

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Földrajz- és Földtudományi Intézet
Meteorológiai Tanszék

A kínai városokat érintő levegőkörnyezeti kihívások áttekintése

SZAKDOLGOZAT



Készítette:

Fazekas Adrienn

Földtudományi alapszak,
Meteorológus szakirány

Témavezető:

Leelőssy Ádám

ELTE TTK, Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2019

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	4
2. A légszennyezés.....	5
2.1. A légszennyezés problémái	5
2.2. Főbb légszennyező anyagok és hatásaik.....	6
2.3. A világ szennyezett levegőjű területei	8
3. A kínai légszennyezettség.....	10
3.1. A légszennyezettség okai	10
3.2. A levegőminőség megfigyelése	12
3.3. Szálló por	14
3.4. Nitrogén-oxidok.....	17
3.5. A szén-monoxid.....	19
4. Környezeti hatások.....	21
4.1. Eutrofizáció.....	21
4.2. Savas eső.....	22
4.3. Szmog és homályosság	22
5. Intézkedések.....	24
6. A 2013-2014-es szmoghelyzetek.....	28
6.1. 2013. január, október	28
6.2. 2014. január, október	30
Összefoglalás	32
Köszönetnyilvánítás.....	33
Irodalomjegyzék	34
Függelék.....	39

1. Bevezetés

Jobban megvizsgálva környezetünket és kitekintve a világba, ugyanazzal a jelenséggel nézünk szembe. Nagymértékű környezet és levegőszennyezéssel, és annak minden negatív velejárójával. Ma már elmondható, hogy a világ népességének közel 90%-a él súlyosan szennyezett területen. Mindennapi életünk része, hogy rutinszerűen bocsátunk ki közvetett vagy közvetlen úton, a levegőt komoly mértékben károsító anyagok közül többet is, mint a nitrogén-dioxid, kén-dioxid, ózon vagy kisebb finom részecskék. Ennek pedig következményei vannak, amelyek megmutatkoznak a környezetünkben, időjárási eseményekben vagy az egészségünkben egyaránt.

A szakdolgozatban kiemelésre kerül Kína, ami globálisan tekintve a legszennyezettebb országok közé sorolható, emellett több városa is úgyszintén a legszennyezettebb városok listáját gyarapítja. Egy igen nagy népséggel rendelkező ország, így rengeteg ember él a légszennyezés által súlyosan veszélyeztetett területen. Ráadásul az itt jelenlévő légszennyezés különleges módon viselkedik egyes esetekben, amit például Nyugat-Európában máshogy tapasztalhattunk meg. Kiemelendő terület a sűrűn lakott, erős infrastruktúrával és iparral rendelkező városok öve, ahol a legkiemelkedőbb a légszennyezés okozta kár. Itt fordul elő legnagyobb számban környezeti kár vagy hatás, de az egészségügyi kitettség is nagyobbak tekinthető ezeken a területeken.

Ebből adódóan jogosan merül fel a kérdés, hogy mit lehet tenni a káros anyagok nagymértékű emissziója ellen, vagy a már kialakult helyzet javításán. A dolgozatban erre is kitérek, múltbeli és jövőbeli próbálkozásokat, terveket körbejárva többféle nemzetközi folyóirat és cikk elemzése alapján. Megvizsgálom továbbá a 2013-as és 2014-es év súlyos és kiemelkedő szmoghelyzeteit, amelyek az év első és utolsó felében egyaránt jellemzőek voltak az országban, főleg az északkeleti régiókban.

2. A légszennyezés

2.1. A légszennyezés problémái

A 21. század egyik legmeghatározóbb problémája a légszennyezés, amely minden országot érint. A légköri szennyezőanyagok mindennapos jelenléte a levegőben súlyos károkat okoz az emberi szervezetben és a környezetben egyaránt. Ennek megnyilvánulása számos módon történhet, akár szmog, savas eső, valamint embereknél főképp légúti (*Guo et al.*, 2016) és keringési problémák (*Shah et al.*, 2013) formájában. Nagyvárosokat, agglomerációkat, falvakat egyaránt érint a szennyezés által kialakult problémák sokasága és elmondható, hogy napjainkra az egyik legnagyobb környezeti kockázatot a légszennyezés jelenti. Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) jelentése szerint a kültéri légszennyezés körülbelül minden 9. haláleset felelőse, és évente közel 3 millió áldozatot követel, akik közül körülbelül 1 millióan Kínában és Indiában élnek (*WHO*, 2016). A leginkább érintett területek a WHO szerint Afrika, Ázsia és a Közel-Kelet, vagyis főleg az alacsony és közepes jövedelmű országok, ezek összesen a 82%-át teszik ki a világ népességének. Itt sokszor meghaladják azt a kritikus szintet, ami a világszervezet által előírt, emberi szervezet számára még nem súlyosan káros mennyiséget jelenti. Ennek következménye, hogy ezeken a területeken igen nagy számban kerül sor stroke, tüdőrák, akut légúti betegség vagy szívbetegség általi halálra (*WHO*, 2016). Mindezek mellett ez azt is magába foglalja, hogy egyes szélsőséges napokon a kórházi felvételek száma az ott dolgozók és maga a kórház működését is erősen megnehezíti. Előfordul, hogy fontos közlekedési járatok képtelenek a rossz viszonyok miatt ellátni a munkát (*McNeill*, 2019). A légszennyezés mindezek mellett a környezetben is súlyos károkat tesz, például eutrofizációt okoz (*van Beusekom*, 2018), illetve elsavasítja a talajt, vagy savas esőzéseket okoz (*Zhang et al.*, 2017). Ezek igen súlyos következményekkel járnak a természetben, főleg a part menti ökoszisztémában (*Withers et al.*, 2014), illetve a mezőgazdaságban, halászatban egyaránt.

2.2. Főbb légszennyező anyagok és hatásai

A kültéri szennyezés forrása egyidejűleg lehet természetes és antropogén is, valamint elsődleges vagy másodlagos, gáz vagy szemcsés halmazállapotú (Zhang *et al.*, 2015). A levegő minőségének a romlását több anyag is képes befolyásolni. Az ide sorolható szennyezők, mint nitrogén-oxidok (NO_x), kén-dioxid (SO₂), szén-monoxid (CO), ózon (O₃) és a VOC-ok (Volatile Organic Compound) egyaránt felelősei ezeknek a jelenségeknek.

A nitrogén-oxidok fő forrása a közlekedés, emellett ipari folyamatok során is jelentős mennyiség jut a légkörbe. Egészségügyi hatása elsősorban a légúti nyálkahártyák irritációja, de összefüggésbe hozható a tüdőrák kialakulásával és más daganatos betegségekkel is (Hamra *et al.*, 2015; Goldberg *et al.*, 2017).

Az ózon másodlagos légszennyező anyag, nitrogén-oxidok és VOC-ok jelenlétében, napsugárzás hatására a légkörben keletkezik, ezáltal egy napi menet figyelhető meg nappali maximummal. A troposzférában erősen károsító és mérgező hatást gyakorol ránk, súlyosbítva egyes légúti betegségeket, úgy mint az asztmát vagy krónikus hörghurutot (Godin-Beekmann, 2017). Ezen kívül súlyos növénykárokat is okoz, egy hirtelen koncentrációnövekedés rövid távon a növényeken látható sérülést produkál, ellenben a hosszú távú folyamatos dózis a termés minőségét rontja (Krupa *et al.*, 2001; Godin-Beekmann, 2017). A fotokémiai szmog (Los Angeles-típusú szmog) fő alkotóeleme (Lagzi *et al.*, 2013).

Az illékony szerves vegyületek (VOC-ok) közé tartoznak az egyes szénhidrogének, festékek és lakkok egyes komponensei, mint a ketonok, éterek, nitro vagy halogén származékok, freonok, növényvédő szerek. A VOC-ok közé tartozó telítetlen szénhidrogénekbe, amikben a kettős kötések egyszerűen felszakíthatók, könnyedén beépülhet bármilyen másik alkotó. Ezután a molekula nőni kezd, és másodlagos aeroszol alakul ki belőle (Hallquist *et al.*, 2016). A világ összes természetes VOC-emissziójának csaknem felét a trópusi esőerdők teszik ki (Guenther *et al.*, 1995). Embertől származó kibocsátás pedig a fával fűtés, közlekedés és kőolaj finomítás.

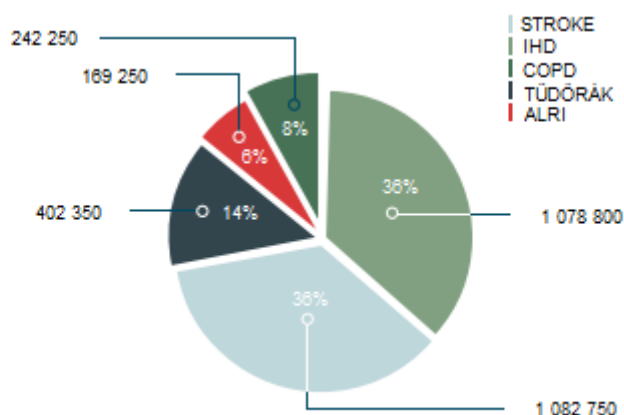
A légkörben több kénvegyületet is találhatunk, legnagyobb természetes forrása a vulkáni tevékenység, antropogén forrása pedig a fosszilis tüzelőanyagok égetése és a biomassza-égetés. A kén-dioxid, ha szulfátiont képez, kondenzációs magként képes funkcionálni, ami fontos szerepet játszik a csapadékképződésben.

Csapadékvízben oldva azonban kénsavat alkot, ezáltal a csapadékot savasítja (Lu et al., 2015). A London-típusú szmog alkotója a korommal együtt, amelynek oka főleg a télen alkalmazott fával tüzelés (Hallquist et al., 2016).

A szén-monoxid egy színtelen és szagtalan gáz, amely a szénhidrogének tökéletlen égéséből származik (Chen et al., 2011). Legnagyobb mennyiségben emberi tevékenység által kerül a légkörbe, közlekedés, energiatermelés, ipari gyártás során. A fűtés miatt télen a koncentrációja nagyobb, mint nyáron (Pongrácz et al., 2013). Kis mennyiségben is káros az emberi szervezetre, például növeli a szívelégtelenség kockázatát (Reboul et al., 2017).

Az aeroszol részecskék forrása eredhet a természetből, vulkáni működés vagy erdőtűz útján, valamint emberi tevékenységek is hozzájárulnak az emisszióhoz például tüzelés vagy motor égéstermék formájában. Méretük alapján tudjuk őket csoportokba osztani. Vannak a 10 és 2,5 mikron közöttiek, a 2,5 mikron alatti, valamint az ultrafinom 0,1 mikron alatti részecskék (Dura and Pándics, 2009). Ezek közül kiemelkedő szerepet tölt be a PM₁₀ és PM_{2,5}, vagyis a 10 és 2,5 mikron alatti szemcsék, fontosságuk pedig az egészségre kiható tulajdonságukból ered (Lu et al., 2015). A PM₁₀ mérettartományú részecske képes közvetlenül bejutni a légzőrendszerbe (Xing et al., 2016).

Köztudott, hogy a légszennyezés és azon belül az imént felsorolt anyagok sokrétű káros hatást gyakorolhatnak az egészségre. A szennyezett kültéri levegő több mérgező és rákkeltő anyagot is tartalmaz (Hamra Ghassan B. et al., 2014). A legfontosabb légszennyezettséghez köthető betegségek a keringési problémák, légúti betegségek és rákos megbetegedések (1. ábra).

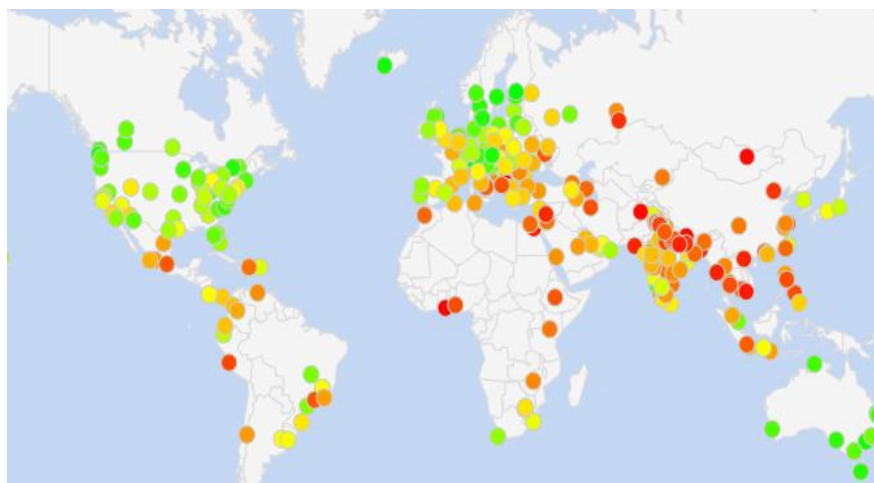


1. ábra: A környezeti levegőszennyezésnek tulajdonítható halálesetek, százalékos lebontása az egyes betegségekre. ALRI: akut alsó légúti betegség, COPD: krónikus obstruktív légúti betegség, IHD: ischaemiás szívbetegség (WHO, 2016)

Világszerte a halálesetek 94%-át az előbb felsorolt betegségek adják (WHO, 2016), aminek kialakulásához a levegő szennyezettsége is erősen kapcsolódik (Xing et al., 2016). Nem minden, az ábrán felsorolt betegség oka a levegő rossz minősége, de a légszennyező anyagok is hozzájárulnak a betegségek kialakulásához. Ezeket a kapcsolatokat több tanulmány is vizsgálja. A legfőbb okozói ezeknek a betegségeknek a közlekedési eredetű nitrogén-oxid (Hamra et al., 2015), valamint a PM_{2,5} és PM₁₀ részecskék (Hamra Ghassan et al., 2014), illetve a szén-monoxid, amely súlyos keringési problémákat (Liu et al., 2018) okoz.

2.3. A világ szennyezett levegőjű területei

Az ipari forradalom kezdetén a 18-19. században először Nagy-Britanniában, majd Németországban, Nyugat-Európában, és a legtöbb ma már fejlettnak mondható országban erőteljesen átalakult a gazdaság és az ipar. Előtérbe került a nehézipar, a tömeggyártás, közlekedés kiépítése, létrejött a vegyipar. Ebből adódóan ebben az időszakban rengeteg szennyezőanyag került a levegőbe. A legszennyezettebb ipari területekhez tartozott a Ruhr-vidék, angol iparvidék, USA keleti és nyugati partvidéke (Várkonyi, 1977). A fokozódó ipari termelés következtében megjelentek az első szmoghelyzetek. Az egyik legsúlyosabb ilyen esemény a nagy londoni szmog volt 1952-ben, amikor 4000-12000 közötti számra becsülhető ember halt meg (Polivka, 2018) a kénsavas-kormos füstködben.



2. ábra: A világ levegőszennyezésének indexe, 2019 [1 - numbeo.com]

Napjainkra más országok kezdték el fejlődésüket, ezek közül is szinte mind az ipar fejlesztésével és erős urbanizációval, úgy, mint annak idején Nagy-Britannia. Ezt a szerepet leginkább ma Kína tölti be, amely hatalmas fosszilis tüzelőanyag égető (*Kan et al.*, 2012). Ázsiában India, Kína valamint a déli területek a legszennyezettebbek, Európában inkább keleten, a Balkánon és az észak-olasz területeken jellemző a rossz levegőminőség (2. ábra). Elmondható, hogy a kelet-európai és balkáni országokban a környezetpolitika is elmaradottabb (*McNeill*, 2019).

3. A kínai légszennyezettség

3.1. A légszennyezettség okai

Kína jelenleg igen komoly légszennyezéssel áll szemben az erős iparosodás és urbanizáció révén, amelyen az elmúlt évek során ment át. Ennek a szennyezésnek a mértéke folyamatosan és jelentősen még nem tudott javulni, csak szakaszosan kisebb mértékben. Fő okozója a rossz levegő minőségének, hogy a szén továbbra is a fő energiaforrás országszerte, így ez az összes energiaforrásnak körülbelül a 75%-át teszi ki. Következésképpen a Kínát érintő súlyos légszennyezés elsősorban a szénégetésből származó füstben jelenlévő aeroszol részecskékből (PM) és kén-dioxidból tevődik össze (*Chen et al.*, 2011). Fontos megemlíteni a nitrogén-oxidokat és a szén-monoxidot is, mivel ezen anyagok globális kibocsátásának közel 30-35%-áért Kína felelős, az aeroszol részecskék esetében pedig ez az arány a 40%-ot haladja meg (*Kulmala*, 2015).



3. ábra: Legnagyobb emisszióval rendelkező régiók és az azokhoz tartozó városok [2 - old.wordtravels.com]

A légszennyező anyagok emissziója főleg a nagy városok környékén összpontosul, amelyek sűrűn lakottak, fejlett infrastruktúrával és iparral rendelkeznek (*Hallquist et al.*, 2016). Több ilyen nagyobb terület is megfigyelhető (3. ábra), de elsősorban az északkeleti régió rendelkezik nagy kibocsátással. Legfontosabb a fővárost is magába foglaló Tiencsin-Hopej öv, amelyben a Környezetvédelmi Minisztérium egy 2015-ös tanulmánya alapján Kína tíz legrosszabb levegőjű városa közül (Paoting, Hszingtaj, Hengsuj, Tangsan, Csengcsou,

Csinan, Handan, Sicsiacsuang, Langfang és Senjang) hét ebben a körzetben található meg (Yan *et al.*, 2018). Ettől délre található a Jangce-delta városai, mint Sanghaj, legdélebbre pedig a Gyöngy-folyó deltájában elhelyezkedő városok, amit PRD (Pearl River Delta) régiónak szokás nevezni. Valamint még az ország középső részén lévő Szecsuan-medencéhez tartozó Csungking városa és környéke sorolható a legszennyezettebb területek közé. Kína 500 legnagyobb városának kevesebb, mint az 1%-a felel meg az Egészségügyi Világszervezet által meghatározott levegőminőségi irányelveknek. A világ tíz legszennyezettebb levegőjű városa közül hét Kínában található (Xing *et al.*, 2016).

2017-ben megvizsgálták, hogy 4 fontos szennyezőanyag éves koncentrációja milyen nagyságot ér el Kína és India fővárosában. A mérés folyamán egyes esetekben más viszonyítási alapot vettek. Az „a” jelű értékek csupán az őszi átlagot veszik, a „b” jelű 8 órás átlagot, a „c” felű pedig 1 napi átlagot (1. táblázat). Így például a kén-dioxid és ózon esetén is látjuk, hogy bár a koncentráció átlaga kisebb, mint a WHO irányelve által megadott határérték, de a WHO esetében óras mennyiségről van szó, a megadott átlag pedig a teljes őszi hónapra igaz, tehát bőven volt alkalom arra, hogy meghaladja az irányelvben meghatározott szintet (McNeill, 2019).

1. táblázat: Légszennyező anyagok évi átlagkoncentrációja Kína és India fővárosában. (a^aőszi átlag; b^b8 órás átlag; c^cnapi átlag) (McNeill, 2019)

Szennyezőanyag	Éves átlag (µg/m ³)		WHO határérték (µg/m ³)
	Peking, Kína	Delhi, India	
NO ₂	50,0 ^a	46,6	40
O ₃	90,1 ^a	36,2	100 ^b
PM _{2,5}	62	126,3	10
SO ₂	9,4 ^a	16,3	20 ^c

Fontos azonban figyelembe venni, hogy Ázsiában, és azon belül Kínában is az erős és nagymértékű szabadtéri szennyezés különösen veszélyes és figyelemmel kísérendő, ugyanis sokkal összetettebb és változatosabb ahhoz képest, amit eddig tapasztaltunk a nyugati területeken (*Zhang et al.*, 2015). Egy komplex légszennyezési helyzet áll fenn, amiben a szén égetése és az éghajlat is nagy szerepet játszik. A kínai légszennyezettség fontos összetevői a másodlagos aeroszol részecskék, amelyek a legfőbb károkozók sok különböző hatás tekintetében (*Yao et al.*, 2016). Fontos tulajdonságuk, hogy bár egyes folyamatok közvetlen aeroszol-kibocsátást eredményeznek, Kínában ez főleg kémiai reakciók során megy végbe, ami másodlagos aeroszol részecskéket eredményez (*McNeill*, 2019). A probléma ezzel a szmog képződés lehetőségének a növekedése, ugyanis Kínában a szmog főleg ilyen és ehhez hasonló másodlagos részecskékből tevődik össze (*Yao et al.*, 2016).

Az északi és belföldi területek jóval rosszabb levegőminőséggel rendelkeznek, mint a délebbi, tengerpartközeli társaik, amiben a jelentős emisszió mellett domborzati tényezők is szerepet játszanak. Azokon a területeken több nagyváros, több emisszió koncentrálódik, és a földrajzi fekvés sem kedvez minden esetben. Mindemellet megfigyelhető egyfajta szezonális változás is a területi eloszláson túl, ugyanis télen romlik le jobban a levegő tisztasága, vélhetően a fűtés miatt (*Aunan et al.*, 2018). Ezeknek a következtében a városi levegő nem csak szennyezett, hanem egy olyan összetett végtermék, amelyet ha nem ismernek ki megfelelően és a lehető legpontosabban a kutatók, annak súlyos következményei lehetnek, és bizonyos intézkedések akár súlyosbíthatják a már kialakult egészségügyi, természeti problémákat. Az egy szennyezőanyag csökkentésére irányuló erőfeszítés rossz hatással lehet más anyagokra a kémiai folyamatok megváltoztatásán keresztül (*Kulmala*, 2015).

3.2. A levegőminőség megfigyelése

Kínában különösen fontos megfigyelni a különböző anyagok mennyiségét a levegőben. Ezt sokféleképpen oldják meg, állami vagy egyéni módon egyaránt. A mért adatok ellenőrzését, egyes kalibrálásokat a Kínai Nemzeti Környezetfigyelő Központ végzi (*Lv et al.*, 2016). A tanulmányok elkészítéséhez és a szennyezőanyagok nyomon követéséhez minden esetben szükség van friss és biztos adatsorra. A mérések fő célpontjai a PM_{2,5}, SO₂, NO₂, CO, O₃ szennyezőanyagok.

A mérések formája lehet állomásalapú vagy műholdas (Lv et al., 2016), aminek eszköztára ma már igen széleskörű. 2017-ben Kínában egy újfajta tervezetet alakítottak ki, amely SO₂, O₃ és NO₂ detektálására alkalmas. Ehhez fénykibocsátó diódákat és új száloptikai összekötő teleszkópot fejlesztettek ki (Zheng et al., 2018). A CALPISO műhold főleg az aeroszol részecskék forrásait vizsgálja [3 - ntrs.nasa.gov]. A mérések főleg Kína északkeleti részére koncentrálódnak, mivel ezeken a területeken jellemző a nagyarányú levegőszennyezés. Ilyen régió például Peking és környéke, Tiencsin, Santung, Hopej és Liaoning, ahol komolyabb méréseket folytatnak a jelentős nehézipar miatt (Lv et al., 2016).

A 4. ábra egy folyamatosan frissülő adatok alapján működő szervezettől származik, ahol közlésezik az aktuális levegőminőségi indexet (Air Quality Index - AQI). Ebben 6 csoport különböztethető meg aszerint, hogy mennyire súlyos kockázatot jelent az emberi szervezetre a légszennyezés az adott mérés helyén. A pontos mértékek ismerete érdekében egy táblázatot is készítettem, amelyhez az egyes AQI értékekhez a hozzá megfelelő PM_{2,5} koncentrációját párosítottam [4 - airnow.gov]. (2. táblázat)

2. táblázat: AQI értékek PM_{2,5} koncentrációban

AQI	PM _{2,5} KONCENTRÁCIÓ [µg/m ³]
0-50	0 - 12
51-100	13 - 35
101-150	36 - 55
151-200	56 - 150
201-300	151 - 250
300+	251<

A 4. ábrán a 2019. április 20-án mért adatok szerepelnek [5 - aqicn.org]. Jól látszik, hogy a városok mindegyike, főleg az északkeleti vidéken 50 feletti AQI indexet mutat. A legnagyobb szennyezés a fővárosban figyelhető meg. Ez a nagymértékű, állandó szennyezettség nagyjából a 2000-es évek óta van jelen (Sun et al., 2016). A gyakori és folyamatos mérések főleg a 2013-as események után nyerték el fontosságukat, de Kína sok területén még ma sincs kellő sűrűségű mérőhálózat.

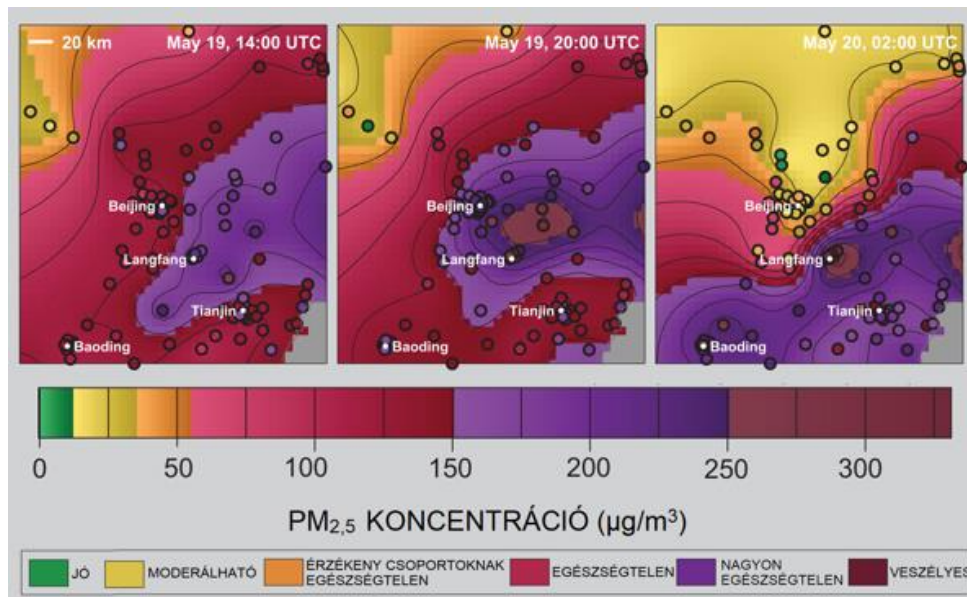
várható élettartamot (Xing *et al.*, 2016). A PM_{2,5} és PM₁₀, más néven szálló por képes bejutni a légzőrendszerbe, rontja a tüdő megfelelő működését és asztmát, légúti gyulladást okozhat. Ebből fakadóan a már légúti megbetegedésekben szenvedő betegek panaszait a légszennyezés súlyosbíthatja, vagy végzetessé teheti (Xing *et al.*, 2016). Megállapították azt is, hogy az elmúlt időszakban ezeknek a légzőszervi megbetegedéseknek száma nőtt, úgy ahogy a kórházba érkezők száma is, azokon a napokon, amikor a napi PM_{2,5} mennyisége meghaladta a WHO határértékét (Xing *et al.*, 2016). Mindezek mellett egyes aeroszol részecskék elősegítik a rák kialakulását is (Xing *et al.*, 2016). Ebből kifolyólag a Nemzetközi Rákkutató Ügynökség (IARC) I. csoportú rákkeltő forrásként tüntette fel a listáján (Hamra Ghassan B. *et al.*, 2014). Ebben az esetben is igaz az a tendencia, miszerint a tüdőrák gyakorisága nőtt a PM_{2,5} koncentrációk növekedésével. A szálló pornak legjelentősebb egészségi hatása a keringési rendszert érinti. Miután beléptek a tüdőbe, onnan az apróbb és oldható részecskék képesek beoldódni a véráramba és eljutni az idegrendszerig. Ez olyan neurológiai betegségekhez vezet, mint a Parkinson-kór vagy autizmus (Fu *et al.*, 2019). Kapcsolatot találtak többek között a PM_{2,5} és egyes születési rendellenességek között is (Feng *et al.*, 2016).

Kínában, mint a világ legszennyezettebb országában a szálló por magas légköri koncentrációjának következményei nagy mértékben megnyilvánulnak, ugyanis a PM_{2,5}-nek tulajdonított korai halálozást már 2013-ban 1,37 millióra tették (Liu *et al.*, 2016). Egy 2010-2014 között zajló téli mérési időszak nagyjából felében meghaladta a 100 µg/m³ koncentrációt a szennyezettség (Xing *et al.*, 2016). Ezért is különösen a téli évszakban fordul elő az észak-kínai területeken (Tiencsin, Vuhan, Csungking) tartós szmog (Fu *et al.*, 2015), amit elsősorban a PM_{2,5} másodlagos összetevői okoznak (Yao *et al.*, 2016). Ebből kiindulva az ott élő emberek közül nagyjából 1,3 milliárdot veszélyeztet a finom részecskék általi egészségügyi fenyegetettség (Song *et al.*, 2017) és ezáltal az egyre súlyosbodó szennyezettség hatására itt fordul elő legnagyobb számban a tüdőrák (Guo *et al.*, 2016). Kínában főleg a délkeleti régióban az asztma és allergiás megbetegedések kezdenek teret nyerni, és emellett a már kialakult betegség tünetei súlyosbodnak (Zhang *et al.*, 2015). A magas PM_{2,5} koncentráció megnövelte továbbá a stroke bekövetkezésének gyakoriságát is az elmúlt évek során (Fu *et al.*, 2019).

A PM_{2,5}-szennyezettség leginkább a fejlett gazdasági és ipari övezetekben jelentős, valamint a sűrűn lakott területeken, úgy, mint a pekingi Tiencsin-Hopej övben, a Jangcedeltában, a PRD régióban és a Szecsuan-medencében. Jelentős forrás a fűtési célú lakossági

széntüzelés, ami önmagában, egyéb források nélkül is elegendő lenne a WHO által meghatározott határértékek túllépéséhez. A szénfűtés az elsődleges részecske kibocsátás mellett a kén-dioxidon keresztül a másodlagos részecskék keletkezéséhez is jelentősen hozzájárul.

Az 5. ábra egy példán szemlélteti, hogy a Tiencsin-Hopej régióban a PM_{2,5} koncentrációja nagy területen képes meghaladni a 100–150 µg/m³ értéket.

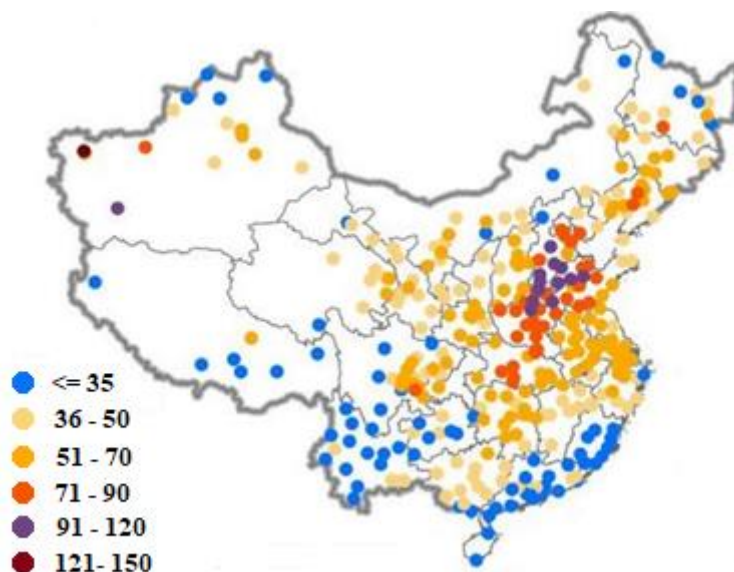


5. ábra: PM_{2,5} 6 óránkénti koncentrációja egy nap folyamán (Rohde and Muller, 2015). A pekingi idő UTC+8 óra.

Az ábrán megfigyelhető a szennyezettség napi menete is. A terület északi részén a legmagasabb koncentrációt az éjszakai órákban mérték, a legalacsonyabbat pedig délelőtt. A délebbi részeken azonban a nappali órákban növekedett meg jelentősen a PM_{2,5} mennyisége, köszönhetően a másodlagos részecskék fotokémiai úton történő keletkezésének (Rohde and Muller, 2015). A koncentrációk napi menetét egyaránt befolyásolja az emisszió napon belüli változékonysága, a napsugárzástól függő levegőkémiai folyamatok és a keveredési réteg vastagsága.

Kínában a lakosság közel 83%-a él az egészségre erősen káros területeken, ahogy azt a 6. ábra is mutatja (Liu et al., 2016). A kék színű területek jelölik a WHO által kijelölt, még emberi szervezet számára tolerálható szennyezettséget. Megfigyelhető, hogy a legszennyezettebb terület Kínán belül főleg az északkeleti rész Sanghajtól egészen Pekingig, ahol a gazdasági és ipari élet a legerősebb, a PM_{2,5}-szennyezettség pedig a legtöbb

megbetegedés okozója (Lu et al., 2016). Ellenben a szintén sűrűn lakott déli partvidék már tisztábbnak tekinthető, ennek okát annak tulajdonították, hogy a gyakori csapadék képes a levegőt megtisztítani (Rohde and Muller, 2015).

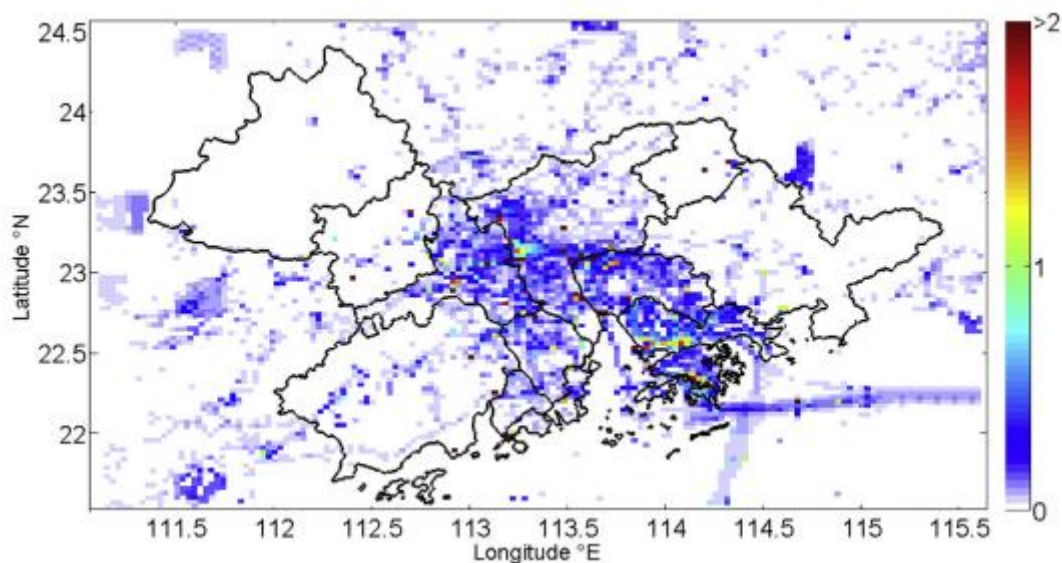


6. ábra: A 2015-ös év átlagos $PM_{2,5}$ koncentrációja [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] (Aunan et al., 2018)

3.4. Nitrogén-oxidok

A nitrogén-oxidok legnagyobb antropogén kibocsátója a közlekedés. Ehhez akut egészségi, valamint krónikus légzőszervi és szív-érrendszeri következményeket társítanak (Hamra et al., 2015). A közlekedők különös fenyegetettsége abból fakad, hogy a forrás közelsége miatt az emberi szervezet igen közelről, igen nagy dózist képes befogadni rövid idő alatt.

Kínában a jelentős forgalom miatt főleg a sűrűn lakott, fejlett városok környékén tapasztalható komoly nitrogén-oxid szennyezés (7. ábra), ezek közül is legsúlyosabb a Gyöngy-folyó deltájának vidéke (Lu et al., 2016). Az ábra (Lu et al., 2016) egy emissziós modell eredménye. Láthatjuk, hogy a legtöbb nitrogén-oxid kibocsátás a PRD régióban zajlik. A legmagasabb NO_x kibocsátást Sencsen, Kanton és Hongkong városában kapták.



7. ábra: A NO_x antropogén emissziójának területi eloszlása Kínában mol/másodpercben (Lu et al., 2016)

A szennyezettség mértékének alakulásában komoly szerepet játszik a szél általi transzport, amit a monszun széljárás határoz meg. Amikor az uralkodó szélirány északi, akkor a nehéz szennyező anyagot, jelen esetben főleg a nitrogén-dioxidot elszállítja a lentebb lévő délebbre fekvő városokba. Ez a jelenség télen figyelhető meg. Nyáron a szelek délkeleti, illetve délnyugati irányúak, így a nitrogén-oxidok szennyezése Hongkongból indulva Sencsent éri el leginkább ebben az időszakban (Lu et al., 2016).

A $PM_{2.5}$ -höz hasonlóan a nitrogén-oxidok is felelősek rákos, valamint krónikus légzőszervi és keringési betegségek kialakulásáért és az ehhez köthető halálozásért (Hamra et al., 2015). Megfigyelték, hogy a nitrogén-oxidok egyes anyagai egyre gyakoribb akut vagy krónikus elváltozást képesek generálni, amelyek megjelenése a tüdőfunkcióban súlyos következményekkel járhatnak. A légzőszervi halálozások mintegy 40%-áért felelősek az egyes légköri nitrogén-oxidok. Ilyen például az asztma is, amely betegségben egyre többen szenvednek, és a környezeti nitrogén-monoxid kapcsolatban áll a gyermekkori asztma nagyobb előfordulásával (Lu et al., 2016). A már kialakult asztma tüneteit is képes a nitrogén-dioxid felerősíteni. Emellett az is komoly problémát okoz, hogy a fiatalabb korosztálynál megnőtt a légszomj, zihálás vagy mellkasi szorítás kialakulásának gyakorisága, amelyért az életmódváltozásból adódó pszichológiai tényezők mellett a nitrogén-oxidokat tartják felelősnek (Zhang et al., 2015).

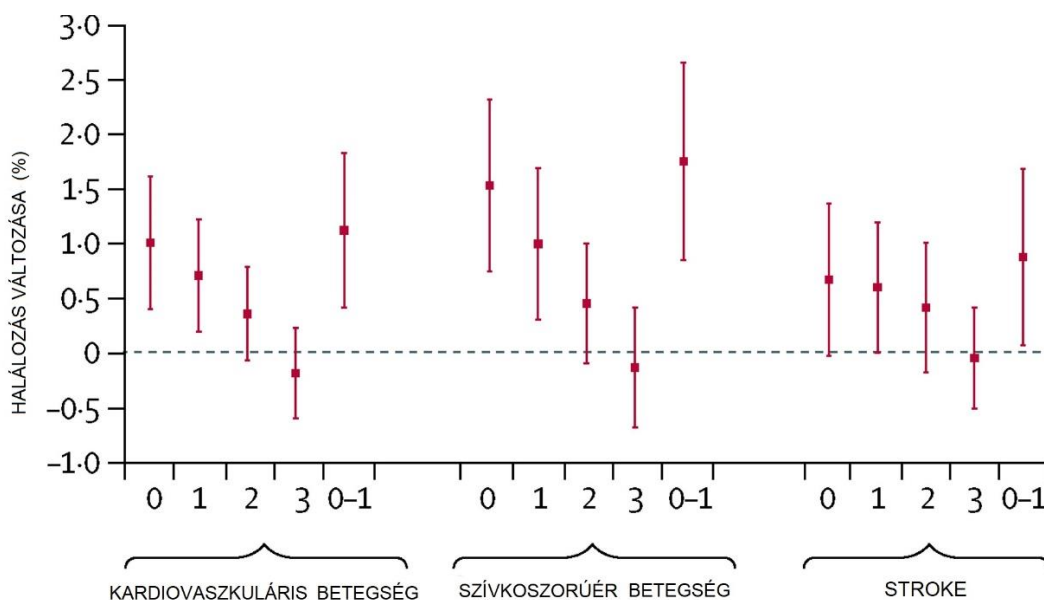
A légzőszervi betegségekben szenvedők számára a nitrogén-dioxid koncentrációjának növekedése járul hozzá leginkább a panaszok súlyosbodásához (Lu et al., 2016).

A PM mellett a Nemzetközi Rákkutató Ügynökség nemrégiben súlyos rákkeltő anyagnak tekinti a kültéri levegőszennyezést, ami alatt érteni tudjuk a nitrogén-oxidokat is többek között. Városi környezetben a viszonylag könnyen mérhető nitrogéndioxid-koncentrációt gyakran használják a közlekedési eredetű légszennyezés nyomjelzőjeként. Ebből sokféle, súlyosan rákkeltő anyag közlekedési emissziójára is tudnak következtetni, mint az illékony szerves vegyületek, fémek vagy karbonilok (Hamra et al., 2015). A nitrogén-oxidok ezért közvetve is jól mutatják az egyéb közlekedési eredetű rákkeltő anyagok jelenlétét a levegőben. Továbbá a nitrogén-oxid ózon és másodlagos aeroszol prekursoraként működik, így hozzájárul a PM_{2,5} által okozott egészségügyi károkhoz is. Általánosságban kijelenthető, hogy a főleg közlekedésből származó nitrogén-oxidok által kiváltott, vagy a nitrogén-oxid mennyiségével jól korreláló légzőszervi és rákos megbetegedések száma nő. A legmagasabb korai halálozás a tüdőt érő betegségek tekintetében Hongkongban van, tágabb területet nézve pedig az egész PRD vidéken (Lu et al., 2016).

3.5. A szén-monoxid

Kínában 25-30 millió embert érintenek szív- és keringési betegségek, ez a szám pedig rohamosan nő a fokozódó környezetszennyezés és az átalakuló életmód miatt. Levegőkörnyezeti szempontból ebben igen nagy fontosságú a szén-monoxid, amely főleg a közlekedés által kerül nagy mennyiségben a levegőbe (H. Li et al., 2018). A szén-monoxid növeli a szív- és érrendszeri problémák kialakulásának esélyét. Ide sorolható a koszorúér-elzáródás és a stroke is (Liu et al., 2018). Egy kutatás azt mutatta meg, hogy ha folyamatos, az átlagostól eltérő emelkedett szén-monoxid koncentráció éri a szervezetet, az zavart kelt a szív működésében, nagy eséllyel alakul ki szívelégtelenség vagy más, a szívet érintő betegség, későbbiekben akár halál. A vizsgálat további részében ugyanakkor az is kimutathatóvá vált, hogy a szén-monoxid képes megváltoztatni a mitokondriumok működését, aminek következménye lehet további krónikus betegségek kialakulása is (Reboul et al., 2017).

2013 és 2015 közötti időszakban Kína különböző városaiban megfigyelték, hogy azokon a napokon, amikor a szén-monoxid átlagos koncentrációja növekedésnek indult, növekedést tapasztaltak a halálozási rátában is (8. ábra), méghozzá kifejezetten a különböző szív- és érrendszeri vagy más keringési betegségek esetében (Liu et al., 2018).



8. ábra: Az aznapi és előző 3 napok által vizsgált keringési és szívkoszorúér betegség, valamint stroke okozta halálozások országos átlagának százalékos változása, ha a CO koncentrációja 1 mg/m^3 -rel növekszik (Liu et al., 2018).

Az ábrán azt figyelhetjük meg, hogy a levegő szén-monoxid koncentrációjának az 1 mg/m^3 -es növekedése milyen változást produkál a keringési betegségben szenvedők halálozási arányában az adott és előző 3 nap leforgása alatt. A nulladik nap jelöli a megnövekedett szint aktuális napját, a többi pedig a megelőző napokat. Jól kivehető, hogy a halállal végződő kimenetek száma mindhárom betegség, főleg a kardiovaszkuláris betegségek esetében megugrik azokon a napokon, amikor a szén-monoxid koncentráció is megnő (Liu et al., 2018).

4. Környezeti hatások

4.1. Eutrofizáció

Az eutrofizáció természetes és mesterséges vizekben egyaránt előfordul, ahol megnövekszik a nitrogén és foszfor mennyisége, ami elalgásodáshoz vezet. Ennek oka, hogy a vízbe jutó műtrágyák és a kiülepedett nitrogén-oxidok nagy mennyiségű tápanyaggal terhelik a környezetet (*Pregun and Juhász, 2013*). Az eutrofizáció súlyos ökológiai károkat okoz, veszélyezteti a biológiai sokféleséget, az élővilág mérgezését, akár pusztulását okozhatja, továbbá az emberi fogyasztás számára használt ivóvíz minősége is veszélybe kerülhet (*Pregun and Juhász, 2013*).

A reaktív nitrogén koncentrációja és lerakódása nagy mértékben megnőtt világszerte az antropogén tevékenységeknek köszönhetően (*Yang et al., 2010*). Kína a gyors gazdasági növekedés révén hatalmas műtrágya- és fosszilis tüzelőanyag fogyasztóvá vált, ami eutrofizációhoz vezet számos part menti övezetben, ahol már tapasztalták a tápanyag mennyiségének megnövekedését. Ennek egyértelmű jelei közé sorolható a megnövekedett fitoplankton virágzás és különböző káros algák növekedése, ami által a vízínövények száma lecsökken (*van Beusekom, 2018*). Így oxigénhiányos, illetve halott zónák alakulnak ki az érintett parti területeken (*Withers et al., 2014*). Kína keleti részén, a Jangce folyó alsó folyásán különösen súlyos nitrogén felhalmozódás figyelhető meg (*Yang et al., 2010*). A Taj-tóban toxikus cianobaktériumot fedeztek fel, amely a többlet tápanyagterhelés hatására jelent meg (*Xu et al., 2010*).

Az antropogén nitrogén-oxidok emissziójának legfőbb okozója Kínában az üzemanyag fogyasztás, aminek a mennyisége évről évre folyamatosan nő. Ázsiában a nitrogén-oxidok összes kibocsátásának közel feléért önmagában Kína felelős (*Shi et al., 2014*). Ugyanakkor a mezőgazdaságból származó hatalmas műtrágya-felhasználás is nagyban hozzájárul a nitrogén és foszfor feldúsulásához (*Withers et al., 2014*).

4.2. Savas eső

Kínában, főleg a déli és keleti (*Ge et al.*, 2016) területeken a savas eső egy komoly probléma, ami az eddigiekhez hasonlóan a gyors ipari fejlődés és urbanizáció következtében alakult ki és vált gyakori jelenséggé (*Zhang et al.*, 2017). A savas eső alapvetően az antropogén kibocsátások miatt jön létre, amikor a kén-dioxid csapadékvízben oldódva kénsavat eredményez. Kínában különböző térségek között észrevehető különbségeket vélték felfedezni a csapadék pH értékekben. A déli részekben magasabb csapadék pH-t mértek, mint északon (*Zhang et al.*, 2017), ezt mutatja a dél-kínai területeken mért komoly mértékű savas ülepedés is (*Ge et al.*, 2016). Egy vizsgálat eredményei szerint a savasodás a növények klorofiltartalmát 6,8%-kal csökkentette (*Du et al.*, 2017). Ezen kívül azt is megfigyelték, hogy a lombhullató fák és zöltség, gyümölcsök sokkal érzékenyebben reagáltak a savas esőre, mint társaik. A savasodás korlátozza a növényzet és a talaj tápanyagfelvevő képességét, a növények növekedése lelassul, továbbá a hasznos mikroorganizmusok elpusztulnak (*Lu et al.*, 2015). Ezek a következmények pedig mind komoly károkat okoznak a mezőgazdaságban. Kínában ezért az egyik legjelentősebb környezeti kérdés a savas esők problémája, ehhez kapcsolódó politikai programot is indítottak, ami a kénvegyületek kibocsátását kívánta csökkenteni (*Ge et al.*, 2016). A program hatására 2010 és 2015 között a savas esővel érintett területek nagysága 40%-kal csökkent (*Zhang et al.*, 2017).

4.3. Szmog és homályosság

Hagyományosan kétféle szmogot különböztetünk meg: a London-, illetve a Los Angeles-típusút. A kettő közötti eltérést a szmog összetétele és a kialakulásának módja jelenti. A londoni szmog fő jellemzője a korom és kénvegyületek egyvelege a levegőben, ennek kialakulása főleg a téli évszakban jellemző, és a fűtésre, ipari tevékenységre vezethető vissza. A Los Angeles-féle szmog nyáron fordul elő, amikor fotokémiai úton ózon keletkezik. Mindkét esetben nagymértékű látásviszony romlás észlelhető.

Kínában megfigyelhető, hogy a szmog legfontosabb alkotói a finom részecskék, amelyek átmérője kisebb mint 2,5 mikrométer (*Yao et al.*, 2016). A fotokémiai eredetű légköri homály (*haze*) események során a PM_{2,5} koncentráció növekedése a látástávolság drasztikus csökkenését okozza, amely jelentős napi menettel is rendelkezik (*Aunan et al.*, 2018).

Ez a szmog nem sorolható be a London- és Los Angeles-típusokba, ugyanis az elsődleges és másodlagos aeroszol részecskék egyszerre vannak jelen az ózonnal, kén-dioxiddal, korommal és szerves részecskékkel (*Hallquist et al.*, 2016).

A kínai szmog fontos alkotóelemei a másodlagos szerves aeroszolok (SOA). Keletkezésük a légkörben oly módon jön létre, hogy a kibocsátott telítetlen illékony szerves vegyületek (VOC-ok) reakciói révén másodlagos szerves vegyület keletkezik, majd ebből finom részecskéjű SOA jön létre (*Lannuque et al.*, 2016). A közlekedésből számos elsődleges aeroszol és VOC kerül ki a levegőbe, amik SOA prekuzort tartalmaznak (*Tian*, 2016). A szerves prekuzorok származhatnak emberi tevékenységből, de szolgáltathatja a növényzet is. Így a folyamat csak részben szabályozható, ami a megelőzésben válhat fontossá (*McNeill*, 2019). Ezeknek a szmogos, légköri homályt okozó eseményeknek a kialakulása főleg az északi és keleti régiókat érinti. A homályosság fokozódik a téli fűtési szezon beköszöntekor (*Li and Zhang*, 2014). A rohamosan növekvő gépjárműhasználat azonban egész évben jelentős forrása a SOA részecskéknek (*Liu et al.*, 2016).

2013-ban számos esetben volt Pekingben $800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} koncentrációt meghaladó tartós szmog, ez 32-szer nagyobb, mint a WHO által meghatározott határérték (*Zhou et al.*, 2015). Egészségügyi szempontból elsősorban szív- és érrendszeri betegségek vezethetők vissza a szmog negatív hatásaira (*Zhou et al.*, 2015). A látásromlás akadályozza a földi és légi közlekedést, repülőjáratok késését vagy törlését idézi elő. Különösen súlyos szmoghelyzetek idején a munkába és iskolába járás korlátozása válik szükségessé (*Li and Zhang*, 2014).

5. Intézkedések

Az eddigi fejezetekben tárgyalt levegőszennyezés által generált környezeti, egészségügyi és társadalmi kihívások mind indokolják, hogy Kína lépéseket tegyen a levegőminőség javításával kapcsolatban. A levegőszennyezést érintő kérdések és megoldások minden szempontból prioritást élveznek az országban.

A levegőminőség az utóbbi években jelentős figyelmet kapott a nemzetközi és a nemzeti médiában, ugyanis a környezeti és egészségügyi hatások mellett súlyos gazdasági veszteséget is okoz a fennálló helyzet. A környezetszennyezés által a 2012-2013-as években okozott gazdasági veszteség a GDP közel 11%-át tette ki (*Wang et al.*, 2018), A rossz környezeti adottságok miatt beruházásokat és szakembereket is veszített a kínai gazdaság (*Hallquist et al.*, 2016). Végérvényben az ország környezetvédelmi problémáján túl egészen a politikai helyzetig elér a Kínát érintő levegőkörnyezeti kihívás, mivel az emberek jóléte sérül ezzel, ezáltal a kormány is gyengül, miután az emberek bizalmukat veszítik az országuk megfelelő fejlődésében (*Wei et al.*, 2017). A lakosság körében ugyanis egyre fokozódik a tiszta levegő iránti kereslet és elvárás (*Sun et al.*, 2016).

Kínában már több próbálkozás is elindult, de egészen 2005-ig ezek a kezdeményezések nem voltak célravezetők. Az első eredményesnek könyvelhető időszak a 2006-2012-es ciklus volt, ahol új eszközökkel és látásmóddal már képesek voltak elérni kezdetleges sikereket, például a kén-dioxid kibocsátásának a csökkentésében (*Jin et al.*, 2016). Ennek lépéseiből tartozott első körben, hogy átdolgozták és jelentősen megszigorították a levegőtisztaságvédelmi jogszabályokat. Bevezették az ipari emisszió ellenőrzését és kijelölték olyan zónákat, amely kiemelt odafigyelést és jobb levegőminőséget érdemel, mivel a lakosság közel 40%-a ezeken a területeken helyezkedik el. A légszennyezést érintő bírságok nagyságát is többszörösére emelték (*Pomázi*, 2009). Ebben az első időszakban Peking olyan intézkedéseket vezetett be az eddigiek mellé, amelyek a szennyezést helyettesítik tiszta tüzelőanyaggal. Egyes zónákban, erőművekben törekedtek a kénmentesítésre és porgyűjtésre, valamint jobb égetési technológiák alkalmazására (*Jin et al.*, 2016). Ugyanakkor szigorították a járművekből származó fajlagos kibocsátások szabályait is (*Feng and Liao*, 2016). Egy igen fontos motiváló erő volt a továbbiakban, hogy 2008-ban Peking rendezte az Olimpiát, ezért egy intézkedéscsomaggal is készültek „Blue Sky”, azaz „Kék Ég” projektnévvvel, amely célja az volt, hogy a levegőt a lehető legjobb mértékben megtisztítsák.

Ez nem csak Pekingre, hanem a környező városokra és területekre is vonatkozott. A PM koncentrációját szigorú ellenőrzés alatt tartották, a járművel használatát korlátozták, ipari és lakossági tevékenységgel kapcsolatban különböző mértékű tilalmakat vezettek be, például betiltották a szalmaégetést. Sajnos azonban ezen intézkedések kivitelezése nem működött az egész országban, és hosszabb ideig ezeken a területeken sem (Jin *et al.*, 2016). A kezdetleges jó irány nem volt elég, hogy jelentős javulás jelentkezzen, sőt, a fejlődés megrekedt, és a csökkenő tendencia megállt, és Kína továbbra is a legszennyezettebb országok egyike maradt.

Az évek során Kínában kialakult egy környezeti szabályozási rendszer, amely az ipari kibocsátókra és az új beruházásokra vonatkozik (Jin *et al.*, 2016):

1. Az építési beruházásokhoz környezeti hatásvizsgálatot kell készíteni.
2. Egy projekt során annak fő elemeivel kell megtervezni, megépíteni és üzembe helyezni, azokat a részeket, amelyek a szennyezés megelőzésére és ellenőrzésére szolgálnak.
3. Szennyezési díjak: ha az előírásokat meghaladó szennyező anyagot bocsátanak ki, azt a túllépést meg kell fizetni.
4. A városi környezet átfogó mennyiségi értékelése: súlyozott osztályozási rendszer, a környezetvédelem valamennyi aspektusát lefedő mutatók.
5. A szennyezőanyag kibocsátási engedély: a szennyezést okozó egységeknek az előírásoknak megfelelően, betartva azt kell a szennyezőanyagokat kibocsátaniuk.
6. A jogalkotó intézmények kötelezhetik a vállalatokat, hogy a megadott határidőn belül végezzék el a szükséges károk felszámolását, amely a szennyezésükből alakult.
7. Központi szennyezés ellenőrzés
8. A felelős vállalkozásoknak kötelességük nyomon követni az erőforrás-felhasználásaikat és a termelést a hulladékok termelése során. Ehhez mérten pedig jelentéseket kell készíteniük és ellenőrzéseket kell tartaniuk a megfelelő működés biztonságáért
9. Környezetvédelmi célfelelősségi rendszer: a helyi önkormányzatok felelőssége, hogy figyelemmel kísérje a környezetvédelem betartását.
10. Teljes kibocsátás csökkentése

Ezek közül pár pontnak a betartása a megszületésük után kevésbé nevezhető sikeresnek, de mindenképpen előrelépés, hogy Kína felismerte a helyzet komolyságát és lépéseket tett az ügyben kapcsolatosan.

Itt nem is állt meg a folyamat, a különböző kutatások és kimutatások a légszennyezéssel kapcsolatban, az egyre gyakoribb szmog helyzetek és katasztrófák 2013-ban (*Feng and Liao, 2016*), a halálozás megnövekedése további intézkedéseket követelt maga után. Fő okot az újbóli nekirugaskodásnak a PM_{2,5} válság váltotta ki, amikor 2013 január és február között több kínai tartományra kiterjedt egy súlyos szmogos köd. Ebben az időszakban a látástávolság rendkívül alacsony volt és a PM_{2,5} koncentráció pedig példátlanul magas (*Jin et al., 2016*).

Kínában jelenleg számos területen zajlanak a levegőminőség javítását célzó intézkedések. Kutatásokat folytatnak, hogy a városok képesek legyenek meghatározni, honnan származik, és milyen kémiai összetételű a légszennyezettségük (*Lu et al., 2016*), mivel ennek ismeretében könnyebb korlátokat szabni és terveket kialakítani újabb súlyos szmoghelyzet kialakulásakor. Igyekeznek az energiafelhasználásban is új útra térni, és a hatalmas szénfogyasztást részben nap-, szél- és vízenergiával helyettesíteni (*Li and Zhang, 2014*). Kína élen jár az alternatív energiatermelés fejlesztésében, de a szén kiváltása sok területen még nem kivitelezhető (*Jin et al., 2016*). Igyekeznek a járművek esetében is előrelépést elérni, mivel ez igen fontos szerepet játszik a mindennapi életben és a szennyezésben egyaránt. Ez egyelőre a régebbi járművek cseréjét, a fajlagos kibocsátás csökkentését és az elektromos autózás térnyerését jelenti. Több szabványt igyekeznek aktualizálni, beleértve a levegőminőség és az égéstermék-riasztási indexrendszereket, a kazánok és járművek kibocsátási normáit, az üzemanyag-minőségi előírásokat. Eközben kulcsfontosságú, hogy a levegőminőség ellenőrzése folyamatosan működjön az egységes szabványoknak megfelelően. Felismerték, hogy az ország levegőjét csak akkor lehet tisztán tartani, ha egy átfogó megfigyelési és modellezési rendszert alakítanak ki. A döntések irányításához fontos tudnunk, hogy milyen veszélyes szennyezőanyagok vannak jelen a légkörben és azok hogyan hatnak egymásra. Az összetett levegőkémiai folyamatok miatt ugyanis egy szennyezőanyag koncentrációja akár többszörösére nőhet egy elhibázott környezetvédelmi intézkedés hatására (*Kulmala, 2015*). Nanking város esetében például a csökkenő NO_x-kibocsátás okozza nyáron az ózonkoncentráció növekedését (*Ding et al., 2013*).

Kínában a mindennapi élet szempontjából az egyik legfontosabb előrejelzendő meteorológiai mennyiség a légszennyezettség. Ez mind a polgárok, mind a döntéshozók körében nagy figyelmet kapott már a kezdetekben is. A feladat nehézsége egyaránt származik a szennyezés kémiai összetettségéből, az emisszió ismeretének hiányából és az időjárás-előrejelzés bizonytalanságából. Ezért elkezdtek egy, az időjárási nowcastinghoz hasonló korai figyelmeztető rendszer kiépítését, amely a levegő szennyezettségét figyeli, és a mérések, valamint rövid időtávú modellek alapján riasztásokat küld. Ezt eddig 6 nagyobb városban (Csengtú, Hszian, Nanning, Harbin, Kanton, Csungking) tesztelték, ahol a PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂, CO és O₃ szennyezőanyagokat mérték (*Li and Zhu, 2018*).

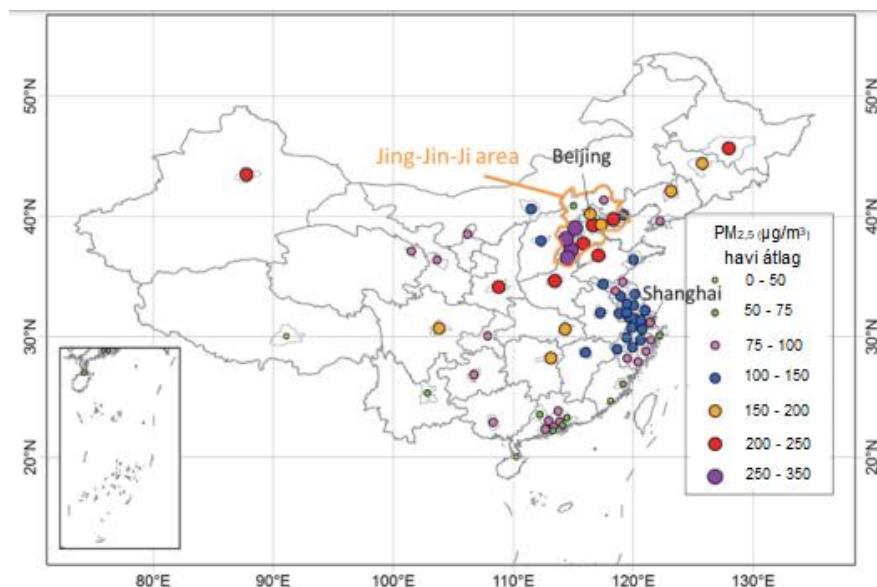
6. A 2013-2014-es szmoghelyzetek

A 2013-as és 2014-es években különösen súlyos szmoghelyzetek fordultak elő a téli és őszi hónapokban. Rengeteg várost érintett a sűrű és nagyon káros szmog, függetlenül attól, hogy mely település vagy környék tehetett főleg annak kialakulásáról. Az északkeleti régió állt a legnagyobb szennyezettség alatt, a fővárost körüli úgynevezett Csing-Csin-Csi öv (*Jiang et al.*, 2015) és a Hejlungcsiang tartomány (*Wei et al.*, 2017). Ez azt jelenti, hogy körülbelül 400 millió embernek az egészségét veszélyeztette súlyosan az adott periódus (*Cheng et al.*, 2016), valamint önmagát a területet is, mivel ezeknek a régióknak van a legfejlettebb gazdaságuk.

Mindhárom esetben a vizsgált időszakban a kialakult köd és szmog az eddigiekhez hasonlóan finomszemcsés szennyeződésekből tevődött össze, és ezeknek a fő összetevője a szulfát volt. A modellek nem tudták előre jelezni a magas szennyeződési csúcsokat, mivel a gyenge, de jelen lévő téli fotokémiai aktivitás bonyolult levegőkémiai helyzetet teremtett. Emellett a meteorológiai paraméterek sem voltak kedvezők, a planetáris határréteg tartósan alacsony maradt, ezáltal a szennyezés kisebb térfogatban tudott hígulni (*Cheng et al.*, 2016), továbbá a relatív páratartalom magas értékeket mutatott, míg a szélsébség kicsi volt.

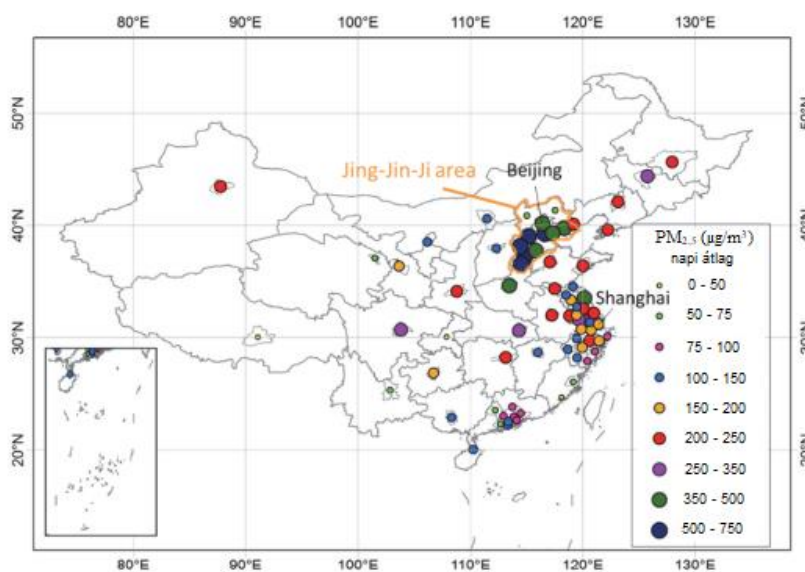
6.1. 2013. január, október

2013 januárban a napi átlagos $PM_{2,5}$ érték $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ körüli volt a Csing-Csin-Csi régióban (*Jiang et al.*, 2015). A szennyezettség fő forrása a fűtésből származó emisszió volt (*Jiang et al.*, 2015). Az ázsiai téli monszunhoz kötődő gyenge délies szél erősítette az inverziót, és a régióban tartotta a szennyezett levegőt. Ezen túl a déli szél, amely a tenger felől érkezett több vizet szállított (*Cheng et al.*, 2016). A magas relatív páratartalom mellett a részecskék könnyebben tudnak nedvességet felvenni és ezáltal nőni. 2013 januárjában a relatív páratartalom nagysága az elmúlt évekhez képest magasabb volt (*Jiang et al.*, 2015).



9. ábra: $PM_{2,5}$ koncentráció az egyes kínai városokban, a 2013-as január hónap havi átlag bontásában (Jiang et al., 2015)

A 9. ábra mutatja, hogy mely területeken volt mérhető $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fölötti havi átlagos $PM_{2,5}$ koncentráció a januári hónapban. Több néhány napos epizód zajlott le januárban, amikor jóval magasabb értékeket mértek. A legrosszabb helyzet a hónap közepén volt tizedike és tizenhatodika között. A legszennyezettebb nap pedig január 12-e, amikor a napi átlagos $PM_{2,5}$ érték meghaladta a $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -t, egyes helyeken pedig elérte a $700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -t (10. ábra).



10. ábra: $PM_{2,5}$ koncentráció napi átlaga az egyes kínai városokban, 2013. január 12-én (Jiang et al., 2015)

Ugyanakkor megfigyelhető két kisebb pont a terület legészakibb részén, ahol nem kiugró a szennyezettség mértéke. Ennek oka a domborzat, amely megakadályozta, hogy nagy mennyiségű szennyezőanyag kerüljön be a város levegőjébe (*Jiang et al.*, 2015). Mindazonáltal mind a két ábrán kirajzolódik az a pár nagyobb öv, amely az eddigiek során is kiemelésre került. Sanghaj városa és környéke a Jangce folyó deltájában, a PRD régió Hongkong várossal, valamint az ország beljebb eső részében a Szecsuan-medence.

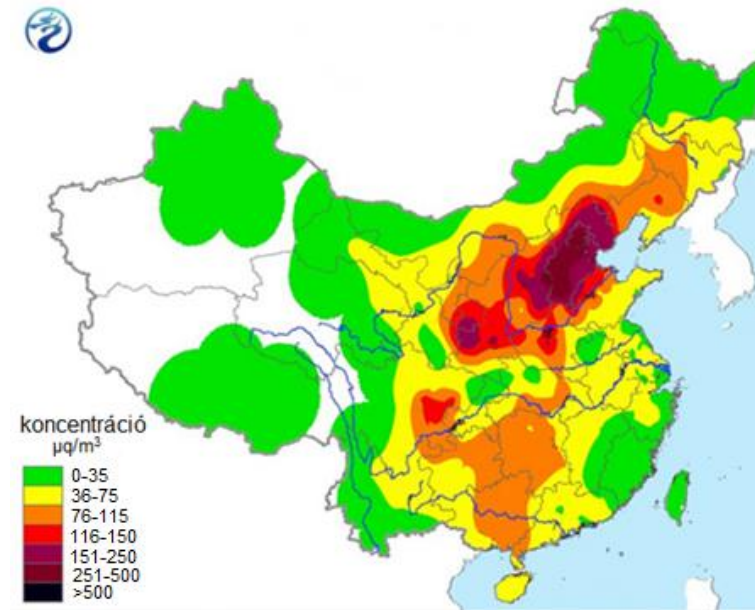
A 2013-as év második felében ősszel az októberi hónapban ismét kialakultak súlyos szmoggal, köddel szennyezett időszakok. Ennek nagysága oly mértékű volt, hogy Kína közel kétharmada volt ezáltal érintett (*Ding et al.*, 2016). Októberben a napi $PM_{2,5}$ szintje már meghaladta egyes esetekben az $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -t is. Ebben az időszakban is főleg az északkeleti régiókat érintette komolyan az eset, többek között Harbin városát és a Hejlungcsiang tartományt (*Wei et al.*, 2017). A súlyos szmogot ismét egy tartósan szélcsendes, inverzós időjárás eredményezte (*Huang et al.*, 2011).

6.2. 2014. január, október

Az előző évhez hasonlóan 2014 januárjában ismét kialakult az északkeleti Tiencsin-Hopej régióban egy több szakaszos ködös, szmogos esemény. A legfontosabb kiváltó ok a fűtési célú lakossági szénégetés volt (*Chen et al.*, 2011), amihez hozzájárult a gyenge déli szél és a viszonylag magas relatív páratartalom (*X. Li et al.*, 2018). A mért havi átlagok 160 - $330 \mu\text{g}/\text{m}^3$ között voltak, amely bár alacsonyabb sok másik hasonló helyzethez képest, a szervezet és környezet számára így is hatalmas terhelést jelentett.

2014 őszén is kialakult 4 olyan epizód, amikor szélsőségesen homályos napok következtek be Kínában. Fő területe továbbra is az északkeleti városok voltak. Az októberi időszakra jellemző volt, hogy az Észak-Kínai Alföldön egy gyenge magasnyomású rendszer fejtette ki a hatását, aminek következményeként gyenge szél és egy nagyon stabil, alig változó időjárási helyzet alakult ki a térségben. Ugyanakkor Pekingben és a közelében ősszel a relatív nedvesség magas volt (*Yang et al.*, 2015). Ez azért kiemelendő, mert már az előző esetekben is megfigyelhettük, hogy ez a meteorológiai paraméter is kedvezően járul hozzá a homályos események kialakulásához.

Ráadásul a különböző mezőgazdasági munkák, főleg az őszi betakarítást követő biomassza égetés igen nagy mennyiségben bocsátott ki aeroszol részecskéket (Yang et al., 2015). A 2014-es őszi időszakban a legmagasabb napi átlagos $PM_{2,5}$ koncentráció $500-700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ között volt Hopej tartományban. Ezt a térképen (11. ábra) a lila terület mutatja, amely a már ismert pekingi Tiencsin-Hopej régiót is magába foglalja. A kedvezőtlen helyzet nem csak a köd illetve szmog kialakulásának a helyét sújtotta, hanem befolyásolta a délebbi, délnyugati területeket is (Yang et al., 2015).



11. ábra: A 2014-es év október 9-10 közötti átlagos $PM_{2,5}$ koncentráció eloszlása (Yang et al., 2015)

Összefoglalás

Dolgozatomban Kína levegőszennyezettségét és annak különböző hatásait vizsgáltam meg. A szennyezés összetétele már önmagában magyarázat arra, hogy miért is fontos foglalkozni a témával, ugyanis aeroszol részecskék és gáz halmazállapotú anyagok bonyolult keveréke okoz károkat az ország számára.

A nagymértékű légszennyezés kihat a környezetre és befolyásolja például a csapadékot is, amelynek savassága és nitrogéntartalma a termést, a vizet és növényzetet károsítja. Szerepet játszik a szmog képződésében, amelyben rendkívül magas, $PM_{2,5}$ esetében több száz $\mu g/m^3$ -t elérő koncentrációk figyelhetők meg. Számos tanulmány támasztja alá a levegőszennyezés emberi szervezetre gyakorolt hatását, amely emberek milliót érinti napi szinten. Kapcsolat van a légszennyező anyagok és az egyes keringési betegségek, stroke, tüdőrák és más légúti betegségek között. Az elmúlt években komoly próbálkozások történtek a légszennyezés megállításával és csökkentésével kapcsolatosan, de eddig főleg rövidtávú eredményekről lehet beszámolni.

Országtól függetlenül a légszennyezés és annak hatásai mindenkit érintenek, ez ellen pedig védekezni és megoldást találni kell. Különösen igaz ez egy olyan ország esetében, mint Kína, ahol az élet minden területén látványosan jelentkezik a levegőszennyezés negatív hatása.

Köszönetnyilvánítás

Hatalmas köszönettel tartozom témavezetőmnek, Leelőssy Ádámnak, aki már a témaválasztás nehézségeiben is nagy segítségemre volt és segített egy érdekes és hozzám illő anyagot találni. Hasznos és pontos tanácsaival pedig igazán könnyedén el tudtam igazodni a témában.

Meg kell köszönnöm barátomnak, ugyanis számos alkalommal mentett ki informatikai tudásával a bajból és nyújtott támaszt, amikor kellett.

Irodalomjegyzék

- Apte, J.S., Marshall, J.D., Cohen, A.J., and Brauer, M., 2015: Addressing Global Mortality from Ambient PM_{2.5}. *Environmental Science & Technology*, 49, 8057–8066. doi:10.1021/acs.est.5b01236
- Aunan K., Hansen M.H., and Wang S., 2018: Introduction: Air Pollution in China. *The China Quarterly*, 234, 279–298. doi:10.1017/S0305741017001369
- Chen, R., Pan, G., Zhang, Y., Xu, Q., Zeng, G., Xu, X., Chen, B., and Kan, H., 2011: Ambient carbon monoxide and daily mortality in three Chinese cities: The China Air Pollution and Health Effects Study (CAPES). *Science of The Total Environment*, 409, 4923–4928. doi:10.1016/j.scitotenv.2011.08.029
- Cheng, Y., Zheng, G., Wei, C., Mu, Q., Zheng, B., Wang, Z., Gao, M., Zhang, Q., He, K., Carmichael, G., Pöschl, U., and Su, H., 2016: Reactive nitrogen chemistry in aerosol water as a source of sulfate during haze events in China. *Science Advances*, 2, e1601530. doi:10.1126/sciadv.1601530
- Ding, A.J., Fu, C.B., Yang, X.Q., Sun, J.N., Zheng, L.F., Xie, Y.N., Herrmann, E., Nie, W., Petäjä, T., Kerminen, V.-M., and Kulmala, M., 2013: Ozone and fine particle in the western Yangtze River Delta: an overview of 1 yr data at the SORPES station. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 5813–5830. doi:https://doi.org/10.5194/acp-13-5813-2013
- Ding, A.J., Huang, X., Nie, W., Sun, J.N., Kerminen, V.-M., Petäjä, T., Su, H., Cheng, Y.F., Yang, X.-Q., Wang, M.H., Chi, X.G., Wang, J.P., Virkkula, A., Guo, W.D., Yuan, J., Wang, S.Y., Zhang, R.J., Wu, Y.F., Song, Y., Zhu, T., Zilitinkevich, S., Kulmala, M., and Fu, C.B., 2016: Enhanced haze pollution by black carbon in megacities in China. *Geophysical Research Letters*, 43, 2873–2879. doi:10.1002/2016GL067745
- Dr. Várkonyi, T., 1977: *A levegőszennyeződés*. Műszaki könyvkiadó, Budapest.
- Du, E., Dong, D., Zeng, X., Sun, Z., Jiang, X., and de Vries, W., 2017: Direct effect of acid rain on leaf chlorophyll content of terrestrial plants in China. *Science of The Total Environment*, 605–606, 764–769. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.06.044
- Dura G., and Pándics T., 2009.: Háttéranyag a levegő szállópor szennyezetségének 4.
- Feng, L., and Liao, W., 2016: Legislation, plans, and policies for prevention and control of air pollution in China: achievements, challenges, and improvements. *Journal of Cleaner Production, Preventing Smog Crises* 112, 1549–1558. doi:10.1016/j.jclepro.2015.08.013
- Feng, S., Gao, D., Liao, F., Zhou, F., and Wang, X., 2016a: The health effects of ambient PM_{2.5} and potential mechanisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 128, 67–74. doi:10.1016/j.ecoenv.2016.01.030
- Feng, S., Gao, D., Liao, F., Zhou, F., and Wang, X., 2016b: The health effects of ambient PM_{2.5} and potential mechanisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 128, 67–74. doi:10.1016/j.ecoenv.2016.01.030
- Fu, J., Jiang, D., Lin, G., Liu, K., and Wang, Q., 2015: An ecological analysis of PM_{2.5} concentrations and lung cancer mortality rates in China. *BMJ Open*, 5, e009452. doi:10.1136/bmjopen-2015-009452
- Fu, P., Guo, X., Cheung, F.M.H., and Yung, K.K.L., 2019: The association between PM_{2.5} exposure and neurological disorders: A systematic review and meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 655, 1240–1248. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.11.218

- Ge, B., Wang, Z., Gbaguidi, A.E., and Zhang, Q., 2016: Source Identification of Acid Rain Arising over Northeast China: Observed Evidence and Model Simulation. *Aerosol and Air Quality Research*, 16, 1366–1377. doi:10.4209/aaqr.2015.05.0294
- Godin-Beekmann, S., 2017: Stratospheric and Tropospheric Ozone, In: International Encyclopedia of Geography. American Cancer Society, 1–6. doi:10.1002/9781118786352.wbieg0671
- Goldberg, M.S., Labrèche, F., Weichenthal, S., Lavigne, E., Valois, M.-F., Hatzopoulou, M., Van Ryswyk, K., Shekarrizfard, M., Villeneuve, P.J., Crouse, D., and Parent, M.-É., 2017: The association between the incidence of postmenopausal breast cancer and concentrations at street-level of nitrogen dioxide and ultrafine particles. *Environmental Research*, 158, 7–15. doi:10.1016/j.envres.2017.05.038
- Guenther, A., Hewitt, C.N., Erickson, D., Fall, R., Geron, C., Graedel, T., Harley, P., Klinger, L., Lerdau, M., Mckay, W.A., Pierce, T., Scholes, B., Steinbrecher, R., Tallamraju, R., Taylor, J., and Zimmerman, P., 1995: A global model of natural volatile organic compound emissions. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 100, 8873–8892. doi:10.1029/94JD02950
- Guo, Y., Zeng, H., Zheng, R., Li, S., Barnett, A.G., Zhang, S., Zou, X., Huxley, R., Chen, W., and Williams, G., 2016: The association between lung cancer incidence and ambient air pollution in China: A spatiotemporal analysis. *Environmental Research*, 144, 60–65. doi:10.1016/j.envres.2015.11.004
- Hallquist M., Munthe J., Hu M., Wang T., Chan C.K., Gao J., Boman J., Guo S., Hallquist Å.M., Mellqvist J., Moldanova J., Pathak R.K., Pettersson J.B., Pleijel H., Simpson D., and Thynell M., 2016: Photochemical smog in China: scientific challenges and implications for air-quality policies. *National Science Review*, 3, 401–403. doi:10.1093/nsr/nww080
- Hamra, G.B., Laden, F., Cohen, A.J., Raaschou-Nielsen, O., Brauer, M., and Loomis, D., 2015: Lung Cancer and Exposure to Nitrogen Dioxide and Traffic: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Environmental Health Perspectives*, 123, 1107–1112. doi:10.1289/ehp.1408882
- Hamra Ghassan B., Guha Neela, Cohen Aaron, Laden Francine, Raaschou-Nielsen Ole, Samet Jonathan M., Vineis Paolo, Forastiere Francesco, Saldiva Paulo, Yorifuji Takashi, and Loomis Dana, 2014: Outdoor Particulate Matter Exposure and Lung Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Environmental Health Perspectives*, 122, 906–911. doi:10.1289/ehp/1408092
- Huang, L., Yuan, C.-S., Wang, G., and Wang, K., 2011: Chemical characteristics and source apportionment of PM10 during a brown haze episode in Harbin, China. *Particuology*, 9, 32–38. doi:10.1016/j.partic.2010.07.022
- Jiang, J., Zhou, W., Cheng, Z., Wang, S., He, K., and Hao, J., 2015: Particulate Matter Distributions in China during a Winter Period with Frequent Pollution Episodes (January 2013). *Aerosol and Air Quality Research*, 15, 494–503. doi:10.4209/aaqr.2014.04.0070
- Jin, Y., Andersson, H., and Zhang, S., 2016: Air Pollution Control Policies in China: A Retrospective and Prospects. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13, 1219. doi:10.3390/ijerph13121219
- Kan, H., Chen, R., and Tong, S., 2012: Ambient air pollution, climate change, and population health in China. *Environment International*, 42, 10–19. doi:10.1016/j.envint.2011.03.003
- Krupa, S., McGrath, M.T., Andersen, C.P., Booker, F.L., Burkey, K.O., Chappelka, A.H., Chevone, B.I., Pell, E.J., and Zilinskas, B.A., 2001: Ambient Ozone and Plant Health. *Plant Disease*, 85, 4–12. doi:10.1094/PDIS.2001.85.1.4

- Kulmala M., 2015: Atmospheric chemistry: China's choking cocktail. *Nature News*, 526, 497. doi:10.1038/526497a
- Lagzi, I., Mészáros, R., Gelybó, G., and Leelőssy, Á., 2013: *Atmospheric Chemistry*. Budapest.
- Lannuque, V., Camredon, M., Couvidat, F., La, Y.S., Valorso, R., Hodzic, A., Madronich, S., Bessagnet, B., and Aumont, B., 2016: Representation of SOA formation in air quality models: a new parameterization developed on explicit simulations. European Aerosol Conference (EAC 2016).
- Li, C., and Zhu, Z., 2018: Research and application of a novel hybrid air quality early-warning system: A case study in China. *Science of The Total Environment*, 626, 1421–1438. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.01.195
- Li, H., Wu, J., Wang, A., Li, X., Chen, S., Wang, T., Amsalu, E., Gao, Q., Luo, Y., Yang, X., Wang, W., Guo, J., Guo, Y., and Guo, X., 2018: Effects of ambient carbon monoxide on daily hospitalizations for cardiovascular disease: a time-stratified case-crossover study of 460,938 cases in Beijing, China from 2013 to 2017. *Environmental Health*, 17. doi:10.1186/s12940-018-0429-3
- Li, M., and Zhang, L., 2014: Haze in China: Current and future challenges. *Environmental Pollution*, 189, 85–86. doi:10.1016/j.envpol.2014.02.024
- Li, X., Wu, J., Elser, M., Feng, T., Cao, J., El-Haddad, I., Huang, R., Tie, X., Prévôt, A.S.H., and Li, G., 2018: Contributions of residential coal combustion to the air quality in Beijing–Tianjin–Hebei (BTH), China: a case study. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18, 10675–10691. doi:10.5194/acp-18-10675-2018
- Liu, C., Yin, P., Chen, R., Meng, X., Wang, L., Niu, Y., Lin, Z., Liu, Y., Liu, J., Qi, J., You, J., Kan, H., and Zhou, M., 2018: Ambient carbon monoxide and cardiovascular mortality: a nationwide time-series analysis in 272 cities in China. *The Lancet Planetary Health*, 2, e12–e18. doi:10.1016/S2542-5196(17)30181-X
- Liu, J., Han, Y., Tang, X., Zhu, J., and Zhu, T., 2016: Estimating adult mortality attributable to PM 2.5 exposure in China with assimilated PM 2.5 concentrations based on a ground monitoring network. *Science of The Total Environment*, 568, 1253–1262. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.05.165
- Lu, F., Xu, D., Cheng, Y., Dong, S., Guo, C., Jiang, X., and Zheng, X., 2015: Systematic review and meta-analysis of the adverse health effects of ambient PM2.5 and PM10 pollution in the Chinese population. *Environmental Research*, 136, 196–204. doi:10.1016/j.envres.2014.06.029
- Lu, X., Fung, J.C.H., and Wu, D., 2015: Modeling wet deposition of acid substances over the PRD region in China. *Atmospheric Environment*, 122, 819–828. doi:10.1016/j.atmosenv.2015.09.035
- Lu, X., Yao, T., Li, Y., Fung, J.C.H., and Lau, A.K.H., 2016: Source apportionment and health effect of NOx over the Pearl River Delta region in southern China. *Environmental Pollution*, 212, 135–146. doi:10.1016/j.envpol.2016.01.056
- Lv, B., Hu, Y., Chang, H.H., Russell, A.G., and Bai, Y., 2016: Improving the Accuracy of Daily PM2.5 Distributions Derived from the Fusion of Ground-Level Measurements with Aerosol Optical Depth Observations, a Case Study in North China. *Environmental Science & Technology*, 50, 4752–4759. doi:10.1021/acs.est.5b05940
- McNeill, V.F., 2019: Addressing the Global Air Pollution Crisis: Chemistry's Role. *Trends in Chemistry, Special Issue: Big Questions in Chemistry 1*, 5–8. doi:10.1016/j.trechm.2019.01.005
- Polivka B.J., 2018: The Great London Smog of 1952. *AJN The American Journal of Nursing*, 118, 57. doi:10.1097/01.NAJ.0000532078.72372.c3

- Pomázi I., 2009: Kína környezetvédelmi problémái, környezetpolitikája és intézményrendszere. *Statistikai Szemle*, 21.
- Pongrácz, R., Bartholy, J., Dezső, Z., Gelybó, G., Kern, A., and Radics, K., 2013: *Alkalmazott és városklimatológia*. Budapest.
- Pregun, C., and Juhász, C., n.d.: Az eutrofizáció folyamata, In: *Vízminőségvédelem*. Debrecen.
- Reboul, C., Boissière, J., André, L., Meyer, G., Bideaux, P., Fouret, G., Feillet-Coudray, C., Obert, P., Lacampagne, A., Thireau, J., Cazorla, O., and Richard, S., 2017: Carbon monoxide pollution aggravates ischemic heart failure through oxidative stress pathway. *Scientific Reports*, 7, 39715. doi:10.1038/srep39715
- Rohde, R.A., and Muller, R.A., 2015: Air Pollution in China: Mapping of Concentrations and Sources. *PLOS ONE*, 10, e0135749. doi:10.1371/journal.pone.0135749
- Shah, A.S.V., Langrish, J.P., Nair, H., McAllister, D.A., Hunter, A.L., Donaldson, K., Newby, D.E., and Mills, N.L., 2013: Global association of air pollution and heart failure: a systematic review and meta-analysis. *Lancet (London, England)*, 382, 1039–1048. doi:10.1016/S0140-6736(13)60898-3
- Shi, Y., Xia, Y., Lu, B., Liu, N., Zhang, L., Li, S., and Li, W., 2014: Emission inventory and trends of NO_x for China, 2000–2020. *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*, 15, 454–464. doi:10.1631/jzus.A1300379
- Song, C., He, J., Wu, L., Jin, T., Chen, X., Li, R., Ren, P., Zhang, L., and Mao, H., 2017: Health burden attributable to ambient PM_{2.5} in China. *Environmental Pollution*, 223, 575–586. doi:10.1016/j.envpol.2017.01.060
- Sun, C., Yuan, X., and Xu, M., 2016: The public perceptions and willingness to pay: from the perspective of the smog crisis in China. *Journal of Cleaner Production, Preventing Smog Crises* 112, 1635–1644. doi:10.1016/j.jclepro.2015.04.121
- Tian, F., 2016: Summertime ozone formation in Xi'an and surrounding areas, China - ProQuest.
- van Beusekom, J.E.E., 2018: Eutrophication, In: *Handbook on Marine Environment Protection : Science, Impacts and Sustainable Management* (eds. Salomon, M., and Markus, T.). Springer International Publishing, Cham, 429–445. doi:10.1007/978-3-319-60156-4_22
- Wang, L., Zhang, F., Pilot, E., Yu, J., Nie, C., Holdaway, J., Yang, L., Li, Y., Wang, W., Vardoulakis, S., and Krafft, T., 2018: Taking Action on Air Pollution Control in the Beijing-Tianjin-Hebei (BTH) Region: Progress, Challenges and Opportunities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15. doi:10.3390/ijerph15020306
- Wei, J., Zhan, W., Guo, X., and Marinova, D., 2017: Public attention to the great smog event: a case study of the 2013 smog event in Harbin, China. *Natural Hazards*, 89, 923–938. doi:10.1007/s11069-017-3000-6
- WHO, 2016: *WHO | Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*.
- Withers, P., Neal, C., Jarvie, H., and Doody, D., 2014: Agriculture and Eutrophication: Where Do We Go from Here? *Sustainability*, 6, 5853–5875. doi:10.3390/su6095853
- Xing, Y.-F., Xu, Y.-H., Shi, M.-H., and Lian, Y.-X., 2016: The impact of PM_{2.5} on the human respiratory system. *Journal of Thoracic Disease*, 8, 6.
- Xu, H., Paerl, H.W., Qin, B., Zhu, G., and Gao, G., 2010: Nitrogen and phosphorus inputs control phytoplankton growth in eutrophic Lake Taihu, China. *Limnology and Oceanography*, 55, 420–432. doi:10.4319/lo.2010.55.1.0420
- Yan, D., Lei, Y., Shi, Y., Zhu, Q., Li, L., and Zhang, Z., 2018: Evolution of the spatiotemporal pattern of PM_{2.5} concentrations in China – A case study from the Beijing-Tianjin-

- Hebei region. *Atmospheric Environment*, 183, 225–233. doi:10.1016/j.atmosenv.2018.03.041
- Yang, R., Hayashi, K., Zhu, B., Li, F., and Yan, X., 2010: Atmospheric NH₃ and NO₂ concentration and nitrogen deposition in an agricultural catchment of Eastern China. *Science of The Total Environment*, 408, 4624–4632. doi:10.1016/j.scitotenv.2010.06.006
- Yang, Y.R., Liu, X.G., Qu, Y., An, J.L., Jiang, R., Zhang, Y.H., Sun, Y.L., Wu, Z.J., Zhang, F., Xu, W.Q., and Ma, Q.X., 2015: Characteristics and formation mechanism of continuous hazes in China: a case study during the autumn of 2014 in the North China Plain. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15, 8165–8178. doi:10.5194/acp-15-8165-2015
- Yao, L., Yang, L., Yuan, Q., Yan, C., Dong, C., Meng, C., Sui, X., Yang, F., Lu, Y., and Wang, W., 2016: Sources apportionment of PM_{2.5} in a background site in the North China Plain. *Science of The Total Environment*, 541, 590–598. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.09.123
- Zhang, G., Liu, D., He, X., Yu, D., and Pu, M., 2017: Acid rain in Jiangsu province, eastern China: Tempo-spatial variations features and analysis. *Atmospheric Pollution Research*, 8, 1031–1043. doi:10.1016/j.apr.2017.02.001
- Zhang, Q., Qiu, Z., Chung, K.F., and Huang, S.-K., 2015: Link between environmental air pollution and allergic asthma: East meets West. *Journal of Thoracic Disease*, 7, 14–22. doi:10.3978/j.issn.2072-1439.2014.12.07
- Zheng, N., Chan, K.L., Xie, P., Qin, M., Ling, L., Wu, F., and Hu, R., 2018: Observations of atmospheric trace gases in China using a compact LED long path DOAS system. *Atmospheric Pollution Research*, 9, 379–387. doi:10.1016/j.apr.2017.10.004
- Zhou, M., He, G., Fan, M., Wang, Z., Liu, Yang, Ma, J., Ma, Z., Liu, J., Liu, Yunning, Wang, L., and Liu, Yuanli, 2015: Smog episodes, fine particulate pollution and mortality in China. *Environmental Research*, 136, 396–404. doi:10.1016/j.envres.2014.09.038

Internetes források:

[1 - numbeo.com]

<https://www.numbeo.com/pollution/rankings.jsp>

[2 - old.wordtravels.com]

<http://old.wordtravels.com/Travelguide/Countries/China/Map>

[3 - ntrs.nasa.gov]

<https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20160009121>

[4 - airnow.gov]

<https://airnow.gov/index.cfm?action=airnow.calculator>

[5 - aqicn.org]

<http://aqicn.org/map/world/cn/>

Függelék

A dolgozatban szereplő kínai földrajzi nevek pinyin (nemzetközi) és magyar (népszerű) átírása.

Pinyin	Magyar		
Beijing	Pe(j)king	Jinan	Csinan
Chengdu	Csengtu	Handan	Handan
Chongqing	Csungking	Shijiazhuang	Sicsiacsuang
Dalian	Talien	Langfang	Langfang
Guangzhou	Kuangcsou (Kanton)	Shenyang	Senjang
Hebei	Hopej	Yangtze	Jangce
Hengshui	Hengsuj	Shanghai	Sanghaj
Lanzhou	Lancsou	Zhu Jiang	Csu-csiang (Gyöngy- folyó)
Nanjing	Nanking	Sichuan	Szecsuan
Qingdao	Csingtao	Shenzhen	Sencsen
Qinhuandao	Csinhuangtao	Nanning	Nanning
Tianjin	Tiencsin	Harbin	Harbin
Wuhan	Vuhan	Jing-Jin-Ji	Csing-Csin-Csi
Xi'an	Hszian	Heilongjiang	Hejlungcsiang
Xingtai	Hszingtaj	Shandong	Santung
Zhengzhou	Csengcsou	Liaoning	Liaoning
Baoding	Paoting		