



Gácsér Vera<sup>1</sup> – Molnár Ágnes<sup>2</sup>

## A HIGROSKÓPOS NÖVEKEDÉS HATÁSA AZ AEROSZOL EXTINKCIÓRA<sup>3</sup>

*A látótávolság – mint a közúti és légi közlekedés fontos tényezője – a rövidhullámú sugárzásgyengítés függvénye, ami elsősorban az aeroszol részecskék extinkciójának eredménye. Ugyanakkor a részecskék vízmegkötő tulajdonsága miatt a levegő vízgőztartalma is befolyásolja a látótávolságot. A vízfelvétel során ugyanis a részecskék keresztmetszete többszörösére nőhet, és ezzel fényszóró tulajdonságuk is jelentősen megnő. Többéves adatsorok (1995-2002) alapján megállapítható, hogy a téli és nyári időszakból származó extinkciós együtthatók higroszkópos növekedése nagymértékben különbözik egymástól. E tanulmány annak vizsgálatára irányult, hogy a higroszkópos növekedésben tapasztalt határozott évszakos eltérés általános jelenségnek tekinthető-e. Ennek érdekében eltérő környezeti feltételek mellett vizsgáltuk az aeroszol extinkciós együtthatójának higroszkópos viselkedését magyarországi mérőállomások adatai alapján.*

### **THE EFFECT OF HYGROSCOPICITY ON THE AEROSOL EXTINCTION**

*Visibility, which is an important factor in surface and air traffic, is the function of the shortwave light extinction, mainly the extinction of the aerosol particles. Due to the hygroscopicity of the particles, relative humidity has also an important influence on the control of the visibility. Taking up water from the atmosphere, the size of the particles increases, consequently their optical properties change considerably. According to data from a longer period (1995-2002) hygroscopic growth of the extinction coefficient is substantially different in winter and in summer. The aim of this present work is to study if the seasonal variation of the hygroscopic growth rate can be considered as a general phenomenon. For this reason we examined the hygroscopic behavior of the aerosol extinction coefficient under different environments on the basis of the data of several Hungarian meteorological stations.*

## BEVEZETÉS

A légköri szennyező anyagok mennyisége, illetve koncentrációjuk változása fontos szerepet játszik mindennapi életünkben, hatással van életminőségünkre. A levegő szennyezettségi állapota közvetlenül befolyásolja a látótávolságot, amely turisztikai és tájvédelmi jelentősége mellett, elsősorban a közúti és a légi közlekedés fontos tényezője.

A látótávolság a rövidhullámú sugárzásgyengítés függvénye, ami a levegő molekulák (Rayleigh-szórás) és az aeroszol részecskék (Mie-szórás) együttes szórásának és elnyelésének az eredménye. Mivel a molekulák fénygyengítése gyakorlatilag állandónak tekinthető, a látótávolságot alapvetően az aeroszol részecskék extinkciója határozza meg. A látótávolság és a részecskék extinkciója közötti kapcsolatot az ún. Koschmieder-formula adja meg. Ismert tény, hogy a látótávolságot a levegő vízgőztartalma is jelentősen befolyásolja az aeroszol részecskék higroszkóposságának következtében. A vízfelvétel során ugyanis a részecskék keresztmetszete (optikai mérete) akár többszörösére is nőhet, és ennek következtében fényszóró tu-

<sup>1</sup> Pannon Egyetem, Föld- és Környezettudományi Tanszék, vera.gacser@chello.hu

<sup>2</sup> Pannon Egyetem, Föld- és Környezettudományi Tanszék

<sup>3</sup> Lektorálta: Dr. Bottyán Zsolt, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, bottyan.zsolt@uni-nke.hu

lajdonságuk is jelentősen megnő. A higroszkópos növekedést az extinkciós együtthatóra vonatkozó higroszkópos növekedési faktor segítségével lehet figyelembe venni.

Korábbi, 2009 telén és nyarán, Budapest-Lőrincen végzett mérési kampányok során – többek között – az extinkciós együttható alakulását is vizsgáltuk a relatív nedvesség függvényében. [1][2] Az eredmények azt mutatták, hogy a téli és a nyári időszakból származó extinkciós együtthatók higroszkópos növekedése nagymértékben különbözik egymástól. Többéves adatsorok alapján (1995-2002) megállapíthatjuk, hogy nem egyedi jelenségről van szó. A határozott évszakos eltérés minden vizsgált állomáson jelentkezik, az értékekben azonban jelentős különbségeket figyelhetünk meg – akár egymáshoz közeli mérőhelyeken is (pl. Budapest-Lőrinc, illetve Liszt Ferenc Repülőtér /Ferihegy/). E jelenségek magyarázata az aeroszol kémiai összetételében keresendő. Modellszámítások, előrejelzések készítése során nem elegendő tehát pusztán az aeroszol részecskék mennyiségét figyelembe venni, a kémiai összetétel, s ennek következtében a higroszkópos növekedést jellemző tényező is fontos az extinkció, illetve a látótávolság becslésekor.

## ELMÉLETI ALAPOK

Az aeroszol részecskék a Napból érkező rövidhullámú sugárzást szórják, illetve elnyelik. E két folyamat kombinációja adja a részecskék sugárzásgyengítését, azaz extinkcióját. A részecskék sugárzásgyengítő hatását alapvetően koncentrációjuk, kémiai összetételük és méret szerinti eloszlásuk határozza meg.

Vizsgálatok szerint a részecskék által okozott fénygyengítésben elsősorban a finom részecskék (0,1-1  $\mu\text{m}$ ) játszanak szerepet, melyek mérete összevethető a beeső fény hullámhosszával. Ebben a mérettartományban – melyet optikailag aktív tartománynak is nevezünk – a részecskék extinkciója a Mie-elmélettel írható le. A finom aeroszolt nagyrészt vízben oldódó anyagok (ammónium-, szulfát-, illetve nitrát-ionok), és széntartalmú (szerves vegyületek, korom) komponensek alkotják. Kutatási eredmények szerint a részecskék fényszórását elsősorban a szervetlen ionok (szulfátok, nitrátok), kisebb mértékben szerves anyagok okozzák. Ezzel szemben az elnyelés az aeroszol elemi széntartalmának (koromnak) köszönhető, bár a sivatagos területeken az elnyelés alakításában a durva részecskék tartományában ( $r > 1 \mu\text{m}$ ) lévő vas-oxidok is szerepet játszanak [3]. A részecskék sugárzásgyengítése mellett, a fény atomokon, molekulákon is szóródik. Ebben az esetben ( $d \ll \text{fény hullámhossza}$ ) molekuláris vagy Rayleigh-szórásról beszélünk. A Rayleigh-szórás nagysága a molekulák számától függ, értéke a talajközeli levegőben csak kismértékben változik. Mivel a Rayleigh-szórás gyakorlatilag állandó, ezért a látótávolságot alapvetően az aeroszol részecskék fényextinkciója, azaz a részecskék optikai tulajdonságai határozzák meg. A látótávolság és a részecskék fénygyengítése közötti kapcsolatot az ún. Koschmieder-formula adja meg:

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

Az összefüggésben  $VIS$  és  $\sigma_e$  rendre a látótávolság (km-ben) és a részecskék 0,55 $\mu\text{m}$ -es hullámhosszra vonatkozó extinkciós együtthatója (km<sup>-1</sup>-ben).

A látótávolságot az aeroszol koncentrációja mellett, a levegő vízgőztartalma is jelentősen befolyásolja. Bár a vízmolekulák fénygyengítése önmagukban nem számottevő, az aeroszol ré-

szecskék higroszkópossága, vízmegkötő tulajdonsága miatt vízgőztartalom változása jelentős hatással van a látótávolságra. Az aeroszol vízmegkötő tulajdonságát a részecskék kémiai összetétele határozza meg. A vízfelvétel során a részecskék mérete (és a fényszórásban fontos keresztmetszete) akár többszörösére is megnövekedhet, s ennek következtében fényszóró tulajdonságuk is jelentősen megnő. [4][5][6] A légkör vízgőztartalma miatt fellépő ún. higroszkópos növekedést az extinkciós együtthatóra vonatkozó higroszkópos növekedési faktor segítségével lehet figyelembe venni.

## CÉLKITŰZÉS

Korábbi munkánkban, melyhez két mérési kampány kapcsolódott 2009 telén és nyarán Budapest-Lőrincen, már tanulmányoztuk a látótávolság és a relatív nedvesség kapcsolatát [2]. Az eredmények azt mutatták, hogy a látótávolság adatokból származtatott extinkciós együttható higroszkópos növekedése jelentősen eltér a téli és a nyári időszakban, télen – a relatív nedvesség emelkedésével – jóval erőteljesebben növekszik az extinkciós együttható. Jelenlegi munkánkban azt vizsgáltuk, hogy az extinkciós együttható szezonálisan eltérő higroszkópos növekedése általános jelenségnek tekinthető-e. Ennek érdekében néhány magyarországi szinoptikus mérőállomás többéves (1995-2002) látótávolság és relatív nedvesség adatait (NOAA) dolgoztuk fel.

## VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

### Mérési adatok

Munkánkban az Országos Meteorológiai Szolgálat földfelszíni mérőhálózatának 1995 és 2002 között mért adatait használtuk föl (Integrated Surface Hourly Observations, NOAA National Data Center). [7] Előadásunkban nyolc helyszínre (Budapest-Lőrinc, Liszt Ferenc Repülőtér, Veszprém, Szentkirályszabadja, Szolnok, Kecskemét, Siófok és Kékestető) vonatkozó eredményeinket mutatjuk be. A látótávolság adatokból (vizuális megfigyelés) a Koschmieder-formulával származtattuk a környezeti extinkciós együttható értékét. A meteorológiai paraméterek (látótávolság, relatív nedvesség) órás felbontásban álltak rendelkezésre.

### A higroszkópos növekedés figyelembe vétele

Az aeroszol által okozott fénygyengítésben a finom részecskék játszanak meghatározó szerepet, melyeket nagyrészt vízben oldódó anyagok (ammónium-, szulfát-, illetve nitrát-ionok) alkotják. Ennek következtében extinkciójuk jelentős mértékben függ a környezeti levegő relatív nedvességétől. [6][8][9] Az extinkciós együttható higroszkópos növekedését az ún. higroszkópos növekedési faktor ( $f$ ) segítségével adhatjuk meg [10], amely a környezeti, illetve a száraz levegőre (általában 40%-os relatív nedvességre) becsült extinkciós együttható hányadosa:

$$f = \frac{\sigma_e(RH)_{\text{könyezeti}}}{\sigma_e(RH)_{\text{száraz}}} \quad (2)$$

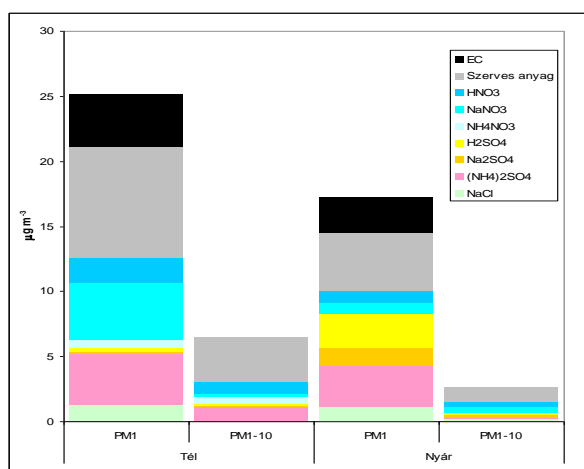
A száraz levegőre vonatkozó extinkciós együttható becsülésére alkalmazható az ún.  $\gamma$ -módszer, amely az extinkciós együttható ( $\sigma_e$ ) és légkör relatív nedvességtartalma (RH(%)) közötti összefüggést írja le [10]:

$$\sigma_e = 10^c \times \left(1 - \frac{RH(\%)}{100}\right)^{-\gamma} \quad (3)$$

A modellben szereplő  $c$  és  $\gamma$  értékek a látótávolságból számolt extinkciós együttható, valamint a hozzájuk tartozó relatív nedvességtartalom segítségével számolhatók ki.

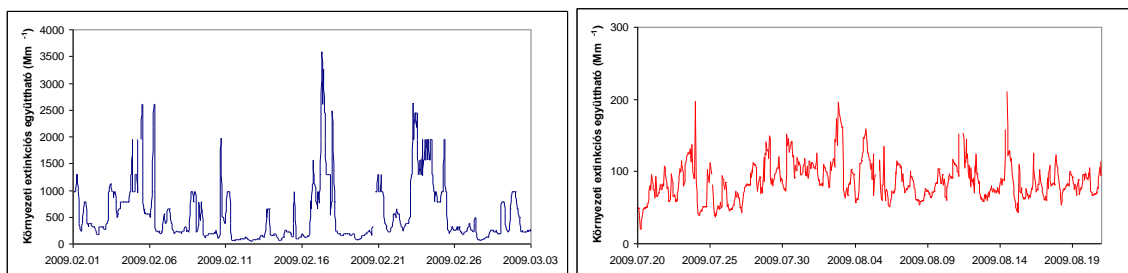
## AZ EXTINKCIÓS EGYÜTTHATÓ AZ AEROSZOLKONCENTRÁCIÓ ÉS A KÉMIAI ÖSSZETÉTEL FÜGGVÉNYÉBEN

A Budapest-Lőrincen mért adatok alapján elmondható, hogy az aeroszol kémiai összetételét télen a nitrátsók, a salétromsav és a szerves szén, nyáron a kénsav, szulfátsók magas aránya jellemezte. A PM1 és PM1-10 kémiai összetételét mindkét évszakban az 1. ábra mutatja be.



1. ábra PM1 és PM1-10 összetétele Budapesten

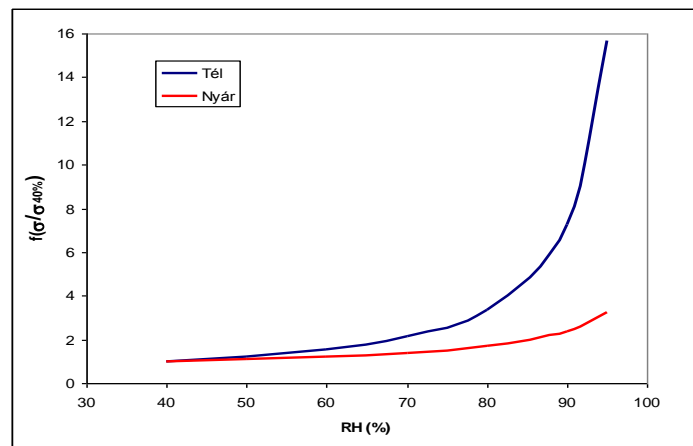
A kémiai összetétel vizsgálatával párhuzamosan a látótávolság adatokból számolt extinkciós együttható alakulását is vizsgáltuk. A 2. ábrán megfigyelhető, hogy a környezeti extinkciós együttható mindkét évszakban meglehetősen nagy változékonyságot mutat, és a téli időszakot jóval magasabb értékek jellemzik, mint a nyárit. A téli átlagérték  $550 \text{ Mm}^{-1}$ , míg a nyári ennek körülbelül ötöde, mindössze  $103 \text{ Mm}^{-1}$ . E jelentős eltérésnek csupán egy részére adhat magyarázatot a két időszakban tapasztalt tömegkoncentrációbeli eltérés. Feltételezésünk szerint különbség kialakulásában a levegő páratartalmának, illetve ezzel összefüggésben a részecskék higroszkóposságának van meghatározó szerepe.



2. ábra A látótávolságból számolt környezeti extinkciós együttható Budapest-Lőrincen 2009 telén és nyarán

## AZ EXTINKCIÓS EGYÜTTHATÓ A RELATÍV NEDVESSÉG FÜGGVÉNYÉBEN

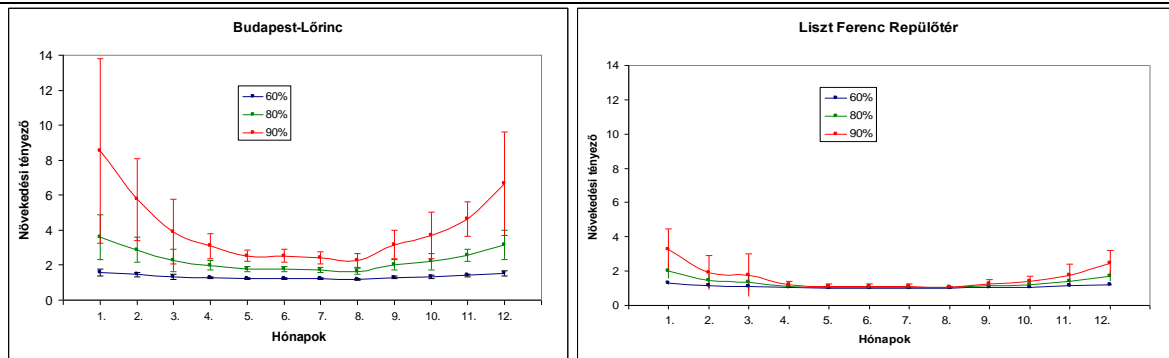
A korábban leírt módszerrel mindkét mintavételi időszakra vonatkozóan vizsgáltuk az extinkciós együttható higroszkópos növekedését a relatív nedvesség függvényében. Eredményeink azt mutatták, hogy télen – a páratartalom emelkedésével – jóval erőteljesebben növekszik az extinkciós együttható, mint nyáron (3. ábra). Pl. a higroszkópos növekedési tényező 90 %-os relatív nedvességnél télen 4,6, míg nyáron 2,3 volt. Ez arra utal, hogy ugyanakkora száraz aeroszol koncentráció és 90%-os relatív nedvesség esetén, télen az extinkciós együttható tényleges értéke kétszerese a nyárinak, illetve a látótávolság fele akkora télen, mint nyáron.



3. ábra A számolt extinkciós együttható változása a relatív nedvesség függvényében 2009. telén és nyáron Budapest-Lőrincen

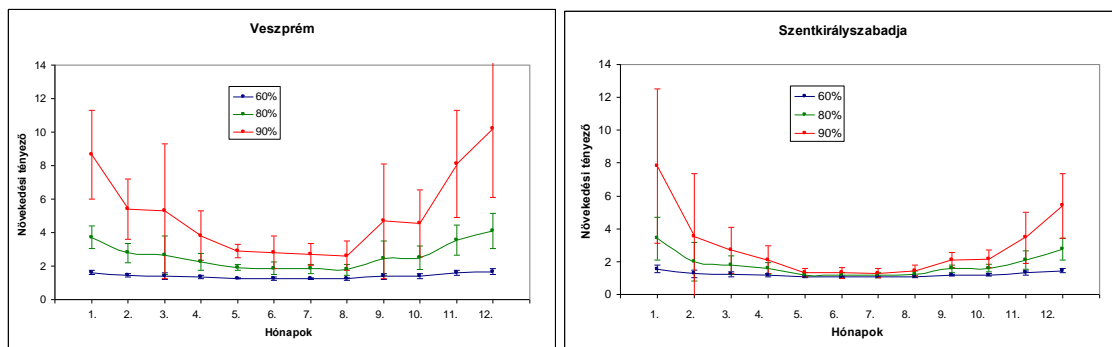
Ezen eredményekből kiindulva végeztük el először ugyanerre az állomásra (Budapest-Lőrinc) 1995. és 2002. közötti adatsorok feldolgozását. Kiderült, hogy a higroszkópos növekedési faktor többéves adatsorok alapján is jelentős évszakos változékonyságot mutat (4. ábra), és a 2009-es mérési kampány során tapasztaltak beleillenek a hosszabb adatsorok alapján kirajzoló éves menetbe.

Figyelembe véve az aeroszol kémiai összetételét, a higroszkópos növekedési tényezőben tapasztalt jelentős évszakos különbséget minden bizonnyal az aeroszol minták vízdoldható frakciójának változása okozhatja. Míg a szerves és az elemi szén, valamint az ammónium-szulfát részaránya a PM10-ben hozzávetőlegesen azonos volt mindkét évszakban, addig a nitrát tartalmú vegyületek koncentrációja a télen gyűjtött aeroszol mintákban közel kétszerese volt a nyáriaknak. A higroszkópos növekedési tényező téli nagy értéke valószínűleg a különböző nitrátsók (ammónium-, és nátrium-nitrát) és a salétromsav megnövekedett koncentrációja miatt alakul ki. Mindezt alátámaszthatja az is, hogy 60%-os relatív nedvességen a növekedés mértéke nem jelentős, ugyanis a nitrát tartalmú sók elfolyósodási pontja 64-66%-os relatív nedvességen van. (Az elfolyósodási pont az a relatív nedvesség, amelyen az adott vegyület/részecske fázist vált, s hirtelen növekedésnek indul.)



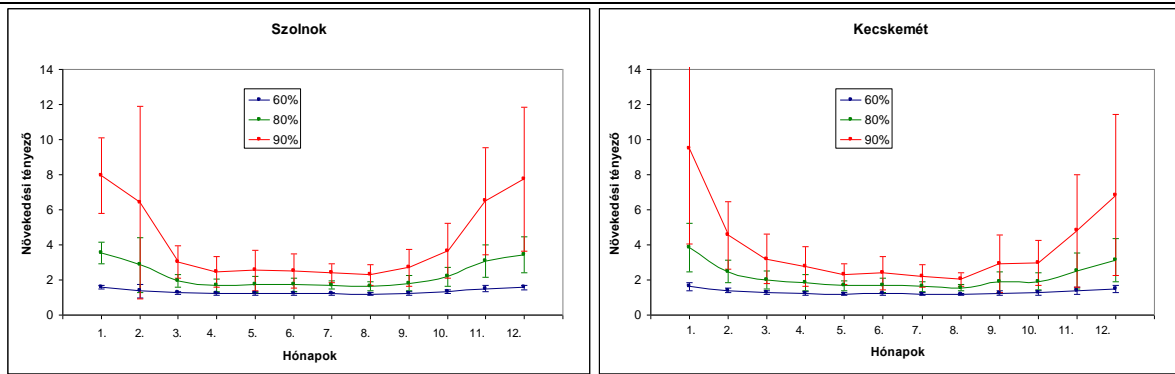
4. ábra A higroszkópos növekedési faktor éves menete Budapest-Lőrincen és a Liszt Ferenc Repülőtéren 1995-2002

Felvetődik a kérdés, hogy a leírt jelenség általánosnak tekinthető-e. Ennek érdekében további mérőállomások látótávolság és relatív nedvesség adatait dolgoztuk fel az 1995. és 2002. közötti időszakra vonatkozóan. Elsőként a szintén Budapesten fekvő Liszt Ferenc Repülőtér adatsorai alapján számolt növekedési tényezőt vizsgáltuk. A szezonális jelleg itt is megfigyelhető, de az értékek jóval kisebbek a Lőrincen mérteknél (4. ábra). Ennek oka minden bizonnyal a speciális helyi forrás (repülés) miatt az aeroszol eltérő kémiai összetételében, a kevésbé higroszkópos szerves vegyületek nagyobb arányában keresendő. Ezt alátámasztja az a tény is, hogy Veszprém és Szentkirályszabadja esetében is hasonló különbségeket találtunk, bár kisebb mértékűt (5. ábra).



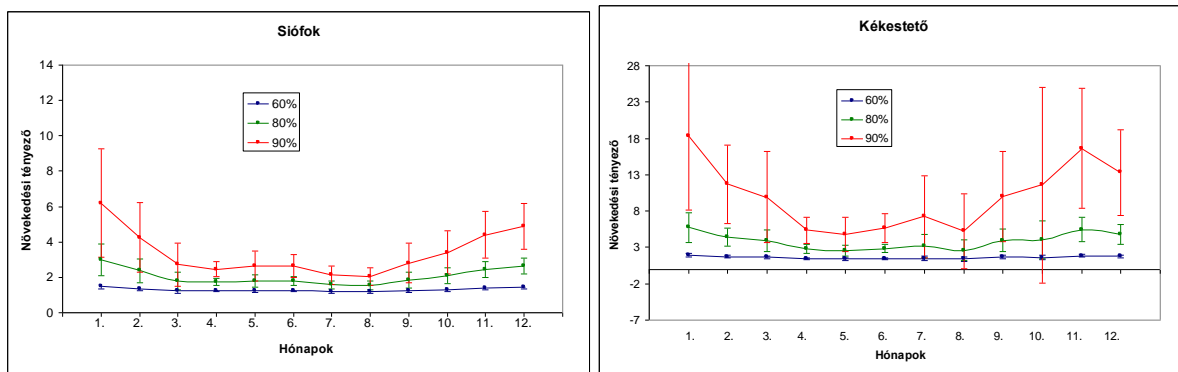
5. ábra A higroszkópos növekedési faktor éves menete Veszprémben és Szentkirályszabadján 1995-2002

Szolnok és Kecskemét – a fővároshoz képest kisebb – városi területet reprezentálják. Ezen állomások adatsorainál is megfigyelhető a határozott éves menet (6. ábra). A budapest-lőrinczi és a veszprémi adatokhoz képest, Szolnokon és Kecskeméten a higroszkópos növekedésben megfigyelt minimum értékek nem kizárólag csak a nyári, hanem a tavaszi hónapokra is jellemzőek. Mindkét városnál jelentkezhet a homokos alföldi környezet (durva aeroszol részecskék) hatása, valamint a higroszkópos növekedést befolyásolhatják a repülőterek, mint a speciális szennyezőanyag forrásai is.



6. ábra A higroszkópos növekedési faktor éves menete Szolnokon és Kecskeméten 1995-2002

Eddigi vizsgálataink még két állomásra terjedtek ki (7. ábra). Az egyik a Balaton partján fekvő Siófok, a másik hazánk legmagasabb pontja a Kékestető. Az előbbinél a nagy összefüggő vízfelszín hatásával kell számolni. Minden bizonnyal ennek köszönhető a higroszkópos növekedés téli maximuma és nyári minimuma közötti kisebb eltérés. Kékestető a városi és ipari szennyezőanyag forrásoktól távol helyezkedik el, és meg kell említeni, hogy esetenként kiemelkedik a felszíni határrétegből. Az éves menetet tekintve itt figyelhetjük meg a legmagasabb értékeket. Nemcsak a téli maximumok szembetűnően magasak, hanem a nyári minimumok is. A higroszkópos növekedés mértéke nyáron megközelíti azt az értéket, amit a városi környezetben a téli időszakban tapasztaltunk.



7. ábra A higroszkópos növekedési faktor éves menete Siófokon és a Kékestetőn 1995-2002

A felsorolt eredmények azt mutatják, hogy nemcsak az aeroszol mennyisége, azaz a részecskék tömegkoncentrációja határozza meg az extinkciós együttható alakulását. A levegő nedvességtartalma és az aeroszol részecskék kémiai összetétele – egymással szoros összefüggésben – jelentősen befolyásolja az aeroszol fénygyengítő hatását.

Az eddigi vizsgálatok alapján elmondhatjuk, hogy

- A látótávolság (extinkciós együttható) alakulását elsősorban az aeroszol koncentrációjának változása idézi elő, de az aeroszol részecskék higroszkóposága miatt a légkör nedvességtartalma is befolyásolja.
- Az aeroszol részecskék mennyiségén túl, kémiai összetételüknek is fontos szerepe van, amely hatással van a higroszkópos növekedési tényező értékére.
- Az extinkciós együttható higroszkópos növekedésében jelentős évszakos eltérés mutatkozik, amely az aeroszol kémiai összetételének változásával magyarázható (vízben oldódó frakció – nitrátok)
- A higroszkópos növekedési tényező éves menetében megfigyelhető szezonális eltérés mindentől jelentkezik, de az értékekben jelentős eltérések mutatkozhatnak, melynek hátterében az eltérő kémiai összetétel, a különböző környezeti feltételek, a speciális helyi források állhatnak.

### Köszönetnyilvánítás

A munkát a TÁMOP 4.2.2/B-10/1-2010-0025 projektje támogatta.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] PÁRKÁNYI Dénes: A látótávolság változása a relatív nedvesség, valamint a légköri aeroszol részecskék kémiai összetételének függvényében. Diplomadolgozat. Pannon Egyetem, Veszprém, 2010.
- [2] MOLNÁR Á., GÁCSER V.: Látótávolság és légszennyezettség. Repüléstudományi Közlemények Különszám 2011. Április 15.
- [3] MÉSZÁROS Ernő: Levegőkémia. Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, 1997
- [4] 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.
- [5] MALM, W.C., KREIDENWEIS, S.M.: The effects of models of aerosol hygroscopicity on the apportionment of extinction. *Atmospheric Environment*, 1997/31, 1965-1976.
- [6] 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.
- [7] <http://ols.nndc.noaa.gov>
- [8] DEBELL, L.J., GEBHART, K.A., HAND, J.L., MALM, W.C., PITCHFORD, M.L., SCHICHEL, B.A., WHITE, W.H. IMPROVE (Interagency Monitoring of Protected Visual Environments): Spatial and Seasonal Patterns and Temporal Variability of Haze and its Constituents in the United States. Report IV CIRA Report ISSN: 0737-5352-74, Colorado State Univ., Fort Collins, 2006.
- [9] HORVATH, H.: Effect on Visibility, Weather and Climate. In: *Atmospheric Acidity Sources, Consequences and Abatement* (Eds: Radojvic, M. and Harrison R.M), Elsevier Applied Science London and New York, 1992.
- [10] 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,