

Gácsér Vera¹ – Molnár Ágnes²

STABIL IDŐJÁRÁSI HELYZETEK HATÁSA A BUDAPESTI LEVEGŐMINŐSÉGRE³

A légköri stabilitás kedvezőtlen hatással van a levegő minőségére, mivel mind a horizontális, mind a vertikális mozgásokat akadályozza. Kárpát-medencében stabil légrétegződést eredményező anticiklonális helyzetek télen is nyáron gyakran fordulnak elő. Vizsgálataink azt mutatják, hogy télen a NO₂ és a PM₁₀ koncentrációja követi leginkább az időjárás változásait. A téli stabil helyzetekben, amikor az ún. hidegpárnás helyzet akár tartósan fennmaradhat, az NO₂ és a PM₁₀ koncentrációja jelentősen megnő, és ezzel párhuzamosan romlanak a látási viszonyok. Nyáron a PM₁₀ mellett az ózon koncentrációjának növekedése meghatározó, amely a fotokémiai szmog képződésére utal. A vizsgálatok során az ózon koncentráció és a hőmérséklet között rendkívül erős korrelációt találtunk, ami megerősítette azt a feltevést, hogy a nyári időszakban a légszennyezetségi epizódok általában a hőhullámokhoz kapcsolódnak, melyek előfordulási valószínűsége éghajlatunk változásával már napjainkban is növekvő tendenciát mutat.

THE IMPACT OF STABIL WEATHER SITUATIONS ON AIR QUALITY IN BUDAPEST

Atmospheric stability has an unfavourable effect on the air quality due to hindering both vertical and horizontal movements in the air. High pressure weather systems which bring typical stable situation occur frequently in the Carpathian Basin both in summer and in winter. Our results showed that in winter mainly NO₂ and PM₁₀ concentrations follow the changes of weather conditions. In stable weather situation when low-level inversion can become persistent their concentration increases significantly while contemporaneously the visibility decreases. In summer beside the increasing PM₁₀ the elevated concentration of ozone – which indicates the development of photochemical smog - is also momentous. We have found strong correlation between ozone concentration and temperature which further supports that the air pollution episodes are frequently related to heat-waves. On the basis of long term data analysis more hot days, longer heat-waves can already be registered in Hungary.

BEVEZETÉS

Régóta ismert tény, hogy a légköri stabilitás nagymértékben befolyásolja a különböző légköri szennyezőanyagok koncentrációjának alakulását, mivel mind az advekciót, mind a keveredést gátolja a levegőben. A Kárpát-medencében magasnyomású légköri rendszerek, amelyek rendszerint stabil légrétegződést eredményeznek, a téli és a nyári időszakban egyaránt gyakran előfordulnak.

Amikor télen magasnyomás épül fel a Kárpát-medence felett, rendszerint alacsonyszintű inverzió alakul ki, illetve köd képződik, amely akár tartósan fennmaradhat. Ennek megfelelően jelentősen romlanak a látási viszonyok, és egyes légszennyező anyagok (PM₁₀, NO₂, SO₂, korom stb.) koncentrációja erőteljesen növekszik. Ez az ún. hidegpárnás helyzet a földrajzi adottságok miatt is könnyen kialakulhat, és hosszabb ideig fennállhat. Anticiklon hatására nyáron is kialakulhat stabil légrétegződés, amikor az erős besugárzás és a magas hőmérséklet hatására intenzív

¹ Pannon Egyetem, Föld- és Környezettudományi Intézet, gacserv@mk.uni-pannon.hu

² MTA-PE, Levegőkémiai Kutatócsoport, amolnar@almos.uni-pannon.hu

³ Lektorálta: Dr. Bottyán Zsolt egyetemi docens, Nemzeti Közzolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, bottyan.zsolt@uni-nke.hu



fotokémiai reakciók indulnak meg a troposzféra alsó rétegeiben. Ekkor az ózon nagy koncentrációja, valamint a csökkenő látótávolság is a fotokémiai szmog képződésére utalnak. Ilyen légszennyeződési epizódok rendszerint száraz és forró időszakokban jelentkeznek, amelyek általában hőhullámokhoz kapcsolódnak.

Hazánk területén a több mint 110 éves adatsorok elemzése alapján már az utóbbi évtizedekben is egyre több forró napot, egyre hosszabb hőhullámokat, illetve csapadékmentes időszakokat regisztrálhattunk [1][2]. Emellett az éghajlati szimulációk is szárazabbá váló éghajlatot, valamint a hőmérsékleti szélsőségek gyakoribbá válását jelzik térségünkben [3][4]. Ezzel összhangban pedig a nyári légszennyezettségi epizódok is gyakrabban fordulhatnak elő.

CÉLKITŰZÉSEK

Munkánk célja annak tanulmányozása volt, hogy a stabil időjárási helyzetek hogyan vezetnek extrém légszennyezettségi epizódok kialakulásához. Ennek érdekében vizsgáltuk az egyes légköri szennyezőanyagok (PM10, SO₂, NO₂, O₃) koncentrációjának időbeli változását, majd összehasonlítottuk a látótávolság, a relatív nedvesség, a hőmérséklet, a szélesebbesség, a légnyomás változásának időbeni menetével, és elemeztük az egyes epizódokhoz tartozó szinoptikus időjárási helyzetet. Emellett különböző módszerekkel becsültük az aeroszol részecskék extinkciós együtthatóját környezeti és száraz levegőre vonatkozóan, majd korreláció vizsgálatokat végeztünk a légköri szennyezőanyagok koncentrációja és a különböző meteorológiai paraméterek, illetve az aeroszol extinkció között.

ADATOK ÉS ELEMZÉSEK

Munkánk során Budapest levegőminőségét és időjárását tanulmányoztuk 2010 telén (január-február), valamint 2012 nyarán (június-július) a Marcell György Főobszervatórium légszennyezettségi és meteorológiai adatai alapján. Az óránkénti PM10, SO₂, NO₂ és O₃ koncentráció mérések adatsorai az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat honlapján érhetők el [5]. A PM10, a NO₂, az SO₂ és az O₃ koncentrációját rendre β-sugárzási abszorpció, kemilumineszcencia, UV fluoreszcencia és UV fotometria alapján határozták meg.

A különböző meteorológiai paraméterek (hőmérséklet, látótávolság, relatív nedvesség, szél, légnyomás, stb.) óránkénti adatsorai a NOAA adatbázisából (Integrated Surface Hourly Observations, NOAA National Data Center) származnak [6]. Az időjárási helyzet tanulmányozásához az Országos Meteorológiai Szolgálat szinoptikusai által analizált időjárási térképeket és az általuk készített időjárási helyzetleírásokat, elemzéseket is felhasználtunk [7].

Az aeroszol részecskék okozta fénygyengítés vizsgálatához első lépésben a környezeti extinkciós együttható értékeit határoztuk meg az óránkénti látótávolság adatokból (VSB) a Koschmieder-formula (1) segítségével:

$$\sigma_e = \frac{3,912}{VSB}. \quad (1)$$

Az így kapott extinkciós együtthatók (σ_e) azonban még tartalmazzák a környezeti relatív nedvesség „zavaró” hatását [8][9][10][11], melynek kiszűréséhez az ún. higroszkópos növekedési faktor (f) ismerete szükséges. Ezért második lépésben a gamma-módszerrel [12], a látótávolság és relatívnedvesség adatok felhasználásával, kiszámítottuk az aktuális nedvességtartalomra, illetve a száraz levegőre vonatkoztatott extinkciós együtthatót:

$$\sigma_e = 10^c \times \left(1 - \frac{RH(\%)}{100}\right)^{-\gamma} \quad (2)$$

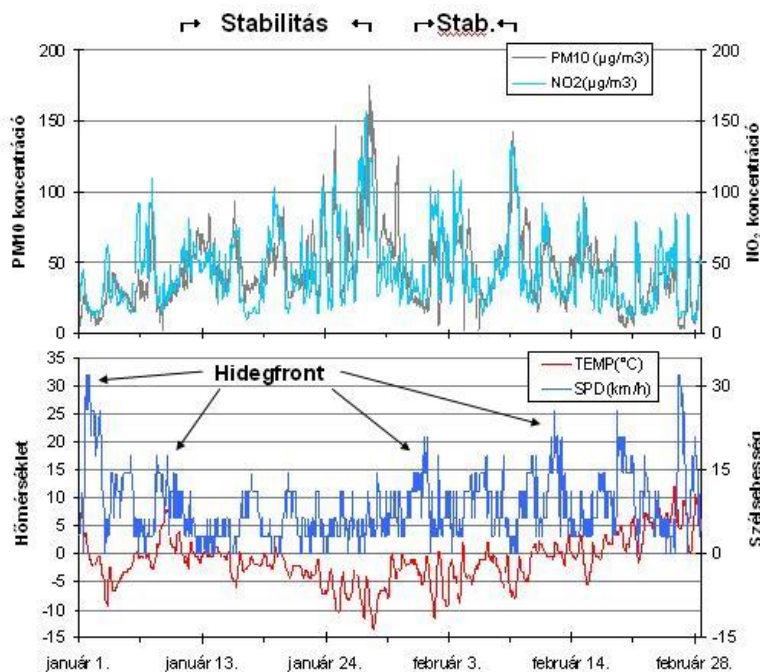
Az így kapott környezeti és száraz extinkciós együttható hányadosa megadja a higroszkópos növekedési faktor értékét (3), aminek segítségével meghatározhatjuk az első lépésben megkapott környezeti extinkciós együtthatóból a száraz levegőre vonatkoztatott, a látótávolság adatokból származtatott extinkciós együttható értékét órás időlépcsőben.

$$f = \frac{\sigma_e(RH)_{\text{környezeti}}}{\sigma_e(RH)_{\text{száraz}}} \quad (3)$$

EREDMÉNYEK

Téli időszak (2010)

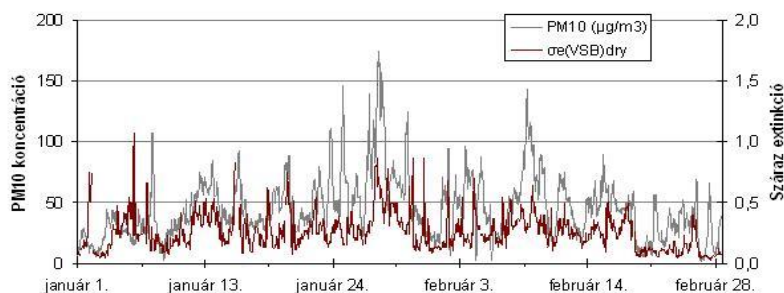
A légköri szennyezőanyagok koncentrációjának vizsgálata azt mutatta, hogy a téli időszakban a PM10 és a NO₂ koncentrációja követi leginkább az időjárási helyzet változásait (1. ábra).



1. ábra A PM10 és NO₂ koncentráció, valamint a hőmérséklet és a sebesség időbeli változása Budapesten, 2010. január-február hónapokban.

Stabil időjárási helyzetben a hőmérséklet csökkenése, és a gyenge légmozgás mutatja a sekély inverzió kialakulását, melynek következtében mindkét szennyezőanyag koncentrációja jelentősen megnőtt. A PM10 koncentrációja időnként a 24 órás egészségügyi határértéket ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

is meghaladta. Az ábrán megfigyelhető, hogy a NO₂ koncentrációja érzékenyen reagál a légmozgás változására, már rövid idejű szélélénkülés is számottevő koncentráció csökkenést okoz. A hidegfront betöréseket, amelyek a szél ugrásszerű erősödésével és a hőmérséklet hirtelen csökkenésével járnak, a NO₂ és a PM10 mennyiségének változása is jól követi. A PM10 koncentráció és a száraz extinkciós együttható időbeli menetének összehasonlítása (2. ábra) is az értékek párhuzamos változását mutatja. A PM10 és a száraz extinkciós együttható között szignifikáns ($p < 0,001$) kapcsolat mutatható ki ($r = 0,476$). Mindez azt jelzi, hogy a látótávolság, illetve a száraz extinkciós együttható értéke is alapvetően a PM10 koncentráció függvénye.



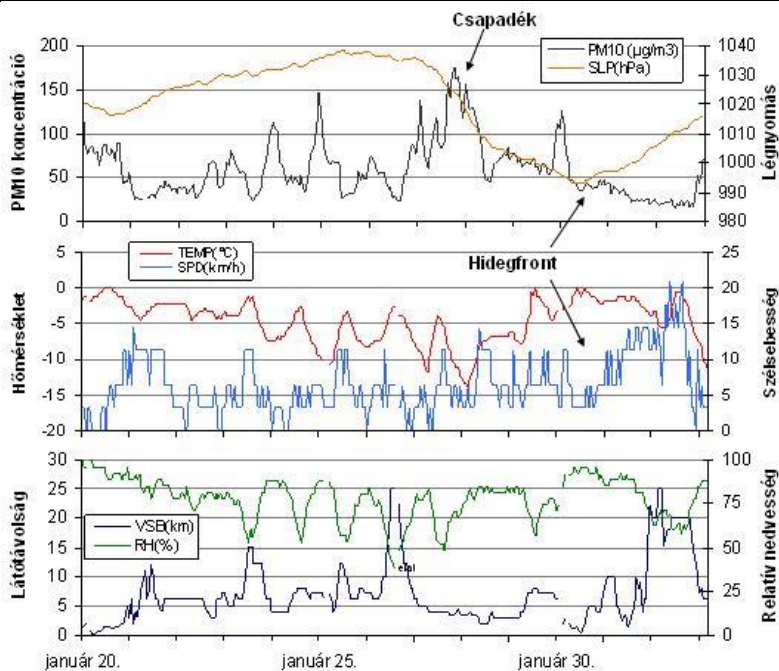
2. ábra A PM10 koncentráció és a száraz extinkciós együttható időbeli változása Budapesten, 2010. január-február hónapokban.

A PM10 és a száraz extinkció mellett, a különböző meteorológiai paraméterek és a légköri nyomanyagok közötti statisztikai kapcsolatot is vizsgáltuk (1. táblázat). Megállapítottuk, hogy a PM10 koncentrációja fordítottan arányos a hőmérséklettel ($r = -0,532$; $p < 0,001$) és a szélességgel ($r = -0,418$; $p < 0,001$). A száraz extinkció a PM10-en kívül a kén-dioxid koncentrációjával van kapcsolatban. Ennek magyarázata az, hogy a kén-dioxid az aeroszol részecskékben megtalálható szulfátvegyületek elővegyülete.

Korreláció	Látótávolság	Száraz extinkció	Hőmérséklet	Rel. nedvesség	Szélesség
SO ₂ (µg/m ³)	-0,123	0,384	-0,192	-0,244	-0,015
NO ₂ (µg/m ³)	-0,238	0,174	-0,414	0,100	-0,511
O ₃ (µg/m ³)	0,189	0,023	0,116	-0,400	0,390
PM10 (µg/m ³)	-0,427	0,476	-0,532	0,028	-0,418

1. táblázat Egyes légszennyező anyagok és meteorológiai paraméterek, illetve a száraz extinkciós együttható közötti korreláció értékei Budapesten, 2010. január-február hónapokban (a kiemelt értékek $p < 0,001$ szinten szignifikánsak)

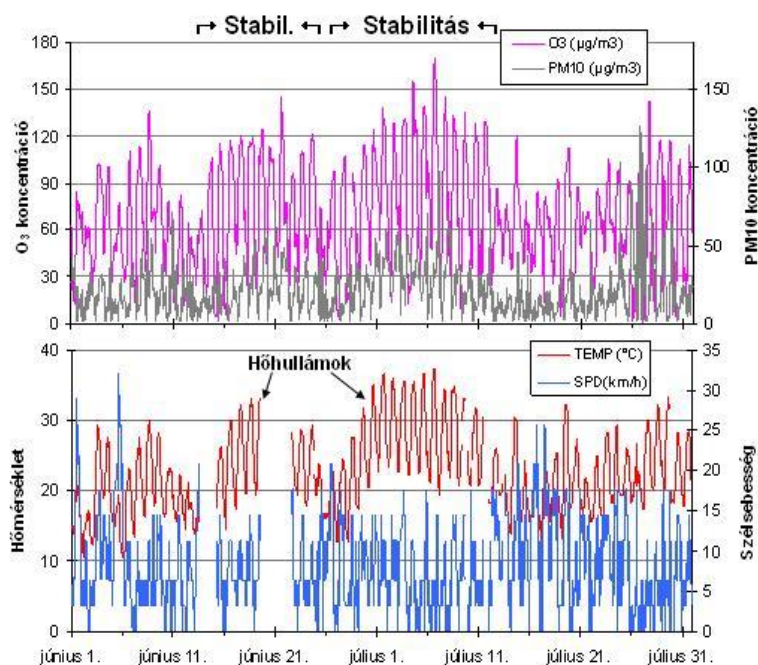
Egy 15 napos időszakot kiemelve esettanulmányt is végeztünk, amelyből jól látszik, hogy amikor anticiklon épül ki térségünk felett, a légnyomás emelkedésével párhuzamosan növekszik a PM10 koncentráció (3. ábra). Ezzel együtt a hőmérséklet csökkenő tendenciát mutat, ami ugyancsak a hidegpárna kiépülésére utal. Gyenge légmozgás, és magas páratartalom jellemzi az időszakot. Csupán a déli órákra csökken a relatív nedvesség, és ekkor javulnak átmenetileg a látási viszonyok. A PM10 mennyisége a csapadék érkezésekor kezd csökkenni, de jelentős és tartós koncentráció csökkenést a hidegfronthoz kapcsolódó markáns szelerősödés hoz, amikor részlege vagy teljes légtömegcsere történik. A hőmérséklet emelkedése jól mutatja a hidegpárna felszakadását, és ezzel párhuzamosan megfigyelhető a látótávolság jelentős növekedése.



3. ábra A PM10 koncentráció és egyes meteorológiai paraméterek alakulása Budapesten, 2010. január 20. és február 4. között.

Nyári időszak (2012)

A nyári időszakban a PM10 mellett a troposzférikus ózon koncentrációjának alakulása érdemel külön figyelmet. E két mennyiség többnyire párhuzamosan változik, és főként az

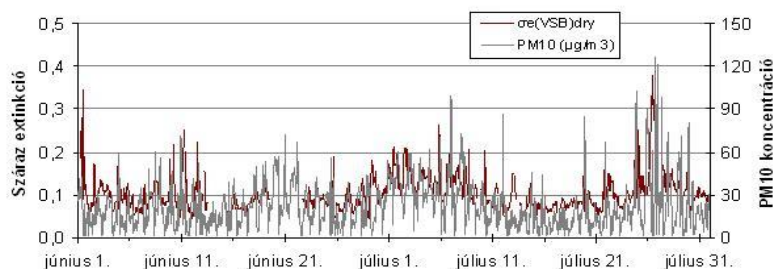


4. ábra A PM10 és O₃ koncentráció, valamint a hőmérséklet és a szélsebesség időbeli változása Budapesten, 2012. június-július hónapokban.

ózon koncentráció időbeli menete mutat erős kapcsolatot a hőmérséklet változásával. Az 4. ábrán jól látszik, hogy a stabil időjárási helyzetekben, amikor a hőmérséklet napról-napra egyre

magasabbra emelkedik, az ózon koncentráció is egyre magasabb értékeket ér el, és esetenként a 24 órás egészségügyi határértéket ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) is meghaladja. A stabil légrétegződés következtében ezekben az időszakokban jellemzően gyenge a légmozgás. A szélerosódással és átmeneti hőmérséklet-, illetve ózon koncentráció-csökkenéssel járó hidegfront átvonulások jól nyomon követhetők.

A száraz extinkciós együttható és a PM10 koncentráció időbeli alakulása (5. ábra) a nyári időszakban is összhangban van, az értékek többnyire egyirányban változnak. A korreláció vizsgálat szerint a látótávolság és a száraz extinkció nyáron is elsősorban a PM10 koncentráció függvénye.



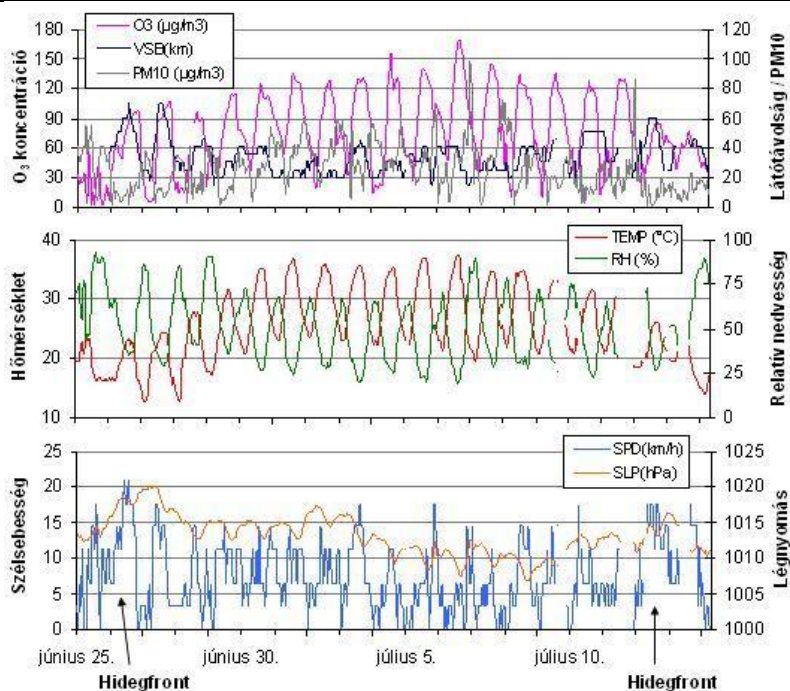
5. ábra A száraz extinkciós együttható és a PM10 koncentráció időbeli változása Budapesten, 2012. június-július hónapokban

A 2. táblázatból azonban kitűnik, hogy a troposzférikus ózon koncentrációja kiemelkedően erős lineáris összefüggést ($r=0,727$; $p<0,001$) mutat a hőmérséklettel, illetve erős inverz kapcsolatot a páratartalommal ($r=-0,709$; $p<0,001$). Ennek következtében jelentős szerepet játszik a látási viszonyok alakulásában. Ugyanis a száraz, erős besugárzással és magas hőmérséklettel járó időszakokban kedvezőek a feltételek az intenzív fotokémiai folyamatok lejátszódásához, amelyek legközismertebb következménye a megnövekedett ózon koncentráció.

Korreláció	Látótávolság	Száraz extinkció	Hőmérséklet	Rel. nedvesség	Szélesebesség
SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,029	0,186	0,437	-0,378	0,088
NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	-	-	-	-	-
O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,303	0,068	0,727	-0,709	0,243
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	-0,417	0,295	0,031	0,234	-0,281

2. táblázat Egyes légszennyező anyagok és meteorológiai paraméterek, illetve a száraz extinkciós együttható közötti korreláció értékei Budapesten, 2012. június-július hónapokban (a kiemelt értékek $p<0,001$ szinten szignifikánsak)

A nyári vizsgálatoknál is kiemeltünk egy rövidebb időszakot további elemzés céljából. Ez a június 25. és július 14. közötti időszak magába foglalja a 2012-es nyár második hőhullámát. A 6. ábrason jól nyomon követhető a hőmérséklet és ezzel párhuzamosan az ózon koncentráció emelkedése, valamint a relatív nedvesség ellentétes irányú változása. A troposzférikus ózon mennyiségének növekedése mellett a PM10 koncentráció emelkedése is megfigyelhető, és ezzel összhangban a látótávolság csökkenése. A hidegfront átvonulás frissítő hatása nem csak a hőmérséklet menetében, hanem a PM10 és az ózon koncentrációjának csökkenésében is megmutatkozik



6.ábra A PM10 koncentráció és egyes meteorológiai paraméterek alakulása Budapesten, 2010. június 25. és július 4. között

ÖSSZEGZÉS

Vizsgálataink azt mutatják, hogy a téli időszakokban leginkább a PM10 és a NO₂ koncentrációja követi az időjárási helyzet változásait. Az anticiklon kiépülésével fokozatosan növekszik koncentrációjuk, és elsősorban a PM10 esetében pár nap alatt át is lépheti az egészségügyi határértéket. Ezzel párhuzamosan nő az aeroszol extinkció és csökken a látótávolság is. A korreláció-számítások kimutatták, hogy a PM10 koncentráció szoros inverz kapcsolatban van a hőmérséklettel és a szélsébséggel. Ezzel összhangban a levegőminőség, a látótávolság és a hőmérséklet alakulásában rendszerint csak markáns hidegfront hozhat pozitív változást.

A PM10 koncentráció nyáron is jól követi az időjárás változását, és jelentős részben meghatározza a látótávolságot. Ugyanakkor a stabil időjárási helyzetekben nyáron a PM10 mellett az ózon koncentráció is jelentősen nő. Mivel a troposzférikus ózon mennyisége rendkívül erős összefüggést mutat a hőmérséklettel, és inverz kapcsolatot a relatív nedvességgel, a hőhullámok idején koncentrációja gyakran átlépi az egészségügyi határértéket. Ez azt jelenti, hogy a nyári időszakban az extrém hőmérsékleti és légszennyezettségi epizódok rendszerint összekapcsolódnak, így a növekvő gyakorisággal jelentkező hőhullámok nagy valószínűséggel a légszennyezettség miatt is fokozott megterhelést rónak az emberi szervezetre.

Köszönetnyilvánítás

A munkát a TÁMOP 4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0064 projektje támogatta.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BARTHOLY, J., PONGRÁCZ, R., 2007: Regional analysis of extreme temperature and precipitation indices for the Carpathian Basin from 1946 to 2001. *Global and Planetary Change* 57 (2007) 83–95, doi:10.1016/j.gloplacha.2006.11.002.
- [2] BARTHOLY, J., PONGRÁCZ, R., 2010: Analysis of precipitation conditions for the Carpathian Basin based on extreme indices in the 20th century and climate simulations for 2050 and 2100. *Physics and Chemistry of the Earth* 35 (2010) 43–51
- [3] IPCC, 2012: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.
- [4] LAKATOS M., SZÉPSZÓ G., BIHARI Z., KRÜZSELYI I., SZABÓ P., BARTHOLY J., PONGRÁCZ R., PIECZKA I., TORMA CS., 2012: Éghajlati szélsőségek változásai Magyarországon: közelmúlt és jövő. Országos Meteorológiai Szolgálat, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest
- [5] www.kvvm.hu/olm
- [6] www.ncdc.noaa.gov
- [7] www.met.hu
- [8] GÁCSER V., MOLNÁR Á.: A higroszkópos növekedés hatása az aeroszol extinkcióra. *Repüléstudományi Közlemények Különszám XXIV. Évfolyam 2012. Április 15.*
- [9] CHARLSON, R.J., SCHWARTZ, S.E., HALES, J.M., CESS, R.D., COAKLEY, J.A., HANSEN, J.E., HOFMANN, D.J.: Climate forcing by anthropogenic aerosols. *Science*. 1992/255, 423-430.
- [10] MALM, W.C., KREIDENWEIS, S.M.: The effects of models of aerosol hygroscopicity on the apportionment of extinction. *Atmospheric Environment*, 1997/31, 1965-1976.
- [11] LIU, X., CHENG, Y., ZHANG, Y., JUNG, J., SUGIMOTO, N., CHANG, S., KIM, Y., FAN, S. and ZENG, L.: Influences of relative humidity and particle chemical composition on aerosol scattering properties during the 2006 PRD campaign. *Atmospheric Environment*, 2008/42, 1525-1536
- [12] ZHOU, J., SWIETLICKI, E., BERG, O.H., AALTO, P.P., HÄMERI, K., NILSSON, E.D., LECK, C.: Hygroscopic properties of aerosol particles over Arctic Ocean during summer. *Journal of Geophysical Research*, 2001/106, 32111-32123