

A LEVEGŐMINŐSÉG ELEMZÉSÉNEK EGY ÚJ LEHETŐSÉGE: SHERPA

A NEW TOOL FOR ASSESSMENT OF THE AIR QUALITY: SHERPA

Homolya Emese, Ferenczi Zita

Országos Meteorológiai Szolgálat, 1181 Budapest, Gilice tér 39., homolya.e@met.hu, ferenczi.z@met.hu

Összefoglalás. A levegőminőségi modelleknek, bonyolultságuk, eltérő számítástechnikai igényük, alkalmazhatóságuk tekintetében többféle típusát különíthetjük el, viszont minden esetben a szennyezőanyag-kibocsátás és a környezetben kialakuló koncentrációk közti kapcsolatot írják le. Általános összetettségükből adódóan jellemzően számításigényesek, így egy időben csak korlátozott számú szimuláció elvégzését teszik lehetővé. A számításigény csökkentésére forrás-receptor kapcsolatokon alapuló egyszerűsített modelleket hozhatunk létre, amelyek egyszerűsített formában adják vissza a teljes levegőminőségi modell viselkedését. Cikkünkben egy ilyen, forrás-receptor kapcsolatokon alapuló levegőminőség kiértékelő eszköz, az Európai Bizottság Közös Kutatóközpontja (European Commission Joint Research Centre) által fejlesztett SHERPA szoftver elméleti hátterét és gyakorlati alkalmazhatóságát mutatjuk be.

Abstract. Air quality models are diverse regarding their complexity, computer requirements and application, however, a common feature is that they are capable of describing the connection between emission of pollutants and concentrations evolving in the environment. Due to the models' complexity in general, the calculations are typically time consuming, and therefore enable a limited number of simulations at once. It is possible to develop simplified models based on source-receptor relationships in order to decrease computation time. These models reproduce the behaviour of the full air quality model in a simplified way. We present here the theoretical background and a practical application of such a simplified source-receptor model called SHERPA, which is developed by European Commission Joint Research Centre and used for the assessment of air quality.

Bevezetés. Az elmúlt évtizedekben a különféle légszennyező anyagok emissziójának csökkentésére irányuló törekvéseknek köszönhetően Európa levegőminősége jelentősen javult. Európa-szerte több ezer állomáson történik a levegőminőség folyamatos megfigyelése, a szennyezőanyagok koncentrációs szintjének nyomon követése. A megfigyelési adatok sok hasznos információt szolgáltatnak, azonban a levegőminőség komplex vizsgálata ma már elképzelhetetlen levegőminőségi modellek alkalmazása nélkül. Míg ezeket a szoftvereket néhány évtizede még csak a kutatóintézetek alkalmazták, elsősorban kutatási céllal, addig manapság elterjedten használatosak a levegőminőségi vizsgálatok során. Ezek a modellek nagyon sokfélék, bonyolultságuk, számítástechnikai igényük nagyon eltérő, azonban közös bennük, hogy a szennyezőanyag-kibocsátás és a környezetben kialakuló koncentrációk közti kapcsolatot írják le.

A levegőminőségi modelleknek alapvetően két típusát különböztetjük meg (1. ábra). Attól függően, hogy elemzésünk során a kibocsátás forrására, vagy a receptorpontokra vonatkozó ismereteinkből indulunk ki, forrás- vagy receptor-orientált modellekről beszélünk.

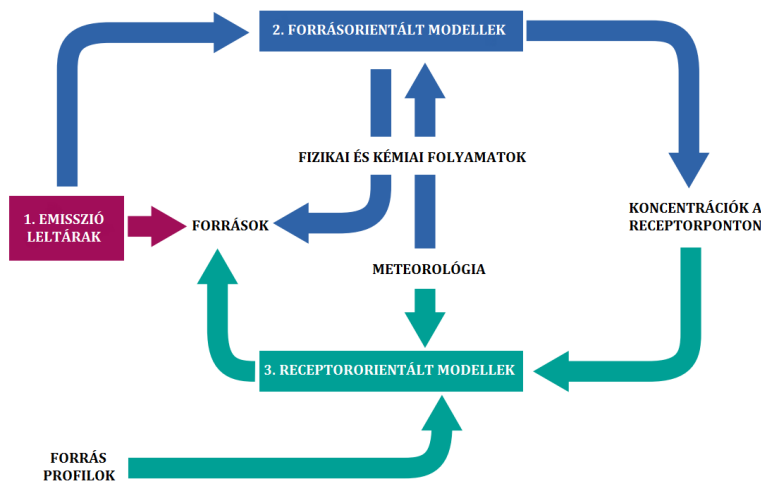
A forrás-orientált – vagy legelfogadottabb nevükön a kémiai transzport – modellek a terjedési, kémiai és a kiülepedési folyamatok, valamint a köztük lévő kölcsönhatások matematikai leírásán alapulnak. Alkalmazási lehe-

tőségük a levegőkémia számos kutatási területére kiterjed, lehetőséget nyújtanak annak elemzésére is, hogy adott kibocsátáscsökkentés az immiszió milyen változást vonja maga után.

A receptor-orientált modellek adott pont közvetlen környezetére jellemző tulajdonságokat és azok megváltozásait veszik elsőként figyelembe, a mért koncentrációkat arányítják az emissziós forrásokhoz, egy tömegegyensúlyi egyenlet többváltozós analízis révén történő megoldásával. Ezeknek a módszereknek előnye, hogy valós méréseket használnak fel a számításokhoz, az eredmény bizonytalanságát is megadják, azonban erősen reaktív

szennyezőanyagok esetében alkalmazhatóságuk korlátozott. Leggyakrabban annak meghatározására használatosak, hogy adott területen kialakuló szennyezőanyag koncentrációkhoz a különféle források milyen mértékben járulnak hozzá.

Egyéb módszerekkel ötvözve, úgy mint az emisszióeltárak számbavétele vagy terjedési modellek alkalmazása, az eredmények együttes kiértékelésével fokozható a módszerek



1. ábra: A forrásazonosítás becslésére alkalmazott módszerek sematikus ábrázolása (Belis et al., 2014)

hatékonysága.

A levegőminőségi modellek, általános összetettségükből adódóan, rendkívül számításigényesek, így egyidőben csak korlátozott számú szcenárió szimulálását teszik lehetővé. Ennek kiküszöbölésére forrás-receptor kapcsolatokon alapuló egyszerűsített modelleket hozhatunk létre, amelyek egyszerűsített formában adják vissza a teljes le-

vegőminőségi modell viselkedését. Általában akkor alkalmazzuk ezeket a modelleket, amikor rövid idő áll rendelkezésre a scenáriók értékelésére, de abban az esetben is nagyon hasznosak lehetnek, amikor többféle lehetséges emisszióscsökkentési forgatókönyv hatását kívánjuk elemezni.

A szakirodalomban sok példát találhatunk a módszer alkalmazására, ezek többsége azonban nagyszámú szimulációt igényel a forrás-receptor kapcsolatok definiálásához. Egyes módszerek érzékenységi együtthatókat határoznak meg egy kezdeti, nemlineáris parciális differenciálegyenlet-rendszer megoldására alapozva, amely együtthatók a kibocsátások hatását írják le a szennyezőanyag koncentrációkra. Az alkalmazott módszerek általában a források és a receptorok előzetes definiálását igénylik, amelyek számának növekedésével a számításigény is növekszik.

Ilyen, forrás-receptor kapcsolatokon alapuló módszerekre épül a SHERPA levegőminőség kiértékelő eszköz (2. ábra). Segítségével kiszámítható, hogy adott emisszióscsökkentés milyen változást idéz elő a levegő minő-



2. ábra: A SHERPA nyitóképernyője

ségében, az intézkedések meghozatala során mely kibocsátási szektorokra (forrástípusokra) és szennyezőanyagokra érdemes összpontosítani, továbbá az is meghatározható, hogy a helyi levegőszennyezéshez a szomszédos területek milyen arányban járulnak hozzá. A számítások alapját az INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques – Ipari Környezet és Kockázatok Nemzeti Intézete, Franciaország) által elkészített rácsponti emisszió leltár, valamint a CHIMERE kémiai transzport modell számítási eredményei képezik. A szoftver célja a levegőminőség javítására irányuló regionális szintű tervek kidolgozásának támogatása.

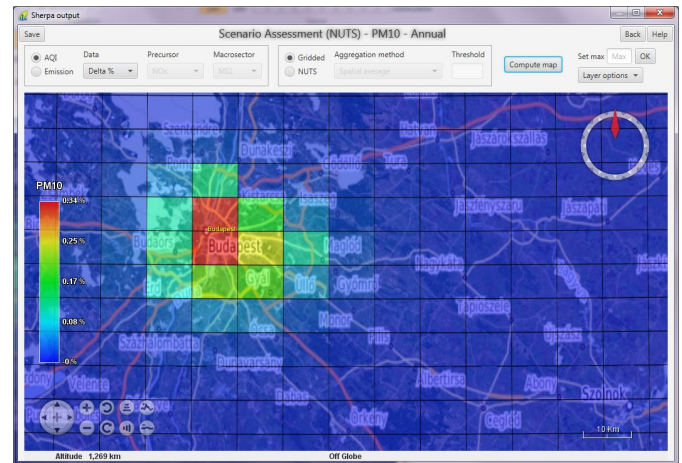
Forrás-receptor kapcsolatokra alapozott modellezés.

A forrás-receptor kapcsolatok alakulásának vizsgálatával (a modell válaszában éves átlagaira összpontosítva) foglalkozik Clappier et al. 2015-ben megjelent tanulmánya. Az általuk alkalmazott rendszer alapját egy Euler-típusú levegőminőségi modell képezi, melyben a forrás-receptor kapcsolatok kialakítása kísérleti alapon történt. A kísérlet a következő lépésekből tevődött össze:

1. a teljes levegőminőségi modell futtatása kiválasztott meteorológiai viszonyok mellett,
2. az egyszerűsített modell tervezése úgy, hogy a lehető legjobban adja vissza a levegőminőségi modell forrás-receptor összefüggéseit,
3. a modell validálása független szimulációk sorozatával.

Lényeges, hogy az egyszerűsített modell a vizsgálat céljának szempontjából jól reprezentálja az összetett levegőminőségi modell viselkedését, és a feltételezések érvényessége ne sérüljön a számítások során. A módszer elsődleges előnyei, hogy kevesebb szimuláció szükséges a modell felfuttatásához (első lépés), valamint hogy rugalmas a forrás definiálását tekintve.

A vizsgálati tartomány egy adott földrajzi terület, amelyre a levegőminőségi modellezést elvégezzük. Habár a tartományban a kibocsátás és a koncentráció értékek is ugyanarra a térrácsra adva állnak rendelkezésre, különbséget teszünk a kibocsátási és a receptor rácshálók között. Alapértelmezés szerint minden receptor hálóelem kapcsolódik minden forrás hálóelemhez, emellett a kü-



3. ábra: A közúti közlekedésből (MS7) származó PM₁₀ kibocsátás 10%-os csökkentésének hatása Budapest levegőminőségére.

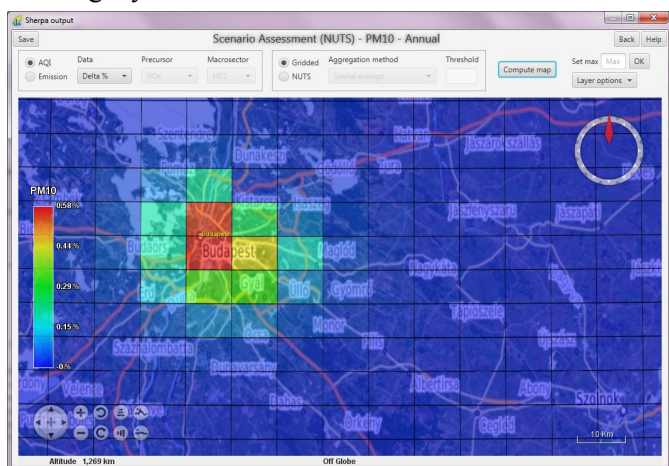
lönféle kibocsátott elővegyületek (prekursorok) egyenként befolyásolják az immisziót, vagyis minden egyes forráselemből származó minden elővegyület kibocsátás hozzájárul minden egyes receptorelem koncentrációjához. Ezek a kapcsolatok matematikailag különféle nemlineáris függvények segítségével írhatók le. A nemlineáris függvény alakja határozza meg, hogy hány darab érzékenységi együtthatóra van szükség adott elővegyület emisszió és receptorpont közti matematikai összefüggés definiálásához. Lineáris jellegű kapcsolat esetén egyetlen együttható elegendő egy forrás és egy receptorpont összekapcsolásához, a nemlinearitás növekedésével az együtthatók száma is növekszik.

Thunis et al. (2015) PM₁₀ részecskékre végzett elemzése alapján arra a következtetésre jutott, hogy éves, valamint évszakos skálán a nemlinearitás hatásai elhanyagolhatók, az összefüggések így lineárisnak tekinthetők. Nehézséget okoz azonban, hogy az ismeretlenek nagy száma révén a teljes levegőminőségi modell egyenleteinek megoldása során könnyen túlléphető a kezelhető mennyiségű szimuláció maximális száma.

Forrás-receptor elemek csoportosítása. A feladat egyszerűsíthető a forrás és/vagy a receptor elemek csoportosításával (aggregálásával), melynek során feltételezzük, hogy az érzékenységi együtthatók állandók a hálóelemek egy-egy együttesén.

Rögzített forráscsoport – egy receptor elem. A forrás-elemekből csoportokat hozhatunk létre a földrajzi elemeknek megfelelően (országok, régiók, azok csoportjai), a receptorok továbbra is az egyedülálló hálóelemek. Az ismeretlenek száma a kialakított csoportok száma szerint csökken.

Előnye a módszernek, hogy csökken a számítandó scenáriók száma, hátrány viszont, hogy a forráscsoportok előre definiáltak, így rögzítettek, ami a térbeli felbontás rögzítését is jelenti, így a választott földrajzi elemek területén belül eső, kisebb területű források hatása nem elemezhető. Olyan módon növelhető csak a térbeli felbontás, ha újabb scenáriók szimulációját végezzük el a levegőminőségi modellel, ezzel viszont a számítások gyorsan időigényessé válnak.



4. ábra: A lakossági tüzelésből (MS2) származó PM_{10} kibocsátás 10%-os csökkentésének hatása Budapest levegőminőségére.

Mozgó forráscsoport – egy receptor elem. Mozgó forráscsoport kialakítása esetén adott szerkezetű forráscsoportot rendelünk minden receptorhoz, a csoportok a tartományon belül így – receptorról receptorra – változtatják a helyzetüket, a receptorhoz képesti elhelyezkedésük azonban mindig ugyanolyan. Két lehetséges módja a csoportok kialakításának:

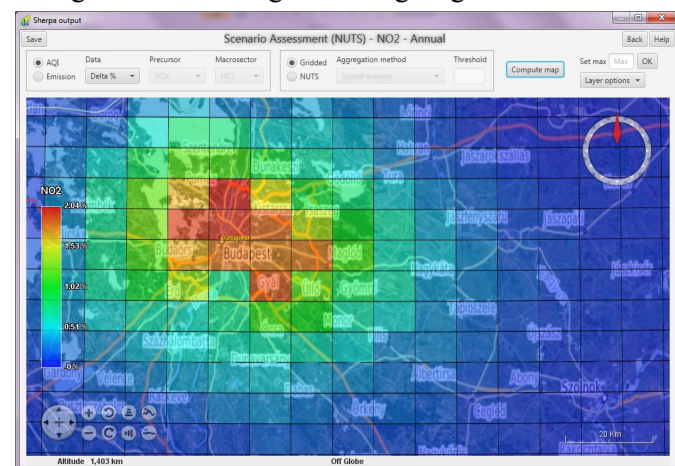
- Kvadránsok: négy kvadráns tartozik minden receptorhoz. Az ismeretlenek száma ezzel számottevően lecsökken, hátrány viszont, hogy a rövid és hosszú távú kibocsátásokra ugyanez az egyedi elrendezés használatos.
- Gyűrűs elrendezés: a kvadránsokhoz hasonló módszer, azzal, hogy az egyes csoportelemek a receptor körül egyre szélesedő gyűrűkben elrendezve helyezkednek el. Ezzel a módszerrel növelhető a kibocsátások hatásainak elemzésére alkalmazott térbeli felbontás.

A mozgó forráscsoportok nem kötöttek az összetett levegőminőségi modellel végzett szimulációkhoz megadott csoport területekhez, így a terület, amelyre az emisszió-csökkentést bevezetjük, utólag is definiálható, ezáltal rugalmasságot biztosítanak a forrás-receptor kapcsolatokon alapuló modellek alkalmazásában.

Receptorcsoportosítás. További lehetőség a szimulációk számának csökkentésére, ha feltételezzük, hogy adott területen található receptorok azonos mértékben részesülnek a vizsgált emissziós hatásokból. Ezeket a területeket, ahol az érzékenységi együtthatókat konstansnak feltételezzük, a nemzetközi irodalomban szereplő „receptor window” kifejezés magyar megfelelőjeként receptor ablakoknak nevezzük.

Az előbbieken bemutatott módon kialakított egyenletrendszerben az ismeretlenek számát a forráscsoportok és az elővegyületek együttes száma határozza meg, a kiszámításukhoz szükséges scenáriók számát pedig a receptor ablak mérete befolyásolja.

A SHERPA levegőminőség-elemző szoftver. A SHERPA (Screening for High Emission Reduction Potential on Air) az Európai Bizottság Közös Kutatóközpontja (European Commission Joint Research Centre) által kifejlesztett levegőminőség értékelő eszköz, melynek célja a levegőminőség javítására irányuló regionális szintű tervek kidolgozásának támogatása. Segítségével kiszámítható,



5. ábra: A közúti közlekedésből (MS7) származó NO_2 kibocsátás 10%-os csökkentésének hatása Budapest levegőminőségére.

hogy adott emissziócsökkentés milyen változást idéz elő a levegő minőségében.

A SHERPA egész Európát lefedő, nagyjából 7 km x 7 km-es felbontású, előre definiált, az emisszió leltárakat is magukba foglaló bemeneti adatokkal dolgozik, lehetővé téve bármilyen, Európán belüli térségre irányuló levegőminőségi intézkedések hatásainak elemzését. Rugalmasságából adódóan helyi szinten előállított, nagyfelbontású adatok feldolgozására is alkalmas.

A szoftver célja, hogy segítse a döntéshozókat az elérhető maximális levegőminőség javuláshoz vezető lokális intézkedések meghozatalában és annak azonosításában, hogy ehhez mely szektorokra és szennyezőanyagokra érdemes összpontosítani. Kiszámítható továbbá az is, hogy a helyi levegőszennyezéshez a szomszédos területek milyen arányban járulnak hozzá.

A program alapképernyőjéről négy különböző modul érhetünk el. A „Scenario Assessment (NUTS)” modul adott kibocsátáscsökkentés levegőminőségre gyakorolt hatását jeleníti meg a felhasználó által megadott területre (NUTS régiók: 1. táblázat) és környezetére. A kibocsátás csökkentést a felhasználó szektorokra (2. táblázat);

EMEP, 2013) és elővegyületekre is szabadon definiálhatjuk. Az értékeket százalékos arányban adhatjuk meg.

A „Source Apportionment” modul becslést ad arra vonatkozóan, hogy egy adott kibocsátáscsökkentési forgatókönyv mellett a teljes várható hatásához a különféle kibocsátási szektorok és az egyes elővegyületek hogyan járulnak hozzá, a „Governance Control Area” modul segítségével pedig arra kapunk választ, hogy mekkora legyen a kontrol terület kiterjedése a levegőminőség javítására

1. táblázat: Magyarországra eső NUTS régiók a SHERPA programrendszerben

NUTS 0 – HU – Magyarország		
NUTS 1	NUTS 2	NUTS 3
HU1 – Közép-Magyarország	HU10 – Közép-Magyarország	HU101 – Budapest
		HU102 – Pest
HU2 – Dunántúl	HU21 – Közép-Dunántúl	HU211 – Fejér
		HU212 – Komárom-Esztergom
		HU213 – Veszprém
	HU22 – Nyugat-Dunántúl	HU221 – Győr-Moson-Sopron
		HU222 – Vas
		HU223 – Zala
	HU23 – Dél-Dunántúl	HU231 – Baranya
		HU232 – Somogy
		HU233 – Tolna
	HU3 – Alföld és Észak	HU31 – Észak-Magyarország
HU312 – Heves		
HU313 – Nógrád		
HU32 – Észak-Alföld		HU321 – Hajdú-Bihar
		HU322 – Jász-Nagykun-Szolnok
		HU323 – Szabolcs-Szatmár-Bereg
		HU331 – Bács-Kiskun
HU33 – Dél-Alföld		HU332 – Békés
		HU333 – Csongrád

2. táblázat: Kibocsátási makro-szektorok a SHERPA programrendszerben

MS1	Energiaipari 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

szolgáló intézkedések optimalizálásához.

„First guess” adatok adott területi egységre egy beépített – RIAT+ elnevezésű – alkalmazás révén nyerhetők (RIAT+ First Guess modul). A RIAT+ egy regionális skálájú integrált értékelő eszköz (*Regional Integrated Assessment Modelling Tool*), amely az Opera projekt keretében került kidolgozásra, azzal a céllal, hogy segítse a döntéshozókat az optimális, lehető legkevesebb költséggel járó,

a levegőszennyezettség csökkentését célzó intézkedések kidolgozásában (*Carnevale et al., 2012*).

A térképi formában megjelenő eredmények – emisszió vagy koncentráció értékek – rácshálón, vagy területi egységekre (NUTS: Nomenclature of Territorial Units for Statistics (*EC – eurostat, RAMON*)) vonatkoztatva ábrázolhatók. Megjeleníthetők a kibocsátáscsökkentés mellett számított abszolút koncentráció adatok, valamint a bázisértékek és a scenárió kivitelezését követően kapott eredmények közti abszolút és relatív különbségek is. Emisszió esetén ugyanígy történhet az ábrázolás, a különféle vegyületekre és szektorokra külön-külön. Nagyobb térbeli skálán a megjelenítés interpolációs technikával, kisebb területre közelítve rácshálón történik.

Ha területi egységekre vonatkoztatva ábrázoljuk az eredményeket, a hozzájuk tartozó hálóelemek értékei átlagolódnak, amely három különböző módszerrel történhet: a hálóelemek területe szerinti átlagolással, lakosság szerinti súlyozott átlagok kiszámításával, vagy arra is van lehetőség, hogy az átlagszámításhoz csak egy előre definiált, a bázishoz kötött küszöbértéket meghaladó hálóelemeket vegyünk figyelembe.

Magyarország levegőminőségének vizsgálata a SHERPA-val. Ebben a fejezetben gyakorlati példákon mutatjuk be a SHERPA két moduljának (a „Scenario Assessment (NUTS)” és a „Source Apportionment”) használatát, valamint azt, hogy a számítási eredmények hogyan segíthetik a levegőminőség javítását célzó intézkedések helyes meghozatalát.

Az emissziócsökkentés hatása a levegőminőségre – „Scenario Assessment (NUTS)”. Ahogy már az előző fejezetben említésre került, a „Scenario Assessment” modul segítségével adott kibocsátáscsökkentés levegőminőségre gyakorolt hatását lehet vizsgálni. Munkánkban annak elemzését tűztük ki célul, hogy a szállópor, valamint a nitrogén-oxidok kibocsátásának adott mértékű és adott forrástípust (makro-szektor) érintő csökkentése a levegőminőség milyen változását eredményezi. Az emissziócsökkentés mértékét minden esetben 10%-nak definiáltuk, a közúti szállítás (MS7), valamint a nem ipari tüzelés (MS2) tekintetében. Az elemzést a SHERPA felhasználásával készítettük el.

A számítások alapját az INERIS által elkészített rácsponti emisszió leltár, valamint a CHIMERE kémiai transzport modell számítási eredményei képezik. Első lépésben meg kell adnunk a kibocsátáscsökkentés mértékének százalékos arányát, melyet a SHERPA-ban régiókra tudunk bevezetni. Magyarországi viszonylatban ezek a megyéknek felelnek meg, annál kisebb felbontásban, így városokra nem tudunk elemzést készíteni. Kivételt képez ez alól Budapest, amely önmagában egy régiót képvisel, a vizsgált területnek ezért Budapestet választottuk.

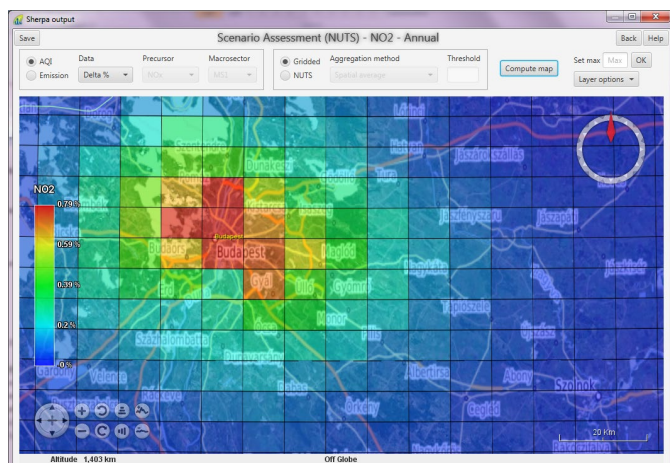
A 3. és a 4. ábrák a közlekedésből (MS7), valamint a lakossági tüzelésből (MS2) származó PM₁₀ kibocsátás 10%-os csökkentésének hatását ábrázolják Budapest területén.

Az ábrák alapján láthatjuk, hogy a kibocsátáscsökkentés hatása mindkét kibocsátási szektor esetében térben ugyanolyan eloszlásban érvényesül, a belváros területeit

erőteljesebben érinti, mint a külső régiókat. A csökkenés mértéke azonban eltér. Az eredményekből levonhatjuk azt a következtetést, hogy – bár tudjuk, hogy a közlekedésből származó emisszió számottevő hányadát képezi az összes antropogén eredetű szállópor-kibocsátásnak – a lakossági tüzelésből származó emisszió még inkább meghatározó, tehát, a lakossági tüzelés visszafogásával eredményesebben járulhatunk hozzá a PM₁₀ koncentrációk csökkentéséhez Budapest esetében. Az 5. és a 6. ábrákon megfigyelhetjük, milyen eredményekhez jutunk NO₂ esetén.

A NO₂ koncentrációk a számítások szerint – a PM₁₀-el ellentétben – a közúti közlekedés korlátozásával hatékonyabban csökkenthetők, mint a lakossági tüzelés visszafogásával. Ugyanakkora mértékű emissziócsökkentés a NO₂ esetében láthatóan nagyobb változást idéz elő az immisszióban, mint a szállópor esetén.

Érdeemes megfigyelni, hogy egy viszonylag magas – 10%-os – emissziócsökkentés is mindegyik vizsgált esetben legfeljebb csak 1–2%-os levegőminőség javulást hoz magával.



6. ábra: A lakossági tüzelésből (MS2) származó NO₂ kibocsátás 10%-os csökkentésének hatása Budapest levegőminőségére.

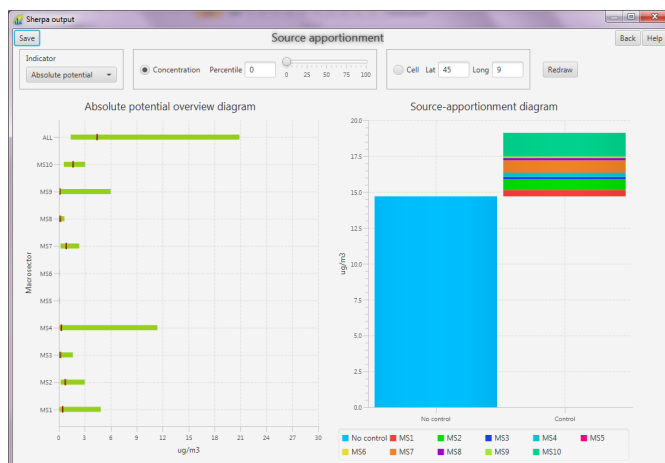
Ez arra vezethető vissza, hogy adott térségben kialakult levegőszennyezés nemcsak a helyi kibocsátásoktól, hanem a nagytérségi transzport folyamatoktól is függ. A helyi intézkedések a helyi emisszióra vannak hatással, a távolabbról érkező szennyezőanyag mennyisége ilyenformán nem korlátozható. A helyi kibocsátás korlátozásának következtében azonban az onnan elszállított szennyezőanyagok mennyisége is csökken, így kisebb terheléssel bír a kérdéses terület a környezetére.

Forrástípusok hozzájárulása az immisszióhoz – „Source Apportionment”. A következő vizsgálati módszer a „Source Apportionment”, amelynek segítségével lehetőség van annak becslésére, hogy adott kibocsátás-csökkentés mellett a teljes várható hatáshoz a különféle kibocsátási szektorok és az egyes elővegyületek hogyan járulnak hozzá. Ennél a vizsgálati módszernél Magyarországot választottuk ki, mint vizsgálati területet. Az volt a célunk, hogy meghatározzuk, hogy az egyes emissziós szektorok milyen arányban járulnak hozzá néhány kiválasztott városban a kialakuló NO₂ és PM₁₀ szennyezettséghez. Az ilyen típusú információ nagyban segítheti a döntés-

hozókat abban, hogy ha a város levegőminőségét szándékoznak javítani, akkor mely emissziós szektorok esetében célszerű csökkentést eredményező intézkedést foganatosítani. Példánkban a hatásokat Magyarország nagyvárosaira, valamint K-pusztá háttérszennyezettésmérő állomásra vonatkozóan írtuk ki NO₂ és PM₁₀ esetében.

A modul elkülöníti a nagytérségi transzporttal érkező – vagyis nem kontrollálható – emissziót a helyi kibocsátásoktól, a szektorok szerinti bontást csak az utóbbira adja meg. A 3. táblázat a kontrollálható, helyi kibocsátás mennyiségének százalékos arányait foglalja össze, a teljes szennyezéshez képest.

A táblázatban szereplő értékeket figyelve szembevetendő, hogy a NO₂ szennyezés mennyisége számottevően nagyobb arányban származik a helyi kibocsátásokból, mint PM₁₀ esetén, ahol nagyobb szerephez jut a nagytérségi transzport. A vizsgált városok teljes helyi NO₂ emissziójához az eredmények alapján leginkább a közúti szállítás (MS7), az energiaipari tüzelés (MS1) és a nem ipari (elsősorban lakossági) tüzelés (MS2) szektorai járulnak hozzá. A PM₁₀ esetében a legnagyobb kibocsátással járó



7. ábra: Magyarország PM₁₀ szennyezettségét meghatározó források azonosítása.

szektorokként a mezőgazdaságot, valamint újfent a nem ipari tüzelést és a közúti szállítást azonosítottuk.

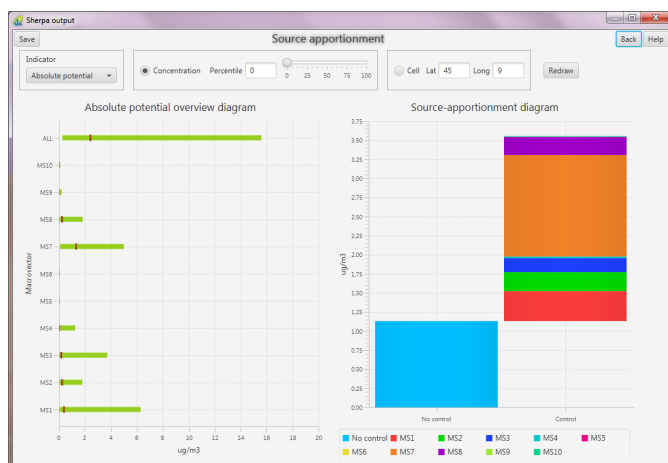
A 7. és a 8. ábrákon a meghatározó emissziós szektorok hatása látható PM₁₀ és NO₂ esetében Magyarország egész területére nézve, százalékos arányban. Az ábrákon megjelenik egy plusz „No control”-lal jelölt rész is, amely azt az arányt adja meg az adott légszennyező esetében, amelyre a vizsgált területnek nincs hatása, vagyis távolabbi területekről érkezik. Magyarországon NO₂ esetében ez az arány országos átlagban 33%, míg PM₁₀ esetében 77%. Ez azt jelenti, hogy a PM₁₀ szennyezettség 77%-a, míg az NO₂ mennyiség 33%-a határon túli forrásokból származik. Természetesen ezek az értékek jelentős térbeli változékonyságot mutatnak az ország területét tekintve. A vizsgált légszennyezők helyi emissziójának legnagyobb mennyisége országos átlagban a közúti szállításból és a tüzelésből származik, a PM₁₀ esetében érdekes módon ezek mellett a mezőgazdaság szerepe igen jelentős (véleményünk szerint túlréprezentált).

Megjegyezzük, hogy értékelésünk alapján a program az ipari folyamatok hatását Magyarországon jelentősen felülbecsüli, melynek oka valószínűsíthetően a rácspon

emissziós adatbázis pontatlanságában keresendő. A SHERPA számításainak háttérét képező kiindulási koncentráció mező a CHIMERE kémiai transzport modell segítségével végzett szimuláció eredményeként áll elő. Magyarország területén ez a számolt koncentrációmező PM₁₀ esetében alacsonyabb, míg NO₂ esetében jóval alacsonyabb átlagkoncentráció értékeket tartalmaz, mint az OLM (Országos Levegőminőségi Mérőhálózat) által mért éves átlagok. Várható, hogy a SHERPA háttér adatbázisa a közeljövőben frissülni fog, mivel a 2015-ös rácsponti emissziós adatbázis előállítására 2017 közepére minden európai állam számára kötelezettség. A korábbi években Európa államainak többsége nem rácsponti emissziós adatokat jelentett, hanem nemzeti összértékeket adott meg szennyezőként és szektoronként. Néhány európai kutatóközpontban (pl. INERIS, EMEP, TNO) a rácsponti emissziós adatbázist a nemzeti bevallások felhasználásával készítették el és tették nyilvánossá. Érthető módon ezek az adatbázisok a helyi specialitásokat nem tudták figyelembe venni, azonban várhatóan a 2017-ben kiadásra kerülő 2015-ös rácsponti emissziós adatbázis ebből a szempontból pontosabb lesz, mivel a nemzeti összértékek rácspontokra történő szétosztását már az ál-

3. táblázat: A kontrollálható NO₂ és PM₁₀ szennyezés aránya (%) a vizsgált településeken a SHERPA alapján.

Város	NO ₂ (%)	PM ₁₀ (%)
Pécs	86	23
Miskolc	91	32
Budapest	76	54
K-pusztá	83	31
Győr	72	28
Szeged	85	26
Országos átlag	67	23



8. ábra: Magyarország NO₂ szennyezettségét meghatározó források azonosítása.

lamok maguk készítik el. A SHERPA háttér adatbázisának frissítése ezért mindenképpen hatással lesz a számítási eredményekre, amelyek várhatóan jobban fogják tükrözni a valóságot és ezáltal még hatékonyabban használhatók majd fel a Levegőminőségi Tervek készítése során hazánkban is.

Összefoglalás. A levegőminőségi modellek a szennyezőanyag kibocsátás és a környezetben kialakuló koncentrációk közti kapcsolatot írják le. Lehetőséget nyújtanak annak elemzésére, hogy adott kibocsátáscsökkenés az immisszió milyen változását vonja maga után. Cikkünkben egy speciális, a levegőminőség komplex vizsgálatára alkalmas eszközt, a SHERPA-t és annak felhasználási lehetőségeit mutattuk be. A SHERPA egész Európát lefedő, nagyjából 7 km x 7 km-es felbontású, előre definiált, az emisszió leltárakat is magukba foglaló bemeneti adatokkal dolgozik, lehetővé téve bármilyen, Európán belüli térségre irányuló levegőminőségi intézkedések hatásainak elemzését. A számításaink háttérét jelentő kiindulási koncentrációmező az INERIS által elkészített rácsponti emisszió leltár és a CHIMERE kémiai transzport modellel végzett szimuláció eredményeinek együtteseként állt elő. Munkánkban annak elemzését tűztük ki célul, hogy a szállópor, valamint a nitrogén-oxidok kibocsátásának adott mértékű és adott forrástípust érintő csökkentése a levegőminőség milyen változását eredményezi. Az emissziócsökkentés mértékét minden esetben 10%-nak definiáltuk, a közúti közlekedést, valamint a lakossági tüzelést érintően. Az eredményekből azt láthatjuk, hogy a szállópor elsődleges antropogén eredetű forrása a lakossági tüzelés, a NO₂ emisszió tekintetében pedig a közlekedés a meghatározó. A PM₁₀ koncentrációk csökkentéséhez így a lakossági tüzelés, a NO₂ szennyezettség mérsékléséhez a közúti közlekedés korlátozásával járulhatunk hozzá a leghatékonyabban. Kimutatható, hogy a helyi levegőszennyezettség nagymértékben függ a nagytérségi transzportfolyamatoktól is. A vizsgált légszennyező anyagok helyi emissziója országos átlagban elsősorban a közúti szállításból és a tüzelésből származik, a PM₁₀ kibocsátás esetén pedig a mezőgazdasági szektor hatása is jelentős.

Irodalom

- Belis, C. A., Larsen, B. R., Amato, F., El Haddad, I., Favez, O., Harrison, R. M., Hopke, P. K., Pentti Paatero, S. N., Prévôt, A., Quass, U., Vecchi, R., and Viana, M., 2014: European guide on air pollution source apportionment with receptor models. *Report EUR, 26080*.
- Carnevale, C., Finzi, G., Pisoni, E., Volta, M., Guariso, G., Gianfreda, R., Maffei, G., Thunis, P., White, L. and Triacchini, G., 2012: An integrated assessment tool to define effective air quality policies at regional scale. *Environmental Modelling & Software* 38, 306–315.
- Clappier, A., Pisoni, E. and Thunis, P., 2015: A new approach to design source-receptor relationships for air quality modelling. *Environmental Modelling & Software*, 74, 66–74.
- EC – eurostat <http://ec.europa.eu/eurostat/web/nuts/overview>
- EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook, 2013: EEA Technical report, No 12/2013, ISSN 1725–2237.
- RAMON (Reference And Management of Nomenclatures); http://ec.europa.eu/eurostat/ramon/nomenclatures/index.cfm?TargetUrl=LST_CLS_DLD&StrNom=NUTS_2013L&StrLanguageCode=EN&StrLayoutCode=HIERARCHIC
- Regional Integrated Assessment Tool PLUS; <http://www.riatplus.eu/html/eng/home.html>
- Thunis, P., Clappier, A., Pisoni, E. and Degraeuwe, B., 2015: Quantification of non-linearities as a function of time averaging in regional air quality modelling applications. *Atmospheric Environment* 103, 263–275.