

# A városi beépítettség hatása a légszennyezettségre

SZAKDOLGOZAT  
FÖLDTUDOMÁNYI ALAPSZAK  
METEOROLÓGUS SZAKIRÁNY



Készítette:

**Boda Balázs**

Témavezető:

**dr. habil. Mészáros Róbert**

ELTE TTK, Meteorológiai Tanszék

Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Földrajz- és Földtudományi Intézet  
Meteorológiai Tanszék  
Budapest, 2016

# Tartalomjegyzék

## Tartalomjegyzék

1. Bevezetés .....	3
2. Irodalmi áttekintés .....	5
2.1 A légszennyezettség története .....	5
2.2 A légkör összetétele, a légszennyezettség.....	7
2.2.1. A nitrogén-oxidok .....	7
2.2.2. A szén-monoxid .....	8
2.2.3. Illékony szerves anyagok (VOC) .....	9
2.2.4. A troposzférikus ózon .....	9
2.2.5. A kén-dioxid .....	10
2.2.6. Az aeroszolok .....	100
2.3. Az urbanizáció .....	11
2.4. A városok beépítettségének hatása a légszennyezettségre.....	14
2.5. Az időjárás hatása a légszennyezettségre .....	17
2.6. A légszennyezettség által okozott betegségek .....	19
3. Mobil légszennyezettség mérések .....	20
3.1. A saját méréseinkhez használt műszer.....	20
3.2. A mérések útvonala.....	21
3.3. Mért adatok feldolgozása.....	22
3.4. A megjelenítés, és a hozzá felhasznált program .....	23
3.5. Eredmények értékelése, ábrázolása .....	23
3.5.1. Szén-monoxid koncentrációk .....	23
3.5.2. A nitrogén-monoxid és az ózon koncentrációk.....	28
4. Összefoglalás .....	28

# 1. Bevezetés

A légszennyezettség korunk egyik legjelentősebb problémája, mely még mindig nem kapja meg az ennek megfelelő figyelmet. A városok népességének robbanásszerű növekedése, az ipar fejlődése és a közlekedés zsúfoltsága a nagyobb települések levegőjének elszennyeződéséhez vezetett. A szennyezőanyagok roncsolják az élő szervezeteket, és az élettelen környezetünket is.

Közvetlenül a légszennyezettség miatt kialakuló betegségekben évente több millió ember veszíti életét. A leglátványosabban a fejlődő országok – például Kína és India – levegőminősége romlik, ahol évente több városban adnak ki napokig, akár hetekig tartó szmog-riadót.

A lakosságot levegőminőségi mérőállomások és modellek eredményei alapján riasztják, de ezek csak a nagyobb légszennyezettségi események esetén használhatók, a lokális hatásokat (pl. beépítettség, városi vegetáció hatása) nem minden esetben tudják figyelembe venni. A légszennyezettség városon belüli finomabb eloszlásáról, mobil mérések segítségével nyerhetünk információt. A mobil légszennyezettség méréseket egyre több városban alkalmazzák, segítségükkel közvetlen adatokat kaphatunk az élő szervezetek mindennapi kitettségéről, egyes útvonalak, jellemzőbb járművek és időjárási helyzetek levegőminőségre gyakorolt hatásáról.

Szakedolgozatomban bemutatom a legfőbb légszennyező anyagokat. Ismertetem, hogy milyen természetes és antropogén folyamatok, tevékenységek által juthatnak a légkörbe, és hogyan kerülhetnek ki onnan, valamint azt, milyen hatást fejtenek ki az élő szervezetekre. Mivel a légszennyezettség sűrűn lakott, városi területeken a legjellemzőbb, a dolgozatban elemzem az urbanizáció folyamatát is. Külön vizsgálom a városi beépítettség és az időjárás szerepét a kialakuló légszennyezettségre, továbbá bemutatom a légszennyezettség által leggyakrabban okozott betegségeket.

A szakdolgozatom második felében bemutatom az általunk végzett méréseket. Magyarországon elsőként kerékpárra szerelhető gázérzékelő műszerrel végeztünk légszennyezettségi vizsgálatokat több budapesti útvonalon. Általánosan ismertetem a mobil légszennyezettség-mérő műszerek előnyeit, és hátrányait a mérőállomásokkal szemben.

Mérésünk célja az volt, hogy megvizsgáljuk különböző útvonalak légszennyezettségi viszonyait a városi beépítettség függvényében. Ennek érdekében a mért adatokat térképészeti programmal jelenítettem meg, ezeket esettanulmányként mutatom be. A többszöri mérés adatainak feldolgozására, statisztikáinak származtatására egy Fortran nyelvű programot készítettem, és az eredményeket a területi sajátosságok ismeretében elemeztem.

## 2. Irodalmi áttekintés

### 2.1 A légszennyezettség története

Kutatások bizonyítják, hogy az antropogén eredetű légszennyezés az ember megjelenésével egy időben kezdődött (*Salma, et al. 2007*). Az őskori emberek barlangjait vastag koromréteg fedte, amit a beltéri tüzelés okozott. A korom az akkori emberek életét valószínűleg jelentősen megrövidítette.

Az antik társadalmak idején elkezdődött a növényzet és a talaj károsítása (Makra, 2003). Természetesen ezekből az időkből még nem maradt ránk semmilyen mérési adat, hiszen az akkori tudós-filozófusoknak még nem állt rendelkezésükre a megfelelő technológia, és tudás; a légkör összetételét még csak elméleti úton fejtegették. A fennmaradt írásos emlékekből, melyek leírás jellegűek voltak, azonban következtethetünk az akkori légszennyező tevékenységekre, és a városok levegőjének minőségére. Horatius azt írta Rómáról, hogy az épületek falai megszürkültek az utcán gomolygó füsttől. Egy másik írásos emlékből tudjuk, hogy Seneca egész életében légúti problémákkal küzdött, amit nagy valószínűséggel a római levegő, és a beltéri tüzelés okozott. Az ekkori legszennyezőbb ipari tevékenység a fémek bányászata és megmunkálása volt. Az ólom kitermelése ekkora igen jelentős volt, hiszen fő ásványából, a galénából nyerték az ezüstöt. Később más, és értékesebb fémek kerültek az előtérbe, mint a réz és a vas.

A középkorban a tudományok fejlődése leállt, gyakran üldözték a tudósokat, eredményeiket pedig elégették. Régészeti vizsgálatok segítségével következtettek arra, hogy a fatüzelés hatalmas területeket károsíthatott, mert a vizsgált földminták nagy mennyiségben tartalmaztak hamut, mindemellett a korról biztosan tudjuk, hogy megindult a városiasodás. A települések jobb védhetősége miatt alapterületüket nem akarták növelni, ezért szűk utcákat terveztek, a hely elfogyása után pedig felfelé kezdtek terjeszkedni. A szűk utcák átszellőzése nem volt megfelelő, pedig az ekkori ipari termelés már jelentős károkat okozott a levegő minőségében. A fakitermelés és a beltéri tüzelés még mindig az egyik legnagyobb szennyező volt, ám a városokban megjelentek például a mészgyártók, kovácműhelyek, sörfőzdék is. A rossz átszellőzés, és az ipari tevékenység eredményezte az átlagos középkori város rossz levegőminőségét.

A felvilágosodás kora számos olyan felfedezést hozott, ami segítette a tudomány

előrelépését, annak ellenére, hogy még ekkor is számos tudóst végeztek ki. A 16. századtól a 18. századig tartó időszakban a meteorológiai műszerek nagy fejlődésen mentek keresztül, és a légszennyező gázok nagy részét is megismerte az emberiség. A 16. század környékén a fatüzelést lassan a kőszén tüzelése váltotta fel, amelyre a gőzmotorok működtetéséhez volt szükség. Az ipari fellendülés arra készítette a gyárak tulajdonosait, hogy az eddig erdők és folyók közelében lévő csarnokaikat a városokhoz közelebb, vagy a városokba telepítsék a több munkavállaló miatt. Az népességnövekedés és az ipari forradalom megsokszorozta az eddigi termelést, és sok újfajta termék gyártásába is kezdtek. Az emiatt létrejövő szennyezőanyag-kibocsátás szabályozására először Angliában került sor, ahol 1875-ben kiadták a Közegészségügyi Törvényt, amelyet azonban nagy hatékonysággal nem sikerült betartatni (Makra, 2002).

Az ezekben az évszázadokban egyre erősödő légszennyezettség mértékéről – a megfelelő műszerek hiányában – még mindig nem lehet számszerű adatot találni, azonban a városok ködösségéről pontos feljegyzéseket vezettek, ebből pedig lehet következtetni a levegőminőségre. A 17. század volt az a fordulópont, amitől a tudósok a légszennyezettség miatt létrejövő ködről beszélnek. A 19. századig terjedő időszakban a ködös napok száma észrevehető növekedő tendenciát mutatott. Például Londonban a három téli hónapban 1870 és 1875 között 93 ködös napot számoltak, míg 1885–1890 között 156-ot (Róna, 1882).

Ebből könnyen látható, hogy a növekedés már 15 év alatt is jelentős mértéket öltött. 1880-ban, és 1892-ben a füstköd olyan mértékű volt, hogy ezekben az években télen több mint ezerrel több elhunytól van feljegyzés, mint más években, ugyanebben az időszakban. Az 1950-es években már több ezer ember halála köthető a jelenséghez. A legsúlyosabb tragédia 1952-ben történt, amelyet el is neveztek a „nagy londoni füstköd” néven (Bell and Davis, 2001). Decemberben egy lassú mozgású anticiklon kúszott a város térségébe, amely gátolta a levegő átkeveredését, így addig sosem látott szennyezettséget hozva létre a városban. A helyzet 5 napig állt fenn, amely alatt 4700 ember halálát okozta. Ez az esemény felhívta a figyelmet a légszennyezettség súlyosságára, és ösztönözte az országok vezetőit, hogy olyan törvényeket hozzanak létre, amik mind a gyárak, mind a lakóházak szennyezőanyag-kibocsátását szabályozzák. Az ilyen katasztrófák elkerülése végett erősen törekedtek a szén alapú fűtés háttérbe szorítására, és a füstgáz kénmentesítési technológiájának létrehozására és fejlesztésére.

A 19–20. században több olyan felfedezés, tudományos eredmény is napvilágot

látott, amik elősegítették a légszennyezettség kutatását. Ekkor születtek olyan tanulmányok, amelyek a légköri turbulenciával, diffúzióval, viszkozitással (Reynolds), a levegőminőség és az emberi szervezet kapcsolatával (Mellon Institute) foglalkoztak. Később G. I. Taylor definiálta a keveredési út fogalmát, A. E. Wells pedig azt vette észre, hogy a kémények magassága befolyásolja a talaj menti légszennyezettséget (Makra, 2002).

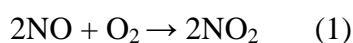
## 2.2. A légkör összetétele, a légszennyezettség

A légkört alkotó anyagokat tartózkodási idejük szerint három csoportba, az állandó, a változó és az erősen változó összetevők csoportjába sorolhatjuk. Az állandó összetevők a téma szempontjából nem érdekesek. A levegőminőségi problémák a változó és erősen változó összetevőkhöz köthetők. Az összetevőket koncentrációjuk alapján két csoportra bonthatjuk, a fő összetevőkre, és a nyomanyagokra, amelyik csoportba a nyomgázok és a légkörben található szilárd és cseppfolyós anyagok, azaz az aeroszolok tartoznak. A nyomanyagok a változó és erősen változó összetevők csoportjába tartoznak. A légszennyező anyagokat két további csoportra oszthatjuk, az elsődleges, és a másodlagos légszennyezőkre. Az elsődleges légszennyezők közvetlen kibocsátás útján kerülnek a légkörbe, a másodlagosak pedig kémiai reakciók termékeként keletkeznek. A legfontosabb légszennyező anyagok a nitrogén-oxidok, a szén-monoxid, a kén-dioxid, az illékony szerves anyagok (VOC), az ózon és a szálló por.

### 2.2.1. A nitrogén-oxidok

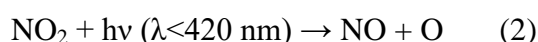
A nitrogén-oxidok közül a levegőminőségre az úgy nevezett NO<sub>x</sub> csoport gyakorolja a legjelentősebb hatást. Emissziója legnagyobb részben nitrogén-monoxid formában történik, amelyből oxidáció során nitrogén-dioxid képződik.

A nitrogén-monoxid színtelen, vízben kevésbé oldódó gáz. Tipikus forrása a villámlás, a biomassza égése, és a fosszilis tüzelőanyagok égetése. Vízben gyengén oldódik, nedves ülepedése nem számottevő, száraz ülepedése nagyon lassú, ezért jellemző nyelő folyamata az oxidáció. A nitrogén-monoxid instabil, így gyorsan nitrogén-dioxiddá oxidál:

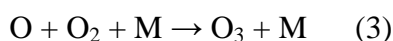


A nitrogén-dioxid barnás színű szúrós szagú gáz. Jellemző forrásai a növények, és a talajbaktériumok, az antropogén források közül pedig a közlekedés, és a magas

hőmérsékletű égés a legfontosabb (*Lagzi et al., 2013*). Kikerülése a légkörből kémiai reakciók és nedves ülepedés útján történik. Belélegzése súlyosan károsítja a tüdőt, csökkenti annak ellenállását a kórokozókkal szemben, légzési nehézségeket okoz, ezen kívül stroke-hoz is vezethet (*Lagzi et al., 2013*). Kísérletek szerint alacsony koncentrációban (5 ppm) hatása még nem számottevő, de 45 ppm koncentráció hatására már baktérium-károsító hatása van (*Kondakova et al., 2016*). A nitrogén-dioxid 420 nanométernél kisebb hullámhosszú sugárzás hatására nitrogén-monoxiddá és oxigénné disszociál:



Az oxigén atom nagy reaktivitása miatt szinte rögtön reagál egy oxigén molekulával (O<sub>2</sub>), így ózon képződik. Az M a reakció szempontjából semleges harmadik anyag:



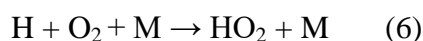
Amikor a napsugárzás megszűnik, a 3-as reakció nem megy végbe, az ózomból nitrogén-monoxiddal reagálva újra nitrogén-dioxid és oxigén keletkezik.



Ezek miatt a reakciók miatt a nitrogén-monoxidot ózon bontónak, a nitrogén-dioxidot ózon képzőnek nevezzük.

## 2.2.2. A szén-monoxid

A szén-monoxid színtelen, szagtalan gáz. Fő forrásai a fosszilis tüzelőanyagok tökéletlen égése, a közlekedés és erőművek kibocsátása, és a VOC, valamint a metán oxidációja (*Mészáros, 1977, Lagzi et al., 2013*). A szén-monoxidnak közvetett szerepe van a troposzférikus ózon kialakulásában, mert legfontosabb nyelő folyamata az OH-gyökkel való reakció, melynek során a légköri nitrogén-monoxid mennyisége csökken, a nitrogén-dioxidé pedig nő:





Belégzése után a véráramba jutva a hemoglobinnal egyesülve carboxyhemoglobint képez (Lagzi *et al.*, 2013). Ez a reakció gyorsabb, mint a hemoglobin oxigénnel való reakciója, ami azt eredményezi, hogy lassul a vér általi oxigénszállítás, ezáltal oxigénhiányos állapot jön létre, ami halálhoz vezethet.

### 2.2.3. Illékony szerves anyagok (VOC)

Az illékony szerves anyagok legfőképpen természetes úton kerülnek a légkörbe, ugyanis az erdei füvek, bokrok és fák is bocsátanak ki ebbe a csoportba tartozó anyagot. Az ehhez képest csekély mennyiségű antropogén eredetű VOC mégis nagy jelentőséggel bír, ugyanis a szénhidrogének oxidációja OH-gyökök képződését okozza, amelyek más anyagokkal (5. reakció), vagy egyes VOC-okkal reagálva ózont képeznek, így hozzájárulva az üvegházhatás erősödéséhez. Nem természetes forrásai a szerves oldószerek, a belső égésű motorok és az üzemanyagok párolgása. Több tanulmány is kutatja a légszennyező anyagok karcinogén hatását (*pl. Hamra et al.*, 2015; *Poulsen et al.*, 2016), de eddig egyedül az illékony szerves anyagokra, és a szálló porra vonatkozó vizsgálatok hoztak egyértelmű eredményt (*Raaschou-Nielsen et al.*, 2013).

### 2.2.4. A troposzférikus ózon

Az ózon színtelen, szúrós szagú gáz, amely az egyik legerősebb oxidálószer a természetben. Egyik feltétele a földi életnek, ugyanis a sztratoszférában található ózon az az ultraibolya ( $\lambda < 1150$  nm) sugárzás hatására oxigén molekulává és oxigén atommá bomlik, így az UV sugárzás nem, vagy csak kis mértékben éri el a földet.

A troposzférikus ózon mennyisége csupán 10%-a a sztratoszférában található ózonnak, ennek ellenére a légköri szennyezőanyagok közül az egyik legnagyobb jelentőségű. Az ózon a felsorolt anyagok közül az egyetlen másodlagos szennyezőanyag. Ez azt jelenti, hogy közvetlen kibocsátása nincs, forrásai az előző három alfejezetben bemutatott anyagok reakciói, illetve a tropopauza szakadásain keresztül a sztratoszférából is származhat.

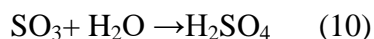
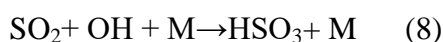
Az ózon jellegzetes évi, heti és napi menettel rendelkezik. A többi légszennyező anyaggal ellentétben átlagos koncentrációja nyáron a legmagasabb. Ezt a napok hossza, és a nagymértékű besugárzás okozza. Romániában végzett rendszeres mérések szerint hétvége az éves, és a heti átlagnál is jóval magasabb koncentráció mérhető, ennek oka

egyelőre még nem tisztázott (Szép et al., 2016). Napi menetét is a napsugárzáshoz köthetjük, mert képződése a késő délelőtti órákban kezdődik, és késő délutánig tart. Éjszaka ezzel szemben beindulnak az ózonbontó folyamatok.

Az ózon és reakciótermékei számos egészségkárosító hatása ismert, kis koncentrációban irritáló, nagy koncentrációban tüdőkárosító hatású, ezen kívül gyermekek esetében asztma kialakulásához is vezethet (Kocijan et al., 2016; Han et al., 2016).

## 2.2.5. A kén-dioxid

A kén-dioxid színtelen, szúrós szagú gáz. A légkörbe túlnyomórészt a fosszilis tüzelőanyagok égetése során kerül. Száraz és nedves ülepedése is jelentős, de környezetünk szempontjából sokkal nagyobb jelentőségű az oxidációja. Hidroxid-gyökkel reagálva hidrogén-szulfát képződik. Ez tovább oxidálódik, amelynek eredményeként kén-trioxid, és hidroxid keletkezik. A kén-trioxid reagál a levegőben lévő vízcseppekkel, aminek terméke a kénsav. Ez kondenzálódhat, és savas esőt eredményezhet:



A savas eső súlyos környezetkárosító hatású. A kén nagy mennyiségben belélegezve légzési elégtelenséghez és kardiovaszkuláris megbetegedéshez vezethet. A kén-dioxid belégzése bizonyítottan növeli a halálozási valószínűséget (Antrup, 2010).

## 2.2.6. Az aeroszolok

Az aeroszol részecskék okozhatják a legsúlyosabb betegségeket a légszennyező anyagok közül. Méretük szerint megkülönböztetünk a 10 µm-nél kisebb (PM<sub>10</sub>), és a 2,5 µm-nél kisebb (PM<sub>2,5</sub>) szemcséket. Vannak ennél nagyobb részecskék is, de méretük miatt tartózkodási idejük rövid. A kisméretű aeroszolok kondenzációra képes gőzökből, vagy kémiai úton keletkezhetnek a légkörben, míg a nagyméretűek általában a felszín mállásával. Ezen kívül vannak még olyan elsődleges részecskének nevezett aeroszolok, amelyek közvetlenül kerülnek a levegőbe (Lagzi et al., 2013). Nyelő folyamataik a száraz, nedves, illetve gravitációs ülepedés. Számos kutatás folyik, melyek az aeroszolok élettani hatásait vizsgálják (pl. Poursafa et al., 2015; Yourifuji et al., 2016). A PM<sub>10</sub> részecskék csak a felső légutakig juthatnak, enyhe szaglaskárosodást okozhatnak, de komolyabb

károkat nem. A  $PM_{2.5}$  részecskék azonban egészen a tüdőig juthatnak, halálos betegségeket okozva. Élettani hatásukon kívül a Föld hőháztartásában is fontos szerepet játszanak. Az aeroszolok elnyelik, és az űr felé sugározzák a Napból érkező rövidhullámú sugárzást, tehát hűtik a felszínt. Ezen kívül reakcióik miatt a nitrogén és a kén légköri körforgását is megváltoztatják.

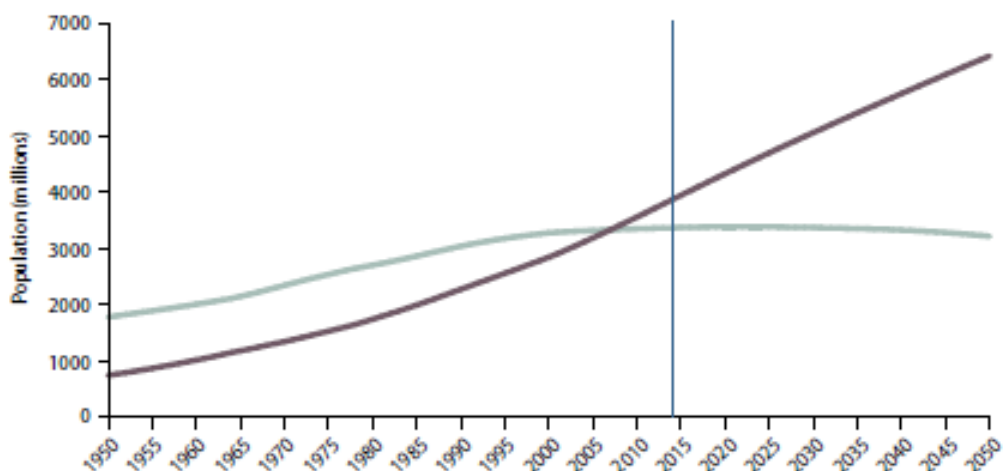
## 2.3. Az urbanizáció

Az urbanizáció a városok növekedéséhez, szerkezeti átalakulásához vezet. A várostervezők általában gazdasági okokat szem előtt tartva alakítják át a városi környezetet, vagy engedélyezik újabb épületek felhúzását. Gyakran nem veszik figyelembe azt, hogy ezzel milyen változtatásokat idéznek elő az átszellőzésében. Több országban is folynak modellezések, melyekkel a szennyezett levegő házak közötti megrekedését, és kiürülésének feltételeit vizsgálják. Az eredményekkel javasolni lehet az újabb épületek megfelelő helyét, és maximális méreteit, hogy ne legyenek jelentős hatással a levegőminőségre.

Az urbanizáció jelentős hatással van egy terület lokális időjárására is, ezzel együtt pedig a levegőminőségre is, mert a városi hősziget megváltoztatja a légszennyező anyagok diffúzióját (Xu, *et. al* 2005). Más kutatások bizonyítják, hogy a városok növekedése jelentős csökkenést okozhat a szélsébségben, így ronthatja a levegő minőségét (Miao, *et. al*, 2010).

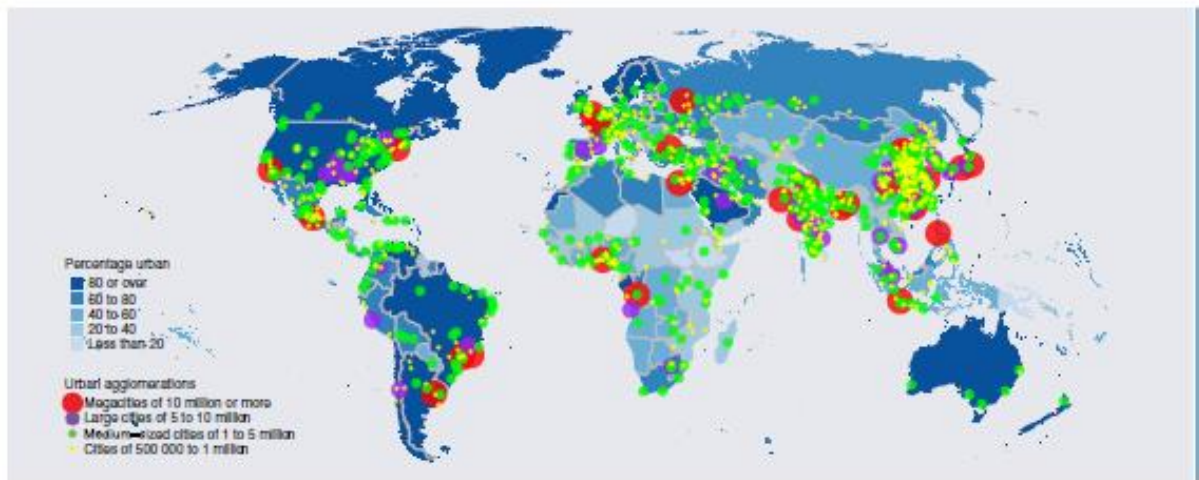
A Föld népessége 2015-ben már meghaladta a hétmilliárd főt (United Nations, 2015<sup>1</sup>), ez a szám szimulációk szerint 2050-re közel tízmilliárdra, 2100-ra akár több mint tizenegymilliárdra nőhet. Statisztikák szerint a jelenlegi népesség 56%-a él városokban (United Nations, 2014). A városi és vidéki lakosság hányada 1950-ben 30% volt, 2050-re 66% is lehet.

Figure 2.  
Urban and rural population of the world, 1950–2050



1. ábra: Városi (lila görbe) és vidéki (kék görbe) lakosság száma a 20. és a 21. században, (Forrás: United Nations 2014)

Az 1. ábrán látható, hogy a városi népesség az 1990-es évektől közel lineáris növekedést mutat, míg a vidéki népesség a 90-es évek közepéig lassan növekszik, majd csökkenni kezd. Ez a grafikon az egész Földre nézve közöl adatokat, azonban a 2. ábrán látható, hogy városi lakosság eloszlása nem egyenletes. A sötét színnel jelölt országok vidéki lakossága az előbb említett hányadnál jóval alacsonyabb, de ebből nem vonható le következtetés a légszennyezettségre. A színes pontok a nagyobb városokat jelölik. Látható, hogy Kínában 20, legalább egy millió lakost számláló város található, ebből 19 az ország keleti részében. Ez magyarázza a nagy területre kiterjedő levegőminőségi problémákat (Xu et al., 2005; Miao et al., 2010. Liu et al., 2015; Qin and Liao, 2015; Liu et al., 2015). 2011-ben a kínai városok lakossága több mint 680 millió fő volt, ami az előrejelzések szerint 2030-ra közel egymilliárd lehet. Ha a kibocsátásra vonatkozó szabályozások nem érnek el nagyobb eredményt, a nagyvárosok levegőminősége drasztikusan romolhat (Qin and Liao, 2015).



2. ábra: A világ országainak városi lakossága, és a legnagyobb városok, (Forrás: United Nations 2014)

Európa (73%), Észak-Amerika (81%) és Dél-Amerika (80%) után a harmadik legjobban városiasodott kontinens (*statistica.com*). Bár Európa lakossága a szimulációk szerint a jövőben nem fog nőni, a vidéki lakosok aránya egyre kisebb. Természetesen ebbe beleszámítanak az olyan kis országok is, mint Luxemburg és Málta, ahol a városi lakosság aránya 90% felett van, de a vidéki lakosság Belgiumban is alig haladja meg a 10%-ot (*United Nations, 2014*).

Az Urban Air Quality Management Plan egy globális, és országokként alkalmazott terv, ami célkitűzéseket tartalmaz az adott terület szennyezőanyag-kibocsátásának csökkentésére, és az ennek eléréshez szükséges intézkedésekre. A fejlődő országok légszennyezése 70–80%-ban a közlekedéshez köthető, ami a rossz minőségű üzemanyagok, a helytelen várostervezés és a rossz minőségű benzin alkalmazásának eredménye (*Gulia et al., 2015*).

Magyarországon a lakosság száma 1980-ban tetőzött, az akkori majdnem tizenegymillió állampolgár mára tízmillió alá csökkent, és 2100-ra akár hétmillió alá süllyedhet (*United Nations, 2015<sup>2</sup>*). Ennek ellenére 2000 óta a magyar városok lakossága nő, tavaly a teljes népesség 29%-a élt vidéken. Ez azonban nem csak a nagyvárosok növekedésének köszönhető, hanem annak is, hogy sok városi cím kerül kiosztásra kis településeknek. A levegőminőségi problémákat tovább növeli, hogy a városi hősziget intenzitása várhatóan országszerte nőni fog, az évszázad végére az átlaghőmérséklet akár 3–6 °C-kal is nőhet, valamint az extrém meleg események száma is növekedni fog (*Horányi, 2011; Bartholy és Pongrácz, 2011*).

## 2.4. A városok beépítettségének hatása a légszennyezettségre

Az urbanizáció folyamata a városok horizontális és vertikális növekedéséhez vezet, ami többféleképpen tudja befolyásolni a város levegőjének minőségét. A városok horizontális beépítése a zöldterület csökkenéséhez vezet a városon kívül és belül is. A telepített épületek körültekintő elhelyezése a külső területekről a belvárosba érkező levegő szabad útjának szempontjából fontos. A városok növekedése természetesen a lakosság számában is mérhető, a nagyobb népesség a közlekedés zsúfoltságát, és a háztartások légszennyezőanyag-kibocsátásának növekedését is maga után vonja.

A zöldterület fogalmának megértéséhez először a zöldfelület fogalmát kell definiálni. Zöldfelületnek nevezünk minden olyan felületet, amit többségben növényzet borít, függetlenül attól, hogy mekkora az adott terület, és hogy hol helyezkedik el a városon belül. A zöldterület olyan zöldfelület, amelyet egész évben növényzet borít (*Bartholy et al., 2014*). E területeket szokás elhelyezkedésük szerint osztályozni, amely lehet vonalas, gyűrűs, sugaras, és szigetes. A budapesti zöldterületek tipikusan a szigetes csoportba tartoznak (*Bartholy et al., 2014*). A gyárépületek és a lakótelepek a zöldterületek kárára épültek és épülnek, mert ezekre a területekre a leggazdaságosabb építkezni. Az ajánlott zöldterület nagysága lakosonként 21–30 m<sup>2</sup> (*levegő.hu*). A Levegő Munkacsoport indítványozta, hogy minden új lakás építésekor legyen kötelező 7 m<sup>2</sup> zöldterületet létesíteni, ezt azonban még nem sikerült elérniük.

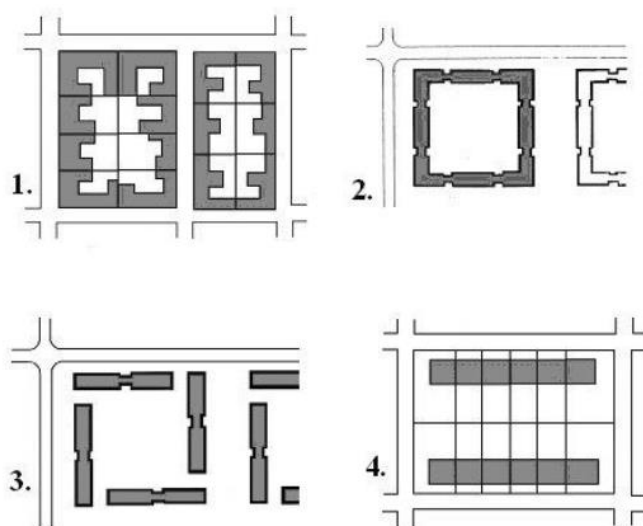
A zöldterületek csökkenése nem csak a beépítés következménye, a városi légszennyezettség is pusztítja a növényzetet. *Agbaire et al. (2009)* kísérleteket folytattak a növények szennyezőanyag-toleranciájának meghatározására. Számításaik alapján egy indexet határoztak meg, az APTI-t, amely számszerűen adja meg a növények viselkedését a szennyeződések hatására:

$$APTI=[A(T+P) + R]/10,$$

ahol *A* az aszkorbinsav (C-vitamin) tartalom, *T* a klorofil tartalom, *P* a vizsgált levél pH értéke, *R* pedig a levél relatív nedvességtartalma. Az APTI felhasználásával adott területekre olyan növények telepíthetők, amelyek el tudják viselni az ottani levegőminőséget. Ezen kívül a növények jó indexei a légszennyezettségnek, mert az adott egyed betegségéből következtetni lehet a szennyezés típusára (*Noor et al., 2014*). Az APTI

index értékei 0 és 20 közötti értéket vehetnek fel. A 13-as vagy ennél nagyobb APTI indexszel rendelkező növények már toleránsnak nevezhetők. A legtöbb ilyen faj Indiában őshonos, de találhatunk Magyarországon is megélő növényeket, mint például a tövises murvafürt (*Rai és Panda, 2013*).

A helytelen várostervezés gyakran okoz levegőminőségi problémákat a városokban, különösen a fejlődő országokban (*Gulia et al., 2015*). A városok szerkezetének megtervezésekor figyelembe kéne venni, hogy a külső területekről szabadon hagyott „folyosókon” áramolhasson a levegő a belvárosba, segítve a szennyezettebb levegő átkeveredését. Ezen kívül gyakori, hogy a nagyobb lakóházakat az egyébként is zsúfolt területekre építik, mert infrastruktúra szempontjából ez az előnyös (*Choi et al., 2016*).

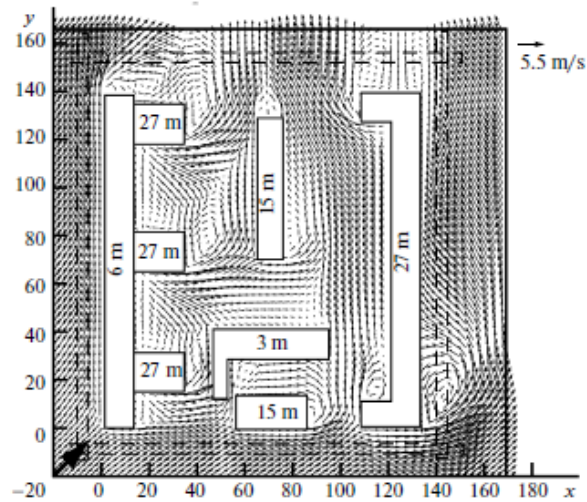


3. ábra Lakóházak tipikus elhelyezése (Forrás: Ruszkai 2014)

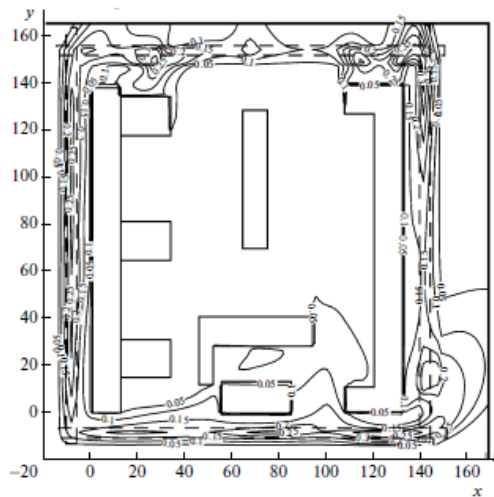
A 3. ábrán a lakóházak tipikus építési formája látható. Budapesten, a belvárosban főleg az 1. és a 2. fajta található. Ez azért jelent problémát, mert az ilyen régi házak általában saját gázfűtéssel rendelkeznek, melyek kivezetése az udvarra néz. Mivel a levegő ezekben a belső udvarokban nagyon nehezen keveredik át, ezért bizonyos időjárási helyzetekben akár az utcai levegőnél is nagyobb lehet a káros anyagok koncentrációja. A külvárosokban jellemző a 4. fajta elrendezés, amelyet leginkább a panel lakótelepek esetén alkalmaznak. Ez, ha nem épp az uralkodó szélirányra merőlegesen telepítik, jó átszellőzést biztosít. A legjobb elrendezés a levegőminőség szempontjából 3. fajta lenne, ez azonban sajnos elég ritka, legtöbb helyen a 2 világháború között alkalmazták (*Ruszkai 2014*).

Jelenleg több országban, köztük Magyarországon is folynak kísérletek mikro skálájú modellek felhasználásával a légszennyező anyagok terjedésének szimulációjára. Az

RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes Equations) alapú M2UE modell segítségével *Nutermann et al. (2010)* szimulálták a szennyezőanyag-terjedést (4., 5. ábra), ezt az előrejelzett adatokkal vetették össze. A modell nem csak a turbulens légmozgás, a szennyezőanyag terjedés, a városi épületek geometriájának, hanem a növényzet, és a járművek kibocsátásának hatásaival is számol. A modelleredmények viszonylag jól követték a mérés eredményeket (*Nutermann et al., 2010*).



4. ábra Sebességvektorok az épületek körül áramló szél esetén 1,5 m magasan, (Forrás: *Nutermann et al, 2010*)



5. ábra Dimenzió nélküli koncentrációgörbék, (Forrás: *Nutermann et al. 2010*)

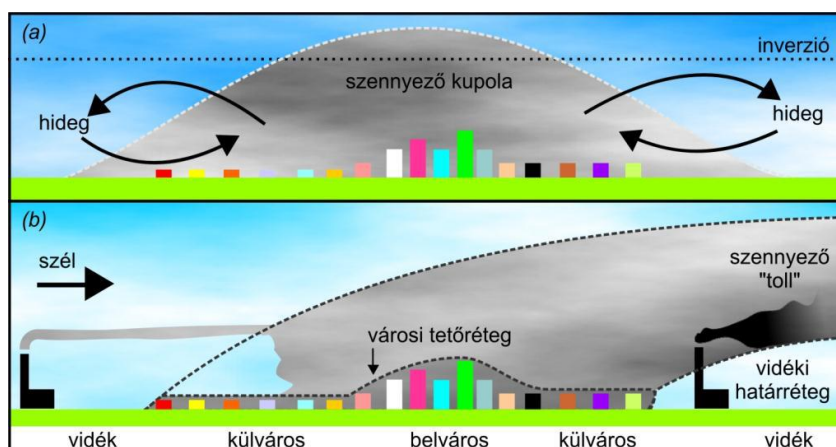


## 2.5. Az időjárás hatása a légszennyezettségre

Az utolsó általam vizsgált tényező az időjárási helyzet, ami gyengítő és erősítő hatással is lehet a levegőminőségi problémákra. A szélviszonyok befolyásolják a levegő átkeverődését és az aeroszol részecskék kihullását a légkörből. A csapadék nedves ülepedést segíti elő, de kén-trioxiddal reagálva savas esőt is okozhat. Az erős napsütés elősegíti a Los Angeles-típusú szmog keletkezését. Tehát a meteorológiai viszonyok egyes szennyezőanyagok káros hatását csökkentik, míg másokét növelik.

Az időjárási helyzet nagy hatással lehet a légszennyezettségre, pozitív és negatív irányba is befolyásolhatja azt. A nagy szélességeket, és a nedves kimosódás jelentősen csökkentheti a szennyező anyagok koncentrációját. A két legjellemzőbb légszennyezettségi szélsőség, a londoni (reduktív), és a los angelesi (oxidatív) típusú szmog erre jó példa, hiszen kialakulásukhoz, fennmaradásukhoz meghatározott időjárási helyzetnek kell fennállnia.

A klímaváltozás hatására a jövőben egyre több anticiklon, és egyre kevesebb ciklon születése várható, ami kedvezőtlenül hat a levegőminőségre. Általánosságban elmondható, hogy a legnagyobb szmogos helyzetek kialakulásához szükséges egy anticiklon jelenléte a térségben. Ez gyengébb horizontális és vertikális átkeveredést eredményez, ezen kívül nyáron napos időt okoz, télen pedig tovább stabilizálja az egyébként is stabil inverziós légrétegződést. Télen inverziós helyzetben az átkeveredés hiánya miatt úgynevezett szennyező kupola jöhet létre a városok felett (6. ábra,(a))



6. ábra: A szennyező kupola és a szennyező toll, (Forrás: Baranka et al., 2014)

Ha a város külterületén gyárak találhatóak, az tovább ronthatja a levegőminőséget ebben a helyzetben, mert a városi légkörzés hatására szennyezett levegő érkezik a belvárosba. Ha erősebb szél támad fel, a 6. ábra (b) esete alakulhat ki. Ekkor a városi tetőréteg a felszíni levegőréteg átkeveredését gátolja, de a felette elhelyezkedett szennyezett levegő a városszél felőli oldaláról az ellentétes oldalra központosul, sőt a város határait is átlépheti, így egy ún. szennyező tollat kialakítva.

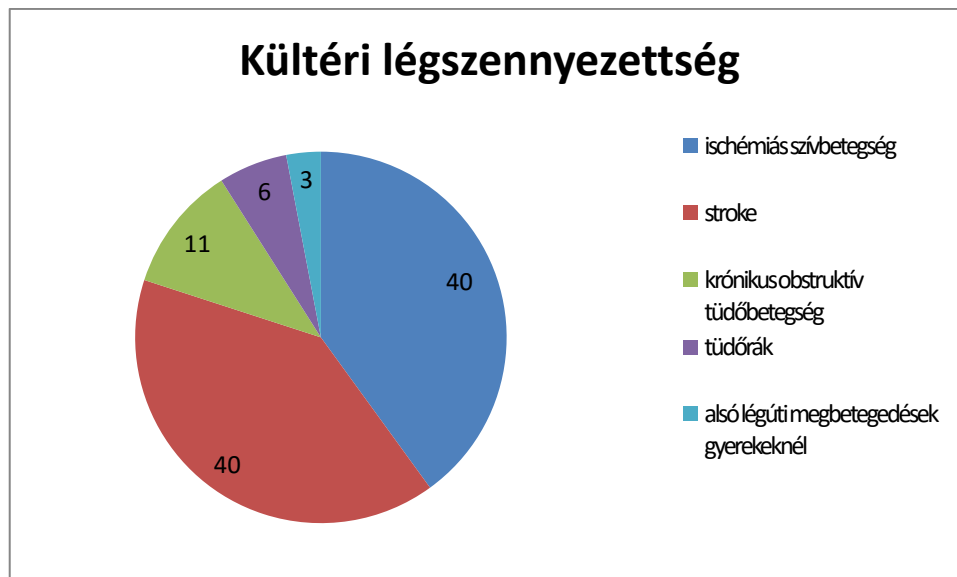
A fotokémiai, más néven los angeles-i típusú szmog is hasonló időjárási helyzetet, azaz inverziós rétegződést igényel, de ennek kialakulásához erős napsugárzás szükséges, így leginkább nyári napokon fordul elő. Keletkezése nem háztartási energiafelhasználáshoz köthető, hanem olyan kémiai reakciókhoz, amelyek a troposzférikus ózon keletkezését idézik elő. Ezekhez a reakciókhoz nitrogén-oxidokra (NO, NO<sub>2</sub>), szén-monoxidra (CO), metánra (CH<sub>4</sub>) és/vagy illékony szerves anyagokra (VOC) van szükség. A fotokémiai szmog tehát a troposzférikus ózon jelenlétére utal, ezért ennek koncentrációjával szokás jellemezni (*Imre et al., 2014*).

Az előbb felsorolt légszennyezési szélsőségek elkerülése, vagy megoldása miatt fontos az előző fejezetben tárgyalt városi beépítettség.

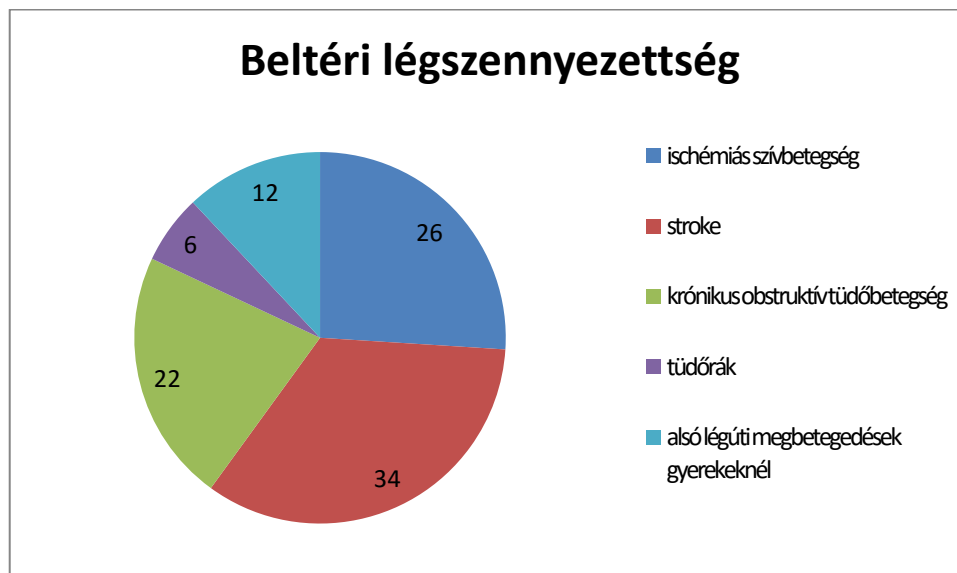
A légszennyező anyagok légkörből való kiürülésének jelentős módja a száraz, a nedves, illetve a gravitációs ülepedés. A száraz ülepedés a légszennyező anyagok felszínen való közvetlen megkötését jelenti. A szélviszonyok jelentős módosító hatást fejthetnek ki a száraz ülepedésre. A nedves ülepedés csapadékelembe való megkötődést és általa való kihullást jelent. Az aeroszolok már kondenzációs magvakként a csapadékképződés során, más anyagok csapadékhullás közben oldódhatnak a vízcseppekbe (*Andronache, 2016*). A gravitációs ülepedés csak az aeroszolok esetében lejátszódó folyamat. Tömegük miatt a rájuk ható nehézségi erő akkora nagyságrendű, mint a felhajtó erő, így a gravitáció hatására kihullanak a légkörből. A száraz és a gravitációs ülepedést befolyásolják a szélviszonyok, és a turbulens légáramlatok. A szél ezen kívül pozitív és negatív hatással is lehet a légszennyezettségre, mert a heterogén városi légkört homogénné teszi, ami gyenge szél esetén a szennyezőanyagok nagyobb területen való szétoszlását jelenti (*Choi et al., 2016*).

## 2.6. A légszennyezetség által okozott betegségek

A légszennyezetség a WHO 2014-es adatai alapján évente hétmillió ember halálát okozza. Ez az adat csak közvetlenül a szennyezőanyagok által okozott halálesetek száma. A kültéri és beltéri légszennyezetség a 7., és 8. ábrákon bemutatott betegségeket okozzák leggyakrabban, azokat százalékos arányukkal megjelenítve (*who.int, 2014*)



7. ábra: A kültéri légszennyezetség által okozott betegségek százalékos arányai, (Forrás: *who.int, 2014*)



8. ábra: A beltéri légszennyezetség által okozott betegségek százalékos arányai, (Forrás: *who.int, 2014*)

### 3. Mobil légszennyezettség mérések

Levegőminőségi méréseket leggyakrabban fix mérőállomással végeznek. Előnyük, hogy a koncentrációk nagy pontossággal mérhetők. Hátrányuk, hogy az adatok térbeli felbontása alacsony, elhelyezésük a méretük miatt körülményes, és fenntartási költségük is magas. Ezen kívül nem ad közvetlen képet, hogy a városlakók egy kisebb területen mennyivel vannak nagyobb szennyezettségnek kitéve, mintha például egy utcával messzebb.

A mobil levegőminőség mérő műszer ezzel szemben kiváló eszköz a részletesebb térbeli felbontás miatt, ami jobban tükrözi a népesség szennyezőanyagoknak való kitettségét, és fenntartása is olcsó. Hátránya, hogy a mért értékek függenek a szélesebségtől. Ezt kiküszöbölni igen nehéz, mert a jármű, amire a műszert erősítik, a forgalom miatt nem haladhat tetszőleges sebességgel, így nem reagálhat a szélesebség változásaira. A műszerek mérési eredményeinek szélesebségfüggése szélcsatornában figyelhető meg, ahol meghatározott szélesebség, és szennyezőanyag koncentráció mellett viszonyítják egymáshoz a kapott adatokat (*Lerner et al., 2015*). Az eredmények szerint az adatsorok jelentős eltérést mutatnak különböző sebességnél, de korrelációjuk erős, így relatív különbségekből lehet következtetni a szennyezettségre.

A jobb térbeli felbontás, és a viszonylag állandó szélesebség érdekében célszerű kerékpáros, vagy gyalogos mérést végezni, a műszer mintavételi gyakoriságának függvényében. Ennek a módszernek nagy hátránya, hogy sok fizikai munkával jár, ezen kívül több ember és több műszer is szükséges a mérések elvégzéséhez.

Vizsgálataink során méréseket végeztünk kerékpárra szerelhető mobil légszennyezettség-mérő műszerekkel. Az alábbiakban a mért adatok segítségével elemzem a különböző útvonalakon a levegő minőségét.

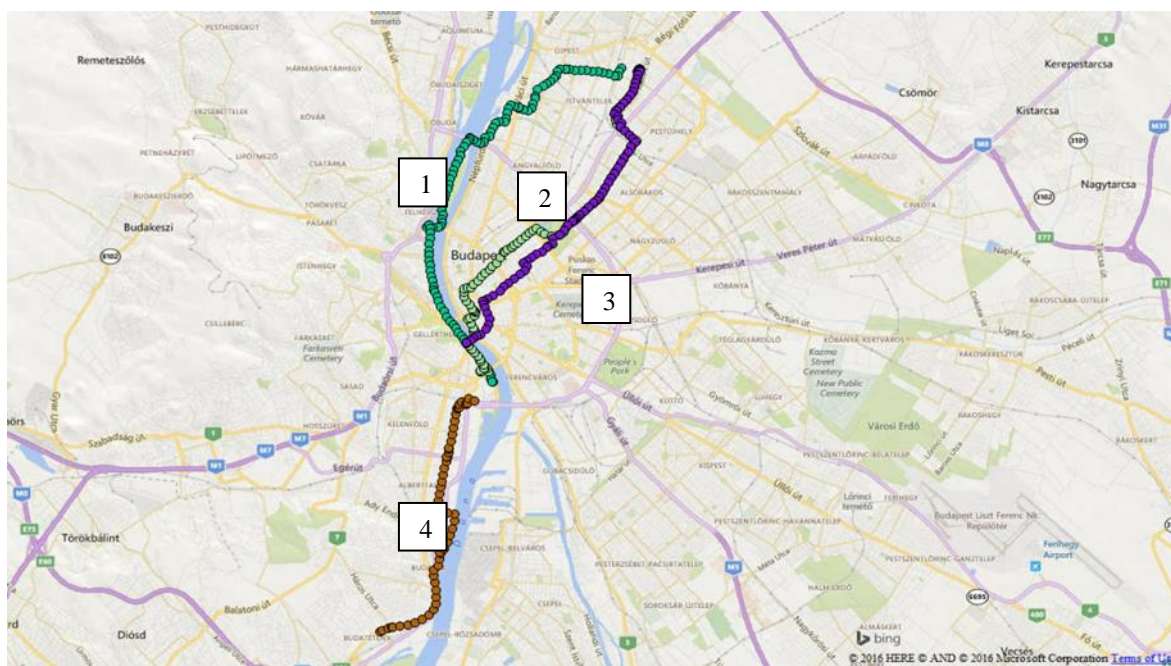
#### 3.1. A saját méréseinkhez használt műszer

Méréseinkhez két Boreas BSC-06 gázérzékelőt használtunk. A műszer 30 másodperces csúszó átlagolással határozza meg a környezet levegőjének hőmérsékletét, páratartalmát, a szén-monoxid, a nitrogén-dioxid, és az ózon koncentrációját. Az érzékelők konduktivitása az adott gáz hatására változik, ezután ebből számol koncentrációt ppb mértékegységben. A szén-monoxid és az ózon érzékelője által mért koncentrációk függenek

a hőmérséklettől, ezeket magától kompenzálja. Az így kapott adatokat a műszer belső memóriájában tárolja, amely elég nagy ahhoz, hogy teljes feltöltöttségtől lemerüléséig az összes mérési eredményt rögzítse.

A műszer csőbilincsek segítségével kormányra szerelhető, és kormány-, vagy oldaltáskában is hordozható. A táskában való szállításhoz a ki- és bemeneti nyílásra erősíthető műanyagcsövek állnak rendelkezésre, hogy csapadékos időben az esőcseppek ne juthassanak a műszer belsejébe.

## 3.2. A mérések útvonalai



9. ábra: A mérések útvonalai

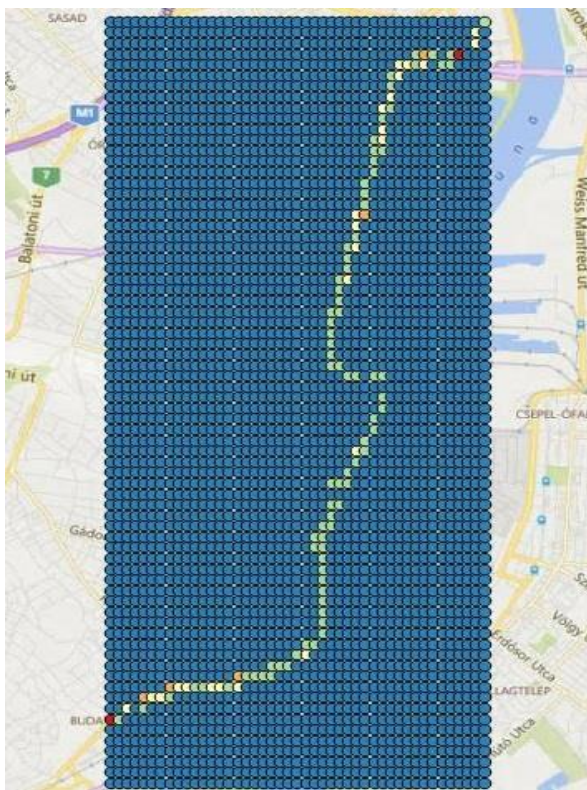
Méréseinket négy különböző útvonalon, a KRESZ szabályainak betartásával, nagyrészt kerékpárúton végeztük (9. ábra). Az első három útvonal a XV. kerületből indul és az ELTE Lágymányosi Campusig tart. Az első útvonal áthalad a Margit-szigeten, utána pedig a budai rakparton folytatódik. A második és a harmadik az Erzsébet Királyné útja után átmegy a Városligeten. A második ezután az Andrásy úton, míg a harmadik vékonyabb forgalmas belvárosi utakon, úgynevezett kanyonokon halad tovább. Ezekben az esetekben az indulópont és a végcél lehetővé tette, hogy vizsgáljuk a nagy forgalmú és rossz átszellőzésű utcák, parkok, a Margit-sziget, és a Duna hatását. A negyedik útvonal a XI. kerületben a Szerémi úton halad végig, majd a Mezőkövesd úton a Duna mellé ér. Ezután a Tóth József utcán a forgalmas Nagytétnyi út következik egészen az útvonal végéig, a Campona bevásárlóközpontig. Ebbe az irányba ez az egy kijelölt kerékpáros út



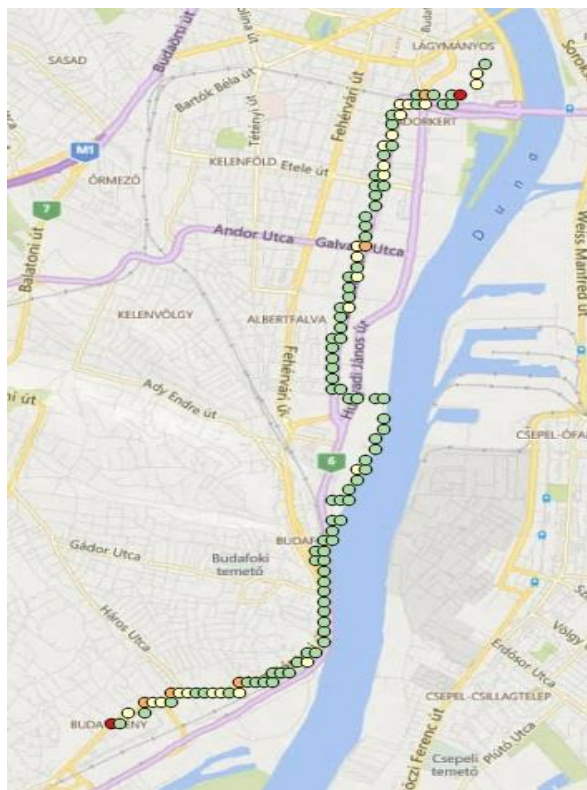
található. Az első három útvonalról esettanulmányokat mutatok be a szennyezőanyagokat és a hőmérsékletet figyelembe véve, a negyediket pedig részletesebben tárgyalom.

### 3.3. Mért adatok feldolgozása

Nyers adataink formátuma nem tette lehetővé a velük való munkát, és megjelenítést. A GPS koordinátákat minden mérés alkalmával Excel táblázatban számoltam ki. A műszer bekapcsolásakor körülbelül másfél-2 perc, amíg a rendszer reális adatokat mér, tehát ezt minden mérés elejéről törölni kellett. Ez után, hogy az egyes esettanulmányokon kívül más szempontból is elemezhessem az adatokat, az összes mérést egyszerre kellett kezelnem. Ehhez egy fortran 90 programot írtam, ami egy ezredfokos élhosszúságú négyzethálót hozott létre, amibe az összes 4-es útvonalra eső mérési pont belesik. Az eredmény egy 75 sorból és 46 oszlopból álló mátrix lett (10. ábra), melynek az elemei, ahol nem volt mérés, 0, ahol volt, ott az abba a négyzetbe eső méréseket átlagolta. Az eredményekhez koordinátaként az adott négyzet középpontját rendelte (10. ábra). Megjelenítéskor a 0 értékeket kizártam az ábrázolásból, így kirajzolódott a mérési útvonal (10. b ábra).



10. a. ábra: A program lefuttatásának eredménye



10.b. ábra: A program eredménye 0 értékek nélkül

## **3.4. A megjelenítés, és a hozzá felhasznált program**

Méréseink szemléltetéséhez szükség volt egy térképészeti programra, amely koordinátákkal ellátott adatsorokat tud megjeleníteni. Ehhez a Quantum GIS (QGIS) nevű programot használtuk. A QGIS egy ingyenesen elérhető, nyílt forráskódú, raszteres, vektoros és adatbázisos formátumokat is kezelő geoinformációs rendszer (GIS). Fejlesztését a felhasználók végzik, így kezelése egyszerű, és több ezer bővítmény segít a kívánt felhasználási terület elérésében, ezért széles körben használják.

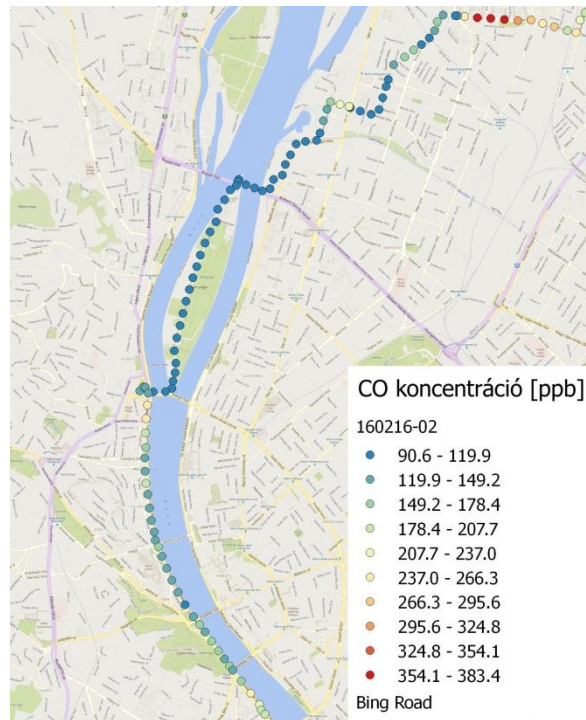
A program lehetőséget nyújt az adatsorok vizualizálására, elemzésére és szerkesztésére. A vizsgálatokhoz olyan térképészeti és statisztikai eszközök állnak rendelkezésre, mint például az interpoláció, vagy a terepelemzés, domborzati hatások elemezhetőek, vagy adhatók a térképhez. Lehetővé teszi az adatok szöveges osztályozását. A számszerű besorolásokat megtehetjük egyenlő nagyságú, természetes törések által behatárolt, egyenlő elemszámú, vagy akár manuálisan beállított határu tartományokba. Egyszerre több réteg felvételére is lehetőség van, így például egy időben több mérés, vagy több tematika szerint besorolt ponthalmaz megjeleníthető. Az adatokat már tartalmazó térkép külön ablakban szerkeszthető nyomtatható formátumúra, itt tehető rá vertikális skála, vagy jelmagyarázat, amit a program automatikusan elkészít az osztályozás alapján.

## **3.5. Eredmények értékelése, ábrázolása**

Mérési útvonalainkról esettanulmányokat mutatok be, a négyes útvonalra pedig átlagolt értékeket is. Hosszabban tárgyalom be a szén-monoxid koncentrációira kapott eredményeinket, mert azok nagy térbeli változékonyságot mutatnak. A nitrogén-dioxid és az ózon mennyiségére vonatkozó méréseinket rövidebben mutatom be, mert a nitrogén-dioxid eloszlása eredményeink alapján a szén-monoxidéhoz nagyon hasonló, az ózon koncentrációja pedig negatív korrelációt mutat a nitrogén-dioxid koncentrációjával. Az ábrázolást a QGIS program és Excel diagramok segítségével végeztem.

### **3.5.1. Szén-monoxid koncentrációk**

A 11. ábrán az 1-es útvonal szén-monoxid koncentráció mérései láthatók (2016.02.16.). Az útvonal elején a szennyezett szakasz a Tél utca, mely rossz átszellőzési viszonyai miatt magas koncentrációval jellemezhető. Ez után a kisebb forgalmú utcákon javuló tendencia látható.



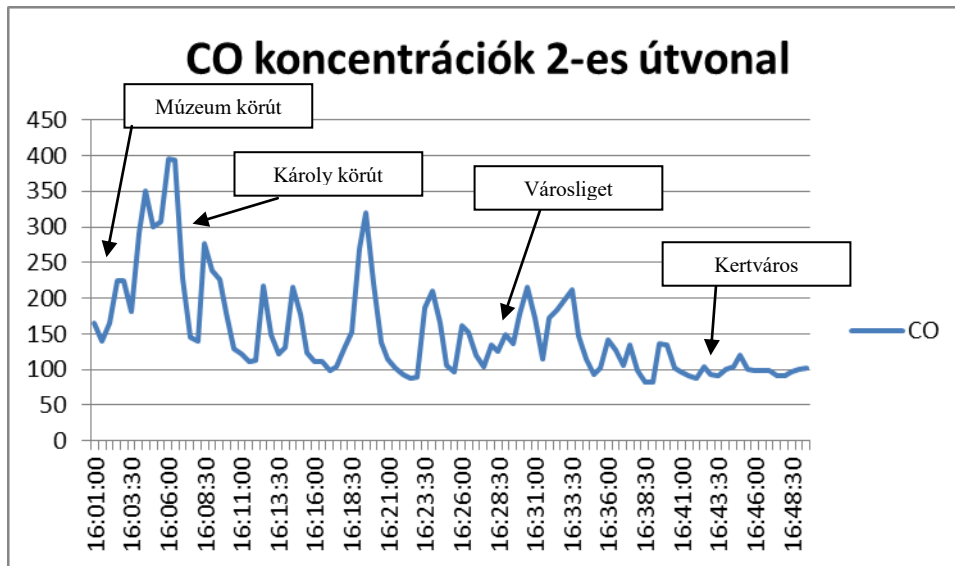
11. ábra Szén-monoxid koncentrációk az I-es útvonalon (2016.02.16)

A Margit-sziget az útvonal legjobb levegőminőségű része szén-monoxid szempontjából, ahol egyszerre érezhető az autómentes közlekedés és a Duna hatása. Itt 75%-os visszaesés tapasztalható az útvonal elején történetekhez képest. A hasonló méretű parkok más tanulmányok szerint egyéb szennyezőanyagok (ultra finom részecske, fekete szén) mennyiségében is legalább ekkora csökkenést okozhat (Peters et al., 2014). A dunai rakpartra érve a nagy forgalom miatt a szén-monoxid koncentrációk akár több mint 200%-kal is emelkedhetnek.

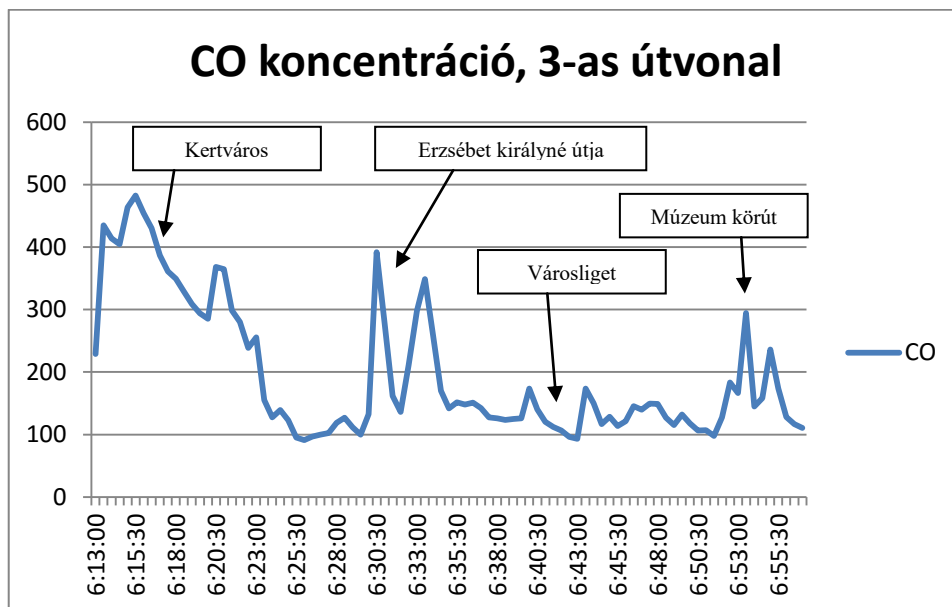
A 2-es és 3-as útvonalakat Excel diagramon ábrázoltam a jobb behatárolhatóság miatt, a jellemző területek feltűntetésével.

A 12. ábra az Andrásy úton keresztül a XV. kerületbe haladó utazást mutat (2016.03.22.). Jól látható a Múzeum körúton és a Károly körúton a nagy forgalom miatti magas szén-monoxid kibocsátás. Az Andrásy út ezen a napon viszonylag jó levegőminőséggel rendelkezett, az egy-egy kiugró érték egy éppen a mérés időpontjában elhaladó autó kibocsátását mutatja. A városliget hatása jól látszik a diagramon, de ennél is jelentősebb XV. kerületben található kertvárosi szakasz. A növényzettel jól befedett terület és a délutáni órák mérsékelt forgalma jó levegőminőséget eredményez.





12. ábra koncentrációk a 2-es útvonalon (2016.03.22.)



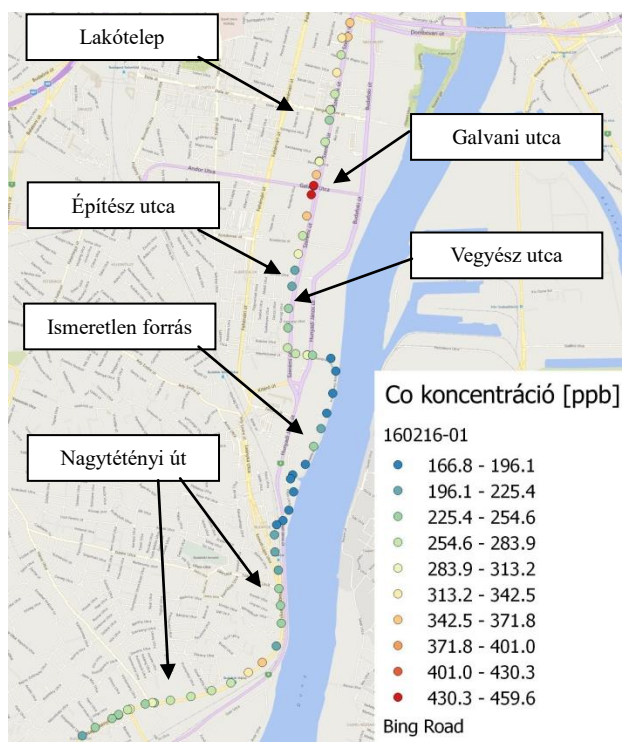
13. ábra: Szén monoxid koncentrációk a 3-as útvonalon (2016.03.23.)

A 13. ábrán egy ellenkező irányba haladó útvonal látható (2016.03.23.). A kertváros hatása a reggeli órákban nem érezhető, a munkába induló lakók miatt a szén-monoxid kibocsátás akár többszöröse is lehet a kisebb forgalmú időszakokhoz képest. Ezen kívül a diagramon látható többi kiugrás itt is az elhaladó gépjárművek okozzák. A Városliget ezen az úton is jól észrevehető csökkenést okoz a szén-monoxid koncentrációban. A múzeum körútra érve a reggeli órákban is jelentős a járműforgalom, ez rosszabb levegőminőséget okoz.

A 14. ábra a Szerémi úton induló, Budafokra tartó útvonalat mutat, 17 órai

indulással (2016.02.16.). Ebben az időszakban a Nagytétény és az M0-ás bekötőút felé haladó utak a hazafelé tartó dolgozók miatt túlszűfoltak, a közlekedési dugók is gyakoriak. Látható, hogy az útvonal elején rossz levegőminőség néhány percre javul. Ez egy lakótelep parkolójának hatása, amely fallal van elválasztva a 4, helyenként 6 sávós úttól.

A hosszú szakaszon több közlekedési lámpánál fordulhat elő várakozás, itt általában mindegyik szennyezőanyag koncentrációja ugrásszerű növekedést mutat. Ez a 14. ábrán a Galvani utcánál látható. Az Építész és a Vegyész utca közötti kerékpárút szakasz zajvédő fallal van elválasztva a Szerémi úttól, ami ismét a koncentráció csökkenését okozza. Ez után a Duna partjára érve a koncentráció csökkenése a kibocsátás hiányának és a Duna menti jobb átszellőzésnek az eredménye. A szakaszon egy ismeretlen szén-monoxid-forrás található, ahol a mérési alkalmaink nagy részében kisebb kiugrás volt tapasztalható.



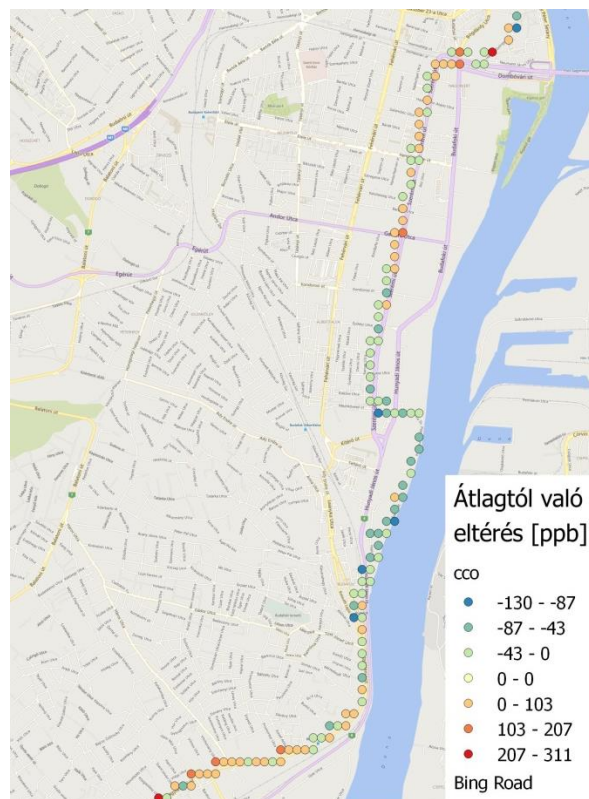
14. ábra: Szén-monoxid koncentrációk a 4-es útvonalon (2016.02.16.)

A kerékpárosok számára kialakított elkerülő út a Nagytétényi úthoz csatlakozva végződik. Itt az egyik oldalon végig lakó- és gyárépületek, a másik oldalon raktárépületek, egy sajtógyár és egy pezsgőgyár található. A kevés növényzet és az út nagy leterheltsége miatt jelentős koncentrációnövekedés tapasztalható.

Az esettanulmányok jól szemléltetik, hogy az egyes régebbi járművek, a rossz minőségű benzin használata, vagy a jelzőlámpánál való várakozás mekkora kitettséget jelent a gyalogosoknak és a kerékpárosoknak. Az adatok átlagára, átlagtól vett eltérésére vonatkozó vizsgálatok jobban tükrözik az adott útszakasz légszennyezettségét, mert a várakozás, és az elhaladó járművek miatt megjelenő kiugró értékek az eredményt kisebb mértékben torzítják.

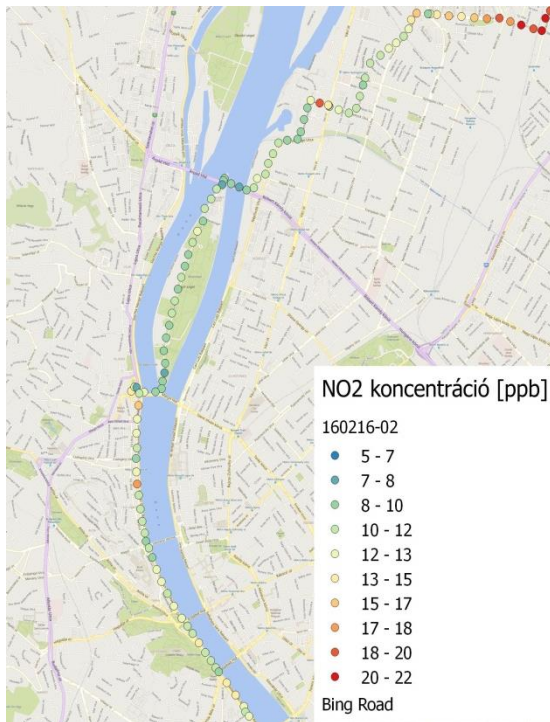
A 15. ábra a szén-monoxid adatok átlagtól vett átlagos eltérését mutatja, mert ebben az esetben ez személetesebb, mint a mérések átlaga. A vizsgálatok során 11 mérési adatsort illesztettünk a rácshálózatra, és az egyes rácsnégyzetekre vonatkozó átlagokat, illetve a teljes útvonalra vonatkozó átlagértéktől való eltéréseket elemeztük.

Jól látható hogy a Szerémi úton alkalmazott két zajvédő fal nagy hatással van a légszennyezésre, ott a mért koncentrációk mindig alacsonyabbak voltak, mint környezetükben. Az Duna menti kerékpáros úton ezen az ábrán is megjelenik az ismeretlen forrás, ami az átlagtól való eltérést eredményez. A Nagytétényi út alacsonyabb koncentrációt jelző pontjai a kisebb növényzettel borított területét jelzik.

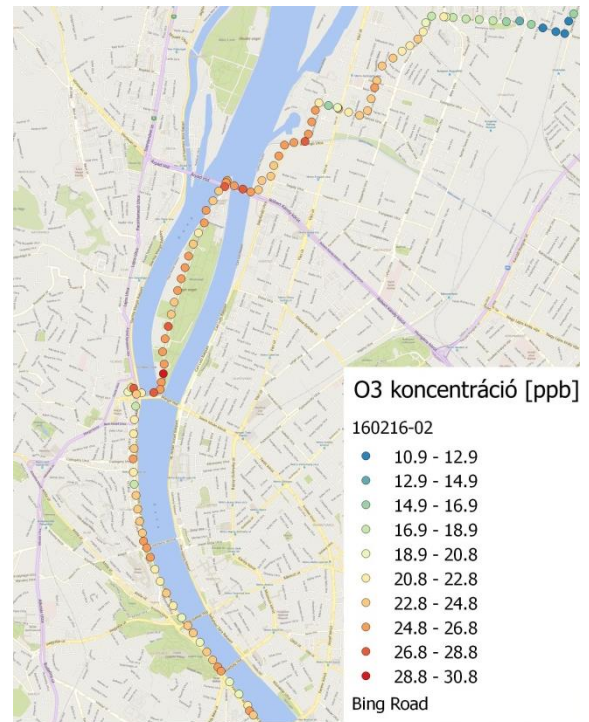


15. ábra: A szén-dioxid koncentrációk átlagtól vett átlagos eltérése a 4-es útvonalon

### 3.5.2. A nitrogén-monoxid és az ózon koncentráció



16. a ábra: A nitrogén-dioxid koncentrációk az 1-es útvonalon



16. b ábra: Az ózon koncentrációk az 1-es útvonalon

A nitrogén-monoxid és az ózon koncentrációira vonatkozó eredményeinket párhuzamosan mutatom be, mert a 2.2.1. pontban ismertetett reakciójuk miatt mennyiségük szorosan összefügg (16 a,b. ábra) Az ózon esetén a Margit-szigeten mértük a legmagasabb koncentrációt, mert itt kisebb az ózon bomlásában szerepet játszó NO kibocsátást (ezt külön nem mértük), továbbá a növényzet VOC kibocsátása is hozzájárulhat a növekvő koncentrációhoz.

## 4. Összefoglalás

Szaktervezésben bemutattam az általunk használt mobil mérésekre alkalmas gázérzékelő műszert, és az ezzel végzett méréseket. Sikeresen kimutattuk adott útvonalakon a városi beépítettség, és a forgalom hatását a szennyező anyagok koncentrációinak relatív különbségei által.

A szén-monoxid koncentrációjára vonatkozó méréseink kimutatták, hogy egy nagy forgalmú, erősen szennyezett útszakaszon a szén-monoxid mennyisége akár 300%-ka is lehet a jól átszellőzött területen mért mennyiségnek. További fontos eredményünk, hogy a forgalmas utak jelzőlámpáinál való várakozás akár 200%-kal növelheti a belélegzett szennyezőanyagok mennyiségét az átlagoshoz képest. Esettanulmányom bizonyította, hogy a zajfogó falak kedvező hatással vannak a közvetlenül a fal túloldalán húzódó kerékpáros útvonalon mérhető szennyezőanyag-koncentrációkra.

Méréseink alapján adott útvonalon a nitrogén-dioxid koncentrációk menete közel azonos a szén-monoxidéval, de a változások kisebb léptékűek. Minden mérésünkön jól látható a nitrogén-dioxid és az ózón negatív korrelációja. Az ózón mennyisége lakóházak és járműforgalom nélküli területeken többszöröse a nagyobb forgalmú területeken mérhető koncentrációnak, ami a nitrogén-monoxid hiányára utal.

A mobil mérések felhasználhatósága széleskörű. Segítségével jobb képet kaphatunk a lakosság szennyezőanyagoknak való kitettségéről. A méréseket folytatva elegendő adat segítségével a város nagy területére kaphatnánk jó felbontású légszennyezettségi térképet, amely segíthet kiválasztani az átlagosan legkevésbé szennyezett gyalogos és kerékpáros útvonalakat.

Méréseinket összegezve elmondható, hogy Budapesten a kerékpáros utak gyakran a legforgalmasabb autóutak mellett találhatóak, ami a kerékpározó számára fokozottan veszélyes az esetleges szaporább légzés miatt. Pontosabb számszerű adatokhoz több mérésre, és a mobil légszennyezettség-mérő műszerek szélesebbé válásának szükség.

## **Köszönetnyilvánítás**

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, dr. habil. Mészáros Róbertnek, hogy téma iránti lelkesedésével, tanácsaival és támogatásával segített a dolgozat megszületésében. Szeretném megköszönni továbbá dr. Breuer Hajnalka adatfeldolgozáshoz nyújtott segítségét, valamint Leelőssy Ádám, és Csapó Péter mérésekben való részvételét.

Méréseinket az OTKA K109109 pályázat támogatta.

## Források:

*Agbaire, P., Esiefarienrhe, E.*, 2009: Air Pollution tolerance indices (apti) of some plants around Otorogun Gas Plant in Delta State, Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 13, 11–14.

*Andronache, C.*, 2016: Dependence of daily aerosol wet deposition on precipitation at Appalachian Mountains site in the United States. *Aerosol and Air Quality Research*, 16, 665–673.

*Autrup, H.*, 2010: Ambient Air Pollution and Adverse Health Effects. *Procedia Social and Behavioral Sciences* 2 ; 7333–7338.

*Baranka Gy. , Bartholy J., Berbekár É., Bozsó B., Gál T., Gulyás Á., Kántor N., Kristóf G. Kohán Z., Lohász C., Makra L., Mika J., Ongjerth R., Péti M., Pongrácz R., Rideg A., Szegedi S., Szilágyi K., Unger J., Zöld A.* , 2014: Városklíma kalauz. Magyar Urbanisztikai Tudásközpont Nonprofit Kft., 25 old.

*Bartholy J., Pongrácz R.*, 2011: A szelsőségek várható változásai és bizonytalanságai Magyarországon; Bartholy J, Bozó L, Haszpra L (eds), *Klimaváltozás 2011*. MTA-ELTE Meteorologia Tanszék, Budapest. 223–234.

*Bell, M.L., Davis, D.L.*, 2001: Reassessment of the Lethal London Fog of 1952: Novel Indicators of Acute and Chronic Consequences of Acute Exposure to Air Pollution. *Environmental Health Perspectives* 109, 389–394.

*Choi, W., Ranashinge, D., Bunavage, K., DeShazo, J. R., Wu, L., Seguel, R., Winer, A.M., Paulson, S. E.*, 2016: The effects of the built environment, traffic patterns, and micrometeorology on street level ultrafine particle concentrations at a block scale: Results from multiple urban sites. *Science of the Total Environment*, 553, 474–485.

*Hamra, G. B., Laden, F, Cohen, A. J., Raaschou-Nielsen , O., Brauer, M., Loomis, D.*, 2015: Lung Cancer and Exposure to Nitrogen Dioxide and Traffic: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Environmental Health Perspectives*, 123; 1107–1112.

*Gulia, S., S. M. Shiva Nagendra, Khare, M., Khanna I.*, 2015: Urban Air Quality Management – A review. *Atmospheric Pollution Research*, 6, 286–304.

*Horányi, A.*, 2011: A hőmérséklet várható változásai és bizonytalanságai; Bartholy J, Bozó L, Haszpra L (eds), *Klimaváltozás 2011*. MTA-ELTE Meteorologia Tanszék, Budapest. 198–208.

*Imre K., Ferenczi Z., Dézsi V., Gelencsér A.*, 2012: A baj nem jár egyedül, hőhullámok és levegőszennyezettség. *Iskolakultúra*, 11–12, 96–102.

*Kondakova, T., Catovic, C., Barreau, M., Nusser, M., Brenner-Weiss, G., Chevalier, S., Dionnet, F., Orange, N., Duclairoir Poc, C.*, 2016: Response to Gaseous NO<sub>2</sub> AirPollutant of *P.fluorescens* Airborne Strain MFAF76a and Clinical Strain MFN1032. *Frontiers in Microbiology*, doi: 10.3389/fmicb.2016.00379

*Lagzi, L., Mészáros, R., Gelybó, Gy., Leelőssy, Á.*, 2013: Atmospheric chemistry <http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/AtmosphericChemistry/index.html>



- Lerner, U., Yacobi, T., Levy, I., Moltchanov, S. A., Cole-Hunter, T., Fishbain, B.*, 2015: The effect of ego-motion on environmental monitoring. *Science of Total Environment*, 533, 8–16.
- Liu, H., Ma, W., Qian, J., Cai, J., Ye, X., Li, J., Wang, X.*, 2015: Effect of Urbanization on the Urban Meteorology and Air Pollution in Hangzhou. *Journal of Meteorological Research*; 29, 950–965.
- Liu, Z., Hu, B., Ji, D., Wang, Y., Wang, M., Wang, M.*, 2015: Diurnal and seasonal variation of the PM<sub>2.5</sub> apparent particle density in Beijing, China. *Atmospheric Environment*; 120, 328–338.
- Makra, L.*, 2002: Szemelvények a környezetszennyezés történetéből, különös tekintettel a levegő szennyezésére. II. Légkör, 47, 2, 24–29.
- Makra, L.*, 2003: Szemelvények a környezetszennyezés történetéből, különös tekintettel a levegő szennyezésére. III. Légkör, 48, 3, 17–23.
- Mészáros E.*, 1977: *Levegőkémia Alapjai*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 178 oldal
- Noor, M. J., Sultana, S., Fatima, S., Ahmad, M., Zafar, M., Sarfraz, M., Balkhyour, M., Safi, S. Z., Ashraf, M. A.*, 2014: Estimation of Anticipated Performance Index and Air Pollution Tolerance Index and of vegetation around the marble industrial areas of Potwar region: bioindicators of plant pollution response. *Environmental Geochemistry and Health*, 37, 441–455.
- Poursafa, P., Badaradan-Mahdavi, S., Moradi, B., Javanmard, S. H., Tajadini, M., Mehrabian, F., Kelishadi, R.*, 2015: The relationship of exposure to air pollutants in pregnancy with surrogate markers of endothelial dysfunction in umbilical cord. *Environmental Research*, 146, 154–160.
- Nuterman, R. B., Baklanov, A. A., Starchenko, A. V.*, 2010: Modeling of Aerodynamics and Pollution Dispersion from Traffic in the Urban Sublayer. *Mathematical Models and Computer Simulations*, 2, 6, 738–752.
- Peters, J., Van den Bossche, J., Reggente, M., Van Poppel, M., De Baets, B., Theunis, J.*, 2014: Cyclist exposure to UFP and BC on urban routes in Antwerp, Belgium. *Atmospheric Environment*, 92, 31–43.
- Poulsen, A.H., Sørensen, M., Andersen, Z. J., Ketzel, M., Raaschou-Nielsen, O.*, 2016: Air pollution from traffic and risk for brain tumors: a nationwide study in Denmark. *Cancer Causes Control*; 27, 473–480.
- Raaschou-Nielsen, O., Andersen, Z. J., Beelen, R., Samoli, E., Stafoggia, M., Weinmayr, G., Hoffmann, B., Fischer, P., Nieuwenhuijsen, M. J., Brunekreef, B., Xun, W. W., Katsouyanni, K., Dimakopoulou, K., Sommar, J., Forsberg, B., Modig, L., Oudin, A., Oftedal, B., Schwarze, P. E., Nafstad, P., De Faire, U., Pedersen, N. L., Östenson, C. L., Fratiglioni, L., Penell, J., Korek, M., Pershagen, G., Eriksen, K. T., Sørensen, M., Tjønneland, A., Ellermann, T., Eeftens, M., Peeters, P. H., Meliefste, K., Wang, M., Bueno-de-Mesquita, B., Key, T. J., de Hoogh, K., Concin, H., Nagel, G., Vilier, A., Gironi, S., Krogh, V., Tsai, M., Ricceri, F., Sacerdote, C., Galassi, C., Migliore, E., Ranzi, A., Cesaroni, G., Badaloni, G., Forastiere, F., Tamayo, I., Amiano, P., Dorronsoro, M., Trichopoulou, M., Bamia, C., Vineis, P., Hoek, G.*, 2013: Air pollution and lung cancer



incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *The Lancet Oncology*; 14: 813–822.

*Róna, Zs.*, 1892: A városi köd és hatása, *Természettudományi Közlöny*, 24, 279, 598–601.

*Ruszkai, Cs.*, 2014: *Urban Stress Factors*. EKFTTK. Eger, 91 oldal

*Qin, H., Liao, T. F.*, 2015: The association between rural–urban migration flows and urban air quality in China. *Regional Environmental Change*; DOI 10.1007/s10113-015-0865-3.

*Miao Shiguang, Chen Fei, Li Qingchun*, 2010: Month-averaged impacts of urbanization on atmospheric boundary layer structure and precipitation in summer in Beijing area. *Journal of Geophysics*, 53, 1580–1593.

*Szép R., Mátyás L., Keresztes R., Ghimpusan M.*, 2016: Tropospheric ozone concentrations – seasonal and daily analysis and its association with NO and NO<sub>2</sub> as a Function of NO<sub>x</sub> in Ciuc Depression – Romania. *Revista De Chemie*, 2, 67, 203–213.

*United Nations*, 2014: *World Urbanization Prospects*

*United Nations*, 2015<sup>1</sup>: *World Population 2015 Wallchart*

*United Nations*, 2015<sup>2</sup>: *World Population Prospects*

*Xu Xiangde, Zhou Xiuji, and Shi Xiaohui*, 2005: Spatial structure and scale of the atmospheric pollution source impact of city agglomeration. *Science China*, 48, 1–24.

*Yorifuji, T., Kashima, S., Doi H.*, 2016: Acute exposure to fine and coarse particulate matter and infant mortality in Tokyo, Japan (2002–2013). *Science of the Total Environment*, 551–552, 66–72.

### **Internetes források:**

*levego.hu*: Fogalommagyarázat

*nepesseg.com*

*Salma, I.*, 2003: A fotokémiai szmog és hatásai  
[<http://pihgy.hu/files/3FotokemiaiSzmog1.pdf>]

*statistica.com*, 2015: degree of urbanization by continent

*who.int*, 2014: 7 million premature deaths annually linked to air pollution