

# A levegő 2,5 mikron alatti részecskeméretű szállópor-tartalma és a korai halálozás Magyarországon

Losonczy György dr.

Semmelweis Egyetem, Általános Orvostudományi Kar, Pulmonológiai Klinika, Budapest

Az Egészségügyi Világszervezet és az Európa Tanács javaslatára folyamatosan mérik, illetve becsülik Európa légszennyezettségét, ezen belül a 10 és a 2,5 mikronnál kisebb szemcseméretű szállópor-koncentrációt. A 2,5 mikronnál kisebb szemcseméretű, különösen káros hatású szennyezettség kimagasló Közép- és Kelet-Európában, ezen belül főként Magyarország középső és keleti területein. Epidemiológiai elemzések szerint a 2,5 mikronnál kisebb részecsk koncentráció egyértelmű összefüggést mutat a cardiopulmonalis megbetegedések és a tüdőrák incidenciájával. A hazai levegő szennyezettsége is hozzájárulhat ahhoz, hogy Magyarországon a népességszám figyelembevétele után is másfél-kétszer nagyobb a cardiopulmonalis és tüdőrák-mortalitással kapcsolatos életévvesztesség, mint például az egyébként hasonló történelmi-gazdasági adottságokkal bíró Szlovákiában vagy Csehországban. Orv. Hetil., 2012, 153, 285–288.

**Kulcsszavak:** por, légszennyezettség, cardiopulmonalis megbetegedés, tüdőrák

## Small (<2.5 micron) particulate matter concentration of ambient air and early death in Hungary

The small (<2.5 micron) particulate matter concentration of ambient air is constantly measured and estimated over Europe, based on the recommendations of the WHO and the Council of Europe. Concentration of small size particulate matter has been found to be very high in Central and Eastern Europe, including central and eastern regions of Hungary. Epidemiologic evidence indicates strong direct correlation between small size particulate matter pollution and incidences of cardiopulmonary disease and lung cancer. As compared to Slovakia or the Czech Republic and after correction for population size, Hungary has the highest number of years of life lost due to small size particulate matter pollution related cardiopulmonary disease and lung cancer. Orv. Hetil., 2012, 153, 285–288.

**Keywords:** air pollution, particulate matter, cardiopulmonary disease, lung cancer

(Beérkezett: 2012. január 2.; elfogadva: 2012. január 19.)

### Rövidítések

AF = (attributable factor) egy adott ország lakosságának  $PM_{2,5}$ -szennyezettséggel kapcsolatos veszélyeztetettség; B = annak a mértékét jelzi, amennyivel a  $PM_{2,5}$ -koncentráció egységnyi fokozódása egy betegség gyakoriságát fokozza; C =  $PM_{2,5}$ -koncentráció;  $C_0$  = a nulla  $PM_{2,5}$ -koncentráció; E = a lebegő-részecske-szennyezettségnek tulajdonítható korai halálozások száma; MR = a kiváltott betegség incidenciája éves szinten;  $PM_{10}$  = (particulate matter 10) 10 mikronnál kisebb aerodinamikai átmérőjű szálló légszennyezés;  $PM_{2,5}$  = (particulate matter 2.5) 2,5 mikronnál kisebb aerodinamikai átmérőjű szálló légszennyezés; Pop = azon 30 éven felüli populáció nagysága, akik a kérdéses porkoncentráció-expozíciót elszenvedik; RR = (relative risk) viszonylagos kockázat

### Részecskeszennyeződés a levegőben

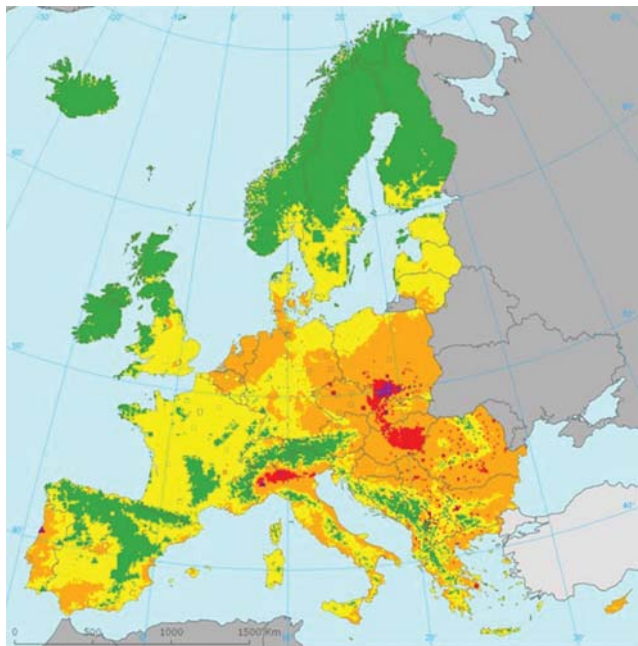
A levegő részecskeszennyezettségéhez sokféle anyag járul hozzá: ezek lehetnek szilárdak vagy folyékonyak, füst, gőz, korom, egyéb égéstermékek, vagy akár a szél által felkevert por, tengeri só, pollenek, spórák. A részecskeszennyezettséget fokozzák a fa vagy széna elégetése nyomán képződő füstök, a motorok kipufogógáza, de olyan másodlagos égéstermékek is, mint a szulfátok és nitrátok, amelyek porlasztott anyagok kondenzátumai vagy a légkörben oxidálódott gázok melléktermékei.

A levegőben lebegő szennyező részecskéket aerodinamikai átmérőjük alapján osztályozzák. Az aerodinami-

1. táblázat | A  $PM_{2,5}$ -szennyezettség  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -enkénti fokozódása által kiváltott cardiopulmonalis és tüdőrák-kockázatfokozódás

Egészségügyi hatás	Viszonylagos kockázat/ $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Cardiopulmonalis mortalitás 30 évesnél idősebbek körében	1,08 (1,02–1,14)*
Tüdőrák 30 évesnél idősebbek körében	1,13 (1,04–1,22)
Összes mortalitás (erőszakos haláleseteket kivéve)	1,06 (1,02–1,10)

\*95%-os konfidenciaintervallum



1. ábra | Európa 2005. évi átlagos  $PM_{2,5}$ -szennyezettsége. Az egyes színek eltérő szennyezettségű területeket jeleznek.  $PM_{2,5}$ -koncentráció ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ): zöld  $<10$ , világossárga 10–15, sötétsárga 15–25, piros 25–30, vörös  $>30$ . A szürke színnel jelzett területekről nem állnak rendelkezésre adatok (kiadó engedélyével átvéve [15])



2. ábra | Tízezer lakosra számított és a  $PM_{2,5}$ -szennyezettséggel összefüggő korai mortalitás 2005-ben Európában. Az egyre sötétedő színek (sárga–barna) a következő számokat jelentik: 0–4, 4–7, 7–10, 10–15, 15–30 korai halál/10 000 lakos. A szürke és fehér területekről nincs adat (a kiadó engedélyével átvéve [15])

kai átmérő határozza meg, hogy a részecske milyen mélyen hatol be az emberi szervezetbe. A 10 mikronnál nagyobb részecskék a felső légutaknál mélyebbre nem penetrálnak. A 10 mikronnál kisebbek lejutnak a hörgőrendszerbe. Ma a legveszedelmesebbnek azonban a 2,5 mikronnál kisebb részecskéket (particulate matter<sub>2,5</sub>,  $PM_{2,5}$ ) tartják, mert igazolódott, hogy a  $PM_{2,5}$ -szennyeződés lejut az alveolusokba is, sőt képes átjutni az alveolokapilláris membránon, a vérbe kerülve pedig thrombogen hatású. A  $PM_{2,5}$ -szennyezettség ezért nemcsak pulmonalis, hanem – még inkább – cardiovascularis kockázatot jelent.

Több epidemiológiai tanulmány [1] eredményei arra utalnak, hogy a levegő fokozott portartalma kapcsolatban van számos betegség, sőt a korai halálozás magasabb arányával. Az első megfigyelések a napi  $PM_{2,5}$ -légszennyezettség és az aznapi mortalitás epidemiológiai kapcsolatára utaltak [2, 3, 4]. A gyakoribbá váló halálesetek ischaemiás szívbetegségre és légúti gyulladásos betegségekre voltak visszavezethetők [5]. A 90-es években több mint 100 ilyen tárgyú vizsgálat

látott napvilágot, mind azt támogatta, hogy a levegő  $PM_{2,5}$ -szennyezettsége kapcsolatban van a korai mortalitás fokozódásával [6]. Ezután indultak el a több ezer, majd több százezer lakost bevonó longitudinális (10–15 éves) vizsgálatok, amelyek megerősítették a fenti következtetések érvényességét, vagyis azt, hogy a lakosság átlagos várható élettartama és a légkör tartós  $PM_{2,5}$ -szennyezettsége között szoros kapcsolat áll fenn [7]. Sőt, a  $PM_{2,5}$ -szennyezettség sikeres, tartós csökkentése után, a következő 5–10 évben ugyanezekben a populációkban igazolták a mortalitási kockázat csökkenését is [8, 9].

A WHO 2006-os ajánlása [10] szállóporkoncentráció-határértékeket határozott meg annak érdekében, hogy ezek káros egészségügyi hatásait korlátozni próbálja. A 10 mikron átmérőjű porszemcsék ( $PM_{10}$ ) felső küszöbértékét éves szinten  $20 \text{ mg}/\text{m}^3$ -ben, napi szinten  $50 \text{ mg}/\text{m}^3$ -ben határozták meg. Az Európai Bizottság 2008-ban született Air Quality Directive [11] dokumentumában megállapítják a  $PM_{2,5}$ -szennyezéssel kapcsolatban, hogy elsősorban emberi tevékenység nyo-

2. táblázat | PM<sub>2,5</sub>-szennyezettségnek tulajdonítható életévvesztesség és lélekszám néhány európai országban 2005-ben

Ország	Lélekszám	Cardiopulmonalis	Tüdőrák
		eredetű életévvesztesség	
Ausztria	9 500 000	23 200	5 600
Cseh Köztársaság	10 560 000	60 800	13 700
Magyarország	10 000 000	76 000	21 400
Svédország	9 400 000	15 500	2 900
Szlovákia	5 000 000	24 000	5 100

mán képződik, jellemzően mint emissziós végtermék, és feltételezhető, hogy szerepe kiemelkedő a por-szennyezés általános káros hatásain belül. Európában egyelőre a PM<sub>10</sub>- és a PM<sub>10-10</sub>-mérés terjedt el széles körben, a PM<sub>2,5</sub> mérése kevesebb mérőhelyen [12] valósul meg. A PM<sub>2,5</sub>-szennyezés mértékére azonban a PM<sub>10</sub>-szennyezettség eloszlására épülő modellek alapján is következtetni lehet [13].

A fentebb már idézett egyik tanulmányban [12] 35 európai ország 2004–2006 között mért PM<sub>10</sub>- és PM<sub>2,5</sub>-adatait dolgozták fel. Az eredeti nemzeti PM<sub>10</sub>-adatokat bizonyos korrekciók után [14] hitelesnek tartják, ugyanez a PM<sub>2,5</sub>-értékekkel kapcsolatban kevésbé teljesül. Összesen 233 mérőállomásról származó, mintegy 437, éves sorozatmérés eredményeit elemezték. Azt tapasztalták, hogy a PM-koncentráció a forgalmas városi csomópontokon a legmagasabb, utána a városok közvetlen közelében, és legalacsonyabb vidéken. A PM<sub>2,5</sub>-koncentráció általában kisebb, mint a PM<sub>10</sub>, annak mintegy 50–80%-a. A PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> arány vidéken a legmagasabb, városokban közepes és forgalmas helyeken a legalacsonyabb. Ebből azt a következtetést lehet levonni, hogy az átlagosan is magasabb városi szállópor-koncentrációt a forgalmas kereszteződésekben, tereken helyben képződő durva por (PM<sub>10</sub>) tovább fokozza. Ez a tendencia főként Közép- és Kelet-Európában figyelhető meg, Dél-Európában vagy Észak- és Nyugat-Európában kevésbé.

Az 1. ábra Európa regionális, éves átlagos PM<sub>2,5</sub>-légszennyezettségét mutatja 2005-ben. A 233 mérőállomás mérési adatait az egyes állomások vidéki, illetve városi elhelyezkedése alapján a hasonló népsűrűségű területekre kiterjesztve értékelték [15]. Bár a bemutatott adatok nem tekinthetők maradéktalanul megbízhatónak, feltűnő, hogy Európában Magyarország középső és délkeleti területei, Szlovákia nyugati részei, Lengyelország déli csücske, valamint az észak-italiai iparvidék (a Pó folyó mentén) a legszennyezettebb, de Közép- és Kelet-Európa általában, Észak- és Kelet-Németország, a Benelux államok, valamint Spanyolország és Olaszország tengerparti területei szennyezettebbek ilyen tekintetben, mint Nagy-Britannia, Franciaország vagy például Skandinávia, Svájc és Ausztria.

A 2008-as európai ajánlás [11] az egészségügyi kockázatok szerint PM<sub>2,5</sub> határértékeket jelölt meg. Az

éves átlagos PM<sub>2,5</sub>-célértéket 25 mg/m<sup>3</sup>-ben adták meg a 2010-es esztendőre, 2015-re pedig ugyanezt felső küszöbkoncentrációként tűzték ki célul. 2005-ben Európa lakosságának 7–8%-a élt 25 mg/m<sup>3</sup> feletti PM<sub>2,5</sub>-szennyezettségű levegőn. Az érintett népesség jelentős hányada magyarországi lakos (1. és 2. ábra).

A WHO 2006-ban 10 mg/m<sup>3</sup>-ben határozta meg azt az alsó PM<sub>2,5</sub>-küszöbértéket, amelynek fennállása esetében már biztonsággal dokumentálható a PM<sub>2,5</sub>-expozíció cardiopulmonalis és tüdőrák-mortalitásra gyakorolt kedvezőtlen hatása [10]. Az európai lakosságnak mindössze 9%-a él ez alatt a küszöbkoncentráció alatt. A 35 mg/m<sup>3</sup> feletti PM<sub>2,5</sub> hosszú távon 15%-kal fokozza a cardiopulmonalis és tüdőrák-mortalitást. Ilyen magas PM<sub>2,5</sub>-szennyezettségű levegőn az európai lakosság kevesebb mint 1%-a él. A 25–35 mg/m<sup>3</sup> közötti szennyezettség már 6%-kal kisebb mortalitást eredményez, a földrész lakosságának 9%-a él ilyen porviszonyok között. Tizenöt mg/m<sup>3</sup> alatt (a lakosság 39%-a) további 6%-os mortalitáscsökkenés teljesül.

### A PM<sub>2,5</sub>-légszennyezettség egészségügyi hatásai

A PM<sub>2,5</sub>-szennyezettség által okozott viszonylagos egészségügyi kockázatot (RR) a következő képlettel számolták ki:

$$RR = \exp [B(C-C_0)].$$

Az 1. táblázat mutatja, hogy Pope és mtsai [16] szerint a PM<sub>2,5</sub>-szennyezettség 10 mg/m<sup>3</sup>-enkénti fokozódása milyen mértékű cardiopulmonalis és tüdőrák-kockázatfokozódást vált ki. A fenti betegcsoportoknak számos, a PM<sub>2,5</sub>-en kívüli kockázati tényezője ismert. Amennyiben a szennyezettség mértékét homogénnek tekintik, egy adott országra jellemző AF-érték a következőképpen számolható:

$$AF = (RR-1)/RR.$$

A PM<sub>2,5</sub>-szennyezettségnek tulajdonítható korai halálos esetek számértékének meghatározása az alábbi képlettel történik:

$$E = AF \times MR \times Pop.$$

A fenti képletben szereplő számításokat részben az ENSZ World Population Prospects [17], részben a WHO Burden of Disease Project [18] alapján végezték el. A 2. ábra bemutatja Európa PM<sub>2,5</sub>-szennyezettségének tulajdonítható koraihalálozás-térképét. E szerint úgy lehet a porexpozíció egészségügyi jelentőségét érzékeltetni, hogy 2005-ben Európában több mint 350 000 volt azon személyek száma, akik kizárólag a fokozott PM<sub>2,5</sub>-nek tulajdoníthatóan (valamelyik megbetegedés miatt) veszítették el életüket idő előtt. Más-ként számolva a fenti szám közel két és fél millió életév-vesztésnek felel meg. Cardiopulmonalis betegségben 297 000 személy (1,84 millió életév), tüdőrákban 54 500 személy (457 000 életév) hunyt el idő előtt. A számok hasonlóak a Clean Air for Europe (CAFE) programban közölt adatokhoz [19].

A 2. táblázat feltünteti Magyarország és néhány más ország lakosságszámát és PM<sub>2,5</sub>-szennyezettségnek tulajdonítható életévvesztését. A számok világosan érzékeltetik, hogy a PM<sub>2,5</sub>-szennyezettséggel kapcsolatos cardiopulmonalis megbetegedési és tüdőrákkockázat tekintetében Magyarország – lélekszáma vonatkoztatva is – rendkívül kedvezőtlen helyzetben van. Levonható az a következtetés, hogy hazánk kimagaslóan rossz egészségi mutatói a PM<sub>2,5</sub>-szennyezettséggel is összefüggenek.

## Irodalom

- [1] Pope III, C. A., Dockery, D. W.: Health effects of fine particulates air pollution: lines that connect. *J. Air Waste Manag. Assoc.*, 2006, 56, 709–742.
- [2] Mazumdar, S., Schimmel, H., Higgins, I. T.: Relation of daily mortality to air pollution: an analysis of 14 London winters, 1958/59–1971/72. *Arch. Environ. Health*, 1982, 37, 213–220.
- [3] Schwartz, J., Marcus, A.: Mortality and air pollution in London: a time series analysis. *Am. J. Epidemiol.*, 1990, 131, 185–194.
- [4] Schwartz, J., Dockery, D. W.: Particulate air pollution and daily mortality in Steubenville, Ohio. *Am. J. Epidemiol.*, 1992, 135, 12–19.
- [5] Schwartz, J., Dockery, D. W.: Increased mortality in Philadelphia associated with daily air pollution concentrations. *Am. Rev. Respir. Dis.*, 1992, 145, 600–604.
- [6] Samet, J. M.: Air pollution and epidemiology: “deja vu”, all over again? *Epidemiology*, 2002, 13, 118–119.
- [7] Garfinkel, L., Heath, C. W.: Cancer Prevention Study II – The American Cancer Society Prospective Study. 5 B Statistical Bulletin, 1992, 73, 21–28.
- [8] Laden, F., Schwartz, J., Speizer, F. E., et al.: Reduction in fine particulate air pollution and mortality: extended follow-up of the Harvard Six Cities study. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 2006, 173, 667–672.
- [9] Pope III, C. A., Ezzati, M., Dockery, D. W.: Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States. *N. Engl. J. Med.*, 2009, 360, 376–386.
- [10] WHO (2006) Global Update 2005. Air Quality Guidelines. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.
- [11] EC (2008) Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council on ambient air quality and cleaner air for Europe. *Official Journal*, 2008, L 152, 1–44.
- [12] Mol, W. J. A., van Hooydonk, P. R., de Leeuw, F. A. A. M.: European exchange of monitoring information and state of the air quality in 2006. ETC/ACC Technical paper 2008/1.
- [13] EMEP (2007). Transboundary particulate matter in Europe. Status report 4/2007. Kjeller, Norwegian Institute for Air Research (EMEP Report 4/2007).
- [14] Buijsman, E. and de Leeuw FAAM: Correlation factors and PM10 measurements in AirBase, ETC/ACC Technical paper. Available from: [http://air-climate.eionet.europa.eu/docs/meetings/041122\\_9th\\_EIONET\\_AQ\\_WS/05d\\_corr\\_factors\\_in\\_AirBase\\_Nov2004-TempDraft.pdf](http://air-climate.eionet.europa.eu/docs/meetings/041122_9th_EIONET_AQ_WS/05d_corr_factors_in_AirBase_Nov2004-TempDraft.pdf)
- [15] De Leeuw, F., Horalek, J.: Assessment of the health impacts of exposure to PM2.5 in a European level. Technical paper 2009/1. [http://acm.eionet.europa.eu/reports/ETC/AIC\\_TP\\_2009\\_I\\_European\\_PM2.5\\_HIA](http://acm.eionet.europa.eu/reports/ETC/AIC_TP_2009_I_European_PM2.5_HIA)
- [16] Pope III, C. A., Burnett, R. T., Thun, M. J., et al.: Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particles air pollution. *J. Am. Med. Assoc.*, 2002, 287, 1132–1141.
- [17] UN (2005) United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division World Population Prospects. The 2004 Revision. CD-ROM Edition-Extended Dataset (United Nations publications, Sales No. E.05.XIII.12).
- [18] Mathers, C. D., Loncar, D.: Projection of global mortality and burden of disease from 2002 to 2030. *PloS Med.*, 2006, 3, e3442.
- [19] AEAT (2005) CAFE CBA. Baseline Analysis 2000 to 2020. AEA Technology Environment, Harwell, UK. Reference AEAT/ED51014/Baseline Issue 5.

(Losonczy György dr.,  
Budapest, Diósárok út 1/C, 1125  
e-mail: losonczy@pulm.sote.hu)