

Pécsi Tudományegyetem
Természettudományi Kar
Földrajzi Intézet

A szálló por és a troposzférikus ózon
egészségkárosító hatásának becslése
magyarországi nagyvárosokban

Készítette: Németh Péter

Témavezetők: Szinyei Dalma
dr. Páldy Anna



2014

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzés	4
2. A légszennyezés és a légszennyező anyagok hatása az emberi egészségre	6
2.1 A szálló por hatása az emberi egészségre	8
2.2 A troposzférikus ózon hatása az emberi egészségre	11
3. Légszennyezettség és levegővédelem Magyarországon	13
3.1 Az APHEA, az APHEIS és az APHEKOM projekt	16
4. A vizsgálati módszer bemutatása	20
4.1 Adatok	24
5. Eredmények	26
5.1 Rövid távú scenáriók a PM ₁₀ hatásának becslésére	26
5.2 Rövid távú scenáriók az ózon hatásának becslésére	32
5.3 Hosszú távú scenáriók a PM _{2,5} hatásának becslésére	35
5.4 Konklúzió	38
6. Összefoglalás	40
7. Irodalomjegyzék	43
8. Melléklet	48

Absztrakt

A fokozódó urbanizáció és motorizáció eredményeképpen egyre nagyobb népegészségügyi problémát jelent a légszennyező anyagok, különösen a szálló por és a troposzférikus ózon az egészségügyi határértéket meghaladó koncentrációja. A megemelkedett szennyezőanyag-koncentráció fokozott egészségügyi kockázatot jelent a légzőszervi-, keringési megbetegedésben szenvedők számára, valamint egyre növekvő halálozási hajlandóságot okoz. Az Európai Unióban, így Magyarországon is fokozott figyelem irányul a levegő minőségének javítására, ennek hangsúlyozására a 2013. évet a Levegő Évének nyilvánították.

A nemzetközi APHEIS és APHEKOM projekt keretében 25 európai nagyvárosban elemezték a légszennyező anyagok hatását az emberi megbetegedésekre. A vizsgálati módszer továbbfejlesztésével az APHEKOM projekt keretében Magyarországon 14 városban végeztek hatástanulmányokat 2005-től 2010-ig tartó időszakra.

A folyamatnak folytatásaként a 2011-2013 közötti időszakra végeztem el az egészségügyi hatásbecslést az APHEIS és APHEKOM projekt keretében kidolgozott protokoll alapján Magyarország 15 nagyvárosára. A dolgozatban használt módszerrel az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat (OLM) városi háttérállomásainak adataiból és a nemzetközi vizsgálatok alapján megállapított kockázati értékek felhasználásával becsülhető a szálló por és a troposzférikus ózon koncentrációnak tulajdonítható rövid távú és hosszú távú többlethalálozás. A számításokat különböző, a szennyezőanyagok csökkentésére vonatkozó forgatókönyvek alapján végeztem halálozási és kórházi betegfelvételi adatok felhasználásával.

Az elvégzett környezet-egészségügyi hatásbecslés eredményei alapján megállapítható, hogy mind rövid, mind hosszú távon szükséges és ajánlatos a levegőminőség javítása, ugyanis a szálló por és a troposzférikus ózon éves átlagkoncentrációjának $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -rel történő csökkentése is jelentősen mérsékelné az elhalálozások számát. Az alacsonyabb ózonkoncentráció leginkább a 65 év feletti korosztály légzőszervi megbetegedéseinek esetszámát csökkentené. Azonban a szálló por $2,5$ mikrométeres átmérőnél kisebb frakciója ($\text{PM}_{2,5}$) krónikus hatásainak csökkentése járna a legnagyobb egészségügyi nyereséggel, amennyiben sikerülne lecsökkenteni a $\text{PM}_{2,5}$ éves átlagkoncentrációját $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -re. Az eredmények szerint 2011-ben 2624, 2012-ben 1772, 2013-ban 1678 lenne összesen az elkerülhető halálozások száma a vizsgált 15 városban.

1. Bevezetés és célkitűzés

A légkör különleges helyet foglal el a Föld környezeti tartományai közül, ugyanis a környezet legdinamikusabb, legmozgékonyabb közege. A légkör védelme különösen fontos, mivel az itt lejátszódó folyamatok alapvetően meghatározzák a mindennapi életünket, gazdasági tevékenységünket. Az iparosodás, a fokozódó motorizáció, közúti közlekedés és lakossági fűtés által kibocsátott káros anyagok miatt növekvő mértékben szennyezik a légkört. A légszennyezés világméretű, globális probléma, melynek, hatása nem korlátozódik kizárólag a légszennyező anyag kibocsátási területére, hanem a Föld egészét érinti. Ilyen globális problémaként értelmezhető az ózonréteg elvékonyodása, a környezet savas terhelése, az üvegházhatású gázok megnövekedett légköri koncentrációja. Ezeken a globális problémákon túl a szennyezett levegő lokális problémát okozva károsíthatja az emberek egészségét, amire az 1952-es nagy londoni szmog hívta fel a figyelmet. A szmog, amely megbénította a város életét, több mint 4000 halálos áldozatot követelt (elsősorban a légzőszervi és keringési betegségekben szenvedők körében), és számos ember megbetegedését okozta.¹

A nagy londoni szmog óta több olyan tanulmány készült, amely a szív- és érrendszeri morbiditást és mortalitást a légszennyező anyagokkal hozta összefüggésbe. Ezen vizsgálatok eredményeképpen beigazolódott, hogy szoros összefüggés van az allergiás, asztmás, illetve egyéb légzőszervi megbetegedések előfordulása és a szálló por (particulate matter, PM) valamint a felszíni ózon (O₃) magas légköri koncentrációja között.

Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EEA) a szálló por 10 µm és 2,5 µm alatti frakcióját (PM₁₀, PM_{2,5}) és az ózont mint légszennyező anyagokat tartja az emberi egészségre legártalmasabbnak. „Veszélyként” értelmezhető az is, hogy ezen anyagok légköri koncentrációja fokozatosan növekszik, hiszen az emberek növekvő igényeinek kielégítésére egyre több energia szükséges, melynek előállítása során ezek a káros anyagok is a levegőbe kerülnek. Az egyre nagyobb volumenű közlekedés, mely a mindennapi életünk velejárója, forrásául szolgál a nitrogén-oxidok (NO_x) kibocsátásának, melyből fotokémiai úton ózon keletkezik.

Az APHEIS (Air Pollution and Health: A European Information System) projekt keretében az Országos Környezetegészségügyi Intézet (OKI) becslést adott Budapest és 12 megyeszékhely, valamint Várpalota esetében a szálló por 10 µm alatti frakciójának az egészségkárosító hatásairól a 2005-2010-ig tartó időszakra. A vizsgálat eredménye

¹www.metoffice.gov.uk

igazolta, hogy a szálló por koncentrációjának csökkentése előnyösen befolyásolná az érintett populáció egészségi állapotát (BOBVOS ET AL 2014).

A folyamat folytatásaként a 2011-2013 közötti időszakra végeztem el az egészségügyi hatásbecslést az APHEIS és APHEKOM projekt keretében kidolgozott protokoll alapján Magyarország 15 nagyvárosára. A módszerrel az online mérőállomások adataiból nyert 24 órás átlagkoncentrációk eloszlási gyakoriságának és a nemzetközi vizsgálatok alapján megállapított kockázati értékek felhasználásával kiszámítható a városokra jellemző légszennyezettségnek tulajdonítható rövid távú (akut) és hosszú távú (krónikus) többlethalálozás és megbetegedés a különböző scenáriók szerint. Le kell szögezni, hogy epidemiológiai vizsgálatok által alátámasztott légszennyezésnek tulajdonítható hatásbecslés azon a hipotézisen alapszik, hogy a kockázati tényező és a betegség között ok-okozati összefüggés van (BEREGSZÁSZI T. – PÁLDY A. 2005).

A dolgozat következő fejezetében áttekintem a légkör szerepének a védelmét, valamint a légszennyező anyagokat és azok hatásait az emberi egészségre. A harmadik fejezetben a magyarországi levegőszennyezésről és levegővédelemről írok. A negyedik fejezet tartalmazza az egészségügyi hatásbecslés módszerét és a tanulmányban vizsgált adatok leírását. Az eredményeket és a következtetéseket az ötödik fejezetben ismertetem. A hatodik fejezetben összefoglalom a dolgozatot és a további vizsgálati lehetőségeket említek.

2. A légszennyezés és a légszennyező anyagok hatása az emberi egészségre

Légszennyezésnek nevezzük a légszennyező anyagoknak a levegőbe bocsátását (emisszió), ha azok a jogszabályok által definiált határértéket meghaladják (SIMON G. 2004, FODOR I. 2006). Ezek az anyagok ártalmasak az élőlényekre, illetve az ökológiai rendszerekre, az anyagi javakra, valamint a környezet által nyújtott, igénybe vehető lehetőségek kiaknázását is mérséklük (SIMON G. 2004). A levegőminőség-károsítás szempontjából a levegő fő komponenseinél (oxigén, nitrogén, argon és egyéb nemesgázok) lényegesen kisebb arányban jelenlévő gázok, gőzök, cseppfolyós és szilárd anyagok (aeroszolok) játsszák a döntő szerepet. A környezeti elemek hatására ezeknek a gázoknak, szilárd anyagoknak a mennyiségi viszonyaik módosulhatnak, és visszahatnak a környezet elemeire, így kis mennyiségük ellenére igen fontos szerepet játszanak a légköri folyamatok kialakításában (GÁCS I. – KATONA Z. 1998).

A levegő szennyezettségének térbeli kiterjedése a szennyező forrásoktól, illetve a légköri folyamatoktól függően lehet lokális, városi, regionális, kontinentális és globális. A lokális skálán a légszennyező anyagok szmogot (füstköd) eredményezhetnek, melynek két fajtáját különböztetjük meg, a London- (redukáló) és a Los Angeles- (oxidáló) típusút. A London-típusú szmognak a fő összetevői a közlekedés (gépjárművek kipufogógázai), az ipari termelés és háztartások tüzelése során kerülnek a légkörbe. A fő összetevők között a szén-dioxidot (CO_2), a szén-monoxidot (CO), kén-dioxidot (SO_2) és a szálló port tartjuk számon. Kialakulásának feltétele az alacsony hőmérséklet (téli időjárás), a magas páratartalom, a szélcsendes idő, valamint a topográfia helyzete (medence-helyzet, óceáni éghajlat). A Los Angeles-típusú szmog kialakulásának éppen ellentétes feltételei vannak. A nyári, napsütéses idő hatására a közlekedés által kibocsátott nitrogén-oxidok és szénhidrogének troposzférikus ózont és egyéb másodlagos szennyezőket (peroxi-acetil-nitrát (PAN), salétromsav, hidrogén-peroxid, aldehidek) hozhatnak létre, melyek alapjául szolgálnak a szmognak (RADNAINÉ DR. GYÖNGYÖS ZS. 2011, MOSER M. – PÁLMAI GY. 1999).

Az alsó, talajközeli légrétegekben (a troposzférában) elsősorban erős napsugárzás hatására és az elsődleges szennyező forrásokból fotokémiai úton keletkezik számottevő mennyiségben ózon mint másodlagos szennyezőanyag, azonban zárt térben a fénymásoló

és lézernyomtató gépek közelében is keletkezhet.² A troposzférikus ózon koncentrációja nyáron és kora délután a legnagyobb, mivel ekkor a legintenzívebb a napsugárzás, mely feltétele a kialakulásának. A közúti forgalom (gépjárművek kipufogó-gázai), az ipari tevékenységek és a háztartások energiaszennyezésének hatására keletkező nagymennyiségű nitrogén-oxidok (NO_x), illó szerves vegyületek (volatile organic compounds, VOC) és a CO, az ún. prekursor anyagok is szerepet játszanak ózon képződésében/bomlásában. A Nap UV sugárzásának hatására (fotokémiai úton) ózont képeznek a nitrogén-oxidok, mely a fotokémiai (oxidáló) szmog fő alkotó eleme (MÉSZÁROS E. 2008).

A légkörben ezeken a gázokon kívül nagy számban vannak jelen az ún. aeroszol-részecskék (szilárd, cseppfolyós részecskék). Ezeknek a forrása jelentős részben (90%-ban) természetes eredetű, így az aeroszol-részecskék a talajerózió, hullámverés vagy éppen vulkánkitörések, erdőtüzek, alkalmával, esetleg meteoritokként jutnak a (földi) légkörbe. A források kisebb része (10%-a) antropogén eredetű. Ezek a por, korom, hamu, nitrát, szulfát, szerves aeroszokok általában az iparból (például a bányászat), a gépjárművek kipufogóiból, valamint a biomassza égetéséből származhatnak (BARTHOLY J. ET AL. 2011). A szilárd aeroszol részecskék zömét kitevő poroknak két típusát különböztetjük meg. Ülepedő poroknak nevezzük az 10-1000 μm szemcseátmérőjűeket, mivel gyorsan ülepednek. A 10 μm -nél kisebb átmérőjű részecskék azonban már igen lassan ülepednek, ezért őket szálló vagy lebegő poroknak hívjuk (total suspended particulate, TSP). Az összes lebegő portartalmat további 3 részre bonthatjuk: durva 2,5-10 μm , finom 1-2,5 μm és ultrafinom <1,0 μm alatti átmérőjű részecskékre (POPE, III C.A. – DOCKERY, D.W. 2006). Az aeroszol részecskéknél kulcsfontosságú szerepük van a csapadék (felhő, köd) képződésében, ugyanis a vízgőz az ún. kondenzációs magvakon kicsapódik (FODOR I. 2006).

Az emberi egészség megóvása szempontjából nagy jelentősége van a levegő tisztaságának, ugyanis a szervezet energiát fordít a levegőszennyezés elhárítására. Az energiaráfordítás viszont felesleges megterhelést jelent, melynek következtében csökken a szervezet ellenálló képessége, így a legyengült szervezetben betegségeket idézhet elő, a meglévőket súlyosbíthatja, késleltetheti a gyógyulásukat (VEZÉR T. 2006). A károsító hatás attól függ, hogy milyen és mekkora mértékű a szervezetet érő káros külső hatás (expozíció).

²www.levego.hu

Az ipari eredetű levegőszennyezés során toxikus anyagokat tartalmazó (pl.: nehézfémeket, karcinogén, mutagén anyagokat), valamint baktériumokat, vírusokat, gombákat adszorbeáló vegyületek (például a porrészecskék) is kerülhetnek a légkörbe, melyek a bejutva a szervezetbe daganatos betegségek kialakulását is előidézhetik. A mérgező anyagok a tüdő alveolusain (léghólyagok) keresztül közvetlenül a véráramba juthatnak, így az egyes légszennyezők például ólom, higany, benzol az idegrendszert is károsíthatják (DÉSI I. 2002).

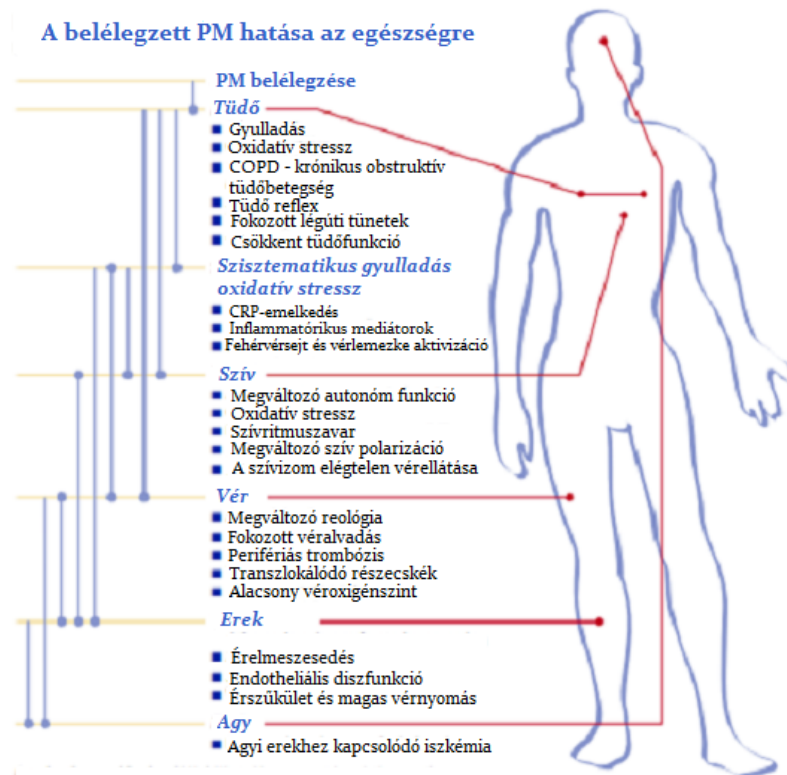
A társadalom sérülékeny csoportjait, például a gyermekeket, időseket, asztmásokat és egyéb szív- és érrendszeri betegségben szenvedőket igen érzékenyen érintheti a szmog (WHO 2011). Mivel egy gyermek (nyugalmi állapotban – egységnyi testsúlyra számítva) kétszer annyi levegőt lélegzik be, mint egy felnőtt (7-14 litert percenként), valamint mivel a légútjai keskenyebbek és tüdeje még fejlődik, ezért a légszennyező anyagok könnyebben juthatnak be a szervezetébe, ahol komolyabb hatást fejthetnek ki. Számukra különösen is fontos az Egészségügyi Világszervezet állásfoglalása, miszerint nem létezik az a legkisebb pormennyiség, amely bizonyítottan ártalmatlan az egészségre (WHO 2011).

Mindkét típusú szmog elsősorban a légzőszervi és keringési betegségben szenvedők körében fejti ki egészségkárosító hatását, és átmenetileg megemeli a halálozások számát. Ezért a légszennyezettség egy rizikófaktor, vagyis olyan „külső” körülmény, amely a betegség előfordulásának, keletkezésének a kockázatát növeli (ÁDÁNY R. – V. HAJDÚ P. 2006, FODOR I. 2006). A WHO (Egészségügyi Világszervezet) egy 2011-es jelentése szerint évente 2 millió ember hal meg idő előtt a légszennyezés hatására (WHO 2011).

2.1 A szálló por hatása az emberi egészségre

A szálló por egészségkárosító hatásairól számos cikk jelent meg a közelmúltban, azonban a legfontosabb hatásokat Pope, III és Dockery 2006-ban megjelent cikke foglalja össze (*1. ábra*). Egy adott részecske hatása az emberi egészségre, attól függ, hogy a légzőrendszerbe jutva milyen penetrációs (behatoló, áthatoló) képességgel, kémiai reaktivitással és toxicitással rendelkezik (VEZÉR T. 2006). Az egészségkárosító hatás szempontjából a szálló por tág határok között változó mérete a legmeghatározóbb. A több szennyező anyagot tartalmazó nagyobb részecskék ($>100\ \mu\text{m}$) egészségkárosító hatása kisebb, ugyanis nem hatolnak be (penetrálnak) az alsó légutakba, többnyire az orr

nyálkahártyái kiszűri őket. A 10-20 µm méretű részecskék elsősorban a légutakban fejtik ki hatásukat, azonban a légutak csillószőrös háma kiszűri őket így nem tudnak eljutni a tüdőbe. A 0,1-10 µm méretű szemcsék nagy része a tüdőbe jutva akkumulálódik, és ott fejtik ki káros hatásukat (VEZÉR T. 2006). A szemcsék mérete mellett az alakja is meghatározó az egészségkárosító hatás szempontjából.



1. ábra A belélegzett szálló por hatásai az egészségre
(Forrás: MEDINA, S. 2011)

A szálló por rövid távú, akut hatása

Számos tanulmány mutat összefüggést a légszennyező részecskék általi rövid távú kitettség és a szív-és érrendszeri betegségben való elhalálozás között (POPE, III C.A. – DOCKERY, W.D. 2006). A PM-nek való rövid idejű kitettség is agyi érkatasztrófához (stroke) vezethet (POPE, III C.A. – DOCKERY, W.D. 2006). Több publikáció számolt be arról, hogy a rövid távú PM-expozícióhoz is iszkémiás szívbetegség (a szívizom elégtelen vérrellátása) társulhat, mely infarktushoz is vezethet (PETERS, ET AL. 2001). A szívet körülölelő koszorúerekbe ugyanis az ultrafinom részecskék bejuthatnak és elzárhatják az utat a szívizom számára szükséges friss oxigén elöl, tehát az oxigénigény és -kínálat egyensúlyának megbotlása a szívizom elégtelen keringéséhez, iszkémiához vezet. A PM

további hatásként különböző pulmonális vagy szisztémás gyulladást okozhat, amelynek hatására növekszik a vér alvadékonysága, ami vérrögzépződéshez vezethet továbbá szívritmuszavart, szívfrekvencia-változást, vérnyomásváltozást és hypoxiát idézhet elő (POPE, III C.A. – DOCKERY, W.D. 2006, SEATON, ET AL. 1995). A szálló por rövid távú expozíciója hatására különböző légzőrendszeri „megbetegedések” alakulnak ki, elsősorban a lokális gyulladás miatt, mint például tüdőkárosodás, légszomj, száraz köhögés, ziháló légzés valamint oxidatív stressz.

A szálló por hosszú távú, krónikus hatása

Számos tanulmány igazolja, hogy a PM hosszú távú expozíciója hozzájárul a szív- és érrendszeri morbiditáshoz és mortalitáshoz (POPE, III C.A. – DOCKERY, W.D. 2006). A PM_{2.5}-nek való hosszú távú kitettség szorosan összefügg az iszkémiás szívbetegséggel, a szívelégtelenséggel és a szívmegállási halálozással (POPE, III C.A. ET AL. 2004). Az ultrafinom részecskék ($>0,1 \mu\text{m}$) a légzőszervekben kiülepedve oxidatív stresszhatásnak teszik ki az embert, mivel sokkal nagyobb mértékben képesek például hidroxil-gyököt (olyan oxigénatomjai vannak, amelyeknek a külső pályáján egy szabad elektron kering) létrehozni, mint a finom vagy durva aeroszol részecskék. A hidroxil-gyökök reaktívvá teszik az atomcsoportot, amely így képes a sejteket károsítani és oxidációs folyamatokat indítani, ami a sejtek pusztulásához, korai előregedéséhez vezethet. A szabadgyökök képződése és reakciója más molekulákkal való reakciójának köszönhetően szív- és érrendszeri megbetegedéseket, érlemezsedést (atherosclerosis), infarktust, agyvérzést okozhat.

Az ultrafinom részecskék továbbá nagyon kicsi méretük miatt átjutnak a sejtfalon, bekerülnek a véráramba és módosítják a vér kémiai és biológiai tulajdonságait, fokozhatják a vér alvadékonyságát és perifériás trombózist idézhetnek elő (JUHÁSZNÉ SZALAI A. 2011). Az agy és a szív romló oxigénellátása miatt ritmuszavar léphet fel. Az ultrafinom részecskék nagy száma csökkentheti a makrofágok (falósejtek) védekező mechanizmusát a tüdőben. A tüdőben a megnövekedett PM-koncentráció hatására gyulladásos reakció és a krónikus aspecifikus (nem fajlagos) légzőszervi betegségek (COPD) fellángolása jelentkezik (POPE, III C.A. – DOCKERY, W.D. 2006). A leggyakrabban a dohányzók körében jelentkező krónikus obstruktív légúti betegség (COPD) olyan kóros állapot, melyet progresszív, folyamatosan romló tüdőfunkció és tartós alsó légúti beszűkülés

jellemez. A csökkent tüdőfunkció mellett szisztémás gyulladásos és oxidatív stressz tünetek is kialakulnak (DR. ZSUGA J. 2014).

2.2 A troposzférikus ózon hatása az emberi egészségre

Az ózon a görög ozein szóból származik, melynek jelentése „szagot árasztó” (MÉSZÁROS E. 2008). Az ózon egészségkárosító hatása a felső légutakban érvényesül elsősorban, mert az ózon túlságosan reakcióképes ahhoz, hogy a tüdő lég hólyagjaiba eljuthasson (GELENCSÉR A. – MOLNÁR Á. 2011). Az ózon vízben nem oldódik, így a tüdő legperifériásabb részében, az alveolusokban szaporodik fel. „A fedőhámot (epitheliális felszín) borító folyadék (ELF) a szöveteket általában megvédi az ózon károsító hatásától. Az ELF elvékonyodása esetén az O₃ a sejtmembránt károsítja. A légúti nyálkahártya átjárhatóságát (permeabilitását) növeli, így az allergének, a vírusok és a baktériumok könnyebben jutnak át az epitheliumon (fedőhámon)” (DR. RUDNAI P. 2006). Az ózon már kis koncentrációban is izgatja, irritálja a szemet és a légzőszervek (orr, torok) nyálkahártyáit, súlyosbítva a krónikus betegségeket, mint például az asztmát és a hörghurutot, továbbá köhögést, fejfájást, hányingert, émelygést legsúlyosabb esetben tüdővérzést is okozhat.³

Az ózon (hasonlóan a PM-hez) akut hatásai során jelentős hatást gyakorol a légző-, szív- és érrendszerre, valamint ezek mortalitására és morbiditására (U.S. Environmental Protection Agency 2014). A belélegzés következtében a légzőszervekben gyulladás, a szöveti struktúraváltozás és az oxidatív hatás következtében jelentkező védekező mechanizmusok gyengülése tapasztalható. Az emelkedett ózonkoncentráció krónikus hatásai közül elsősorban a csökkent légzésfunkciós értékek, az asztma súlyosbodása (exacerbáció), az érelmeszesedés avagy a várható élettartam csökkenése emelendő ki (DR. DURA GY. – DR. PÁNDICS T. 2013).

Azonban az emberi szervezetnek a megnövekedett talajközeli ózonkoncentrációra adott válasza szoros összefüggésben van az egyéni érzékenységgel, mivel a megnövekedett koncentráció még jobban növeli a szervezet érzékenységét és fokozza annak a reakcióját, valamint 15-20%-al csökkenti a tüdőkapacitását még egészséges felnőttek esetében is (WHO 2003). Ez komoly problémát jelenthet az ember számára, ha asztmában, allergiában

³www.kvvm.hu

szenved, ugyanis ha az ózonkoncentráció hatására lecsökkenő tüdőkapacitás gyengíti az immunrendszert, megnöveli a tüdőgyulladás kockázatát. Így még jobban megnehezíti az ózonkoncentráció növekedésével egybeeső magas pollenkoncentráció elleni védekezést. A tüdő észlelhető funkciócsökkenése már 20 ppb (parts per billion) koncentrációnál érzékelhető (GELENCSÉR A. – MOLNÁR Á. 2011). A szervezet érzékenységét továbbá befolyásolja az ózon koncentrációja, a belégzés időtartama és a percenként belélegzett levegő térfogata (ugyanis felszívódik majdnem az összes belélegezett ózon). Ezért is vették figyelembe az ózonra vonatkozó levegőminőségi szabványok, illetve küszöbértékek megállapításánál a belégzés időtartamát. Mivel az O₃ nyáron (napos időben) a 8 órát is meghaladhatja, így az ózon napi koncentrációt rendszerint 8 órás mozgóátlagok napi maximumában adják meg.

3. Légszennyezettség és levegővédelem Magyarországon

Magyarországon a XXI. századra a bányabezárások és az ipari termelés visszaesése miatt az olyan fő szennyező ágazatok, mint az energiaipar, nehézipar, vaskohászat, építőipar és a vegyipar szennyezőanyag-kibocsátása lecsökkent. Így mára a közlekedés vált a fő károsanyag-kibocsátóvá, de továbbra is jelentős a lakossági fűtés és az ipar emissziója. A szennyező anyagok közül jelentős visszaesés a kén-dioxid, szén-monoxid kibocsátásában tapasztalható az 1990 előtti évek szintjéhez képest. Hazánkban a kén-dioxid és a szilárdanyag-kibocsátás visszaszorulásának a háttérében a tüzelőanyagok kén tartalmának mérséklődése, a kén tartalmú szének használatának visszaszorulása, a kén telenítő berendezések használata, valamint magának a szénnel való tüzelésnek a visszaszorulása és a környezetbarát technológiák alkalmazása áll (KÖZPONTI STATISZTIKAI HIVATAL 2013). Azonban a nitrogén-dioxid, a szén-dioxid és a szálló por légköri koncentrációja a fosszilis tüzelő anyagok elégetése, a közlekedés (motorizáció) és a gáztüzelés terjedése miatt továbbra is magas szinten maradt (KÖZPONTI STATISZTIKAI HIVATAL 2013).

Magyarországon a környezet védelmének szabályairól szóló 1995. évi LIII. törvény a levegő védelme érdekében előírja, hogy „A levegőt védeni kell minden olyan mesterséges hatástól, amely minőségét veszélyeztető, vagy egészséget károsító módon terheli. A tevékenységek, létesítmények tervezésénél, megvalósításánál, folytatásánál, valamint a termékek előállításánál és használatánál törekedni kell arra, hogy a légszennyező anyagok kibocsátása a lehető legkisebb mértékű legyen”.

Magyarországon a levegőtisztaság-védelmi feladatok ellátásáért és koordinálásáért (jelenleg) a Vidékfejlesztési Minisztérium a felelős, míg a kibocsátások mérése, ellenőrzése a Környezetvédelmi és Természetvédelmi Felügyelőségek hatáskörébe tartozik. A levegő szennyezettnek minősül, ha a jellemző kibocsátás a megengedett határértékeket meghaladják. Ezen határértékek túllépése az élővilág számára káros, maradandó következményekkel járhat (FODOR I. 2006). A levegőminőség értékelése a mért értékek és a jogszabályok által meghatározott határértékek, a levegőtisztaság-védelmi követelményekkel történő összehasonlítása szerint zajlik (DR. BOZÓ L. ET AL. 2001).

A környezeti levegővel kapcsolatos szabályozás háromféle határértéket tartalmaz:

- egészségügyi határérték: jogszabályban meghatározott módon és időn belül be kell tartani az emberi egészség védelmében. Tartós egészségkárosodást nem okoz, de a küszöbhatár elérése és túllépése súlyos légszennyezettséget okozhat.

- tájékoztatási küszöbérték: alakosság egyes érzékeny csoportjaira (gyerekek, időskorúak, betegek) megállapított légszennyező anyagok szintje. Túllépése esetén a lakosságot tájékoztatni kell a létrejött helyzetről. Elérése és túllépése tájékoztatási fokozatú szmoghelyzetet eredményez, ami enyhébb intézkedéseket jelent.
- riasztási küszöbérték: azonnali beavatkozást igényel, mert rövid idejű tartós túllépés esetén az emberi egészség veszélybe kerül. Jelentős riasztási fokozatú szmoghelyzet esetén forgalomkorlátozással járó intézkedést eredményez.

„A szmogriadó tájékoztatási, vagy riasztási fokozatát akkor kell elrendelni, ha három mérőállomáson, egy időben mért légszennyező anyag koncentrációjának 3 egymást követő 1 órás átlaga, illetve a kisméretű részecske szennyezés (PM₁₀) esetében 2 egymást követő 24 órás (naptári napra vonatkozó) átlaga meghaladja a határérték rendeletben rögzített tájékoztatási vagy riasztási küszöbértéket és teljesülnek a határérték rendelet további feltételei.”⁴

A szmogriadó tájékoztatási vagy riasztási fokozatának az elrendeléséhez szükséges mintavételeket és vizsgálatokat, valamint azok ellenőrzését és értékelését az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat (OLM) végzi, melyet a már említett környezetvédelmi és természetvédelmi felügyelőségek működtetnek az illetékességi területükön. A rendszeres levegővizsgálati hálózat (Regionális Imissziós Vizsgáló Hálózat – RIV) 1974-ban jött létre, az Országos Környezetegészségügyi Intézet (OKI) és Közegészségügyi Járványügyi Állomás (KÖJÁL-ok, jelenleg az Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálat - ÁNTSZ) megyei és fővárosi Intézeteinek irányítása mellett. Az ellenőrző rendszernek 3 fő típusa van:

- telepített, távközlésbe kapcsolt, automatikus analizátorok rendszere (online rendszer),
- telepített mérő-, vagy mintavevő eszközök rendszere (offline rendszer),
- időszakos, rendszeres mérések, vagy mintavételek állandó mérőpontokon (DR. BOZÓ L. ET AL. 2001).

Ezek közül a nagyfokú automatizáltsággal rendelkező monitor-hálózatnak nevezett rendszer a kiemelkedő, ugyanis ennek a mért eredményeit használtam a vizsgálat során. A hálózatban működő mérőeszközök általában telepített konténerekben vannak elhelyezve.

Annak alapján, hogy az állomás az emisszió forrásához képest hogyan helyezkedik el, megkülönböztetünk regionális, városi, ipari háttér- és közlekedési állomást. Míg a

⁴www.met.hu

mérőhely típusa szerint városi, külvárosi és vidéki állomást (DR. BOZÓ L. ET AL. 2001). A városi háttér-állomás az ipari és a közlekedési emissziótól nem közvetlenül befolyásolt városi területen helyezkedik el, míg az ipari háttérállomás bizonyos ipari létesítmény, a közlekedési pedig nagyobb forgalmú út közelében található. Az automata mérőállomások folyamatosan mérik a kiemelt jelentőségű szennyező anyagokat (pl. SO_2 , NO_2 , NO_x , O_3 , CO) és az értékeléshez szükséges meteorológiai paramétereket (szélsebesség, szélirány, hőmérséklet, légnedvesség). Az OLM által mért levegőterheltségi adatok az interneten is elérhetők.⁵ Ha potenciális mennyiségű és sűrűségű állomások állnak a rendelkezésre, akkor a vizsgált területre jellemző meteorológiai adatok felhasználásával a vizsgált szennyezőanyagok légkörben való terjedése modellezhető, valamint szennyezettség-eloszlási térkép készíthető, amely ábrázolhatja a határértéket meghaladó koncentrációk gyakoriságát a területen (óra/év egységben).

A levegő védelmével kapcsolatos fő szabályokat a 2011. január 15-e óta hatályos 306/2010.(XII. 23.) Kormányrendelet szabályozza. A rendelet hatálya azokra a természetes és jogi személyekre, valamint jogi személyiséggel nem rendelkező szervezetekre terjed ki, akik (amelyek) tevékenysége levegőterhelést okoz. Az egyes légszennyező forrásokat méretük és típusuk szerint kategorizálták, és e kategóriák alapján határozták meg az emissziós határértékeket (pl. helyhez kötött pontforrás). A levegőtisztaság-védelmi hatósági jogkört első fokon a Környezetvédelmi és természetvédelmi felügyelőség látja el, kivéve a Kormányrendelet 36.§ (2) és (3) bekezdéseiben részletezett levegőtisztaság-védelmi ügyeket, melyekben a települési önkormányzat jegyzője, illetve a polgármester gyakorolja a hatósági jogkört. A szabályozások megalkotásánál és betartatásánál együttesen kell figyelembe venni az egészségügyi-toxikológiai, környezetvédelmi, jogi, gazdasági szempontokat (DR. BARÓTFI I. 2000).

Magyarországon az Európai Unió által van szabályozva a PM_{10} határértéke. A légszennyezettségi határértékekről, a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről szóló 14./2001. (V.9.) KvVM-ESZCSM-FVM együttes rendelete a következő határértékeket rögzíti: a 24 órás határértéket; ez $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, amely egy évben 35-ször léphető túl, és az éves határértéket, amely $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Az ózon 8 órás mozgóátlagok napi maximuma esetében az egészségügyi határérték $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mely túllépésének az évenkénti túrható esetszáma 80.⁵

⁵www.kvvm.hu

A levegő terhelései ma Magyarországon leginkább a nagyvárosi központokat és a kiterjedt agglomerációjú térségeket jellemzik, főként a közlekedési légszennyezés, valamint az intenzív területhasználat miatt. A gépjárművekből származó kibocsátások jelentős szerepet játszanak a nagy forgalmú közutak közvetlen környezetének és a nagyobb települések levegőjének szennyezettségében (pl.: Szeged, Győr, Sopron, Tatabánya, Pécs, Debrecen, Budapest) (SALMA I. 2010). Továbbra is, bár kisebb mértékben terhelik a levegőt az egykori nehézipari, energetikai termelőközrzetek, ahol hosszú ideig nagy mennyiségű volt a szennyezés. Ilyen térség például a közép-dunántúli ipari tengely, a Borsod-Abaúj-Zemplén megyei iparvidék, valamint a baranyai iparvidék.

A városok levegőminőségét a geográfiai elhelyezkedés és a mikrometeorológiai viszonyok alakítják. Ilyen tényezők közé tartozik a napszak, az évszak, az uralkodó szélirány, a csapadékmennyiség és a csapadék fajtája, melyen folyamatos változásai miatt egy területen a levegőszennyezettség mértéke ciklikus (MOSER M. – PÁLMAI GY. 1999). Például szeles és/vagy csapadékos időben sokkal tisztább a levegő, míg szélcsendes időben és (téli) meteorológiai inverziók esetén a határértékeknél jóval nagyobb koncentrációk is előfordulnak (SALMA I. 2010). Az egyéb természeti adottságok, így a domborzat, a növényborítottság, a területhasználat, a vízfelületek, meteorológiai állapot is befolyásolja a levegő minőségét. Hiába a magas az ipari kémény, ha a hegyoldalban vele egy magasságban lakóház található. Ebből a szempontból vizsgált terület medence-jellege mindenképpen előnytelen adottság. Ezért is különösen is magas a légszennyezés a következő városokban: Miskolc, Esztergom, Salgótarján, Pécs, Tatabánya. További kedvezőtlen adottság, ha város környékén sík, enyhén tagolt, gyenge víztartó képességű talajjal borított felszín található, mely defláció és erózió által fokozottan veszélyeztetett, ugyanis ez jelentősen fokozza a levegő természetes eredetű porterhelését (pl.: Szeged, Debrecen, Nyíregyháza).

3.1 Az APHEA, az APHEIS és az APHEKOM projekt

A légszennyezés egészségkárosító hatására az 1952-es londoni szmog hívta fel az emberek figyelmét, s azóta is számos olyan európai és észak-amerikai tanulmány készült, mely a légszennyezettség és néhány egészségügyi paraméter közötti kapcsolatokat tárta fel. Azonban az utóbbi évtizedek kutatásai során alkalmazott különböző eljárások, módszerek

miatt igen nehéz az eredmények összevetése, a következtetések levonása. A naprakész, reprezentatív és hitelesített adatok azonban nélkülözhetetlenek a szakemberek és a döntéshozók számára, hogy megtegyék a megfelelő intézkedéseket. Így szükséges volt egy olyan egységes számítási módszerek létrehozása (azonos módszerek, ajánlások, irányelvek alkalmazása), amivel az adatokat össze lehet hasonlítani egymással (BEREGSZÁSZI T. – PÁLDY A. 2005).

A fenti problémának a kiküszöbölésére jött létre 1993-ban az APHEA (Air Pollution and Health – A European Approach) projekt, melynek fő célja az volt, hogy a légszennyezés egészségre gyakorolt rövid távú hatásait egy egységes, szabványosított módon vizsgálja. A projekt első fázisában 11 kutatócsoport vett részt, eredményei pedig szabályozásoknak, nemzetközi együttműködéseknek adtak alapot. A következő fázisban (APHEA-2) az európai tudóshálózat bővítésével már 20 ország 32 városában 22 kutatócsoport vizsgálta az egészségügyi következmények és szennyezőanyag-koncentrációk (expozíció–válasz) és sürgősségi betegfelvételek közötti összefüggéseket, melyekkel tovább erősítették a légszennyező anyagok egészségkárosító hatásairól szóló nézeteket (SALOMI ET AL. 2005). A projekt keretében megjelent tanulmányok szerint, amennyiben a PM_{10} koncentráció 10 g/m^3 -al növekszik, az 0,52%-kal növeli a napi halálozások számát, míg ha a 8 órás ózonkoncentráció 10 g/m^3 -rel emelkedik, akkor a napi teljes halálozások számát 0,22%-kal, a légzőszervi halálozások számát 0,70%-kal növeli meg (KATSOUYANNI 2001, 2006). Egy másik tanulmány szerint a nyári (június-augusztus) ózonkoncentráció rövid hatása során a teljes és a szív-és érrendszeri halálozások száma nagyobb volt azokban a városokban, ahol alacsonyabb NO_2 -, illetve SO_2 -koncentrációt, hőmérsékletet és magasabb páratartalmat mértek (SAMOLI ET AL. 2009).

Az APHEA-2 projekthez Magyarország is csatlakozott. A vizsgálat keretében 1992-1995 között tartó időszakban a Budapest különböző pontjain mért szennyező anyagok (SO_2 , NO_2 , CO, TSP, O_3) rövid távú koncentrációváltozásának a hatását tanulmányozták az OKI munkatársai a napi össz- és okspecifikus (halálokok aspektusából vizsgálva) halálozásra (PÁLDY A. – BOBVOS J. – VÁMOS A. 2000).

A kutatási program 2001-ben befejeződött, azonban előzetes célkitűzései között nem szerepelt, hogy a döntéshozókat, a környezet-egészségügyi szakembereket és a lakosságot folyamatosan információval lássa el, ezért hozták létre 1999-ben az APHEIS-t (Air Pollution and Health: A European Information System - Levegőszennyezettség és Egészség Európai Információs Rendszer). A projekt célja egy olyan folyamatosan működő egészségügyi információs rendszer kiépítése volt, melynek során nemcsak információkat

szolgáltat azokról a politikusok, szakemberek és a lakosság számára, hanem méri a légszennyezés egészségkárosító hatásának időbeli alakulását és becslést ad azoknak a tényezőknek a jelentőségéről, amelyek befolyásolhatják a dózis-hatás összefüggéseket (PÁLDY A. – MEDINA, S. 2001). A projekt keretében Budapestre 1999-re és 2000-re elvégzett egészségügyi hatásbecslés során szintén alátámasztották a szállópor-koncentráció csökkentésének hasznos hatását, ugyanis a PM₁₀ éves átlagkoncentrációjának mindössze 5 µg/m³-es csökkentése által a hosszú távon bekövetkező halálesetek számát 1999-es adatok alapján évi 500 fővel, 2000-ben (a kisebb szennyezettségnek köszönhetően) 487 fővel lehetne mérsékelni (PÁLDY ET AL. 2003, 2005).

Az APHEIS program keretében 2002-re vonatkozóan is meghatározták a Budapestre és néhány vidéki városra (Miskolc, Pécs, Győr, Eger és Komló) jellemző szállópor (PM₁₀ és korom) szennyezettségnek tulajdonítható rövid és hosszú távú többlethalálozást (BEREGSZÁSZI T. – PÁLDY A. 2005).

Az APHEIS projekt keretében számos intézkedést hoztak, hogy csökkentsék a levegőszennyezést és annak egészségkárosító következményeit, azonban az érdekcsoportok (döntéshozók, lakosság) hiányos ismeretei miatt még mindig nem fogták fel a fennálló veszélyt. Ennek a hiánynak a kiküszöbölésére jött létre 2008-ban az APHEKOM projekt (Improving Knowledge and Communication for Decision Making on Air Pollution and Health in Europe: A levegőszennyezéssel és egészségi hatással kapcsolatos döntéshozatalhoz szükséges ismeretek és kommunikáció fejlesztése Európában). Az APHEKOM projektben résztvevő 25 európai város több mint 60 tudósa és szakembere az egészségügyi hatásbecslés terén a korábbi APHEIS projekt megalapozott eredményeire támaszkodva új kutatási irányvonalakat fogalmazott meg. Például olyan eszközöknek a létrehozását, amelyek lehetővé teszik, hogy a döntéshozók még hatékonyabb helyi és európai szintű politikát alakítsanak ki. Valamint az egészségügyi személyzet praktikusabb tanácsokat tudjon megfogalmazni a sérülékeny csoportok számára, hogy hogyan csökkenthetik a légszennyezésnek való kitettségüket. Továbbá az egészségkárosító hatások és az ezzel kapcsolatos költségek elemzését tűzték ki távlati célul (PÁLDY A. 2011). Ilyen eszköz például az egészségügyi hatásvizsgálat (Health Impact Assessment - HIA) a városi légszennyezésre, amely alkalmas arra, hogy felmérje és értékelje a városi légszennyezés egészségügyi rendszerekre kifejtett potenciális hatását.

Az Országos Környezetegészségügyi Intézet az APHEKOM projekt keretében 2005-2010 közötti időszakra vonatkozóan végzett környezetegészségügyi hatásbecslést 14 online monitor mérőállomással rendelkező város (Budapest, Debrecen, Eger, Győr,

Miskolc, Nyíregyháza, Pécs, Salgótarján, Szeged, Székesfehérvár, Szolnok, Tatabánya, Várpalota, Veszprém) esetében. Az elvégzett környezet-egészségügyi hatásbecslés során igazolták a szálló por akut és krónikus hatás csökkentésének tulajdonítható „nyereséget” különböző scenáriók szerint. A vizsgálat alapján évente átlagosan 49 fővel csökkent volna a 14 városban a halálozás, ha a határérték feletti napok szennyezettségét $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -re sikerült volna csökkenteni. A PM_{10} szennyezettség napi $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -el csökkentése révén Budapesten 67 ember életét lehetett volna megmenteni, míg a kisebb lakosságú városokban (Eger, Salgótarján, Székesfehérvár) 2-2-eset lehetett volna megelőzni, így a 14 városban évente 105 főre emelkedett volna az egészség nyereség. Ha az éves PM_{10} koncentrációt $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -re lehetne csökkenteni, akkor az elvégzett hatásbecslés szerint, évente átlagosan 211 halálesetet lehetett volna elkerülni. A $\text{PM}_{2,5}$ éves átlagértékek $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -el történő csökkentése révén átlagosan kb. 1050 halálesetet lehetne megelőzni a 14 város összességét tekintve. Ez a városokban kb. 3,5 hónap életév nyereséget jelentene egy 30 éves ember esetében. A $\text{PM}_{2,5}$ éves átlagértékek $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -re csökkentése esetén, évente átlagosan 1550 esetre emelkedne az összes megelőzhető halálesetek száma (BOBVOS ET AL. 2014).

A különböző projektek a vizsgálataikban az előzőek eredményeire, javaslataira, ajánlásaira támaszkodva különböző forgatókönyveket alkalmazva határozták meg, a különböző légszennyező anyagok, kiemelten a PM_{10} egészségkárosító hatását.

4. A vizsgálati módszer bemutatása

Az egészségügyi kockázatbecslést az APHEIS3 és az APHEKOM projekt által kidolgozott protokoll alapján végeztem el. A módszer alapja, hogy az online mérőállomások adataiból nyert 24 órás átlagkoncentrációk eloszlási gyakorisága és a nemzetközi vizsgálatok alapján megállapított kockázati értékek, valamint a halálozási és betegfelvételi adatok felhasználásával kiszámítható a légszennyezettségnek tulajdonítható rövid távú (short-term) és hosszú távú (long-term) többlethalálozás és megbetegedés, a „jövőbeli” légszennyezettségi szintek hatásai különféle scenáriók szerint. Ez azt jelenti, hogy nemcsak a különböző légszennyezettségi szintek rövid, illetve hosszú távú hatásként fellépő „többszörös”-halálozások és megbetegedések száma becsülhető meg, hanem a hosszú távú hatásként fellépő élettartam-rövidülés is. A kiválasztott egészségi következmény relatív kockázata (RK) az előzetes epidemiológiai vizsgálatokban meghatározott expozíció-válasz funkciókból nyerhető. A vizsgálat során a WHO által a programba beépített alapértékeket használtam az elemzés során (MEDINA, S. ET AL. 2011)(1. táblázat). A vizsgálatban használt forgatókönyvekben rögzített koncentrációcsökkentést és a WHO levegőminőségi irányelveire való csökkenést alkalmaztam. Emiatt azonban az OKI által elvégzett 2005-2010-re vonatkozó környezet-egészségügyi hatásbecsléssel összehasonlítva a rövid távú hatásnál csak az összhálózás becslésére alkalmazott két forgatókönyv egyezik meg a PM_{10} esetében, míg a $PM_{2,5}$ hosszú távú hatásnál szintén két forgatókönyv.

Rövid távú scenáriók a PM_{10} hatásának becslésére

Két forgatókönyvet használtam, a PM_{10} napi koncentrációjának értékei és az összhálózás (külső halálok nélküli), valamint a légzőszervi megbetegedések között fennálló összefüggések meghatározására:

1. forgatókönyv: a PM_{10} éves átlag koncentráció csökkentése $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -re,
2. forgatókönyv: a PM_{10} éves átlag koncentráció $5,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -rel.

Rövid távú scenáriók O_3 hatásának becslésére

Három forgatókönyvet használtam, az O_3 napi 8 órás maximum koncentráció értékei és az összhálózás (külső halálokok nélküli), a kardiovaszkuláris és légzőszervi megbetegedések között fennálló összefüggések meghatározására:

1. forgatókönyv: az O₃ napi átlag koncentráció csökkentése 160 µg/m³ alá azokon a napokon, amikor a tényleges érték meghaladta az 160 µg/m³,
2. forgatókönyv: az O₃ napi átlag koncentráció csökkentése 100 µg/m³ alá azokon a napokon, amikor a tényleges érték meghaladta az 100 µg/m³,
3. forgatókönyv: az O₃ éves átlag koncentráció csökkentése 5 µg/m³-rel.

Hosszú távú scenáriók a PM_{2,5} hatásának becslésére

A pécsi lakosság körében az összes halálok miatti, valamint a szív- és érrendszeri halálozásért felelős PM_{2,5} krónikus hatásait számoltam ki. A következő forgatókönyveket használtam:

1. forgatókönyv: a PM_{2,5} éves átlag koncentráció csökkentése 10 µg/m³-re,
2. forgatókönyv: a PM_{2,5} éves átlag koncentráció 5,0 µg/m³-rel.

1. táblázat Az APHEKOM HIA által használt értékek a légszennyezés rövid és hosszú távú hatásainak (egészségi állapot és relatív kockázat) értékeléséhez.

Szennyező anyag	Egészségügyi állapot	Relatív kockázat	Referencia
O ₃	Teljes külső ok nélküli halálozás	1,0031	GRYPARIS ET AL. 2004
	Légzőrendszeri megbetegedés (15-64 év)	1,001	ANDERSON ET AL. 2004
	Légzőrendszeri megbetegedés (64év felett)	1,005	ANDERSON ET AL. 2004
PM ₁₀	Teljes külső ok nélküli halálozás	1,006	ANDERSON ET AL. 2004
	Teljes légzőrendszeri megbetegedés	1,0114	ATKISON ET AL. 2005
	Teljes szív-és érrendszeri megbetegedés	1,006	ATKISON ET AL. 2005
PM _{2,5}	Teljes halálozás	1,06	POPE, III, C.A. ET AL. 2002
	Szív- és érrendszeri halálozás	1,12	POPE, III, C.A. ET AL. 2004

A számítás menete

A modellben számítások során adott egészségi állapot és szennyezőanyag koncentráció esetén, az egészségre gyakorolt hatás számítására, a következő egészségügyi hatásfüggvényt alkalmazzák:

$$\Delta y = y_0(1 - e^{-\beta \Delta x}), \quad (8)$$

ahol Δy a kezdeti (adott) egészségügyi állapotban történő darabcsökkenés (fő), amely összefügg a szennyezőanyag koncentrációjának csökkenésével, y_0 a kiinduló egészségi állapot (megbetegedések esetszáma), Δx a megadott forgatókönyv szerinti koncentrációcsökkenés, β a koncentráció-válasz függvény együtthatója.

A légszennyező anyagok rövid távú hatásai értékelésénél, kiindulásként az egészség-eredmény (Δy) adatait kell kiszámolni ugyanazon év légszennyező adatait használva. A légszennyező anyagok hosszú távú hatásainak értékelésénél, a kiindulási egészségi állapot adatait használva lehet megbecsülni az összes elérhető évet, implicit módon figyelembe véve, hogy a becslések szerint a krónikus expozíció a rendelkezésre álló évek halmozott átlagos népesség-expozícióját ábrázolja.

Rövid távú scenárió

A (8) képlettel kiszámolt Δy scenárióeredményeit elosztva az évek számával (N) megkapjuk az éves becslést (az időtartamon (3 év) belül mennyi az egészségügyi állapotban történő csökkenés (fő)):

$$\Delta y_{\text{évesscenárióeredmény}} = \frac{\Delta y_{\text{scenárióeredmény}}}{N}. \quad (9)$$

$\Delta y_{\text{évesscenárióeredmény}} - t$ elosztva a teljes népességszámmal (az adott város lakossága), megkapjuk a város népességének egészségügyi állapotában végbemenő csökkenés (fő) éves becslését (100 000 főre viszonyítva):

$$\Delta y_{\text{évesnépességszenárióeredmény}} = \frac{\Delta y_{\text{éves scenárióeredmény}}}{\text{népesség}}. \quad (10)$$

Hosszú távú scenárió

Az adott szennyezőanyag megnövekedett koncentrációjának hosszú távú következménye a várható élettartam csökkenése. Ezt egy szabványosított statisztikai módszer alapján (MEDINA, S. ET AL. 2011) számolható ki 5 éves korcsoportonként, az alábbiak szerint.

${}_nM_x$ a halálozási arány az adott korcsoportban:

$${}_nM_x = \frac{{}_nD_x}{{}_nN_x \cdot Y}, \quad (11)$$

ahol Y a vizsgált évek száma, (jelen esetben 3), x a kiindulási kor az egyes korcsoportban, n az megélt idő intervalluma a korcsoportokban, ${}_nN_x$ a lakosság az adott korosztályban, ${}_nD_x$ az összes halálozások száma a korcsoportban (a vizsgált évek alatt). ${}_nq_x$ korcsoporton belüli halálozási valószínűség becslése:

$${}_nq_x = \frac{{}_n \cdot {}_nM_x}{1 + (n - {}_nax) \cdot {}_nM_x}, \quad (12)$$

ahol ${}_nax$ az átlagosan élt évek száma, azok között, akik az adott intervallum alatt haltak meg ($n/2$ -vel közelíthető).

Az utolsó korcsoportnál, amely nyitott, ${}_nq_x=1$, mivel mindenki meghal, l_x az egy korcsoportban élő emberek száma. A vizsgálatot egy feltételezett 100 000 fős csoporttól kezdtem, amely tagjai megélték a 30. életévüket. Az adott kort megélők számának a kiszámítása a következő:

$$l_{x+n} = l_x(1 - {}_nq_x). \quad (13)$$

${}_nd_x$ az adott korban elhalálozottak számát a következő módon számította ki a modell:

$${}_nd_x = l_x \cdot {}_nq_x. \quad (14)$$

Azon alanyok életéveinek számát (${}_nL_x$), akik az adott korcsoportba tartoznak a különböző korcsoportokban az alábbiak szerint számítható ki:

$${}_nL_x = n \cdot l_{x+n} + {}_nax \cdot {}_nd_x. \quad (15)$$

Az utolsó korosztály számítása a (16) képlettel történt:

$${}_nL_x = \frac{l_x}{{}_nM_x}. \quad (16)$$

Azon alanyok életéveinek számát (T_x), akik feltehetőleg élni fognak, miután megélték x évet, rekurzívan számoltam ki az ${}_nL_x$ -ből:

$$T_x = T_{x+n} + {}_nL_x. \quad (17)$$

Az x éves korban várható élettartam (e_x) számítása a következő volt:

$$e_x = \frac{T_x}{l_x}. \quad (18)$$

A koncentráció változásának hatása a várható élettartamra ugyanezzel a módszerrel történik, azzal a kivétellel, hogy a ${}_nD_x$ a halálozások összesített száma mindegyik korcsoportban a (2010, 2011 és 2012-es) években, amikor is az adott szennyező anyagok koncentrációi a scenárióknak megfelelően csökkentek:

$${}_nD_x^{impacted} = {}_nD_x \cdot e^{-\Delta x \cdot \beta}. \quad (19)$$

A Δx -t az éves átlagokból képeztem. A Δx csak akkor használható az egészségügyi hatás számításához, ha egy éven belül kevesebb mint 25%-a hiányzik a légszennyezettségi adatoknak (MEDINA, S. ET AL. 2011). A vizsgálatom során minden évben teljesült ez a feltétel.

Az összes itt közölt képlet azon a feltételezésen alapszik, hogy semmilyen tényező nem zavarja az expozíció – megbetegedés összefüggést.

4.1 Adatok

Egészségügyi adatok

A népességi és halálozási adatokat a különböző korcsoportokban a városok állandó lakosságára vonatkozóan a Központi Statisztikai Hivaltaltól álltak a rendelkezésre a 2011. január 1-je és 2013. december 31-e közötti időtartamra. ⁶

A rövid távú hatásnál két korcsoportot különítettem el, a 15-64 évesek és a 64 évnél idősebbek alkottak egy-egy korcsoportot, míg a hosszú távú hatásnál a 29 évnél idősebbek tartoztak egy korcsoportba. A vizsgált korcsoportokban mindkét nemet együttesen vettem figyelembe. A levegőszennyező anyagok egészségkárosító hatását a halálozás (halálozások száma vagy gyakorisága (100 000 főre)) figyelembevételével becsültem.

A következő halálozási mutatókat vizsgáltam:

- összhalálozás a teljes népességre (kivéve a külső okok miatti halálozás)
- kardiovaszkuláris halálozás a teljes népességre
- respirációs halálozás a teljes népességre.

A rövid távú scenárióhoz a városok területére a következő kórházi betegfelvételi adatokat használtam:

⁶statinfo.ksh.hu

- keringési kórházi betegfelvételek sürgősségi esetszáma
- légzőszervi kórházi betegfelvételek sürgősségi esetszáma.

Az adatok a Gyógyszerészeti és Egészségügyi Minőség- és Szervezetfejlesztési Intézet adatbázisából (GYEMSZI) álltak a rendelkezésre.⁷

Légszennyezettségi adatok

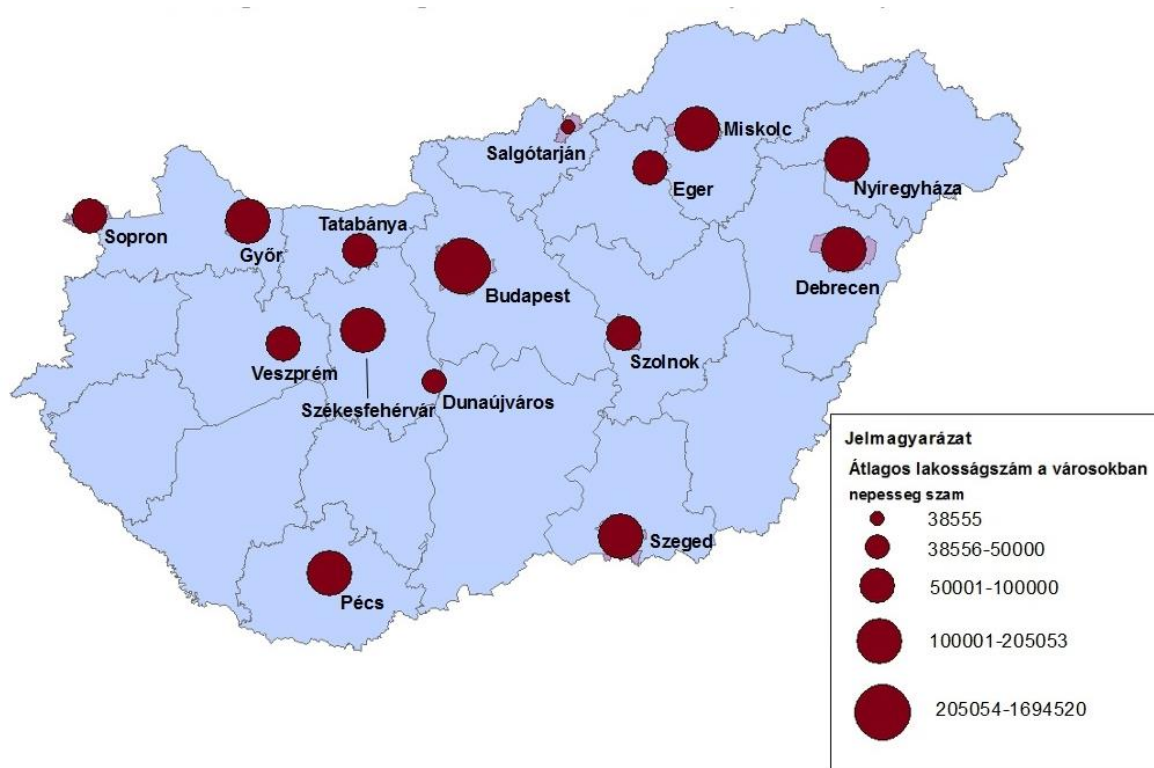
A lakosság expozíciójának becslésére az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózatnak a városokban található mérőállomásokon (városi háttérállomáson) mért napi értékeket és a belőlük számított éves átlagértékeket használtam. Vizsgálatomban a levegőminőség jellemzésére az APHEKOM projekthez hasonlóan a 10 µm-nél és 2,5 µm-nél kisebb átmérőjű szálló por-részecskék, valamint az ózon koncentrációját használtam. A vizsgált időszakban (2011-2013) a mérőállomásokon a PM₁₀ és az O₃ tömegkoncentrációját mérték. Az adott időszakra a PM_{2,5}-szennyezettség meghatározása az APHEKOM, HIA ajánlásainak eleget téve 0,7-es átváltási együttható alkalmazásával történt a 10 µm-nél kisebb átmérőjű szálló por értékből (MEDINA, S. ET AL. 2011). Az ózon értékeknél a 8 órás mozgóátlagok a napi maximumát vettem figyelembe.

A korábbi vizsgálatoknak megfelelően azon napokat, amikor a napi átlag-léghőmérséklet meghaladta a 28 °C-ot, vagy magas influenza-aktivitást (>500 pozitív minta 100 000 lakosra) mértek mint zavaró tényezőket kivettem a számításból (BEREGSZÁSZI T. – PÁLDY A. 2005, MEDINA, S. ET AL. 2011).

⁷tea.gyemszi.hu

5. Eredmények

A légszennyező anyagoknak a népesség egészségére gyakorolt hosszú és rövid távú hatásai epidemiológiai vizsgálatokon alapszanak, melyeknek lényege, hogy a kockázati tényező és a betegség között ok-okozati összefüggés van. Nagyon fontos a becslt adatok kellő óvatossággal történő értékelése, ugyanis a kockázati tényező független a betegség egyéb kockázati tényezőinek hatásától (BEREGSZÁSZI T. – PÁLDY A. 2005). A dolgozatban szereplő 15 város összlakossága meghaladta a 3,1 millió főt, amely több mint hazánk lakosságának az 30%-a (2. ábra). Ezért a minta reprezentatívnak tekinthető.

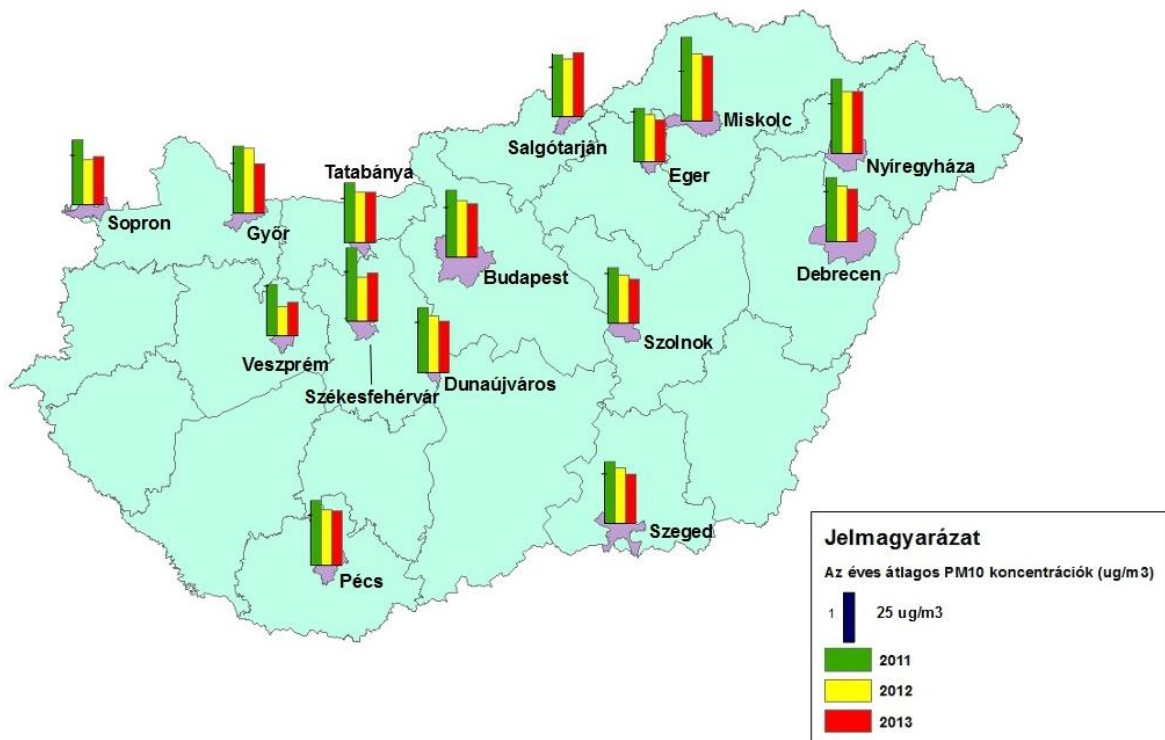


2. ábra Az értékelésben szereplő városok átlagos lakossága (fő)

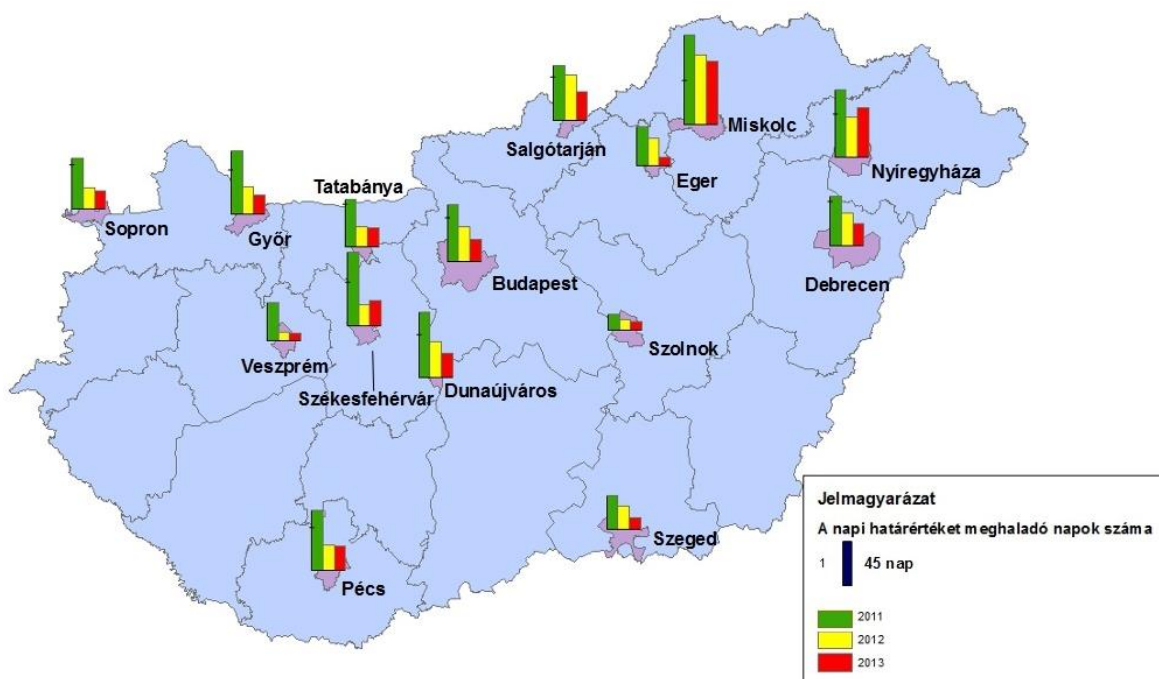
5.1 Rövid távú scenáriók a PM₁₀ hatásának becslésére

A vizsgált időszakban (2011. január 1-től 2013. december 31-ig) városi háttér állomásokon mért éves PM₁₀ átlagértékek 15,03 µg/m³ (Veszprém, 2012) és 42,02 µg/m³ (Miskolc, 2011), a hároméves átlagértékek 19,39 µg/m³ (Veszprém) és 40,9 µg/m³ (Miskolc) között változott (3. ábra).

A három év közül a legmagasabb napi átlagkoncentrációt 2012-ben Székesfehérváron ($179 \mu\text{g}/\text{m}^3$), míg az a legmagasabb éves átlagkoncentrációt 2011-ben Miskolcon ($42,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$) mérték. Az egészségügyi határértéket ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) meghaladó szennyezett napok száma a 3 év átlagában Miskolcon volt a legtöbb (76 nap), míg a legkevesebb Szolnokon (12 nap) (Melléklet: 3. táblázat). Az egészségügyi határértéket meghaladó szennyezett napok száma az összes vizsgált város átlagában 2011-ben volt a legnagyobb (55 nap), mely a következő évekre folyamatos csökkenést mutatott. (4. ábra).

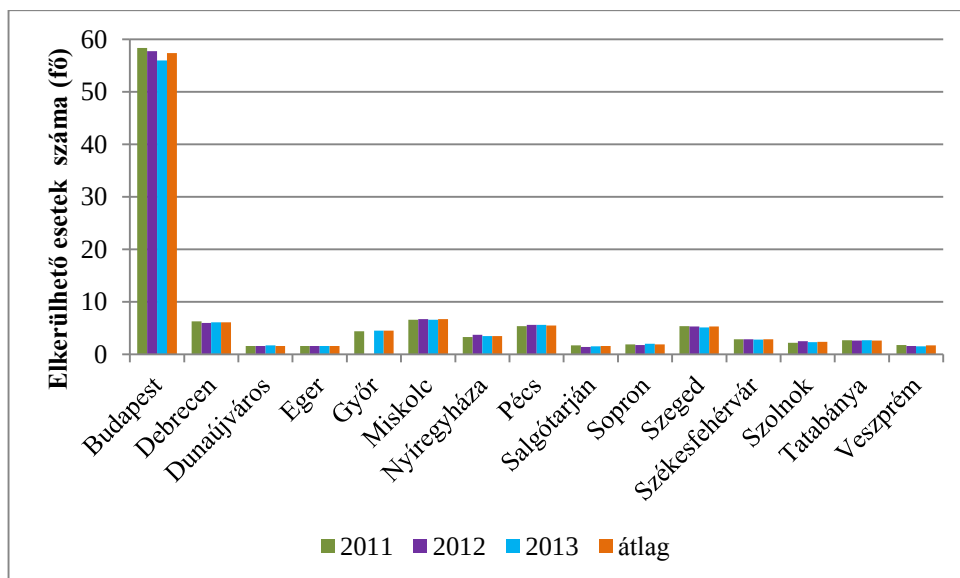


3. ábra Az értékelésben szereplő városok éves átlagos PM₁₀ koncentráció értékei

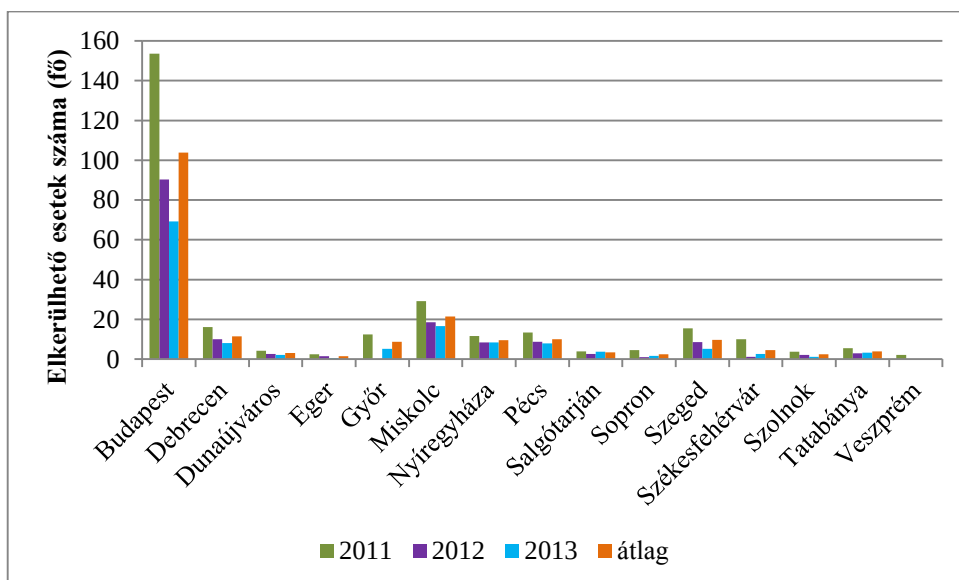


4. ábra Az értékelésben szereplő városokban a napi határértéket meghaladó napok száma

A PM_{10} éves átlagkoncentrációjának $5 \mu g/m^3$ -es csökkentése révén évente rövid távon 7,02 összes halálok miatti halálesetet lehetne megelőzni a 15 város átlagában. Budapesten átlagban 57,4 ember életét lehetett volna megmenteni, míg a kisebb lakosságú városokban (Salgótarján, Dunaújváros, Eger, Veszprém) kb. 1,6-1,7-eset lehetett volna megelőzni. A 15 város összesen az egészség nyereség a 3 év átlagában évente 105 főre emelkedett volna (5. ábra). Ha az éves átlagkoncentrációt $20 \mu g/m^3$ -re csökkentenénk, akkor a vizsgált időszak alapján a 15 városban átlagosan 13 összes halálok miatti halálesetet lehetne elkerülni, míg a legszennyezettebb évben (2011) ez a szám 19 is lehetne. Ha az éves átlagérték $20 \mu g/m^3$ lenne, akkor a legszennyezettebb évben akár 287 esetet lehetett volna elkerülni, míg Budapesten ugyanebben az évben 153 fő lenne az egészségnyereség. A 15 városban évente átlagosan 196 halálesetet lehetett volna elkerülni ennél a scénáriónál (6. ábra).



5. ábra Elkerülhető rövid távú halálozás (fő) a PM₁₀ koncentráció 5 µg/m³-rel való csökkentése által (2011-2013)



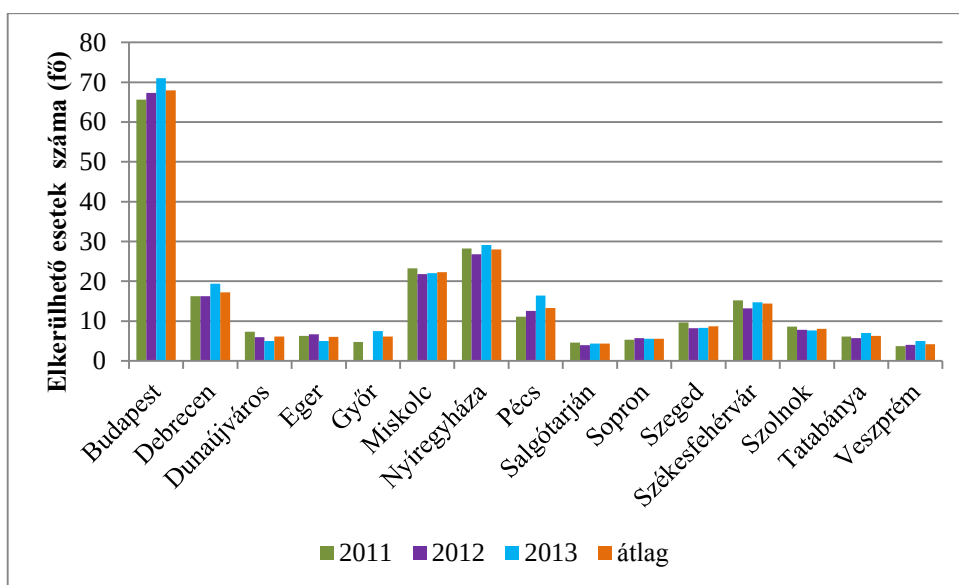
6. ábra Elkerülhető rövid távú halálozás (fő) a PM₁₀ koncentráció 20 µg/m³-re való csökkentése által (2011-2013)

Az eredményeket jobban össze lehet vetni a halálozási arányszámok alapján, 100 000 főre vetítve. Az 5 µg/m³-es csökkentéssel 100 000 főre vonatkoztatva átlagban 3-4 ember életét menthetnénk meg. Ha 20 µg/m³-re csökkentenénk a koncentrációt, akkor 100 000 főre átszámítva a legszennyezettebb évek alapján Miskolcon 17, míg Salgótarjánban és Székesfehérváron 10-10 halálesetet lehetne elkerülni.

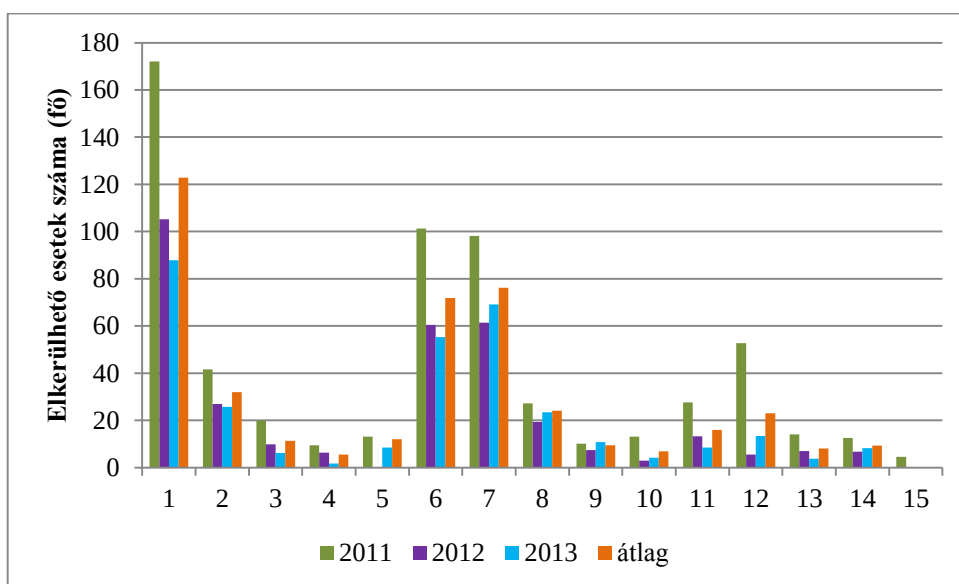
A légzőszervi megbetegedések esetében a PM₁₀ éves átlagkoncentráció 5 µg/m³-es csökkentéssel a 3 év átlagában összesen 218 esetet lehetne elkerülni. Budapesten átlagban

68 esetet, míg a kisebb lakosságú városokban (Salgótarján, Dunaújváros, Eger, Veszprém) kb. 4-6-eset lehetett volna megelőzni (7. ábra). Míg, ha $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -re csökkentenénk a koncentrációt, akkor a legszennyezettebb évek alapján, Budapesten 172,1, Miskolcon 101,3, Nyíregyházán 98,1, esetet lehetne elkerülni (8. ábra).

A légzőszervi megbetegedések esetében a PM_{10} koncentráció $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -es csökkentéssel 100 000 főre vonatkozva a 3 év átlagában Nyíregyházán 23,73, Székesfehérváron 14,36, Budapesten 4 eset lenne elkerülhető.



7. ábra Légzőszervi megbetegedések elkerülhető eseteinek száma a PM_{10} koncentráció $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -rel való csökkentése által (2011-2013)

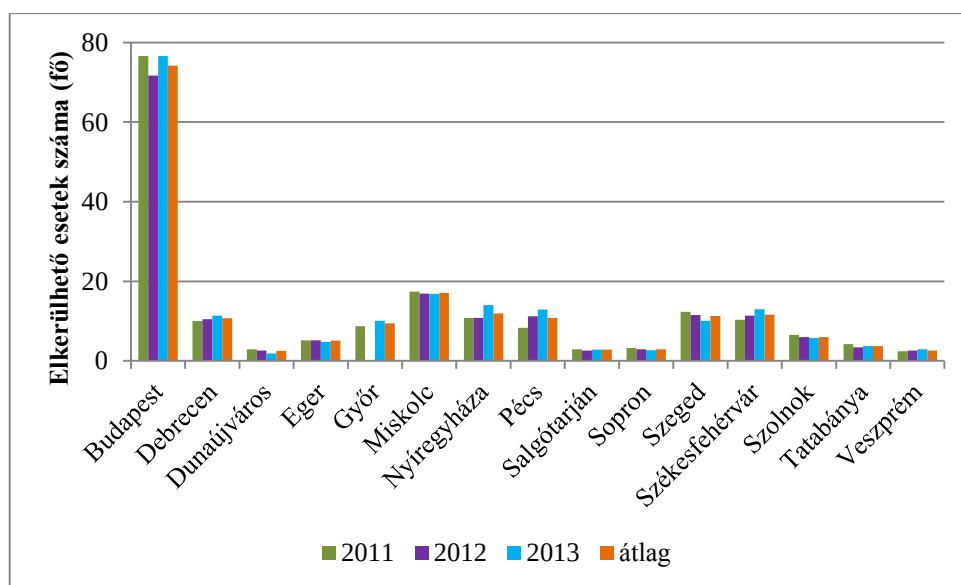


8. ábra Légzőszervi megbetegedések elkerülhető eseteinek száma a PM_{10} koncentráció $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -re való csökkentése által (2011-2013)

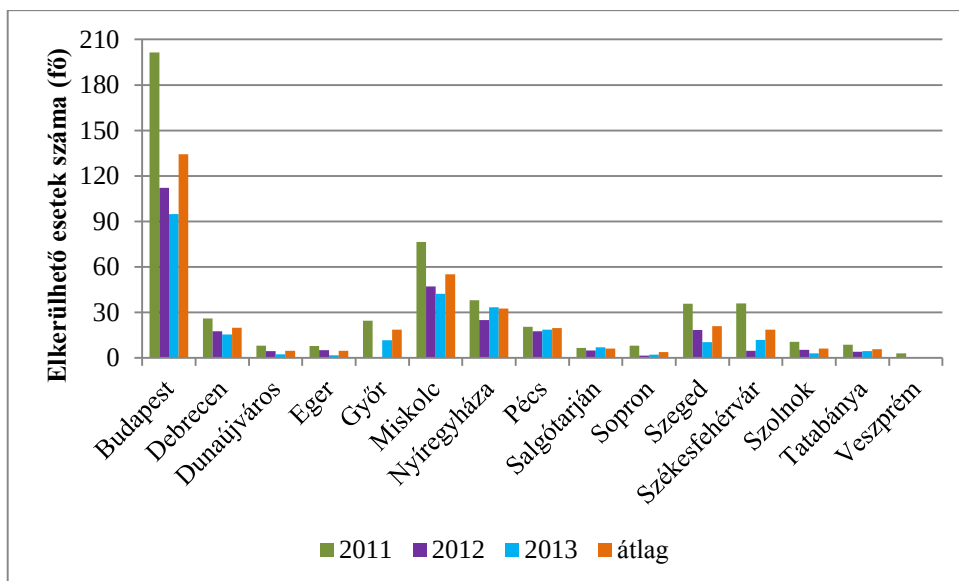
A szív- és érrendszeri megbetegedések esetében a PM_{10} koncentráció $5 \mu g/m^3$ -es csökkentésével a 3 év átlagában a 15 városban összesen 182,6 eset, míg, ha a koncentrációt $20 \mu g/m^3$ -re csökkentenénk, akkor 350 eset lenne az egészségnyereség (9. ábra).

A szív- és érrendszeri megbetegedések esetében a PM_{10} éves átlagkoncentráció $5 \mu g/m^3$ -es csökkentésével 100 000 főre vonatkozva a 3 év átlagában 4-11 eset lenne elkerülhető. Ha $20 \mu g/m^3$ -re csökkentenénk a koncentrációt, akkor a legtöbb esetet a 3 év átlagában Miskolcon (33,39) és Nyíregyházán (27,43) kerülhetnének el.

A respirációs és a kardiovaszkuláris megbetegedések tekintetében jelentős előrelépés lenne, ha a PM_{10} éves átlagkoncentrációját $20 \mu g/m^3$ -ra csökkentenénk, ez esetben ugyanis a rövid időn belül bekövetkező megbetegedések közül a 3 év átlagában, a 15 városban összesen 735 és 349 esetet tudnánk megelőzni (10. ábra), mindez pedig 100 000 főre vonatkoztatva 302 és 194 eset lenne.



9. ábra Szív-és érrendszeri megbetegedések elkerülhető eseteinek száma a PM_{10} koncentráció $5 \mu g/m^3$ -rel való csökkentése által (2011-2013)

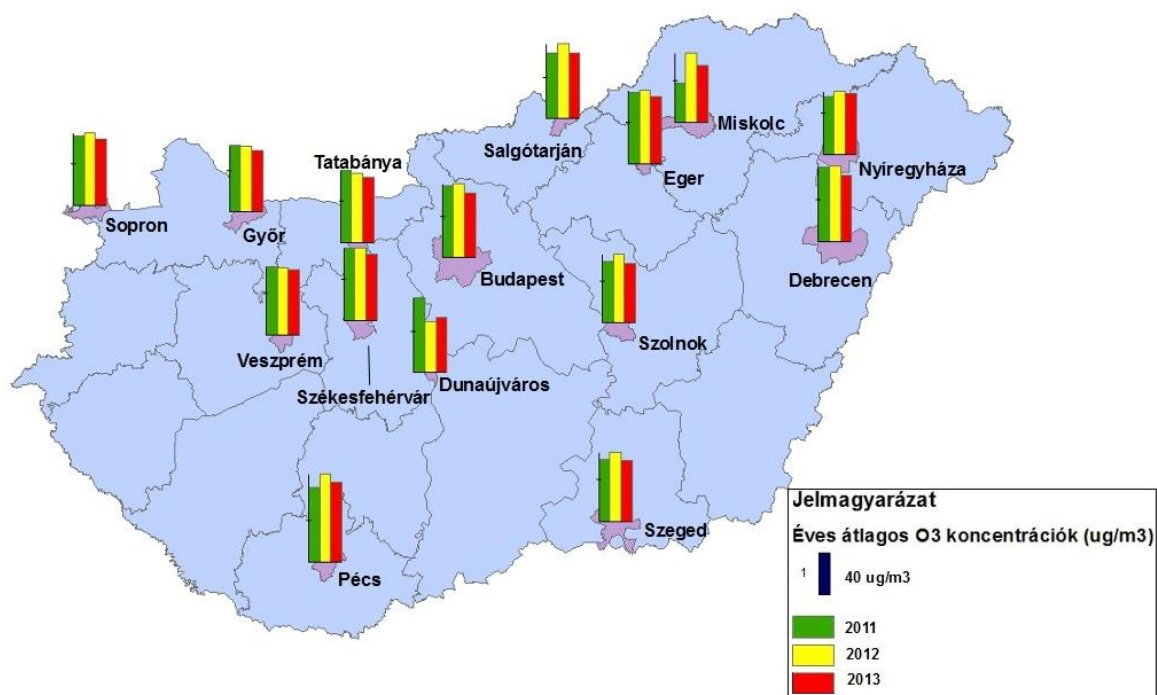


10. ábra Szív-és érrendszeri megbetegedések elkerülhető eseteinek száma a PM₁₀ koncentráció 20 µg/m³-re való csökkentése által (2011-2013)

5.2 Rövid távú scénáriók az ózon hatásának becslésére

A vizsgált időszakban a városi háttér állomásokon mért éves O₃ átlagértékek 47,02 µg/m³ (Miskolc, 2011), és 103,5 µg/m³ (Pécs, 2012), a hároméves átlagértékek 65,18 µg/m³ (Miskolc) és 94,53 µg/m³ (Pécs) között változtak (11. ábra). A legmagasabb napi 8 órás maximum átlagkoncentrációt 2013-ban Pécsen (218,07 µg/m³) és Nyíregyházán (209,44 µg/m³) mérték.

Az egészségügyi határértéket (120 µg/m³) meghaladó szennyezett napok száma a 3 év átlagában Pécsen volt a legtöbb (85,6 nap), míg a legkevesebb Dunaújvárosban (18 nap). Az egészségügyi határértéket meghaladó szennyezett napok száma az összes vizsgált város átlagában 2012-ben volt a legnagyobb (51,6 nap), mely a következő évre jelentős csökkenést mutatott, ugyanis 2013-ban 28,8 nap volt a 15 város átlagában. A Melléklet 4. táblázatból egyértelműen látszik, hogy a legszennyezettebb év a 2012-es volt, amelyben 2 városban is (Pécs és Székesfehérvár) túllépte az egészségügyi határértéket meghaladó szennyezett napok száma az évenkénti tűrhető esetszámot (80 nap).



11. ábra Az értékelésben szereplő városok éves átlagos O₃ koncentráció értékei

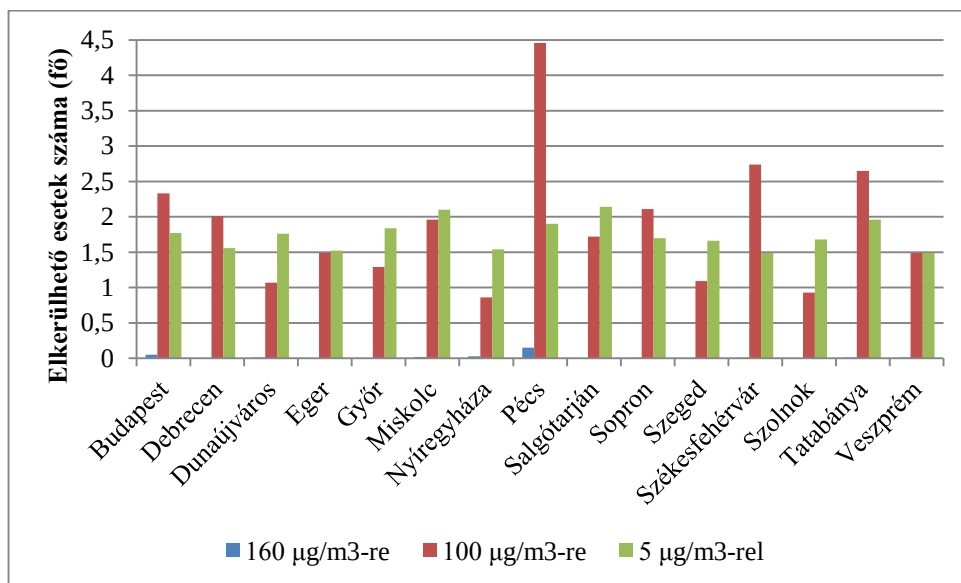
Az ózon rövid távú hatása az összhalálozás, valamint a szív- és érrendszeri, valamint a légzőszervi megbetegedés tekintetében az ismertett forgatókönyvek szerint lett vizsgálva. Az O₃ éves átlagkoncentrációjának 5 µg/m³-es csökkentése révén a 15 városban összesen rövid távon évente 54,6 összes halálok miatti halálesetet lehetne megelőzni. Az ózon koncentráció 5 µg/m³-es csökkentésével 100 000 főre vonatkoztatva az elkerülhető halálesetek száma 1,49 (Székesfehérvár) és 2,14 (Salgótarján) közöttire tehető (12. ábra).

A légzőszervi megbetegedések esetében a 15-64 év közötti korcsoportban mindössze 5 µg/m³-es csökkentéssel csak korlátolt lenne a jótékony hatás, ugyanis mindössze 5,9 eset lenne elkerülhető (Melléklet: 5. táblázat). Viszont a 64 év feletti korcsoportban már 35,9 esetet lehetne megelőzni. 100 000 főre vonatkoztatva mindkét esetben Nyíregyházán lehetne a legtöbb megbetegedést elkerülni ennél a scénáriónál.

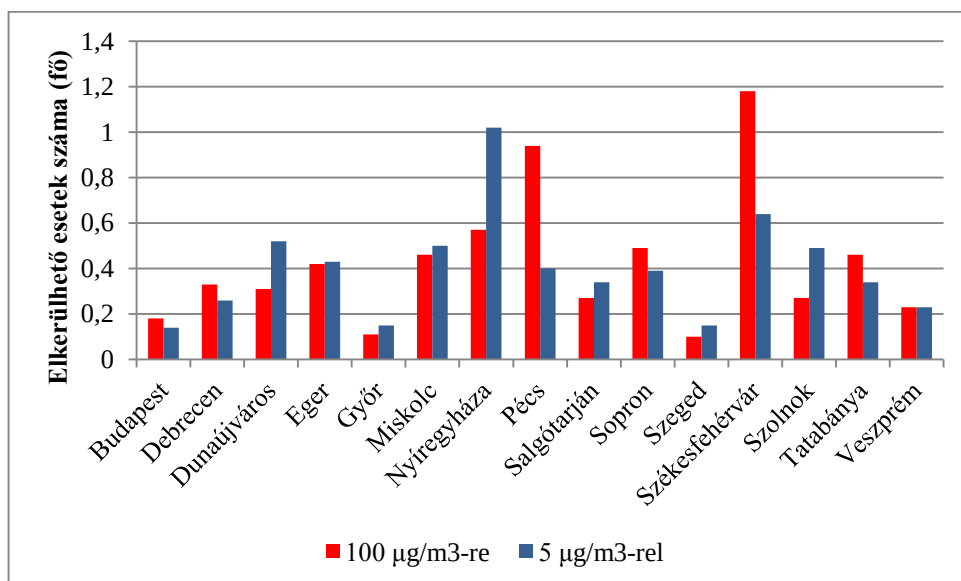
Ahogy az expozíciós adatok mutatják, csak néhány olyan nap volt, amikor az O₃ koncentrációja 160 µg/m³ felett volt, ezért jótékony hatása limitált. Ha az átlag koncentrációt 160 µg/m³-re vagy 100 µg/m³-re csökkentenénk, akkor a vizsgált időszak alapján átlagosan 0,06 vagy 4,46 összes halálok miatti halálesetet lehetne elkerülni.

A respirációs megbetegedések tekintetében a 15-64 év közötti korcsoportban, ha az ózon 8 órás mozgóátlagainak a napi maximum koncentrációját 160 µg/m³-ra vagy

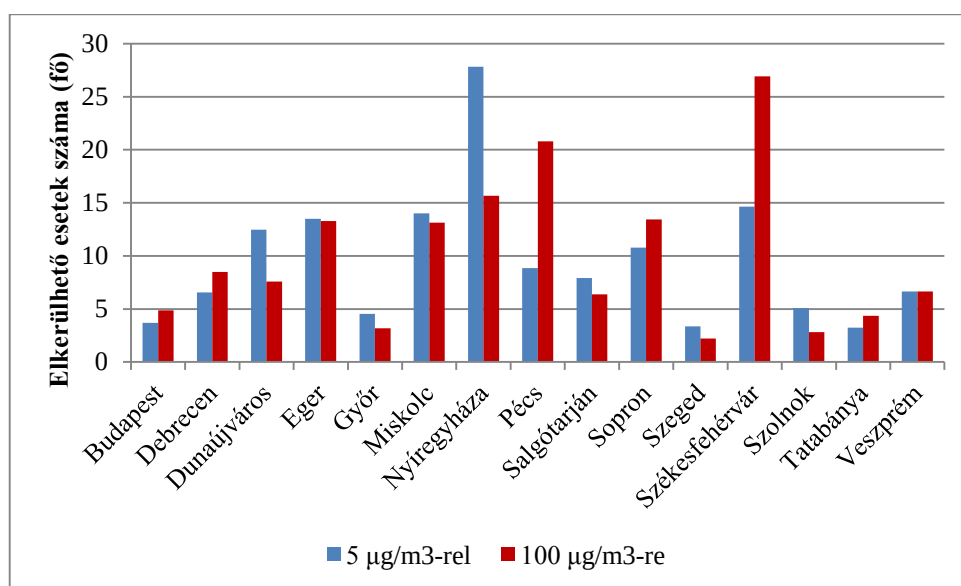
100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -re csökkentenénk, akkor a rövid időn belül bekövetkező megbetegedések közül a 3 év átlagában 100 000 főre vonatkoztatva a 15 városban összesen 0,5 és 6,32 megbetegedést tudnánk megelőzni (13. ábra). A 64 év feletti korcsoportban ez a fajta levegőminőség javulás már 1,6 és 149,76 elkerülhető megbetegedést eredményezne 100 000 főre vonatkoztatva (14. ábra). Ezeknél a forgatókönyveknel a legtöbb elkerülhető megbetegedés 100 000 főre vonatkoztatva Székesfehérváron és Nyíregyházán lenne.



12. ábra Elkerülhető rövid távú halálozás (fő) az O_3 koncentráció csökkentésével a különböző scenáriók esetén (2011-2013) (100 000 főre)



13. ábra Az O_3 csökkentésével elkerülhető légzőszervi (15-64 év közötti korcsoport) megbetegedések eseteinek száma a különböző scenáriók esetén (2011-2013) (100 000 főre)



14. ábra Az O₃ csökkentésével elkerülhető légzőszervi (64 év feletti korcsoport) megbetegedések eseteinek száma a különböző scenáriók esetén (2011-2013) (100 000 főre)

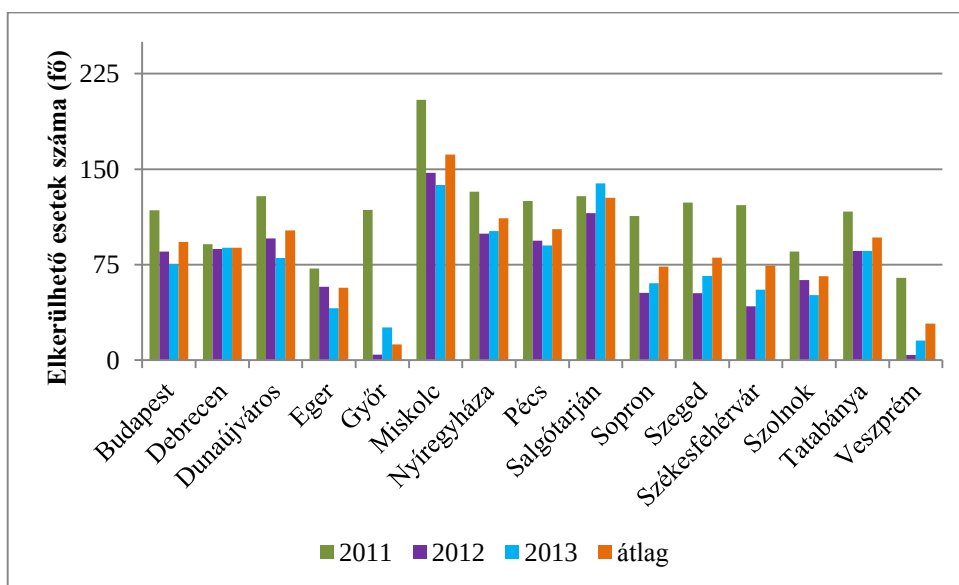
5.3 Hosszú távú scenáriók a PM_{2,5} hatásának becslésére

A PM_{2,5} levegőminőségi adatai teljes mértékben a szálló por 10 µm feletti értékeit tükrözik vissza, ugyanis belőlük lettek számítva 0,7-es átváltási együtthatóval. A levegőminőség hosszú távú egészségkárosító hatásának mérséklése a PM_{2,5} koncentráció csökkentése révén került kiszámításra. A hosszú távú nyereség a PM_{2,5} éves átlagkoncentrációjának 5 µg/m³-rel való csökkentése évente kb. 550 ember életét mentené meg Budapesten, a legkevesebb lakosú városokban (Salgótarján, Dunaújváros, Eger) 15-16 haláleset előzhető meg. A legnagyobb egészségnyereség a WHO által javasolt határérték bevezetése esetén lenne elérhető, ugyanis Budapesten 906-1419, míg a legkevesebb lakosú városokban 16-44 fő életét lehetne megmenteni (Melléklet: 6. táblázat).

Az emberi egészségre károsabb PM_{2,5} koncentráció csökkentésének hatásait összegezve megállapítható, hogy ha a vizsgált években (2011-2013) a vizsgált 15 városban a PM_{2,5} éves átlagkoncentrációját lecsökkentenénk 10 µg/m³-re, akkor 2624 és 1772 és 1678 összes halálok miatti halálozást előzhetnénk meg. A PM_{2,5} éves átlagkoncentrációjának 5 µg/m³-es csökkentésével 100 000 főre vonatkoztatva átlagban 46 ember életét menthetnénk meg. Ha 10 µg/m³-re csökkentenénk a koncentrációt, akkor 100

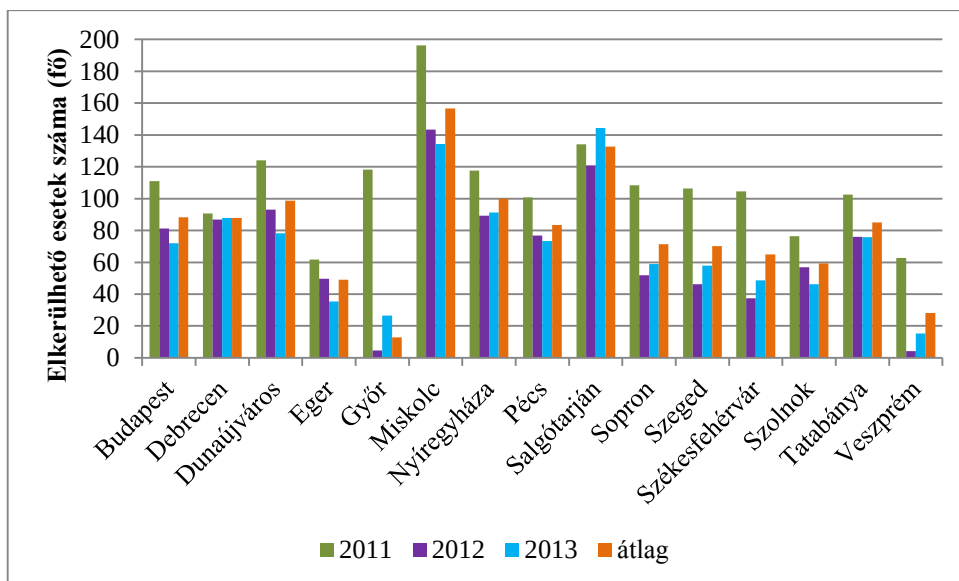
000 főre átszámítva a legszennyezettebb évek alapján, Miskolcon 204,5, Salgótarjánban 128,8, míg Budapesten, Győrben és Tatabányán kb. 117 halálesetet lehetne elkerülni. Az $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -el való csökkentés a városokban évente hasonló arányban csökkentené a halálozást: 100 000 főre vonatkoztatva 40-55 halálesetet lehetne megelőzni. A $\text{PM}_{2,5}$ éves határérték szigorítása esetén a legnagyobb arányú nyereséget Miskolcon, Nyíregyházán és Salgótarjánban lehetne elérni: a 3 év átlagában 111-162 eset 100 000 főre vonatkoztatva (15. ábra).

A $\text{PM}_{2,5}$ éves átlagkoncentrációjának $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -rel való csökkentése révén a 3 év átlagában Budapesten kb. 530, míg a legkevesebb lakosú városokban (Salgótarján, Dunaújváros, Eger) 13-16 szív- és érrendszeri betegségek miatti halálozást előzhetnének meg. Ha a vizsgált években (2011-2013) a vizsgált 15 városban a $\text{PM}_{2,5}$ éves átlag koncentrációját lecsökkentenénk $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -re, akkor 2447 és 1671 és 1585 szív- és érrendszeri betegségek miatti halálozást előzhetnének meg (Melléklet: 7. táblázat).



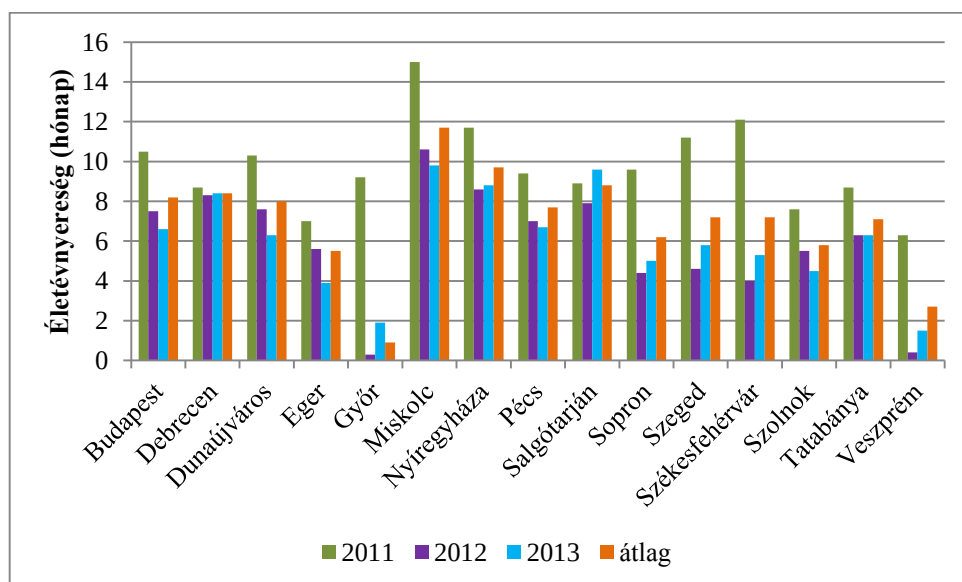
15. ábra Elkerülhető hosszú távú halálozás (fő) a $\text{PM}_{2,5}$ koncentráció $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -re való csökkentése által (2011-2013) (100 000 főre)

A $\text{PM}_{2,5}$ éves átlagkoncentrációjának $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -el való csökkentésével a 15 városban 100 000 főre vonatkoztatva évente kb. 35-55 szív- és érrendszeri megbetegedés miatti halálesetet lehetne megelőzni. A $\text{PM}_{2,5}$ éves átlag koncentrációját lecsökkentenénk $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -re, akkor a legnagyobb arányú nyereséget Miskolcon és Salgótarjánban lehetne elérni: a 3 év átlagában 132-156 eset 100 000 főre vonatkoztatva (16. ábra).



16. ábra Az elkerülhető hosszú távú szív- és érrendszeri halálozás (fő) a PM_{2.5} koncentráció 10 µg/m³-re való csökkentése által (2011-2013) (100 000 főre)

Az elkerülhető halálozás életvényereségre számolva minden városban kb. 3,7 hónapot jelentene egy 30 éves ember esetében. Amennyiben az éves átlagértéket 10 µg/m³-re tudnánk csökkenteni, akkor 0,9 hónap (Győr) valamint 11,7 hónap (Miskolc) közötti értékkel növelhetnénk a várható élettartamot (17. ábra). Ezeket összegezve a 15 városban a 3 év átlagában 1133,4 és 2279,6 hónap élettartambeli nyereséget jelentene ez a fajta levegőminőség javulás.



17. ábra Életvényereség (hónap) a PM_{2.5} koncentráció 10 µg/m³-re való csökkentése által (2011-2013)

5.4 Konklúzió

Összefoglalva az elvégzett légszennyezettségre vonatkozó környezet-egészségügyi hatásbecslés eredményeit, megállapítható, hogy a hatásbecslés mind rövid, mind hosszú távon bebizonyította a levegőminőség javításának jótékony hatását és szükségességét. A levegőminőség javítás előnyös hatásainak mértékét befolyásolja a halálnak az oka és, hogy milyen az adott városra adott időszakban jellemző légszennyezettség.

Az Országos Környezetegészségügyi Intézet által elvégzett hatásbecslés (a szálló por $10\text{ }\mu\text{m}$ alatti frakciójának az egészségkárosító hatásairól a 2005-2010-ig tartó időszakra) és az ennek a folyamatnak a folytatásaként a 2011-2013 közötti időszakra elvégzett hatásbecslés eredményeinek (a légszennyezettségnek tulajdonítható többlethalálozás a vizsgált városokban összesen) az egymáshoz viszonyított relatív és abszolút értékeit a 2. táblázat tartalmazza. Az OKI munkatársai a hatásbecslést Budapestre és 12 megyeszékhelyre, valamint Várpalotára végezték, míg e munkában Budapestre és 12 megyeszékhelyre, valamint Sopronra és Dunaújvárosra végeztem el a hatásbecslést, (BOBVOS ET AL 2014).

Az általam 2011-2013-ra elvégzett hatásbecslés eredményeit az OKI által elvégzett 2005-2010-re vonatkozó környezet-egészségügyi hatásbecslés eredményeivel összehasonlítva, megállapítható, hogy a rövid távú hatás becslésének azon forgatókönyvénel, amikor PM_{10} éves átlagkoncentrációjának $5\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ -rel csökkentettük, mindkét vizsgálat eredménye megegyezik (a vizsgált városokban összesen: 105 fő többlethalálozás). A rövid távú hatásnak a másik mindkét tanulmányban alkalmazott forgatókönyvénel (a PM_{10} éves átlag koncentráció csökkentése $20\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ -re), a 2005-2010-ig tartó időszakra elvégzett hatásbecslés értéke (211 fő), míg a 2011-2013 közötti időszakra elvégzett tanulmányé (196 fő). A hosszú távú hatás azon forgatókönyvénel, amikor $\text{PM}_{2,5}$ éves átlagkoncentrációjának $5\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ -rel csökkentettük, mindkét tanulmány esetén közel azonos értéket kaptunk (1006 és 1000,5 fő, az életévnyereség esetében: 3,7 és 3,5 hónap).

A két vizsgálat eredménye közötti különbségek két forgatókönyv esetében mutatnak eltérést. A PM_{10} rövid távú hatásának vizsgálatakor (az éves átlag koncentráció csökkentése $20\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ -re forgatókönyv esetén) csökkenést tapasztalunk (-7,1%) a többlethalálozás esetén a korábban vizsgálat időszakhoz képest. A hosszú távú hatás $\text{PM}_{2,5}$ éves átlag koncentráció csökkentése $10\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ -re forgatókönyvénel a 2011-2013-ig tartó

időszakra elvégzett hatásbecslés eredménye (1993 fő) már jelentősebben felülmúlta a 2005-2010 közötti időszakra elvégzett hatásbecslés eredményét (1550 fő), ez közel 29%-os növekedést jelent.

Összességében megállapítható, hogy a 2005-2010 közötti és 2011-2013-ig tartó időszakra elvégzett egészségügyi hatásbecslés eredményei közel azonosak voltak, egy kisebb mértékű levegőminőség javulást és népességcsökkenést vélhetünk felfedezni a 2011-2013 közötti időszakra.

2. táblázat A 2005-2010 közötti időszakra OKI által elvégzett és a 2011-2013 közötti időszakra elvégzett egészségügyi hatásbecslés (a légszennyezettségnek tulajdonítható többlethalálozás a vizsgált városokban összesen) egymáshoz viszonyított relatív és abszolút értékei (bázis: a 2011-2013 közötti időszak eredményei)

Forgatókönyv	Relatív érték (%)	Abszolút érték (fő)
Rövid távú hatás: PM ₁₀		
A PM ₁₀ éves átlag koncentráció csökkentése 20 µg/m ³ -re	92,89	-15
A PM ₁₀ éves átlag koncentráció 5,0 µg/m ³ -rel	100	0
Hosszú távú hatás: PM _{2,5}		
A PM _{2,5} éves átlag koncentráció csökkentése 5 µg/m ³ -re	100,54	5,5
A PM _{2,5} éves átlag koncentráció 10 µg/m ³ -rel	128,55	443

6. Összefoglalás

A fokozott urbanizáció és motorizáció eredményeképpen egyre nagyobb népegészségügyi problémát jelent a levegőszennyezés, a légszennyező anyagoknak, különösen a szálló pornak és ózonnak az egészségügyi határértéket meghaladó koncentrációja. Számos tanulmány igazolta, hogy ezek megemelkedett légköri koncentrációja fokozott egészségügyi kockázatot jelent a tüdő-, szív- és érrendszeri megbetegedésben szenvedők számára, valamint a PM és O₃ szint emelkedésének is betudható, egyre növekvő morbiditási és mortalitási hajlandóságra. Ezért a légszennyező anyagok figyelemmel való kísérése különösen is fontos az önkormányzatok számára, ugyanis azok a fontos döntések meghozatalánál, mint a városrendezési tervek, az ipari parkok létesítése és a forgalomszervezés, vagy az egészségügyi (szmog) riadókészültségek előkészítésénél komoly szerepet játszanak.

Az utóbbi időben Magyarországon is fokozott figyelem irányult a levegő minőségének megóvására, javítására, ugyanis 2013 a levegő évének lett nyilvánítva az Európai Unióban. Ennek a folyamatnak a kapcsán végeztem el Magyarország néhány nagyvárosára az egészségügyi hatásbecslést az APHEIS, APHEKOM projekt által kidolgozott protokoll alapján. A dolgozatban használt módszerrel az online mérőállomások adataiból nyert 24 órás átlagkoncentrációk eloszlási gyakoriságának és a nemzetközi vizsgálatok alapján megállapított kockázati értékek felhasználásával kiszámítható a városokra jellemző légszennyezettségnek tulajdonítható rövid távú és hosszú távú többlethalálozás a különböző scenáriók szerint.

Összefoglalva az elvégzett légszennyezettségre vonatkozó környezet-egészségügyi hatásbecslés eredményeit, megállapítható, hogy a hatásbecslés mind rövid, mind hosszú távon bebizonyította a levegőminőség javításának jótékony hatását és szükségességét. A levegőminőség javítás előnyös hatásainak mértékét befolyásolja a halálnak az oka és, hogy milyen az adott városra adott időszakban jellemző légszennyezettség. A halálokokat figyelembe véve a legjobb eredményeket az összhálózás tekintetében érhető el, míg a légzőszervi mortalitás szempontjából a hatás csak limitált.

Az emberi egészségre károsabb PM_{2,5} koncentráció csökkentésének hatásait összegezve megállapítható, hogy ha a vizsgált években (2011-2013) a vizsgált 15 városban a PM_{2,5} éves átlag koncentrációját lecsökkentenénk 10 µg/m³-re, akkor 2624 és 1772 és 1678 összes halálok miatti halálózást előzhetnénk meg. Az elkerülhető halálózás életévnyereségre számolva minden városban kb. 3,7 hónapot jelentene egy 30 éves ember

esetében. Amennyiben az éves átlagértéket $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -re tudnánk csökkenteni, akkor 0,9 hónap (Győr) valamint 11,7 hónap (Miskolc) közötti értékkel növelhetnénk a várható élettartamot.

Az általam 2011-2013-ra elvégzett hatásbecslés eredményeit az OKI által elvégzett 2005-2010-re vonatkozó környezet-egészségügyi hatásbecslés eredményeivel összehasonlítva, megállapítható, hogy a forgatókönyvek többségének az értéke közel hasonló (a légszennyezettségnek tulajdonítható többlethalálozás a vizsgált városokban összesen), csak a $\text{PM}_{2,5}$ koncentráció csökkentése $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -re a 2011-2013-ig tartó időszakra elvégzett hatásbecslés eredménye tért el jelentősebben (443 fő) a 2005-2010 közötti időszakra elvégzett hatásbecslés eredményétől.

A levegőminőség alakulását egy adott területen, a légszennyező anyag kibocsátásán túlmenően, a kibocsátott légszennyező anyag transzmissziója is befolyásolja.

Minden állampolgár számára fontos lenne a légszennyezés hatásainak a megismerése, legfőképpen azért, hogy cselekvései során törekedjék a káros anyagok kibocsátásának csökkentésére. A hatásbecslés jelentős eredményei miatt a városnak kiemelt feladata is lehetne az emisszió visszaszorítása. A városlakókat segíteni kellene egy környezettudatosabb szemléletmód kialakításában, melynek hatására környezetkímélőbb vezetési hozzáállás és a környezettudatos járművezetés (ökodriving) alakulhatna ki bennük. Szükséges lenne a környezetet kevésbé károsító, alternatív hajtóanyagok és hajtásrendszerek részarányának növelése a közlekedési járművek körében, beleértve a közösségi közlekedés járműveit is. Fontos az olyan közlekedési tervezet létrehozása, amelyben a közösségi és a nem motorizált közlekedési eszközök prioritást élvezne, mivel ezek működtetése által is csökkenthető a szmog helyzet kialakulása, s egészségesebb lenne a város levegője.

A dolgozatban bemutatott módszerlehetőséget nyújt egy adott légszennyező anyag potenciális egészségkárosító hatásának felbecslésére egy meghatározott városi környezetben egy adott időszakban. Ezért a dolgozatom befejezése után tervezem még több állomáson (városban), akár közép-európai szinten elvégezni a vizsgálatot. Napjaink egyik legfontosabb környezetpolitikai feladata az éghajlatváltozást kiváltó okok és kedvezőtlen hatásaik mérséklése. Ezen eljárások egyik megkerülhetetlen feladata a levegőszennyezés forrásának konkrét gazdasági ágakhoz, ágazatokhoz kapcsolása, ezért szükségnek tartom a jövőben ezt is vizsgálni.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet szeretném kifejezni a betegfelvételi adatokért Lakatos Csengének (GYEMSZI). Továbbá szeretném megköszönni a halálozási adatokat és a módszertani segédletet, szakirodalmat Páldy Annának, Bobvos Jánosnak és Hagyáné Szalkai Mártának.

Külön köszönettel tartozom témavezetőmnek, Szinyei Dalmának a számos konzultáció során adott hasznos ötleteiért, jó tanácsaiért és az info-kommunikációs technológia könnyebb használatáért.

Továbbá hálával tartozom Ábrahám Ilonának, Németh Tamásnak, Nagy Bencének és Zsoldos Dánielnek a fordításban, a nyelvtani ellenőrzésben és a grafikonok elkészítésében nyújtott segítségükért.

Köszönöm mindenkinek, aki segített a dolgozat elkészítésében.

7. Irodalomjegyzék

- 14./2001. (V.9.) KvVM-ESZCSM-FVM együttes rendelet a légszennyezettségi határértékekről, a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről
1995. évi LIII. törvény a környezet védelmének általános szabályairól
- 306/2010.(XII. 23.) Kormányrendelet a levegő védelméről
- 4/2002 (X.7.) KvVM rendelet a légszennyezettségi agglomerációk és zónák kijelöléséről
- ÁDÁNY R. – V. HAJDÚ P. 2006. A levegőrendszer betegségei. In: ÁDÁNY R. (szerk.) Megelőző orvostan és népegészségtan. – Medicina Könyvkiadó Zrt, Budapest. pp. 172-178.
- ANDERSON, H.R., ATKINSON, R.W., PEACOCK, J.L., MARSTON, L., KONSTANTINOU, K. 2004. Meta-analysis of time-series studies and panel studies of Particulate Matter (PM) and Ozone (O3). Report of a WHO task group. WHO Regional Office for Europe.
- ATKINSON, R.W., ANDERSON, H.R., MEDINA, S., IÑIGUEZ, C., FORSBERG, B., SEGERSTEDT, B., ARTAZCOZ, L., PALDY, A., ZORRILLA, B., LEFRANC, A., MICHELOZZI, P. 2005. Analysis of all-age respiratory hospital admissions and particulate air pollution within the Apheis programme. In APHEIS Air Pollution and Information System. Health Impact Assessment of Air Pollution and Communication Strategy. Third-year Report, (Anonymous), pp. 127-133.
- BARTHOLY J. – GERESDI I. – MÉSZÁROS R. – PONGRÁCZ R. 2011. A meteorológia alapjai (Szerk. BARTHOLY J.). – ELTE Meteorológia Tanszék, Budapest. pp. 13-19.
- BEREGSZÁSZI T. – PÁLDY A. 2005. A légszennyezés környezet-egészségügyi értékelése Budapesten és néhány vidéki városban. – Egészségtudomány 49. pp. 162-177.
- BOBVOS J., SZALKAI M., FAZEKAS B., PÁLDY A. 2014. A szálló por szennyezettség egészségkárosító hatásának becslése néhány hazai városban, Egészségtudomány LVIII., 3. pp. 11-26.
- DÉSI I. 2002. Részletes Toxikológia. In: DÉSI I. (szerk.) Környezetegészségtan. – JGYF Kiadó, Szeged. pp. 52-55.
- DR. BARÓTFI I. 2000. Környezettechnika. – Mezőgazda Kiadó. (2014.03.17.)
<http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/kornyezettechnika-eloszo/ch03.html#id512405>
- DR. BOZÓ L. – GYÖRGYNÉ VÁRALJAI I., IVANICS I. – VASKÖVI BÉLÁNÉ DR. – DR. VÁRKONYI T. 2001. A környezeti levegőszennyezettség mérésének gyakorlata – Kézikönyv az imisszió vizsgálatához. – Budapest. pp. 1-35.

- DR. DURA GY. – DR. PÁNDICS T. 2013. Háttéranyag a levegő ózon szennyezettségének környezetegészségügyi értékeléséhez (2014.03.22.)
<http://pm10.kormany.hu/download/8/21/70000/WHO%20PM%20Eg%C3%A9szs%C3%A9gi%20hat%C3%A1s.pdf>
- DR. PAPP A. 2002. A főbb légszennyező anyagok, jellemzőik és hatásaik az emberi egészségre és környezetre. In: DÉSI I. (szerk.) Környezetegészségtan. – JGYF Kiadó, Szeged. pp. 120-129.
- DR. RUDNAI P. 2006. A városi levegőszennyezettség hatása az egészségre, különös tekintettel az allergiás légzőszervi betegségekre (2014.03.08.)
http://www.levego.hu/sites/default/files/kapcsolodo/rudnai_0604.pdf
- DR. ZSUGA J. 2014. A COPD és tünetei (2014.03.08.)
<http://www.webbeteg.hu/cikkek/copd/45/a-copd-es-tunetei>
- FODOR I. 2006. A természeti környezet elszennyeződése és annak veszélyei – 1. A levegőszennyeződés In: BODNÁR L. – FODOR I. – LEHMANN A. (szerk.) A környezet- és természetvédelem földrajzi alapjai. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest. pp. 178-217.
- GÁCS I. – KATONA Z. 1998. Környezetvédelem (Energetika és levegőkörnyezet), Egyetemi jegyzet. – 45041. Műegyetemi Kiadó, Budapest. pp. 7-14.
- GELENCSÉR A. – MOLNÁR Á. 2011. Levegőkörnyezet és az emberi tevékenység (2014.03.08.)
<http://mkweb.uni-pannon.hu/tudastar/ff/04-levego/Levegokornyezet.xhtml>
- GRYPARIS, A., FORSBERG, B., KATSOUYANNI, K., ANALITIS, A., TOULLOUMI, G., SCHWARTZ, J., SAMOLI, E., MEDINA, S., ANDERSON, H.R., NICIU, E. M., WICHMANN, H.E., KRIZ, B., KOSNIK, M., SKORKOVSKY, J., VONK, J.M., DÖRTBUDAK, Z. 2004. Acute effects of ozone on mortality from the "air pollution and health: a European approach" project. – Am J Respir Crit Care Med 170, 10. pp.1080-1087.
http://tea.gyemszi.hu/MainPage/TEA_Index.jsp?task=Greeting
<http://statinfo.ksh.hu/Statinfo/haDetails.jsp?query=kshquery&lang=hu>
- JUHÁSZ M. 2006. Budapest légszennyezettségi adatai
http://www.levego.hu/sites/default/files/kapcsolodo/bp_legszennyezettsegi_adatai.pdf
- JUHÁSZNÉ SZALAI A. – DOJCSÁKNÉ KISS-TÓTH É. – KOSKA P. – DR. KISS-TÓTH E. – DR. SZEBENYI J. – DR. FODOR B. 2011. Az ultrafinom nanoméretű anyagok egészségügyi hatása. – Egészségtudományi Közlemények 1, 1. pp. 49-54.
- KATSOUYANNI, K., TOULLOUMI, G., SAMOLI, E., GRYPARIS, A., LETERTRE, A., MONOPOLIS, Y., ROSSI, G., ZMIROU, D., BALLESTER, F., BOUMGHAR, A., ANDERSON, HR., WOJTYNIAK, B.,

- PALDY, A., BRAUNSTEIN, R., PEKKANEN, J., SCHINDLER, Chr., SCHWARTZ, J. 2001. Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: Results from 29 European cities within the APHEA2 project. –Epidemiology 2001, 12. pp. 521-531.
- KATSOUYANNI, K; on behalf of the APHEA Group 2006. Aphea Project: Air Pollution and Health. – Epidemiology 17, 6. p. 19.
- KÖZPONTI STATISZTIKAI HIVATAL 2013. A fenntartható fejlődés indikátorai Magyarországon, 2012. – Budapest. pp. 14-31.
- KÖZPONTI STATISZTIKAI HIVATAL 2011. Magyar statisztikai évkönyv, 2010. – Budapest. p. 384.
- MEDINA, S. 2011. Summary report of the Aphekom project 2008-2011 (2014.05.02.)
http://www.aphekom.org/c/document_library/get_file?uuid=e711dffa-8b6f-4712-a794-b73fcf351572&groupId=10347
- MEDINA, S. PASCAL, M., CORSO, M., UNG, A., DECLERCQ, C. 2011. Guidelines for assessing the health impacts of air pollution in European cities (2014.03.15.)
http://www.aphekom.org/c/document_library/get_file?uuid=4f388abf-61e5-415d-ae22-e437a4e25937&groupId=10347
- MÉSZÁROS E. 2008. A levegő megismerésének története. – MTA Történettudományi Intézete, Budapest, pp. 155-161.
- MOSER M. – PÁLMAI GY. 1999. A Környezetvédelem alapjai. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest. pp. 136-178.
- n.a. n.d. A légszennyezők egészségügyi hatásai (2014.02.28.)
<http://www.kvvm.hu/olm/info.php?id=5>
- n.a. n.d. Levegő és egészség (2014.01.27.)
<http://www.zoldinfoanc.hu/doksik/esztergom/egeszseg/levesegeszseg.pdf>
- n.a. n.d. Munkahelyi ózonszennyezés (2014.04.01.)
http://www.levego.hu/tanulsagos_ugyek/munkahelyi_ozon_szennyezés
- n.a. n.d. The Great Smog of 1952 (2014.02.25.)
<http://www.metoffice.gov.uk/education/teens/case-studies/great-smog>
- n.a. 2011. Pécs Megyei Jogú Város Település Környezetvédelmi Programjának felülvizsgálata (2011-2016) (2014.04.11.)
http://pecsivarosfejlesztés.hu/userfiles/dokumentumok/Környezetvédelmi_program_2011.pdf
- n.a. 2012. Ökováros - Ökorégió program (2014.04.11.)
<http://eugyintezes.pecs.hu/download/tajekoztatok/okováros2012.pdf>

- n.a. 2013. Tájékoztató - aktuális budapesti légszennyezettségről (2013.08.27.)
http://www.met.hu/levegokornyezet/varosi_legszennyezettseg/meresi_adatok/tajekoztato/
- OMSZ – Tájékoztató az aktuális budapesti légszennyezettségről (2014.04.01.)
http://www.met.hu/levegokornyezet/varosi_legszennyezettseg/meresi_adatok/tajekoztato/
- PÁLDY A. 2011. Az Aphekom projekt eredménye új dimenziókat nyitott az európai országokban mért légszennyezés egészségi és gazdasági hatásainak megítélésében (2014.03.15.)
http://www.aphekom.org/c/document_library/get_file?uuid=db142c97-574c-4bd9-b3c2-e2fcd8717acb&groupId=10347
- PÁLDY A. – MEDINA, S. 2001. Az APHEIS program bemutatása (2014.03.15.)
<http://www.apheis.org/LocalizedDocuments/APHEIS%2520hungarian.pdf>
- PÁLDY A. – BOBVOS J. – VÁMOS A. 2000. Levegőszennyezettség rövid távú koncentrációváltozásának hatása a napi halálozásra Budapesten (APHEA-2 vizsgálat). – Budapesti Közegészségügy 32, 4. pp. 337-342.
- PÁLDY A. – BOBVOS J. – VÁMOS, A. – ERDEI, E. – KISHONTI, K. 2005. Levegőszennyezés környezet-egészségügyi hatásbecslése Budapesten az APHEIS-3 program szerint, Budapesti Népegészségügy (3). pp. 244-250.
- PÁLDY A., BOBVOS J., ZSÁMBOKINÉ BAKACS M., ERDEI E., VÁMOS A. 2003. A levegőszennyezettség egészségkárosító hatásának értékelése, Budapesti Népegészségügy 34, (3). pp. 223-227.
- PETERS, A., DOCKERY, D.W., MULLER, J.E., MITTLEMAN, M.A., 2001. Increased Particulate Air Pollution and the Triggering of Myocardial Infarction. – Circulation, 103. pp. 2810-2815.
- POPE, III C.A. – DOCKERY, D.W. 2006. Health Effect of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. – Journal of the Air & Waste Management Association, 56. pp. 709-742.
- POPE, III C.A., BURNETT, R.T., THURSTON, G.D., THUN, M.J., CALLE, E.E., KREWSKI, D., GODLESKI, J.J. 2004. Cardiovascular Mortality and Long-Term Exposure to Particulate Air Pollution: Epidemiological Evidence of General Pathophysiological Pathways of Disease. – Circulation 2004, 109. pp. 71-77.
- POPE, III C.A., BURNETT, R.T., THUN, M.J., CALLE, E.E., KREWSKI, D., ITO, K., THURSTON, G.D. 2002. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. – Jama 287, pp. 1132-1141.
- RADNAINÉ DR. GYÖNGYÖS ZS. 2011. Levegőtisztaság-védelem, Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet, Veszprém. p. 8.

- SALMA I. 2010. Tendenciák a városi levegőminőség alakulásában. – Magyar Tudomány 171/3, pp. 288-299
- SAMOLI, E., ANALITIS, A., TOULOUMI, G., SCHWARTZ, J., ANDERSON, H.R., SUNYER, J., BISANTI, L., ZMIROU, D., VONK, J.M., PEKKANEN, J., GOODMAN, P., PALDY A., SCHINDLER, C., KATSOUYANNI, K. 2005. Estimating the Exposure-Response Relationships between Particulate Matter and Mortality within the APHEA Multicity Project. – Environ Health Perspect, 113 (1) pp. 88-95.
- SAMOLI, E., ZANOBETTI A, SCHWARTZ, J., ATKINSON, R., LE TERTRE, A., SCHINDLER, C., PÁLDY, A. 2009. The Temporal Pattern of Mortality Responses to Ambient Ozone in the Aphea Project. – Epidemiology 20, 6. p. 26.
- SEATON A., MCNEE W., DONALDSON K., GODDEN D. 1995. Particulate air pollution and acute health effects. – Lancet, 3, 45. pp. 176-178.
- SIMON G. 2004. Légszennyezés. – Levegő Füzetek, Levegő Munkacsoport, Budapest. pp. 5-11., 22-27.
<http://www.levego.hu/sites/default/files/konyvtar/olvaso/legszennezes.pdf>
- U.S. Environmental Protection Agency 2014. Health Effects of Ozone in the General Population (2014.04.01.)
<http://www.epa.gov/apti/ozonehealth/population.html>
- VEZÉR T. 2006. A levegő-környezet egészségügyi hatásai In: ÁDÁNY R. (szerk.) Megelőző orvostan és népegészségtan. – Medicina Könyvkiadó Zrt, Budapest. pp. 317-394.
- WHO 2003. Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide (2013.08.27.)
http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/112199/E79097.pdf
- WHO 2011. Air Quality and Health (2014.02.28.)
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>

8. Melléklet

3. táblázat Az értékelésben szereplő városok éves átlagos PM₁₀ koncentráció értékei (µg/m³) és napi határértéket átlépő napok száma (db)

Város	PM ₁₀ koncentráció (µg/m ³)				PM ₁₀ határértéket átlépő napok száma (db)			
	2011	2012	2013	Átlag	2011	2012	2013	Átlag
Budapest	33,19	28,21	26,67	29,35	58	35	22	38,33
Debrecen	32	28	26	28,66	50	33	22	35
Dunaújváros	33	28,44	26,1	29,18	67	37	25	43
Eger	27	24	21	24	40	28	9	25,66
Győr	34	33	25	30,66	65	28	20	37,66
Miskolc	42,02	33,93	32,7	36,21	92	71	65	76
Nyíregyháza	37	31	31	33	69	40	50	53
Pécs	32,35	27,73	27,17	29,08	62	26	25	37,66
Salgótarján	31	29	32	30,66	56	47	29	44
Sopron	32,4	22,62	23,82	26,28	51	21	18	30
Szeged	31	28	25	28	35	24	12	23,66
Székesfehérvár	37	22	24	27,66	76	22	16	38
Szolnok	28	24	22	24,66	16	11	9	12
Tatabánya	30	25	25	26,66	49	21	19	29,66
Veszprém	26,14	15,03	17	19,39	39	9	8	18,66
Átlag	32,40	26,66	25,63	28,23	55	30,2	23,26	36,15

4. táblázat Az értékelésben szereplő városok éves átlagos O₃ 8 órás maximum koncentráció értékei (µg/m³) és napi határértéket átlépő napok száma (db)

	O ₃ éves átlag koncentráció (µg/m ³)				O ₃ határt átlépő napok száma (db)			
	2011	2012	2013	Átlag	2011	2012	2013	Átlag
Budapest	83,38	86,14	74,58	81,36	56	61	30	49
Debrecen	87,73	88,71	77,62	84,68	55	60	31	48,66
Dunaújváros	87,66	59,65	63,68	70,33	46	4	4	18
Eger	83,55	85,21	77,82	82,19	42	38	25	35
Győr	77,54	76,25	70,95	74,91	28	32	20	26,66
Miskolc	47,02	81,69	66,83	65,18	0	67	10	25,66
Nyíregyháza	68,13	73,35	71,28	70,92	6	29	20	18,33
Pécs	87,17	103,5	92,92	94,53	46	127	84	85,66
Salgótarján	74,28	87,41	76,58	79,42	17	37	17	23,66
Sopron	81,26	84,61	77,41	81,09	42	69	33	48
Szeged	72,12	81,26	71,1	74,82	17	30	9	18,66
Székesfehérvár	85,5	85,6	78,47	83,19	70	84	66	73,33
Szolnok	71,76	79,88	69,09	73,57	16	36	5	19
Tatabánya	84,39	81,87	76,62	80,96	66	56	40	54
Veszprém	79,91	79,02	75,9	78,27	27	44	38	36,33
Átlag	78,09	82,27	74,72	78,36	35,6	51,6	28,8	38,66

5. táblázat Az O₃ csökkentésével elkerülhető rövid távú halálozások, légzőszervi (15-64 év közötti és 65 év feletti korcsoportban) megbetegedések eseteinek száma a különböző szcenáriók esetén (2011-2013)

Város	Elkerülhető rövid távú halálozás (fő)			Elkerülhető légzőszervi (15-64) megbetegedés esetszám			Elkerülhető légzőszervi (65 felett) megbetegedés esetszám		
	160 µg/m ³ -re	100 µg/m ³ -re	5 µg/m ³ -rel	160 µg /m ³ -re	100 µg /m ³ -re	5 µg/m ³ -rel	160 µg/m ³ -re	100 µg/m ³ -re	5 µg/m ³ -rel
Budapest	0,8	39,2	29,7	0	2,1	1,6	0,3	15,9	12,1
Debrecen	0	4,1	3,2	0	0,5	0,4	0	2,8	2,1
Dunaújváros	0	0,5	0,9	0	0,1	0,2	0	0,7	1,1
Eger	0	0,8	0,8	0	0,2	0,2	0	1,3	1,3
Győr	0	1,6	2,3	0	0,1	0,1	0	0,7	1
Miskolc	0	3,2	3,5	0	0,5	0,6	0	2,8	3
Nyíregyháza	0	1	1,8	0	0,5	0,9	0,1	2,6	4,7
Pécs	0,2	6,8	2,9	0	1	0,4	0,2	5,8	2,5
Salgótarján	0	0,7	0,8	0	0,1	0,1	0	0,5	0,6
Sopron	0	1,2	1	0	0,2	0,2	0	1,3	1,1
Szeged	0	1,8	2,7	0	0,1	0,2	0	0,6	1
Székesfehérvár	0	2,7	1,5	0	0,8	0,4	0	4,6	2,5
Szolnok	0	0,7	1,2	0	0,1	0,3	0	0,8	1,4
Tatabánya	0	1,8	1,4	0	0,2	0,2	0	1,2	0,9
Veszprém	0	0,9	0,9	0	0,1	0,1	0	0,6	0,6
Összesen	1	67	54,6	0	6,6	5,9	0,6	42,2	35,9

6. táblázat Elkerülhető hosszú távú halálozás (fő) a PM_{2.5} csökkentésével a különböző szcenáriók esetén (2011-2013)

Elkerülhető hosszú távú halálozás (fő)					
	5 µg/m ³ -rel	10 µg/m ³ -re			
	Átlag (2011-2013)	2011	2012	2013	Átlag
Budapest	549,6	1419	1028,5	906,8	1120,5
Debrecen	58,3	126,7	121,2	122,7	122,7
Dunaújváros	16,8	44,3	32,9	27,6	35
Eger	15,2	27,6	22,1	15,7	21,8
Győr	42,4	102,4	3,8	22,5	10,8
Miskolc	63,3	235,9	169,8	158,8	186,4
Nyíregyháza	33,5	105,5	79,1	80,8	88,8
Pécs	53,1	131,3	98,6	94,6	108,1
Salgótarján	14,9	34,6	31	37,3	34,2
Sopron	18,5	45,9	21,5	24,6	29,8
Szeged	50	140,2	59,6	75	91,3
Székesfehérvár	27,5	86,4	30	39,3	52,7
Szolnok	22,5	43,2	31,9	25,8	33,4
Tatabánya	25,2	55,6	40,9	40,8	45,9
Veszprém	15,8	25,9	1,7	6,2	11,5
Összesen	1006,6	2624,5	1772,6	1678,5	1992,9

7. táblázat Az elkerülhető hosszú távú szív- és érrendszeri halálozás (fő) a PM_{2.5} csökkentésével a különböző szcenáriók esetén (2011-2013)

Elkerülhető hosszú távú szív- és érrendszeri halálozás (fő)					
	5 µg/m ³ -rel	10 µg/m ³ -re			
	Átlag (2011-2013)	2011	2012	2013	Átlag
Budapest	530	1338,8	980	866,7	1065,2
Debrecen	59	126	120,7	122,1	122,1
Dunaújváros	16,5	42,6	32	26,9	33,9
Eger	13,1	23,7	19	13,6	18,8
Győr	43,3	102,9	3,9	23,1	11,1
Miskolc	63,1	226,4	165,4	155,1	180,8
Nyíregyháza	30,7	93,9	71,2	72,6	79,6
Pécs	43,6	105,7	80,1	77	87,6
Salgótarján	15,8	36	32,4	38,8	35,7
Sopron	18,1	44	21	24	28,9
Szeged	44,1	120,4	52,3	65,6	79,5
Székesfehérvár	24,3	74,1	26,5	34,6	46
Szolnok	20,4	38,7	28,8	23,4	30,1
Tatabánya	22,5	48,8	36,2	36,1	40,5
Veszprém	15,4	25,1	1,6	6,1	11,2
Összesen	959,9	2447,1	1671,1	1585,7	1871
átlag	63,99	163,14	111,40	105,71	124,73