

L É G K Ö R

60. évfolyam

2015. 3. szám



KENDERESY KÁLMÁN MAGYAR ARANY ÉRDEMKERESZT KITÜNTETÉSE

KÁLMÁN KENDERESY WAS HONoured WITH THE HUNGARIAN GOLD CIVIC CROSS

Magyarország Köztársasági Elnöke **Kenderesy Kálmánnak**, az Országos Meteorológiai Szolgálat **pénzügyi és számviteli osztályvezetőjének** az *Országos Meteorológiai Szolgálatnál negyven éven keresztül a pénzügyi, számviteli területen végzett lelkiismeretes, felelősségteljes munkájáért, több évtizedes vezetői tevékenységéért* a **Magyar Arany Érdemkereszt** kitüntetését adományozta. A kitüntetést *Fazekas Sándor* földművelésügyi miniszter a 2015. augusztus 20-ai alkalmából rendezett ünnepségen adta át. Kenderesy Kálmán 1954. április 29-én született Budapesten. 1973-ban felvették az Agrártudományi Egyetem Mezőgazdaságtudományi karának nappali tagozatára, tanulmányait itt azonban nem fejezte be. Úgy döntött, hogy inkább elmegy dolgozni. Az OMSZ-beli pályafutása ügyviteli alkalmazottként kezdődött 1974. február 1-én egy munkatárs helyettesítésével. Az analitikus nyilvántartások vezetését bízták rá. 1975-től 1988-ig raktárvezetőként dolgozott. 1987-ben a Pénzügyi és Számviteli Főiskola Pénzügyi szakának Költségvetési szakágazatán szerzett üzemgazdász oklevelet, már a Szolgálat munkatársaként. A közalkalmazotti esküt 1979. január 1-én tette le. Pályafutásán végigkísérte az analitikus nyilvántartások vezetése. Későbbi feladatai a számlázás köré csoportosultak. A főiskola elvégzése után átsorolták az I. kulcsszámú, főelőadói kategóriába 1988-ban, pénzügyi ügyintézői munkakörbe. 1990-től a Gazdasági Főosztály Pénzügyi Osztályát vezette. Mivel 1998-ban a pénzügyi és számviteli terület összevonásra került, az összevont új egység vezetésével őt bízták meg. Osztályvezetőként vezette és ellenőrizte a gazdasági események rögzítését, nyilvántartását, elszámolását, elvégeztette a Szolgálat éves zárlati teendőit, leltár-előkészítéseket, kiértékeléseket végzett, részt vett a Szolgálat intézményi költségvetésének tervezésében, elkészítésében, végrehajtatta és ellenőrizte a főkönyvi nyilvántartások vezetését, biztosította a Magyar Államkincstárral való pénzforgalmi kapcsolatok ügyvitelét. Külső és belső adatszolgáltatások végrehajtásáért is ő felelt. Munkáját mindig igyekezett színvonalasan végezni. Szakmai ismeretei, pontossága, felelősségérzete és hivatástudata, valamint szorgalma mindig átlag feletti volt. A 2007. március 23-i meteorológiai Világnapon Persányi Miklós, az akkori környezetvédelmi és vízügyi miniszter, Pro Meteorológia Emlékplakettel tüntette ki. Pályafutásának – az egyébként is közelgő öregségi nyugdíjkorhatár előtt – romló egészségi állapota vetett véget. Ritka töretlen és áldozatkész életút áll mögötte.



SZERZŐINK FIGYELMÉBE

A LÉGKÖR célja a meteorológia tárgykörébe tartozó kutatási eredmények, szakmai beszámolók, időjárási események leírásának közlése. A lap elfogad publikálásra szakmai úti beszámolót, időjárási eseményt bemutató fényképet, könyvismertetést is.

A kéziratokat a szerkesztőbizottság lektoráltatja. A lektor nevét a szerzőkkel nem közöljük. Közlésre szánt anyagokat kizárólag elektronikus formában fogadunk el. Az anyagokat a legkor@met.hu címre kérjük beküldeni Word-fájlban. A beküldött szöveg ne tartalmazzon semmiféle speciális formázást. Amennyiben a közlésre szánt szöveghez ábra is tartozik, azokat egyenként kérjük beküldeni, lehetőleg vektoros formában. Az ideális méret 2 MB. Külön Word-fájlban kérjük megadni az ábraalíráásokat. A közlésre szánt táblázatokat akár Word-, akár Excel-fájlban szintén egyenként kérjük megadni. Amennyiben a szerzőnek egyéni elképzelése van a nyomtatásra kerülő közlemény felépítéséről, akkor szívesen fogadunk PDF-fájlt is, de csak PDF-fájllal nem foglalkozunk.

A közlésre szánt szöveg tartalmazza a magyar és angol címet, a szerző nevét, munkahelyét, levelezési és villanypostacímét. Irodalomjegyzéket kérünk csatolni a *Tanulmányok* rovatba szánt szakmai cikkhez. Az irodalomjegyzékben csak a szövegben szereplő hivatkozás legyen. Az egyéb közlemények, szakmai beszámolók esetében is kérjük lehetőség szerint angol cím és összefoglaló megadását.

Felelős szerkesztő:
Dunkel Zoltán
a szerkesztőbizottság elnöke

Szerkesztőbizottság:
Bartholy Judit
Bihari Zita
Haszpra László
Hunkár Márta
Tóth Róbert főszerkesztő-helyettes

ISSN 0 133-3666

A kiadásért felel:
Dr. Radics Kornélia
az OMSZ elnöke

Készült:
HM Zrínyi NKft.
nyomdájában
800 példányban

Felelős vezető:
Dr. Bozsonyi Károly
ügyvezető igazgató

Évi előfizetési díja:
2100.-Ft + 5% ÁFA
2205.- Ft
Megrendelhető az OMSZ
Pénzügyi és Számviteli Osztályán
1525 Budapest Pf. 38.
E-mail: legkor@met.hu

TARTALOM

CÍMLAPON

Kolláth Kornél: Füstös hajnal	109
Kenderesy Kálmán Magyar Arany Érdemkereszt kitüntetése	110
Szerzőink figyelmébe	110
Elhunyt Titkos Ervin	112
Bánki Mihály: Ha meghalunk	112

TANULMÁNYOK

Ferenczi Zita: „ A titokzatos PM nyomában, avagy amit a PM-ről tudni lehet ”	113
Páldy Anna és Bobvos János: A légszennyezés egészségkárosító hatásának becslése	115
Kis-Kovács Gábor: PM emisszió a kibocsátási leltár tükrében	124
Gyarmatiné Mészáros Erzsébet: Amit a PM₁₀ mérések mutatnak	129
Imre Kornélia és Molnár Ágnes: A légköri víztartalom szerepe a PM₁₀ tömegkoncentráció meghatározásában	132
Varga Judit: A PM₁₀ szabályozása	136
Ferenczi Zita: Határon túli források hatása a hazai PM szennyezettségre	140

KRÓNIKA

Zsikla Ágota: A 2015. évi balatoni és velencei-tavi viharjelzési szezonról	145
Vincze Enikő: 2015 nyarának időjárása	149
Dunkel Zoltán: Történelmi arcképek – Róna Zsigmond	151

LIST OF CONTENTS

COVER PAGE

Kornél Kolláth: Smoky dawn	109
Kálmán Kenderesy was Honoured with the Hungarian Gold Civic Cross	110
Instructions to authors of LÉGKÖR	110
Ervin Titkos passed away	112
Mihály Bánki: If We Die (a poem)	112

STUDIES

Zita Ferenczi: „ In The Wake of the Mysterious PM, or there is to Know about PM ” ...	113
Anna Páldy and János Bobvos: Estimation of Harmful Effects of Air Pollution	115
Gábor Kis-Kovács: Emissions of Particulate Matter as Reflected in the Emission Inventory	124
Erzsébet Gyarmatiné-Mészáros: PM₁₀ Measurements in Hungary	129
Kornélia Imre and Ágnes Molnár: Positive Bias Caused by Residual Water in Reference PM₁₀ Measurements	132
Judit Varga: Regulation of PM₁₀	136
Zita Ferenczi: Contribution of Transboundary Sources to the Hungarian PM Pollution	140

CHRONICLE

Ágota Zsikla: About the Storm Warning Season at Lake Balaton and Velence in 2015	145
Enikő Vincze: Weather of Summer 2015	149
Zoltán Dunkel: Historical Portraits – Zsigmond Róna	151

ELHUNYT TITKOS ERVIN

Budapest, 1928. február 1. – Budapest, 2015. augusztus 28.



Dr. Titkos Ervin az OMSZ egykori osztályvezetője, főosztályvezetője, tudományos tanácsadója életének 88. évében elhunyt. Kérésének megfelelően földi maradványait az Újköztemető szóróparcelláján helyezték el. Az ELTE TTK meteorológus szakán 1954-ben szerzett diplomát. Közvetlenül az egyetem elvégzése után független aspiráns lett. Az aspirantúra befejezése után, 1957-ben került a Meteorológiai Intézetbe. A légköri turbulencia elméleti alapjaival foglalkozó disszertációja alapján 1959-ben lett a fizikai tudományok kandidátusa. Egész pályafutása során hű maradt az elméleti kérdésekhez, a numerikus modellezéshez. Az OMI¹-ben először az elméleti meteorológiai kutató csoport munkatársa, majd 1969-ben az Előrejelző Osztály vezetője lett. Nem volt szobájába bezárkózó, csak az elméletnek élő szakember. Amikor lehetősége volt rá, a gyakorlati megfigyelésekből is kivette a részét. A magyar-szovjet tudományos együttműködések keretében lehetőség volt magyar szakembereket delegálni a szovjet kutatóexpedíciókba. 1963. december 3-án Leningrádból az *Esztonia* nevű szovjet kutatóhajóval a Mirnij déli-sarki kutatóállomásra utazott, ahol a 9. szovjet Antarktiszi Expedíció tagjaként, mint meteorológus dolgozott 1964. január 18-tól 1965. január 25-ig. Feladata időjárási térké-

pek készítése és az időjárás előrejelzése volt. Elményeiről könyvet is írt, *Magyarok az Antarktiszon* címmel. Hazatérése után tovább folytatta elméleti kutatásait. Kutatási témája a természetes és mesterséges akadályok körüli áramlás, a légköri turbulencia és a légszennyező anyagok terjedésének modellezése volt. Jó orosz nyelvtudása miatt több magyar-szovjet, illetve a KGST² országok közötti nemzetközi együttműködésben képviselte hazánkat illetve a Szolgálatot. Kutató munkája mellett a Siófoki Viharjelző Obszervatórium gyakorlati szinoptikus előrejelző munkájából is részt vállalt. 1971-ben felmentették vezetői megbízása alól, s tudományos tanácsadónak nevezték ki. 1972-ben a KEI³-ból az OMSZ KH⁴-ba, helyezték át. 1974-ben a KEI Középtávú Előrejelző Osztályának lett a vezetője. 1979 és 1983 között a KEI Módszertani és Fejlesztési Főosztályának irányítására kapott megbízást, majd 1984-től a KEI Meteorológiai Számítóközpontjának az élén állt, főosztályvezetői rangban. A Szolgálat önállóan megalakult számítóközpontjának, a Számítástechnikai Főosztályának lett a vezetője 1986 áprilisában, amelyet egészen nyugdíjazásáig, 1988. december 31-ig vezetett. Vezetői feladatai mellett mindig foglalkozott elméleti szinoptikus kutatásokkal is. Visszavonulása után rövid ideig még bejárta az intézetbe. 1965-ben *Kíváló dolgozó*, 1966-ban *Munkaérdemrend Ezüst fokozata*, 1970-ben *Árvízvédelemért* kitüntetést kapott.

Nyugodjék békében!

¹ Az OMSZ jogelődje, Országos Meteorológiai Intézet. Ezen a néven 1950 és 1970 között működött a „meteorológia”.

² KGST: Kölcsönös Gazdasági Segítség Tanácsa – a Szovjetunió és szövetségesei, a népi demokratikus országok gazdasági szervezete.

³ KEI: Központi Előrejelző Intézet, helyileg a Tatabánya (ma Hargita) téren volt, ahol később a Számítóközpont is.

⁴ KH: Központi Hivatal. Az OMSZ 1971-1993 között 3 intézetből és a központi hivatalból állt, amihez később önálló főosztályok is csatlakoztak, mint a Jégeső-elhárítás és a Számítóközpont.

HA MEGHALUNK

...ha meghalunk
egyek leszünk a földdel
együtt élünk az idővel
álmodunk havat virágot
testünk tartja a világot
bennünk hullámszik a tenger
miénk a jéghegyek csendje
benne vagyunk fűben fában

minden repülő madárban
a szerelmes suttogásban
szélben kitörő vulkánban
learatott gabonában
az újszülött sírásában
az élet legendájában
ha meghalunk...

Bánki Mihály

„A TITOKZATOS PM NYOMÁBAN, AVAGY AMIT A PM-RŐL TUDNI LEHET”

„IN THE WAKE OF THE MYSTERIOUS PM, OR THERE IS TO KNOW ABOUT PM”

Ferenczi Zita

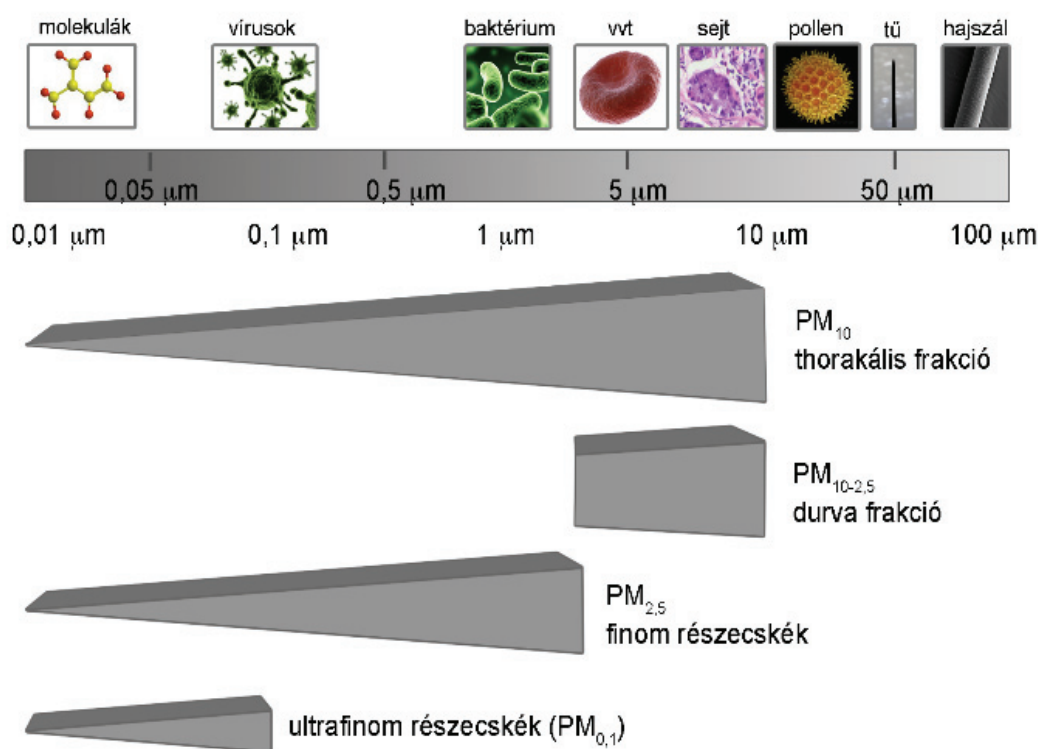
Országos Meteorológiai Szolgálat, 1181 Budapest, Gilice tér 39., ferenczi.z@met.hu

Kisméretű részecske, szálló por-, aeroszol-, PM- (particulate matter) szennyezés – az utóbbi időben egyre gyakrabban találkozunk ezekkel a kifejezésekkel a hazai és a nemzetközi médiában – nagyjából azonos fogalmak nem egy bizonyos anyagot vagy egy kémiai szerkezetet jelölnek, hanem fizikai tulajdonságot, halmazállapotot.

Aeroszolnak nevezzük a gáznemű közegben finoman eloszott szilárd és/vagy cseppfolyós részecskék együttes rendszerét. Ha a gáznemű közeg levegő, akkor légköri aeroszorról beszélünk. A légköri aeroszol mérete néhány

kéknél nevezünk. A finom és a durva részecskék forrásai, kémiai összetétele és légköri hatásai jelentős mértékben különböznek. Míg a finom részecskék a légkörben keletkeznek kémiai reakcióval és gáz-részecske átalakulással, vagy magas hőmérsékletű emissziós forrásokból emittálódnak, addig a durva részecskék elsősorban természetes, felszíni forrásokból jutnak a légkörbe, így ezt a módot a talaj, a felszíni kőzet és a tengeri eredetű részecskék alkotják.

Az aeroszol részecskék lehetnek elsődleges és másodla-



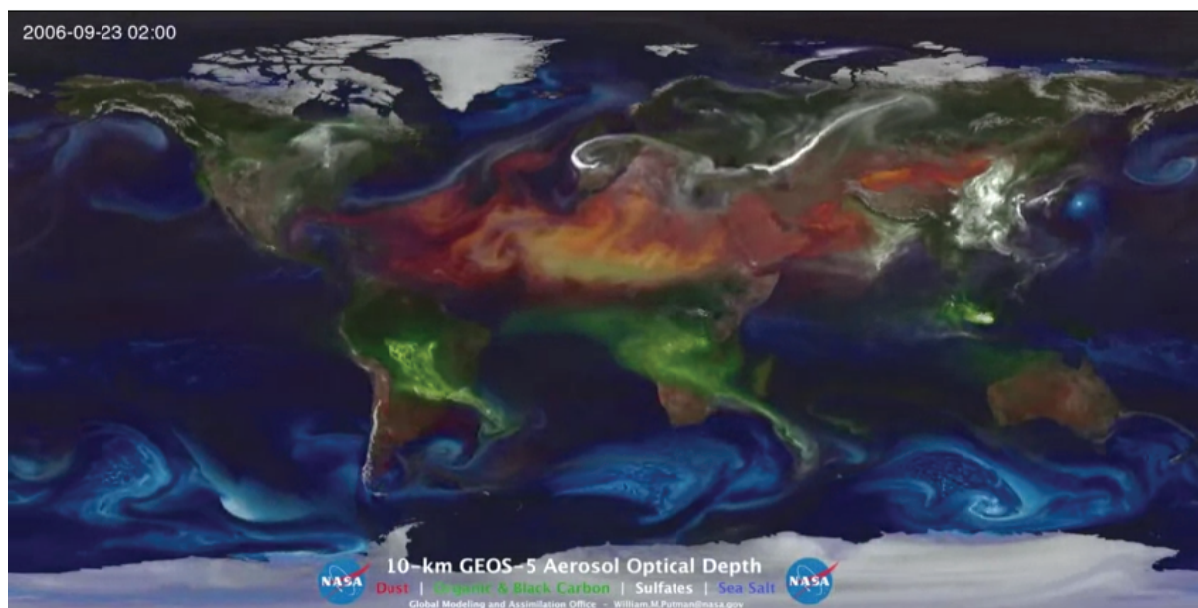
1. ábra: Aeroszol részecskék méretaránya.

nanométertől 100 µm nagyságrendig terjedhet. A méreloszlásokban általában 3 módus jelenik meg. Az Aitken-módusba a 0,02–0,1 µm közötti, az akkumulációs módusba a 0,1–2 µm közötti, míg a durva módusba a 2 µm-nél nagyobb átmérőjű részecskék tartoznak. Ezekon kívül időszakosan egy újabb módus, az ún. nukleációs módus jelenik meg a legkisebb (<0,02 µm) tartományban, amelyet a légköri nukleáció hoz létre, és amelyik általában fokozatosan eltolódik az Aitken-módus irányába. A 2,5 µm-nél nagyobb átmérőjű részecskéket durva részecskéknek, míg az ennél kisebbeket finom részecs-

gos eredetűek. Az elsődleges részecskék közvetlenül jutnak a légkörbe, míg a másodlagos részecskék kémiai úton keletkeznek a légkörben nukleációs és kondenzációs folyamat során. A másodlagos aeroszolt főleg a szulfát-, nitrát- és ammónium-vegyületek alkotják. Ezeknek a részecskéknek az élettartama néhány perctől akár több hónapos időtartamig terjedhet mérettől, kémiai összetételtől és tömegtől függően. Az 1. ábrán a részecskék méretét próbáltuk érzékeltetni más anyagok jellemző méreteihez viszonyítva (pl. vírusok, baktériumok, pollenek stb.).

Az aeroszokok nagyon fontos szerepet játszanak mind az időjárás, mind pedig az éghajlat alakításában. A légkörben fizikai és kémiai tulajdonságaiktól függően forrásaiktól akár több száz km távolra található helyekre is elszállíthatnak, képesek kölcsönhatásba kerülni az időjárási rendszerrel, szórják és elnyelik a napból érkező rövidhullámú és a Föld által kisugárzott hosszuhullámú sugárzást, valamint módosítják a felhők mikro- és makrofizikai tulajdonságait. A klímakutatók az egyik legfontosabb éghajlati kényszerként tartják számon. Az aeroszokok képesek módosítani a felhőborítottságot oly módon, hogy melegítik a légkört valamint csökkentik a hó és a jég albedóját oly módon, hogy a részecskék a hó

előszeretettel foglalkozik a témával, sajnos sok esetben a tudományos tényeket mellőzve. A Magyar Meteorológiai Társaság Levegőkörnyezeti szakosztálya fontosnak tartotta, hogy a magyarországi szakmai műhelyben folyó aeroszol kutatásról hitelesen tájékoztassa a téma iránt érdeklődőket valamint a döntéshozókat, ezzel is hozzájárulva a titokzatos PM körüli téveszmék eltörléséhez, a szakmailag megalapozott tények, ismeretek bemutatásával. Ez indokolta, hogy szervezzünk egy előadói délutánt, amelynek címe a „**A Titokzatos PM nyomában, avagy amit a PM-ről tudni lehet**”. Az előadókat úgy válogattuk össze, hogy az érdeklődők átfogó képet kaphassanak a témáról.



2. ábra: Különböző összetételű aeroszokok mennyisége (optikai vastagsága) és földrajzi eloszlása: korom és szerves széntartalmú aeroszokok (zöldes), por (pirosas barna), szulfát részecskék (fehéres) és tengeri só (kék).

és a jég felületére kiülepsznek, és ez által melegítik és megolvasztják a havat és a jeget.

Az aeroszol részecskék kémiai összetétele nagyon változatos. Sok esetben az egészségre, ökoszisztémára vagy akár a klímaváltozásra gyakorolt hatásukat ez a tulajdonságuk lényegesen befolyásolja. A 2. ábra az aeroszol optikai mélységének földrajzi eloszlását ábrázolja egy adott időpillanatban. Az aeroszol optikai mélység egy légszlop össz-aeroszoltartalmára jellemző fizikai mennyiség, a közeg sugárzategyengítését adja meg, amely a gázok és az aeroszokok abszorpciójának (sugárzáselnyelésének) és szórásának az összege. A 2. ábrán az aeroszokok négy, a műholdakkal is jól detektálható típusa figyelhető meg: a pirosba hajló szín elsősorban szaharai eredetű por; a zöld szín jelöli a főleg a biomassza égetéséből származó korom és szerves széntartalmú aeroszokokat; fehér szín jelöli az elsősorban antropogén forrásokból származó szulfát részecskéket; végül a kék mutatja a tengeri só eloszlását.

Az aeroszokok kutatása az utóbbi években került a figyelem középpontjába. Komplex hatásuk miatt a média is

Elképzelésünket a több, mint 50 érdeklődő jelenléte igazolta. A részletes program az alábbiak szerint alakult:

Varga Judit (Földművelésügyi Minisztérium): A PM₁₀ nemzetközi szabályozása

Kis-Kovács Gábor (Országos Meteorológiai Szolgálat): PM emisszió

Imre Kornélia (MTA–PE Levegőkémiai Kutatócsoport): A légköri víztartalom hatása a PM₁₀ koncentráció meghatározásában

Gyarmatiné Mészáros Erzsébet (Országos Meteorológiai Szolgálat): Amit a PM₁₀ mérések mutatnak

Ferenczi Zita (Országos Meteorológiai Szolgálat): Határon túli források hatása a hazai PM szennyezettségre

Páldy Anna, Bobvos János, Beregszászi Tímea, Szalkai Márta (Országos Környezetegészségügyi Intézet): A kültéri légszennyezés egészségkárosító hatásai

A Légkör ezen a számában az előadások alapján készült cikkeket olvashatja a Tisztelt Olvasó.

A LÉGSZENNYEZÉS EGÉSZSÉGHÁRÓZÓ HATÁSÁNAK BECSLÉSE

ESTIMATION OF HARMFUL EFFECTS OF AIR POLLUTION

Páldy Anna, Bobvos János

Országos Közegészségügyi Központ, Budapest, Albert F. út 2, 1097 paldy.anna@oki.antsz.hu; bobvos.janos@oki.antsz.hu

Összefoglalás. A légszennyezés többféle halálozásért felelős. Ezek közül kiemelkedik a szív- és agyi-érrendszeri betegségek miatti halálozás. Globálisan mintegy 3,7 millió haláleset tulajdonítható a kültéri és 4,3 millió a beltéri légszennyezésnek (a halálozás egy részéért mindkét ok felelős). A szálló por hatásait bizonyító, klinikai, kísérletes toxikológiai és epidemiológiai vizsgálatok eredményeit először 2003-ban a WHO összegezte és értékelte. A légszennyezés környezetegészségügyi hatásbecslésének célja a múltbeli, jelen és jövőbeni légszennyezésnek való kitettség kockázatbecslése. Az alkalmazott módszereknek alkalmasnak kell lenniük arra is, hogy a megtett intézkedések hatását nyomon tudják követni. A tanulmány az alkalmazott módszereket és a kapott eredményeket foglalja össze. A bemutatott módszerek és eredmények alátámasztják a környezetegészségügyi hatásbecslések elvégzésének szükségességét a megfelelő szakmapolitikai döntések megalapozása érdekében. A hatásbecslés igen fontos eszköz az Európai Unió új levegőminőség politikájával kapcsolatos célkitűzések elérésében.

Abstract. The air pollution is responsible for mortality especially caused by diseases of the cardiovascular and cerebral vascular systems. The outdoor air pollution is responsible for 3.7 million excess death cases, while the indoor air pollution contributes to 4.3 million premature death (in a certain percentage both type of air pollution are responsible) according to a recent WHO report. WHO summed up and evaluated the results of clinical, experimental toxicological and epidemiological studies proving the effects of particulate matters in 2003. The aim of the environmental health impact assessment of air pollution is to estimate the past, present and future risk of the exposure to the air pollution. The applied methods have to be suitable to track the influences of measures taken. The study summarizes the applied methods and the received results. The presented methods and results reinforce the necessity of the accomplishment of the environmental health impact estimates for the substantiation of the suitable professional policy decisions. The impact estimation is an important tool in the achievements of the new air quality policy of European Union.

Bevezetés. A levegőszennyezés részét képezi a környezeti expozíciók terhére róható teljes betegségterhenek. A WHO becslése alapján a légszennyezés 2012-ben 7 millió idő előtti halálozáshoz járult hozzá, melyből 600 000 a WHO Európai Régiójának területét érinti. Ez a szám a világon bekövetkező évi halálozás egynegyedét, ami több mint kétszerese a korábbi számításoknak (WHO, 2014a). A légszennyezés többféle halálok miatti halálozásért felelős, de ezek közül kiemelkedik a szív-érrendszeri és agyi-érrendszeri betegségek miatti halálozás: globálisan mintegy 3,7 millió haláleset tulajdonítható a kültéri és 4,3 millió a beltéri légszennyezésnek (a halálozás egy részéért mindkét ok felelős) (WHO, 2014b).

Az Európai Unió is elismeri, hogy az idő előtti halálozáshoz vezető első számú környezeti tényező a rossz minőségű levegő. Ezt jól példázza, hogy a szennyezett levegő következtében elhunytak száma meghaladja a közúti balesetben elhunytak számát. Az Európai Unióban az átlagos várható élettartam 8,6 hónappal megrövidült az antropogén eredetű PM_{2,5} szennyezés következtében (APHEKOM, 2011 – Improving Knowledge and Communication for Decision Making on Air Pollution and Health in Europe).

A szennyezett levegő az életminőségre is hatással van, hiszen asztmát és egyéb légúti megbetegedéseket okoz. A levegőszennyezés munkából való kiesést is eredményez, mindemellett pedig magas egészségügyi költségeket von maga után. Mindez különösen érinti a veszélyez-

tetett csoportokat: a gyermekeket, az asztmás betegeket és az időseket. A légszennyező anyagok közül a szállóport tekintik a legjelentősebb szennyező anyagnak.

A szállópor (Particulate Matter: PM) városi lakosság egészségére gyakorolt hatásának tudományos bizonyítékaik egybehangzóak a világ különböző területén élők – mind a fejlett, mind a fejlődő országok – esetében. A hatás széles spektrumú, elsősorban a légző- és a keringési rendszert érinti és korcsoportonként, illetve az egészségi állapot függvényében különböző mértékű lehet. Az egyes hatások bekövetkezésének kockázata az expozíció függvényében növekszik és nincs elég bizonyíték arra, hogy létezik hatástalan küszöbkoncentráció, az egészségre gyakorolt észlelhető hatást már kiváltó koncentráció tartomány nem tér el jelentősen az átlagosan levegőben mért koncentrációtól. Epidemiológiai vizsgálatok bizonyítják, hogy a szállópor mind rövid, mind hosszú távon kifejti káros hatásait.

A szállópor hatásait bizonyító, klinikai, kísérletes toxikológiai és epidemiológiai vizsgálatok eredményeit a WHO összegezte és értékelte először 2003-ban (WHO, 2003). A PM elsődlegesen helyi gyulladást okoz, ezt követi a már fennálló légúti megbetegedések fellángolása, túlzott válaszadási készség, oxidatív stressz, számos biokémiai folyamat aktiválása, a tüdő védekező mechanizmusainak csökkenése. Bizonyították, hogy a PM szennyezés hozzájárul a krónikus alsó légúti betegségben szenvedők ese-

tében a betegség fellángolásához és a halálozás növekedéséhez. Az asztmás betegek tünetei is súlyosbodnak, illetve a szennyezett időszakokban nő a gyógyszerigényük. A finom porrészecskék, elsősorban az 1 µm-nél kisebb szemcseméretű anyagok a légúti nyálkahártyákra kerülve felszívódva egyrészt a tüdő szövetközi állományában gyulladást idéznek elő, másrészt a vérkeringésbe jutva elindítják a C-reaktív fehérje képződést, ami beindítja a véralvadási folyamatot, következésképpen vérrög (thrombus) képződéshez vezet¹. A nemzetközi irodalomban számos szerző számolt be a szív-érrendszeri betegségben szenvedők nagyobb számú kórházi betegfelvételéről és a halálozás növekedéséről is.

A légszennyezés egészségi hatásainak vizsgálata - történeti áttekintés. A levegőszennyezettség időnkénti igen magas koncentrációjának egészségkárosító hatásairól már régóta lehet olvasni a tudományos folyóiratokban (Brimblecombe, 1987). Már a XX. század első felében felfigyeltek néhány eseményre, amikor a téli szmog epizódok magas halá-

lozáshoz vezettek. Elsőként 1930-ban Belgiumban a Meuse völgyében írták le, hogy a kialakult időjárási helyzet következtében igen sokan elhunytak, majd 1948-ban Donorában (Pennsylvania) és 1952-ben Londonban történt hasonló esemény, Londonban a decemberi szmogos időszakban 4000 többlethalálestet jegyeztek fel (Schwartz, 1990, 1991, 1992). Az említett szmog esetek idején még nem

volt rendszeres levegőminőség monitorozás. A korai elemzések az emelkedett kén-dioxid koncentrációt és a következményes savas aeroszolt tették felelőssé. A fent említett vizsgálatok hívták fel a figyelmet arra, hogy a levegőszennyezettség és a napi halálozás összefüggésben lehet. A későbbiekben az Egyesült Államokban végzett kutatások eredményei rámutattak arra, hogy a levegőszennyezettség viszonylag kis mérvű változása is idézhet elő többlethalálozást (Dockery et al., 1992; Pope et al., 1992; Schwartz et al., 1992a, 1992b, 1993).

1991-1994 között egy sokközpontú vizsgálat folyt le az Európai Közösség által finanszírozott „Környezet 1991-94” program keretében 11 kutatócsoport részvételével, APHEA vizsgálat (Spix et al., 1993; Katsouyanni et al., 1995, 1996; Touloumi et al., 1996) amelynek során 15

európai országban tanulmányozták az összefüggéseket a különböző légszennyezők és a napi halálozás, valamint a sürgősségi kórházi betegfelvétel között. Az APHEA vizsgálat főbb megállapításai szerint a külső téri levegő szálló por koncentrációja összefüggést mutatott a napi összhála-lozással, a szív-keringési eredetű, valamint légúti betegségek miatti halálozással. A kén-dioxid koncentráció növekedése jelentősen befolyásolta mind az összes halálokok miatti, mind a szív- és érrendszeri, valamint a légúti halálozást a nyugat-európai országokban. A nitrogén-dioxid koncentráció változása az összhála-lozást befolyásolta. Érdekes megfigyelésük arra utalt, hogy a '90-es években jelentős különbség mutatkozott a nyugat-európai és a közép-kelet-európai városok között, ez utóbbiakban elsősorban a kén-dioxid hatását lehetett kimutatni az akkor még jelentős ipari és fűtési eredetű kibocsátások következtében (Katsouyanni et al., 1997).

A vizsgálatot megismételték 1998-2001 között az APHEA2 program keretében, amelyhez 26 ország csatlakozott 29 nagy-

városának adataival. A vizsgálat-sorozat a légszennyezők rövid távú egészségkárosító hatásait elemezte, melynek során napi légszennyezettségi és napi halálozási, illetve sürgősségi betegfelvételi adatokat vetettek össze idősor analízis segítségével. Az így kapott eredményeket használták fel később a 2000-es évek során a légszennyezés környezetegészségügyi ha-

tásbecslésére. Az 1. táblázatban mutatjuk be az európai városokban, illetve az Egyesült Államokban hasonló módszerrel végzett elemzések szálló porra vonatkozó eredményét: A WHO az Air Quality Guidelines (Levegőminőségi A-jánlások) c. kiadványát 1987-ben jelentette meg először, majd 2000-ben és 2005-ben frissítette (WHO, 2005), a legutolsó frissítést elsősorban az APHEA2 vizsgálat eredményei tették szükségessé. 2012-ben megjelent újabb kiadványukban felülvizsgálták a levegőszennyezés egészségi vonatkozásait alátámasztó bizonyítékokat (REVIHAAP WHO, 2012) a 2005 után megjelent közlemények alapján. Egyre több bizonyíték támasztja alá a PM_{2,5} és PM₁₀ rövid távú egészségkárosító hatásait (Brook et al., 2010; Rückerl et al., 2011). Több új, sok várost magában foglaló vizsgálat erősítette meg a korábbi összefüggést: 0,4–1%-os halálozás-növekedés 10 µg/m³ PM₁₀, PM_{2,5} koncentráció növekedés esetén (Katsouyanni et al., 2009; Zanobetti et al., 2009; Ostro et al., 2006).

1. táblázat: A szálló por szennyezés becsült hatása a napi összhála-lozásra és a kórházi betegfelvételekre az APHEA2 és az NMMAPS vizsgálatok eredménye alapján

	Vizsgálat megnevezése	
	APHEA2*	NMMAPS**
Az összhála-lozás növekedése 10 µg/m ³ , PM ₁₀ -enként (95% megbízhatósági tartomány)	0,6% (0,4% – 0,8%)	0,5% (0,1% – 0,9%)
A KALB ⁺ (APHEA2: KALB és asztma) miatti kórházi betegfelvételek növekedése 65 év feletti körében 10 µg/m ³ , PM ₁₀ -enként (95% megbízhatósági tartomány)	1,0% (0,4% – 1,5%)	1,5% (1,0% – 1,9%)

⁺ KALB: Krónikus Aspecifikus Légzőszervi Betegségek

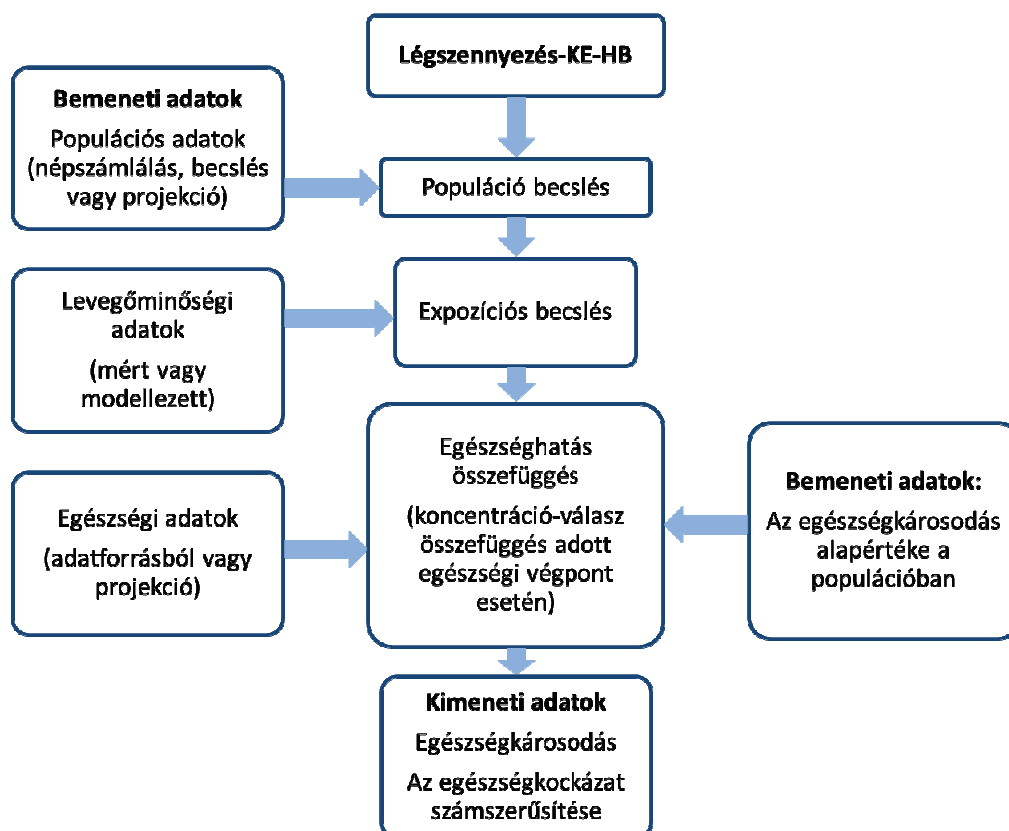
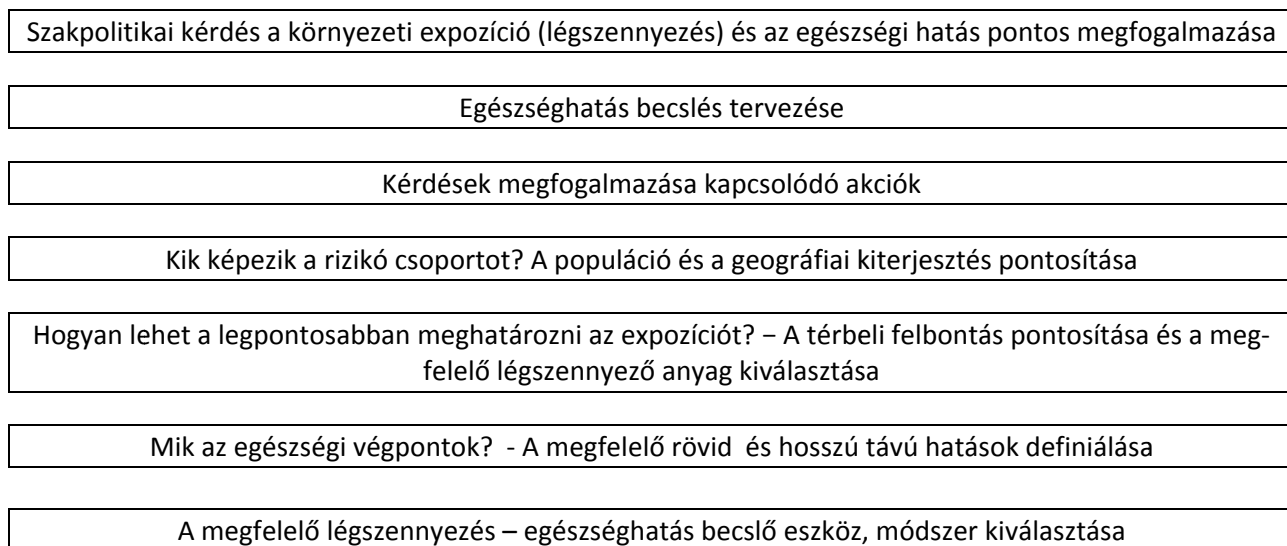
* Air Pollution and Health: a European Approach (Katsouyanni et al., 2001)

** National Mortality, Morbidity and Air Pollution Study (Schwartz et al., 1996)

¹ <http://www.advisorybodies.doh.gov.uk/comeap/statements/reports/CardioDisease.pdf>

A kórházi betegfelvételekkel való összefüggés új bizonyítékát *Brook et al.*, (2010) írták le. Szignifikáns összefüggést találtak egyes krónikus szív- és agyérbetegségek (ischaemiás szívbetegség, dekompenzáció, cerebrovasculáris betegségek) miatti sürgősségi betegfelvételek és a $PM_{2,5}$ szennyezettség között (*Dominici et al.*, 2006;

kohorsz vizsgálat megerősítette, hogy a $PM_{2,5}$ szennyezés 6%-kal növeli a természetes halálokok miatti halálozást $10 \mu g/m^3$ -enként (*Beelen et al.*, 2008), ami megegyezik a korábbi USA-beli eredményekkel (*Pope et al.*, 2002). Egy nagy norvég ökológiai vizsgálat bebizonyította, hogy a $PM_{2,5}$ expozíció növeli a szív- érrendszeri beteg-



1. ábra: A légszennyezés egészség hatás becslés folyamata (*Quigley et al.*, 2006; *US EPAA*, 2012; *WHO Regional Office for Europe*, 2014a)

Brook et al., 2010; *EPA*, 2009; *Rückerl et al.*, 2011).

A $PM_{2,5}$ hosszú távú egészségkárosító hatásaival kapcsolatban is számos új, illetve a korábbi eredményeket megerősítő közlemény jelent meg. Például egy holland

ségek miatti halálozást is (*Naess et al.*, 2007).

A szívelégtelenség, a szívizom elektromos vezetőképessége szintén függ a külső levegő $PM_{2,5}$ koncentrációjától (*Brook et al.*, 2010). A $PM_{2,5}$ hosszú távú expozíciója ha-

tására kimutathatók az érlelmeszesedés korai biomarkerei is, az érfal vastagodása, a szív koszorúsereinek meszesedése (Künzli *et al.*, 2005; Künzli *et al.*, 2010). Ezek a tünetek a PM_{2,5} hosszú távú expozíciója esetén a forgalmas utaktól való távolság viszonylatában voltak kimutathatók (Bauer *et al.*, 2010; Hoffmann *et al.*, 2006, 2007; Perez *et al.*, 2013).

Arra is van bizonyíték, hogy a légszennyezés összefügg a gyermekek idegrendszeri fejlődésével, sőt a gyermekkori diabetes kialakulásával is, felnőtt korban idegrendszeri zavarokat idézhet elő (Rückerl *et al.*, 2011). A cukorbetegséggel való összefüggést az első közlés óta (Brook *et al.*, 2008) egyre erősebb bizonyítékok támasztják alá, például német és dán epidemiológiai vizsgálatok (Krämer *et al.*, 2010; Andersen *et al.*, 2012; Raaschou-Nielsen *et al.*, 2013). A levegő szennyezettsége károsítja az egyes idegrendszeri funkciókat, például a kognitív funkciót mind a felnőttek, mind a gyermekek körében (Ranft *et al.*, 2009; Freire *et al.*, 2010).

A 2005-ben elindított születési kohorsz vizsgálatok szignifikáns kapcsolatot tártak fel kisgyermekek körében a PM_{2,5} és a légúti fertőzések, valamint az asztma között (Bauer *et al.*, 2007; Gehring *et al.*, 2010; MacIntyre *et al.*, 2011; Morgenstern *et al.*, 2007). A szálló por szennyezés kedvezőtlenül befolyásolja a várandósságok kimenetelét is, magas PM_{2,5} koncentráció esetén nagyobb az esély a koraszülésre, alacsony születési súlyra (Shah and Balkhair, 2011).

Végezetül meg kell említeni, hogy a WHO Nemzetközi Rákügynöksége 2013-ban bizonyítottan humán rákkeltőnek minősítette a levegőszennyezést. A szálló por szennyezést külön is minősítették és szintén az 1A csoportba tartozó rákkeltő ágens besorolást kapott. Az IARC értékelése bebizonyította, hogy a növekvő légszennyezéssel növekszik a tüdő rosszindulatú daganatos megbetegedésének gyakorisága. Bár a légszennyezés összetevői és a koncentrációk között igen jelentős különbségek mutatkoznak világszerte, az IARC munkacsoport következtetése az, hogy a daganatkeltő hatás mindenütt érvényesül. 2010-es adatok szerint világszerte 223 000 tüdőrák miatti halálozás írható a légszennyezés terhére.

A légszennyezettség környezetegészségügyi hatásbecslésének módszertana. A fent említett különböző epidemiológiai módszerekkel végzett vizsgálatok felvetették annak az igényét, hogy egységes módszertant dolgozzanak ki a hatások becslésére. A légszennyezés környezetegészségügyi hatásbecslésének célja a múltbeli, jelen és jövőbeni légszennyezésnek való kitettség kockázatának becslése, de a módszernek alkalmasnak kell lennie arra is, hogy a megtett intézkedések hatását is nyomon lehessen követni (Department of Health, 2006; HIP, 2014). A becslés lehet mennyiségi vagy minőségi, általában kiterjed a koncentráció becslésére, a célpopuláció expozíciójának becslésére, valamint arra, hogy az adott koncentráció mennyire veszélyes az adott populációra (WHO, 2010). A hatásbecslés során nyert eredmények jól használhatók a szakpolitikai intézkedések meghozatalában. Az előnyök mellett meg kell említeni a korlátokat is, amelyek közül a legjelentősebb a megfelelő adatok hiá-

nya: például adott helyen a légszennyezettségi adatok, vagy a populációs adatok nem állnak rendelkezésre, így sok esetben a kockázat értékelése becsléseken vagy megítéléseken alapszik. Ennek következtében a környezetegészségügyi hatásbecslések sok bizonytalanságot hordoznak magukban, amikre fel kell hívni a figyelmet. Természetesen a hatásbecslések csak azokra az egészségi kimenetekre terjednek ki, amelyekben számszerűsíthetők a hatások. Törekedni kell a minél teljesebb hatásbecslésre, de az előbbieket alapján kijelenthető, hogy a becslések alábecsülik a hatásokat.

Az egészséghatás számszerűsítése. A légszennyezettség egészséghatás becslés eredményét leggyakrabban a légszennyezettségnek tulajdonítható többlethalálozási eset-számmal adjuk meg, vagy az elveszített életévek számával. Újabban egyre többször alkalmazzák a rokkantsággal korrigált elveszített életévek mutatót (DALY) vagy a várható élettartam változást (WHO Regional Office for Europe, 2013). Ezek a mutatók különböző egészséghatás típusokat írnak le és a lakosság egészségi állapotának különböző aspektusait jellemzik (Murray and Lopez, 2013). Fontos megjegyezni, hogy ezek a mutatók a teljes lakosságra vonatkozó értékeket adnak meg, nem lehet egyénre vagy kisebb populációra vonatkoztatni.

Járulékos halálozás vagy megbetegedés. Ez a mutató azt fejezi ki, hogy mekkora a többlethalálozás az adott populációban a légszennyezésnek való kitettség miatt. Kifejezhetjük a szennyezőanyag teljes hiányához, vagy valamilyen választott koncentráció szinthez viszonyítva.

Elveszített életévek (YLL): ez a mutató jelzi, hogy a légszennyezés következtében hány életévet veszítünk el az úgynevezett idő előtti (korai) halálozás következtében. Leegyszerűsítve a következőképpen számítják ki: a légszennyezés változásának tulajdonítható számított halálozások számát megszorozzák a standard várható élettartammal arra az évre vonatkozóan, amikor a haláleset bekövetkezik – egyes számítások súlyozzák az eredményeket bizonyos szociális tényezőkkel.

Rokkantság miatt elveszített élet éveket (YDL) úgy határozzák meg, hogy egy adott időszak alatt bekövetkező adott egészségkárosodás esetszámait megszorozzák a megbetegedés átlagos időtartamával (mialatt a beteg vagy meggyógyul, vagy meghal) és súlyozzák a betegség „súlyosság” faktorával (egy 0-1 közötti skálával, 0=teljes gyógyulás, 1=halál). A 2010-ben kiadott globális betegségteher számítás tanulmány frissített várható élettartam standard értékeket használ a YLL és a YDL meghatározásánál (WHO, 2014).

Rokkantsággal korrigált életévek (DALY). Egy DALY tulajdonképpen egy elvesztett egészséges életév. A DALY értékek összege a populációban jelzi a betegségterhet; olyan mérőszámnak tekinthető, ami mutatja a különbséget a populáció aktuális egészségi állapota és az „ideális” helyzet között, amelyben a teljes populáció egészségesen él az emberi élet végső határáig. A WHO kiadványban közölt, adott betegségre vonatkozó teljes DALY érték magában foglalja az elveszített élet éveket (YLL) és a rokkantsággal korrigált élet éveket (YDL) is (WHO, 2014; Murray and Lopez, 2013).

Ezek a mutatók felhasználhatók még a járulékos költségek kiszámítására is, valamint a meghozott szakpolitikai intézkedések egészségnyerésének kiszámítására is. Léteznek olyan szoftverek, amelyek ezeket a számításokat is segítik (2. táblázat). Fontos megemlíteni, hogy az Eu-

szolgáltatni a légszennyezés egészségkárosító hatásairól. Hazánk is csatlakozott a 26 európai résztvevőhöz Budapest adataival. Az APHEIS programban a résztvevők az 1999-es évre vonatkozóan meghatározták a városokra jellemző szálló por (PM₁₀ és korom) szennyezettségnek

2. táblázat: A légszennyezettség környezetegészségügyi hatásbecslést segítő szoftverek bemutatása

Szoftver eszköz	Fejlesztő intézmény	Földrajzi kiterjesztés	Vizsgált egészségi kimenet ¹
AirCounts	Abt Association	Globális (42 város, további 3000 fejlesztés alatt)	halálozás
AirQ2.2	WHO	Bármely ismert méretű populáció, amelynek ismert az alap halálózása vagy morbiditása	halálozás, megbetegedés
Aphekom	Francia Közegészségügyi Intézet (InVS)	Globális, bár a jelenlegi verzió Európára vonatkozik	halálozás, megbetegedés
Economic Valuation of Air Pollution	Aarhus University	Északi félteke, kontinentális (pl. Európa, Országos és városi szintű)	halálozás, megbetegedés
EcoSense	University of Stuttgart	Európa	halálozás, megbetegedés
Environmental Benefits Mapping and Analysis Program – Community Edition (BenMap-CE)	US Environmental Protection Agency	Kontinentális (USA és Kína, de más helyre is alkalmazható a felhasználó igénye szerint)	halálozás, megbetegedés
Environmental Burden of Disease (EBD) assessment tool for ambient air pollution	WHO	Globális	halálozás, megbetegedés
GMAPS2	World Bank	Globális	halálozás, megbetegedés
IOMLFET	Institute of Occupational Medicine	Bárhon használható, ahol rendelkezésre állnak háttér halálózási adatok és mért vagy számolt légszennyezési adatok	halálozás, megbetegedés
Rapid Co-benefit Calculator	US Environmental Protection Agency Stockholm Environment Institute	Fejlesztés alatt, minden országra, globális kiterjesztés	halálozás
SIM-Air	Urban Emissions	Ázsia, Afrika, Latin-Amerika	halálozás
TM5-FASST	EC-Joint Research Centre	Globális, 56 forrás régió	halálozás, megbetegedés

¹A megbetegedés lehet pl. szív- érrendszeri, légzőszervi, betegség, kórházi betegfelvétel, sürgősségi betegfelvétel, táppénzes napok száma

rópai Unió 2014-ben hivatalos ajánlást dolgozott ki a légszennyezés által okozott megbetegedések költségeinek kiszámítására a WHO javaslatainak figyelembe vételével (ENV/EPOC/WPIEEP, 2014a; ENV/EPOC/WPIEEP, 2014b).

Legfontosabb, hazánkra is vonatkozó hatásbecslések. APHEIS projekt eredményei. 1999-ben alakult a Levegőszennyezettség és Egészség Európai Információs Rendszer (APHEIS) azzal a céllal, hogy kiépítsen egy egészségügyi felmérő rendszert, amely információkat tud

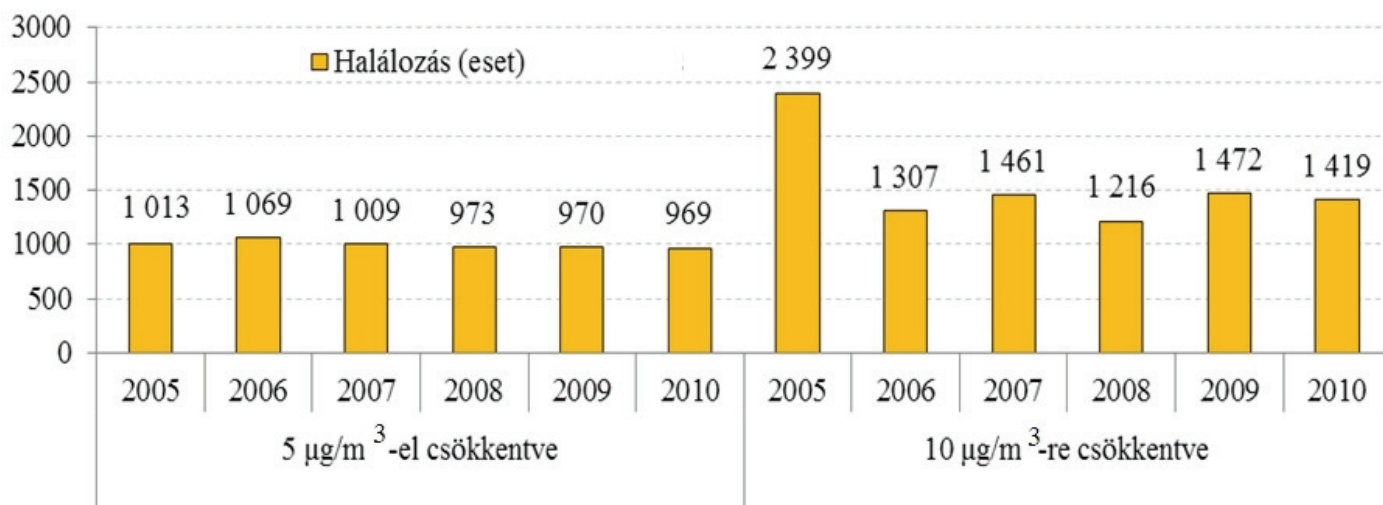
tulajdonítható rövid távú többlethalálozást a WHO által kifejlesztett AirQ1.2 szoftver alkalmazásával, jelenleg a 2.2 verzió tölthető le (WHO, 2004).

A módszer lényege, hogy az on-line mérőállomások adataiból nyert 24 órás átlagkoncentrációk eloszlási gyakorisága és a nemzetközi vizsgálatok (APHEA2) alapján megállapított kockázati értékek felhasználásával meghatározzák a városokra jellemző légszennyezettségnek tulajdonítható rövid távú többlethalálozást, különböző szcenáriók szerint.

Az egészségügyi hatásbecslés eredménye igazolta a szálló por koncentráció csökkentésének előnyös hatását Budapesten is. Bár a PM_{10} évi átlagkoncentrációja 1999-ben $29,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 289 napon haladta meg a WHO által javasolt $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -t, amely 170, rövid távon jelentkező többlet halálesettel hozható összefüggésbe, ami megelőzhető lenne. A PM koncentráció WHO által javasolt szintre való csökkentésével (Air Quality Guidelines) mérhetően (6–15%) csökkenne a mortalitás és morbiditás (Páldy et al., 2000).

Az APHEIS program következő fázisában (2003) a célkitűzés az volt, hogy a 2000. évi adatok felhasználásával megismételje az 1999-es adatokkal elvégzett hatásbecs-

hatással kapcsolatos döntéshozatalhoz szükséges ismeretek és kommunikáció fejlesztése Európában (2008–2011) projekt célkitűzése szerint Európa 26 nagyvárosában becsülték a légszennyezés egészségi hatását a 2004–2006-os évek adatai alapján. Ennek a projektnek a keretében egységes módszert dolgoztak ki az egészséghatás becslésére, amelyet szabadon elérhetővé tettek. A WHO is támogatja a módszer elterjesztését, 2016 januárjában, nagyrészt erre a módszertanra építve adott ki egy útmutatót (WHO, 2016). Az APHEKOM (2012) projektben résztvevő 26 európai város 33 millió lakosának adatai alapján megállapították, hogy a $PM_{2,5}$ a WHO Air Quality Guidelines által javasolt $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ éves átlagér-



2. ábra: A 14 hazai városban a $PM_{2,5}$ csökkentésével elkerülhető halálozás a különböző hosszú távú szcenáriók esetén

lést. A programban részt vevő 23 város 36 millió lakosára vonatkozóan vizsgálták új elemként a PM_{10} rövid és hosszú távú hatásait. Az eredmények szerint, minden más tényezőt változatlanul tekintve, ha a PM_{10} kültéri expozícióját sikerülne $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -re csökkenteni minden városban 2 napra, akkor 2580 idő előtti halálozást, 1741 szív-érrendszeri és 429 légzőszervi megbetegedés okozta halálesetet lehetne megelőzni évente. Továbbá megállapították, hogy 11 375 ember életét lehetne megmenteni évente (8053 kardiovaszkuláris és 1296 légzőszervi megbetegedés okozta halálozás) akkor, ha a számított $PM_{2,5}$ évi koncentrációt hosszú távon $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -re csökkentenék minden városban. Ha $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lenne ez a határérték, akkor 16 926 korai halálesetet lehetne elkerülni (11 612 kardiovaszkuláris és 1901 légzőszervi megbetegedés okozta haláleset). Ha minden más tényezőt változatlanul tekintünk, és a PM_{10} -ből számított $PM_{2,5}$ szennyezés évi koncentrációja nem haladná meg a $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -t, akkor a 30 évesnél idősebb lakosság várható élettartama átlagosan 2–13 hónappal lenne meghosszabbítható az összhála-
lozás csökkentésének köszönhetően (Páldy et al., 2005).

Az EC Új Népegészségügyi Program keretében megvalósult APHEKOM (A levegő-szennyezéssel és egészségi

ték feletti légszennyezés esetén évente 19 000 ember (ebből 15 000 fő szív-érrendszeri betegség miatti) halálához járul hozzá (APHEKOM, 2011).

Az APHEKOM vizsgálatban a városi háttérállomások légszennyezettségi adatait használták fel, mert ezek a mérési adatok jellemzik egy város teljes lakosságának expozícióját. Meg kell jegyezni, hogy a légszennyezés hatása viszonylag nehezen mutatható ki egyéni szinten, azonban a teljes népesség ki van téve a légszennyezés hatásának, ezért populációs szinten jelentős közegészségügyi teherrel kell számolni. A számítások azt bizonyítják, hogy a légszennyezés csökkentése nagyszámú lakosságcsoportra nézve kedvező hatású.

Az Országos Környezetegészségügyi Intézet munkatársai szükségesnek tartották, hogy a 2006 utáni időszakban is megvizsgálják a szálló por lehetséges rövid- és hosszú távú egészségkárosító hatását. Ezért az APHEKOM módszertant alkalmazva elvégezték a számításokat a 2005–2010 közötti időszakra Magyarország 14 online monitor állomással rendelkező városára vonatkozóan: Budapest, Debrecen, Eger, Győr, Miskolc, Nyíregyháza, Pécs, Salgótarján, Szeged, Székesfehérvár, Szolnok, Tatabánya, Várpalota, Veszprém (Bobvos et al., 2014).

A légszennyezés hosszú távú hatását a $PM_{2,5}$ (PM_{10} értékekből 0,58-as faktor alkalmazásával származtatott) esetén értékelték, az elkerülhető halálozást a következő hosszú távú scenáriók szerint vizsgálták: az éves $PM_{2,5}$ értékek csökkentése $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -el, illetve az éves $PM_{2,5}$ értékek csökkentése $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -re.

A 14 város összességében (2. ábra) vizsgálva a hosszú távú hatásokat megállapítható, hogy a $PM_{2,5}$ éves átlagértékek $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -el csökkentése évente átlagosan kb. 1000 halálesetet előzhetne meg. Amennyiben az évi átlagértékeket $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -re tudnánk csökkenteni, az összes megelőzhető halálesetek száma átlagosan 1550 esetre emelkedne évente. A 14 város összlakossága hozzávetőlegesen 3 000 000, így, ha a teljes hazai populációra vonatkoztatva hasonló $PM_{2,5}$ expozíciót feltételeznénk, akkor 2005-ben az APHEKOM módszertan szerint 7997 fő, míg 2010-ben 4730 fő többelhalálozásához járult hozzá a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ feletti $PM_{2,5}$ szennyezés.

Amennyiben az évi átlagértékeket $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -re tudnánk csökkenteni, az összes megelőzhető halálesetek száma átlagosan 1550 esetre emelkedne évente, életév nyereségben kifejezve átlagosan 2,4 hónap (Pécs) és 12,8 hónap (Várpalota) között alakulna ez a továbbélési mutató a városokban.

2014-ben nagy szakmai érdeklődést váltott ki a „*The costs of air pollution (2014) from road transport*” c. OECD kiadvány (High level session Meeting of the Environmental Policy, 2014. április 23–24.). Ez a kiadvány megállapítja, hogy világszerte főként a közlekedési eredetű $PM_{2,5}$ kibocsátás növekszik, ezzel együtt nő az expozíció terhére írható többelhalálozás. A kiadványban közöltek szerint Magyarország esetében a 2005-re vonatkozóan a számított évi többelhalálozás 11 712 fő, míg 2010-ben valamivel kedvezőbb alakult (9376 fő). Ez a számított többelhalálozás 1 000 000 főre vonatkoztatva közelítőleg megegyezik a Kínára vonatkoztatott számításokkal. Mivel a tanulmányban közölt eredmények eltérnek az APHEKOM módszertannal számolt, szintén nemzetközi kiadványokban megjelent eredménytől, ezért érdemes bemutatni, mint jellemző példát, hogy milyen módszert alkalmaztak a hatásbecsléshez és az eredmények hogyan értelmezhetők.

A számításokat az Institute for Health Metrics and Evaluation 2013-ban végezte el, a részletes eredmények az interneten megtalálhatók². Az eredmények modellezésen alapulnak, a módszertant részletesen ismertetik Lim és munkatársai a közleményben. A többelhalálozási számítások alapja az országok évi halálozási statisztikája. Hazánkban ez rendkívül magas, így eleve kedvezőtlen a kiindulási alap. A kültéri szálló por expozíciót műhold felvételek alapján becsülték és ahol rendelkezésre álltak $PM_{2,5}$ mérési adatok, ott validálták az eredményeket. Magyarországon ez nem állt rendelkezésre. A $PM_{2,5}$ viszonyítási koncentrációjaként $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ évi átlagkoncentrációt vettek figyelembe. A kockázati értéket integrált dózis-hatásgörbék előállításával bonyolult statisztikai

elemzésekkel határozták meg és az összes halálozás, illetve okspecifikus halálozások esetén a halálozás arányában adták meg, figyelembe véve a $PM_{2,5}$ helyi lehetséges kibocsátási forrásait. Meg kell említeni, hogy a fentebb bemutatott európai számítások esetén (APHEKOM) a $PM_{2,5}$ hosszú távú hatásait vizsgáló scenáriókban $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ feletti koncentrációkra vonatkozik a számítás. Az eredmények értékelésénél további meggondolásra ad okot az, hogy a légszennyezettségi adatok Magyarországra nézve nincsenek mérésekkel validálva. Mivel a $PM_{2,5}$ „hatástalan” évi átlagkoncentrációját igen alacsony értéknél határozták meg és a magyar „alaphalálozás” igen magas, ezért a számított többelhalálozás értéke is nagyon magas.

A tanulmányban közölt hatásbecsléssel kapcsolatban tehát rámutattunk arra, hogy milyen eltérések adódhatnak a hatásbecslésben attól függően, hogy mért vagy számított expozíciós adatokat használunk. További eltéréseket okozhat a hatásbecslés viszonyítási alapja. Ezek a módszertani különbségek magyarázzák, hogy bár a becsült többelhalálozás nagyságrendileg hasonló tartományban mozog, mint a hazai hatásbecslés eredményei, az OECD tanulmány azonban kb. kétszer magasabb halálozást becsült.

A bemutatott módszerek és eredmények alátámasztják a környezetegészségügyi hatásbecslések elvégzésének szükségességét a megfelelő szakmapolitikai döntések megalapozása érdekében. A hatásbecslés igen fontos eszköz az Európai Unió új levegőminőség politikájával kapcsolatos célkitűzéseinek elérésében.

Irodalom

- Andersen, Z.J., Raaschou-Nielsen, O., Ketzel, 2012: Diabetes incidence and long-term exposure to air pollution: a cohort study. *Diabetes Care*. 35, 92–98. doi: 10.2337/dc11-1155. (Epub 2011.11.10.)
- APHEKOM, 2011: Summary report of the Aphekom project 2008–2011 http://www.aphekom.org/c/document_library/get_file?uuid=5532fafa-921f-4ab1-9ed9-c0148f7da36a&groupId=10347
- APHEKOM, 2012: Health impact assessment of air pollution <http://www.aphekom.org/web/aphekom.org/publications>
- Bauer, M., Moebus, S. and Möhlenkamp, S., 2010: Urban particulate matter air pollution is associated with subclinical atherosclerosis: results from the HNR (Heinz Nixdorf Recall) study. *J. Am. Coll. Cardiol.* 56, 1803–08
- Beelen, R., Hoek, G. and van den Brandt, P. A., 2008: Long-term effects of traffic-related air pollution on mortality in a Dutch cohort (NLCS-AIR study). *Environ. Health Perspect.* 116, 196–202. doi: 10.1289/ehp.10767.
- Bobvos, J., Szalkai, M., Fazekas, B és Páldy, A., 2014: A szálló por szennyezettség egészségkárosító hatásának becslése néhány hazai városban. <http://egeszsegudomany.higienikus.hu/cikk/2014-3/Bobvos.pdf>
- Brimblecombe, P., 1987: The big smoke: a history of air pollution in London since medieval times. *New York/Methuen*.
- Brook, R. D., Jerrett, M. and Brook, J. R., 2008: The relationship between diabetes mellitus and traffic-related air pollution. *J. Occup. Environ. Med.* 50, 32–38. doi: 10.1097/JOM.0b013e31815dba70.
- Brook, R. D., Rajagopalan, S. and Pope, C. A., 2010: American Heart Association Council on Epidemiology and Prevention,

² <http://viz.healthmetricsandevaluation.org/gbdcompare>

- Council on the Kidney in Cardiovascular Disease, and Council on Nutrition, Physical Activity and Metabolism: Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 1. 121(21), 2331-78. doi: 10.1161/CIR.0b013e3181dbce1. (Epub 2010.05.10.)
- Department of Health, 2006: Health risk assessment in Western Australia. Perth, Government of Western Australia. http://www.public.health.wa.gov.au/cproot/1499/2/Health_Risk_Assessment.pdf
- Dockery, D. W., Schwartz, J. and Spengler, J.D., 1992: Air pollution and daily mortality: association with particulates and air aerosols. *Env. Res.* 59, 362-373.
- Dominici, F., Peng, R. D. and Bell, M. L., 2006: Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases. *JAMA.* 295(10), 1127-34.
- ENV/EPOC/WPIEEP (ENVIRONMENT DIRECTORATE ENVIRONMENT POLICY COMMITTEE), 2014a: Working Party on Integrating Environmental and Economic Policies: health economics and air pollution. *ENV/EPOC/WPIEEP(2014)14*
- ENV/EPOC/WPIEEP (ENVIRONMENT DIRECTORATE, ENVIRONMENT POLICY COMMITTEE), 2014b: Working Party on Integrating Environmental and Economic Policies: Issues in developing a standard method for the valuation of morbidity impacts of air pollution. *NV/EPOC/WPIEEP(2014)15*
- Freire, C., Ramos, R. and Puertas, R., 2010: Association of traffic-related air pollution with cognitive development in children. *J. Epidemiol. Community Health* 64, 223-238. doi: 10.1136/jech.2008.084574. (Epub 2009.08.13.)
- Gehring, U., Wijga, A. H. and Brauer, M., 2010: Traffic-related air pollution and the development of asthma and allergies during the first 8 years of life. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 181, 596-603. doi:10.1164/rccm.200906-0858OC. (Epub 2009.12.03.)
- HIP (Human Impact Partners), 2014: Frequently asked questions about integrating health impact assessment into environmental impact assessment. <http://www.epa.gov/region9/nepa/PortsHIA/pdfs/FAQIntegratingHIA-EIA.pdf>
- Hoffmann, B., Moebus, S. and Möhlenkamp, S., 2007: Residential exposure to traffic is associated with coronary atherosclerosis. *Circulation* 116(5), 489-96. (Epub 2007.07.16.)
- Hoffmann, B., Moebus, S. and Stang, A., 2006: Residence close to high traffic and prevalence of coronary heart disease. *Eur. Heart J.* 27, 2696-2702. (Epub 2006.09.26.)
- Katsouyanni, K., 2001: Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: Results from 29 European cities within the APHEA2 project. *Epidemiology* 12, 521-531.
- Katsouyanni, K., Schwartz, J., Spix, C., Touloumi, G., Zmirou, D., Zanobetti, A., Wojtyniak, B., Vonk, J. M., Tobias, A., Ponka, A., Medina, S., Bacharova, L. and Anderson, H. R., 1996: Short-term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiologic time-series data: the APHEA protocol. *JECH.* 50, S12-S18.
- Katsouyanni, K., Touloumi, G., Spix, C., Schwartz, J., Balducci, F., Medina, S., Rossi, G., Wojtyniak, B., Sunier, J., Bacharova, L., Shouten, J. P., Ponka, A. and Anderson, H. R., 1997: Short-term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from time series data from the APHEA project. *BMJ* 314, 1658-63.
- Katsouyanni, K., Zmirou, D., Spix, C., Sunyer, J., Schouten, J. P., Ponka, A., Anderson, H. R., Le Moullec, Y., Wojtyniak, B., Vigotti, M. A. and Bacharova, L., 1995: Short-term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiological time-series data. *ERJ* 8, 1030-1038.
- Krämer, U., Herder, C. and Sugiri, D., 2010: Traffic-related air pollution and incident type 2 diabetes: results from the SALIA cohort study. *Environ. Health Perspect.* 118, 1273-1279. doi:10.1289/ehp.0901689. (Epub 2010.05. 11.)
- Künzli, N., Jerrett, M. and Garcia-Esteban, R., 2010: Ambient air pollution and the progression of atherosclerosis in adults. *PLoS One.* 5(2):e9096. doi: 10.1371/journal.pone.0009096.
- Künzli, N., Jerrett, M. and Mack, W. J., 2005: Ambient air pollution and atherosclerosis in Los Angeles. *Environ. Health Perspect.* 113, 201-206.
- Künzli, N., Kaiser, R. and Medina, S., 2002: Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *Lancet.* 2;356(9232), 795-801.
- MacIntyre, E. A., Karr, C. J. and Koehoorn, M., 2011: Residential air pollution and otitis media during the first two years of life. *Epidemiology* 22, 81-89. doi: 10.1097/EDE.0b013e3181fdb60f.
- Morgenstern, V., Zutavern, A. and Cyrus, J., 2007: Respiratory health and individual estimated exposure to traffic-related air pollutants in a cohort of young children. *Occup. Environ. Med.* 64, 8-16. (Epub 2006.08.15.)
- Murray, C. J. L. and Lopez, A. D., 2013: Measuring the global burden of disease. *New England Journal of Medicine* 369, 448-457. <http://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMr1201534>
- Naess, Ø., Nafstad, P. and Aamodt, G., 2007: Relation between concentration of air pollution and cause-specific mortality: four-year exposures to nitrogen dioxide and particulate matter pollutants in 470 neighborhoods in Oslo, Norway. *Am. J. Epidemiol.* 165, 435-443. (Epub 2006.11.29.)
- Ostro, B., Broadwin, R. and Green, S., 2006: Fine particulate air pollution and mortality in nine California counties: results from CALFINE. *Environ Health Perspect.* 114, 29-33.
- Páldy, A. and Bobvos, J., 2012: Local city report – Budapest APHEKOM http://www.aphekom.org/c/document_library/get_file?uuid=9edf2fc3-f484-4f21-9787-0397d17197b6&groupId=10347
- Páldy, A., Bobvos, J. és Vámos, A., 2000: Levegőszennyezett-ség rövid távú koncentráció változásának hatása a napi halálózásra Budapesten (APHEA-2 vizsgálat). *Budapesti Közegészségügy* 4, 337-342
- Páldy, A., Bobvos, J., Vámos, A., Erdei, E. és Kishonti, K., 2005: Levegőszennyezés környezet-egészségügyi hatás-becslése Budapesten az APHEIS-3 program szerint. *Budapesti Népegészségügy* 3, 244-250.
- Perez, L., Declercq, C., Iñiguez, C., Aguilera, I., Badaloni, C., Ballester, F., Bouland, C., Chanel, O., Cirarda, F. B., Forastiere, F., Forsberg, B., Haluza, D., Hedlund, B., Cambra, K., Lacasaña, M., Moshhammer, H., O'torepec, P., Rodríguez-Barranco, M., Medina, S. and Künzli, N., 2013: Chronic burden of near-roadway traffic pollution in 10 European cities (APHEKOM network). *Eur. Respir. J.* 42, 594-605. doi: 10.1183/09031936.00031112. (Epub 2013.03.21.)
- Pope, C. A., Burnett, R. T. and Thun, M. J., 2002: Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Jama* 287, 1132-1141.
- Pope, C. A., Schwartz, J. and Ransom, M. R., 1992: Daily mortality and PM₁₀ pollution in Utah Valley. *Arch. Env. Health* 47, 211-217.
- Quigley, R., 2006: Health impact assessment international best practice principles [online]. Fargo, USA; International Association for Impact Assessment. <http://www.iaia.org/publicdocuments/special-publications/SP5.pdf>

- Raaschou-Nielsen, O., Sørensen, M. and Ketzel, M., 2013: Long-term exposure to traffic-related air pollution and diabetes-associated mortality: a cohort study. *Diabetologia* 56, 36–46. doi: 10.1007/s00125-012-2698-7. (Epub 2012.08.24.)
- Ranft, U., Schikowski, T. and Sugiri, D., 2009: Long-term exposure to traffic-related particulate matter impairs cognitive function in the elderly. *Environ Res.* 109, 1004–1011. doi: 10.1016/j.envres.2009.08.003. (Epub 2009.09.04.)
- REVIHAAP WHO, 2012: Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP interim results. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2013/review-of-evidence-on-health-aspects-of-air-pollution-revihaapinterim-report>
- Rückerl, R., Schneider, A. and Breitner, S., 2011: Health effects of particulate air pollution: A review of epidemiological evidence. *Inhal. Toxicol.* 23, 555–592. doi: 10.3109/08958378.2011.593587.
- Schwartz, J. and Dockery, D. W., 1992a: Increased mortality in Philadelphia associated with daily air pollution concentrations. *Am. Rev. Respir. Dis.* 145, 600–604.
- Schwartz, J. and Dockery D. W., 1992b: Particulate air pollution and daily mortality in Steubenville, Ohio. *Am. J. Epidemiol.* 135, 12–19.
- Schwartz, J. and Marcus, A., 1990: Mortality and air pollution in London: A time-series analysis. *Am. J. Epidemiol.* 131, 185–194.
- Schwartz, J., 1991: Particulate air pollution and daily mortality in Dertoit. *Environ. Res.* 56, 204–213.
- Schwartz, J., 1996: Air pollution and hospital admissions for respiratory disease. *Epidemiology* 7, 20–28
- Shah, P. S. and Balkhair, T., 2011: Knowledge Synthesis Group on Determinants of Preterm/LBW births. Air pollution and birth outcomes: a systematic review. *Environ. Int.* 37, 498–516. doi: 10.1016/j.envint.2010.10.009. (Epub 2010.11.11.26.)
- Spix, C., Heinrich, J., Dockery, D. and Schwartz, J., 1993: Air pollution and daily mortality in Erfurt, East Germany, 1980–1989. *Environ. Health. Perspt.* 101, 518–526.
- Straif, A. K., Cohen, S. and Samet, J. (eds.), 2013 Air Pollution and Cancer. IARC Scientific Publication 161, <http://www.iarc.fr/en/publications/books/sp161/index.php>
- The Cost of Air Pollution, 2014 (Health Impacts of Road Transport): <http://www.oecd.org/env/the-cost-of-air-pollution-9789264210448-en.htm>
- Touloumi, G., Samoli, E. and Katsouyanni, K., 1996: Daily mortality and "winter type" air pollution in Athens, Greece. A time series analysis within the APHEA project. *JECH.* 50, S47–S51.
- WHO Regional Office for Europe, 2013: Review of evidence on health aspects of air pollution (REVIHAAP). Technical report. Copenhagen. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2013/review-of-evidence-on-health-aspects-of-air-pollution-revihaap-project-final-technical-report>
- WHO Regional Office for Europe, 2016: Health risk assessment of air pollution. General principles <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2016/health-risk-assessment-of-air-pollution.-general-principles-2016>
- WHO Regional Office for Europe, OECD, 2015. Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air, health and wealth. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0004/276772/Economic-cost-health-impact-air-pollution-en.pdf?ua=1
- WHO, 2003: Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide. Report on a WHO Working Group Bonn, Germany 13–15 January 2003. http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/112199/E79097.pdf
- WHO, 2004: Tools for health impact assessment of air quality: the AirQ 2.2 software. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/activities/tools-for-health-impact-assessment-of-air-quality-the-airq-2.2-software>
- WHO, 2005: Air quality guidelines – global update 2005. http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/outdoorair_aqg/en/
- WHO, 2010: WHO human health risk assessment toolkit: chemical hazards. IPCS harmonization project document 8. Geneva; World Health Organization. <http://www.who.int/pes/publications/methods/harmonization/toolkit.pdf>
- WHO, 2014a: 7 million premature deaths annually linked to air pollution. Media Centre news release. Geneva: World Health Organization. <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>
- WHO, 2014a: Health statistics and information systems. Metrics: disability-adjusted life year (DALY) [online]. Geneva; World Health Organization. http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/metrics_daly/en/
- WHO, 2014b: Burden of disease from ambient air pollution for 2012. Geneva; World Health Organization. http://www.who.int/phe/healthtopics/outdoorair/databases/AAP_BoD_results_March2014.pdf
- WHO, 2014b: Burden of disease from household air pollution for 2012. Summary of results. Geneva: World Health Organization http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/FINALHAP_AAP_BoD. (Epub 2014.03.24)
- Zanobetti, A., Gold, D.R. and Stone, P. H., 2010: Reduction in heart rate variability with traffic and air pollution in patients with coronary artery disease. *Environ. Health Perspect.* 118, 324–30. (Epub 2009.11.08).

PM EMISSZIÓ A KIBOCSÁTÁSI LETÁR TÜKRÉBEN

EMISSIONS OF PARTICULATE MATTER AS REFLECTED IN THE EMISSION INVENTORY

Kis-Kovács Gábor

Országos Meteorológiai Szolgálat, 1024 Budapest, Kitaibel Pál utca 1., kiskovacs.g@met.hu

Összefoglalás. Az emissziós leltárak alapvető segítséget nyújtanak a környezetpolitika számára a légszennyezés fő forrásainak meghatározásában. A részecskekibocsátás jelentős részéért nem jól monitorozott ipari létesítmények, hanem olyan diffúz források a felelősek, melyek pontos becslése és szabályozása egyaránt nehézséget okoz.

Abstract. Emission inventories help environmental policy in the detection of main sources of air pollution. Instead of well monitored industrial facilities, particulate matter emissions are caused mostly by diffuse sources which present difficulties both for inventory compilers and regulators.

A nagyságrendről. A legfrissebb kibocsátási leltár szerint Magyarország 2013. évi antropogén PM₁₀ kibocsátását 47 ezer tonnának becsüljük. Egy főre tehát nagyjából 5 kg jut. Ennek a tizede, vagyis fejenként fél kiló korom (black carbon) formájában jut a levegőbe. Hangsúlyozzuk, hogy emberi tevékenységekkel összefüggő kibocsátásokról beszélünk, ezért is tartjuk indokoltnak közölni az egy főre eső mennyiségeket.

Honnan tudjuk? Ismerkedjünk meg a kibocsátási leltárral, melyben a PM csak egy a sok légszennyező között. Illetve, hogy pontosabbak legyünk, négy a sok közül. A leltár egy méretes Excel táblázat, melynek oszlopai tartalmaznak a légszennyezőket.

Négy olyan oszlopot is találhatunk, mely részecskekibocsátásra utal: PM_{2,5}, PM₁₀, TSP és BC, vagyis többnyire méret szerint különböztetjük meg az aeroszolókat, pl. a PM a 2,5 mikrométernél kisebb részecskék összességét jelöli. 2015-ben került be először a korom (BC) is leltárba. (Az összes lebegő részecske [TSP] jövője viszont bizonytalan.) A kibocsátott aeroszolok számáról vagy összetételéről nem tartalmaz információt a leltár.

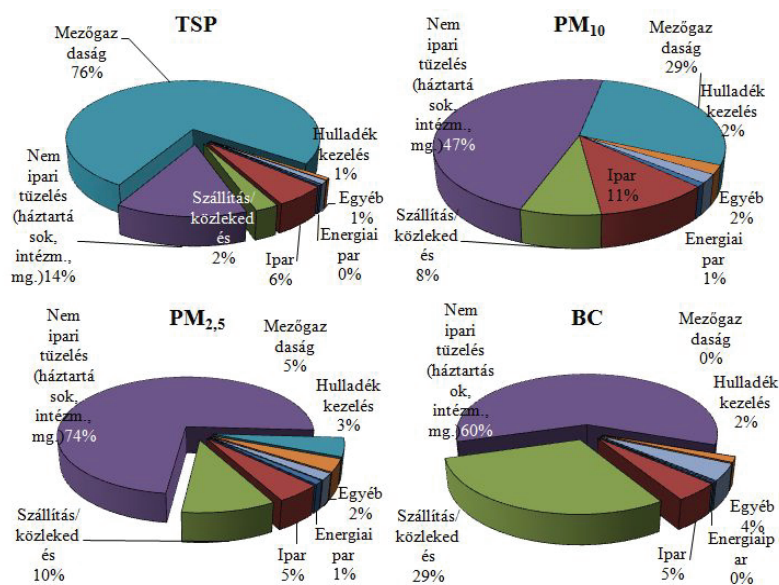
A leltár sorai felelnek meg a kibocsátási forráskategóriáknak. Jelenleg kb. 130 forráskategóriát tartunk nyilván, kezdve a közcélú erőművekkel, folytatva további energetikai, ipari, mezőgazdasági és hulladékgazdálkodási forrásokkal, míg végül el nem jutunk a lakás- és gépjárműtüzekig. A források nagy száma miatt célszerű valamiféle csoportosítást alkalmazni, ahogy azt az 1. ábrán demonstráljuk.

Számos oka van annak, hogy leltárt készítünk. Ezek közül a legnyomósabb talán az, hogy muszáj, vagyis mert a

Varga (2015) cikkében részletezett nemzetközi szerződések kötelezik rá Magyarországot. De hasznosak is, hiszen mindenki számára elérhető módon mutatják meg a kibocsátások szintjét és azok változásait, mert nyomon követhetővé teszik a környezeti politika hatásait, ellenőrizhetővé teszik, hogyan állnak az országok a kibocsátáscsökkentési vállalásaik teljesítésével (1. táblázat), és régiós (pl. EU-szintű) leltárak is összeállíthatók belőlük.

Noha a leltáraknak nem az új tudományos eredmények publikálása a célja, de van azért kapcsolat a tudományos világ felé is, pl. bemenő adatokkal szolgálnak különböző terjedési modellek számára.

Ennek a sok elvárásnak azonban csak akkor tudnak megfelelni a leltárak, ha eleget tesznek az alábbi öt alapelvnek: legyenek átláthatók, teljesek, következtetések, összehasonlíthatók és pontosak (ECE, 2014). Hogy egy leltár lehetőség szerint ne tartalmazzon szisztematikusan alul- vagy fölülbecsült értékeket (pontoság), ugyanakkor tartalmazza az összes előírt forrást és légszennyező anyagot (teljesség), az talán magától értetődik. A szabványos formátum és az al-



1. ábra: A részecskekibocsátás forrásai.
Vegyük észre, hogy a különböző mérettartományokban mások a domináns források!

kalmazott, mindenki által elfogadott számítási módszertanok biztosítják a leltárak összehasonlíthatóságát, illetve teszik lehetővé ezek régiós aggregálását.

A következetességtől – ha szabad ezzel a hasonlattal élnünk – ugyanazt várjuk, mint a homogenizált éghajlati adatbázistól, vagyis hogy az adatsorban lévő évi változások valós változásokat tükrözzenek, és ne módszertaniakat. A leltár minőségét nemzetközi szakértői csoportok rendszeresen ellenőrzik. Azt azonban tudni kell, hogy felülvizsgálatok során elsősorban azt ellenör-

zik, hogy a leltárt az előírásoknak megfelelően állították-e össze, tehát nem az adatok „helyességét” vizsgálják. Ideális esetben a jelentési útmutató követése önmagában garantálná, hogy helyes adatot kapunk. A jelentési útmutató, az alkalmazott módszertan azonban hosszan tartó

politikai döntés eredménye, tehát friss tudományos eredményeket már csak ezért sem várhatunk a leltáraktól.

Hogyan is áll össze egy leltár? Építkezhetünk alulról is, vagyis ha egyesével számba vesszük az összes kibocsátó forrást. Ezt

megtehetjük (meg is tesszük!) a nagyobb források (pl. erőművek, cementgyárak, nagyobb vegyipari létesítmények vagy a vaskohók) esetén, de nem kezelhetjük egyesével a 4 millió háztartást, vagy a sokmillió gépjármű és állatlállományt. (Érdekes egybeesés, hogy kb. ugyanannyi – 3 millió – sertés van az országban, ahány személyautó.) Ezekben az esetekben a kibocsátási tényező módszertanával dolgozunk, vagyis feltételezzük, hogy a kibocsátás arányos a kibocsátást okozó tevékenység intenzitásával. Tehát például ha kétszer annyi szén égetünk, megduplázódik a kibocsátás, ha felére csökken az állatlétszám, felére csökken a kibocsátás is, amennyiben minden más tényező változatlan marad:

$Emisszió (E) =$

$tevékenységi\ adat\ (AD) \times emissziós\ faktor\ (EF)$

Az emissziós faktor természetesen légszennyező anyagként és tevékenységenként más és más, függ az alkalmazott technológiától is, amint erre a későbbiekben látunk példát. A kibocsátásokat lehet továbbá különböző csővégi megoldásokkal (pl. porleválasztó berendezésekkel) mérsékelni is. A fenti egyszerű modellel belátható, hogy a kibocsátás megváltoztatható egyrészt a termelési, fogyasztási viszonyok (AD) megváltoztatásával, vagyis gazdasági folyamatok eredményeképp, másrészt pedig új technológiák (EF) bevezetésével és elterjesztésével, amire pedig a környezetpolitikának lehet hatása.

Bármilyen egyszerű is a fenti koncepció, a számítások adatigénye jelentős lehet, az emissziós faktorok meghatározása gyakran nem triviális. A számítási módszertanoknak három fajtáját különböztetjük meg. Alapszintű módszertan esetén alapstatisztikákkal és irodalmi értékekkel dolgozunk. A következő szinten már elvárás, hogy információval rendelkezünk a ténylegesen alkalmazott technológiákról, hogy országspecifikus emissziós faktorokat tudjunk használni. A harmadik szinten pedig még részletesebb, akár létesítményszintű adatgyűjtésre van szükség, vagy komplex modellek alkalmazására kerül sor.

Könnyen belátható, hogy nem lehetséges mind a 130 forráskategóriával egyforma odaadással foglalkoznunk, de ez nem is volna célszerű. A kulcskategóriák koncepciója éppen erről szól, hogy a figyelmünket és az erőforrásainkat azokra a forráskategóriákra koncentráljuk, amelyek a kibo-

csátások jelentős részéért felelősek. Ennek van módszertani következménye is: a kulcskategóriákra illik magasabb szintű módszertant alkalmazni. A különböző légszennyező anyagoknak mások lehetnek a fontos forrásai, lássuk tehát, melyek a részecske-

1. táblázat: Magyarország kibocsátása bőven a 2010-re vállalt kibocsátási küszöb alatt maradt

	1990. évi rögzített kibocsátás	2010-re vállalt csökkentés 1990-hez képest	2010. év kibocsátásai, %-os csökkenés 1990-hez képest
SO ₂ (kt)	1010	550 (-46%)	31 (-97%)
NO _x (kt)	238	198 (-17%)	154 (-35%)
NH ₃ (kt)	124	90 (-27%)	77 (-38%)
NM VOC (kt; illékony szerves szénhidrogének)	205	137 (-33%)	125 (-39%)

kibocsátás kulcskategóriái!

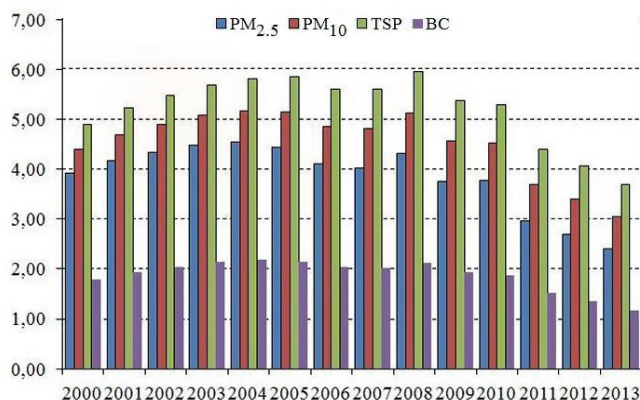
- TSP: szántóföldi növénytermesztés, háztartási tüzelés;
- PM₁₀: háztartási tüzelés, növénytermesztés, építési és bontási munkálatok, állattartás (baromfi és sertés), bányászat;
- PM_{2,5}: háztartások és a szolgáltatói szektor biomassza égetése, tüzesetek, szolgáltatási, közúti szállítás (kis tehergépkocsok, nehézgépjárművek és buszok, gumi- és fék kopás);
- BC: épületek tüzelése, közúti szállítás (kis tehergépkocsok, személyautók, nehézgépjárművek és buszok, mezőgazdasági gépek).

Leltáros szemszögből ez nem éppen a legjobb lista. Nincs közte semmi jól szabályozott erőmű vagy nagyobb ipari létesítmény, melyek kibocsátásáról mérési adat állna rendelkezésre, ehelyett csupa gyanús, diffúz, nehezen becsülhető forrással kell szembesülnünk. Nem volt azonban ez mindig így, például az erőművek szilárdanyag-kibocsátása az 1980-as évek elején még 200 ezer tonna körül alakult, jelenleg pedig alig 0,5 kt (Civin, 1998). A környezetpolitika talán paradox hatása, hogy miközben a korábbi nagy kibocsátók szennyezése jelentősen csökken, egyre kisebb forrásokról kell egyre többet tudnunk, s válik egyre bonyolultabbá (és költségesebbé) a leltárkészítés!

Közlekedés, szállítás. Elsőre talán meglepő, de a hazai PM₁₀-kibocsátásnak kevesebb mint 10%-a közlekedési eredetű, és még csak nem is kulcskategória. Gondolhatnánk, hogy a közlekedési ágazatnak rosszabb a híre, mint amit megérdemel. Ha azonban a finomabb mérettartományban vizsgálódunk, máris egyre jelentősebbnek látjuk a közlekedés szerepét: a szállítás kétszer akkora PM_{2,5}-kibocsátást okoz, mint az ipar, a koromkibocsátásnak pedig csaknem a harmada közlekedési eredetű. És nem feledkezhetünk meg arról sem, hogy a másodlagos részecskeképződésben jelentős szerepet játszó nitrogén-oxidok fő forrása a közúti szállítás. A leltár tartalmaz adatokat a légi, vízi, vasúti és közúti szállításról egyaránt. Mindezek közül a közúti szállítás a legfontosabb, hiszen az áruk nagyjából kétharmadát közúton szállítják,

sőt a belföldi áruszállításban a közúti szállítás dominanciája még jelentősebb, bőven 80% feletti.

A közúti szállítással kapcsolatos részecskekibocsátások több forrásból származnak. A kipufogó magától értetődő forrás, elsősorban a dízelüzemű gépjárműveknél számíthatunk jelentősebb részecskeszennyezésre. Ezek mind a kis mérettartományba esnek. De nem csak az üzemanyag elégetése okoz emissziót, a gumi- és fékkopás is hasonlóan fontos jármű eredetű kibocsátás. Számolnunk kell ezen kívül az útfelület kopásával is, és kellene talán a járművek által felvert porral is, de ez utóbbival kapcsolatosan nem tartalmaz információt a leltár. A leltár az égési kibocsátásokat nagyobb járműkategóriáknak veszi számba (személygépjárművek, kis tehergépkocsik, nehézgépjárművek, kétkerekűek).



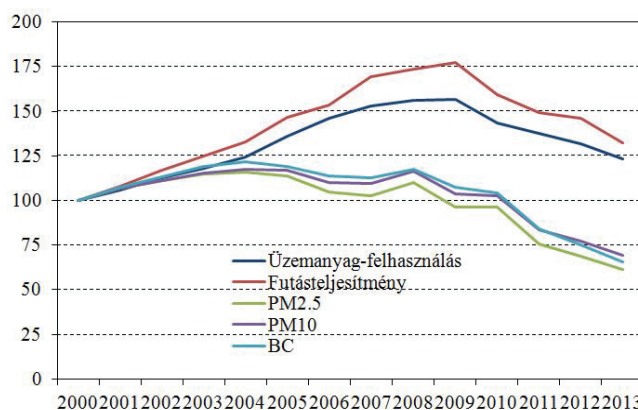
2. ábra: A közlekedési kibocsátások alakulása 2000 és 2013 között (kt). Első kísérlet a COPERT modell teljes időszoron történő alkalmazására.

Lássuk, hogyan alakultak a közlekedési kibocsátások az elmúlt bő évtizedben!

Ahogy az a 2. ábrán is látható, a kibocsátások 2008-ig növekvő trendet mutattak, majd az ezt követő években jelentősen csökkentek. A kibocsátásokat alapvetően a járműállomány, a futott kilométerek száma, a járművek szállítási teljesítménye) és a vezetés módja (pl. városi vagy országúti környezet, sebesség) határozza meg. A személygépkocsi-állomány a 80-as évek közepe óta megduplázódott, a részecskekibocsátások szempontjából domináns dízelautók részaránya pedig jelentősen nőtt, ma már csaknem minden negyedik autó dízelüzemű. S bár az autók átlagos kora viszonylag magas (13 év körüli), mégis csak megfigyelhető a hazai járműpark modernizálódása. Ez azért fontos, mert az új gépjárművekre egyre szigorúbb környezetvédelmi előírások vonatkoznak. Egy 2000-ben gyártott, Euro 3-as besorolású dízelautó PM kibocsátási határértéke 50 mg/km volt, ami már eleve egy hagyományos dízel emissziójának alig a negyede. Ehhez képest az Euro 5-ös előírások egy nagyságrendnyit szigorítottak, a kibocsátás már csak 5 mg lehet kilométerenként. A nehéz gépjárművek kibocsátása természetesen magasabb, de itt is jelentős a technológia hatása: például a buszok esetében a kilométerenkénti 800-900 mg-ról 50 mg alá csökkent az emisszió. Egyelőre az

Euro 5-ös dízelautók aránya 13%, az Euro V besorolású buszoké 10%, de a modernebb gépjárművek elterjedése a fajlagos emissziók csökkenéséhez kell hogy vezessen.

Fontos hangsúlyozni azonban, hogy a fenti határértékek pusztán az égési emissziókra vonatkoznak, a kopási jellegűekre nem. Ez azzal a következménnyel is jár, hogy a nem égési jellegű kibocsátások súlya egyre nő: PM_{2.5} esetén a kibocsátások mintegy harmada, PM₁₀ esetén majdnem a fele már ilyen. Ez nem jó hír sem a környezetpolitika, sem a leltárszakma számára. A környezetpolitikusk azért vakarja a fejét, mert egyértelműnek tűnik, hogy további jelentősebb kibocsátás-csökkentést csak a kopási emissziók csökkentésével lehet elérni. A leltáros pedig azért vakarja a fejét, mert a kopási emissziók számítása elég durva módszerrel történik, össze sem vethető az



3. ábra: Egyes szállítási paraméterek és a részecskekibocsátások indexe (2000=100).

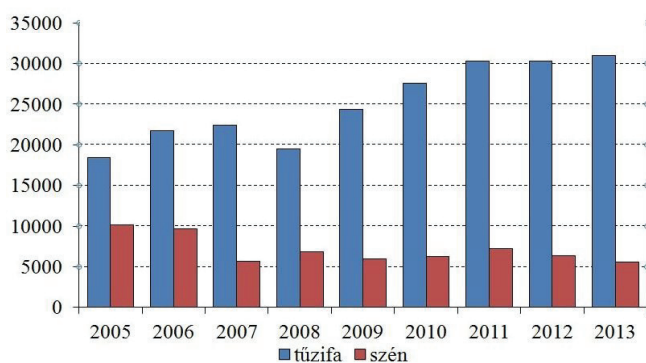
égési emissziók kifinomult modellszámításával.

Az égési emissziókat a bárki számára hozzáférhető, szakmailag elismert COPERT modellel számítjuk (<http://emisia.com/copert>). A modell figyelembe veszi a fentebb felsorolt tényezőket, következésképpen a bemenő adatigénye meglehetősen nagy. A KTI által időről időre összeállított adatbázis nagyjából kétszáz különböző járműkategóriát különböztet meg, s határoz meg ezekre vonatkozólag különböző forgalmi adatokat (sebesség, futásteljesítmény stb.). Ezzel szemben pl. az útkopásra vonatkozó értékeket csak négy járműkategóriára számoljuk ki és egyedül a futott kilométereket vesszük alapul, úgyhogy nagy valószínűséggel az eredményeink bizonytalansága is jóval nagyobb.

Az üzemanyag-felhasználás és a járművek futásteljesítménye egyaránt nőtt 2009-ig, majd a gazdasági válság hatására meredeken csökkenni kezdett. Sokat mondó tény, hogy a hazai szállított áruk tömege 44%-kal csökkent 2008 és 2012 között. Az üzemanyagárak (2012-ig tartó) jelentős emelkedése is hozzájárulhatott ahhoz, hogy a benzin-felhasználás az 1980-as évek óta nem látott mélységbe zuhant. Fontos azonban azt is látni, hogy a futásteljesítmény növekedése meghaladta az üzemanyag-felhasználását, ami a járműpark általános hatékonyságának javulására utal. De ennél is fontosabb, hogy az

emissziós görbék elszakadtak az üzemanyag-felhasználástól, vagyis a szállítási teljesítmények növekedése nem feltétlenül jár együtt a kibocsátások növekedésével (3. ábra).

Háztartási tüzelés. Noha a földgáz a domináns energiaforrás, és a háztartások csaknem háromnegyedében elérhető a vezetékes gáz, körülbelül 4 millió ember olyan lakásban él, amelyben legalább részben fával fűtenek. Ám míg a gáztüzelés elhanyagolható mértékű (elsődleges) részecskekibocsátást okoz, a háztartások szén- és fatüzelése okozza a hazai $PM_{2.5}$ -kibocsátás csaknem háromnegyedét! A széntüzelés átlagosan 398 g, a biomassza pedig 740 g finomrészecske-kibocsátással jár egységnyi energiára, 1 GJ-ra vetítve, ami nagyjából bő egy mázsa lignitnek, vagy 60-70 kg tűzifának felel meg (EEA, 2013).



4. ábra: A háztartások szilárdtüzelőanyag-felhasználásának alakulása (TJ)

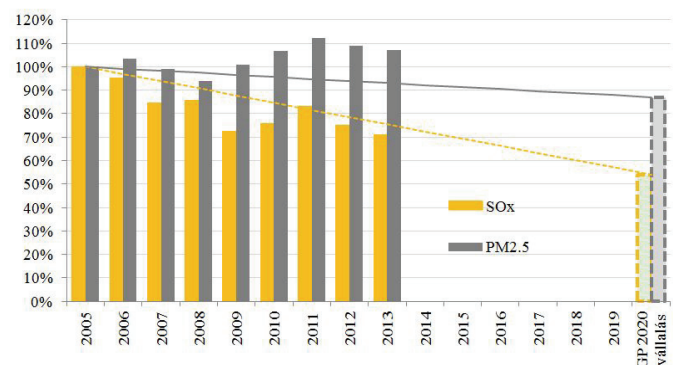
Az elmúlt években elég jelentősen nőtt a háztartási biomassza-tüzelés, következésképpen a részecskekibocsátás is (4. ábra). Széntüzelés esetében ilyen egyértelmű trend nem mutatható ki, ugyanakkor érdemes megemlíteni, hogy 2005 óta a hazai lignitfelhasználás csaknem a négyeszeresére nőtt, miközben a jobb minőségű (import) szén felhasználása csökkent. Ennek a jelen számítási módszertan mellett különösebb hatása a részecskekibocsátásra nincsen, a kén-dioxid-kibocsátásra viszont annál inkább, amely az utóbbi években újra növekedni kezdett.

Ha mindez így menne tovább, akkor veszélybe kerülne a 2020-as kibocsátás-csökkentési cél, ahogy az az 5. ábrán is látható. Mit lehet tenni? Ha a biomassza alapú energiafelhasználás nem csökken, akkor a technológiára kellene hagyatkoznunk. Az alábbiakban felsorolt fajtásos kibocsátások alapján látható, hogy az egyedi szobafűtésről a központos fűtésre való áttérés is már harmadával csökkentheti a kibocsátást ugyanannyi energia felhasználása mellett. A kályhák energiahatékonyságának növelésével akár a felére eshet a vissza az emisszió, az ökocímkes kazánok pedig legalább 80%-os kibocsátás-csökkentést eredményezhetnek. A pellettüzelés előnye pedig magától értetődik:

- hagyományos kályha: 740 (g/GJ),
- hagyományos bojler: 470 (g/GJ),
- energiahatékony kályha: 370 (g/GJ),

- ökocímkes kályha, kazán: 93 (g/GJ),
- pellet: 29 (g/GJ).

Meg kell azt is mondanunk, hogy hiába a legfontosabb emissziós forrás, a lakossági tüzelés bizonyosan nem a legpontosabban becsült része a leltárnak. Eleve az eltüzelte biomassza mennyiségét sem tudjuk pontosan, de az emissziós faktort valószínűleg ennél is nagyobb hiba terheli. Hazai mérések nem ismeretesek számunkra, és e-gyelőre nincs információnk a különböző típusú kályhák hazai elterjedtségéről sem. A legfrissebb népszámlálási adatok feldolgozása alapján arra jutottunk, hogy a fával fűtő háztartások felében-felében lehet egyedi, illetve központi fűtés (szén esetében 35-65%-os megoszlással dolgoztunk). Modern kályhakkal egyelőre nem számoltunk.



5. ábra: A $PM_{2.5}$ kibocsátások jelenlegi trendje szerint veszélyben van a módosított Götebörgi Jegyzőkönyv szerinti kibocsátás-csökkentési vállalások teljesítése

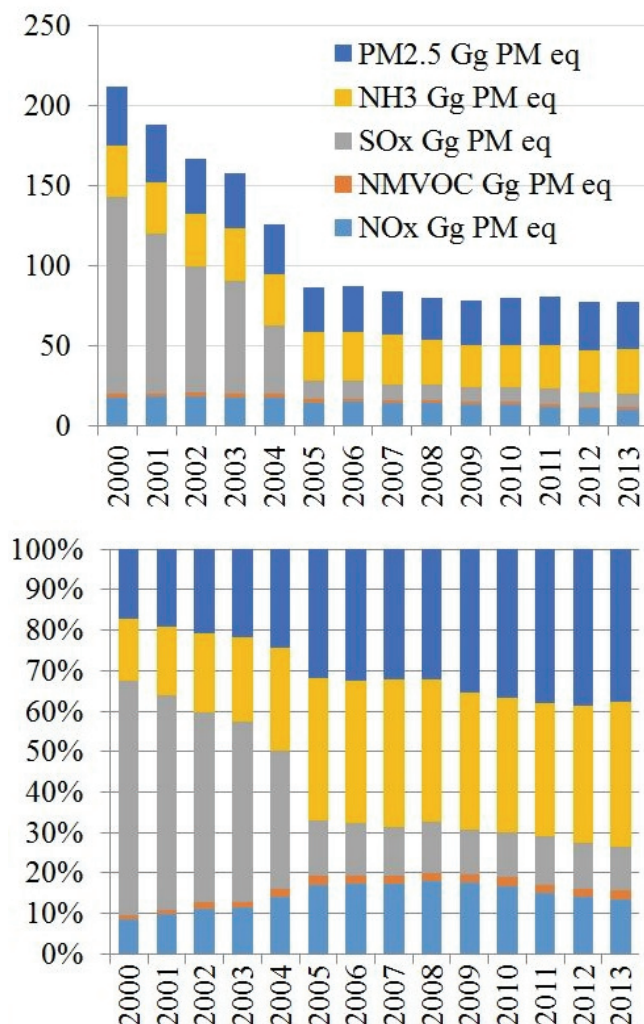
Mezőgazdaság. Az összes részecskekibocsátás (TSP) nagyjából háromnegyede mezőgazdasági eredetű, és zömmel a szántóföldi növénytermesztés, ezen belül is főleg a talajbolygatás és a betakarítás a fő forrása. Jelenleg alapszintű módszertannal dolgozunk, mely a (Magyarországon viszonylag jelentős) szántóterületet veszi alapul. Indokolt lenne magasabb szintű módszer alkalmazása, de ehhez konzisztens és reprezentatív adatokra lenne szükségünk a különböző szántóföldi műveletek, mint például a talajművelés, növényvédelem, deszikkálás, betakarítás lépéseinek számáról. Az adatgyűjtés időközben megkezdődött.

Haladva a kisebb mérettartományok felé, a növénytermesztés a PM_{10} -es frakcióban is jelentős forrás, de a kulcskategóriák között megjelenik az állattartás is, hiszen jelentős a hazai állatállomány, és elsősorban a takarmányozás emisszióval jár. A kibocsátott részecskék lehetnek még toll- és bőrdarabok, származhatnak ürülékből és alomból is. A kibocsátást számos tényező befolyásolhatja, ilyen az állatfaj, az alom típusa, az állattartás, a takarmányozás, az ólak tisztításának módja, az ólban töltött napok száma stb. Mindezekről kevés információ áll rendelkezésünkre, ezért itt is meg kellett elégednünk a nagyobb bizonytalanságot hordozó alapszintű módszertannal.

Építőipar. Építési és bontási folyamatok egyaránt porkibocsátással járnak. Mondani sem kell, hogy ezt a fajta kibocsátást is sok tényező befolyásolhatja, például a

munkavégzés intenzitása, az alkalmazott munkafázisok, az építőanyagok összetétele, járműmozgás stb. Mi az alapszintű módszerre hagyatkoztunk, amely egyszerűen az épülő vagy bontásra kerülő épületek hasznos területén alapulna, de adatok híján még ennek az egyszerűnek tűnő módszernek az alkalmazásához is trükkökhöz kellett folyamodnunk (műholdas adatok, extrapoláció). Nem véletlen, hogy ezt a forrást nem is jelenti minden ország.

Illegális tevékenységek. A leltár teljességének követel-



6. ábra: PM-egyenértékben számított kibocsátások mennyiségének (kt) és részarányának (%) változása 2000–2013

ménye biztosítaná, hogy minden forrásból jelentünk kibocsátásokat, amennyiben a módszertani útmutató a számításokhoz elegendő információt tartalmaz. Ugyanakkor, amiről nem tudunk, arról ugye nem tudunk, vagyis gyakorlatilag elég nehéz bebizonyítani, hogy a leltár teljes (Pulles és Heslinga, 2010). Vegyük példának okáért a tarlóégetést, ami Magyarországon jogszabályban rögzített, szigorú feltételekhez kötött, gyakorlatilag tiltott tevékenység 1990-től, és ennek megfelelően is kezeljük a leltárban. De ha teljesen őszinték akarunk lenni, valószínűleg imitt-amott előfordul, erre utalnak műholdas adatokon alapuló nemzetközi szakértői becslések is.

Aggregálási lehetőségek. Nagyon szeretjük az üvegházhatású gázok leltárában, hogy a sokfajta üvegházhatású gáz kibocsátását akár egyetlen számmal is kifejezhetjük. Az összegzés alapja a gázok szén-dioxidhoz viszonyított globális melegítési potenciálja, 1 tonna metán például 25 tonna szén-dioxidnak felel meg. Hasonlóképpen, a savasodást okozó vegyületeket kén-dioxid hatásához mérik, de lehet összegezni az eutrofizációért vagy az ózonszintért felelős légszennyezőket is. Létezik formula az aeroszol-előanyagok aggregálására is, mi most azonban egy olyan összegzésre mutatunk példát, amely a különböző légszennyezők egészségi hatását veszi alapul és viszonyítja azt a PM_{2,5}-éhez.

A Nemzetközi Alkalmazott Rendszerelmzési Intézet (IIASA) számításai szerint európai átlagban 1 tonna PM_{2,5}-kibocsátás ugyanolyan mértékű korai halálozáshoz vezet, mint 3 tonna kén-dioxid, 15 tonna nitrogén-oxidok, 5 tonna ammónia vagy 111,1 tonna illékony szerves vegyület emissziója (Amann és Wagner, 2014). Vannak regionális különbségek, egyebek mellett az eltérő népsűrűség és a különböző meteorológiai viszonyok miatt, Magyarországon például általában kevesebb PM-előanyag is elég ugyanakkora hatáshoz. Átszámítva tehát a fentiek szerint a fő légszennyezők kibocsátását PM_{2,5}-egyenértékre, azt láthatjuk, hogy 2000 óta csaknem a harmadára csökkent az összesített emisszió, ugyanakkor egészségi hatását tekintve a PM_{2,5} és NH₃ kibocsátás jelentősége nőtt (6. ábra).

Ez a szám lesz a végső? Nagy valószínűséggel nem. A leltárkészítés módszertana fejlődik, és mi is azon vagyunk, hogy újabb adatok bevonásával egyre pontosítsuk a számításainkat, ami a visszamenőleges adatok korrekciójával jár. Ezért fontos, hogy a felhasználók mindig az elérhető legfrissebb adatsorokat használják! Terveink szerint 2017-ben már 0,1 fokos térbeli felbontásban állnak majd rendelkezésre a kibocsátási adatok.

Köszönetnyilvánítás. Köszönöm kollégáim, Kajtárné Lovas Katalin és Kőbányai Katalin segítségét.

Irodalom

- Amann, M. and Wagner, F., 2014: A Flexibility Mechanism for Complying with National Emission Ceilings for Air Pollutants. *TSAP Report #15*.
- Civin, V., 1998: Hagyományos erőművek környezeti hatásai. *Iskolakultúra* 1998 (9), 109-119.
- KTI (Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft.), 2014: A hazai közúti, vasúti, légi és vízi közlekedés emissziójának meghatározása 2013. évre. *Kézirat*.
- ECE (Economic Commission for Europe), 2014: Guidelines for Reporting Emissions and Projections Data under the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. *Manuscript*.
- EEA (European Environment Agency), 2013: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2013
- Pulles, T. and Heslinga, D., 2010: The Art of Emission Inventorying. *TNO Report*.
- Varga, J., 2015: A PM₁₀ szabályozása. *Légekör* 60, 136-139.

AMIT A PM₁₀ MÉRÉSEK MUTATNAK PM₁₀ MEASUREMENTS IN HUNGARY

Gyarmatiné Mészáros Erzsébet

OMSZ ÉLFO Levegőtisztaság-védelmi Referencia Központ, 1181 Budapest, Gilice tér 39., gyarmatine.e@met.hu

Összefoglalás. Magyarországon a PM₁₀ légköri koncentrációjának alakulását az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat (OLM) adatai alapján követhetjük nyomon. Az adatok 2004 óta állnak rendelkezésre, amelyek adatgazdája az Országos Meteorológiai Szolgálat Levegőtisztaság-védelmi Referencia Központjának OLM adatközpontja. A cikk bemutatja a hazai PM₁₀ mérést, ismerteti az alkalmazott mérési módszereket, valamint a mérési adatok időbeli és térbeli változékonyságát.

Abstract. We can describe the change of PM₁₀'s atmospheric concentration in Hungary using the data of Hungarian Air Quality Network (OLM). The data are available since 2004. The data owner is the data centre of Air Quality Reference Centre (LRK) of Hungarian Meteorological Service (OMSZ). The article shows the measurement of domestic PM₁₀ concentration, outlines the applied measurement methods and the temporal and spatial variability of the measured data.

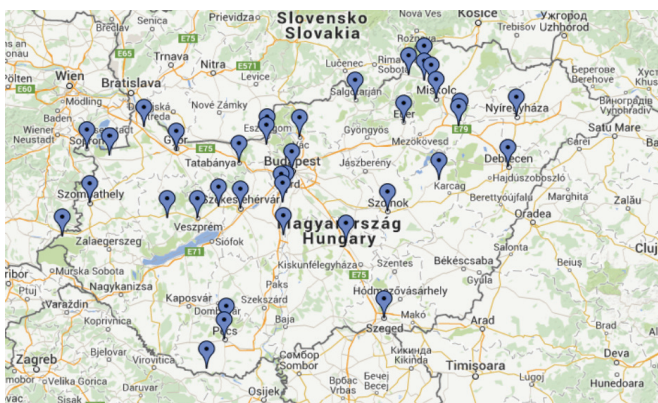
Mielőtt a PM₁₀ mérések eredményeiről beszélnénk, meg kell vizsgálnunk, mi alapján és mivel mérünk.

A 306/2010. (XII. 23.) Kormányrendelet a következőket írja elő: „9. § (1) Magyarország területén a levegőterheltségi szintet és a légszennyezettségi határértékek betartását az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat (a továbbiakban: OLM) vizsgálja.”

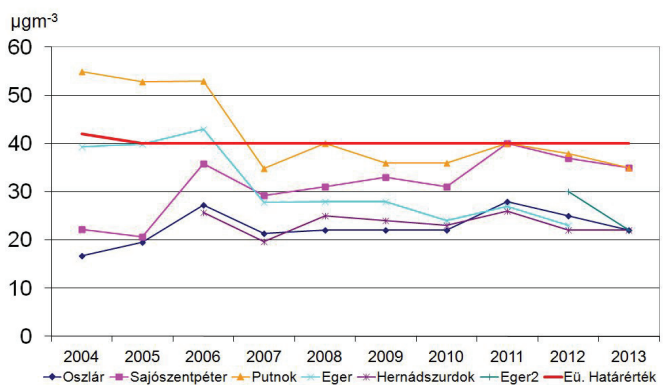
Jelenleg az OLM mérőállomásainak, mérőpontjainak üzemeltetését a Kormányhivatalok végzik. Az ott dolgozó környezetvédelmi szakemberek értékelik első szinten

zat szmogriadó tervével összhangban. Manapság sokfelől és sokféle félretájékoztatás hangzik el azzal kapcsolatban, hogy ezekben a helyzetekben ki riaszt és milyen adatok alapján, ezért érzem szükségesnek kiemelni a Kormányhivatalokban dolgozó kollégák munkájának fontosságát.

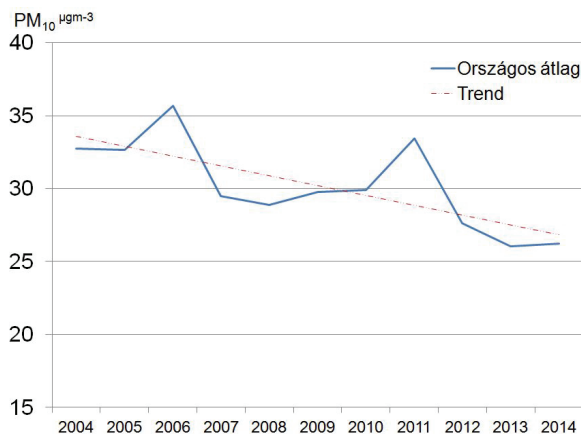
A lakosság egyre érzékenyebb a levegőterheltségi szintre, és érdeklődik iránta, ugyanakkor különböző források ezt gyakran pánikkeltésre használják. Ezért lényeges, hogy a túllépés tényét az OLM üzemeltetését végző, sok-



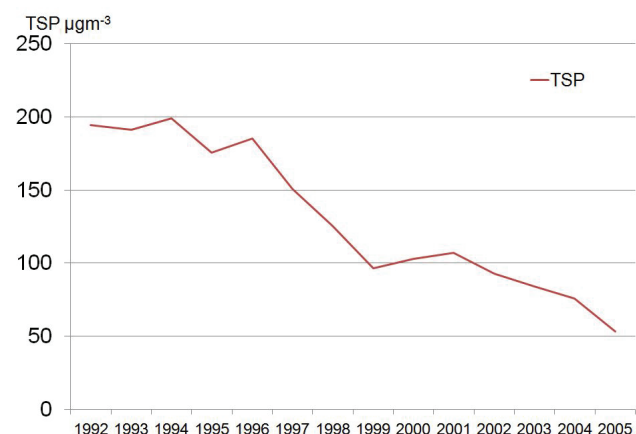
1. ábra: Automata PM₁₀ mérőpontok, forrás: levegominoseg.hu



2. ábra: PM₁₀ koncentráció alakulása az észak-magyarországi régióban 2004-2013 között



3. ábra: A PM10 országos átlagának időbeli változása (2004-2013)



4. ábra: TSP szennyezettség alakulása a kilencvenes évektől Magyarországon

az adatokat – és amennyiben valós tájékoztatási vagy riasztási küszöbérték átlépés történik – az ő feladatuk értesíteni az illetékeseket az önkormányzatoknál, hogy a szmogriadó elrendelése megindulhasson az önkormány-

zati tapasztalattal rendelkező szakemberek ítélik meg, hiszen az automata műszerek is meghibásodhatnak.

A PM₁₀ aeroszol mérésére hazánkban a két legelterjedtebb módszer az automata illetve a manuális módszer.

Automata módszer. A mérés jellemzője, hogy órás, két órás adatokat szolgáltat, ami lehetővé teszi nemcsak a napi határérték túllépésének a vizsgálatát, de a mérőhelyre jellemző napi trendre is rálátást biztosít.

A mérés során a levegőminta portartalmát üvegszál szűrőn fogják fel. A mérési módszer a por bétasugár abszorpcióját használja fel. Az anyagokban a bétasugárzás exponenciális függvény szerint gyengül. A mérési eredményt a tiszta és poros szűrő elnyelésének különbsége adja.

A most lezárt KEOP-6.3.0/2F/11-2012-0001 projekt keretében az OLM hálózatába több úgynevezett CPM egységgel felszerelt automata PM_{10} aeroszol mérő érkezett. A hozzáépített CPM egységnek köszönhetően a műszerek egyszerre képesek mérni a levegő PM_{10} , $PM_{2.5}$ és a PM_1 tartalmát. A CPM egység részecskeszámlálást végez, aminek eredményét a bétasugár abszorpciós méréssel összevetve képes a por különböző frakcióinak mennyiségét megadni.

Ennek működési elve: Minden egyes alkalommal, mikor egy részecske keresztülhalad a lézersugáron és a fény szóródik rajta, a fotóérzékelő méri a szórt fény intenzitását. A szórt fény független a részecske természetétől és arányos a részecske méretével.

Manuális módszer. A manuális – mintavételes módszer alkalmazásakor nagy térfogatú mintavétel – a 10 mikrométernél kisebb frakciót – szűrőpapíron fogják fel, majd a laboratóriumban mérlegeléssel határozzák meg az aeroszol mennyiségét. A szűrőpapírok előkészítése a mérésre kondicionálással kezdődik, melynek során egyenletes nedvességtartalmú és hőmérsékletű körülmények között tartják azokat, majd az üres szűrőpapír a mérlegelést követően kerül a mintavevőbe. A levett minta kezelése hasonló. A helyszínről a laboratóriumba szállítás után újabb kondicionálást követően kerül sor a mérlegelésre a levett por tömegének meghatározásához. A módszer napi átlagértékeket produkál, így ez is összehasonlítható a PM_{10} határértékével.

A manuális mintavétel folyamatos emberi jelenlétet igényel, hiszen a levett mintákat a laboratóriumba kell szállítani, ott mérni, és a mintavevőkben a szűrőpapírokat rendszeresen cserélni.

Az automata mérés nagy előnye, hogy emberi beavatkozás nélkül is azonnal koncentráció értékeket kapunk eredményül, amelyek akár weboldalakon azonnal megjeleníthetők, hátránya viszont hogy a pormérő által gyűjtött porból további elemzések nem végezhetőek.

A manuális módszer során levett pormintából elemezhető például az aeroszol nehézfém tartalma, illetve a poliaromás szénhidrogén tartalma. Az 1. ábrán az automata PM_{10} mérőpontok vannak feltüntetve.

Mind a manuális mind az automata hálózat adataiból készül értékelés, amiben a tárgyévvel megelőző év adatait dolgozzuk fel. Az értékelésben az adatokat – természetesen nemcsak az aeroszol, hanem a többi főbb szennyező adatait is – statisztikailag feldolgozzuk, az egyszerűbb áttekinthetőség érdekében légszennyezettségi index szerint

is besoroljuk az adott mérőállomás szennyezettségét. Ezt térképen is megjelenítjük.

A 2. ábrán a PM_{10} hosszútávú trendjét mutatjuk be az észak-magyarországi régió állomásainak adatai alapján. Látható, hogyha mérőpontonként vizsgáljuk a trendeket, egyértelműen sem növekedésről, sem csökkenésről nem beszélhetünk, az városfüggő. Ellenben ha az összes PM_{10} adatot egyetlen grafikonon nézzük, egyértelművé válik, hogy hazánkat a kétezres évek elejétől csökkenő szennyezettség jellemzi. (3. ábra).

2002 után nőtt meg az automata mérőállomások száma. Ugyanakkor ez előtt a dátum előtt is volt aeroszol mérés Magyarországon, csak akkor még nem a PM_{10} frakciót mértük. Akkoriban a TSP (Total Suspended Particles) azaz összes szálló por mérését írták elő a jogszabályokban.

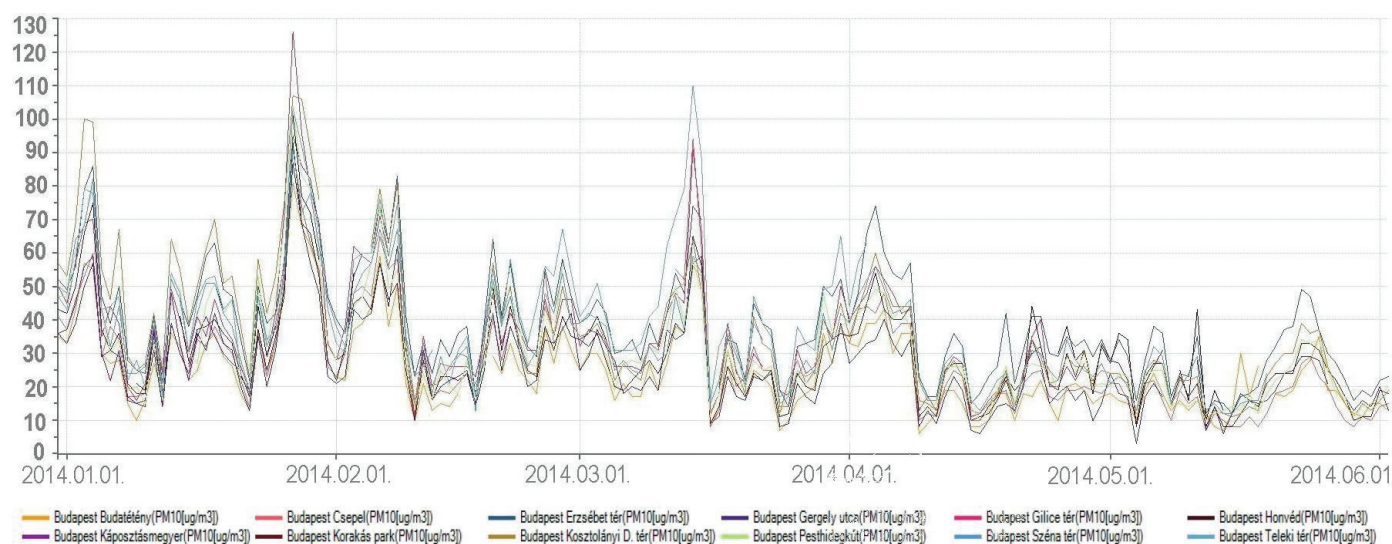
Az ábrán a TSP értékek évi átlaga látható 1992-től 2005-ig. A csökkenő trend már a kétezres évek előtt jellemző volt.

Ha kicsit részletesebben vizsgáljuk, például a budapesti adatokat, akkor látható, hogy az állomások adatai nagyon jól együtt futnak, természetesen vannak eltérések, mégis az azonos trend egyértelműen felismerhető (5. ábra).

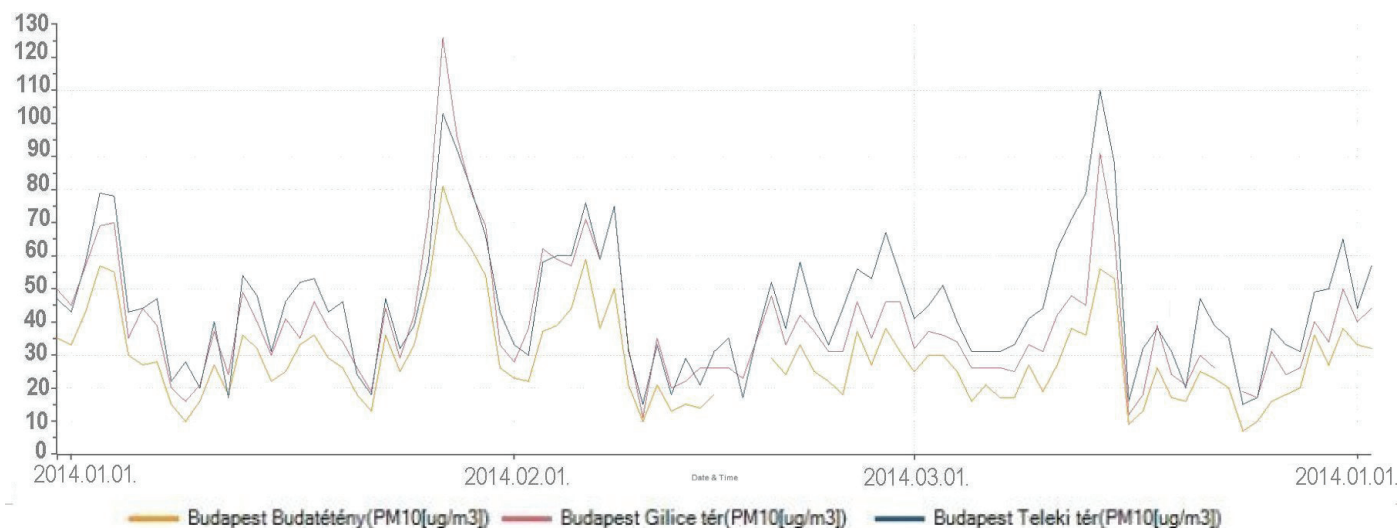
A 6. ábrán három budapesti állomás, 2 városi háttér- (Budapest, Gilice tér és Budapest Budatétény) és egy közlekedési állomás (Budapest, Teleki) adatai látszanak. Látható, hogy a Gilice tér és a Teleki tér esetében milyen közel futnak egymáshoz, míg a Budatétény állomáson a mért értékek általában alacsonyabbak. Elméletben a Gilice téri állomás adatainak a budatétényihez kellene közelebb lennie. A Gilice tér környezetében azonban jellemző a lakossági egyedi fűtés. Ez annyiival megnöveli az itt mért átlagértékeket, hogy a szennyezettségi szint majdnem eléri a Teleki téren mértet.

A szennyezettség együttlátását lehet magyarázni azzal, hogy az állomások földrajzilag közel helyezkednek el egymáshoz. Ugyanakkor az országban található összes állomás adatait ábrázoló grafikonon ugyanúgy fel lehet ezt fedezni. Természetesen itt nagyobb a változékonyság, jobban kiugranak a csúcsok. Január végén, február elején látható, hogy pár állomáson felszökik a koncentráció. Ez a feltűnő kiugrás a debreceni régióban történt az év elején. Ez a fajta szennyeződés-feldúsulás szinte kivétel nélkül szoros összefüggést mutat az időjárással. A szennyeződés feldúsulás gyakran előfordul még a Sajó völgyében is, ott a terület földrajzi, meteorológiai adottságai okozzák ezt.

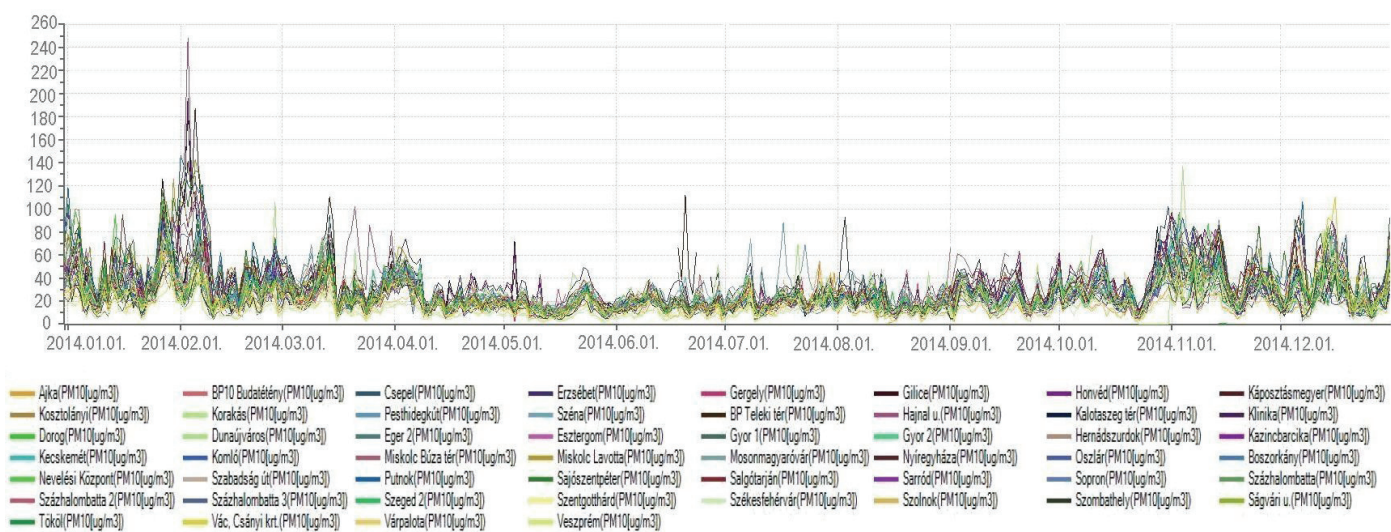
Úgy gondolom, hogy a 6. és 7. ábrán látható grafikonok is alátámasztják, hogy mennyire jelentős szerepe van hazánk aeroszol szennyezettségében a szomszédos országokból az ideérkező légtömegek által szállított aeroszolnak. Természetesen ez nem azt jelenti, hogy fel kellene adni a próbálkozást, hogy minél jelentősebb mértékben csökkentjük saját kibocsátásainkat. Hiszen kedvezőtlen időjárás esetén az országba beérkező szennyezettség adja az alapot, de a helyi kibocsátások azok, amik – amikor a légköri keveredést például egy inverziós állapot megakadályozza – oly szinten ronthatnak a levegőminőségen, hogy szmogriadó elrendelése válik szükségessé.



5. ábra: Budapest mérőállomásain mért PM_{10} szennyezettség



6. ábra: Két városi háttér (Budapest, Gilice tér és Budapest Budatétény) és egy közlekedési állomás (Budapest, Teleki tér) PM_{10} mérési adatai (órás átlag)



7. ábra: Országosan mért PM_{10} napi átlag értékek

A LÉGKÖRI VÍZTARTALOM SZEREPE A PM₁₀ TÖMEGKONCENTRÁCIÓ MEGHATÁROZÁSÁBAN

POSITIVE BIAS CAUSED BY RESIDUAL WATER IN REFERENCE PM₁₀ MEASUREMENTS

Imre Kornélia, Molnár Ágnes

MTA-PE Levegőkémiai Kutatócsoport, 8200 Veszprém, Egyetem út 10., kornelia@almos.uni-pannon.hu

Összefoglalás. A légköri víztartalom szerepének vizsgálatát az Országos Meteorológiai Szolgálat Marczell György Főobszervatóriumának területén található háttér mérőállomáson gyűjtött aeroszol mintákon vizsgáltuk. A mintavétel 2008. november és 2010. március között történt, a vizsgálatok során 132 db téli és 22 db nyári mintát elemeztünk. A PM₁₀ frakció tömegkoncentrációjának meghatározása az akkor érvényben lévő EN12341 szabványban rögzített kondicionálási feltételek (RH=50±5% és t=20±2 °C, 48 óra) mellett egy izolált boxban történt. Kísérleteink során t=20±2 °C és RH<30% körülmények között is végeztünk méréseket. Vizsgálataink során kimutattuk, hogy a szabványban rögzített feltételek nem elegendőek az aeroszol részecskék száraz tömegkoncentrációjának meghatározására. Az aeroszol részecskék víztartalma a szabványban rögzített feltételek mellett 0,05-16,9 µg m⁻³ között változott. A mért víztartalom a nyári minták esetében átlagosan 4,2±1,5% (maximum 12,3%), míg a téli minták esetében átlagosan 7,9±0,8%-nyi hibát okoz a tömegkoncentráció meghatározásában. A téli időszakban a hozzájárulás maximum értéke elérte a 33,2%-ot.

Abstract. Dry aerosol mass concentrations (PM₁₀) are determined after conditioning of the filter at t=20±1 °C and RH=50±5% for 48 hours according to the standard protocol EN 12341. The main result of this work is that applying the standard preconditioning step complete removal of adsorbed water cannot be attained. In our experiment aerosol samples collected in Budapest between November 2008 and March 2010 using a gravimetric sampler (Digitel, DHA-80) were studied. Following PM₁₀ mass concentration measurements according to the EN 12341 protocol we repeated the gravimetric aerosol mass measurements in the laboratory using a glove box after in-situ pre-conditioning for 48 h at t=20±1 °C and RH<30%. The mass concentration of adsorbed residual water, defined as the difference between the results of the standard and dry PM₁₀ measurements, varied greatly in the range of 0.05-16.9 µg m⁻³. Expressed relative to the absolute dry PM₁₀ mass concentrations the residual water content in the standard measurement procedure amounted to 4.2±1.5% and 7.9±0.8% in summer and winter, respectively. In winter, relative contributions of adsorbed water as high as 33.2 m/m% was found.

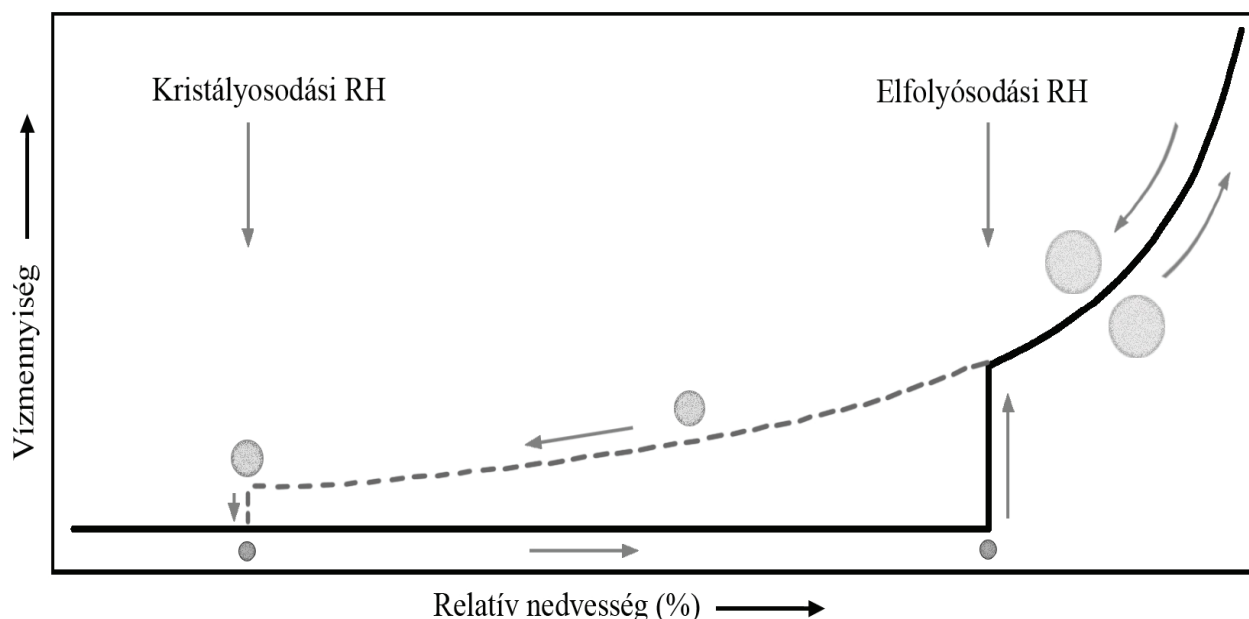
Bevezetés. Az elmúlt évtizedek alatt Magyarországon és a legtöbb európai országban jelentősen csökkent számos légszennyező anyag, pl. a kén-dioxid kibocsátása és koncentrációja. A levegő minőségének általános javulása ellenére azonban, különösen a téli hónapokban fellépő szmoghelyzetek gyakori előfordulása továbbra is súlyos problémákat okoz számos európai nagyvárosban. Ennek oka az, hogy a levegő minősége és az időjárás alakulása szorosan összefügg egymással, kedvezőtlen meteorológiai helyzetek gyakran szmog kialakulását és tartós fennmaradását idézhetik elő. E légszennyeződési epizódok manapság már leginkább a PM₁₀ (10 mikrométernél kisebb aeroszol részecskék) tömegkoncentrációjának jelentős megnövekedésében nyilvánulnak meg, amely közvetlenül és közvetve lényeges hatással van életünkre, egészségünkre. Az egyes részecskék tömegét és ezen keresztül a PM₁₀ koncentrációt természetesen az aeroszol részecskékben előforduló anyagok, vegyületek határozzák meg.

Kevésbé közzismert ugyanakkor, hogy a részecskéket alkotó vegyületek jelentős része ún. higroszkópos tulajdonságú, azaz a légkörből vizet képes megkötni. Ezáltal a légkörben található víz fontos, ámde nagyon gyakran figyelmen kívül hagyott alkotója az aeroszol részecskéknek.

A légkörben található mintegy 12 900 km³ víz 90%-a a felszíni vizekből, míg a maradék 10% a növényzetből kerül ki. Elsőre soknak tűnik, de ez a mennyiség a Föld

vízkészletének csupán 0,0001%-a (Gleick, 1996). A Föld légkörében található víz nagyon fontos szerepet játszik a légköri folyamatokban. Vízgőz állapotában széles hullámhossztartományban nyeli el az infravörös sugárzást, ezzel befolyásolva a Föld-légkör sugárzásegyenlegét. Az aeroszol részecskék és a vízgőz közötti kapcsolat alapvető levegőkémiai folyamatokban játszik szerepet. Folyékony halmazállapotában az aeroszol részecskék kimosódásában tölt be fontos szerepet, mindemellett reakcióközépként szolgál a többfázisú reakciókhoz is (pl. másodlagos aeroszol képződés). Vízre vonatkoztatott túltelített rendszerben (relatív nedvesség (RH) ≥100%) az aeroszol részecskék jelentős hányada felhőkondenzációs magként részt vesz a felhőképződési folyamatokban. Ugyanakkor, az aeroszol részecskék már a túltelítettségi állapot elérése előtt (RH<100%) is képesek a légköri víz felvételére, és jelentős mértékben képesek méretüket, valamint tömegüket megnövelni, ami pl. a látótávolság csökkenésében nyilvánul meg.

A higroszkópos viselkedés. A környező levegő relatív nedvességének növekedése során a részecskék viselkedését két csoportba sorolhatjuk. A legtöbb szerves sót és egyes szerves savakat (pl. oxálsav) tartalmazó részecskék mindaddig szilárdak maradnak, és méretük nem változik, amíg a relatív nedvesség eléri a részecske összetételére jellemző kritikus túltelítési RH (elfolyósodási RH) érté-



1. ábra: Az aeroszol részecskék higroszkópos viselkedése.

ket. Abban a pillanatban, amikor a relatív nedvesség eléri ezt az elfolyósodási relatív nedvességet, akkor az aeroszol részecske tömegében hirtelen, ugrásszerű változás következik be, a részecske szilárd fázisból oldatcseppé alakul (1. ábra). A relatív nedvesség további növekedése az oldatcsepp további növekedését eredményezi.

Más higroszkópos tulajdonságú vegyületek, pl. a szervesetlen savak, nem rendelkeznek a fent említett DRH értékkel, az RH növekedésével méretük folyamatosan növekszik.

1. táblázat: A PM_{10} -re vonatkozó határértékek

	Egészségügyi határérték	Tájékoztatási határérték	Riasztási küszöbérték
	[μgm^{-3}]		
PM_{10}	50	75*	100**

* két egymást követő napon

** két egymást követő napon és az OMSZ szerint a következő napon javulás nem várható

Ha az aeroszol részecske már oldatcseppé alakult, akkor a csökkenő relatív nedvesség mellett egy instabil, túltelített állapot jön létre, ennek következtében az újrakristályosodás folyamata nem azonos úton fog bekövetkezni, mint az elfolyósodás. A kristályos szerkezet kialakulása egy jóval alacsonyabb relatív nedvesség értéken (kristályosodási relatív nedvesség) fog bekövetkezni! A csökkenő és a növekvő relatív nedvesség ág csak a kristályosodási RH érték alatt, illetve az elfolyósodási RH érték felett lesz azonos. Ezt a jelenséget nevezzük histerézisnek.

Például a légkör egyik leggyakoribb alkotója az ammónium-szulfát 80%-os RH értéken lesz oldatcsepp, de az újrakristályosodása csak 32,7%-on következik be (Onasch et al., 1999). A csökkenő relatív nedvesség ágon az elfolyósodás és a kristályosodás között a cseppek ún. metastabil állapotban vannak. Ilyenkor nemcsak az oldat koncentrációja, hanem a részecskék kémiai összetétele is megváltozhat, pl. az ammónium-szulfát esetében a növekvő RH ágon mindvégig tiszta ammónium-szulfátként fordul elő, a csökkenő ágon azonban, az ammónia mennyiségétől függően a kristályosodás során ammónium-hidrogén-szulfát (NH_4HSO_4) és letovicit ($(\text{NH}_4)_3\text{H}(\text{SO}_4)_2$) is keletkezhet (Wang et al., 2008). A különböző forrásokból származó és eltérő kémiai összetételű aeroszol részecskék más-más módon reagálnak a légkör változó relatív nedvességére. Elsősorban a szervesetlen összetevők rendelkeznek jelentős higroszkópos tulajdonsággal, az aeroszol részecskék szerves hányadának higroszkópos viselkedésre gyakorolt hatásáról megoszlik a vélemény. Ezek a komponensek két módon befolyásolhatják a higroszkópos viselkedést: a vízzel oldhatókat növelik a vízben oldott ionok számát (ezt az ún. Raoult-törvényt írja le³), felületaktív vegyületek ugyanakkor csökkentik a felületi feszültséget (amely az ún. Kelvin-hatásban⁴ nyilvánul meg).

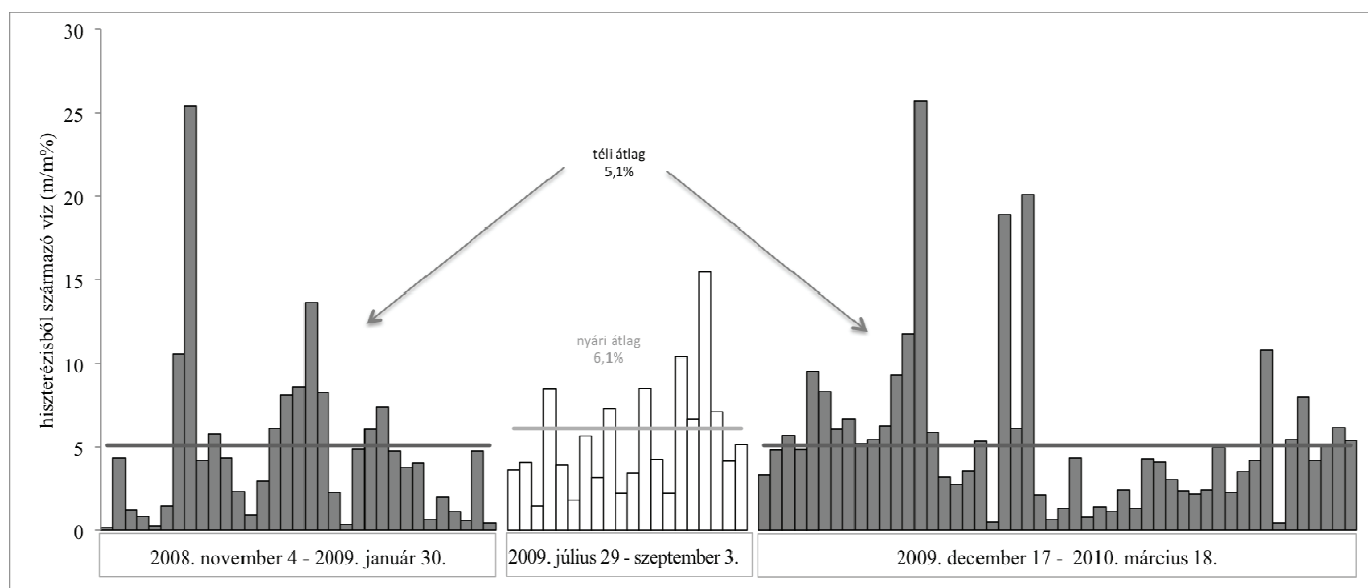
Az aeroszol részecskék tömegkoncentrációjának meghatározásakor gyakran ellentmondás figyelhető meg a kémiai összetételből származtatott (a részecskékben kimutatott alkotók koncentrációjának az összege), illetve a gravimetriás mérések alapján meghatározott tömeg között. Az eltérést a nem azonosított tömeg okozza, amely-

³ A Raoult-törvény kimondja, hogy a komponensek gőznyomása arányos a folyadékfázisbeli móltörttel.

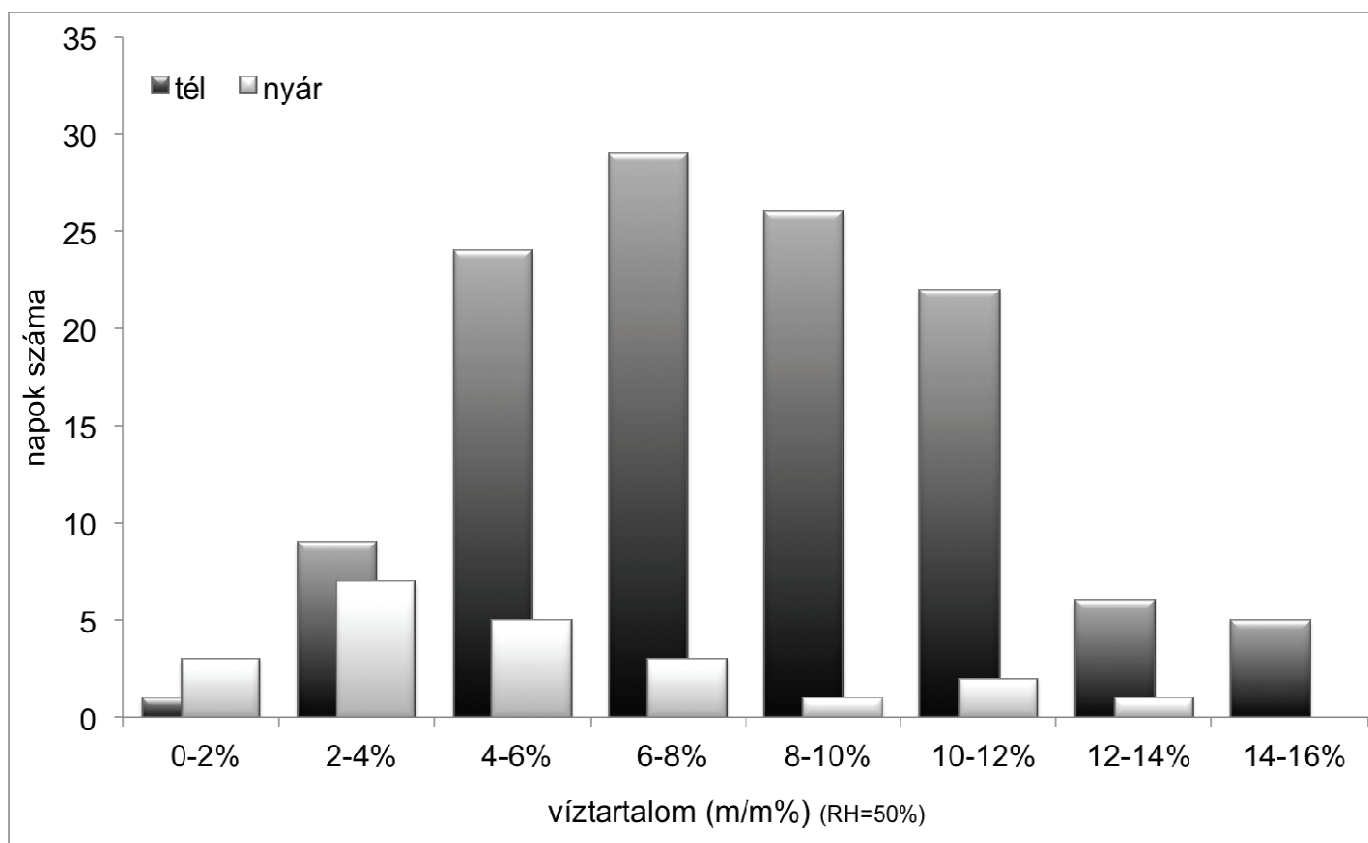
⁴ Kelvin törvénye szerint a domború felület felett nagyobb, homorú felett kisebb az egyensúlyi (telített) gőznyomás, mint a megfelelő sík felület felett levő.

nek jelentős részét a részecskékben megtalálható (pl. a hiszterézis során visszatartott) víz adja. Kajino és munkatársai 2006-ban kimutatták, hogy téli időszakból származó $PM_{2.5}$ (2,5 mikrométernél kisebb aeroszol részecskék) tömegkoncentrációjának mintegy 10%-a víz, és a már

rel történik, melynek referencia módszere a gravimetriás tömegmérés. Magyarországon a jelenleg érvényben lévő PM_{10} tömegkoncentrációra vonatkozó 24 órás határérték $50 \mu g m^{-3}$, az éves határérték $40 \mu g m^{-3}$. A 24 órás határérték a naptári év alatt 35-nél többször nem léphető túl.



2. ábra: Az aeroszol minták hiszteréziséből származó víz mennyisége az egyes vizsgált napokon.



3. ábra: Az aeroszol részecskék $RH=50\%$ -on meghatározott víztartalmának gyakorisága a téli és nyári időszakban.

említett ammónium-szulfát az 50%-os RH értéken még 30% (m/m) víztartalommal rendelkezik a hiszterézis következtében!

Európában a jelenleg hatályos szabályok értelmében a PM_{10} tömegkoncentráció meghatározása online módszer-

A gravimetriás tömeg-meghatározás az eddigi szabályozás értelmében (EN 12341), jól definiált körülmények között ($RH=50\pm5\%$ és $t=20\pm2\text{ }^{\circ}C$), 48 órás kondicionálás után történik. A 2014-ben kiadott szabványmódosításban (12341:2014) a mérési körülmények $t=20\pm1\text{ }^{\circ}C$ és

RH=45-50% értékekre változtak. A bevezetőben bemutatott példák alapján azonban megállapítható, hogy még a módosított körülmények sem feltétlen biztosítják, hogy az aeroszol részecskék PM₁₀ hányadának tömegkoncentrációja a valódi száraz tömeget reprezentálja.

Módszer. Vizsgálatainkat az OMSZ Marczell György Főobszervatórium területéről származó városi háttér aeroszol mintákkal végeztük. A mintavétel 2008. november és 2010. március között történt, 132 db téli, valamint 22 darab nyári mintát elemeztünk. A mintákat, kvarcszűrőre (Munktel MG 160, d=150 mm) gyűjtöttük 24 órán keresztül egy Digitel DHA-80 típusú nagyterfogató (30 m³h⁻¹) mintavevő segítségével. Mintavétel előtt és után a kvarcszűrőket a szabványnak megfelelően egy izolált kamrában (amelyben az RH állandó értéken tartható) kondicionáltuk majd nagy pontosságú mérleggel (Sartorius, BP 211 D) meghatároztuk a tömegüket.

Elsőként a hiszterézis vizsgálatokat végeztük el, amikor is az izolált kamrában RH=50%-ról megnöveltük a RH értéket (>80%) majd 48 óra elteltével megmértük a szűrők tömegét. Ezt követően újra visszacsökkentettük a RH értékét 50%-ra és újabb 48 óra múlva újra mértük a tömeget. Ezáltal meghatároztuk a hiszterézis miatt (80%-ról 50%-ra csökkent RH) bekövetkező tömegváltozást.

Ezt követően az aeroszol részecskék száraz tömegének meghatározásához szükséges méréseket végeztük el. Ehhez az izolált kamrában RH=50%-ról RH<30% alá csökkentettük a relatív nedvesség értékét, majd 48 óra elteltével mértük a bekövetkező tömegcsökkenést.

Eredmények. A vizsgált időszakban a PM₁₀ tömegkoncentrációja a nyári időszakban 17,3-48 µgm⁻³ között változott, átlagosan 27 µgm⁻³-nek adódott. A téli időszakban a PM₁₀ tömegkoncentráció 5,9-166 µgm⁻³ közötti tartományban mozgott, átlagos értéke 47,2 µgm⁻³. A vizsgálat alatt a nyári időszakban a PM₁₀ tömegkoncentrációja nem haladta meg az egészségügyi határértéket sem. Ezzel szemben a téli időszakban 34 napon volt 50 µgm⁻³, 14 napon 75 µgm⁻³, és további 5 napon volt 100 µgm⁻³ felett a PM₁₀ koncentrációja.

A hiszterézis vizsgálatok eredményei alapján megállapítottuk, hogy télen és nyáron az aeroszol minták hiszterézise között jelentős különbség nem figyelhető meg. Mindkét évszakban átlagosan 5,1-6,1% tömegnövekedést okoz a jelenség a részecskék higroszkópos tulajdonságának köszönhetően. Annak ellenére, hogy az aeroszol részecskék hiszterézise széles tartományban változott a vizsgált időszak alatt, szoros összefüggés nem

volt megfigyelhető a hiszterézis mértéke és a környezeti RH között (2. ábra).

Az aeroszol részecskék száraz tömegének meghatározásakor, az RH=50%-ról történő további szárítás hatására (RH<30%) a minták tömegében további csökkenés volt megfigyelhető. Az eredmények a hiszterézis vizsgálatoknál markánsabb évszakos eltérést mutatnak. A 3. ábrán megfigyelhetjük, hogy a téli minták esetében főként a 4-12%-os víztöbblet a jellemző, míg a nyári minták esetében inkább csak 2-6% közötti az aeroszol részecskék víztartalma. A téli időszakra RH=50%-on a víztartalom átlagosan 9,1±0,8%, míg a nyári mintákra ez az érték 5,2±1,5%-nak adódott.

A fenti eredmények figyelembevételével, az általunk meghatározott víztartalommal korrigálva becsülhetjük a téli időszak száraz PM₁₀ tömegkoncentrációját. Ezek alapján a fentiekben említett egészségügyi, tájékoztatási és riasztási határértéket meghaladó napok száma csökkent. A vizsgált 132 nap esetében a napi átlagos PM₁₀ koncentráció 34 helyett 25 napon haladta meg 50 µgm⁻³-t (ez 6,8%-os csökkenés), 14 nap helyett 7 napon 75 µgm⁻³ és 5 nap helyett 2 napon volt 75 és 100 µgm⁻³-nél nagyobb a PM₁₀ koncentrációja (rendre 5,3%-os és 1,5%-os csökkenés). Úgy véljük, hogy a „ténylegesen” száraz (RH<30%-on meghatározott) PM₁₀ tömegkoncentráció figyelembevétele valósabb képet festene a levegőminőség állapotáról (szmoghelyzetek megítéléséről), és fontos szerepe lehetne az Európai Unió környezetvédelmi előírásainak betartásában, teljesítésében is.

Köszönetnyilvánítás. A publikáció a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0064 számú „Az éghajlatváltozásból eredő időjárási szélsőségek regionális hatásai és a kárnyerítés lehetőségei a következő évtizedekben” című projekt keretében készült. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. A kutatómunkát az OTKA K113059 pályázat támogatta.

Irodalom

- Gleick, P. H., 1996: Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather, (ed. Schneider, S. H.) Oxford University Press, New York, vol. 2, 817–823.
- Onasch, T. B., Siefert, R. L., Brooks, S. D., Prenni, A., Murray, B., Wilson, M., and Tolbert, M. A., 1999: Infrared spectroscopic study of the deliquescence and efflorescence of ammonium sulfate aerosol as a function of temperature. *Journal of Geophysical Research* 104, 21317–21326.
- Wang, J., Hoffmann A. A., Park R. J., Jacob D. J. and Martin S. T., 2008: Global distribution of solid and aqueous sulfate aerosols: Effect of the hysteresis of particle phase transitions. *Journal of Geophysical Research* 113, 11206–11225.

A PM₁₀ SZABÁLYOZÁSA REGULATION OF PM₁₀

Varga Judit

Földművelésügyi Minisztérium, 1055 Budapest Kossuth Lajos tér 11., judit.varga@fm.gov.hu

Összefoglalás. A tanulmány áttekintést ad a kültéri levegőben található kisméretű részecske, PM₁₀ szennyezés és szennyezettség szabályozásának nemzetközi, EU közösségi és nemzeti aspektusairól is. Rámutat a stratégiai célokra, lehetséges intézkedésekre és végrehajtásuk problémáira. A hazai szennyezettség ismertetése mellett a csökkentést célzó intézkedések is bemutatásra kerülnek.

Abstract. This paper gives an overview on international, EU level, and national scale aspects of PM₁₀ pollution in ambient air. The strategic goals, possible measures and problems regarding their implementation of regulation are shown. The PM₁₀ pollution situation in Hungary, as well as measures aiming its improvement are also presented.

Nemzetközi vonatkozások. Korán felismerték, hogy a légszennyezés nem ismer határokat, küzdeni ellene csak nemzetközi összefogással lehet. Így nem véletlen, hogy az első jelentős nemzetközi környezetvédelmi egyezmény az 1979-ben született, **Nagy Távolságra Jutó, Országhatárokon Átterjedő Légszennyezésről szóló Genfi Egyezmény**. Jelenleg 51 Részes Fele van az ENSZ EGB területén, köztük a kezdetektől hazánk is.

Napjainkig tartó rendkívüli jelentőségét komoly tudományos háttére adja, melyre épülve hatékony, korszerű szabályozás alakítható ki. A különböző munkacsoportjaiban, nemzetközi együttműködési programjaiban részt vevő kutatóintézetek, egyetemek garantálják a legfrissebb tudományos ismeretek felhasználását.

Az Egyezmény Jegyzőkönyvekbe foglalta a kötelezettségeket. Ezek közül kisebb mértékben az 1998-as **Aarhusi Nehézfém Jegyzőkönyv**, átfogóbban pedig az 1999-ben elfogadott, a savasodás, az eutrofizáció és a talajközeli ózonszennyezettség csökkentéséről szóló **Göteborgi Jegyzőkönyv** releváns a PM szennyezés szempontjából. Az utóbbi években mindkét jegyzőkönyv felülvizsgálatra és módosításra került, bár ezek ratifikálása még nem történt meg.

A Göteborgi Jegyzőkönyv (GP) az általános előírásokon és jelentésadási kötelezettségeken kívül a különböző kibocsátási forrásokra vonatkozó korlátozásokat is előír. A technológiai kibocsátási előírások kiterjednek a mozgó forrásokra, valamint a helyhez kötött források közül mind a különböző (50 MW_{th}-nál nagyobb, illetve kisebb háztartási és egyéb) tüzelőberendezésekre, ásványi olaj és gáz finomítókra, cement- és mészgyártásra, fémgyártásra és -feldolgozásra, üveg- és papírgyártásra, hulladékégetésre és titán-dioxid gyártásra is.

Egyik legérdekesebb szabályozási eszköze a nemzeti kibocsátási küszöbök bevezetése. Az először a 2010. évre meghatározott küszöbök négy légszennyező anyag (kén-dioxid, nitrogén-oxidok, ammónia és illékony szerves vegyületek) esetén rögzítették azt a maximális értéket, melyre vonatkozóan a Részes Felek vállalták, hogy 2010-ben és az azt követő években kevesebb lesz országos összes légszennyezőanyag kibocsátásuk (3. táblázat).

A 2012-ben módosított GP már tartalmazza a 2020. évre vonatkozó küszöböket is (igaz, a 2005. évi kibocsátáshoz mért százalékos csökkentési kötelezettségként, biztosítva ezzel a kibocsátási leltárok megfelelő fejlesztését). A szabályozott anyagok közé ötödikként bekerült a PM_{2,5} is, és külön hangsúlyt, prioritást kapott a korom kibocsátások csökkentése, felismerve annak kiemelkedő egészségkárosító hatását.

A levegőtisztaság-védelem közösségi szabályozása. Az Európai Unió környezetvédelmi akcióprogramjaiban rögzíti levegőtisztaság-védelmi céljait is. A Környezetvédelmi 6. Akcióprogram (2002–2012) nevesíti a következő célt:

Olyan szintű levegőminőség elérése, amely az emberi egészségre és a környezetre nézve nem jelent számottevő ártalmat és kockázatot.

Ennek elérését elősegítendő született meg a Légszennyezésről szóló Tematikus Stratégia (2005), és indult útjára a Tiszta Levegőt Európának (*Clean Air for Europe - CAFE*) Program. Mivel minden erőfeszítés ellenére sem sikerült e célt elérni, az szerepel a most hatályos, 7. Környezetvédelmi Akcióprogramban (2013-2020) is.

A levegőtisztaság-védelem szabályozásának alapvetően két oldala van: az egyik a levegőben található szennyezettségre, a másik a légszennyező anyagok kibocsátásának korlátozására vonatkozik.

Levegőminőségi szabályozás. Az Európai Parlament és a Tanács **2008/50/EK** irányelve (2008. május 21.) a környezeti levegő minőségéről és a Tisztább Levegőt Európának elnevezésű programról, valamint **2004/107/EK** irányelve (2004. december 15.) a környezeti levegőben található arzénról, kadmiumról, higanyról, nikkelről és policiklusos aromás szénhidrogénekről szolgálja az első célkitűzést. Ez rögzíti a mérési és értékelési követelményeket, a mérőhálózatok kialakításának és működtetésének szabályait, az egészségügyi és ökológiai cél-, küszöb- és határértékeket, jelentésadási kötelezettségeket, a levegőminőségi programok és a szmogszabályozás megalkotásának követelményeit.

1. táblázat: A PM₁₀ és PM_{2,5} egészségügyi határértékei

PM ₁₀		PM _{2,5}
éves	40 μgm ⁻³	éves 25 μgm ³
napi	50 μgm ⁻³	
napközi legfeljebb 35 alkalommal túlléphető		
Hatályos 2005. január 1. óta		Hatályos 2015. január 1. óta

2. táblázat: A PM_{2,5} szennyezettség szabályozási elemei

PM _{2,5} átlagexpozíció-mutató
két (2009 és 2010) vagy három (2008, 2009, 2010 vagy 2009, 2010, 2011) naptári évre vonatkozó éves mozgó átlag, városi háttér állomásokon mérve
Nemzeti expozíciócsökkentési cél, 0 - 20%
vonatkoztatási időszak: 2018, 2019, 2020 mozgó átlaga
Expozíciókoncentrációra vonatkozó kötelezettség 20 μgm ⁻³ , teljesítési év: 2015

A PM-re vonatkozó egészségügyi határértékeket az 1. táblázat foglalja össze. A PM_{2,5} szennyezettségre bevezetett komplexebb szabályozási elemeket a 2. táblázat tartalmazza. Láthatóan a figyelem ez esetben az általános terhelés helyett a városi háttérű mérésekre fókuszál.

Kibocsátások korlátozása. A légszennyező anyagok kibocsátásait korlátozó legkomplexebb eszköz az Európai Parlament és a Tanács ipari kibocsátásokról szóló **2010/75/EU** irányelve (2010. december 17.), mely a környezetszennyezés integrált megelőzéséről és csökkentéséről szóló 96/61/EK irányelv mellett további hat, a környezetre jelentős hatást gyakorló ipari tevékenységet szabályozó ágazati irányelvet foglal egyetlen irányelvbe. PM kibocsátás szempontjából a nagy tüzelőberendezések, a hulladék-égető vagy hulladék-együttégető művek szabályozása kiemelendő.

Elfogadásra került, jelenleg kihirdetés előtt áll egy **új irányelv** a közepes méretű (1-50 MW_{th}) tüzelőberendezések (kazánok, dízel, gáz, vegyes) motorok, gázturbinák) légszennyezőanyag (SO₂, NO_x és PM) kibocsátásának korlátozása, mellyel legalább 20% kibocsátás-csökkentés érhető majd el.

A háztartási tüzelőberendezések vonatkozásában az Európai Parlament és a Tanács **2009/125/EK** irányelve (2009. október 21.) az energiával kapcsolatos termékek környezetbarát tervezésére vonatkozó követelmények megállapítási kereteinek létrehozásáról szóló ún. **Ökodizájn** irányelv, korlátozást ír elő a szilárd tüzelőanyaggal működő berendezések kibocsátására.

A kibocsátások további szabályozása integrálásra került egyéb területekre (közlekedés, mezőgazdaság).

A közösségi szabályozás is bevezette a GP speciális eszközét, melyet az Európai Parlament és a Tanács **2001/81/EK** irányelve (2001. október 23.) a légköri szennyezők nemzeti kibocsátási határértékeiről szóló, ún. **NEC irányelv** határoz meg (3. táblázat). Az irányelv most folyó módosítása jelentős vitákat generál, különösen a 2030-ra javasolt, rendkívül ambiciózus csökkentési kötelezettségek tekintetében.

Gondok. Az eddig bemutatott szabályozási intézkedések végrehajtása nem hozta meg a kívánt eredményt. Európa

jelentős részén 5 évvel a szabályozás hatálybalépését követően, 2010-ben is történt napi PM₁₀ határérték túllépés (1. ábra), és jelenleg is kötelezettség-szegési eljárás alatt áll a tagállamok több mint fele (17 tagállammal szemben folyik eljárás a PM₁₀ határértékek túllépése miatt). A bevezetett levegőminőségi határértékek betartásának időbeli eltolására vonatkozó mentességek nem vezettek valódi eredményre sok esetben. Európa-szerte okoz egyre jelentősebb

problémát a lakossági szilárd tüzelés növekvő légszennyezése, ami tovább növeli az egyébként is magas háttérszennyezettséget. Az előrejelzések szerint 2020-ban is számos levegőminőségi zóna számolhat túllépéssel (2. ábra).

Az utóbbi években bizonyítottá vált a légszennyezés egészségkárosító hatása. Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) kutatóintézetei találtak bizonyítékot arra vonatkozóan, hogy:

„A dízelmotorok kipufogógázai tüdőrákot okoznak, és növelik a hólyagrak kockázatát is”, valamint hogy „A légszennyezés nemcsak megnöveli a légzőszervi meg-

3. táblázat: Magyarország éves összes kibocsátása 2005. és 2010. években, valamint a légszennyező anyagok kibocsátására vonatkozó meglévő és tervezett csökkentési kötelezettségek (küszöbök)

kt/év		SO ₂	NH ₃	NO _x	VOC	PM _{2,5}	
küszöb	2030*	73% (11)	66% (51)	43% (45)	58% (55)	64% (11,5)	új NEC
	2020*	46% (22)	34% (100)	10% (71)	30% (91)	13% (28)	GP (2012) új NEC
	2010	500	198	90	137	-	NEC (2001)
		550	198	90	137	-	GP (1999)
kibocsátás	2010	32	162	65	109	32	
	2005	42	150	79	130	32	bázis év

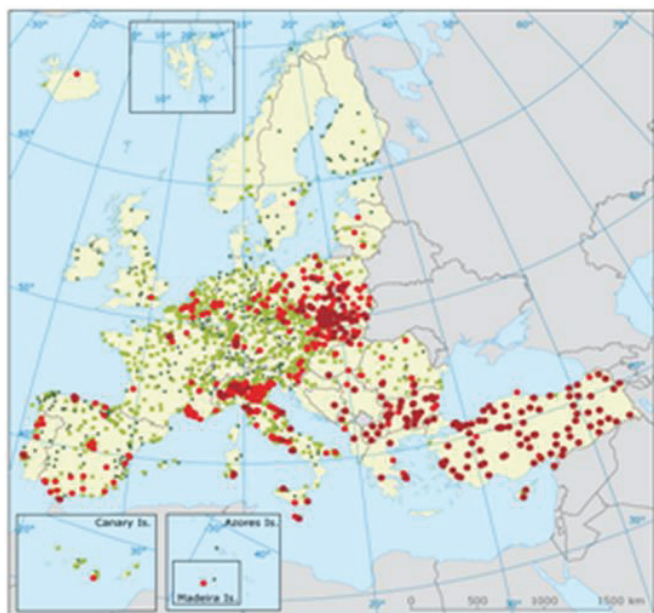
betegedések és a szívbetegség kockázatát, de karcinogén is.”

Mindezeket felismerve 2013 végén az Európai Bizottság benyújtotta **levegőtisztaság-védelmi csomagját**, mely a következő elemekből áll:

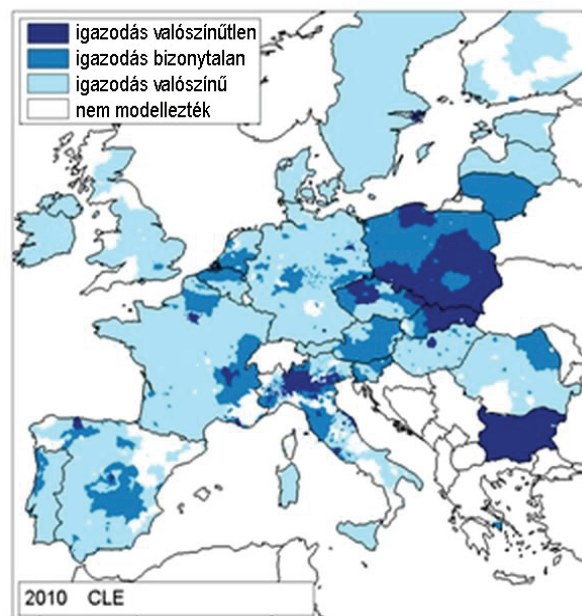
1. a Tisztább Levegőt Európának CAFE program felülvizsgált változata
2. a nemzeti kibocsátási küszöbökről szóló NEC irányelv módosítása

3. új **irányelv javaslat** a közepes tüzelőberendezésekre
4. javaslat a Nagy Távolságra Jutó, Országhatárokon Átterjedő Légszennyezésről szóló Genfi Egyezmény Göteborgi Jegyzőkönyvének EU szintű **ratifikálására**
5. **mindezen elemeket alátámasztó részletes hatásvizsgálat.**

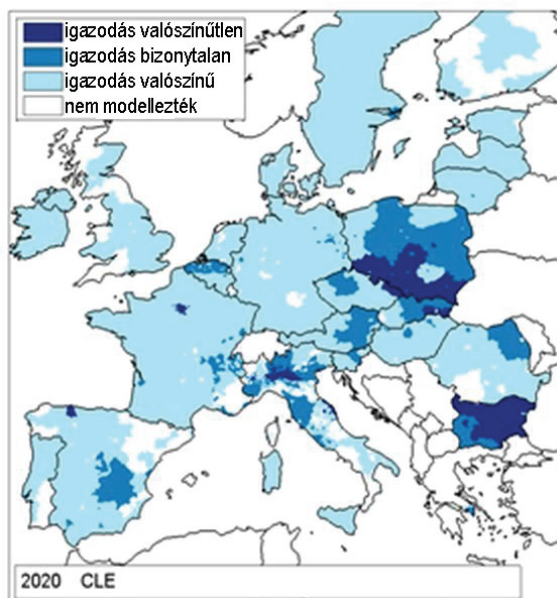
Részletes információk: http://ec.europa.eu/environment/air/clean_air_policy.htm. A csomag célul tűzte, hogy 2020-ig minden tagállam megfeleljen a jelenlegi szabá-



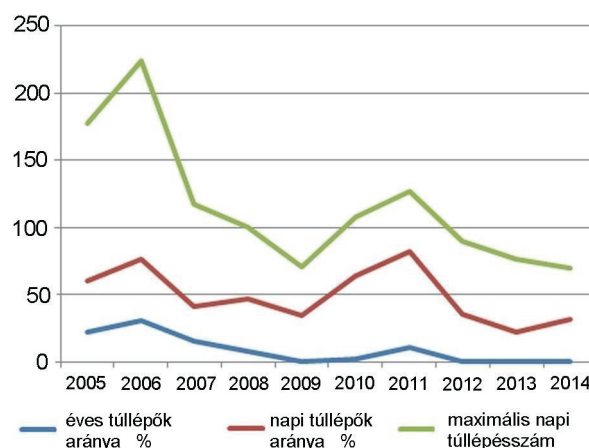
1. ábra: PM_{10} szennyezettség 2010-ben



2.a. ábra: A PM_{10} határértékek betartása (zónánként) a 2010. évben



2.b. ábra: A PM_{10} határértékek betartása (zónánként) a 2020. évben



3. ábra: PM_{10} határértékeket túllépő, magyarországi levegőminőség mérő állomások statisztikája (A 2014. évi adatok előzetesek)

lyozásnak, 2030-ra pedig a szabályozás közelítsen a WHO által meghatározott, szigorúbb követelményekhez.

Hazai levegőtisztaság-védelmi helyzet. Általánosságban elmondható, hogy a **hazai szabályozás** követi a közösségit, néhány helyen szigorúbb. Ezek egy részénél már az EU csatlakozást megelőzően is az volt, de akad olyan szabályozási elem – például a PM_{10} küszöbértékek, melyekre a szmogriadó elrendelése épül –, amelyek csak a hazai szabályozásban találhatók meg.

A **PM levegőminőségi helyzetet** értékelve elmondható, hogy lassú javulás látható (3. ábra), melyet csak a 2011. évi kiugrás tör meg. Az éves PM_{10} egészségügyi határértéket hazánk minden pontja teljesítette az utóbbi három évben (illetve 2009-ben és 2010-ben is), de a 24 órás határértéket még a mérőpontok kb. harmada túllépi. Az is elmondható, hogy a maximális napi határérték túllépések száma is csökken, de még mindig közel kétszerese az éves szinten megengedett 35-nek.

A 2011. élvben tapasztalt kiugró PM_{10} szennyezettség okai még nem feltártak – nem magyarázhatóak a kibocsátások változásával, és Európa-szerte érezhetőek voltak (2015. évi SOER jelentés:

<http://www.eea.europa.eu/soer-2015/synthesis/report/5-riskstohealth#figure5-2>).

Kibocsátási oldalról elmondható, hogy hazánk teljesíti kötelezettségeit. Az eddig meghatározott, 2010-re vonatkozó küszöbök mindegyikét teljesítette (3. táblázat). PM vonatkozásában 2020 lesz az első év, mely csökkentési kötelezettséggel jár. Ennek teljesítése különösen a lakossági kibocsátások miatt jelent kihívást.

A helyzet javítása érdekében több szinten készültek **tervek, programok**, zajlanak intézkedések. Egyrészt a **települési önkormányzatok, fővárosi kerületek** környezetvédelmi programja tartalmaznak levegőtisztaság-védelmi intézkedéseket, melyek maximálisan figyelembe veszik a helyi viszonyokat.

Regionális szinten ezeket egészítik ki a kormányhivatalok által készített, az intézkedési területükre vonatkozó **leve-**

gőminőségi tervek, melyek során nemcsak az önkormányzatok, de a legjelentősebb kibocsátók, a közlekedési és egészségügyi hatóság is bevonásra kerülnek. A legutóbb 2013-ban felülvizsgált tervek is nyilvánosak:

<http://www.kormany.hu/hu/foldmuvelesugyiminiszerium/kornyezetugyert-agrarfejlesz-tesert-es-hungarikumokert-felelos-allamtitkarsag/hirek/levegominosegi-tervek>.

Mivel mindezek nem hozták meg a kellő eredményt, a kormány 2011-ben megalkotta és elfogadta a **kisméretű szálló por (PM_{10}) csökkentés ágazatközi intézkedési programját**, melynek 2030-ig történő megvalósításához megközelítően **700 milliárd forint** felhasználása szükséges. Számítások szerint az intézkedések hatására a **PM_{10} kibocsátás 10-15%-kal csökkenthető**, melynek eredményeképpen – nemzetközi tanulmányokat figyelembe véve – átlagosan **10-20%-os PM_{10} koncentrációcsökkenés** érhető el. A program és a vonatkozó információk megtalálhatóak a <http://pm10.kormany.hu> weboldalon. Az elfogadása óta eltelt évek tapasztalatai alapján aktuálissá vált a program felülvizsgálata, mely jelenleg is zajlik.

Tekintve, hogy a $PM_{2,5}$ kibocsátások több mint kétharmada a lakossági szilárd tüzelésből származik, szükségessé vált a tudatformálás erősítése. Ennek okán indult útjára a **Fűts okosan!** kampány, illetve weboldal (<http://futsokosan.kormany.hu>). A kiadványok, plakátok és internetes oldal információkat tartalmaznak a megfelelő tüzelőanyag kiválasztásáról, a helyes begyűjtés folyamatáról, a megfelelő tüzelőberendezés kiválasztásáról, a környezet-egészségügyi hatásokról, stb. A tervek szerint kisfilmek, rajzpályázat is részét képezi majd a kampány folytatásának.

Látható, hogy jelentős lépések történtek már a PM szennyezettség enyhítésére, de komoly kihívások elé nézünk a jövőben is az egészségügyi határértékek, különösen a WHO által javasolt szennyezettségi szintek eléréséig.

Irodalom

Air Quality in Europe, 2012: EEA Report N° 4/2012. Az Európai Bizottság levegőtisztaság-védelmi szabályozási javaslatcsomagjának hatásvizsgálata. SWD (2013) 531.

HATÁRON TÚLI FORRÁSOK HATÁSA A HAZAI PM SZENNYEZETTSÉGRE

CONTRIBUTION OF TRANSBOUNDARY SOURCES TO THE HUNGARIAN PM POLLUTION

Ferenczi Zita

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

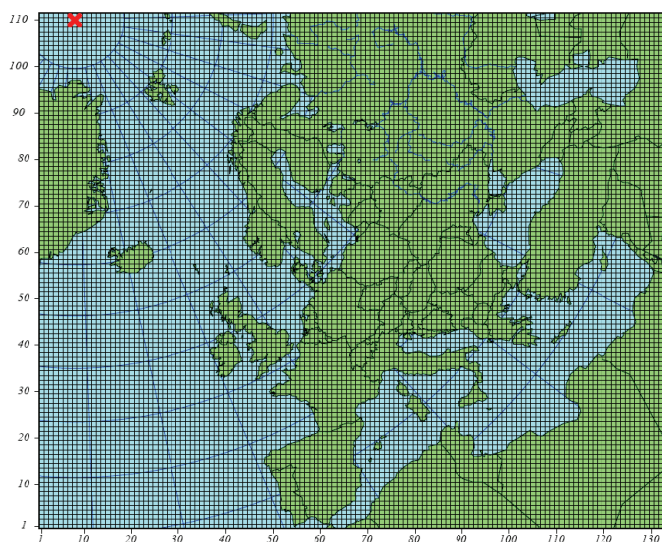
Összefoglalás. A légkörbe került szennyezőanyagok kémiai tulajdonságaiktól és a meteorológiai viszonyoktól függően nagy távolságokra is eljuthatnak, sok esetben nem a kibocsátás közelében, hanem távolabbi helyeken okoznak levegőtisztasági problémát. A kémiai transzport modellek azon típusaival, amelyek rendelkeznek forrás receptor algoritmussal alkalmasak arra, hogy meghatározzák egyes földrajzi térségek esetében, hogy az adott szennyezőanyag honnan érkezett, vagy azt, hogy az adott terület légszennyezéséért milyen arányban felelősek a helyi illetve a távolabbi források. A cikkben röviden egy nagytávolságú transzport modellt mutatok be, valamint azt, hogy a modellel végzett számítások hogyan használhatók a hazai PM (Particulate Matter) szennyezés vizsgálataihoz.

Abstract. Pollutants emitted into the air can be transported by the wind far from their sources, depending on the properties of the specific pollutant and the meteorological conditions. It means that the emissions in one region can cause environmental impacts far away. Effect of the long-range transport on the local pollution can be determined by that type of chemical transport model which includes the source-receptor relationships algorithm. In this work a representative of these types of models will be presented shortly. Furthermore, it will be demonstrated how the model results for the air quality assessment can be applied.

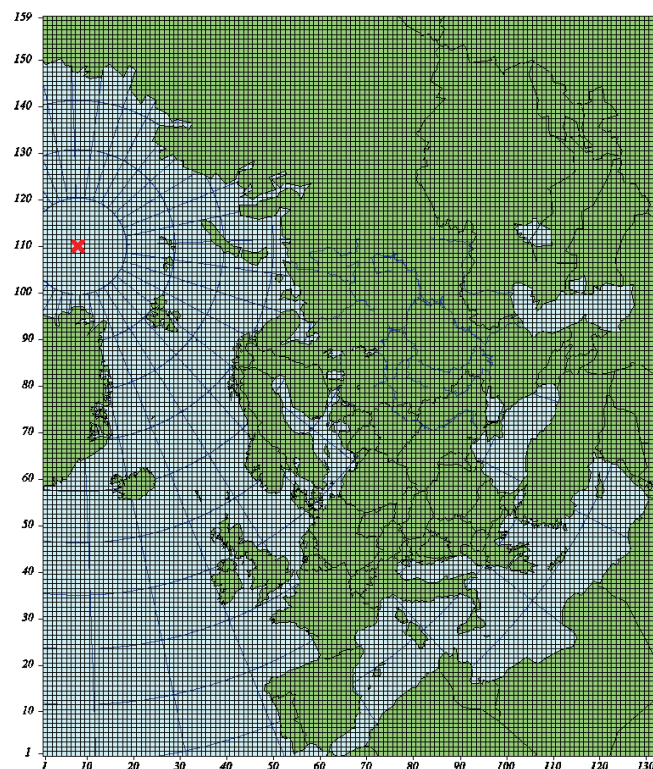
Az alkalmazott terjedési modell bemutatása. Az Európai Mérési és Értékelési Program (EMEP - European Monitoring and Evaluation Programme) 1977-ben egy sikeres kezdeményezés eredményeként indult, amelyhez majdnem minden európai ország csatlakozott azzal a céllal, hogy az akkor legjelentősebb környezeti problémát, a savas üledést vizsgálja. Amikor 1979-ben létrejött az „Egyezmény a nagy távolságra jutó, országhatárokon átterjedő 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 lebom-



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



lő, a környezetben tartósan megmaradó szerves szennyezők) vizsgálatáért felelős. A harmadik központ, a kémiai koordináló központ (CCC) az EMEP mérőhálózatának szakmai felügyeletét látja el, valamint évről évre összegyűjti, validálja, majd a modellező központoknak 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

transzportjának vizsgálatára ezért indult meg a kémiai transzport modellek fejlesztése. E modellek egyike az ún. *EMEP modell* (Simpson et al., 2012). Az EMEP modell első verziója Lagrange-típusú modell volt, amellyel egyedül a kénkomponensek légköri terjedését lehetett tanulmányozni Európa térségében. A modelledmények 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

1. táblázat: Az EMEP modell input meteorológiai paraméterei

Paraméter neve	dimenzió	folyamat, amelynek leírásában felhasználjuk az adott meteorológiai paramétert
3-D mezők:		
Horizontális szélesség komponensek	ms^{-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	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Vertikális transzport, nedves ülepedés
Lefelé irányuló konvektív fluxus	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Vertikális transzport, nedves ülepedés
2-D mezők – talajfelszínre:		
Felszíni légnyomás	hPa	Levegő sűrűsége, vertikális szintek kijelölése
Hőmérséklet 2 m-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	Nm^{-2} vagy ms^{-1}	Száraz ülepedés, stabilitás
Hó magasság	m	Száraz ülepedés
Jégborítottság aránya	%	Száraz ülepedés
Tengerfelszín hőmérséklete	K	Tengeri só
Szélesség 10 m-en	ms^{-1}	Tengeri só
A felszín közeli rétegben a talaj víztartalma	–	Por emisszió
Gyökérszónában a talaj víztartalma	–	Száraz ülepedés

meghatározó szerepet játszanak az emisszió csökkentési protokollok kidolgozásánál.

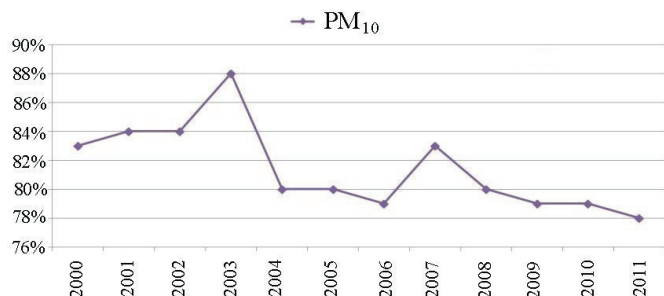
Az EMEP keretein belül elindult modellezési tevékenység Anton Eliassen és Øysten Hov norvég kutatók nevéhez fűződik, akik felismerték, hogy a légkörbe került szennyezőanyagok sok esetben nem a forrásukhoz közel, hanem attól távoli helyeken okoznak légszennyezettségi problémákat. A szennyezőanyagok nagytávolságú

fejlesztések történtek, elsősorban a kémiai mechanizmusokban. A modell továbbra is a savasodás és a fotooxidánsok nagytávolságú transzport vizsgálatának fontos eszköze.

A modell jelenleg alkalmazott 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 térkép kivágtat 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, ami lehetővé teszi ennek az alsó légrétegnek a jóval részletesebb vizsgálatát.

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.

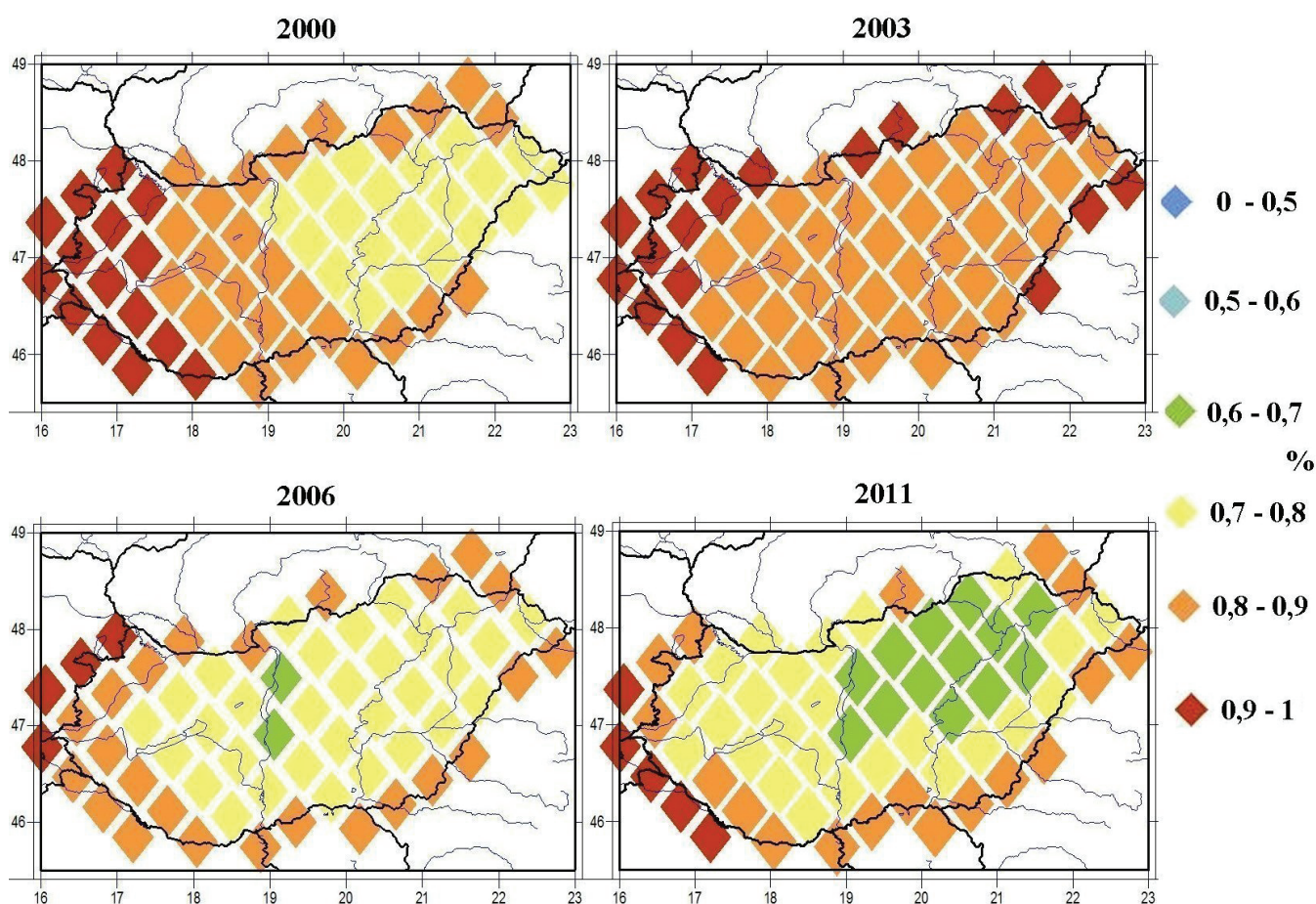


2. ábra: A nagytávolságú transzport hozzájárulásának aránya a magyarországi PM₁₀ szennyezettséghez 2000 és 2011 között

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.

Az EMEP kémiai transzport modell bemenő adatainak bemutatása. **Emisszió.** Az EMEP modell standard input emissziós adatai az éves nemzeti rácsponti emissziós adatokból állnak elő, amelyek tartalmazzák a kén-dioxidot (SO₂), a nitrogén-oxidokat (NO_x = NO + NO₂), az ammóniát (NH₃), a nem-metán illékony szerves vegyületeket (NMVOC), a szén-monoxidot (CO) és az aeroszol részecskéket (PM_{2,5}, PM₁₀). 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



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

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.

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.

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 feltüntetett azokat a fizikai és kémiai folyamatokat is, amelyeknek a leírásához az adott meteorológiai paramétert a modell felhasználja.

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:

- az EMEP modell egyik korábbi futtatásának eredményei vagy egy globális kémiai transzport modell futtatásának eredményeiből,
- 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.

A modellszámítások eredményei. A hosszútávú transzport hatása a magyarországi PM_{10} szennyezettségre. A modellszámítások alapján először azt határoztuk meg, hogy a magyarországi PM_{10} szennyezettséghez a 2000 és 2011 közötti években a nagytávolságú transzport milyen arányban járult hozzá. A 2. ábrán a határon túli források hatásának mértékében tapasztalható időbeli változékonyságot elsősorban az európai és a magyarországi emisszióban megfigyelhető ellentétes irányú változások okozák. A vizsgált 12 év során a nagytávolságú transzport szerepe 2003-ban volt a legmagasabb, míg 2011-ben a legkisebb. Ez azzal magyarázható, hogy míg Európában folyamatos a PM_{10} 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.

A modellszámítások alapján megállapítható, hogy a magyarországi PM_{10} szennyezettség kialakulásáért kb. 80%-ban Magyarország területén kívül eső források a felelősek. Meg kell jegyeznünk, hogy a vizsgált 12 évben a magyarországi PM_{10} emisszió jelentős mértékben változott, és ez a változás okozhatja a nagytávolságú transzport hatásában tapasztalható néhány százalékos változékonyságot az egyes években.

A vizsgált 12 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 (3. ábra), amely legjelentősebb az ország nyugati határvidékén, legkisebb a Duna és a Tisza által határolt északi területeken.

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 4. ábrán 2000 és 2011 között.

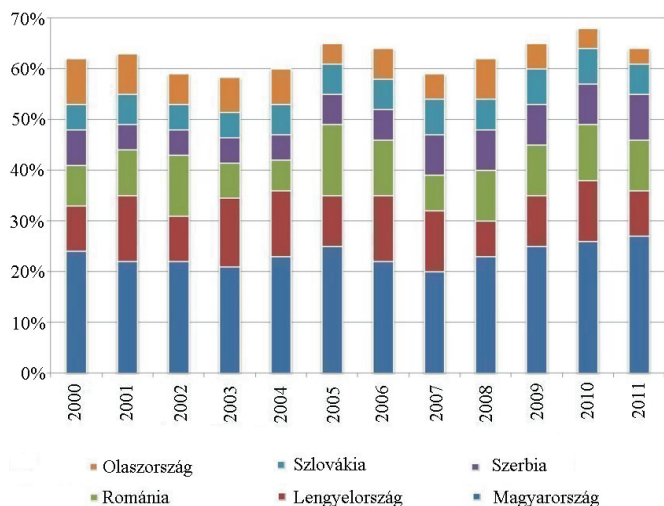
A 4. ábra alapján elmondható, hogy hazánk a hazai $PM_{2,5}$ szennyezettséghez kb. 20-25%-os arányban járul hozzá, valamint Magyarországgal együtt Lengyelország, Románia, Szerbia, Szlovákia és Olaszország együttesen az országban kialakuló $PM_{2,5}$ szennyezettségért 60-65%-ban felelősek. A vizsgált 12 év alatt az említett 5 ország hatása mutatott némi időbeli változékonyságot, de nem számottevő mértékben.

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 az 5. 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.

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 a legkisebb (9%). Horvátország és Szerbia esetében is számottevő Magyarország hatása, 10% körüli.



4. ábra: Az egyes országok százalékos hozzájárulása a magyarországi $PM_{2.5}$ szennyezettséghez

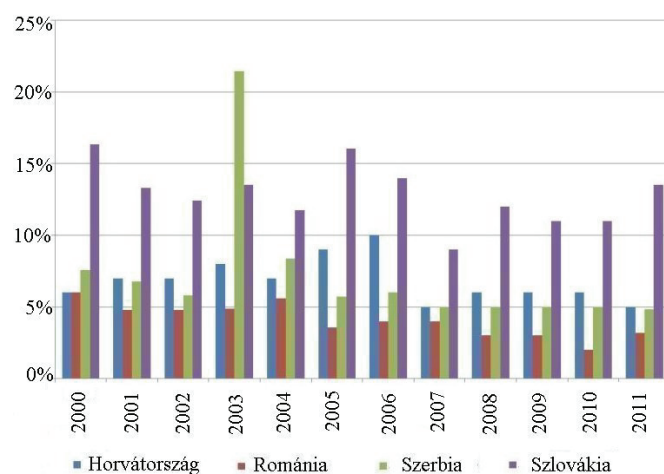
Az arányszámok nagyságában megfigyelhető évenkénti eltéréseket a meteorológiai viszonyok mellett az egyes országok emissziójában évről évre bekövetkezett változás is jelentősen befolyásolja.

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 következtetés, hogy:

- 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 légtérébe,
- a Magyarországon kibocsátott részecskék leginkább Szlovákia és Horvátország PM szennyezettségéhez járulnak hozzá jelentős mértékben,



5. ábra: Magyarország %-os hozzájárulása a környező országok $PM_{2.5}$ légszennyezettségi viszonyaihoz

- a Magyarország által kibocsátott részecskék 37%-a marad hazánk területén, 63%-a átlépi az országhatárt,
- Magyarországra 30%-kal több részecske érkezik a határon túlról, mint amennyit az ország összesen kibocsát.

Irodalom

Simpson, D., Benedictow, A., Berge, H., Bergström, R., Emberson, L. D., Fagerli, H., Flechard, C. R., Hayman, G. D., Gauss, M., Jonson, J. E., Jenkin, M. E., Nyíri, A., Richter, C., Semeena, V. S., Tsyro, S., Tuovinen, J.-P., Valdebenito, Á., and Wind, P. 2012: The EMEP MSC-W chemical transport model – technical description, *Atmos. Chem. Phys.* 12, 7825-7865, doi:10.5194/acp-12-7825-2012.

A 2015. ÉVI BALATONI ÉS VELENCEI-TAVI VIHARJELZÉSI SZEZONRÓL ABOUT THE STORM WARNING SEASON AT LAKE BALATON AND VELENCE IN 2015

Zsikla Ágota

OMSZ Viharjelző Observatórium, 8600 Siófok, Vitorlás utca 17., zsikla.a@met.hu

Összefoglalás. Az Országos Meteorológiai Szolgálat minden évben viharjelző szolgálatot lát el a Balatonon és a Velencei-tavon a vízen tartózkodók biztonsága érdekében. A viharjelzési szezon április 1-je és október 30-a között tart. Az írás a 2015-es viharjelzési szezon időjárási eseményeit és kiadott viharjelzéseit tekinti át.

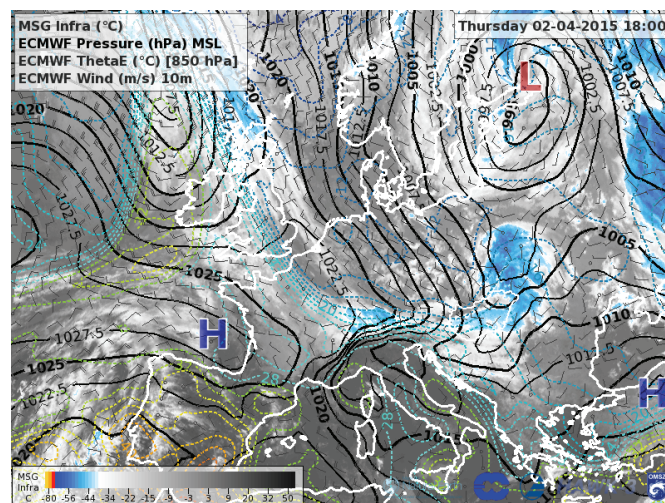
Abstract. At Lake Balaton and Velence there is a storm warning service operated by Hungarian Meteorological Service. The storm warning service is responsible for the safety of people at both lakes. If strong or stormy wind expected, storm warnings are issued on first or second level. The duration of the storm warning season is seven months: from 1st April until 30th October. This paper is about the eventful weather of the season in 2015 and the storm warnings issued.

Bevezetés. Október 30-án zárult a 81. balatoni viharjelzési szezon, egyúttal ekkor fejeződött be a Tisza-tónál is a 4. (hét hónapig tartó) viharjelzési idény. Az időszak alatt a tavon lévők biztonságának ellátása mellett főként a nyári hónapokban nagyobb tóparti tömegrendezvények, fesztiválok időjárás előrejelzésekkkel és riasztásokkal való kiszolgálása is megtörtént. A Balatonnál és a Velencei-tónál a viharjelzések összesített fenntartási ideje a viszonylag nyugodtabb időjárásnak köszönhetően a tavalyihoz mérten nem változott lényegesen. A Balaton nyugati medencéjében 1972, a középső medencében 1911, a keleti medencében 1876, a Velencei-tónál 1428, a Tisza-tónál 1165 órán át volt érvényben valamilyen fokozatú viharjelzés. Az összesített fenntartási értékek a Balaton nyugati medencéjében, illetve a Tisza tónál 70–77 órával csökkentek, a keleti és a középső medencében pedig emelkedtek 25–26 órával. A kiadott első- és másodfokú jelzések darabszáma a Balatonnál 20–30-cal is csökkent, ami nagyrészt a zivatarok számának csökkenésével magyarázható. A hét hónapra növekedett viharjelzési szezonban pedig 2005 óta nem volt ennyire rövid ideig másodfokú jelzés érvényben a Velencei-tónál (314 óra) és a keleti medencében (607 óra), mint most, a nyugati medencében pedig az összesített fenntartások érték el az eddigi minimumukat.

A viharjelzési szezon időjárásának főbb jellemzői. A 2015-ös szezon összességében az átlagosnál melegebb, hosszan tartó nyári forróságokkal és azt lezáró erős viharokkal tűzdelt szezon volt. Hosszabb száraz periódusok és intenzív, nagy csapadékú napok, időszakok is jellemezték. Az erős viharokat jellemző 90 km/h-t meghaladó szélsébséget összesen kilenc napon mértek a Balatonnál. Ez kettővel több a 2014. évinél.

A viharjelzési szezon első hónapja mindjárt egyben a szezon **legszelesebb** hónapja lett a havi átlagsebességeket és az erős viharok számát tekintve is. A hónap elején, elsején és másodikán már ízelítőt kaphattunk a viharos időjárásból. Április elsején Európában az időjárást egy, a Balti országok feletti centrumú mély ciklon és a nyugat-európai partokhoz közeli, az Atlanti-óceán feletti centrumú anticiklon határozta meg. A két nyomási központ között a kontinens nagy részén tartós nyugati, északnyugati irányú légáramlás alakult ki, melyet a központok között fennálló mintegy 50 hPa légnyomáskülönbség tartott fent. A jellemzően szeles napon a Balatont elérő újabb hűvös léghullám áthaladása során Balatonörszödnél 95 km/h-ig erősödött fel a szél. Április másodikán a kontinensen a két nyomás-centrum továbbra is fennállt, a Baltikum feletti ciklon lényegesen még nem töltődött, az anticiklon pedig kissé már gyengült. A ciklonális teknő és a magasnyomású gerinc határán a felső troposzférában kiterjedt zóna húzódott, mely az Északi-tengertől Közép-Európaig nyúlt.

A nap folyamán az alsó légrétegekben Nagy-Britannia és az Északi-tenger felől egy hidegfront haladt végig Közép-Európa felé. Átvonulását megelőzően a középtroposzféráig nyúló erőteljes nyomássüllyedési hullám vonult végig, mely hatására a ciklonnak a talajon a nyomási teknőből a nap végére már zárt izobárral rendelkező kis peremciklona alakult ki. A peremciklon másnap Ukrajna fölött tovább mélyült, így középpontjában 1000 hPa alá került a nyomás, amivel már délelőtt átvette a töltődő Balti centrumtól a vezető szerepet. A nyomássüllyedés legintenzívebb szakaszában, délután hazánkban a délnyugati szél megerősödött, és többfelé viharossá vált, így a Balatonnál is. Majd estére megérkezett a légköri hul-



1. ábra: 2015.04.02. 18:00 UTC, Európai időjárási helyzetkép (MSG műholdkép, 10m-es átlagszél, tengerszinti légnyomás és a 850hPa-os ekvivalens potenciális hőmérséklet izovonalai) a dunántúli hidegfront átvonulás időszakában. (HAWK3 - készítette: Kolláth Kornél)

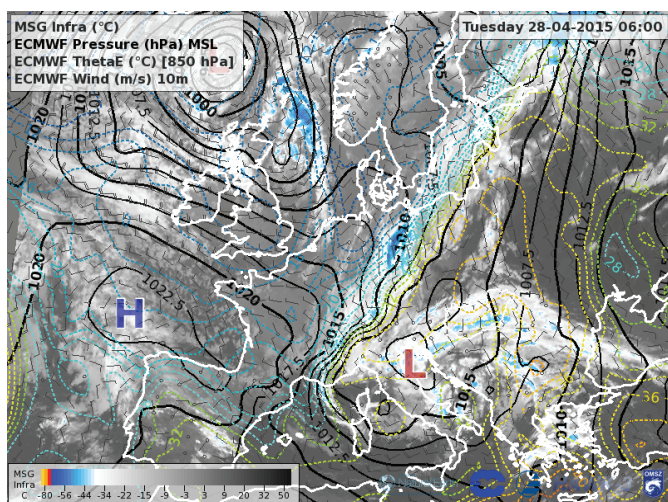
lám gyors mozgású hidegfrontja, mely Soprontól Pécsig mintegy 2 óra 36 perc alatt jutott el. Az 1. ábrán az európai időjárási helyzetképet láthatjuk 18 UTC-kor. A front áthaladása közben a legnagyobb szelet a Balatonhoz érve okozta: a déli part mentén 110 km/h szélsébséget regisztráltak a műszerek. A frontátvonulás időszakában a térségben csak kis mennyiségű záporos csapadék hullott.

A hónap utolsó napjaiban még újabb, ritkán előforduló erősségű vihar érte el a tavat. Április 26-án a skandináv partok közelében lévő ciklon hidegfrontja Nagy-Britannia, és az Atlanti-óceán felől közeledett a kontinens felé. Előtte Délnyugat-Európa fölött az északról lenyúló ciklonális teknőben egy mérsékelt-övi ciklon fejlődött, majd 27-én több centrumra szakadt. A több pólusú ciklon 28-án már Közép-Európa (így hazánk) és Olaszország térsége fölé helyeződött, és itt határozta meg az időjárást. Hazánkban esőt, záport, főként keleten helyenként zivatart okozott. A mérsékelt délies szél megélénkült, helyenként egy-egy erősebb szellőkés is kialakult. (2.a ábra: Európai időjárási helyzet 2015.04.28-án reggel.). A ciklon már töltődni kezdett és délután tovább mozgott kelet felé, melyet a mögötte előretörő és egyre erősebbé váló anticiklon is elősegített. Az anticiklon pe-

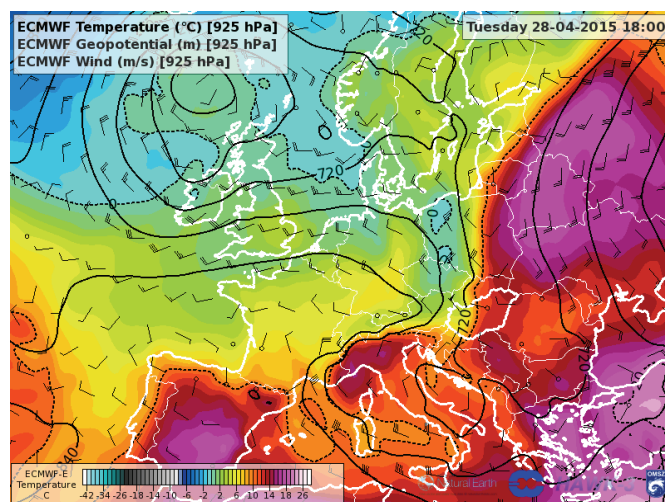
38,5 m/s-t, vagyis a 138 km/h-át, helyi időben 22 óra 36 perckor.

Az áprilisi négy után májusban még kettő, júliusban három napon fordult elő erős vihar legnagyobb tavunknál. A májusi esetekben a viharos szél néhány óráig tartott, eközben alakultak ki átmenetileg a 90 km/h sebességet elérő, vagy meghaladó szellőkés: 13-án 1 (98 km/h), illetve 06-án (90–93 km/h) 2 állomáson. A kialakulásukban az utóbbinál főként a frontátvonulás, az elsőnél egy mezoléptékű konvektív rendszerben fellépő zivataros kifutószél játszott szerepet. Május 6-án a Balatontól délre egy hosszú életű szupercella is kialakult, mely Iregszemcse, Paks, Kiskunmajsa érintésével a Tiszántúlra is eljutott.

A nyári hónapok viharai közül a július 8-ai, egy a hónap elején kezdődő kánikulai periódust zárt le. Az északnyugatról több hullámban érkező hidegfront előtt és mentén zivatart, köztük szupercella is kifejlődött. A legnagyobb területen áthaladó és károkat is okozó szupercella a Balatontól északra, a Bakony fölött alakult ki még kora délután a front előtti meleg levegőben egy konvergencia vonal mentén. A front előtt nagy labilitás (CAPE > 2000 J/kg), és jelentős szélnyírás segítette a



2.a ábra: Ciklon Közép-Európa felett 2015.04.28 06 UTC-kor. MSG felhőzet, 10 m-es átlagszél, valamint a tengerszinti légnyomás és a 850hPa-os ekvivalens potenciális hőmérséklet izovonalai (készítette: Kolláth Kornél)

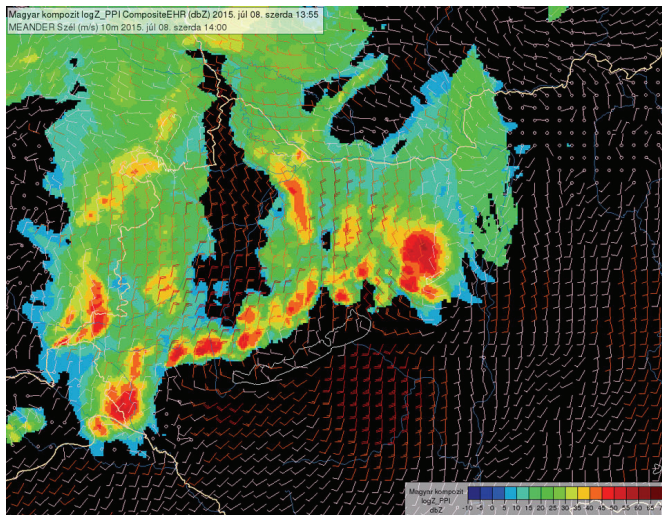


2.b ábra: Az anticiklon előrenyomulása Közép-Európában 2015.04.28-án, 18 UTC. 925 hPa-os európai magasság, hőmérséklet és szélmező (készítette: Kolláth Kornél)

remén a Dunántúlra hirtelen bezúduló hideg levegő nyomában megerősödött, majd többfelé viharossá is fokozódott a szél. A talajközeli légrétegeken kívül az előretörő anticiklon hatására a főizobár szintek közül a 925 és 850 hPa-os magassági szintekre is viharos, átmenetileg 25 m/s-ot is elérő szélsébséget számoltak az előrejelzési modellek az esti, éjszakai órákra, amint az a 2.b ábrán is látható. A Dunántúlon az automata mérőállomások általában 60–80, az éjszaka folyamán a Velencei-tónál 90, a Balaton térségében 90 km/h feletti szélmaximumokat jeleztek. A Balaton-parton is 8 mérőállomás jelzett 90 km/h feletti szellőkést. Közülük kiemelkedett Balatonörszöd térsége, ahol 3 órán keresztül voltak 30 m/s feletti szellőkés 29-re is átnyúlóan. A szélmaximum pedig 28-án elérte a

szupercella kifejlődését. Az egyre növekvő és terebélyesedő cella kelet felé haladt. A keleti medencét megközelítve magassága már elérte a 14 km-t. A szentkirályszabadjai mérőállomás térségét érintve 90 km/h sebességű szellőkést okozott, majd a Velencei-tó és Budapest felé vonult tovább. Haladását erős vihar és jégeső is kísérte. A Velencei-tó térségéhez érkezve a kitörő viharban a szélsébség elérte a 126 km/h-t, melyre 20 km/h-ról 11 perc alatt erősödött fel (3. ábra). A csapadék hűtötte levegő hőmérséklete 21 fokra süllyedt, míg egy órával korábban a hőmérséklet csúcserőke elérte a 36 fokot. Délután helyi időben 16 órára a Balatont már megközelítette a hidegfront első hulláma, mellyel szintén érkeztek zivatartok. Ezek közül az egyik Balatonaliga térségében okoz-

ta a legnagyobb szelet: 107 km/h sebességű szellőkést mért az automata helyi időben 16 óra 45 perckor.



3. ábra: 2015.07.08. 13:55 UTC Supercellás zivatar a Velenicei-tó térségében. Kompozit radarkép és Meander 10 m-es szélmező analízis.

Júliusban tizenhatodikától újabb országos hőhullám következett, melynek utolsó napja, 25-e a Balatonnál ismét erős vihart hozott. A szélvihart és a zivatarokat ezúttal



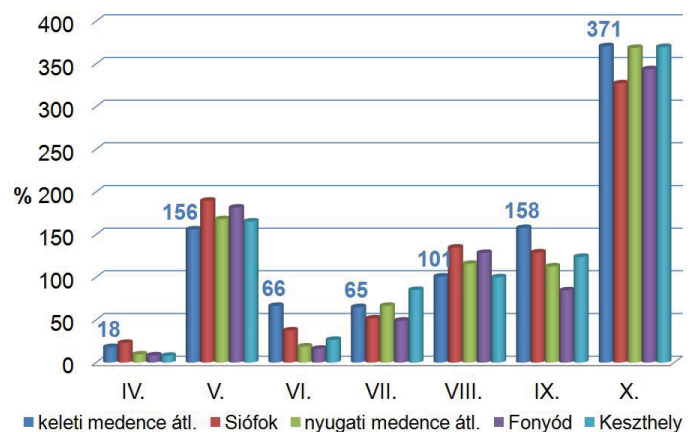
4. ábra: 2015.07.25. délután. Délnyugatról zivatarlanc közeledik Siófok felé. (készítette: Horváth Ákos)

egy szlovén instabilitási vonal okozta. A ciklon közép-pontja, – melynek áramlási rendszerében a zivatarvonal kialakult – a nap folyamán a Benelux államok, Észak-Németország, majd Dánia fölé helyeződött át. A ciklon hidegfrontja előtt kialakult egy konvergencia vonal, mely délutánra megközelítette a Dunántúl északnyugati részét, rajta még csak 1–2 zivatarral. Ugyanakkor Szlovénia, Horvátország felett is megjelent egy konvergencia vonal, melyen ugyancsak zivatarok fejlődtek. Itt volt a légrétegződés a leglabilisabb, egyik mérőszáma, a hasznosítható konvektív energia nagysága elérte a 2000 J/kg-ot a zágrábi rádiószonda mérése szerint. Mindkét vonal a Dunántúl belseje felé haladt, s közülük végül a délnyugati instabilitási vonal lett a gyorsabb és az intenzívebb. Az országhatárt délnyugatról megközelítő, majd a Balatont is elérő zivatarvonal fokozatosan erősödött föl. A határhoz legközelebbi állomásokon 60–65, a nyugati medencében,

illetve Zalaegerszeg körzetében 80–85 km/h, majd a Balaton felett tovább vonulva 90, a keleti medencében pedig már 100 km/h sebességet is elérő szellőkések alakultak ki. A 4. ábra a Siófok felé közeledő zivatarfelhőket mutatja. A legerősebb szelet délnyugati irányból a keleti medence közepén elhelyezkedő, cölöpre szerelt automata műszer mérte; 111 km/h-t 18 óra 05 perckor, de Siófokon 103, Balatonaligán is 99km/h lett a maximum. A Balatonnál nagyobb szellőkéseket távolabb már nem jeleztek a mérések. A tó vize a vihar átvonulásakor Siófoknál 30 fokos volt, ami segíthette a zivatarok fennmaradását és fejlődését. A hidegfront végül az éjjeli órákra érkezett meg, és ekkor Balatonörszödnél ismét 97 km/h-ig erősödött a szél. Ezt követően a szezon hátralévő részében már erős vihar nem fordult elő.

A havi átlagos szélsősebességet tekintve az április és a szeptember lett a két legszelesebb hónapunk, 25–30%-kal meghaladva az előző 11 év átlagát. A július, augusztus (19–28%), a keleti medencében még az október (7%) is az átlagosnál kevésbé szelesen alakult. Összességében a hét hónap átlagosan szelesnek mondható.

2015-ben a viharjelzési szezon **átlaghőmérséklete** Siófokon 18,2, Keszthelyen 16,8 fok volt, ami az 1961–1990-es évek átlagánál 1,8, illetve 0,8 °C-kal lett



5. ábra: 2015. A havi csapadékösszegek alakulása a sokévi átlag százalékában (1961-1990)

magasabb. Ezen belül a nyár különösen forró volt. Az idén 38–40 olyan napot is megéltünk, amikor a maximum hőmérséklet elérte, vagy meghaladta a 30 fokot, és hat napon 35 fok felett alakultak a maximumok (a Velenicei-tónál 11 napon). Összehasonlításképpen, a hőségnapok esetében az 1981–2010-es évek átlaga is csak 17 (Siófokon), illetve 19 (Keszthelyen) nap. Az év legmelegebb napja Keszthelyen augusztus 13. lett 37,0 fokkal, Siófokon július 23. 36,1 fokkal. Ezen adatok azt jelzik, hogy mindkét nyári hónapban voltak forró periódusok. Július elején egy egyhetes, második felében egy tíznapos, augusztus első felében kéthetes, és a hónap végén négy napos időszakokra emelkedtek a napi maximumok 30 fok fölé.

Az utóbbi kivételével minden hőhullámban 1–2 napon 35 fok fölé is emelkedett a hőmérséklet.

A nyári hónapok átlaghőmérséklete így Siófokon 23,3, Keszthelyen 21,7 fok lett, ami az OMSZ Éghajlati Osztályának homogenizált adataison *Lakatos Mónika* által végzett számításai szerint 1901-től számítva az **eddigi harmadik legmelegebb nyár** volt. Ez idő alatt a Balaton vize is jelentősen felmelegedett. Júliusban három napon is meghaladta a vízhőmérsékleti maximum (1 m mélységben) a 30 fokot. Siófoknál a legmagasabbat 21-én jelezte az automata hőmérő: 30,5 fokot.

A **csapadékviszonyokról** elmondhatjuk, hogy a szezonon

A 2014-es csapadékos évhez képest, amikor kimagaslóan magas volt a zivataros napok száma most 2015-ben jóval kevesebb lett, általában az előző évinek csak fele, harmada. Siófokon például 2014-ben 46, 2015-ben 15 napon észleltek zivatart. A kiadott viharjelzések számának ideai csökkenése is leginkább ennek köszönhető.

A viharjelzések összesítése. A Balatonra kiadott másodfokú viharjelzések fenntartási ideje az előző évihez mérten kismértékű csökkenést mutat (*1. táblázat*). Ezen belül leginkább a keleti medencében csökkent a fenntartás: 74

Balaton medencék	viharjelzés foka	a kiadott viharjelzések száma, db							IV.-X. összesen, db
		IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	
Nyugati	I. fok db	13	16	18	20	17	17	10	111
	II. fok db	16	13	13	16	6	9	3	76
Középső	I. fok db	11	16	19	23	16	19	8	112
	II. fok db	17	14	10	13	5	11	3	73
Keleti	I. fok db	11	15	21	23	17	18	9	114
	II. fok db	16	12	12	11	5	8	3	67

Balaton medencék	viharjelzés foka	a fenntartott órák száma							IV.-X. összesen, óra.
		IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	
Nyugati	I. fok óra	147	186	265	115	156	268	144	1281
	II. fok óra	187	152	44	73	37	146	52	691
Középső	I. fok óra	162	186	256	122	120	273	131	1250
	II. fok óra	188	147	42	67	47	125	45	661
Keleti	I. fok óra	157	229	255	149	101	255	123	1269
	II. fok óra	203	97	57	57	45	135	13	607

1. táblázat: A 2015. évi viharjelzési szezonban kiadott balatoni viharjelzések összesítése

belüli eloszlása ismét szélsőségesen alakult. Április volt a legszárazabb hónap, amikor a havi csapadékösszeg Balaton szerte 10 mm alatt maradt. Az októberben lehullott csapadékmennyiség pedig az ilyenkor szokásos háromszorosát is meghaladta, több helyen 150 mm körül alakult. A nyári hónapok közül június volt a legszárazabb hónap, ezt követi a július, amikor a havi csapadékösszeg általában csak a sokévi átlag 2/3-át érte el a Balaton térségében (*5. ábra*). Augusztusban pedig szárazság, és nagy csapadékú időszak is volt. A hónap első két hetében szinte semmi csapadék sem esett, a harmadik hetében pedig lehullott a havi összeg több mint 90 százaléka. Ez általában 50–90 mm-t jelentett, de volt ahol 100 mm-t is meghaladó eső esett. Augusztus 17-én például egy forró száraz periódus lezárásakor a nyugat, délnyugat felől érkező hűvösebb levegő hatására hazánk térségében ciklon fejlődött ki, mely csak lassan tudott elmozdulni, így csapadéksávjai tartósabban országunk fölött maradtak. Belőlük a Balatonnál is felhőszakadással kísért zivatarok fordultak elő. Néhány helyen kiugróan magas csapadékösszeget mértek, közülük a legtöbbet Balatonújlakon. Itt 24 óra alatt 113,7 mm hullott. Az összesítések szerint a hét hónap csapadékösszege a nyugati medencében átlagosan 475, a keleti medencében 458 mm volt, amivel 11, illetve 21 %-kal haladja meg az 1961–90-es évek átlagát.

órával, a legkevesbé a nyugati medence változott: itt csak 9 óra volt a különbség. A Velencei-tónál 22 óra csökkenés mutatkozik. A másodfokú viharjelzésben a fenntartási idők a teljes időszaknak a keleti medencében a 11,9, a középső medencében 12,9, a nyugati medencében 13,5, míg a Velencei-tónál a 6,1 százalékára terjedtek ki. A Tisza-tónál a másodfokú viharjelzések fenntartási ideje a teljes időszak 6,5%-át tette ki. Ez az előző évihez képest 59 óra emelkedést jelentett.

A Balatonnál a 2015-ös szezonban is szükség volt mentésekre. A Balatoni Vízügyi Rendészeti Rendőrkapitányság tájékoztatása szerint: „elsősorban nem a fürdőzők, hanem a szörfösök, vitorlázók és egyéb vízi járműveket használók körében volt szükség rendőri jelenlétre, mentésre, mely betudható a hirtelen időjárási változásoknak, ami esetenként közlekedési problémákat okozott”.

A Vízügyi Rendészeti munkatársai 107 esetben 256 fő fürdőző, vagy hajózó személyt mentettek ki a vízből. 2015. április 1. és október 30. között sajnos 10 ember fulladt a Balatonba. Azonban egyetlen olyan halálos kimenetelű vízi baleset sem történt, amely elmaradt, vagy későn kiadott viharjelzés következménye lett volna.

2015 NYARÁNAK IDŐJÁRÁSA WEATHER OF SUMMER 2015

Vincze Enikő

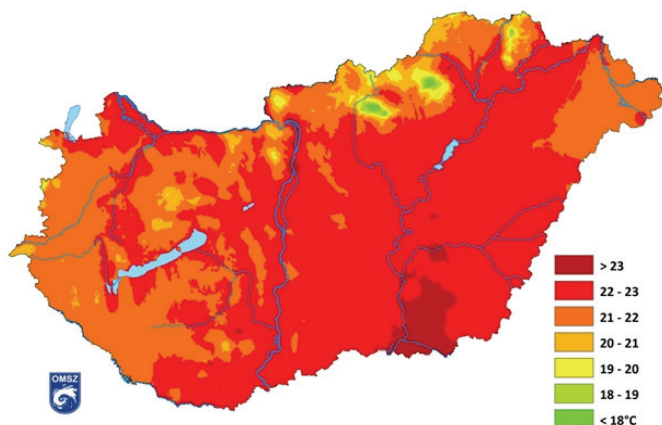
Országos Meteorológiai Szolgálat, 1525 Budapest, Pf. 38., vincze.e@met.hu

2015 nyara a tavalyival ellentétben újra bővelkedett az igazán embert próbáló hőhullámokban. Ez volt 1901 óta a 4. legmelegebb nyár. A rendkívül sok és hosszan elhúzódó hőhullám megmutatkozik a hőmérsékleti küszöbnapok számában is. 41 hőségnapot ($t_{\max} \geq 30^\circ\text{C}$) jegyeztünk országos átlagban, míg a megszokott mennyiség 22 nap. Forró napból ($t_{\max} \geq 35^\circ\text{C}$) 13 jelentkezett, szemben a normál értékkel (1981–2010), mely mindössze 2 nap. Az évszakos csapadékösszeg a szokásos mennyiség mindössze kétharmadának adódott, mely a hőhullámokkal tarkított nyári időszak aszályhelyezeteit csak súlyosbította. Főleg az évszak első hónapja volt nagyon száraz, 1901 óta a 6. legszárazabb június volt. A július szintén szárazabb volt a megszokottnál, a nyár utolsó hónapja pedig igen szélsőséges csapadékeloszlást hozott mind térben, mind időben.

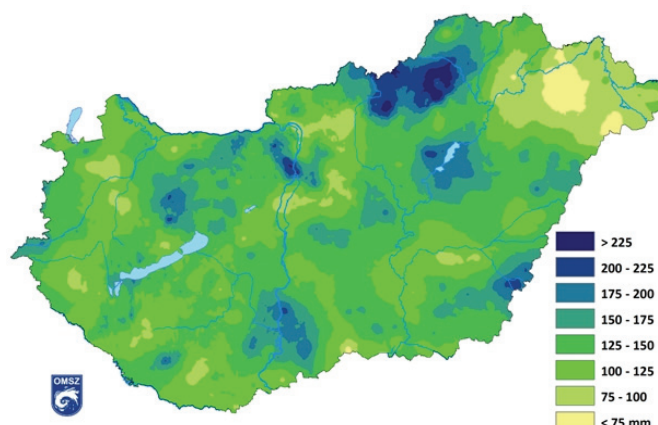
Június. A júniusi középhőmérséklet országos átlagban $20,0^\circ\text{C}$ -nak adódott, átlagosan $0,5\text{--}2^\circ\text{C}$ -kal melegebb volt a hónap a megszokottnál. A legmagasabb havi átlagok az ország középső és keleti részein voltak megfigyelhetők ($20\text{--}21^\circ\text{C}$ között), északon és nyugaton $17\text{--}20^\circ\text{C}$ közötti értékek voltak jellemzőek. Jelentősen melegebb volt a hónap első felében a sokévi átlagnál. A hónap legmelegebb napján, június 13-án több mint 5°C -kal melegebb volt az ilyenkor szokásosnál. Nógrádszakál, Ipolytarnóc és Ludányhalászi környezetében volt csak valamelyest hűvösebb a megszokottnál, a különbség azonban itt sem haladta meg a $-0,5^\circ\text{C}$ -ot. Országos átlagban 18 nyári napot regisztráltunk (napi maximumhőmérséklet, azaz $t_x \geq 25^\circ\text{C}$), mely kettővel több a sokévi átlagnál. Hőségnapból ($t_x \geq 30^\circ\text{C}$) a megszokott mennyiség

24 óra alatt lehullott maximális csapadék:
71,0 mm, Budafok, június 9.

Július. A júliusi országos átlaghőmérséklet $23,3^\circ\text{C}$ -nak adódott. A legmelegebb a Tisza mentén és a délkeleti országrészben volt, itt a havi középhőmérséklet akár a 25°C -ot is elérte. A leghűvösebb júliust Kékestetőn figyelhattuk meg (havi átlaghőmérséklet: $18,4^\circ\text{C}$). Jelentősen melegebbnek bizonyult a július a megszokottnál. Ez volt a 2. legmelegebb július 1901 óta, mely csak néhány század fokkal marad el az elmúlt 115 év legmelegebb júliusától (2015. július: $23,30^\circ\text{C}$, 2012. július: $23,33^\circ\text{C}$). Országos átlagban $2,3^\circ\text{C}$ -kal volt melegebb a sokévi átlagnál, de többfelé előfordult $+3^\circ\text{C}$ -os, vagy azt meghaladó anomália is. Mindössze július 9-én és 11-én, illetve 27-étől a hónap



1. ábra: A 2015-ös nyár középhőmérséklete ($^\circ\text{C}$)



2. ábra: A 2015-ös nyár csapadékösszege (mm)

nyiség másfélszerese jelentkezett (normál: 4; 2015. nyár: 6 nap). A sokévi átlaggal megegyezően forró nap nem fordult elő júniusban hazánk területén. Az OMSZ előrejelzései alapján az ÁNTSZ a következő napokra vonatkozóan adott ki másodfokú hőségriasztást (napi középhőmérséklet legalább három egymást követő napon eléri, vagy meghaladja a 25°C -ot) hőhullám miatt: 2015. június 11., 12., 13., 14., 15.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:

$34,3^\circ\text{C}$, Berettyóújfalu (Hajdú-Bihar megye), június 14.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:

$3,4^\circ\text{C}$, Zabar (Nógrád megye), június 22.

2015 júniusának csapadékösszege országos átlagban $30,5\text{ mm}$ volt. A megszokott csapadékmennyiség mindössze 41%-a hullott le, mellyel a 6. legszárazabb június lett 1901 óta. A lehullott mennyiség nagy területi változékonyságot mutatott, jellemzően 10 és 50 mm között alakult. A hónap során mindössze egyetlen napon hullott 5 mm -t meghaladó csapadékmennyiség országos átlagban (június 9., napi országos átlagos csapadékösszeg: $6,2\text{ mm}$). A legmagasabb 24 órás csapadékösszeget is ezen a napon jegyeztük Budafokon ($71,0\text{ mm}$). A száraz júniusnak megfelelően a megszokottnál kevesebb csapadékos napot (napi csapadékösszeg, azaz $r \geq 0,1\text{ mm}$) jegyeztünk a hónap során (normál: 11 nap; 2015. június: 7 nap). Zivataros napból is kevesebbet figyeztünk meg (normál: 4 nap; 2015. június: 3 nap).

A hónap legnagyobb csapadékösszege:

$88,6\text{ mm}$, Budafok

A hónap legkisebb csapadékösszege:

$5,3\text{ mm}$, Kelebia (Bács-Kiskun megye)

végéig adódott a normálnál alacsonyabb napi középhőmérsékleti érték, ezeket leszámítva a hónap során minden nap jóval melegebb volt a megszokottnál országos átlagban. 25 nyári napot (normál: 23 nap) és 17 hőségnapot (normál: 9 nap) jegyeztünk júliusban, országos átlagban. A sokévi átlag alapján országos átlagban egy forró nap szokott jelentkezni, 2015-ben azonban ennél meglehetősen többet, 6 forró napot ($t_x \geq 35^\circ\text{C}$) regisztráltunk. Harmadfokú hőségriasztás a következő napokon volt érvényben (napi középhőmérséklet legalább három egymást követő napon eléri, vagy meghaladja a 27°C -ot): 2015. július 4., 5., 6., 7., 8., 17., 18., 19., 20., 21., 22., 23., 24., 25., 26.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:

$39,3^\circ\text{C}$, Budakalász (Pest megye), július 8.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:

$3,1^\circ\text{C}$, Zabar (Nógrád megye), július 11.

A júliusi országos átlagos csapadékösszeg $44,1\text{ mm}$ volt. A területi eloszlást tekintve nyugaton több csapadékot jegyeztünk, mint a keleti országrészben (a legmagasabb értékek $70\text{--}150\text{ mm}$ közöttiek). Keleten nem ritkán 15 mm alatti havi összegeket kaptunk eredményül. Az ország legnagyobb részén a sokévi átlag mindössze $60\text{--}80\%$ -a hullott le, és országos átlagban is elmondható, hogy a hónap szárazabbnak bizonyult a normálnál. Hazánk teljes területének átlagát tekintve 21%-kal kevesebb esőt jegyeztünk az 1981–2010-es átlagnál. A napi csapadékösszegek országos átlagait tekintve egy kiugró értéket regisztráltunk július 8-án. Ezen a napon hullott legtöbb csapadék a hónapban, országos átlagban ($12,5\text{ mm}$). 5 mm feletti csapadékösszeget ezen kívül mindössze 25-én jegyeztünk. A hónap végén Püspökladány mellett tornádót is megfigyeltek olvasóink. 8 csapadékos nap fordult

elő országos átlagban, 2015. júliusban hazánk területén (normál: 9 nap), zivataros naptól pedig ugyanannyit jegyeztünk, mint a sokévi átlag (normál: 4 nap; 2015. július: 4 nap).

A hónap legnagyobb csapadékösszege:

142,8 mm, Gasztony (Vas megye)

A hónap legkisebb csapadékösszege:

8,7 mm, Kiszombor (Csongrád megye)

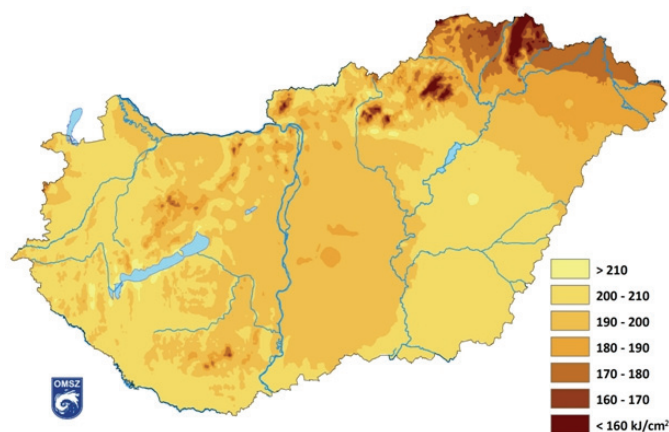
24 óra alatt lehullott maximális csapadék:

68,2 mm, Budapest–Népliget, július 8.

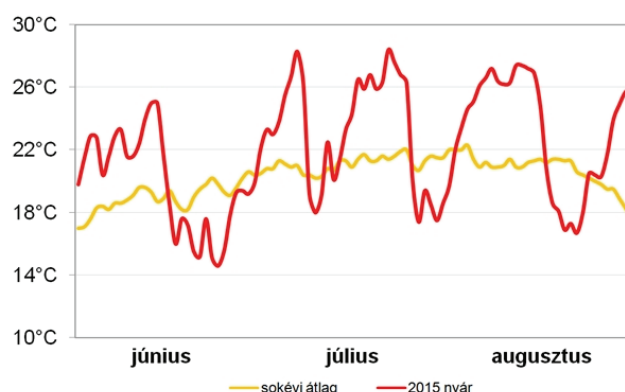
Augusztus. A 2015-ös augusztust a forróság jellemezte szerte hazánk területén és ez volt a 3. legforróbb augusztus az elmúlt 115 évben. A legmelegebb a Tiszántúli déli részén volt, itt a havi középhőmérséklet a 25 °C-ot is elérte. A havi országos átlaghőmérséklet 23,2 °C volt, mely 2,7 °C-kal magasabb a normálnál. A legnagyobb anomáliák jellemzően az ország északi felében fordultak elő, itt az adott területen megszokott átlaghőmérsékleteknél nem ritkán 4–5 °C-kal is magasabb értékeket kaptunk eredményül. Mindössze az augusztus 17–23. közötti időszak volt kissé enyhébb a normálnál. Nyári naptól a megszokottnál több fordult elő (normál: 22 nap; 2015. augusztus: 25 nap), ahogy hőségnaptól is (normál: 8; 2015.

Az augusztus hónapra vonatkozó csapadékmennyiség eloszlása meglehetősen változékony képet mutatott mind térben, mind időben, valamint igen jelentős különbségek adódtak még az egymáshoz közel fekvő tájegységek között is. A visszatérő, kiadós csapadékot adó záporoknak köszönhetően egyes területeken a 150 mm-t is meghaladta a havi csapadék mennyiség, különösen északon, a Tisza-tó környékén, a főváros térségében, Baja környékén és délkeleten. Ezzel szemben délnyugaton, illetve északkeleten voltak olyan területek, ahol még a 20 mm-t sem érte el az augusztusi érték. Az augusztusi csapadékmennyiség átlagosnak számít (104%), ugyanakkor a csapadék arányának eloszlása – mennyiségéhez hasonlóan – rendkívül változatos képet mutat.

Az adott területen megszokott csapadékmennyiségekhez képest a legnagyobb többlet a Tisza-tó környékén jelentkezett (240–280%), ugyanakkor délnyugaton, illetve északkeleten a normál mindössze 15–30%-át jegyeztük. A havi csapadékmennyiség legnagyobb része országos átlagban augusztus 15–22-e közötti időszakban hullott le. A 17-e bizonyult a legesősebb napnak az országban, az országos átlag több mint 19 mm volt. Sok helyen voltak ebben az időszakban rend-



3. ábra: A 2015-ös nyár globálsugárzás összege (kJ/cm²)



4. ábra: A 2015-ös nyár napi középhőmérsékleteinek eltérése a sokévi (1981-2010-es) átlagtól (°C)

augusztus: 18). A sokévi átlag alapján augusztusban, országos átlagban egy forró nap szokott jelentkezni, 2015-ben azonban 7-et jegyeztünk. Másodfokú hősérgiasztás (a napi középhőmérséklet legalább három egymást követő napon eléri, vagy meghaladja a 25 °C-ot) a következő napokon volt érvényben: 5., 6., 29., 30., 31., harmadfokú hősérgiasztás (a napi középhőmérséklet legalább három egymást követő napon eléri, vagy meghaladja a 27 °C-ot) pedig a 7–16. közötti 10 napban.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:

39,6 °C, Budakalász (Pest megye), augusztus 12.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:

4,7 °C, Zabar (Nógrád megye), augusztus 1

kívül nagy csapadékot adó felhőszakadások, 17-én Budapest belterületén 115 mm, 18-án Tiszaörvényben 120 mm volt a napi mennyiség. Eggyel kevesebb csapadékos napot jegyeztünk augusztusban a sokévi átlagnál (normál: 8; 2015. augusztus: 7 nap), zivataros naptól pedig 3-at figyelhattunk meg, amely megegyezik a normálértékkel.

A hónap legnagyobb csapadékösszege:

176,4 mm, Tiszaörvény (Jász-Nagykun-Szolnok megye)

A hónap legkisebb csapadékösszege:

7,3 mm, Kelebia (Bács-Kiskun megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék:

120,5 mm, Tiszaörvény (Jász-Nagykun-Szolnok megye), augusztus 18.

2015. nyár időjárási adatainak összesítője

Állomás	Napsütés (óra)		Sugárzás (kJcm ⁻²)	Hőmérséklet (°C)						Csapadék (mm)			Szél viharos napok
	évszak összes	eltérés		évszak közép	eltérés	max	napja	min	napja	évszak összes	átlag %-ában	r ≥ 1 mm napok	
Szombathely	882	145	205	21,7	2,2	36,9	07.07.	5,8	06.21.	125	56	15	2
Nagykanizsa	-	-	206	21,3	1,9	36,1	08.13.	6,2	06.21.	110	45	16	2
Siófok	-	-	-	23,3	2,0	36,1	07.23.	12,0	08.01.	143	82	12	13
Pécs	885	59	203	22,7	2,0	36,4	08.13.	9,0	06.22.	150	72	14	5
Budapest	882	52	191	23,0	1,9	37,6	08.12.	9,6	06.22.	190	107	14	3
Kékestető	782	10	189	17,3	2,3	29,6	07.08.	6,6	06.20.	217	83	25	8
Szolnok	831	16	195	23,0	1,9	37,6	08.12.	9,6	06.22.	143	78	15	3
Szeged	939	117	208	22,5	1,6	37,4	08.12.	7,0	06.22.	108	60	14	4
Nyíregyháza	-	-	194	22,4	2,4	37,8	07.23.	8,6	06.22.	65	37	15	3
Debrecen	930	103	194	22,8	2,4	36,8	08.12.	8,2	06.22.	142	78	22	3
Békéscsaba			208	22,8	2,1	37,3	07.23.	8,2	06.22.	204	110	15	2

TÖRTÉNELMI ARCKÉPEK HISTORICAL PORTRAITS

Dunkel Zoltán

Magyar Meteorológiai Társaság, 1525 Budapest Pf. 38., dunkel.z@met.hu

RÓNA ZSIGMOND

Turdosin, 1860. december 13. – Budapest, 1941. október 22.

A Magyar Meteorológiai Társaság első elnöke, alapító és tiszteleti tagja, a magyar meteorológiai és klimatológiai szakirodalom kiváló és buzgó művelője az akkori Árva vármegyei Turdosinban látta meg a napvilágot. Tanulmányait Kőrmöcbányán végezte el, 5 év alatt 7 osztályt, s végül jelesen leérettségizett. 1877-ben feljött Budapestre, a Műegyetemre, ahol 1883 novemberében matematika-fizika tanári oklevelet állítottak ki számára. Egy ideig nevelő vidéken majd gimnáziumi tanár. 1888-ban a miniszter kinevezte „*ideiglenes segédde*” a Meteorológiai Intézetbe. Konkoly-Thege Miklós 1890-es igazgatói kinevezése után az időjárás-előrejelzés fejlesztésével bízta meg. Már 1898 májusában kísérletet tett 2–3 napra érvényes

prognózis felállítására. Húsz évvel a ciklon modell és a frontelmélet előtt valószínűleg a légnyomási képződmények tartósabb elhelyezkedésének figyelembevételével készített előrejelzést. Konkoly-Thege 1899-ben maga mellé vette az ügykezelés vezetésére, igazgatónak. Az Intézet tudományos irányú fejlődése az ő érdeme. Amíg Konkoly-Thege megszerezte az Intézet működéséhez szükséges anyagi feltételeket és elegendő munkaerőt, addig a szellemi irányítás Róna kezében volt. Az Intézet osztályait ő fejlesztette ki, s a hálózat szervezésében is hatékonyan közreműködött. Már hazai és külföldi szakkörökben is elismert szakember volt, amikor professzorai, Cholnoky Jenő földrajztudós és Tangl Károly fizikai szakmai vezetése mellett, bölcsészdoktori szigorlatot tesz le 1905-ben a kolozsvári egyetemen, s „*A meteorológiai elemek terminusközepeinek visszavezetése valódi közepekre*” disszertációjára megkapta a doktori fokozatot. Szakirodalmi munkássága elsősorban az éghajlati kutatásokhoz köti. Első átfogó műve „*A légnyomás a magyar birodalomban 1861-1890-ig*”, 1897-ben jelent meg a Természettudományi Társulat kiadásában. Fraunhofer Lajossal közösen írt tanulmányuk a „*Magyarország hőmérsékleti viszonyai*” az OMFI VI. hivatalos kiadványa. Az általános ismereteket és a Föld éghajlatát leíró „*Éghajlat I.*” könyve 1907-ben lát napvilágot, míg a II. kötet, amely Magyarország éghajlatát tárgyalja 1909-ben. Ez a 696 oldalra terjedő hatalmas munka, 93 ábrával – nagyrészt térképekkel – munkásságának fő műve. Róna Zsigmondnak többször is volt alkalma külföldön bővíteni ismereteit, találkozni kiváló tudósokkal. 1897-ben járt a Sonnblickon, 1903-ban számos németországi intézetet keresett fel. Többek között megfordult Jénában a Zeiss műveknél, Magdeburgban ta-



lálkozott Assmann-nal, Hamburgban Köppennel, Stelitzben Fuess-szal. Konkoly-Thege nyugalomba vonulása után 1911-ben ő lett az intézet megbízott igazgatója, majd 1912-ben a Tudományos Akadémia javaslatára a király kinevezte az Intézet igazgatójává. Első intézkedése volt, hogy 1912-ben létrehozta az Aerológiai Osztályt Marczell György vezetésével. Így hazánkban már 1913-ban megindultak a rendszeres aerológiai megfigyelések pilót ballonokkal, majd műszert vivő nagy léggömbökkel. Igazgatóként is meglátogatott számos meteorológiai intézetet, s 1913-ban Lóczy Lajossal Madridban képviselte hazánkat a hidrológiai, klimatológiai és geológiai kongresszuson. 1922-ben, hatvanéves korában, másodszor is felmászott a

Sonnblickra. 1927-ben részt vett Lipcsében a légkörkutató nemzetközi bizottság ülésén. Alatta alakult meg a Magyar Meteorológiai Társaság 1925-ben, aminek első elnöke lett, s tizennégy éven át irányította működését és szerkesztette az *Időjárás* c. folyóiratot. Önzetlenségére és puritánságára jellemző, hogy – az akkoriban honorált – tevékenységéért nem fogadott el tiszteletdíjat és a szerkesztésért járó díjat is visszaadta a Társaságnak. A Meteorológiai Társaság kiadásában 1925-ben jelent meg „*A meteorológiai megfigyelések*” című könyve. Irodalmi működése 6 önálló kötetből, 88 eredeti értekezésből, 12 emlékbeszédből, 66 meteorológiai és klimatológiai munkáról szóló ismertetésből, 34 kisebb közleményből és több mint 300 honlapnyi időtartamra terjedő 25 időjá-

rási áttekintésből áll. Szakmai munkásságát külföldi társaságok is elismerték. A Német Meteorológiai Társaság 1911-ben levelező tagjává, az Osztrák Meteorológiai Társaság 1936-ban tiszteletbeli tagjává választotta. A hazai *Mathematikai és Fizikai Társulat*nak alapítása óta, a *Magyar Földrajzi Társaságnak* 1904 óta volt tagja. A *Természettudományi Társulattal* is szoros kapcsolatban volt 1891-től. 1909-ben királyi tanácsos címet kapott. 1927. július 31-én vonult nyugdíjba.

Leánya, Róna Rózsa 1978-ban alapítványt hozott létre édesapja emlékére, fiatal pályakezdő meteorológusok szakmai teljesítményének elismerésére. A Róna Zsigmond Alapítványt a Magyar Meteorológia Társaság azóta is kezeli, s évről évre kiosztja a Díjat. Róna emlékét őrzi még a Meteorológia Szolgálat Kitaibel Pál utcai épületében lévő, az Intézet Centenáriumára készült mellszobor. Élete során számos kitüntetésben részesült. Ezek megtekinthetők a Meteorológiai Múzeum tárlójában.

