

## **LÁTÓTÁVOLSÁG ÉS LÉGSZENNYEZETTSÉG**

### **BEVEZETÉS**

A légszennyező anyagok légköri mennyisége, illetve koncentrációjuk változása fontos szerepet játszik mindennapi életünkben, befolyásolja életminőségünket. A levegő szennyezettségi állapota, a levegő fizikai és kémiai állapota többek között közvetlenül befolyásolja a látótávolságot, amely turisztikai és tájvédelmi jelentősége mellett, elsősorban a közúti, a légi, stb. közlekedés fontos tényezője. Főként a tengerentúlon számos országban kutatatják a látótávolság és a légszennyező anyagok koncentrációja közötti kapcsolatot [1, 2, 3, 4], Európában – és ezen belül Magyarországon – azonban kevés ilyen irányú vizsgálat készült [5, 6, 7]. A kutatók egyetértenek abban, hogy a látótávolság, amelyet rendszeresen mérnek a szinoptikus meteorológiai állomásokon, viszonylag egyszerű jelzője a levegőkörnyezet állapotának, és a látótávolságban megfigyelhető trendek elemzésével a légszennyező anyagok koncentrációjában bekövetkezett változások is nyomon követhetők.

A Föld-légkör rendszer energiájának túlnyomó részét a Napból kapja, a rövidhullámú sugárzás ( $\lambda < 4 \mu\text{m}$ ) 98%-a a látható fény tartományába (0,38 – 0,76  $\mu\text{m}$ ) esik. A légköri nyomanyagok közül az aeroszol részecskék vesznek leginkább részt a rövidhullámú sugárzási energia szabályozásában. Egyrészt befolyásolják a Föld felszínére érkező rövidhullámú sugárzás mennyiségét, ezáltal az éghajlatot, másrészt fontos szerepük van a látótávolság alakításában.

A légköri aeroszol a levegőben finoman eloszlott apró, szilárd vagy cseppfolyós részecskék együttes rendszere. A troposzférában a légköri aeroszol részecskék száma térben és időben igen változó, amely függ a források és a nyelők erősségétől, illetve a keveredési és szállítási folyamatok hatékonyságától. A részecskék nagysága a molekulacsoportoktól (kb.  $10^{-3} \mu\text{m}$ ) egészen a 100  $\mu\text{m}$ -es nagyságrendig terjed. A légköri mérések szerint az aeroszol részecskék nagyság szerinti eloszlása három (nukleációs, akkumulációs és durva) logaritmikus normál eloszlásból tevődik össze, amely a keletkezési és a dinamikus folyamatok eredményeképp jön létre. E folyamatok hatékonysága az adott pillanatban a környezeti feltételek függvénye. Összefoglaló néven, az 1  $\mu\text{m}$ -nél kisebb részecskéket finom, míg a nagyobbakat durva aeroszol részecskéknek nevezik. A finom aeroszolt nagyrészt vízben oldódó anyagok (pl. ammónium-szulfát) és széntartalmú (szerves vegyületek, korom) komponensek alkotják. A durva („por”) részecskék ( $r > 1 \mu\text{m}$ ) kémiai összetételét ugyanakkor, a felszínt felépítő alkotók (pl. szilikátok, tengeri só) jellemzik.

## ELMÉLETI ALAPOK

Az aeroszol részecskék szórják és elnyelik a napsugárzást. E két folyamat kombinációját sugárzásgyengítésnek, extinkciónak nevezzük. A részecskék sugárzásgyengítő hatását koncentrációjuk, kémiai összetételük és méret szerinti eloszlásuk határozza meg. Az aeroszol optikai tulajdonságai a fényszórási és fényelnyelési együtthatókkal jellemezhetők. A sugárzás-átvitel a jól ismert Beer-Lambert-törvénnyel írható le:

$$I = I_0 \cdot e^{-\sigma_e \cdot z} \quad (1)$$

$I$  és  $I_0$  rendre a felszínre és a légkör tetejére érkező sugárzási áram,  $z$  a fény légkörben megtett úthossza, míg  $\sigma_e$  a részecskék extinkciós (szórási+elnyelési) együtthatója. Az aeroszol részecskék szórása és abszorpciója matematikailag a Mie-elmélettel írható le, amely szerint a részecskék fényextinkciója abban a mérettartományban a legjelentősebb, amelyben a részecskék mérete összevethető a beeső fény hullámhosszával. Ez a látható tartományban az aeroszol részecskék 0,1-1  $\mu\text{m}$  közti nagyságintervallumát jelenti, amelyet optikailag aktív tartománynak is nevezünk. 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 elnyelésben a durva részecskékben található vas-oxidok is szerepet játszanak [8]. A részecskék sugárzásgyengítése mellett, a fény atomokon, molekulákon is szóródik. Ekkor molekuláris vagy Rayleigh-szórásról ( $d \ll \lambda$  fény hullámhossza) beszélünk. A Rayleigh-szórás nagysága a molekulák számától függ, értéke a talajközeli levegőben csak kismértékben változik.

A látótávolság a rövidhullámú sugárzásgyengítés függvénye, ami a molekulák (Rayleigh-szórás) és a részecskék (Mie-szórás) együttes extinkciójának az eredménye. Mivel a Rayleigh-szórás gyakorlatilag állandó, ezért a látótávolságot a részecskék fényextinkciója határozza meg. A látótávolság és a részecskék fénygyengítése közötti kapcsolatot az ún. Koschmieder-formula adja meg:

$$\sigma_e = \frac{3,912}{VIS}, \quad (2)$$

Az összefüggésben  $VIS$  és  $\sigma_e$  rendre a látótávolság (km-ben) és a részecskék 0,55 $\mu\text{m}$ -es hullámhosszra vonatkozó extinkciós együtthatója ( $\text{km}^{-1}$ -ben). A Rayleigh-szórás átlagos értéke 0,55 $\mu\text{m}$  hullámhosszon 11,66  $\text{Mm}^{-1}$ , ami 337 km látótávolságot eredményezne.

Régóta ismert tény, hogy a látótávolságot az aeroszol koncentrációja mellett, a levegő vízgőztartalma is jelentősen befolyásolja. Bár a vízmolekulák fénygyengítése önmagukban nem számottevő, az aeroszol részecskék higroszkóposága, vízmegkötő tulajdonsága miatt a vízgőztartalom változása jelentős hatással van a látótávolságra. A vízfelvétel során a részecskék

mérete (és a fényszórásban fontos keresztmetszete) akár többszörösére is megnövekedhet, s ennek következtében fényszóró tulajdonságuk is megnő [9, 10, 11]. A légkör vízgőztartalma miatt fellépő ún. higroszkópos növekedést az extinkciós együtthatóra vonatkozó higroszkópos növekedési faktor segítségével lehet figyelembe venni.

Az aeroszol részecskék optikai viselkedését méretük mellett kémiai összetételük (törésmutatójuk) határozza meg. A különböző kutatási eredmények (pl. az Egyesült Államokban az IMPROVE program keretében) arra utalnak, hogy az aeroszol kémiai összetétele alapján becsülhető, rekonstruálható a fénygyengítési együttható [1]. A kémiai összetétel és az extinkciós együttható közti kapcsolatot az alábbi egyszerű összefüggéssel lehet becsülni, ahol  $m_i$  az aeroszol részecskék  $i$ . komponensének tömegkoncentrációja,  $\alpha_i$  pedig az  $i$ . komponens ún. tömeggyengítési együtthatója [12].

$$\sigma_e = \sum_0^n \alpha_i m_i, \quad (3)$$

## CÉLKITŰZÉS

A többéves, magyarországi látótávolság adatok értékelése szerint az „európai trendnek” megfelelően [5, 14], Magyarországon is nő a látótávolság értéke [6, 7]. Ez minden bizonnyal az aeroszol részecskék légköri koncentrációjának csökkenésével, illetve az optikailag aktív részecskék légköri keletkezéséhez szükséges ún. elővegyületek (pl. kén-dioxid) kibocsátásának mérséklődésével függ össze. Közleményünkben összefoglaljuk, hogy több évtizedes látótávolság adatsorok hogyan használhatók fel az aeroszol extinkciós együtthatójának becslésére. Ezek az adatok hozzájárulhatnak az aeroszol részecskék sugárzásgyengítő (éghajlati) hatásának vizsgálatához. Másrészt, a látótávolság és aeroszol részecskék közötti kapcsolat elemzésével bemutatjuk, hogy az extinkciós együttható értéke milyen módon becsülhető az aeroszol részecskék tömegkoncentrációja és összetétele alapján, valamint tisztázzuk a részecskék különböző összetevőinek a rövidhullámú fénygyengítésben játszott szerepét.

## VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

### A higroszkópos növekedés figyelembe vétele

Az aeroszol részecskék fénygyengítése nedvszívó tulajdonságaik miatt jelentős mértékben függ a környezeti levegő relatív nedvességétől [1, 11, 13]. A száraz levegőre vonatkozó extinkciós együttható becslésére alkalmazható az ún.  $\gamma$ -módszer, amely az extinkciós együttható ( $\sigma_e$ ) és légkör relatív nedvességtartalma (RH(%)) közötti összefüggést írja le [15]:

$$\sigma_e = 10^c \times \left(1 - \frac{RH(\%)}{100}\right)^{-\gamma} \quad (4)$$

$c$  és  $\gamma$  értékek a látótávolságból számolt extinkciós együttható, valamint a hozzájuk tartozó relatív nedvességtartalom segítségével számolhatók ki. A környezeti, illetve a száraz levegőre (általában 40%-os relatív nedvességre) becsült extinkciós együttható hányadosa a higroszkópos növekedési faktor ( $f$ ) [11].

$$f = \frac{\sigma_e(RH)_{\text{környezeti}}}{\sigma_e(RH)_{\text{száraz}}} \quad (5)$$

## Terepi mintavétel és mérések

A légköri aeroszol részecskék optikai tulajdonságainak és kémiai összetételének kapcsolatát Budapesten (Pestszentlőrincen) az OMSZ Marcell György Főobszervatórium területén, két mérési kampányban (2009.02.07.–03.02. és 2009.07.20.–08.20.) vizsgálták [16]. A látótávolság adatokkal párhuzamosan, aeroszol mintákat is gyűjtöttek, amelyeknek meghatározták a kémiai összetételét. A minták szerves iontartalmát (klorid-, szulfát-, nitrát-, ammónium- és nátriumionokat) ionkromatográfiával, míg az aeroszol összes szénkoncentrációját nem-diszperzív infravörös elnyelés elvén működő berendezéssel (Astro Model 2100 TOC) mérték. Ezen kívül, a minták koromtartalmát és abszorpciós együtthatóját az aeroszol minták fényelnyelése alapján (abszorpciós fotométer, PSAP  $\lambda=545\text{nm}$ ) becsülték. A téli kampányban az aeroszol részecskék szórási együtthatóját közvetlenül is mérték M903 típusú nefelométer ( $\lambda=550\text{nm}$ ) alkalmazásával. A részecskék kémiai összetételén kívül, az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózatban mért  $10\ \mu\text{m}$ -nél kisebb aerodinamikai átmérőjű részecskék tömegkoncentrációját (PM10) is felhasználták [17].

## A LÁTÓTÁVOLSÁG VÁLTOZÁSA MAGYARORSZÁGON

Az európai trendekkel egyezően, a látótávolság nagysága Magyarországon is növekszik. 1996 és 2002 között, 23 magyarországi szinoptikus meteorológiai mérőállomás adatainak alapján, a látótávolságban jelentős javulás következett be: 1996-ban az átlagos látótávolság  $14\ \text{km}$ , míg 2002-ben  $18\ \text{km}$  volt [6, 7]. A mérőállomások többségét egyértelmű növekedés jellemezte, melynek átlagos értéke  $+0,70\ \text{km/év}$  volt, ugyanakkor egy-két állomáson kismértékű látótávolság-csökkenés jelentkezett.

A látótávolság adatokból számított extinkciós együtthatókat száraz levegőre (40%-os relatív nedvességre) vonatkoztatva, az aeroszol részecskék tényleges hatása tanulmányozható. Az ország különböző mérőállomásain az extinkciós együttható higroszkópos növekedési tényezője nem egységes (1. táblázat), ami arra vezethető vissza, hogy az aeroszol kémiai összetétele területenként eltérő lehet. A vizsgálati eredmények szerint, 1996 és 2002 között a száraz extinkciós együttható a nagy látótávolságú helyeken (nyugati és északi területeken) számottevően csökkent, míg a kis látótávolsággal jellemezhető területeken (az ország középső, illetve déli, dél-keleti részein) ez a csökkenés kismértékű volt (illetve helyenként nőtt) (1. táblázat).

Mérőállomások	Szár az extinkciós együttható (km <sup>-1</sup> )			Higroszkópos növekedési faktor (1996)
	1996	2002	Trend (km <sup>-1</sup> /év)	RH = 75%
Baja	0,16			2,4
Békéscsaba	0,18	0,19	0,01	1,9
Budapest-Ferihegy	0,31	0,37	0,06	1,6
Budapest-Pestszentlőrinc	0,11	0,11	0,00	2,4
Debrecen	0,22	0,18	-0,04	1,6
Eger	0,11	0,13	0,02	1,6
Győr	0,14	0,10	-0,04	2,7
Kecskemét	0,24	0,26	0,02	1,7
Kékestető	0,09	0,08	-0,01	1,6
Miskolc	0,10	0,11	0,01	3,0
Nagykanizsa	0,07	0,06	-0,01	2,4
Nyíregyháza	0,12	0,14	0,03	2,1
Paks	0,16	0,17	0,01	1,9
Pápa	0,22	0,18	-0,04	2,6
Pécs	0,24	0,20	-0,04	1,5
Siófok	0,13	0,13	0,01	2,8
Sopron	0,11		-0,11	2,2
Szeged	0,21	0,20	-0,01	1,9
Szentgotthárd	0,11	0,09	-0,02	1,9
Szentkirályszabadja	0,31	0,32	0,01	1,5
Szolnok	0,18	0,20	0,03	2,1
Szombathely	0,19	0,07	-0,12	1,8
Veszprém	0,12	0,14	0,02	2,6

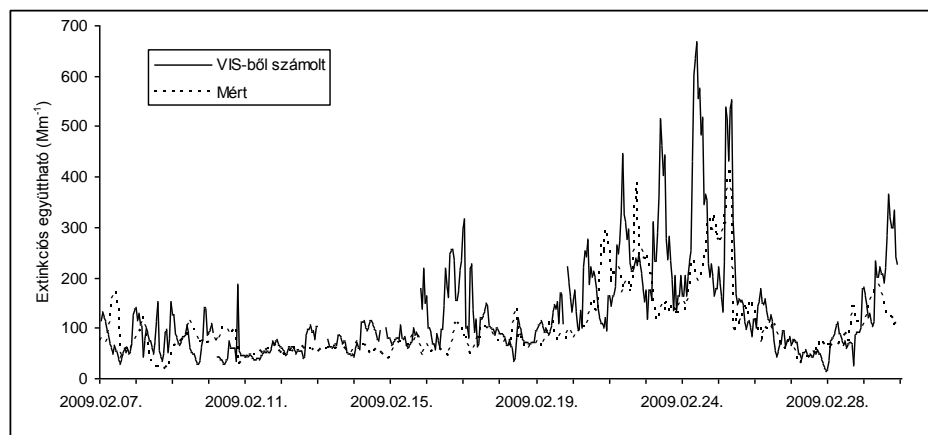
1. táblázat. A szár az extinkciós együttható, valamint a higroszkópos növekedési tényező értékei a magyarországi főállomások adatai alapján [6, 7].

A látótávolság növekedésnek és a szár az extinkciós együttható csökkenésének egyik legfőbb oka, hogy az utóbbi évtizedekben a különböző nyomgázok magyarországi kibocsátása folyamatosan csökkent. E gázok közül a kén-dioxid a legjelentősebb, hiszen fotokémiai oxidációja termékeként keletkeznek a fény szórásában leghatékonyabbnak tartott szulfátrészecskék. Az EMEP adatai [18] szerint a vizsgált időszakban a kén-dioxid kibocsátás az 1996-os 673 GgS/év értékről 2002-re 359 GgS/év-re csökkent, s ez nagymértékben hozzájárulhatott a látótávolság és az extinkciós együttható értékeiben megfigyelt kedvező változásokhoz.

Egyes mérőállomások (pl. Budapest-Ferihegy, Kecskemét, Szentkirályszabadja, Szolnok) adatsorai ugyanakkor eltérnek a környező állomásokétól. Mivel az említett állomások repülőtér közelében helyezkednek el, valószínűsíthető, hogy ezeken a helyeken az aeroszol részecskék helyi forrásai fontos szerepet játszhatalnak a látótávolság szabályozásában. E források eredményezhetik az aeroszol részecskék nagyobb tömegkoncentrációját és nagyobb extinkciós együtthatóját. Ezen kívül, ezeken az állomásokon viszonylag kicsi a higroszkópos növekedési faktor értéke (lásd 1. táblázat), amelyet az okozhat, hogy a részecskék kémiai összetételében a kevésbé higroszkópos szerves anyagok dominálnak.

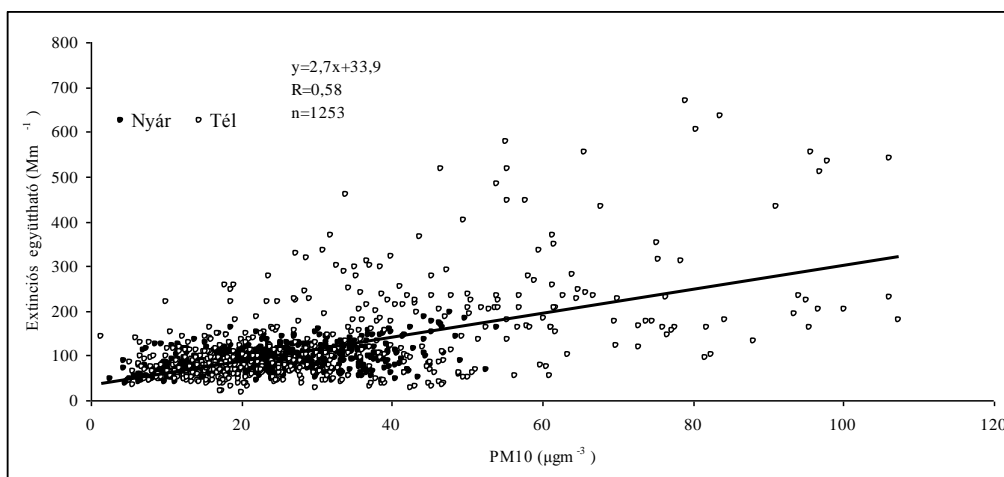
# A LÁTÓTÁVOLSÁG (EXTINKCIÓS EGYÜTTHATÓ) AZ AEROSZOL RÉSZECSKÉK KÉMIAI ÖSSZETÉTELÉNEK FÜGGVÉNYÉBEN

A terepen végzett mérési eredmények [16] alátámasztják, hogy a látótávolságból (a Koschmieder-formulával) számolt és a közvetlen megfigyelésekből származó extinkciós együtthatók értékei viszonylag jól megegyeznek egymással. A 1. ábrán e két paraméter időbeli változása figyelhető meg a téli mérési időszakban. Ezt az eredményt tovább erősíti, hogy a kétféle módon meghatározott extinkciós együttható között statisztikailag szignifikáns ( $p=99,9\%$ ) kapcsolat áll fenn.



1. ábra. A látótávolságból számolt és a mért száraz levegőre vonatkoztatott extinkciós együttható időbeli változása [16].

A látótávolságból számított extinkciós együttható és az aeroszol részecskék tömegkoncentrációja (PM10) között ugyancsak statisztikai értelemben szignifikáns ( $p=99,9\%$ ) kapcsolat van, amelyet a 2. ábra mutat be. E két paraméter közötti összefüggés arra utalhat, hogy az aeroszol részecskék összes tömegkoncentrációja alapján egyértelműen becsülni lehet a fénygyengítési együttható értékét. Az ábra adatai azt is jelzik, hogy e kapcsolatban nem volt lényeges különbség az évszakok között. Ezzel ellentétben, a téli és a nyári időszakból származó extinkciós együtthatók higroszkópos növekedése nagymértékben különbözött egymástól. Pl. télen a higroszkópos növekedési tényező értéke 80%-os relatív nedvességen 3,4 volt, míg nyáron csupán 1,7. Mindez azt jelenti, hogy ugyanakkora száraz aeroszol koncentráció és 80%-os relatív nedvesség esetén, télen az extinkciós együttható tényleges értéke kétszerese a nyárinak, illetve a látótávolság télen fele a nyárinak. Ez az eredmény rávilágít arra, hogy a higroszkópos növekedés ismeretének mekkora szerepe van az aeroszol optikai tulajdonságainak becslésében.



2. ábra. A látótávolságból számított, száraz levegőre vonatkozó extinkciós együttható és a PM10 közötti kapcsolat [16].

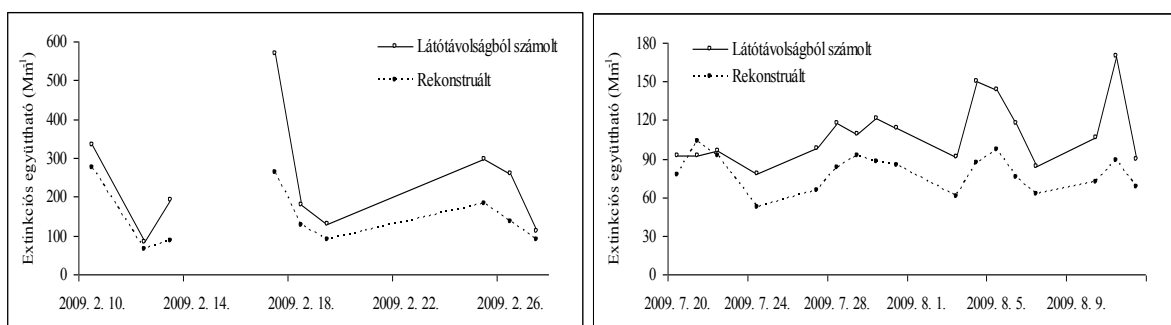
Az aeroszol részecskék kémiai elemzése kimutatta, hogy az aeroszol összetevők közül, mindkét évszakban, a szerves vegyületek alkották az aeroszol részecskék legnagyobb hányadát (télen 35%-át, nyáron 27%-át). A minták viszonylag jelentős mennyiségű elemi szén (kormot) is tartalmaztak, amely mindkét évszakban a tömegkoncentráció 13%-át képviselte. A szervesen összetevők közül jelentős mennyiségben volt jelen a mintákban az ammónium-szulfát (télen 16%-ban, nyáron 18%-ban) és a különböző nitrát-vegyületek (télen és nyáron rendre 31% és 17%). A higroszkópos növekedési tényezőben tapasztalt jelentős évszaki különbséget minden bizonnyal az aeroszol minták vízdoldható frakciójának változása eredményezte. 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 tehát valószínűleg a különböző nitrátsók (ammónium-, és nátrium-nitrát) és a salétromsav megnövekedett koncentrációja miatt alakult ki.

Köztudott, hogy az aeroszol részecskék alkotói nem azonos módon vesznek részt a fény gyengítésében. A szulfátból, nitrátból, szerves anyagból álló részecskék inkább a szórásban jelentősek, míg az elemi szén a fényabszorpcióért felelős [8]. Sokszoros regresszió alkalmazásával, az extinkciós együttható értéke az egyes komponensek koncentrációi és tömeggyengítési együtthatójuk segítségével (lásd még „Elméleti alapok”-nál) modellezhető, rekonstruálható [12, 19]. Ezt a módszert kiterjedten alkalmazzák az USA nemzeti parkjaiban (IMPROVE hálózat) [1]. A két budapesti kampány adatait felhasználva a rekonstruált extinkciós együttható egyenlete a következő:

$$\sigma_e \approx f \cdot (4,3 \cdot [SO_4^{2-}] + 1,3 \cdot [NO_3^-] + 1,5 \cdot [OC]) + 10 \cdot [EC] + 12(\text{Rayleigh} - \text{szórás}). \quad (6)$$

Az egyenletben OC a szerves, EC az elemi szén koncentrációját jelenti, míg  $f$  a higroszkópos növekedési tényező. Az aeroszol részecskéket alkotó vegyületek koncentrációját  $\mu\text{gm}^{-3}$ -ben, a tömeggyengítési együtthatókat  $\text{m}^2\text{g}^{-1}$  egységekben adják meg. Az összefüggés három részre tagolható,

az első (kén-dioxid, nitrát és szerves szén) az aeroszol szórását, a második (EC) a részecskék fénnyelnyelését, míg a harmadik a Rayleigh-szórást adja meg. Az extinkciós együttható rekonstruált és valódi értékei a 3. ábrán vehetők össze. Mindkét mintavételi időszakban a modellegyenlet ugyanaz volt, de  $f$  értékeinél a megfelelő évszakos értékeket kell alkalmazni. A 3. ábra alapján megállapítható, hogy a rekonstruált extinkciós együtthatók jól követik a látótávolságból számított extinkciós együttható alakulását. Ugyanakkor, a két érték nem egyezik meg teljesen egymással, a látótávolságból számolt fénygyengítési együtthatót a rekonstruált extinkció általában kissé alulbecsli. Az eltérés egyik lehetséges oka a látótávolságból számolt extinkciós együttható pontatlansága lehet, másrészt egyéb aeroszol komponensek (pl. „por”) is hozzájárulhatnak az fénygyengítéshez.



3. ábra. A látótávolságból számolt és a kémiai összetétel alapján rekonstruált extinkciós együtthatók.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Legfontosabb eredményünk az, hogy a levegő környezeti állapotának változása nyomon követhető a látótávolság adatok alapján. Bemutattuk, hogy

- A látótávolság (extinkciós együttható) változását
  - főként az aeroszol részecskék koncentrációjának változása idézi elő, és
  - az aeroszol higroszkóposága miatt, a légkör nedvességtartalma is befolyásolja.
- Az aeroszol részecskék mennyiségén túl, kémiai összetételüknek is fontos szerepe van.
- A részecskék kémiai összetétele jelentősen kihat a higroszkópos növekedési tényező értékére.
- Az extinkciós együttható mind a PM10 tömegkoncentráció, mind a részecskéket alkotó vegyületek koncentrációja alapján becsülhető.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] 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.
- [2] CHAN, Y.C., SIMPSON, R.W., MCTAINSH, G.H., VOWLES, P.D., COHEN, D.D. and BAILEY, G.M.: Source apportionment of visibility degradation problems in Brisbane (Australia) using the multiple linear regression techniques. Atmospheric Environment, 1999/33, 3237-3250.
- [3] KIM, K.W., KIM, Y.J. and OH, S.J.: Visibility impairment during Yellow Sand periods in the urban atmosphere of Kwangju, Korea. Atmospheric Environment, 2001/35, 5157-5167.



- [4] QIU, J. and YANG, L.: Variation characteristics of atmospheric aerosol optical depths and visibility in North-China during 1980-1994. *Atmospheric Environment* 2000/34, 603-609.
- [5] DOYLE, M. and DORLING, S.: Visibility trends in the UK 1950-1997. *Atmospheric Environment*, 2002/36, 3161-3172.
- [6] RÜLL Anikó: A látótávolság és a légköri aeroszol extinkciójának vizsgálata 1996 és 2002 között. Diplomadolgozat, Pannon Egyetem, Veszprém, 2007.
- [7] MOLNÁR, Á., MÉSZÁROS, E., IMRE, K., RÜLL, A.: Trends in visibility over Hungary between 1996 and 2002. *Atmospheric Environment*, 2008, 2621-2629.
- [8] MÉSZÁROS Ernő: Levegőkémia. Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, 1997.
- [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] MÉSZÁROS E.: Fundamentals of Atmospheric Aerosol Chemistry, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1999.
- [13] 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.
- [14] COLLS, J.: New Directions: Visual range- an under-utilised metric for European air quality. *Atmospheric Environment*, 2002/36, 2931-2932.
- [15] 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,
- [16] PÁRKÁNYI Dénes: A látótávolság változása a relatív nedvesség, valamint a légköri aeroszol részecskék kémiai összetételének függvényében. Diplomadolgozat. Pannon Egyetem, Veszprém, 2010.
- [17] [www.kvvm.hu/olm](http://www.kvvm.hu/olm)
- [18] [www.ceip.at](http://www.ceip.at)
- [19] SEINFELD, J.H. and PANDIS, S.N.: *Atmospheric Chemistry and Physics*. John Wiley & Sons, 1998