi és vízügyi miniszter a 4/2002. (X.7.) rendeletében hazánk településeire és területeire érvényes légszennyezettségi agglomerációkat és zónákat határozott meg. A zónacsoport vagy zónatípus a légszennyezettség alapján kijelölt olyan területegységet jelent, amelyen belül a környezetvédelmi hatóság által meghatározott helyen a szennyezőanyag koncentrációja tartósan vagy időszakosan a 14/2001. (V.9.) KöM-EüMFVM együttes rendelet 4. számú mellékletében meghatározott tartományok valamelyikébe esik. A zónák kijelölésénél a következő légszennyezőanyagokat kell figyelembe venni: kén-dioxid, nitrogén-dioxid, nitrogén-oxidok, ózon, szén-monoxid, ólom, benzol, üledő por és annak néhány összetevője. A légszennyezettség mértéke alapján megállapított zónák Magyarországon:

1. Budapest és környéke
2. Győr – Mosonmagyaróvár
3. Komárom – Tatabánya – Esztergom
4. Székesfehérvár – Veszprém
5. Dunaújváros környéke
6. Pécs környéke
7. Sajó völgye
8. Debrecen környéke

A vizsgálat második részében az itt felsorolt 8 magyarországi zónára vonatkozóan határoztuk meg, hogy mekkora arányban járult hozzá a nagytávolságú transzport az egyes zónák PM_{10} szennyezettségéhez.



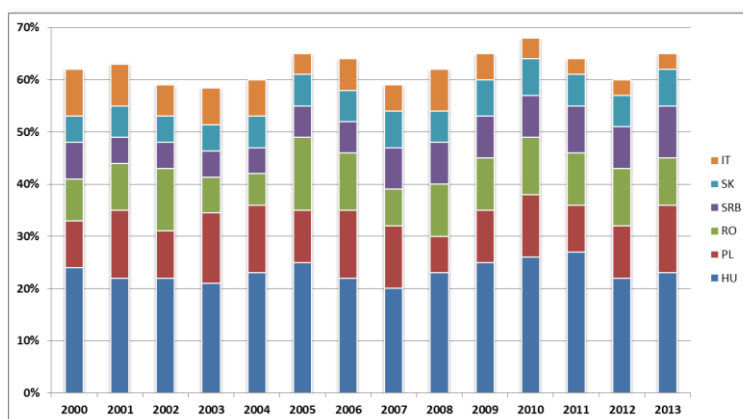
5. ábra: A nagytávolságú transzport hozzájárulásának aránya az egyes magyarországi zónák PM_{10} szennyezettségéhez százalékos arányban

Az 5. ábrán jól látható, hogy a nagytávolságú transzport hatása a magyarországi zónákat vizsgálva az 1-es (Budapest és környéke) és 5-ös (Dunaújváros és környéke) zónában a legkisebb (ez a 4. ábrán is jól megfigyelhető), míg a 2-es (Győr – Mosonmagyaróvár) és 6-os (Pécs környéke) zónában a legjelentősebb. A vizsgált 14 éves időszakban a határon túli források szerepe folyamatos csökkenő tendenciát mutat 2011-ig (összhangban az országos átlaggal: 3. ábra). A csökkenés mértéke Budapest és Dunaújváros környezetében a legjelentősebb: a 2000-es évek elején tapasztalt közel 80 %-ról 2013-ra 60 % körüli értékre esett vissza. A többi zónában a változás nem ilyen drasztikus, de minden esetben csökkenő tendenciát mutat.

1.3.3 Az egyes országok hozzájárulása a magyarországi $PM_{2,5}$ szennyezettséghez

A továbbiakban azt vizsgáltuk, hogy Magyarországon a kialakuló $PM_{2,5}$ légszennyezettséghez mely országok járulnak hozzá jelentős mértékben. Az egyes országok hozzájárulásának mértéke alapján nagyságrendi sorrendet állítottunk fel, és Magyarország mellett az öt legjelentősebb hatást képviselő országot tüntettük fel a 6. ábrán 2000 és 2013 között.

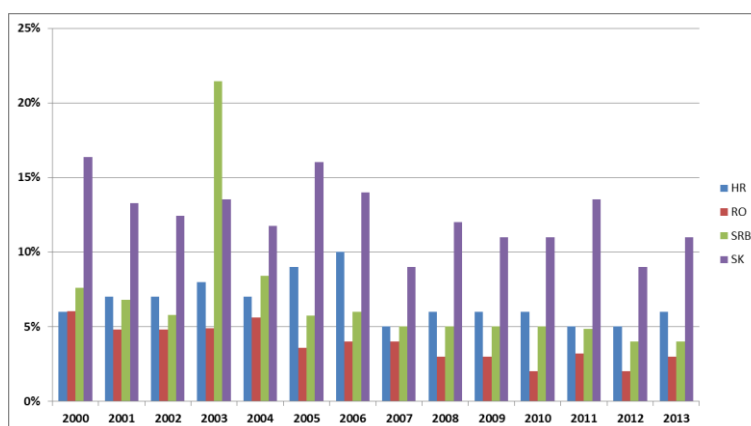
A 6. ábra alapján elmondható, hogy hazánk a hazai $PM_{2,5}$ szennyezettséghez kb. 20-25 %-os arányban járul hozzá, valamint Magyarországgal együtt Lengyelország, Románia, Szerbia, Szlovákia és Olaszország együttesen az országban kialakuló $PM_{2,5}$ szennyezettségért 60-65 %-ban felelősek. A vizsgált 14 év alatt az említett 5 ország hatása mutatott némi időbeli változékonyságot, de nem számottevő mértékben. Egyedül Olaszország esetében állapítható meg, hogy hatása a magyarországi $PM_{2,5}$ szennyezettségre folyamatos csökkenést mutat.



6. ábra: Az egyes országok százalékos hozzájárulása a magyarországi PM_{2,5} szennyezettséghez

Általánosságban megállapítható, hogy a környező országok közül Lengyelország és Románia hatása a legjelentősebb a hazai PM_{2,5} szennyezettségre, a két ország együttes szerepe összemérhető a hazai hatások mértékével. A többi ország befolyásának mértéke évről évre kis mértékben változik, amely főleg a meteorológiai viszonyok változékonyságával magyarázható.

Végül megvizsgáltuk azt is, hogy a magyarországi PM_{2,5} emisszió milyen mértékben járul hozzá a környező országok PM_{2,5} légszennyezettségéhez. A vizsgálat eredményét a 7. ábrán tüntettük fel, amely alapján megállapítható, hogy a hazai emisszió legalább olyan mértékben járul hozzá a környező országok légszennyezettségi viszonyaihoz, mint az azokban az országokban történt kibocsátás a hazai PM_{2,5} szennyezettséghez.

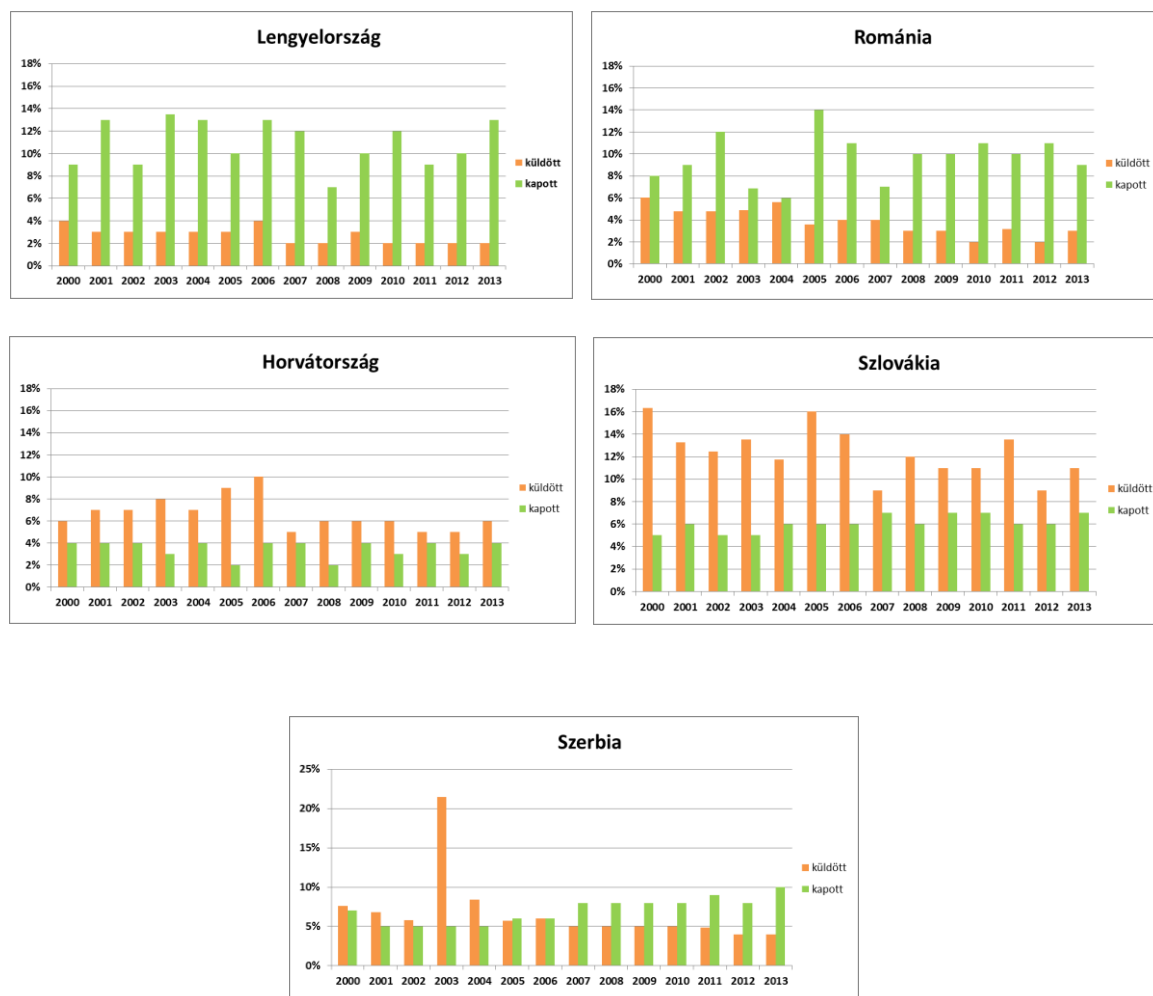


7. ábra: Magyarország %-os hozzájárulása a környező országok PM_{2,5} légszennyezettségi viszonyaihoz

Magyarország legnagyobb arányban Szlovákia PM_{2,5} légszennyezettségi viszonyaihoz járul hozzá, a hatás 2000-ben és 2005-ben volt a legjelentősebb (16 %), míg 2007-ben és 2012-ben a legkisebb (9 %). Horvátország és Szerbia esetében is számottevő Magyarország hatása, 10 % körüli. Az arányszámok nagyságában megfigyelhető évenkénti eltéréseket a meteorológiai

viszonyok mellett az egyes országok emissziójában évről évre bekövetkezett változás is jelentősen befolyásolja.

Miután meghatároztuk, hogy Magyarország milyen arányban járul hozzá a környező államok PM_{2,5} légszennyezettségi viszonyaihoz, lehetővé vált, hogy meghatározzuk, mely országok nettó szennyezői hazánknak, és Magyarország mely országok nettó szennyezője. Az eredményeket a 8. ábrán foglaltuk össze.



8. ábra: Magyarországon az adott országtól kapott, ill. az adott országban a Magyarországról küldött PM_{2,5} szennyezés aránya

A 8. ábra alapján megállapítható, hogy Lengyelország és Románia jóval nagyobb mértékben szennyezi hazánkat (10 %), mint amilyen mértékben Magyarország hozzájárul (3-4 %) a két említett ország PM_{2,5} légszennyezettségi viszonyaihoz. Horvátország és Szlovákia esetében viszont fordított a helyzet, a hazai források nagyobb arányban (Horvátország: 7 %, Szlovákia: 13 %) szennyezik a szomszédos ország levegőjét, mint amilyen mértékben a szlovákiai (6 %) és a horvát (4 %) források hazánkat. Szerbia esetében pedig a két hatás közel azonos mértékű (5 %) volt 2005-ig, majd szennyező hatása egyre jobban meghaladja

Magyarországot, sőt 2013-ra ez a hatás eléri a 10 %-ot. Szerbia esetében 2003-ban megfigyelhető egy kiugró érték, amikor Magyarország hatása 25 % volt. Ez az érték nehezen értelmezhető, de valószínűleg Szerbia emissziós adataiban és a meteorológiai hatásokban kell keresni a magyarázatot.

Végül meghatároztuk, hogy a 14 év átlagában (2000-2013) Magyarország által kibocsátott részecskék 29 %-a maradt hazánk területén, 71 %-a pedig átlépte az országhatárt és más országok PM szennyezettségéhez járult hozzá. Azonban ez az arányszám az utóbbi években jelentősen változott (elsősorban 2008 után), 2008-2013 átlagát tekintve megállapítható, hogy a Magyarország által kibocsátott részecskék 35 %-a marad hazánk területén, 65 %-a pedig átlépi az országhatárt és más országok PM szennyezettségéhez járul hozzá.

1.4 Összefoglalás - A modellszámítás eredményeiből levonható következtetések

A tanulmányban megvizsgáltuk, hogy a PM légszennyezettség kialakulásához milyen mértékben járulnak hozzá az országhatáron túli légszennyező források. A vizsgálat eszköze az EMEP kémiai transzport modell volt, amellyel végzett számítások jelentették az elemzések alapját. A számításokból levonható következtetések a következők:

- A Magyarországon kialakuló PM légszennyezésért 70-80 %-ban az országhatáron túli légszennyező források a felelősek.
- A nagytávolságú transzport hatása jelentős térbeli változékonyságot mutat, legjelentősebb az ország nyugati határvidékén, legkisebb a Duna és a Tisza által határolt északi területeken.
- Az európai államok közül Romániából és Lengyelországból érkezik a legtöbb szennyezés Magyarország légterébe.
- A Magyarországon kibocsátott részecskék leginkább Szlovákia és Horvátország PM szennyezettségéhez járulnak hozzá jelentős mértékben.
- 2008 óta hazánk által kibocsátott részecskék 35 %-a marad hazánk területén, 65 %-a átlépi az országhatárt.