

TENDENCIÁK A VÁROSI LEVEGŐMINŐSÉG ALAKULÁSÁBAN[†]

Salma Imre

az MTA doktora,
ELTE Kémiai Intézet
www.salma.elte.hu

A globális levegőszennyezettség kezdetei

A levegőszennyezés egyidős az emberiséggel. A kezdetekben és az első ókori társadalmakban azonban ez csak helyi, esetleg regionális léptékben jelentkezett. A globális levegőszennyezettség megjelenése az ókori görög-római időkre tehető. A római korban az egyik legelterjedtebb fém az ólom volt. Az ólom bányászata i. e. kb. 4000 évvel ezelőtt kezdődött, de jelentős kitermelése csak ezer évvel később indult meg. Az ólomtermelés a Római Birodalom virágzása idején érte el a csúcát nyolcvanezer tonna éves mennyiséggel, ami nagyságrendileg akkora volt, mint az ipari forradalom idején. Az ókorban az ólmot nyitott kemencékben olvasztották, aminek hatásaként a kitermelt ólom mennyiség mintegy 5%-a kerülhetett a levegőbe aeroszol-részecskék formájában. A Római Birodalom bukása után az ólobányászat is visszaesett, és csak a késő középkorban indult ismét növekedésnek. Az aeroszol-részecskék légköri tartózkodási ideje egy-két hét, amely idő alatt a légáramlatokkal elérhették Grönlandot és a sarkvidékeket is, ahol kiüledtek és a jégtakaró

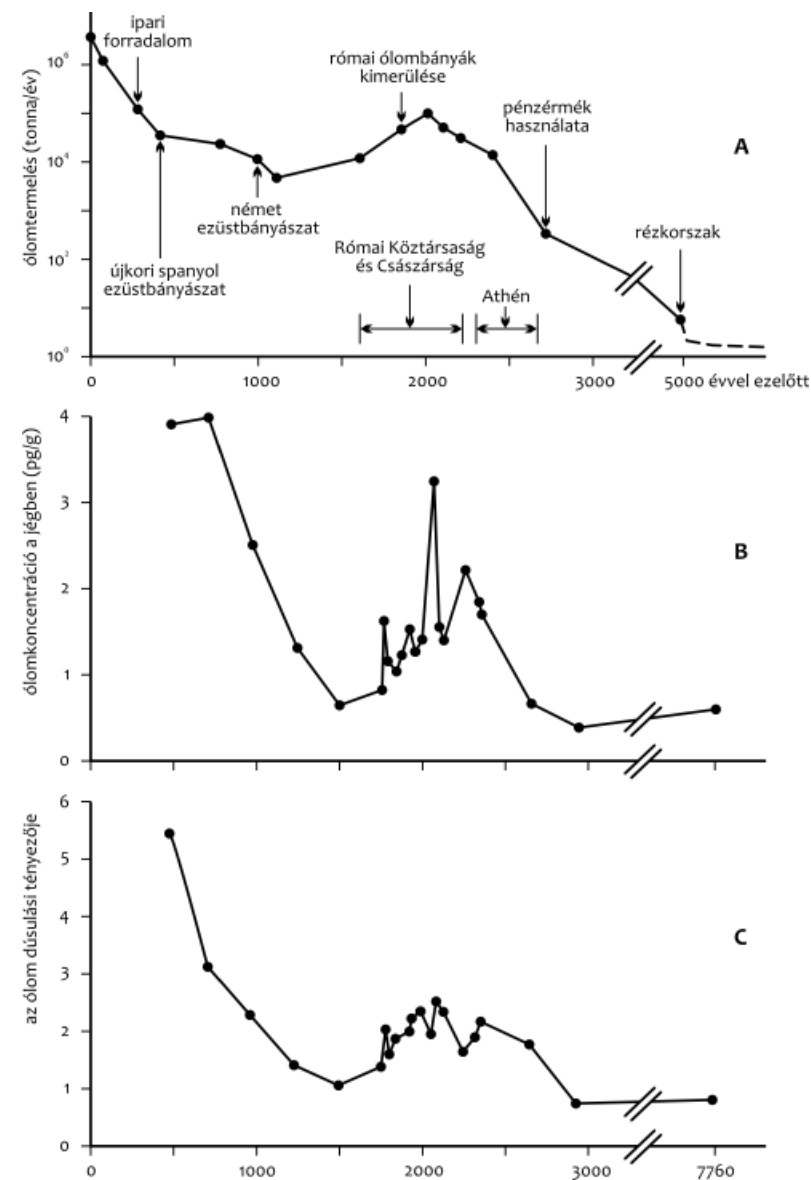
[†] Az MTA Kémiai Tudományok Osztálya 2006. májusi közgyűléséhez kapcsolódó tudományos ülésen, 2006. május 10-én elhangzott előadás szerkesztett változata.

„fogyai lettek”. A múlt légköri ólomkoncentrációjára a jégmag minták ólomtartalma alapján következtethetünk nagyérzékenységű analitikai módszerek alkalmazásával.

Az 1. ábrán a kitermelt ólom mennyisége és a jégmintákban mért ólomkoncentráció, valamint az ólom légköri dúsulása közötti kapcsolatot követhetjük nyomon csaknem nyolcezer évre visszamenőleg. A legkorábbi időkből származó jégminták vizsgálata lehetővé tette az ólomkitermelés kezdete előtti háttérérték megállapítását is. Abban az időben a légköri ólom teljes mennyisége természetes, főként földkéreg eredetű forrásokból származott. A jég és ezzel együtt a levegő ólomkoncentrációja mintegy 2500 évvel ezelőtt indult hirtelen növekedésnek, majd mintegy nyolcszáz éves időszakban a koncentráció és a dúsulási tényező kevésbé változott. Az adatok az északi félgömb légkörének globális és jelentős ólomszennyezettségét bizonyítják az ókori római időkben. A Római Birodalom bukása után a grönlandi jégminták ólomtartalmában is csökkenés figyelhető meg. A későbbi, középkorban jelentkező növekedés a kitermelés újbóli fellendülésével függ össze. Az ólomizotópok gyakoriságából az antropogén források növekvő járuléka és jelentőségére lehet következtetni.

Globális megjelenése óta a levegőszennyezettség folyamatos és olykor jelentős átalakuláson megy keresztül a gazdasági és műszaki, társadalmi, valamint szellemi körülmények

változása miatt. Időbeni menete nemritkán általános tendenciát mutat adott helyszínen, míg térbeli változását egyre nagyobb kiterjedés és koncentráció is jellemzi.



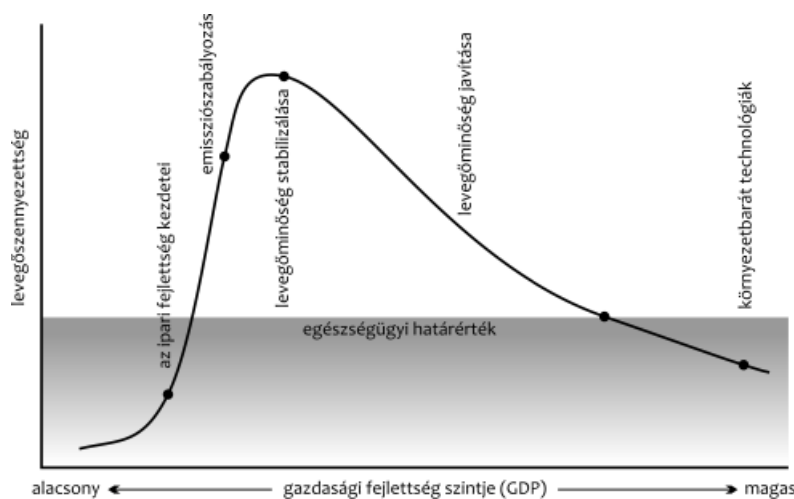
1. ábra • Az ólom kitermelt mennyisége (A), valamint a grönlandi jégmag mintában mért koncentrációja (B) és dúsulási tényezője (C) (Hong et al., 1994)

Az iparosodás, a népességnövekedés és az urbanizáció hatásai

A gazdasági fejlődés okozta levegőszennyezettség általánosított folyamatát a 2. ábrán mutatjuk be. Az iparosodás kezdetén a nyersanyagokat és az energiaforrásokat extenzív módon használják fel. A környezeti szempontok nemritkán háttérbe szorulnak a gazdasági és kereskedelmi érdekek mellett, és rohamosan növekszik a különböző formájú környezetterhelés. A közgondolkodás ilyenkor a jólét és a gazdagság jelének és velejárójának tartja a források bőkezű felhasználását, a környezet korlátlan igénybevételét és a pazarlást. A melléktermékeket, illetve a hulladékokat gyakran figyelmen kívül hagyják, értéktelennek, illetve veszélytelennek tekintik. Hamarosan kimutathatóvá válik azonban a környezetszennyezettség, valamint az emberi egészség és az éghajlatváltozás közötti összefüggés.

A környezetkárosodás, a veszély- és katasztrófa helyzetek előfordulása, valamint később a környezettudatos szemléletmód foko-

zatos kialakulása a környezetszennyezés szabályozásának, a környezetszennyezés stabilizálásának, majd csökkentésének igényét és szükségességét alakítja ki. A megtermelt anyagi javak egy részét a szennyezés és szennyezettség csökkentésére fordítják. Különösen igaz mindez a levegőszennyezettségre, amely kiterjedt, határokon átnyúló jellegű, szerteágazó emissziós forrásokhoz, valamint levegőkémiai és meteorológiai jelenségekhez kapcsolódik, és dinamikus összefüggésben van az összes többi környezeti elemmel is. A közösségek egyik legfontosabb feladata ilyenkor a környezet természetes állapotának megóvása, vagy eredeti állapotának visszaállítása; az ilyen környezet pedig a közösség egyik legnagyobb értékévé válik. A környezetszennyezettség a fejlődés extenzív szakasza előtti állapotnak megfelelő szintre ebben az időszakban már csak átgondolt és komplex szabályozási és hatósági előírások következetes megvalósításával, környezetbarát technológiák bevezetésével és elterjesztésével csökkenthető. Továbbá: rendkívül fontos a közösségek



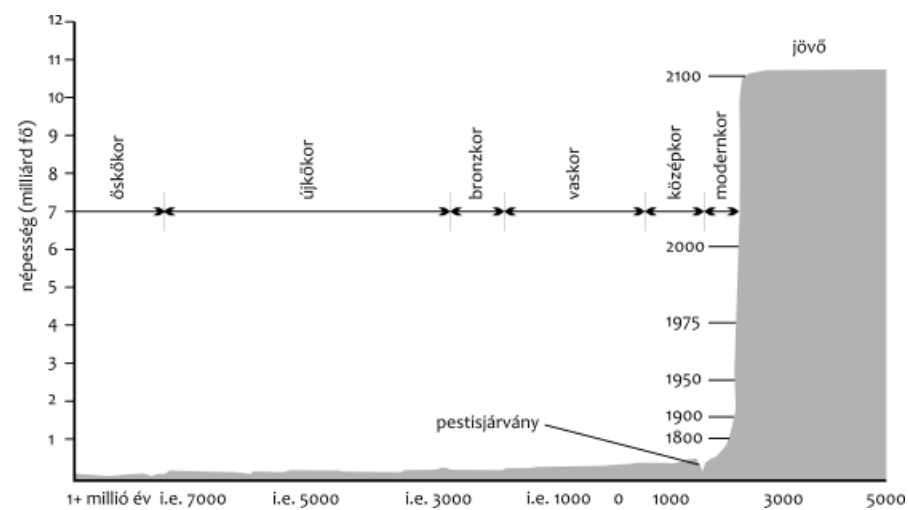
2. ábra • A levegőszennyezettség alakulása a gazdasági fejlődéssel

és az egyének környezettudatos magatartásának kialakítása és erősítése. Ugyanakkor mindezek összefüggnek az adott közösség/társadalom aktuális műszaki fejlettségével, gazdasági lehetőségeivel és teljesítőképességével, valamint helyi (földrajzi) és társadalmi adottságaival is.

Az elmúlt kétszáz évben a Föld népessége hatszorosára nőtt (3. ábra). Az ilyen népességrobbanás (túlnépesedés?) elkerülhetetlenül a környezetszennyezés jelentős növekedéséhez is vezet, mind mértékét, mind pedig kiterjedését tekintve. Ráadásul a népesség növekedése együtt jár a városiasodással, tehát a környezeti problémák regionális súlyosbodásával is. A világ lakosságának 47%-a, míg a fejlettebb régiók lakosainak 74%-a él jelenleg városokban. A jövőben a városi lakosság aránya a világ minden régiójában meghaladja majd az 50%-ot. Ezzel együtt a városok mérete és lakosainak száma is nő. Az 1950-es években nyolc megaváros (amely lakosainak száma az agglomerációban meghaladja az ötmilliót) létezett, közülük az első három

New York (12 M), Tokió (10 M) és London (8 M) volt. Jelenleg negyven megavárost tartanak nyilván, közülük az első Tokió (34 M), Mexikóváros és Szöul (20 M), valamint Sao Paulo (19 M). Az előrejelzések húsz ún. gigavárost sejtetnek 2015-re, amelyek között Tokió (36 M), Bombay (23 M) és Delhi (21 M) szerepelnek a lista elején. Megfigyelhető tehát, hogy a városok a fejlődő országokban lényegesen nagyobb ütemben növekednek, így az extenzív fejlődés előnyei és hátrányai ezekben a régiókban markánsabban jelennek meg.

A városi életmódhoz szorosan hozzátartozik a lakosok mobilitása, a városi és városkörnyéki közlekedés. A közúti gépjárművek számának alakulása a 4. ábrán látható. A második világháború végétől napjainkig a személygépkocsik száma egy nagyságrenddel nőtt, és a szárazföldi gépjárművek gyártásának időtrendje szinte lineárisan, ötmillió jármű/év sebességgel növekedik. Ugyanezen időszakban az ipari termelés körülbelül szintén egy nagyságrenddel nőtt, az energiater-



3. ábra • A Föld népességének alakulása (Population Reference Bureau, 1998)

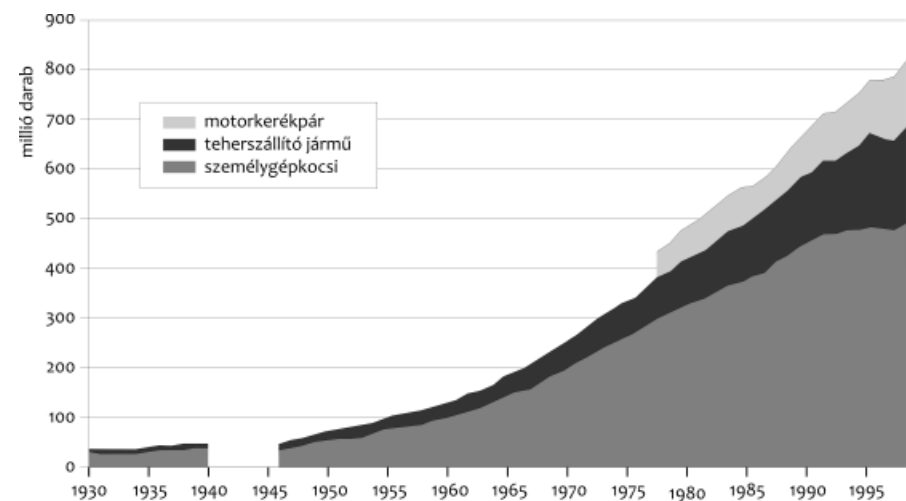
melés (amelynek 86%-a jelenleg fosszilis anyagokra épül) pedig mintegy ötszörösére emelkedett. A megtermelt energia 32%-át az ipar, 27%-át a háztartások, míg 20%-át a szárazföldi közlekedés használja fel. Emellett a korszerű városokban a gazdasági termelés és annak szerkezete sok helyen átalakult, változott az ipari üzemek elhelyezkedése, korszerű nagyüzemi és háztartási technológiákat vezettek be széles körben (például a fűtés és tüzelés terén) és az emisszió szabályozását is szigorították az elmúlt évtizedekben. E két, általános tendencia következtében a közlekedés környezeti jelentősége megnőtt abszolút és relatív értelemben is, és a nagyvárosok levegőszennyezettségének egyik legfontosabb forrásává vált.

A közúti gépjárművek okozta levegőszennyezés

A közúti gépjárművek az üzemanyag égetésével (ami a folyamat jellege miatt gyakran tökéletlen) és a mozgó alkatrészek kopásával bocsátanak ki szennyező anyagokat a levegőbe, míg más szennyezők közvetett módon, az emissziós termékek kémiai reakcióit köve-

tően, a levegőben jönnek létre. A gépjárművek hozzávetőleg kétszáz, egészségre valószínűleg káros hatású anyagot bocsátanak ki. A kipufogógáz gázokat (nitrogén-oxidokat, szén-monoxidot és el nem égett vagy módosult szénhidrogéneket), illetve szilárd és cseppfolyós részecskéket tartalmaz legnagyobb mennyiségben a szennyező anyagok közül. Az emissziós termékek mennyisége és aránya az üzemanyag típusától és összetételétől (az adalékanyagokat is beleértve), az égés feltételeitől (a motor típusától, műszaki állapotától és üzemi körülményeitől), továbbá a kipufogógáz kémiai utókezelésétől függ elsősorban.

Az egészségre káros, fő levegőszennyező gázok kémiai átalakítását a jelenleg általánosan elterjedt, hármashatású katalizátorral végzik, amelynek működését összekapcsolják a modern gépjárművek fejlett gépészeti és elektronikai megoldásaival. Az átalakítók működési elve a platinafémek által katalizált kémiai reakciókon alapul: a nitrogén-oxidok redukcióját nitrogénné a ródium segíti, míg a szén-monoxidot, illetve a szénhidrogéneket platina és palládium segítségével szén-dioxid-



4. ábra • A közúti gépjárművek számának időbeli alakulása (Walsh, 2000)

dá, illetve vízzé oxidáljuk. A katalizátor az egészségre káros gázok között kémiai reakciókat tesz lehetővé, amelyek végtermékei egészségre nem veszélyes anyagok. Az átalakítás hatásfoka nagyobb, mint 90%. A katalizátorban a platinafémek tízed és tíz gramm nagyságrendben találhatóak. A hatásfok fenntartása miatt a benzin ólmozását is meg kellett szüntetni, mert az ólmozott (és brómozott) üzemanyagból keletkező ólom-halogenid aeroszol bevonta a katalizátor hasznos felületét, azaz katalizátorméregként viselkedett. Az ólom idegrendszert károsító hatása egyébként korábban is jól ismert és dokumentált volt. Az ólmozatlan benzin kevesebb, mint 0,013 g/l ólmot tartalmaz.

A kipufogógázban lévő másik fő emissziós termékcsoporthoz az aeroszol (levegőben eloszló kisméretű szilárd és cseppfolyós részecskék rendszere), amely korom és szervesanyag-tartalmú részecskékből, valamint szulfát- és nitrát-aeroszorból áll. Más vegyületek tömeghányada általában 1%-nál jóval kisebb, de egészségügyi hatásuk miatt mégis fontosak lehetnek. A korom kibocsátását részecskeszűrőkkel, és a kiszűrt szemcsék alacsony hőmérsékleten történő, katalitikus elégetésével igyekeznek csökkenteni, míg a szulfát-aeroszol emisszióját a gázolaj kéntelenítésével csökkentik. Láttuk, hogy a gépjármű-katalizátor az egészségre káros gázok problémáit lényegében megoldja. Használata során azonban katalizátorfémek is kerülnek a levegőbe aeroszol formában a kipufogógázzal együtt, mechanikus hatások és erózió következtében. A platinafémek nyomnyi mennyiségben vannak jelen általános környezetünkben, így a gépjárművek viszonylag kis emissziója is nagy relatív változást okozhat. A platinafémek és vegyületeik környezeti hatása nagyban függ vízdoldhatóságuktól. Poten-

ciálisan toxikus fémekről van szó, amelyek sejtmérgek, és allergiás tüneteket válthatnak ki. Egyes platinavegyületeket az orvosi gyakorlatban citotoxinként használják.

A kipufogógázban lévő káros anyagok emissziójának csökkentése terén elért sikerek miatt a gépjárművek nem kipufogógáz-jellegű (főleg kopásból származó) aeroszol emissziós termékeinek jelentősége megnőtt az elmúlt években. Az alternatív üzemanyagok bevezetése és elterjedése várhatóan nem változtat ezen a tendencián.

A közúti közlekedés hatása Budapest levegőminőségére

A Budapesten és Pest megyében regisztrált személygépkocsik száma 748 ezerrel 1 021 ezerre nőtt; a dízelüzemű személygépkocsik országos aránya 5%-ról 15%-ra változott 1992 és 2005 között. A katalizátorral felszerelt gépjárművek aránya jelentősen emelkedett, de a személygépkocsik átlagéletkora alig csökkent (2005-ben a budapesti gépkocsik átlagéletkora kilenc év volt).

A budapesti légszennyezés jelentékeny hányada a közúti gépjárművektől származik, és magában a városban történik. Esetenként azonban számottevő lehet a regionális légköri transzportfolyamatok által, a városon kívülről szállított szennyezők mennyisége is. A levegőszennyezettség még elviselhető a város egészét tekintve. A kémiai levegőminőség szempontjából a szennyező anyagok közül első közelítésben az aeroszolnak, talán a nitrogén-oxidoknak és a troposzférikus ózonnak van kiemelkedő szerepe. Egyes összetevők légköri koncentrációja időnként az egészségügyi határérték körül ingadozik. Szeles és/vagy csapadékos időben sokkal tisztább a levegő, szélcsendes időben és (téli) meteorológiai inverziók esetén viszont a határértékek

nél jóval nagyobb koncentrációk is előfordulnak. A levegőminőség napszakonként és évszakonként is változik, illetve a városrészek/

útvonalak között lényeges különbségek alakulhatnak ki, amint ezt az 5. ábrán szemlél-
tetjük. A város egészének levegőminőségét

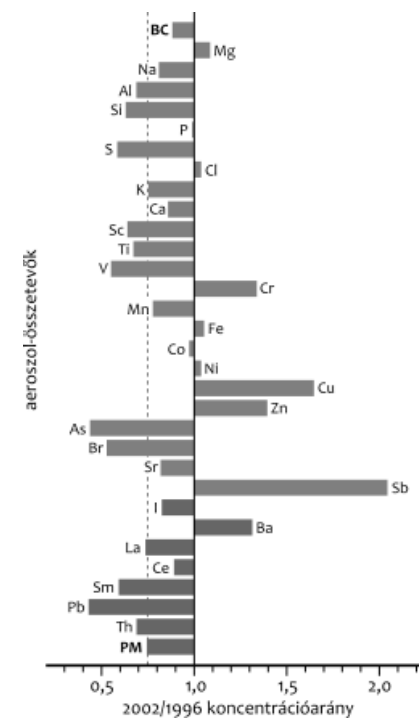


5. ábra • Budapest NO₂-szennyezettségének térképe (KDvKTVE, 2004).

leginkább a kedvező geográfiai elhelyezkedés és mikrometeorológiai viszonyok alakítják. A friss légtömegek az északnyugati, uralkodó szélirányból a Budai-hegységen keresztül el-
érik a város belsejét, a Duna fölötti szabad légtérben felhígítják a városi, szennyezett le-
vegőt, majd délkeleti irányba szinte akadály
nélkül távoznak.

A durva méretű (2 és 10 µm közötti átmé-
rőjű) aeroszol összetevők koncentrációjának
változását Budapest belvárosában 1996 és
2002 között a 6. ábrán mutatjuk be. Az ólom
és bróm (az ólmozott benzin adalékanyagai
voltak) légköri koncentrációja jelentősen
csökkent az említett időszakban. A változás
oka az, hogy 1999 tavaszán az ólmozott ben-
zint teljes mértékben kivonták a kereskedel-
mi forgalomból Magyarországon, aminek
következtében az ólom- és brómkoncentrá-
ciók harmadukra-negyedükre csökkentek
rövid időn belül. Azóta gyakorlatilag azonos
koncentrációkat mérünk. Az ólom átlagos
koncentrációját a belelegezhető méret-
frakcióban ma 28 ng/m³ körüli, ami sokkal
kisebb az egészségügyi határértéknél, és lé-
nyegében megfelel az európai háttérértéknek.
A 6. ábra azt is mutatja, hogy néhány fém,
nevezetesen az antimon, a réz, a cink, a bár-
ium és a króm (valamint a finom méretű
korom) légköri koncentrációja jelentősen
megrőtt. Legnagyobb mértékben, 50–100%-
kal a réz és az antimon koncentrációja növe-
kedett. A rézkoncentráció a belelegezhető
méretfrakcióban jelenleg jellemzően 62 ng/
m³, míg az antimon 16 ng/m³ koncentráció-
ban található a belvárosban. A réz 76-szor,
míg az antimon 5100-szor van feldúsulva a
levegőben az átlagos földkéreghez viszonyítva.
A dúsulás valószínűleg az utak mentén és az
ott élő növényzetben is kimutatható. Megál-
lapítottuk, hogy az említett elemeknek közös

a forrásuk, mind az antimon, mind a réz a
közúti gépjárművek fékbetéteiből származik.
A fékbetétek elhasználódásának mértéke
mintegy 15 mg kilométerenként személygép-
kocsiknál; a lekopó anyag ~30%-a szálló
porként a levegőbe kerül. Az aszbestmentes
fékbetétek viszonylag nagy koncentrációban
tartalmazzak antimont (2–7%-ban) és rezet
(8–15%-ban). Jellemzőjük a Cu/Sb-koncentrá-
cióarány, amely átlagosan 4,6 ± 1,2. Gyakor-
latilag ezt az értéket kaptuk a durva aeroszol-
ra vonatkozóan is. A mért érték 4,3 ± 0,8 volt,
ami az eredetre vonatkozó feltételezésünket
igazolta, sőt azt mutatja, hogy ezen elemek
egyik fő forrása a fékbetétek kopása. A réz



6. ábra • A durva méretű aeroszol kémiai
összetételének összehasonlítása Budapest
belvárosában 1996 és 2002 között (Salma et
al., 2006). BC: korom, PM: aeroszol tömeg.

légköri koncentrációjának 69, az antimon 66%-át a közúti forgalom eredményezi.

A gépjárművek gumi futófelületének kopása, ami kilométerenként 10–50 mg körüli személygépkocsik esetén, szintén jelentős levegőszennyezés. A gumi szerves anyagokat és 1–3% cinket tartalmaz. Méréseink alapján megállapítottuk, hogy a cink jelenlegi koncentrációjának (ami átlagosan 90 ng/m³) mintegy 65%-át a gépjárműforgalom eredményezi, míg az aeroszol tömegének 5–6%-a származik a gumik kopásából. Ez utóbbi járuléka meglehetősen nagyra tűnik, de összehasonlítva (valamivel nagyobb) más városokra vonatkozó, eltérő módszerekkel kapott adatokkal. A különbség Budapest úthálózatának (viszonylag) rossz állapotával magyarázható. A finom méretű korom légköri koncentrációjának növekedése a dízelüzemű járművek növekvő hányadával magyarázható elsősorban, amelyek akár egy nagyságrenddel is több kormot bocsátanak ki a kipufogógázban (részecskeszűrő nélkül), mint a benzinüzeműek. A poros környezetben zajló, intenzív közúti forgalom ráadásul fokozottan hátrányos, mert a járművek ismételt felverik a felszínre korábban már kiülepedett port. A felvert por azonban már komplex forrástípusokból származó anyagokat is tartalmaz az ásványi anyag mellett, mert a felületükön megkötődnek a korábban kiülepedett, eredetileg antropogén eredetű, finom részecskék, és ezért diffúz módon és dúsult arányban kerülnek újra a levegőbe.

Egészségügyi hatások és kilátások

A levegőszennyezés és különböző egészségkárosodási mutatók között közvetlen összefüggést találtak az elmúlt évtizedekben. Az egészségkárosodás asztmát, krónikus légúti megbetegedéseket (például: légcsőgyulladás,

emphysemát, tüdőhegesedést, COPD-betegséget), a légutak vírusos vagy bakteriális fertőzésekkel szembeni ellenálló képességének csökkenését, daganatos légzőszervi betegségeket, keringési zavarokat és koszorúérbetegségeket jelenthet. Az aeroszol-részecskékben található fémek, elsősorban az átmeneti fémek és szerves vegyületek és az ultrafinom részecskék (korom) különleges jelentőségűek. A közúti közlekedésből, főleg mechanikai kopás eredményeként, olyan fémek jutnak a levegőbe, amelyek egészségügyi és élettani hatásáról keveset tudunk. Az antimon például nemesszenciális elem, mérgező hatása hasonlít az arzénéhoz, sőt rákkeltő is. Mindezek miatt a kiemelt környezetszennyezők közé tartozik. Továbbá, főleg a műanyag- és kommunális hulladékok elégetésekor jelentkező emissziója miatt a modernkor egyik kulcsfontosságú antropogén levegőszennyezőjévé és jelzőanyagává vált, és koncentrációja már a sarkvidéki jégmintákban is kimutathatóan növekszik.

A közegészségügyi hatás mértékének tudatosításában segíthet az USA kilencven városára kiterjedő vizsgálat, amelynek eredményeként megállapították, hogy a belélegezhető méretfrakciójú aeroszol tömegkoncentrációjának 10 µg/m³ értékkel történő csökkentése átlagosan 0,3–0,6 %-kal csökkenti a napi halálozások kockázatát. Összehasonlításképpen, a szálló por éves átlaga Budapest belvárosában 2006-ban 45 µg/m³ körüli volt. A gazdaságilag fejlettebb régiókban a közúti közlekedés okozta egészségkárosodás kezelésére fordított összegeket a nemzeti össztermék 1–2%-ára becsülik. Az antropogén levegőszennyezés jelentősen megnöveli az amortizációs és a korróziós károk okozta kiadásokat, továbbá összetett és érzékeny kapcsolatban van az éghajlatváltozással is, mivel

módosíthatja a regionális éghajlatot vagy a városi klímát.

A nagyvárosok levegőminőségét, közöttük Budapestét is, további tényezők is befolyásolják majd a jövőben. Érdemes külön is megemlíteni a várostervezést, amely a meglévő, előnyös adottságok megtartásával és kihasználásával, illetve a közlekedés okozta általános terhelés csökkentésével fontos szerepet játszhat, valamint a tágas zöldterületek jelentőségét. Budapest Európa legszebb városai közé tartozik, földrajzi fekvése és elhelyezkedése, valamint reméljük, hogy hangu-

lata és szellemisége miatt. Azt szeretnénk, ha lakóiban és vendégeiben jobban tudatosodna a város környezeti értékeinek megbecsülése, továbbá mindannyian hozzájárulnánk ahhoz, hogy a mainál jobba és kedvezőbbé váljon a város atmoszférája.

A munka az OTKA részleges anyagi támogatásával (K61193) készült.

Kulcsszavak: *iparosodás, urbanizáció, levegőszennyezés, közúti gépjárműforgalom, aeroszol, kipufogógáz, Budapest*

IRODALOM

- Hong, Sugmin – Candelone, J.-P. – Patterson, C. C. – Boutron, C. F. (1994): Greenland Ice Evidence of Hemispheric Lead Pollution Two Millennia Ago by Greek and Roman Civilizations. *Science*. 265, 1841–1843.
- KDvKTVE (Közép-Duna-völgyi Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség) (2004): *Budapest és környéke agglomeráció integrált levegővédelmi intézkedési programja*. KDvKTVE, Budapest

- Salma Imre – Maenhaut, Willy (2006): Changes in Chemical Composition and Mass of Atmospheric Aerosol Pollution Between 1996 and 2002 in a Central European City. *Environmental Pollution*. 143, 479–488.
- Population Reference Bureau (1998): *World Population Projections to 2010*. Washington, USA.
- Walsh, Michael P. (2000): *Motor Vehicle Pollution Control*. US AEP, USA

