

Miskolci Egyetem

Műszaki Anyagtudományi Kar

Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola



MISKOLCI
E G Y E T E M

PM₁₀ szilárd részecskék forrás-hozzárendelése és a szmoghelyzet elemzése az
Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat adatai alapján

Doktori értekezés

Készítette:

Uramné Lantai Katalin

okleveles kohómérnök

Tudományos témavezető:

Dr. Palotás Árpád Bence, egyetemi tanár

Miskolc

2016.

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés	4
2	A légszennyezésről általánosságban	6
2.1	A légszennyezés forrásai	7
2.2	Európai uniós szabályozások, az EEA és a WHO tevékenységei	7
2.3	Levegővédelemre vonatkozó nemzetközi egyezmények és jegyzőkönyvek	9
3	A légköri aeroszolok, mint kritikus légszennyező anyagok	11
3.1	A légköri aeroszolok definíciója, képződése, tulajdonságai	11
3.2	A légköri aeroszolok forrásai	12
4	Szilárd részecskék által okozott Légszennyezés, és légszennyezettségi helyzetkép	13
4.1	Szilárd részecske légszennyezés és légszennyezettség a világon	13
4.2	Az Európai Unió légszennyezési trendek.....	16
4.3	Az Európai Unió tagállamainak PM ₁₀ trendjei	17
4.4	Magyarországi légszennyezési és légszennyezettségi trendek.....	22
4.4.1	A légszennyezés alakulása	22
4.4.2	A légszennyezettség alakulása	25
4.4.3	Immissziós trendek a Sajó völgye zónában.....	27
5	Levegőminőség javítására szolgáló intézkedési programok	32
5.1	PM ₁₀ csökkentés ágazatközi intézkedési program	32
5.2	Sajó völgye zóna intézkedési program	33
6	Légköri aeroszol forrásazonosítása	34
6.1	Légköri aeroszol forrásazonosítására alkalmazott eljárások	35
6.2	Példa az egyes forrásazonosítási módszerekre	36
6.3	Levegőkémiai modellek	40
7	Adatelemzés	43
7.1	Az adatok forrása	43
7.2	Jogszabályi háttér	45
7.3	Az adatok elemzése	46
7.3.1	A vizsgált terület bemutatása	47
7.3.1.1	Ipari emissziók.....	47
7.3.1.2	Lakossági emissziók	48
7.3.1.3	Közlekedésből származó emissziók	49
7.3.1.4	Meteorológia.....	49
7.3.1.5	Egyéb tényezők.....	50
7.3.2	Hosszútávú adatsorok elemzése	51
7.3.3	Rövidtávú adatsorok elemzése 2009-2014 között.....	65
7.3.3.1	2009. 01. 03. – 01. 24. közötti szmoghelyzet	66
7.3.3.2	2010. 01. 13. – 02. 21. közötti szmoghelyzet	68
7.3.3.3	2011. 01. 26. – 02. 12. közötti szmoghelyzet	70
7.3.3.4	2012. 01. 23. – 02. 25. közötti szmoghelyzet	71
7.3.3.5	2013. 01. 07. – 01. 31. közötti szmoghelyzet	72
7.3.3.6	2014. 01. 25. – 02. 10. közötti szmoghelyzet	73
7.3.4	Egy adott szmoghelyzet részletes elemzése	76
8	Az elért eredmények hasznosításának lehetőségei.....	87
9	Összefoglalás	88
10	Summary	89
11	Új tudományos eredmények.....	90
12	Irodalom	92

12.1	Szakirodalom.....	92
12.2	A disszertáció témakörében készült saját publikációk jegyzéke.....	99
12.2.1	Szakfolyóirat	99
12.2.2	Egyéb folyóirat	99
12.2.3	Konferencia kiadvány	100
12.2.4	Kézirat, tanulmány	100
13	Ábrajegyzék	101
14	Táblázatjegyzék	104
15	Mellékletek	106

1 BEVEZETÉS

A légszennyezés káros az emberi egészségre és a környezetre. Európában az elmúlt évtizedekben számos légszennyező anyag kibocsátása jelentősen csökkent, így a régió levegőjének minősége javult. A légszennyező anyagok koncentrációja azonban még mindig túl nagy és továbbra is vannak levegőminőséggel kapcsolatos megoldandó problémák. Európa népességének jelentős része olyan helyeken – főleg városokban – él, ahol időnként bekövetkezik egyes levegőminőségi határértékek túllépése: az ózon, a nitrogén-dioxid és a szilárd részecske (ez a mindennapi szóhasználatban szállóporként ismert) (PM) jelentette szennyezés súlyos egészségügyi kockázatot jelent.

A légszennyezés helyi jellegű ugyan, valójában azonban egész Európát érintő probléma.

Európában jelenleg két szennyezőanyag, a szilárd részecske két méretfrakciója (10 mikrométer alatti frakció: PM₁₀, és 2,5 mikrométer alatti frakció: PM_{2,5}) és a talaj menti ózon a legjelentősebb az egészségügyi hatások tekintetében.

A hosszú távú és nagyfokú expozíció különféle egészségügyi hatásokat okozhat, a légzőszervrendszer kisebb károsodásaitól kezdve egészen a korai elhalálozásig. Az elmúlt években Európa városi népességének akár 40%-át is érthette a környezetben lévő, az EU által az emberi egészség védelme érdekében felállított határértékeinél nagyobb arányban koncentrálódó szilárd részecske [1]. A PM_{2,5} frakció a becslések szerint az EU-ban több mint nyolc hónappal csökkenti a várható élettartamot [2] és több betegség típus okozójaként tartják számon [3], [4], [5], [6], [7]. A szennyezett levegőjű városokban a halálozás 15-20%-kal nagyobb, mint tiszta levegőjű környezetben. Az Európai Unióban az átlagos várható élettartam 8,6 hónappal kevesebb az antropogén eredetű PM_{2,5} szennyezés következtében [8].

Az OECD 2012-ben közzétett jelentése szerint a szilárd részecske formájában jelentkező légszennyezés által okozott idő előtti elhalálozások száma a jelenlegi szint kétszeresére, vagyis évi 3,6 millióra nőhet 2050-re, és elsősorban Kínát és Indiát érinti [9].

A Göteborgi Jegyzőkönyv 2012-ben jóváhagyott módosításainak átültetése is szükséges ahhoz, hogy az EU belső szabályozása megfelelően nemzetközi kötelezettség-vállalásainak. Ezen intézkedések célja, hogy legkésőbb 2020-ra megvalósuljon a meglévő levegőminőségi előírások maradéktalan betartása [10].

A szilárd részecskékre (PM₁₀) vonatkozó napi koncentráció átlagértéke az EU levegőminőségi zónáinak több mint harmadában meghaladja az előírt határt. 2014-ben 18 tagállam (Ausztria, Belgium, Ciprus, Csehország, Franciaország, Görögország, Lengyelország, Lettország, Magyarország, Nagy Britannia, Németország, Olaszország, Portugália, Románia, Spanyolország, Svédország, Szlovákia, Szlovénia) ellen volt folyamatban jogsértési eljárás a határértékek be nem tartása miatt [11].

A CAFE (Clean Air for Europe) program célja az EU tagállamokban az összes légszennyező forrás felderítése és az emisszió csökkentés megoldása a levegőminőségi célértékek betartását szolgáló nemzeti csökkentési tervek készítésével. A szmoghelyzetek előfordulásának visszaszorítása érdekében speciális figyelmet igényel a PM₁₀ eredetének tételes feltárása. Ki kell fejleszteni a PM₁₀ növekedését megakadályozó leghatékonyabb stratégiát [12].

A Magyarország és magyarországi nagyvárosok levegőminőségének vizsgálatára szolgáló modellrendszer kidolgozása 2015-ben kezdődött meg a megvalósításhoz legalább kettő-három év szükséges.

A feladat végrehajtásának eredményeként rendelkezésre áll egy olyan modell, mellyel lehetővé válik:

- a nagytávolságú transzpor figyelembevétele a magyarországi szennyezettségi viszonyok meghatározásánál;
- a mérésekkel nem fedett területek levegőminőségének pontosabb meghatározása;
- a szennyezettség kialakulásához hozzájáruló források azonosítása;
- a lehetséges intézkedések meghatározása, várható eredményeinek számítása
- a nemzetközi és közösségi jelentésadási kötelezettségeink teljesítése [13].

A lakossági fűtés szerepe egyre jobban előtérbe kerül az EU országokban, így Magyarországon is. A lakosság a gázárak emelkedését követően 2005-től egyre nagyobb mértékben állt át szilárd tüzelésre. A régi, korszerűtlen tüzelőberendezések emissziója jelentős mértékben befolyásolja a levegőminőséget, ezért indokolt az ilyen kazánok, kályhák, kandallók használatának korlátozása.

A légszennyezés forrásazonosítása jó közelítéssel elvégezhető az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózatban (OLM) üzemelő, különböző típusú mérőállomások (ipari, lakossági, közlekedési, háttér) légszennyező komponenseire vonatkozó adatainak párhuzamos elemzésével, figyelembe véve a meteorológiai viszonyokat és a háttér állomások adatait is.

Az általam vizsgált Sajó völgye légszennyezettségi zóna szmoghelyzetek tekintetében Magyarország legkritikusabb területeinek egyike, Budapest után évente itt fordul elő a legtöbb szilárd részecskére vonatkozó napi határérték túllépés [14].

Kutatásom során a Sajó völgye légszennyezettségi zónájában rendelkezésre álló, különböző típusú monitor állomások immissziós adatsorai alapján statisztikai módszerekkel következtettem a szilárd részecske, mint a zónában kritikus komponens forrásaira. Ehhez elsősorban a különböző légszennyező komponensek koncentráció-lefutását vizsgáltam szmoghelyzetekben.

2 A LÉGSZENNYEZÉSRŐL ÁLTALÁNOSSÁGBAN

A légszennyezés a légszennyező anyag kibocsátási határértéket meghaladó mértékű levegőbe juttatása. A légszennyezés környezetkárosító hatása néhány szennyezés típus esetén az alábbiak szerint foglalható össze:

- Savasodás: 1990 és 2010 között lényegesen csökkent a kén- és nitrogénvegyületek általi túlzott savlerakódásnak kitett érzékeny európai ökoszisztémák területén.
- Eutrofizáció: A vízszennyezés e típusa visszaszorításának terén elért haladás kisebb mértékű. A túlzott légköri nitrogénszintnek kitett érzékeny ökoszisztémák területe 1990 és 2010 között csak kis mértékben csökkent.
- Ózonterhelés: A nagy ózonkoncentráció terméskárokat okoz. A legtöbb mezőgazdasági termény a növényzet védelme érdekében kitűzött hosszú távú uniós célkitűzésnél nagyobb ózonszinteknek van kitéve. Ez a mezőgazdasági területek jelentős részét érinti, különösen Dél-, Közép- és Kelet-Európában.

Európa levegőjének minősége nem mindig javult a légszennyező anyagok emberi eredetű kibocsátásának csökkenésével párhuzamosan. Ennek okai összetettek:

- nincs mindig egyértelmű lineáris összefüggés a kibocsátás csökkenése és a légszennyező anyagok levegőben megfigyelhető koncentrációja között;
- az északi félteke más országaiból származó, nagy távolságokat megtett légszennyező anyagok egyre nagyobb mértékben járulnak hozzá az európai légszennyezéshez (ld. például a kanadai erdőtűzek hatását az európai levegőminőségre [15]).

A kibocsátások csökkentésére irányuló további célzott erőfeszítésekre van szükség Európában az emberi egészség és a környezet védelme érdekében [2].

A "szmog" angol eredetű szó (a "smoke" = füst és a "fog" = köd szavak összetételéből származik); jelentése füstköd. Egyrészt a kondenzációs magvak jelentős koncentráció-növekedése, másrészt az intenzív napsugárzás hatására a szennyezett városi levegőben végbemenő sajátos levegőkémiai folyamatok kétféle szmogképződést eredményeznek. A kétféle szmog típus elkülönítését indokolja, hogy eltérő szennyező forrásokból származnak, eltérő kémiai összetételűek, és eltérő légköri folyamatok szükségesek a kialakulásukhoz. Mindezen jellemzők alapján megkülönböztetünk London típusú, vagy más néven reduktív, és Los Angeles típusú, azaz oxidatív, vagy más néven fotokémiai típusú szmogot [16].

A London-típusú szmoghoz hasonló tulajdonságú és mértékű elsődleges levegőszennyezés előfordulási helye ma elsősorban a dinamikusan fejlődő országok nagyvárosaira jellemző, például Peking és Sanghaj, Kairó és Kalkutta régiójában fordul elő viszonylag nagy gyakorisággal a téli hónapokban. A korábban szinte teljes egészében lokális elsődleges légszennyezés azonban egy évtizedes minimum után fokozatosan másodlagos jellegű légszennyezéssé alakult át, a meteorológiai helyzet függvényében regionális vagy akár kontinentális kiterjedésűvé válhatott, sőt napjainkra éghajlati tényezővé nőtte ki magát. A fejlett országokban azonban elsősorban a téli időszakban jelentős mértékű, eredetét tekintve részben elsődlegesnek tekinthető, azonban a klasszikus London-típusú szmogtól forrásaiban, kémiai összetételében és területi kiterjedésében egyaránt jelentősen különböző súlyos levegőszennyezési helyzetek alakulnak ki [17].

2.1 A légszennyezés forrásai

A légszennyezés forrásai között emberi és természetes eredetűek egyaránt vannak:

Emberi eredetűek:

- az erőművekben, egyéb ipari technológiák során, a közlekedésben és nem utolsósorban a háztartásokban leginkább hőtermelés érdekében végzett tüzelési folyamatok;
- az ipari folyamatok és az oldószerhasználat;
- a mezőgazdaság;
- a hulladékkezelés;
- felverődés, gumikopás

Természetes eredetűek:

- vulkánkitörések;
- szélfújta por;
- tengerisó-permet;
- növények által kibocsátott illékony szerves anyagok [2].

2.2 Európai uniós szabályozások, az EEA és a WHO tevékenységei

Az Európai Unió (EU) célja olyan levegőminőség elérése, amely nem jár együtt az emberi egészségre és a környezetre gyakorolt káros hatásokkal és kockázatokkal. Az EU a légszennyezésnek való kitettség enyhítése érdekében számos szinten cselekszik: részben a jogalkotás eszközén keresztül, részben együttműködik a légszennyezésért felelős ágazatokkal, egyeztet a nemzetközi, nemzeti és regionális hatóságokkal és nem kormányzati szervezetekkel, sőt kutatásokat is finanszíroz. Az uniós szakpolitikai intézkedések célja a légszennyezésnek való kitettség enyhítése, azaz a kibocsátás visszaszorítása a levegőminőségre vonatkozó határértékek és célértékek betartatása révén.

Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség (European Environmental Agency, EEA) keretein belül működik az Európai Unió légszennyezésre vonatkozó adatainak központja. Az EEA támogatja a légszennyező anyagok kibocsátásához és a levegőminőséghez kapcsolódó uniós jogszabályok végrehajtását. Az EEA hozzájárul az EU légszennyezési szakpolitikáinak értékeléséhez és az európai levegő minőségének javításáról szóló hosszú távú stratégiák kidolgozásához is.

Az EEA munkája a következőkre összpontosul:

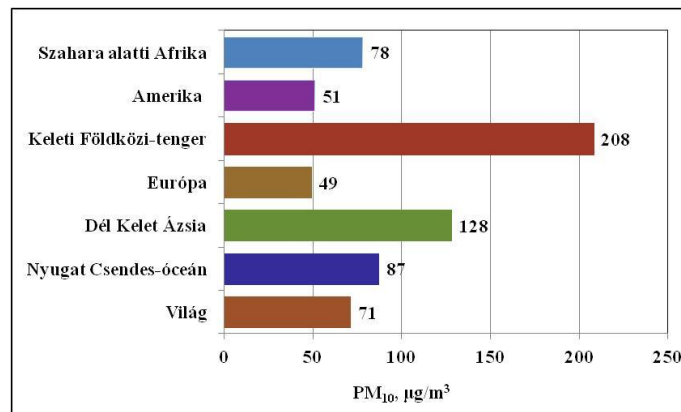
- a légszennyezésre vonatkozó különböző adatoknak a nyilvánosság számára hozzáférhetővé tétele,
- légszennyezési tendenciák és az azokhoz kapcsolódó európai szakpolitikai intézkedések dokumentálása és értékelése,
- a légszennyezés és a különböző területekre, többek között az éghajlatváltozásra, az energiára, a közlekedésre és az iparra vonatkozó szakpolitikai intézkedések közötti kölcsönhatások és szinergiák vizsgálata [2].

Az Egészségügyi Világszervezet (World Health Organization, WHO) irányító és koordináló egészségügyi hatóság az Egyesült Nemzetek Szervezetén belül. Felelős azért, hogy biztosítsa vezető szerepét a globális egészségügyi kérdésekben, az egészségügyi kutatási program formálásában, normák és szabványok felállításában, tényeken alapuló politikai

vélemények kinyilvánításában, az egyes országoknak technikai segítség biztosításában és az egészségügyi trendek nyomon követésében és értékelésében.

A WHO adatbázisa 91 ország 1100 városában üzemelő városi légszennyezettséget regisztráló monitor állomás adatait tartalmazza. Az adatok elsődleges forrásai nyilvánosan elérhető nemzeti/régiós jelentéseket és weboldalakat, valamint egyéb más válogatott publikációkat tartalmaznak. Az adatbázis célja, hogy a levegőszennyezés szempontjából jellemezze a humán kitettséget.

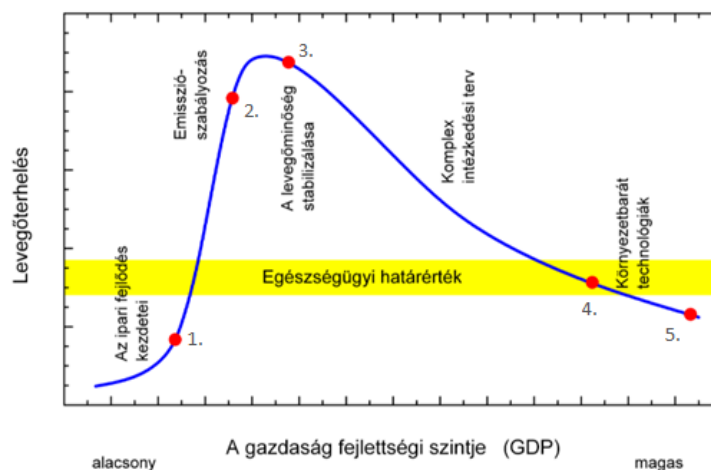
Az 1. ábra a világ PM₁₀ koncentrációjának éves átlagát mutatja különböző régiók szerint.



1.ábra. PM₁₀ éves átlag a világ egyes régióiban 2008-2012 között [18]

Az egyes régiókban 26 és 208 µg/m³ között változik a PM₁₀ koncentráció éves átlaga, a világ-átlag pedig 71 µg/m³, vagyis jelentős mértékben túllépi az EU szabályozásban meghatározott éves 40 µg/m³ átlagértéket. A Keleti földközi-tengeri területeken a legnagyobb az átlagkoncentráció. Európa igen kedvező helyzetben van, Amerika mellett itt a legkisebb a PM₁₀ éves átlagkoncentrációja [18].

A gazdasági fejlődés és a levegőterhelés kapcsolatát mutatja a 2. ábra. A határpontok által kijelölt szakaszok rendre: háborítatlan környezet, arányossági szakasz, emisszió-szabályozás, az ipari szerkezet átalakítása, „tisztá technológiák” bevezetése, gondozott környezet [19].



2.ábra. A levegőterhelés tipikus alakulása a gazdasági fejlődéssel [19]

Európában az iparosodás kezdetén a nyersanyagokat és az energiaforrásokat extenzív módon használták fel. A környezeti szempontok többnyire háttérbe szorultak a gazdasági és

kereskedelmi érdekek mellett, ezért rohamosan nőtt a különböző formájú környezetterhelés. A 20. század első feléig az emberiség a technikai optimizmus korát élte, és azt gondolta, hogy a technikai haladás által minden egyre jobbra tehető. A környezetkárosodás, a veszély- és katasztrófahelyzetek gyakoribb előfordulása előbb a környezettudatos szemléletmód fokozatos kialakulását, majd a környezetszennyezés szabályozásának, stabilizálásának, végül csökkentésének igényét és szükségességét hozta magával. A megtermelt anyagi javak egy részét a szennyezés és a szennyezettség csökkentésére fordították. Hamarosan előtérbe került a környezetszennyezés globális jellege, valamint a szennyezettség és az emberi egészség közötti összefüggés. A 20. század második felében a kutatók egyre inkább jelezték, hogy az akkori környezeti elképzelések az emberiség okozta (antropogén) regionális és globális kockázatok jelentős növekedéséhez fognak vezetni. Azóta gyökeres szemléletváltás indult el; világszerte megnőtt a tudományos, közéleti és politikai fogékonyság a környezettel összefüggő problémák és megoldásuk iránt.

2.3 Levegővédelemre vonatkozó nemzetközi egyezmények és jegyzőkönyvek

A légszennyezés elleni küzdelem globális szinten nemzetközi egyezmények keretében történik. A 60-as évek skandináv savas esői nyilvánvalóvá tették nemcsak a légszennyezés okozta környezeti károk jelentős mértékét, de azt is, hogy a légszennyező tevékenységek a forrásuktól több száz, akár több ezer kilométerre is kifejthetik káros hatásait.

A nagy kéntartalmú fosszilis tüzelőanyagok használata az iparban és a közlekedésben folyamatosan növekedett, országhatárokon átívelő környezetszennyezést okozva. Az erdők, a talaj és a vízi élővilág pusztulása, a szerkezeti anyagok korróziója és az emberi egészség károsodása lépésre kényszerítette az érintett államokat.

Az 1960-as években skandináv kutatók megállapították, hogy tavaik flórájának és faunájának pusztulását elsősorban a savas esők okozzák, amelynek forrásait nem Skandináviában, hanem a több száz kilométerre levő és nagy mennyiségben, nagy kéntartalmú fosszilis energiahordozót felhasználó Egyesült Királyságban, illetve Nyugat-Európában találták meg. Rámutattak arra, hogy a kibocsátások növekedésében jelentős szerepet játszik a fosszilis energiafelhasználás, azon belül is a szilárd tüzelőanyagok és a folyékony szénhidrogének felhasználásának minden korábbit meghaladó mértékű növekedése.

Növekedett a helyhez kötött és a mozgó légszennyező források (gépjárművek) száma és a kibocsátás mennyisége. Hasonló jelenségeket és tendenciákat figyeltek meg Észak-Amerikában is. A környezeti károk mind nagyobb mértékű növekedése, a fokozott erdőpusztulás, a talaj és a tavak savasodása, egyes területeken a teljes halállomány eltűnése, a kulturális és a történelmi emlékek pusztulása, az épített környezet romlása, a szerkezeti anyagok gyorsabb tönkremenetele, korróziója, az emberi egészség károsodása stb. mind fokozottabban igényelte a környezetszennyezés csökkentését, illetve első lépésként legalább a növekedés ütemének mérséklését.

1979. november 13-án Genfben 34 európai ország (köztük Magyarország), az Egyesült Államok és Kanada képviselői aláírták a nagy távolságra jutó, országhatárokon áttérjedő légszennyezés mérséklésére irányuló Egyezményt, amely kontinentális léptékű megoldást keresett a légszennyező anyagoknak a környezetre és az emberi egészségre gyakorolt káros hatásainak kivédésére. Az Egyezmény volt az első, sokoldalú, a környezet védelmére irányuló nemzetközi megállapodás, amelynek mindezekon túlmenően további, igen nagy jelentősége abban nyilvánult meg, hogy a különböző politikai berendezkedésű országok tudósai és

szakértői azóta is évtizedeken át együttműködtek a környezetszennyezés leküzdése érdekében, hozzájárulva ezzel a politikai stabilitáshoz is.

Az Egyezmény keretében munkacsoportok, szakértői bizottságok alakultak, valamint együttműködési programok indultak a légszennyező anyag kibocsátások elfogadott mértékű csökkentési lehetőségeinek kidolgozására, újabb megállapodások előkészítésére, és a fenntartható fejlődés biztosításához szükséges feltételek kimunkálására.

Az Egyezmény konkrét emisszió csökkentési előírásokat nem tartalmazott, ezek az Egyezmény céljainak megvalósítását szolgáló jegyzőkönyvekben szerepelnek az alábbiak szerint:

1. Genfi Jegyzőkönyv az Európai Monitoring és Értékelési Program (EMEP) hosszú távú finanszírozásáról (1984);
2. Helsinki Jegyzőkönyv a kén-dioxid kibocsátások vagy azok országhatárokon áterjedő fluxusának 30 %-os csökkentéséről (1985);
3. Szófiai Jegyzőkönyv a nitrogén-oxidok kibocsátásának vagy azok országhatárokon áterjedő fluxusának csökkentéséről (1988);
4. Genfi Jegyzőkönyv az illékony szerves vegyületek (VOC) kibocsátásának vagy azok országhatárokon áterjedő fluxusának csökkentéséről (1991);
5. Oslói Jegyzőkönyv a kénvegyületek kibocsátásának vagy azok országhatárokon áterjedő fluxusának további csökkentéséről (1994), az ún. II. kén-dioxid jegyzőkönyv;
6. Aarhusi Jegyzőkönyv a környezetben tartósan megmaradó szerves szennyező anyagok (POP) légköri kibocsátásának csökkentéséről (1998);
7. Aarhusi Jegyzőkönyv a nehézfémek légköri kibocsátásának csökkentéséről (1998);
8. Göteborgi Jegyzőkönyv a savasodás, az eutrofizáció és a talaj közeli ózon csökkentéséről (1999) [20];
9. Göteborgi Jegyzőkönyv módosítása a Nemzeti kibocsátási küszöbök meghatározásáról 2020. évre – vállalás PM_{2,5} kibocsátásra is, korom (black carbon) szerepének növeléséről (2012) [21].

Alapvető fontosságú a légszennyező anyagok nagy távolságra való eljutásának megfigyelésére és értékelésére kidolgozott európai együttműködési program, amelynek végrehajtását és finanszírozását az un. EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) Jegyzőkönyv biztosítja. Ennek keretében Európa területén mintegy 100 mérőállomásból álló rendszert alakítottak ki, amelyben a légszennyező anyagok (SO₂, NO₂, O₃, NH₃, CO₂, HNO₃ gőz, egyes nehézfémek, aeroszolok stb.) koncentrációinak, azok ülepedésének, a csapadékvíz kémiai összetételének és a meteorológiai jellemzőknek egységes metodika szerinti mérése folyik. Magyarország az EMEP rendszerbe kapcsolt K-pusztai mérőállomás adatainak a nemzetközi központokba (Oslo és Moszkva) történő továbbításával teljesíti az előírt adatszolgáltatási kötelezettségeit, így ez az állomás szolgáltatja az ország PM₁₀ háttérszennyezettségi adatait. Az EMEP rendszerben működő mérőállomások adatainak segítségével ellenőrzik az európai térségben a végrehajtott emisszió csökkentési programok eredményességét. A mért koncentráció és ülepedési adatokból ugyanis nyomon követhető a légszennyező anyagok talajközeli koncentrációváltozásának hosszú távú trendje. A meteorológiai adatok elemzésének segítségével pedig megállapítható az, hogy Európa egyes területeire mely más területekről származó légszennyező anyagok ülepednek ki. Vagyis az, hogy az érzékeny ökoszisztémák védelme érdekében a kontinens mely részein és milyen mértékű kibocsátás csökkentést kell végrehajtani [22].

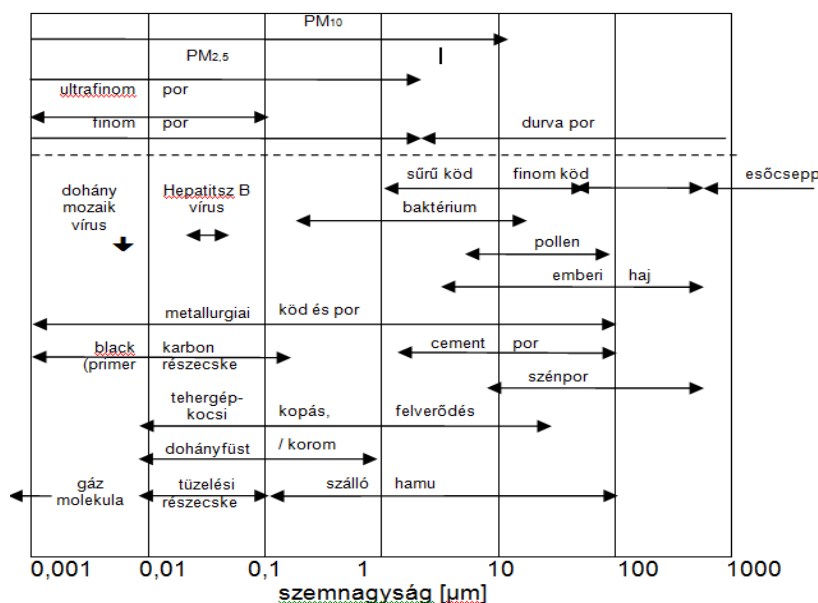
3 A LÉGKÖRI AEROSZOLOK, MINT KRITIKUS LÉGSZENNYEZŐ ANYAGOK

A Föld levegője diszperz kolloid rendszer, amelyet gázok keveréke és a keverékben szuszpendált formában lévő cseppfolyós és/vagy szilárd részecskék alkotnak. A részecskék mérete néhány nanométertől néhány tíz mikrométerig terjedhet. Az ilyen rendszert aeroszolnak nevezzük.

A légköri aeroszol - elsősorban, a klímára és az egészségre gyakorolt hatásai miatt - az elmúlt évtizedekben a környezetkutatás egyik legfontosabb tématerületévé vált. Az aeroszol részecskék elnyelhetik és szórhatják a Napból és a földfelszínről érkező sugárzást; kondenzációs magvakként szerepet játszanak a felhő- és csapadékképződésben; valamint befolyásolják a légköri gázok mennyiségét és eloszlását a velük lejátszódó heterogén kémiai reakciók révén. Ezeken túlmenően a légköri aeroszol részecskéi részt vesznek a biológiai anyagok (pollenek, spórák, vírusok, baktériumok...) terjedésében; belélegezve allergiás reakciót válthatnak ki, és a keringési rendszerbe bejutva légzőszervi-, szív- és érrendszeri bántalmakat okozhatnak [23].

3.1 A légköri aeroszolok definíciója, képződése, tulajdonságai

A légköri aeroszolt a levegőben finoman elosztatott szilárd részecskék vagy folyadékcseppek alkotják, jellemző átmérőjük: 0,001 - 100 µm. A részecskék jelentős fajlagos felülettel rendelkeznek, aminek következtében szervesetlen és szerves vegyületek adszorbeálódhatnak a szemcséken és ezért van az aeroszoloknak rendkívüli egészségügyi jelentősége. A 3. ábra konkrét példákkal illusztrálja az egyes mérettartományba eső tipikus „szilárd szennyezőanyagokat”.



3.ábra. Szilárd részecske szemcseméret tartományai [24]

A terjedési folyamatok szoros összefüggésben vannak a részecske átmérővel. A 10 µm feletti részecskék gyorsan kiülepednek és így eltávolíthatók a levegőből. Az ultrafinom részecskék (< 0,1 µm) nagy diffúziós sebességgel rendelkeznek és pár órán belül koagulálódnak a nagyobb részecskékkel, kiülepednek a felületeken vagy kondenzációval növekednek. Az akkumulációs tartományba eső részecskék az aeroszolok fő részét képezik

azokon a helyeken, amelyek nem a nagy kibocsátó forrás közvetlen közelében vannak. Ennek a szemcsenagyságnak az eliminációs mechanizmusai nem túl hatékonyak, így a részecskék több napig a levegőben maradnak és ennek megfelelően nagy távolságra elszállíthatódnak. Leginkább csapadékkal távoznak az atmoszférából, részben pedig impaktálódnak. Nem ismert olyan hatékony folyamat, amellyel a finom részecskékből durva részecskéket (>2,5 µm) lehetne növesztetni. A 2,5 és 10 µm tartományban csak a részecskék 20-30 %-a fordul elő [25].

A 0,1 és 2,5 µm akkumulációs tartományba eső részecskék primer és szekunder por keverékei. A tüzelési eredetű primer részecskék zöme antropogén eredetű (autók, háztartási tüzelés, erőművek, ipari berendezések), csak egy töredéke származik erdő- és bozóttüzekből. Az egyéb primer részecskék forrása elsősorban a porfelverődés (utak, mezők, erdők) és a különböző anyagdepóniák. Ebben az esetben túlnyomó többségben durva részecskékről van szó, ami 2,5 µm feletti szemcseátmérőt jelent. A PM₁₀ részecskék is antropogén és természetes eredetűek lehetnek. A PM_{2,5}-et túlnyomóan az antropogén rész alkotja. A szekunder rész túlnyomóan szulfát-, nitrát- és ammónium ionokból áll, mely az SO₂, NO_x és NH₃ prekursor gázok fotokémiai reakciójának termékeként képződik. A levegő által szállított lebegő részecskék ez esetben is előgázokból keletkező „szekunder aeroszollokkal” telítődhetnek [26] [27]. Durva becslés alapján a TSPM (Total Suspended Particulate Matter = teljes szuszpendált szilárd részecske) 80 %-át a PM₁₀ teszi ki [28].

A gépjármű emisszióból, az ipari kibocsátásokból és a háztartási tüzelésből származó szilárd részecskéhez képest a porfelverődésből, gumikopásból származó és a nagy távolságból érkező por kevésbé toxikus [29].

3.2 A légköri aeroszolok forrásai

A természetes forrásokból származó aeroszol mennyisége hatszorosa az antropogén eredetűnek. Kiemelendő továbbá, hogy a biomassza égetéséből képződő mennyiség közelítőleg megegyezik az ipari por mennyiségével. A természetes eredetű aeroszol komponensei több forrásból is származhatnak. Az 1. táblázat az aeroszolok fő forrásait, méretét és éves átlag emisszióját mutatja be.

1. táblázat. Az aeroszolok forrásai [30]

Az aeroszolok főbb természetes forrásai:			Az aeroszolok főbb antropogén forrásai:		
Forrástípus	Emisszió (Tg/év)	Tipikus méret	Forrástípus	Emisszió (Tg/év)	Tipikus méret
<u>Elsődleges</u> ásványi / talaj por tengeri permet vulkanikus por biológiai törmelék	1500 1300 30 50	durva durva durva durva	<u>Elsődleges</u> ipari por (kivéve korom) korom	100 10	durva és finom finom
<u>Másodlagos</u> biogén szulfát vulkanikus szulfát biogén szerves anyag nitrát NO _x -ből	1200 20 60 30	finom finom finom durva és finom	<u>Másodlagos</u> szulfát antropogén SO ₂ -ből biomassza égetés nitrát antropogén NO _x -ből szerves aeroszol antropogén	190 90 50 10	finom finom főleg durva finom
Összesen	3100			450	

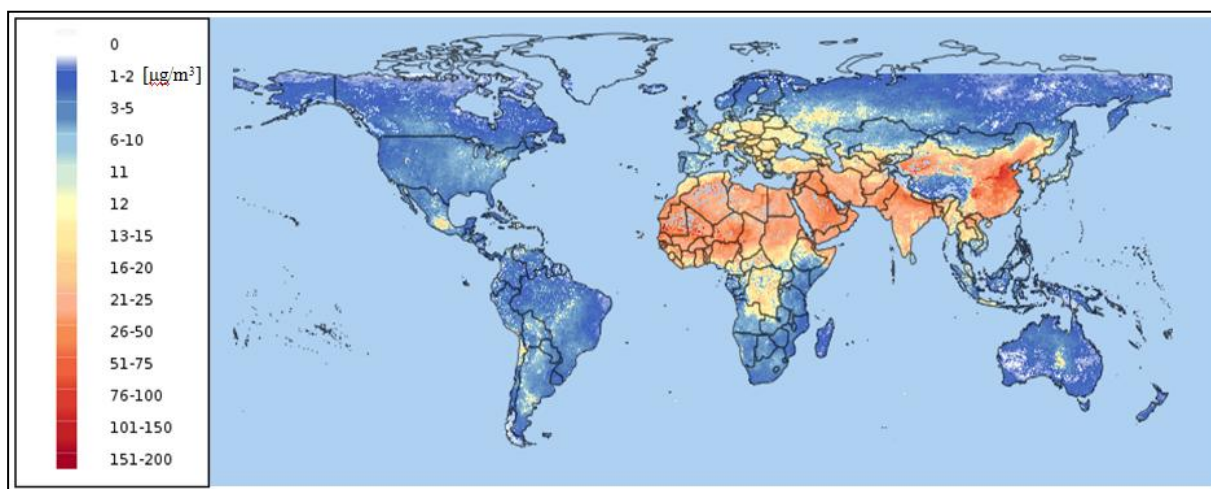
A talajképző alapközethez köthető komponensek a talaj mállása, a földkéreg aprózódása, valamint a talajnak illetve földkéregnek a szél okozta eróziója következtében keletkezhetnek. Ezek elemösszetétele a földkéreg elemösszetételét tükrözi: Al, Si, Sc, Ti, Mn, stb. A

vulkanikus eredetű aeroszol komponensek azok, amelyek vulkánok aktivitása során jutnak a levegőbe. Más részecskékkel ellentétben, a vulkáni por magasabb rétegekbe, akár a sztratoszférába is eljuthat robbanásos kitörés (erupció) következtében [31].

4 SZILÁRD RÉSZECSKÉK ÁLTAL OKOZOTT LÉGSZENNYEZÉS, ÉS LÉGSZENNYEZETTSÉGI HELYZETKÉP

Az Új-Skóciai Dalhousie Egyetem, Halifax, Kanada kutatói, Aaron van Donkelaar és Randall Martin, két NASA műhold méréseiből származó teljes aeroszol mennyiség keveredése mellett elkészítették az aeroszolok vertikális eloszlására vonatkozó információkat tartalmazó térképet computer modell alapján.

A 4. ábra a modellel készített globális PM_{2,5} átlag műhold térképét mutatja 2010-2012 között. Jól láthatók a déli féltekén a szaharai gócok, valamint a kínai erősen terhelt területek.



4.ábra. Globális PM_{2,5} átlag műhold térképe 2010-2012 között [32]

A térkép igen nagy PM_{2,5} szintet mutat a szaharai sivatagtól Észak-Afrikán keresztül Kelet-Ázsiáig. Az USA-ban a PM_{2,5} szint viszonylag alacsony, a lakott területek fölött északon és közép nyugaton jól látható a gázfelhő réteg. A legnagyobb szennyezés Kínában tapasztalható, Magyarország a közepesen szennyezett területek közé tartozik.

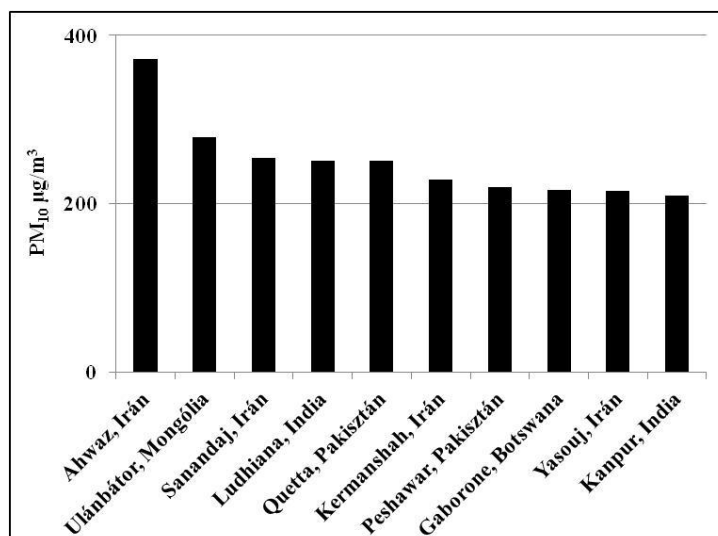
4.1 Szilárd részecske légszennyezés és légszennyezettség a világon

Európában a szilárd részecske koncentráció nagyobb, mint az USA-ban és Kanadában. Észak-Amerika városai minden konkurencia nélkül vezetik a „tisztá oldalt” az első 80 helyen. Ott az alacsony népsűrűség és a földrajzi fekvés miatt kedvező a levegőminőség, de az USA-beli metropoliszokban, mint pl. New Yorkban is viszonylag kicsi a porterhelés.

A legszennyezettebb városok a fejlődő országokban találhatók. A szegényebb országokban környezetszennyezőbb gépjárművek, gyárak és erőművek vannak, és ritkábban kényszerítik ki a környezetvédelmi szabályozást [33].

Az 5. ábra a WHO besorolása szerinti 10 legrosszabb levegőjű várost mutatja be. A besorolás a PM₁₀ koncentráció éves átlaga alapján történt. A bemutatott városokban regisztrált éves átlag a 10. település esetében is több mint ötszörösen meghaladja az EU éves határértéket (40 µg/m³). A világ legrosszabb levegőminőségű városa az iráni Ahwaz [34], ahol az EU határértékhez viszonyított túllépés majdnem 18-szoros. A 10 legszennyezettebb város közül

3 további is Iránban található, 2 Indiában és Pakisztánban) [35]. (Az adatok forrása a WHO 2008-2009 évi adatbázisa).



5.ábra. A 10 legszennyezettebb város [35]

Ulánbátorban januárban egyáltalán nem ritka a 300 µg/m³ PM₁₀ átlagkoncentráció. A fő emisszió forrás a fűtési célú szénfelhasználás, a közlekedés, az ipari tevékenység és a szilárd burkolat nélküli útfelületről felverődő por.

India sok városában a fő légszennyező forrás a közlekedés, melyben nemcsak a járművek mennyisége, hanem azok kora és az üzemanyag minősége is szerepet játszik. A finom részecske terhelés becslések szerint kétharmadáért a közlekedés felelős. Az indiai városok közül Delhi az, ahol a legtöbb gépjárművet regisztrálták [34]. Chandrapur az indiai kormány által szolgáltatott adatok alapján az ország légszennyezés tekintetében negyedik legszennyezettebb iparvidéke [36].

A legszennyezettebb közép-európai városok egyike az olaszországi ipari fellegetvár, Torino. A WHO adatai szerint a légszennyezés fő okai közé tartozik az ipari kibocsátás és természetesen a közlekedési emisszió. Emellett a biomassa, tűzifa és a szén elégetése is hozzájárul a rossz levegőminőséghez [37]. A 2008-as statisztikák szerint a 30 legszennyezettebb európai város közül több mint 17 Olaszországban található. Torino 2004-ben és 2005-ben is listavezető volt [38].

Görögországban a kormány 2012-ben jelentősen megnövelte a fűtőolaj adóját. Ennek következményeként sok athéni már nem engedhette meg magának a drága fűtőolajat, helyette áttért a tűzifára, aminek köszönhetően jelentősen megnőtt a porterhelés. Egy 2013. január és februárjában készített tanulmány szerint, melyet három kutatóintézet és öt egyetem készített, a szilárd részecske szennyezés több mint 80 %-áért a tűzifa elégetése a felelős [34].

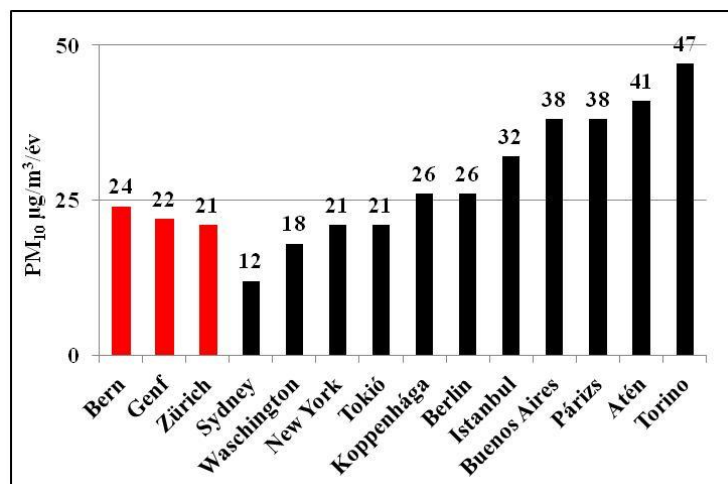
A kínai városok levegője a hazai sztenderdek szerint is rendkívül rossz. A 113 kínai város közül, amelyek levegőjének minőségét a pekingi környezetvédelmi minisztérium figyelemmel követi, 45 olyan város van, amely a hármas, vagyis a legrosszabb levegőjű csoportba tartozik, és egyetlen sincs a 113 közt, amely az első, vagyis a legjobb kategóriába esne [39].

Az Amerikai Energetikai Információs Hivatal (US Energy Information Administration, EIA) szerint Kína a világ legnagyobb széntermelője és felhasználója, ami a nagy szennyezettség

oka, de Pekingben a nagy közlekedési kibocsátás is probléma. Az utóbbi két évtizedre jellemző rohamos urbanizáció a közlekedési többletterhelést hirtelen megsokszorozta [34]. A kínai hatóságok a nagyobb városokban korlátozták az autóforgalmat, sőt, a forgalomba helyezhető autók számát is. Pekingi kutatók most a levegő tisztításával próbálkoznak. Újfajta módszert alkalmaznak: folyékony nitrogént vetnek be [40].

Számtalan szakcikk foglalkozik a kínai levegőminőség vizsgálatával és a forráskutatással. Egy 2001–2012 közötti átfogó vizsgálat azt mutatta, hogy a levegőminőség jelentősen javult az utóbbi 10 évben. A tanulmány a PM₁₀ időbeli változása és a meteorológiai faktorok közötti összefüggést kutatta. Megállapította, hogy rendszerint az atmoszférikus nyomás volt a PM₁₀-et befolyásoló legfontosabb meteorológiai jellemző, ezt követte a relatív nedvességtartalom és a szélsőségek. A szennyezés időbeli (évszakok, szezonális és havi) lefutásának vizsgálata azt mutatta, hogy a szennyezés tavasszal a legnagyobb, nyáron javul, ezt követően súlyosabb ősszel és télen. A kutatások eredményei arra engednek következtetni, hogy a megfelelő várostervezés, valamint a meteorológiai faktorok és a PM₁₀ összefüggésére vonatkozó mérések hatékony eszközei a légszennyezés javításának [41].

A 6. ábrán három svájci nagyváros légszennyezettsége látható nemzetközi összehasonlításban. Megállapítható, hogy a kiválasztott 3 svájci nagyváros éves PM₁₀ koncentráció átlaga nagyobb, mint a Sydneyben, Washingtonban számított érték. (Az adatok forrása a WHO 2008-2009 évi adatbázisa).



6.ábra. Svájci városok légszennyezettsége nemzetközi összehasonlításban [35]

Az Európai Unióban több mint 1850 monitor állomás jelent az AirBase adatbázisba. Ebből 300-nál több a közlekedési állomás, és 2009-ban az állomások 80 %-a túllépte az EU levegőminőségi határértékét [42].

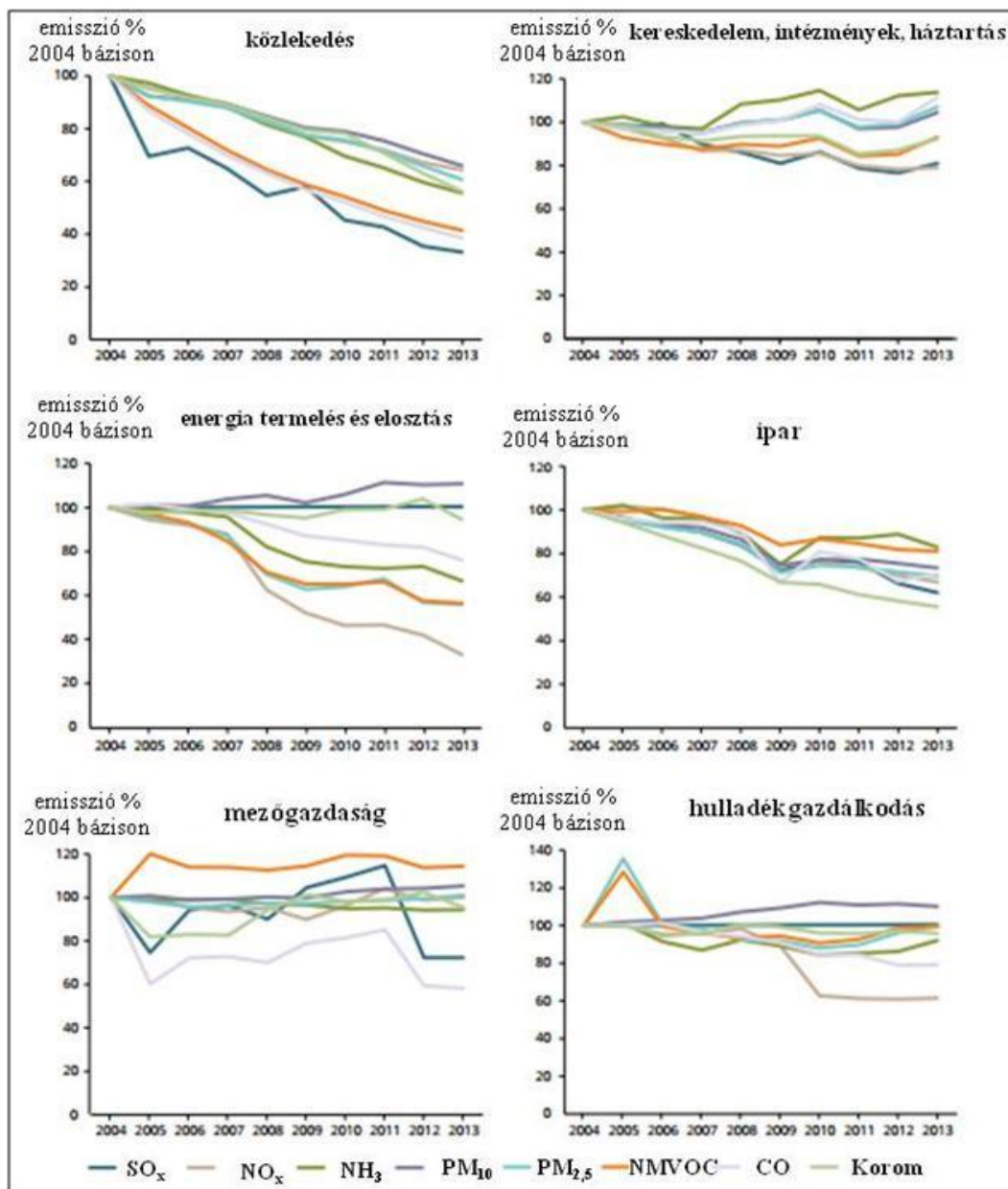
Az ESCAPE (European Study of Cohorts for Air Pollution Effects = Levegő Szennyezési Hatások Európai Csoport-Tanulmány) tanulmány a hosszútávú légszennyezettségnek való kitettség és az egészség közötti összefüggést vizsgálta csoportos tanulmányok segítségével Európa területén. A PM₁₀ és a PM_{2,5} területi elnyelődés eloszlás változását, és a PM₁₀ és a PM_{durva} koncentrációkat elemezték 20 különböző vizsgálati terület között.

A tanulmány megállapításai szerint valamennyi komponens koncentrációja nagyobb volt Dél-Európában, mint Nyugat- és Észak-Európában, de a komponensenként elkülönített mintákban a legnagyobb PM_{2,5} átlag koncentrációt Torinóban, a legnagyobb PM_{durva} koncentrációt pedig

Heraklionban találták. Valamennyi vizsgált területen a közlekedési állomásokon nagyobb volt a PM koncentráció, mint a városi háttérállomásokon [43].

4.2 Az Európai Unió légszennyezési trendek

A 7. ábra az EU-28 tagország összesített adatai alapján mutatja be a fő szennyezőanyagok emissziós trendjeit 2004-2013 között szektoronkénti bontásban.



7.ábra. Fő szennyezőanyagok emissziós trendjei 2004-2013 között (a 2004-es báziséhoz viszonyítva) szektoronkénti bontásban az EU 28 tagországában [3]

A szállítási és az ipari szektorban minden komponens tekintetében jelentősen csökkent az emisszió. Ezzel szemben a hulladékfeldolgozás és az energia szektor területén 2006 évet követően a PM₁₀ komponens emissziója, a mezőgazdasági ágazatban pedig 2005-től az ammónia kibocsátás haladta meg folyamatosan a 2004. évi kibocsátást. PM₁₀ és PM_{2.5} tekintetében egyértelmű a lakossági, az intézményi és a kereskedelmi kibocsátás vezető

szerepe az ipari kibocsátásokkal és a közlekedési emissziókkal szemben. Ez utóbbi 2007 óta a korábbi stagnáláshoz képest erősen növekvő tendenciájú. Nitrogén-oxidok elsősorban a közlekedési szektorból kerülnek a levegőbe, másodsorban pedig az energiatermelésből. Harmadik és negyedik helyen az ipar és a háztartási tüzelés áll. A közlekedési NO_x emisszió jelentős mértékű csökkenést mutat. Kén-dioxidoknál az energia szektor emissziója kiemelkedő. Ugyanakkor ez az egyetlen olyan légszennyező komponens, amelynek csökkenő tendenciája szembetűnő.

4.3 Az Európai Unió tagállamainak PM₁₀ trendjei

Az AirBase Európa levegőminőségi adatbázisa, melyet az EEA kezel az Európai Légszennyezés és Klímaváltozás Csökkentés központján keresztül. A levegőminőségi adatbázis a mért levegőminőségi adatok több éves idősorából és a légszennyező anyagok statisztikájából áll [44], [45], [46], [47], [48], [49]. Az adatbázis földrajzilag lefedi valamennyi EU tagállamot, az EEA tagországokat és néhány EEA-val együttműködő országot. Az EU tagállamok a környezeti levegőre vonatkozó információk kölcsönös cseréjére (EoI) kötelezettek a Bizottság 2011/850/EU végrehajtási határozata alapján [1].

A 2. táblázat a PM₁₀ és PM_{2,5} egészségügyi határértékeket adja meg a világ néhány országában és az EU-ban.

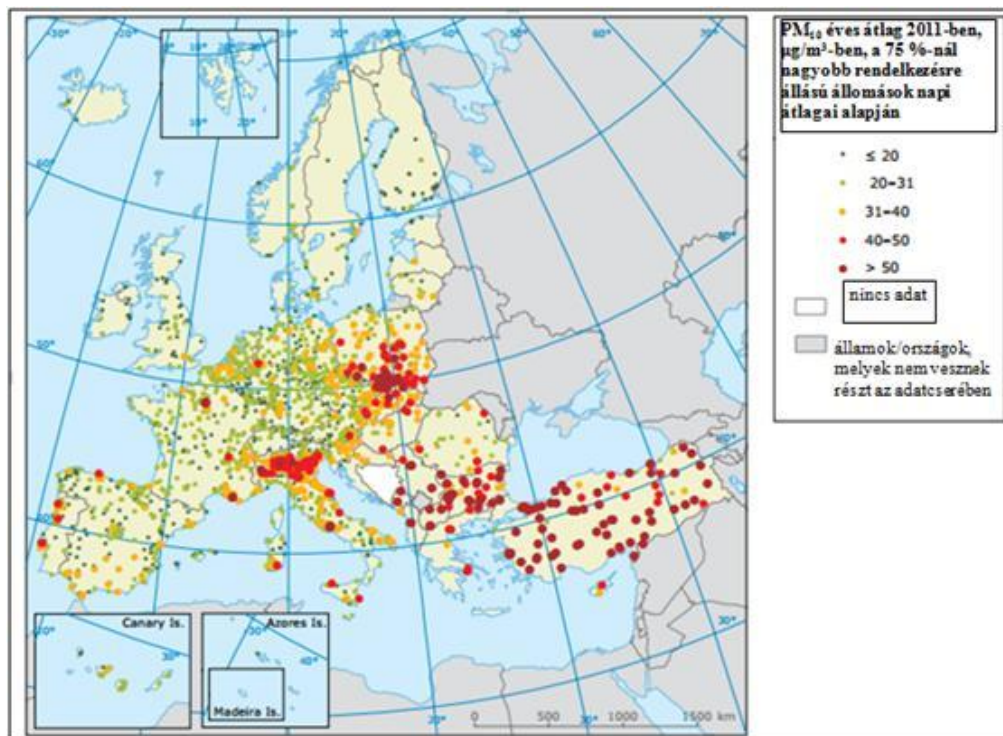
2. táblázat. PM₁₀ és PM_{2,5} egészségügyi határérték a világ országaiban [3], [25], [50], [51]

Ország/szervezet	Szilárd részecske	Koncentráció µg/m ³	Átlagolási időszak	Hatályba lépés dátuma	Megjegyzés
WHO	PM ₁₀	50	24 óra	2005	nincs egyéb korlátozás
		20	éves		
	PM _{2,5}	25	24 óra		
		10	éves		
USA	PM ₁₀	150	24 óra	2006. 12. 17.	Évente maximum 1 nap léphető túl
		visszavonva	éves	2006. 12. 17.	visszavonva
	PM _{2,5}	35	24 óra	2006. 12. 17.	95 percentilis érték, 3 éves átlag
		15 (12)	éves	2006. 12. 17.	(3 éves átlag)
Nagy-Britannia	PM ₁₀	50	24 óra	2004. 12. 31.	nincs egyéb korlátozás
		40	éves		
EU és Norvégia	PM ₁₀	50	24 óra	2005. 01. 01.	Évente maximum 35 nap léphető túl
		40	éves		
Svájc	PM ₁₀	50	24 óra	1998.03.01.	Évente maximum 35 nap léphető túl
		20	éves		
Ausztrália	PM ₁₀	50	24 óra	1998. 06.	nincs egyéb korlátozás
	PM _{2,5}	25	24 óra	2005	
		8	éves	2005	
Új-Zéland	PM ₁₀	50	24 óra	2002. 05.	nincs egyéb korlátozás
		20	éves	2002. 05.	
Japán	PM ₁₀	200	1 óra	1973. 05. 08.	nincs egyéb korlátozás
		100	24 óra	1973. 05. 08.	
Kína	PM ₁₀	50, 150, 250	24 óra	1996. 01.	nincs egyéb korlátozás
		40, 100, 150	éves	1996. 01.	
Kalifornia	PM ₁₀	50	24 óra	n.a.	nincs egyéb korlátozás
		20	éves		
	PM _{2,5}	12	éves		
Kanada	PM _{2,5}	10	éves	2015	nincs egyéb korlátozás
		28	24 óra		
		8,8	éves	2020	
		27	24 óra		

Ausztria az EU-n belül túllépésszám tekintetében eltér a szabályozástól, mivel a nemzeti határértékek az EU szerint meghatározott 35 alkalommal szigorúbbak, és évente mindössze 30 alkalommal engedik meg a napi határérték túllépést. Svájc éves határérték tekintetében jóval szigorúbb, az EU határérték fele, viszont egybevág a WHO által megfogalmazott követelményekkel.

A PM₁₀ határérték betartásának határideje az EU tagállamokban 2005. január, a PM_{2,5} célérték (25 µg/m³) 2010. január volt. A PM_{2,5} határérték (20 µg/m³) 2015-től érvényes, a betartási kötelezettség határideje 2020.

A 8. ábra az EU tagállamok PM₁₀ éves átlagát mutatja 2011 évben.

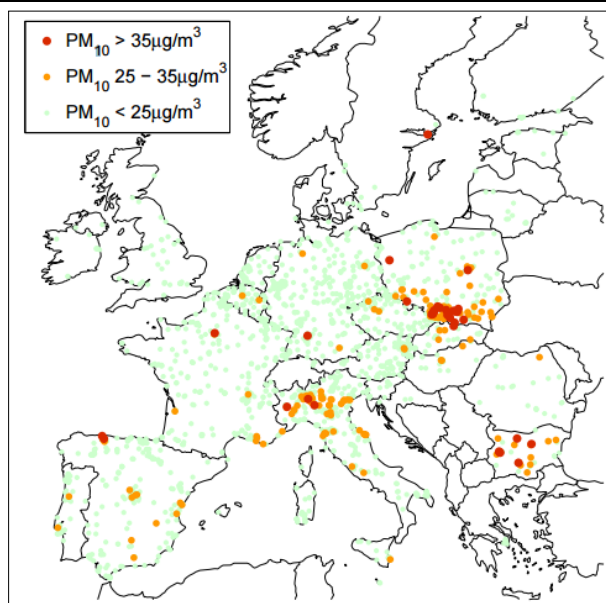


8.ábra. PM₁₀ éves átlagkoncentráció 2011-ben az EU tagállamokban [3]

Jól látható a térképen, hogy a legterheltebb területek Észak-Olaszországban, Lengyelországban, Bulgáriában és Törökországban találhatók.

A 9. ábra a 2030-ra modellezett PM₁₀ koncentráció éves átlagot szemlélteti az AirBase állomásokon.

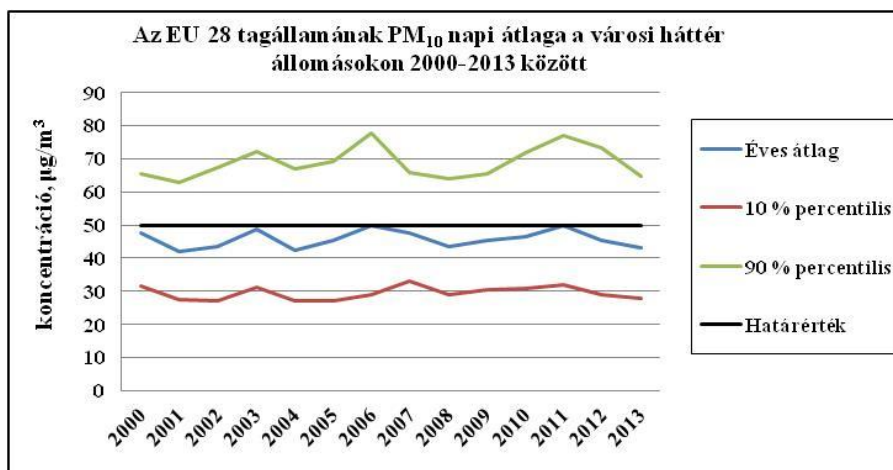
Európa néhány területén, így többek között Dél-Lengyelországban, a Csehország és Szlovákia közötti határ területén, Észak-Olaszországban és Bulgáriában 2030-ra még mindig a WHO által meghatározott határérték túllépését prognosztizálják. A prognózis szerint 2030-ra Magyarországon az éves PM₁₀ koncentráció a 25-35 µg/m³ közötti tartományban várható, ami szintén meghaladja a WHO által javasolt 20 µg/m³ értéket [52].



9.ábra. A 2030-ra modellezett PM₁₀ koncentráció éves átlag az AirBase állomásokon [52]

Az is megállapítható, hogy 2030-ra a terhelt területek nagysága jelentősen csökken, de a gócpontok továbbra is ugyanazokon a területeken jelentkeznek, vagyis ezekben az országokban sokkal hatékonyabb emisszió csökkentésre van szükség. Magyarországon a fővárosban és agglomerációjában, valamint az Észak-Magyarországi Régióban várható, hogy 2030-ra a PM₁₀ koncentráció éves átlaga továbbra sem teljesíti majd a WHO szigorúbb elvárásait.

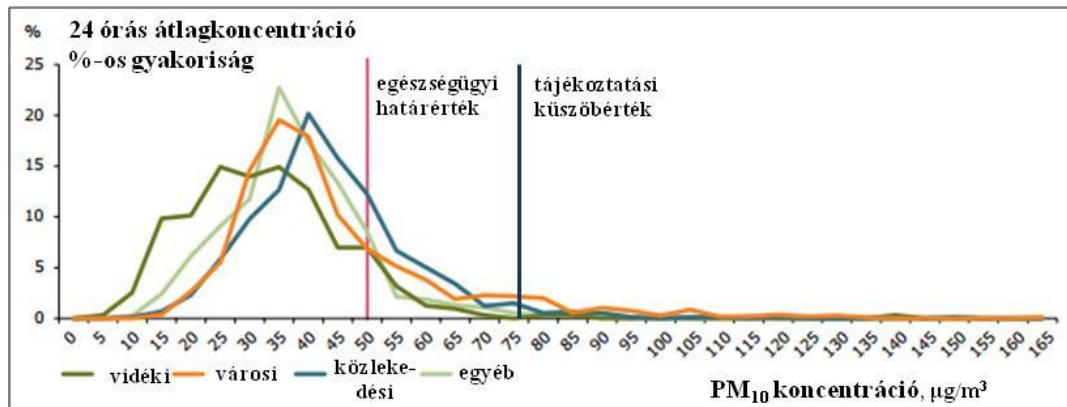
A 10. ábra az EEA által közölt első 36 legnagyobb 24 órás PM₁₀ átlag koncentráció változását mutatja az EU 28-ak városi háttérállomásain 2000-2013 között.



10.ábra. Az EU 28 tagállamának PM₁₀ napi átlaga a városi háttérállomásokon 2000-2013 között [53]

A számításba csak a városi és külvárosi háttérállomások kerültek bevonásra. A feldolgozott adatok alapján látható, hogy a kiértékelésben szereplő állomások PM₁₀ átlaga nem haladja meg a határértéket. A tendenciából megállapítható, hogy a 2006-os és 2011-es évek koncentráció adatai nagyobbak az előző évekéhez képest. A diagramon 2006-ot követően 2008-ig csökken, 2011-ig növekszik, majd ismét csökken a PM₁₀ átlagérték [53].

A 11. ábra az állomásokon a PM₁₀ komponens 24 órás koncentráció átlagának százalékos gyakorisági megoszlását mutatja az EU tagállamokban a különböző típusú monitorállomások szerinti bontásban.

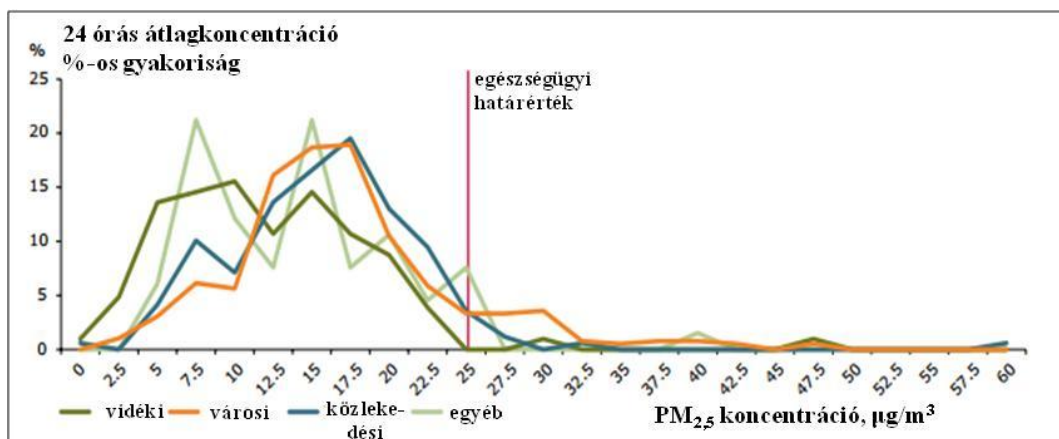


11.ábra. PM₁₀ napi határérték 2010-ben az EU tagállamokban [54]

Az ábra alapján megállapítható, hogy az EU tagállamokon belül a közlekedési típusú monitor állomások esetében nagyobb az egészségügyi határérték (50 µg/m³/24 óra) túllépéseinek száma a városi állomásokhoz viszonyítva, ezzel ellentétben a tájékoztatási (75 µg/m³) koncentrációk előfordulása a városi állomásokon gyakoribb a közlekedési állomásokkal szemben.

A 12. ábra az állomásokon a PM_{2,5} komponens 24 órás koncentráció átlagának százalékos gyakorisági megoszlását mutatja az EU tagállamokban a különböző típusú monitorállomások szerinti bontásban. PM_{2,5} tekintetében az egészségügyi határérték (25 µg/m³) túllépéseinek száma közel azonos a közlekedési és a városi monitoroknál.

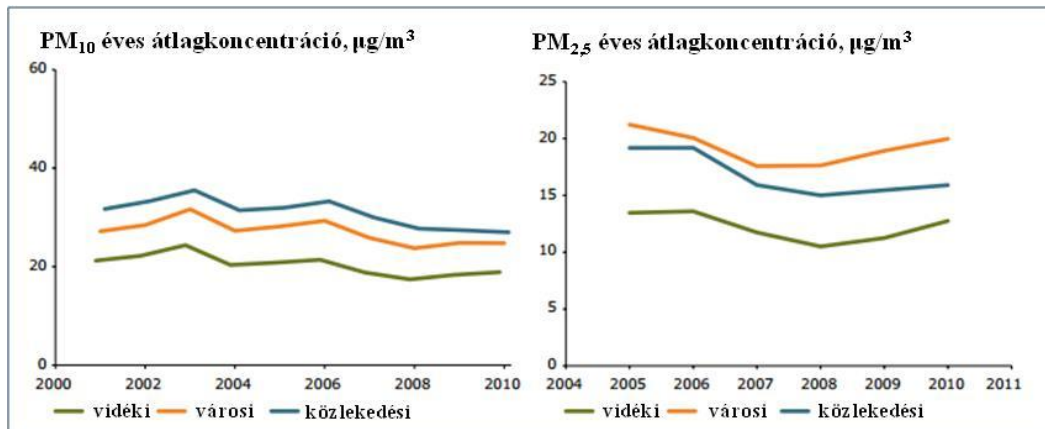
Az elemzésbe azok az EU tagállami állomások kerültek bevonásra, melyeknél legalább 8 évig (PM₁₀ esetében) vagy legalább 6 évig (PM_{2,5} esetében) legalább 75 %-os volt az adat rendelkezésre állás.



12.ábra. PM_{2,5} éves célérték 2010-ben az EU tagállamokban [54]

A kritikus légszennyező anyag, a szilárd részecske koncentráció változását szemlélteti a 13. ábra állomástípusonként mind a PM₁₀, mind pedig a PM_{2,5} frakcióra. (Megjegyzés: a PM_{2,5} komponens vizsgálatára vonatkozóan csak 2005-től állnak rendelkezésre mérési adatok, korábban ezt a komponenst nem vizsgálták).

Megfigyelhető, hogy a PM₁₀ frakció tekintetében a közlekedési típusú állomások koncentrációja nagyobb a városi állomásokéval szemben, míg PM_{2,5} esetén éppen fordított az arány, a városi állomás szerepe a domináns.



13.ábra. PM₁₀ és PM_{2,5} koncentráció trendje állomástípusonként az EU tagállamokban [54]

Megfigyelhető továbbá az is, hogy a 2008 és 2010 között mindkét komponens enyhén növekvő tendenciát mutat, ami a PM_{2,5} esetében erőteljesebb. A közlekedési eredetű PM₁₀ koncentráció ugyanebben az időszakban stagnált, ami a közlekedési kibocsátásokra vonatkozó jogszabályi szigorításoknak köszönhető [54].

Az Európai Parlament és a Tanács 2008/50/EK számú, a környezeti levegő minőségéről és a Tisztább levegőt Európának elnevezésű programról szóló (2008. május 21.) irányelvnek tárgyalásakor már látható volt, hogy néhány határérték betartása jelentős gondot okoz a tagállamoknak. A becslések azt mutatták, hogy a Közösségben található zónák és agglomerációk 40%-ában a koncentrációk naptári évenként több mint 35 napon meghaladták az 50 µg/m³-es napi PM₁₀-határértéket. Ugyanezen zónák és agglomerációk több mint 15%-ában a koncentrációk a 40 µg/m³-es éves PM₁₀-határértéket is meghaladták. Ezért az irányelvbe könnyítés épült be többek között a PM₁₀ légszennyező anyagra. Az a levegőminőségi zóna, amelyikben 2005-2006 évben határérték túllépés történt PM₁₀-re vonatkozóan, legkésőbb 2011. június 11-ig felmentést kérhetett a határérték alkalmazásának kötelezettsége alól [12].

A tagállamoknak információt kell szolgáltatniuk a túllépést okozó szennyezés forrásáról. Ennek során a referenciaévben tapasztalt túllépési mód (azaz a napi vagy az éves határérték túllépése) tekintetében kell a szennyező forrásokat számszerűleg, minden egyes zóna vagy agglomeráció vonatkozásában megállapítani.

A szennyező források megállapításának tükröznie kell különösen a tagállamon belüli regionális, városi és helyi, valamint az országhatárokon átnyúló hatásokat. A városi és a helyi hatást tovább kell bontani annak érdekében, hogy felismerhetők legyenek a szennyezés legfontosabb forrásai, mint például a közlekedés (közúti közlekedés és adott esetben hajózás), az ipar (beleértve a hő- és az energiatermelést), a mezőgazdaság, valamint a kereskedelmi és a lakossági források. A PM₁₀ esetében a jelentősebb természetes források megjelölése is fontos [55], [56].

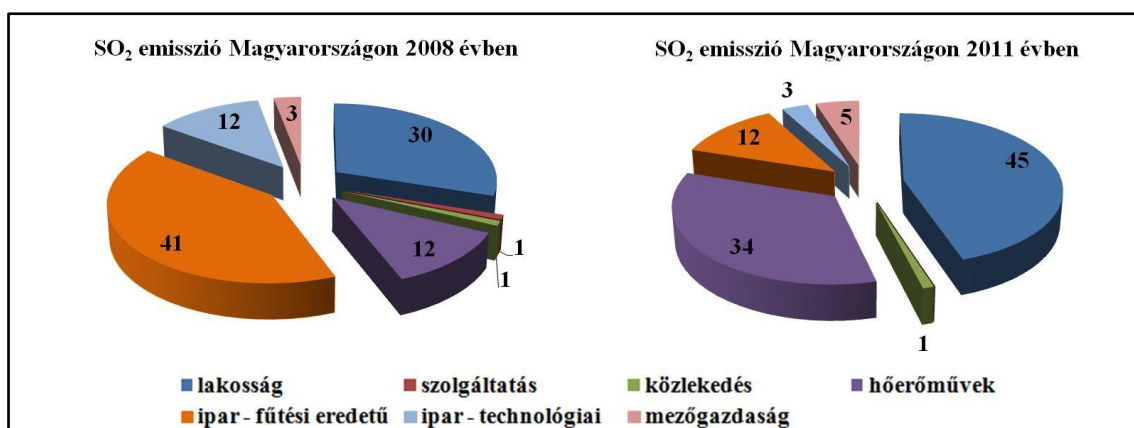
4.4 Magyarországi légszennyezési és légszennyezettségi trendek

Az ország termelési és fogyasztási szerkezete, a felhasznált energiahordozók mennyisége és minősége, az alkalmazott technológiák, és nem utolsósorban a közlekedés, a mobilitási igények határozzák meg a szennyezőanyag kibocsátás alakulását. Az elmúlt 15 évben jelentős előrelépés történt a levegőtisztaság-védelem területén, a kibocsátott szennyezőanyagok mennyisége számottevően csökkent.

A gazdasági szerkezet átalakulása, az energiaigényes ipari tevékenység visszaesése látványos emisszió csökkenést eredményezett a 80-as évek vége és a 90-es évek közepe között. Ezt követően az eredmények már a tudatos beavatkozás következményei. Az Európai Unió által támasztott szigorú környezetvédelmi követelmények rákényszerítették a légszennyezéssel járó tevékenységek üzemeltetőit a kibocsátások hatékony csökkentésére [57].

4.4.1 A légszennyezés alakulása

A kén-dioxid kibocsátást okozó technológiákra napjainkban szigorú emissziós követelmények vonatkoznak, amelyeket a szennyezés nagy részét okozó nagy tüzelőberendezéseket használó tevékenységek (pl. erőművek stb.) csak technológia korszerűsítéssel vagy kibocsátás csökkentő berendezés alkalmazásával tudnak betartani. 2004. december végétől érvényesek az erőművekre a szigorú EU konform kibocsátási követelmények, ennek eredménye látható a 14. ábrán is.

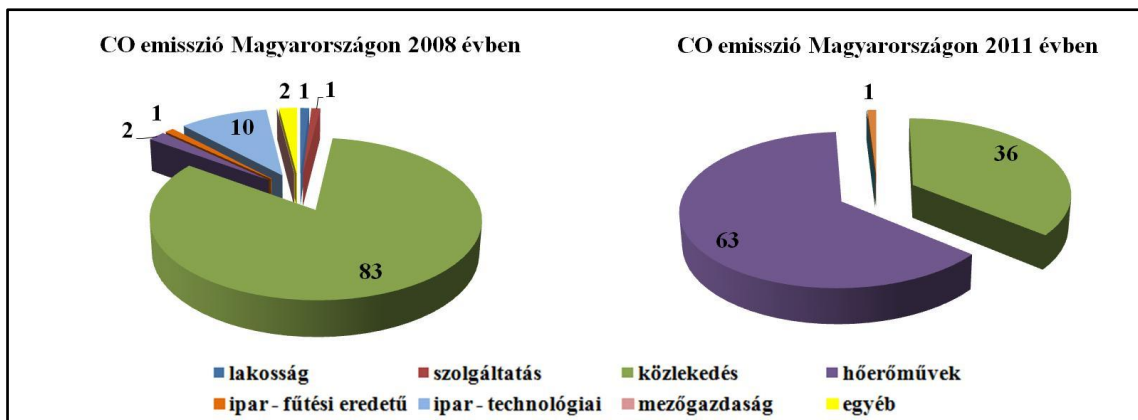


14.ábra. Kén-dioxid emisszió szektoronkénti megoszlás 2008-ban és 2011-ben Magyarországon [57], [58]

Az üzemanyagok kéntartalmának folyamatos csökkentése szintén elősegítette az emisszió csökkentését. Ma már ez a szennyezőanyag levegőminőségi kockázatot nem jelent településeinken, de a lakosság szilárd tüzelésre való áttérése és a hazai, gyenge minőségű lignit egyre növekvő felhasználása növekvő emissziót eredményez. A fő kén-dioxid kibocsátó napjainkban az ipar és a lakosság. A 2011-es adatokból jól látható, hogy jelentősen megnőtt a lakossági SO₂ kibocsátás részaránya, ami a széntüzelés előtérbe kerülésének eredménye.

A szén-monoxid-kibocsátás az 1990-es évek elejétől 1997-ig folyamatosan és jól érzékelhetően csökkent, majd néhány évig tartó stagnálás után napjainkban újra kismértékű csökkenő tendenciát mutat. Ez a légszennyező anyag ma már nem okoz levegőminőségi problémát. A 15. ábra a szén-monoxid emisszió szektoronkénti bontását mutatja be 2008 - 2011 közötti. A fő szén-monoxid kibocsátó 2008-ban a közlekedés volt, emellett az

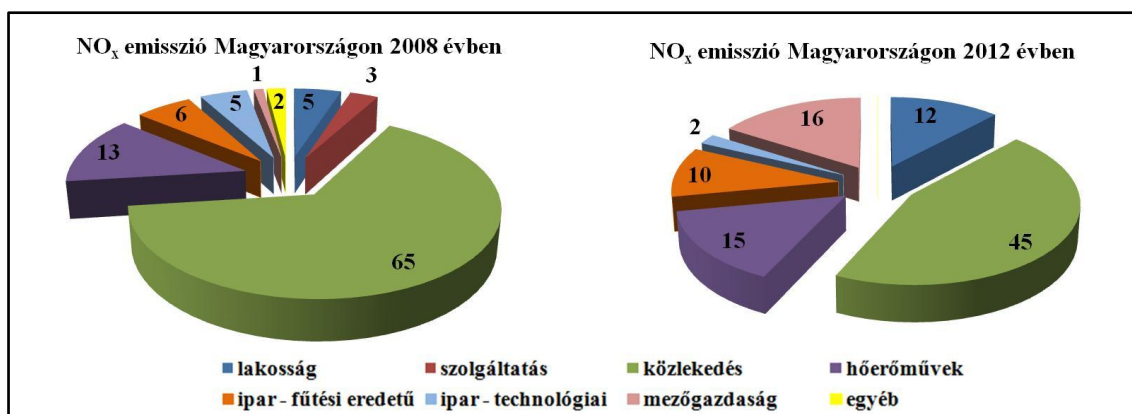
ipari tüzelés másodlagos szerepet töltött be. 2011-re ez a részarány megfordult és az ipari tüzelés került az első helyre. A többi szektor kibocsátása elhanyagolható.



15.ábra. Szén-monoxid emisszió szektoronkénti megoszlás 2008-ban és 2011-ben Magyarországon [57], [59]

A nitrogén-oxid kibocsátás szintje az elmúlt években számottevően nem változott 1995 és 2007 között 190-204 kt/év körül mozgott. A 16. ábra a nitrogén-oxid emisszió szektoronkénti bontását mutatja be 2008-ban és 2012-ben [57].

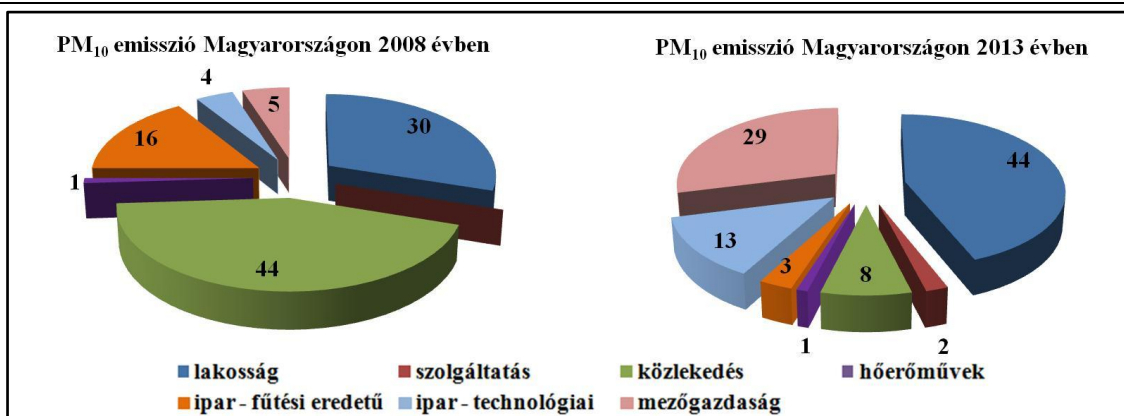
Az NO_x fő forrása a közlekedés, ezen belül is elsősorban a közúti közlekedés. 2005-ben és 2006-ban a járműállomány bővülése, a futásteljesítmények növekedése miatt a közlekedési kibocsátások is növekedtek. A többi szektor kibocsátása nem változott jelentős mértékben. 2012-ben a közlekedés továbbra is fő NO_x kibocsátó, de a lakossági és a mezőgazdaságból származó NO_x emisszió mindkét szektorban kiugróan megnövekedett.



16.ábra. Nitrogén-oxid emisszió szektoronkénti megoszlás 2008-ban és 2012-ben Magyarországon [57], [58]

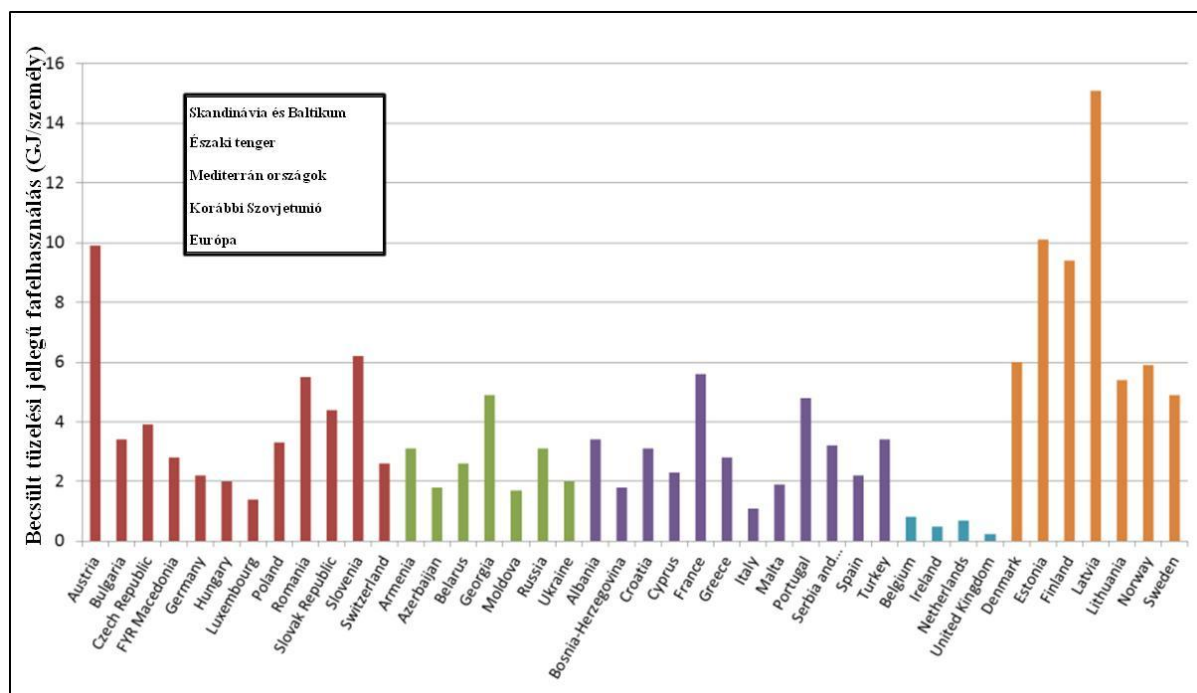
A porkibocsátás szintje 2008-ra a 2003. évi 125 kt-ról 60 kt-ra csökkent. Ez a csökkenő tendencia napjainkra is jellemző. A közlekedés hozzájárulása korábbi vezető szerepét 2010-re átvette a lakossági kibocsátás, ami a gáztüzelésről a szilárd tüzelésre történő átállás miatt következett be. Kiemelendő továbbá a mezőgazdaságból származó emisszió kiugró emelkedése.

A 17. ábra a hazai szilárd anyag emisszió szektoronkénti bontását mutatja be 2008-ban és 2013-ban.



17.ábra. Szilárd anyag emisszió szektoronkénti megoszlás 2008-ban és 2013-ban Magyarországon [57], [58]

A háztartási fatüzelésből származó szilárd részecske emissziót vizsgáló tanulmány szerint Európában a PM_{2,5} emisszió több mint fele széntartalmú aeroszol, és ez a tüzelési mód a legnagyobb szerves forrás európai viszonylatban. Az európai országok becsült tűzifa felhasználását mutatja be a 18. ábra. Magyarország a tanulmány szerint az Északi-tengeri országok, Olaszország, Málta, Bosznia-Hercegovina, Moldova, Azerbajdzsán és Luxemburg után, a középmezőnyben található, a becsült tűzifa felhasználás tekintetében.

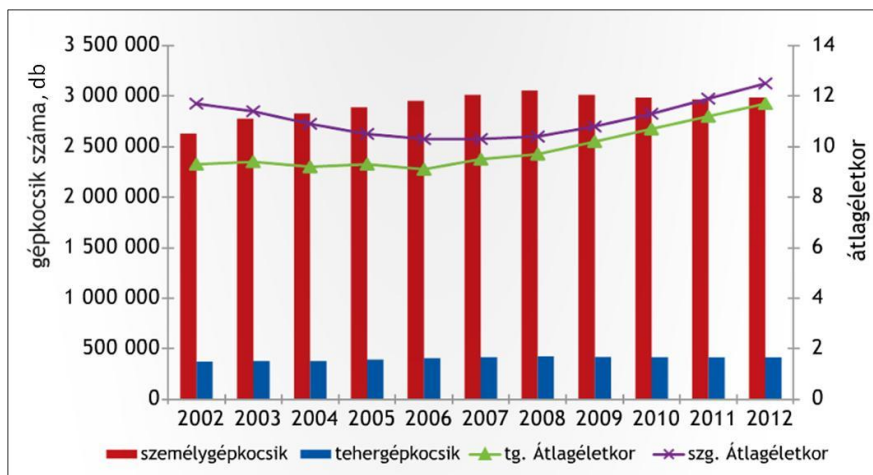


18.ábra. Becsült tűzifa felhasználás (GJ/személy) Európában [60]

A közlekedési kibocsátások változó emissziós hozzájárulása szorosan összefügg a gépjárművek átlagéletkorával valamint a dízel típusú járművek részarányával. Ezt szemlélteti a 19. ábra, mely a személy és tehergépjárművek számának és az átlagéletkorának változását mutatja be.

Az átlagéletkor 2007-től mindkét járműkategóriában növekvő tendenciát mutat, ami kibocsátás szempontjából kedvezőtlen. A tehergépjármű és személygépjármű állomány száma az utolsó két évben nem változott.

Az ultrafinom részecskék a dízel motorokból kerülnek a környezetbe és közel 16000 ember idő előtti halálát okozták Magyarországon. Budapesten a közlekedési eredetű légszennyezés az elsődleges forrás, jelentős részecske-, nitrogén-oxid és ózonszennyezést okozva, vidéken pedig az avarégetés, fűtés és az ipari kibocsátások, például a hulladékégetők, erőművek szennyezése [61].



19.ábra. Gépkocsik számának és átlagéletkorának változásai 2002 és 2012 között Magyarországon [58]

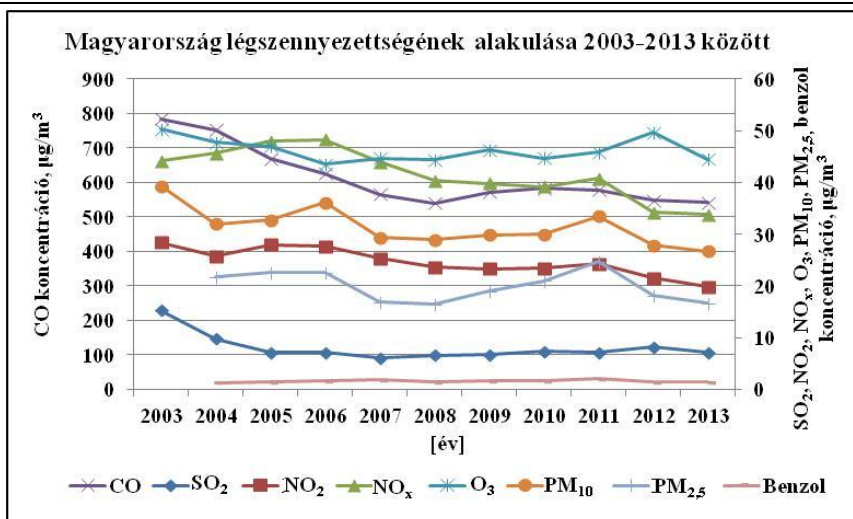
4.4.2 A légszennyezettség alakulása

Hazánk levegő szennyezettsége nemzetközi összehasonlításban közepesnek mondható, településeink levegőjének állapota nem tér el jelentősen a hasonló méretű, jellegű és helyzetű, más országokban lévő településektől.

1990-2003 között megváltozott az iparszerkezet, melynek köszönhetően a légszennyező anyagok kibocsátásai jelentősen csökkentek. Rohamosan növekedett a gépjárművek száma, bár azok fajlagos kibocsátásai csökkentek. Nőtt a szolgáltatási ágazat szerepe. Ugyanakkor ebben az időszakban már érezhetők a környezetvédelmi jogszabályok és intézkedések hatásai. A szilárd részecske (PM₁₀) szennyezettség Komló, Miskolc és Tatabánya esetében meghaladták a tűrőhatárral megnövelt határértéket, ami az akkoriban még működő szénbányászatnak (Komló, Tatabánya) és a kohászatnak (Miskolc) volt köszönhető [62].

Az iparból származó szennyezés nagymértékű csökkenése következtében a települések levegőminőségét ma már elsősorban a közlekedés és a lakossági fűtés határozza meg, de a meteorológiai helyzettől függően szerepe van a nagyobb távolságról érkező szennyezésnek is. Magyarország légszennyezettségének alakulását mutatja be a 20. ábra 2003 - 2013 között.

A PM₁₀ és PM_{2,5} éves átlagkoncentrációk kiugró értéket mutatnak 2011-ben, ami az inverziós helyzetek kiemelkedően nagy számának következménye. Ezt követően 2013-ra valamennyi komponens csökkenő tendenciát mutatott, az EU határértéket egyik sem haladta meg. Megállapítható, hogy valamennyi légszennyező komponens tekintetében 2012-ben és 2013-ban az előző évekhez képest csökkenő tendencia mutatkozik, kivéve ez alól az O₃ és az SO₂, melyeknél a 2012-es érték kis mértékben nagyobb, mint a 2011-es éves átlag. A csökkenés nem csak az emisszió csökkenésének, hanem a kedvezőbb időjárási körülményeknek is köszönhető.



20.ábra. Magyarország légszennyezettségének alakulása 2003 - 2013 között [63], [64]

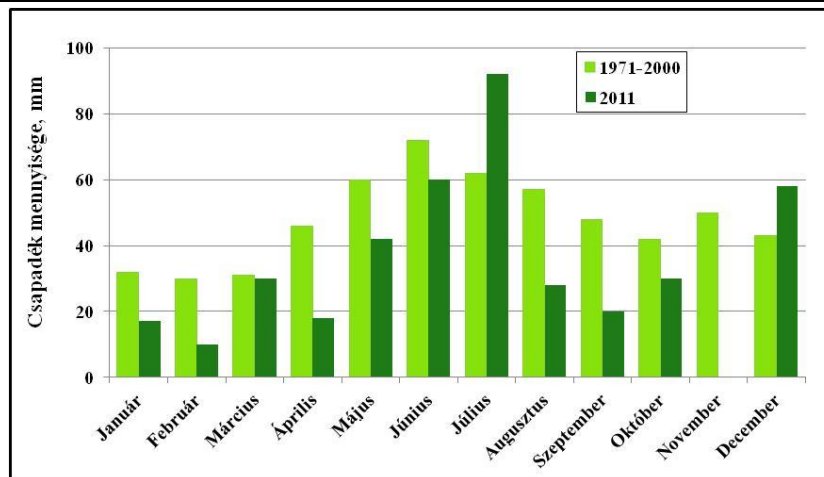
Télen a speciális meteorológiai körülmények szintén jelentősen befolyásolják a levegőminőséget. A hőmérsékleti inverzió – amikor a keveredési rétegvastagság nagyon kicsi, ezért a levegő, és benne a légszennyező anyagok elkeveredése, felhígulása nem biztosított - és a kis szélesebbé gyakran vezet a hideg időszakokban határértéket meghaladó légszennyezettség kialakulásához.

A csapadékosabb időjárás hozzájárul a földfelszíni por eltávolításához. Fagypont alatti időszakokban az utak mosása nem megoldható, így szárazabb hideg idején a felszíni por feldúsulása, valamint a PM₁₀ koncentráció növekedése várható. A szárazság nemcsak a levegőben található szennyezők kimosását gátolja, hanem a már kiülepedett por felferődését is elősegíti, mindezzel hozzájárul a porszennyezettség növekedéséhez. A 3. táblázat az éves csapadékmennyiségről ad tájékoztatást.

3. táblázat. Éves csapadékmennyiség az 1971-2000. évek átlagához viszonyított normál százalékban [65]

év	éves csapadékmennyiség az 1971-2000. évek átlagához viszonyított normál százalékban, [%]
2005	120
2006	95
2007	108
2008	102
2009	105
2010	169
2011	72

Az adatok elemzéséből kitűnik, hogy a 2011. év igen száraz volt, a bázisévek (1971- 2000 évek átlaga) átlagához viszonyítva az éves csapadékmennyiség annak mindössze 72 %-át tette ki, míg ezzel szemben 2005, 2007, 2008, 2009 és 2010-ben meghaladta azt [65]. Ráadásul a 2011. évben a csapadékmentes periódusok jórészt egybeestek a fűtési időszakokkal, amit a 21. ábra oszlopai szemléltetnek havi bontásban.



21.ábra. Havi csapadékösszegek 2011-ben és az 1971-2000-es átlagértékek [65]

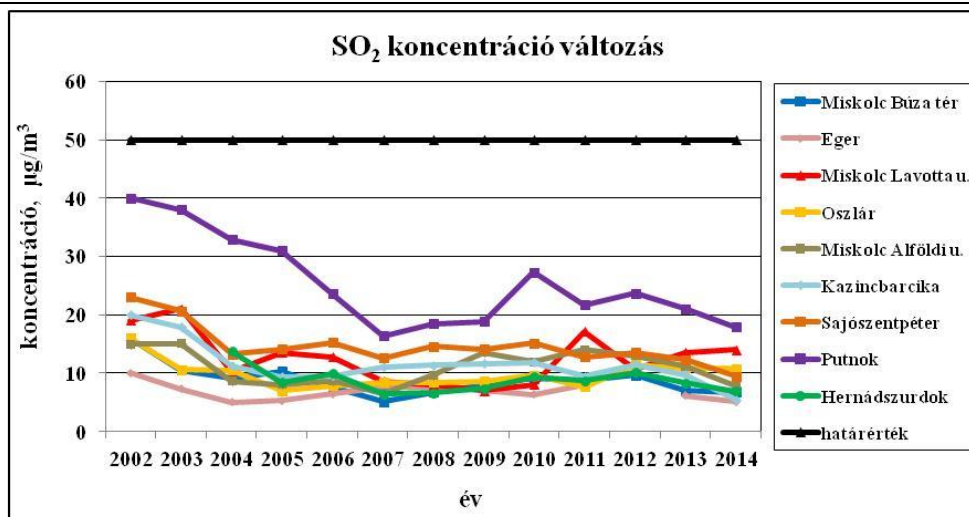
Jelentős szerepe van emellett az országhatárokon áterjedő hatásoknak is. Magyarország regionális alap szennyezettsége a környező országokhoz hasonlóan, mérsékelt. A szomszédos országok kibocsátásai alapvetően befolyásolják az országban kialakuló küszöbértéket, határértéket, tűréshatárral növelt célértéket meghaladó szennyezettséget. Hazánkban 2015-ig, nem állt rendelkezésre olyan tanulmány, amely tudományos alapon meghatározná, milyen mértékben járulnak hozzá a környező országok a hazai szennyezettséghez. Ezért kutatási programot kellett indítani az országhatáron áterjedő légszennyezés rendszeres meghatározására [66].

A kisméretű szálló por (PM₁₀) csökkentés ágazatközi intézkedési program horizontális intézkedései közül az országhatáron áterjedő levegőszennyezés vizsgálatát az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) végezte az EMEP modellező program segítségével. A modellezés eredménye szerint a PM₁₀ koncentrációhoz az országhatáron áterjedő szennyezés 0,6 és 1 % között járul hozzá attól függően, hogy a vizsgált pont milyen távolságra helyezkedik el az adott határtól. PM_{2,5} esetében a hozzájárulás mértéke 6 - 13 % között változik.

A nagytávolságú transzport hatása jelentős térbeli változékonyságot mutat, legjelentősebb az ország nyugati határvidékén, legkisebb a Duna és a Tisza által határolt északi területeken. Lengyelországból és Romániából jóval több PM_{2,5} szennyezés érkezik, mint amennyi Magyarországról oda áramlik. Szerbiánál a különbség már kisebb, Szlovákiánál pedig a tendencia megfordul [67].

4.4.3 Immissziós trendek a Sajó völgye zónában

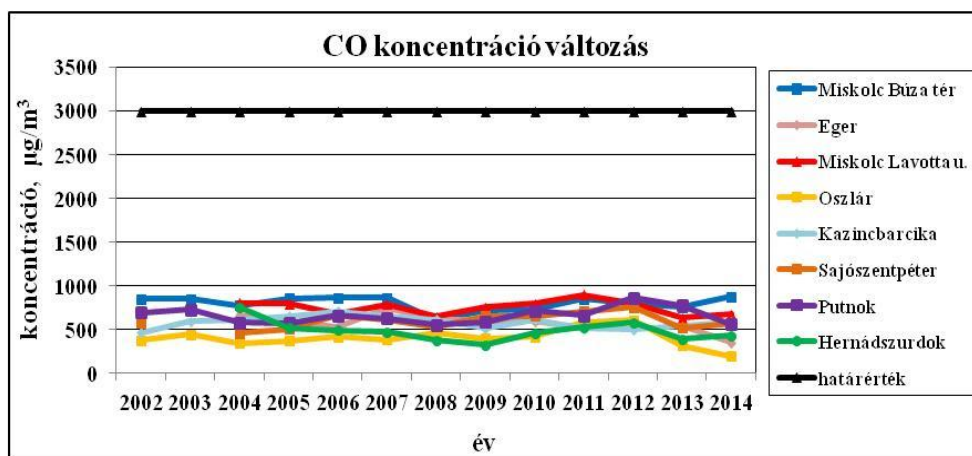
A kén-dioxid koncentráció az ország egész területén 1991-2002 közötti erőteljes csökkenés után 2003-2007 között fokozatosan tovább csökkent, majd a csökkenés megállt. Szintje 2008-ban csupán az éves egészségügyi határérték (50 µg/m³) 7 - 35%-a volt és a további években sem mutatott számottevő változást [57]. Az ÉMI-KTF illetékességi területén üzemelő monitor állomásokon a kén-dioxid koncentráció változását a 22. ábra mutatja be 2002-2014. között.



22.ábra. SO₂ koncentráció éves átlagértékének változása az ÉMI-KTF illetékességi területén üzemelő monitor állomásokon, 2002-2014. között [14]

A kritikus putnoki monitorállomáson – mely térségben a széntüzelés egyre inkább előtérbe kerül - az éves átlag nagyobb, mint a többi mérőponton, de a tendencia az utóbbi 3 évben csökkenő.

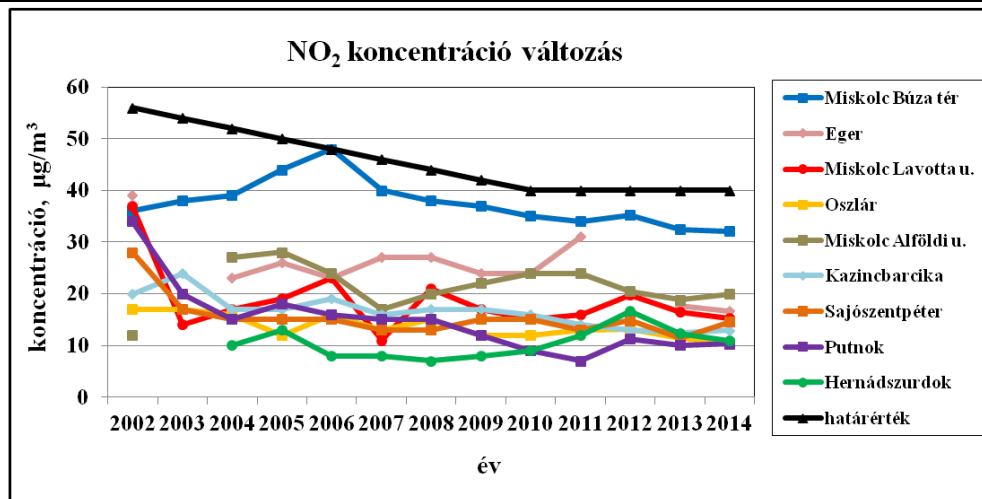
A szén-monoxid az ÉMI-KTF illetékességi területén a 23. ábra szerint nem mutat számottevő változást, a regisztrált értékek nem haladják meg a határérték 15 – 20%-át. Ez a komponens országos szinten sem jelent levegőminőségi kockázatot.



23.ábra. CO koncentráció éves átlagértékének változása az ÉMI-KTF illetékességi területén üzemelő monitor állomásokon, 2002-2014. között [14]

A nitrogén-dioxid szennyezettség minden zónára jellemző, a szennyezettség szintje a vizsgált időszakban stagnált, egyes területeken kissé emelkedett. Szintje 2008-ban a 2008-ban érvényes éves határérték (44 µg/m³) 36 - 91%-a, (Budapesten 45 - 127%-a volt), ez a 2010-től érvényes éves határérték (40 µg/m³) 40 - 93%-a, (Budapesten 50 - 140%-a) [57].

A 24. ábra az NO₂ koncentráció éves átlagértékének változását mutatja be az ÉMI-KTF illetékességi területén üzemelő monitor állomásokon, 2002-2014. között [14].



24.ábra. NO₂ koncentráció éves átlagértékének változása az ÉMI-KTF illetékességi területén üzemelő monitor állomásokon, 2002-2014. között [14]

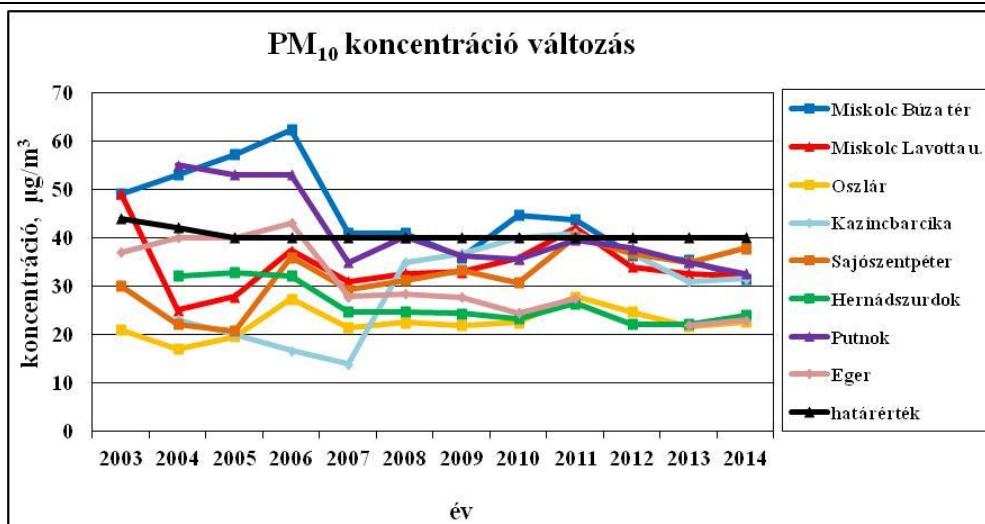
Az országos helyzettel szemben az ÉMI-KTF illetékességi területén üzemelő mérőállomásokon rögzített NO₂ koncentrációk minden esetben az éves határérték alatt maradnak, még a tipikusan közlekedési eredetű Búza téri mérőállomáson is. Kiemelendő, hogy a hernádszurdoki állomáson a tendencia kismértékben növekvő, ami a háttérszennyezettség növekedésére utal, viszont a Búza téren folyamatos a csökkenés, ami éves szinten magyarázható a várost elkerülő út megépítésével és a teherforgalom erre történő átirányításával.

A szilárd részecske (PM₁₀) szennyezettség 2003 - 2008 között továbbra is több területen nagyobb volt a megengedettnél, a határérték túllépések száma enyhén csökkenő tendenciát mutatott. Szintje 2008-ban a napi átlagokat figyelembe véve az egészségügyi határérték (50 µg/m³, ami egy évben 35-nél többször nem léphető túl) 22 - 215%-a; az éves átlagokat figyelembe véve az egészségügyi határérték (40 µg/m³) 41 - 102%-a volt [57].

A megengedett túllépésszám betartása tehát országos szinten korábban is problémát jelentett. Az általam vizsgált területen a fővárossal szemben ez az egyetlen komponens, mely jelenleg sem teljesíti az EU által meghatározott napi határértéket. Mivel Budapesten a közlekedés a fő emisszió forrás, ott az NO₂ koncentráció is túllépi a határértéket [68].

A 25. ábra a PM₁₀ koncentráció éves átlagértékének változását mutatja az ÉMI-KTF illetékességi területén üzemelő monitor állomásokon 2002-2014. között. Az éves határértékek a korábbi túllépésekkel szemben 2012-től már valamennyi ÉMI-KTF által üzemeltetett monitor állomáson betarthatók. Ezzel szemben a napi határérték túllépések száma a legszennyezettebb helyeken a megengedett kétszeresét is meghaladja. Ezt igazolja a 4. táblázat, mely az ÉMI-KTF illetékességi területén üzemelő mérőállomások PM₁₀ 24 órás határérték túllépéseit mutatja.

Az Egerben üzemelő monitor állomás 2012. október 1-jétől áthelyezésre került, mivel a korábbi mérési pont helyén parkolóház építése miatt az önkormányzatnak szüksége volt a területre. Ezért valamennyi komponens tekintetében a 2012 évre vonatkozó adatok a nem megfelelő adat rendelkezésre állás miatt nem kerültek kiértékelésre.



25.ábra. PM₁₀ koncentráció éves átlagértékének változása az ÉMI-KTF illetékességi területén üzemelő monitor állomásokon, 2002-2014. között [14]

4. táblázat. Az ÉMI-KTF illetékességi területén üzemelő mérőállomások PM₁₀ 24 órás határérték túllépései [db/év][14]

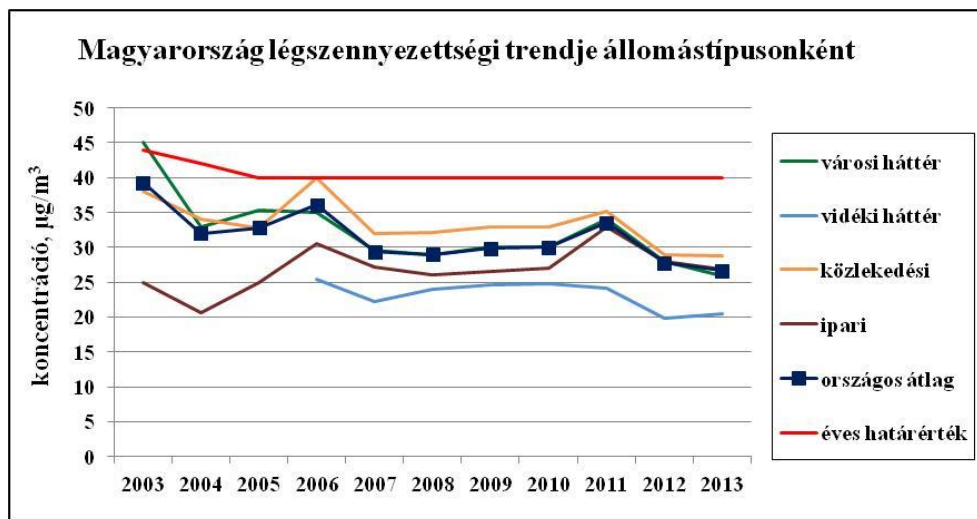
Település	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Miskolc Búza tér	81	134	178	223	89	91	59	107	115	78	75	52
Miskolc Lavotta utca	84	14	29	70	41	64	51	70	92	71	64	55
Kazincbarcika	7	6	5	4	0	62	71	93	100	91	60	60
Sajószentpéter	33	8	12	80	41	60	37	49	103	90	72	65
Putnok	54	116	148	146	72	100	64	84	114	94	77	70
Eger	30	57	73	101	23	39	23	28	40	25	9	5
Oszlár	12	2	10	24	8	17	10	21	34	24	10	16
Hernádszurdok	8	30	53	35	9	18	15	13	29	8	6	13

A félkövér betűvel szedett számok azok az éves értékek, melyek a rövid időtartamú (szilárd részecske tekintetében 24 órás) egészségügyi határértéket a megengedett 35 alkalomnál többször túllépték. (Ez a határérték csak 2005-ben került bevezetésre, de a táblázatban a 2003 és 2004 évekre vonatkozóan is bejelöltem a túllépéseket).

Megállapítható továbbá, hogy 2012-ben és 2013-ban a túllépések mértéke jelentősen csökkent. A csökkenés mértéke elsősorban a közlekedési típusú monitorállomáson (Búza tér) számottevő. (Megjegyzés: 2011-ben valamennyi EU tagállamban emelkedtek a PM₁₀ határérték túllépések).

A 2004 évben elkészült levegőminőség javítását célzó intézkedési programok nem hozták meg az elvárt eredményeket, az ÉMI-KTF illetékességi területén a PM₁₀ koncentráció továbbra is meghaladta az előírt határértékeket. A hatékony csökkenés elérése érdekében elengedhetetlenül fontos a helyzet megoldására alkalmas, hatékony intézkedési terv kidolgozása, ennek érdekében pedig a források pontos feltárása és rangsorolása [12].

A különböző típusú monitor állomások PM₁₀ koncentráció változását mutatja a 26. ábra. A tendencia alapján megállapítható, hogy a 2006-ban mutatkozó koncentráció csúcs után stagnálás következett be, amit 2010-től növekedés követett, majd 2012-ben ismét csökkenés.



26.ábra. Magyarország PM₁₀ koncentrációjának alakulása 2003- 2013 között állomástípusonként [63], [64]

Meg kell jegyezni azonban, hogy 2012-ben az egész EU-ban a kedvező meteorológiai viszonyok miatt is jelentősen csökkent a PM₁₀ koncentráció éves átlaga. Ezt követően a csökkenés továbbra is fennállt, országos értékelés alapján nem haladja meg az EU éves határértéket (40 µg/m³). 2013-ban valamennyi állomástípuson rögzített érték éves átlaga stagnálást mutatott az előző évhez képest.

Országos szinten a közlekedési típusú állomások átlaga a városi háttér állomások átlaga felett van, de 2010 után a két állomástípus közötti különbség közel felére csökkent, ami a városi háttérterhelés erősödésére enged következtetni. Megfigyelhető az is, hogy 2012-re vidéki háttérterhelés jelentősen csökkent.

5 LEVEGŐMINŐSÉG JAVÍTÁSÁRA SZOLGÁLÓ INTÉZKEDÉSI PROGRAMOK

A környezeti levegő minőségének vizsgálatáról és ellenőrzéséről szóló 96/62/EK [69] tanácsi irányelvnek való megfelelés érdekében Magyarországon 1 légszennyezettségi agglomeráció és 10 légszennyezettségi zóna került kijelölésre [70]. Az általam vizsgált terület a Sajó völgye légszennyezettségi zónába tartozik. A légszennyezettségi agglomerációra és a légszennyezettségi zónákra a levegőminőség javítását, ill. a határértéket teljesítő területeken a levegőminőség megtartását szolgáló Intézkedési Programokat kellett kidolgozni [71]. Az első Intézkedési Programok 2004 áprilisában készültek, melyek második felülvizsgálatára 2013-ban kerül sor [72].

2008-ban külön szilárd részecske koncentráció csökkentését szolgáló intézkedési programok készültek azokban a légszennyezettségi zónákban, ahol nem teljesültek a határértékek, így többek között a Sajó völgye zónában is. A programok a jelentősebb ipari kibocsátók további korlátozása mellett közlekedési intézkedéseket, parkosítást, közterületi tisztítási kötelezettségeket tartalmaznak [73].

További intézkedésként 2011 októberében a 1330/2011. (X. 12.) Korm. határozattal elfogadásra került a kisméretű szálló por (PM₁₀) csökkentés ágazatközi intézkedési programja [66].

A jogszabályban meghatározott határértékek teljesítése követelmény. Az Európai Bizottság a PM₁₀ határértékek túllépése miatt 2008-ban indított jogsértési eljárást Magyarországgal szemben [74], többek között a Sajó völgye zóna PM₁₀-re vonatkozó határérték túllépése miatt.

A szilárd részecske koncentráció vizsgálata és elemzése elengedhetetlen nemcsak az intézkedési tervek, hanem a szmoghelyzetek szabályozása miatt is. A levegő védelméről rendelkező kormányrendelet értelmében ugyanis a szilárd részecskére meghatározott küszöbértékek túllépése esetén el kell rendelni a szmogriadó tájékoztatási vagy riasztási fokozatát. Ilyen esetekben a környezetvédelmi hatóságnak rendeletben foglaltak szerinti feladata az adatszolgáltatás, az érintett önkormányzat(ok) értesítése, az adatok elemzése és javaslattevés a korlátozás módjára, mértékére.

5.1 PM₁₀ csökkentés ágazatközi intézkedési program

A levegőminőség védelmének egyik legfontosabb feladata a légköri aeroszol forrásainak minél pontosabb és jobb időfelbontású azonosítása. Az aeroszol szennyezettség forrásainak feltárásához a jellemző időszakokban intenzív mérési és mintavételi kampányokat kell tervezni. Több helyen mérni kell az aeroszol tömegkoncentrációját, méret szerinti eloszlását és komponenseinek (pl. korom) nagy időbeli felbontását.

A gyűjtött aeroszol mintákból meg kell határozni a kémiai összetételt, köztük a forrástípusokra jellemző nyomjelzők (szerves vegyületek, fémek), a szénvegyületek eredetének egyértelmű meghatározására (fosszilis szén versus biomassza eredetű szén) alkalmas radiokarbont (¹⁴C), valamint el kell végezni az egyedi részecskék mennyiségi analízisét is. E módszerek egyidejű alkalmazásával az aeroszol főbb forrástípusai és azok arányai adott időszakban nagy biztonsággal meghatározhatók [75] [76].

Magyarország 1330/2011. (X. 12.) Kormányhatározat („a kisméretű szálló por (PM₁₀) csökkentés ágazatközi intézkedési programjáról”) Intézkedési Programjának hat alprogramja közül az egyik a légköri aeroszol forrásának azonosítását célozza [66]. A program alapján megállapítható, hogy a PM₁₀ emisszió valamennyi szektort érinti, tehát minden egyes területen szükség van a kibocsátás csökkentésére, de a beavatkozás mértéke attól függ, hogy az adott ágazat milyen mértékben járul hozzá a szennyezettség kialakulásához.

Kidolgozására azért került sor, mert egyes intézkedések helyi szinten nem voltak megvalósíthatóak, ágazatközi, országos programmal lehetett csak bevezetni azokat (például a gépjárművek környezetvédelmi besorolása, alacsony kibocsátású zónák kialakítása jogszabályi lehetőségeinek kidolgozása, stb.). A kormányhatározat a környezetvédelmi követelmények kielégítése érdekében összefoglalja a közlekedésre, az iparra, a szolgáltatási szektorra és a lakosságra vonatkozó intézkedéseket a programirányok szem előtt tartásával.

5.2 Sajó völgye zóna intézkedési program

A jogszabályi kötelezettség alapján azokra a zónákra, ahol a légszennyezettség meghaladja a határértéket a környezetvédelmi hatóság az érdekelt közegészségügyi és közlekedési hatóságok és települési önkormányzatok jegyzőjének közreműködésével, illetőleg az érintett légszennyezők véleményének kikérése alapján intézkedési programot készít és hoz nyilvánosságra, amelyek ütemezett végrehajtásával biztosítható a határértékek betartása. A Sajó völgye zónában két komponens (nitrogén-dioxid, szilárd PM₁₀) tekintetében C csoportba történt a besorolás, ami azt jelenti, hogy a légszennyezettség a légszennyezettségi határérték és a tűréshatár között van. A 2004 áprilisában elkészített intézkedési program részletesen tartalmazza a zóna levegőminőség javítására irányuló lehetséges intézkedéseket [70].

2008. évben a Sajó völgye zóna intézkedési program teljesítés kiértékelése során a Felügyelőség megállapította, hogy a programban meghatározott valamennyi intézkedés végrehajtásra került. Az ipari kibocsátók teljesítették a vállalásaikat, az önkormányzatok megalkották a légszennyezés csökkentését szolgáló helyi rendeleteiket. Az utak korszerűsítése, autópályák, elkerülő utak építése megtörtént, ill. folyamatban volt. Mindennek ellenére sem az éves, sem a napi PM₁₀ határérték nem teljesült ebben a zónában.

Az Európai Unió által kitűzött levegőminőségi célok teljesítése érdekében további intézkedésekre volt szükség a PM₁₀ határértéket átlépő településeken, melyeket a 2008 szeptemberében elkészített „Intézkedési program a PM₁₀ komponens határérték túllépések megszüntetésére” dokumentum tartalmaz.

Miskolc város önkormányzata korábbi intézkedéseit az alábbiakkal egészítette ki:

- Zöldterület intenzifikálása és karbantartása.
- A motorizált közlekedés csökkentésére városi program kidolgozása és megvalósítása.
- A tömegközlekedés fejlesztése, emissziójának csökkentése.
- „Zöld nyíl” villamosvasút fejlesztési projekt megvalósítása.
- A biztonságos kerékpáros közlekedés feltételeinek kialakítása.
- Fűtése korszerűsítés és megújuló energiaforrások használatának elterjesztése.
- A távfűtési rendszer rekonstrukciója.
- A kerti hulladékok komposztálásának elősegítése.
- Folyékony siktalanító anyagok használati arányának növelése [73].

Az intézkedések hatékonyságát a 2012, 2013 és 2014-ben regisztrált levegőminőségi adatok már igazolják, amit a 4. táblázat adatai jól mutatnak azzal a megjegyzéssel, hogy az utóbbi 3 évben a kedvezőbb időjárás is hozzájárult a PM₁₀ koncentráció csökkenéshez.

6 LÉGKÖRI AEROSZOL FORRÁSAZONOSÍTÁSA

Az EU különböző területein néhány szennyezőanyag jóval nagyobb mennyiségben fordul elő, mint más területeken. Pl. Anglia dél-keleti részén a szekunder PM₁₀ koncentráció jóval nagyobb, mint a Nagy-Britannia többi részén. Spanyolországban másrészt a só erózió, a reszuszpenzió és a Szaharából származó por szignifikáns [77]. Több tanulmány kimutatta, hogy az európai országokban – elsősorban Európa déli részén, Spanyolországban és Lampedusan - előforduló nagy PM₁₀ koncentrációjú epizódokban jelentős szerepet játszik a Szaharából transzportfolyamatok során Európába szállítódó sivatagi por [78], [79], [80], [81].

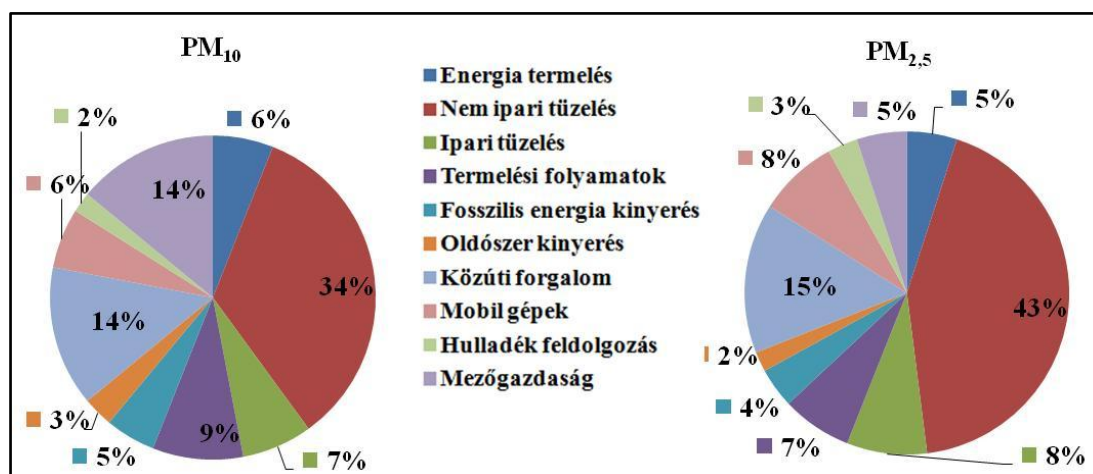
Ausztriában a forráselemzésnél szintén megállapításra került, hogy a Szaharából származó por is szerepet játszik a levegőminőség alakulásában. 4 fő szituáció különböztethető meg a PM₁₀ túllépési helyzetek vizsgálatánál az alábbiak szerint:

1. távolsági transzport,
2. távolsági transzport regionális szennyezőanyag akkumulációval kombinálva (regionális emisszió következményekét),
3. regionális szennyezőanyag akkumuláció,
4. Szahara-por [82].

A Skandináv országokban a fatüzelés, a téli sózás és a szeges gumiabroncsok használata miatti útkopás hozzájárulása felelős a PM₁₀ problémáért. Tehát az EU különböző területein különböző forrás- és koncentráció becslési módszerek állnak rendelkezésre, különböző emissziós faktorokat vagy különböző metodikát alkalmaznak [78].

A vulkáni tevékenység okozta transzport hatást több ország vizsgálta az izlandi Eyjafjallajökull vulkán 2010. március 21-i kitörése után. Németországban a részecske szűrők tartalmát vizsgálták meg tipikus vulkáni komponensekre is. A vizsgálatok megállapításai szerint az izlandi vulkáni hamu egyértelműen kimutatható volt Baden-Württembergben 2010. április 17. és 21. között [83].

A 27. ábra az antropogén források részarányát mutatja a PM₁₀ és a PM_{2,5} emisszióban az EU28 országokban 2009-ben.



27.ábra. Az antropogén források részaránya a PM₁₀ és a PM_{2,5} emisszióban az EU28 országokban 2009-ben [84]

A nem ipari eredetű tüzelés mindkét PM frakcióban kimagasló hányadot tölt be, de a PM_{2,5} kibocsátásban 9 %-al nagyobb. A második helyen mindkét frakció esetében a közlekedés áll. Szembetűnő továbbá a különbség a mezőgazdaság részarányában, mely szektor PM₁₀ kibocsátása közel háromszorosa a PM_{2,5}-nek.

A nagyvárosokban a levegő minőségét a közlekedési eredetű aeroszol-szennyezés egyre nagyobb mértékben befolyásolja. A PM₁₀ forrásainak azonosítása során különösen nagy kihívás a regionális transzportból származó és a helyi források által kibocsátott részecskék megkülönböztetése [23].

6.1 Légtörri aeroszol forrásazonosítására alkalmazott eljárások

A mérőállomások adatainak feldolgozásán alapuló forrásazonosító modellek célja, annak rekonstruálása, hogy az egyes emissziós források milyen mértékben vesznek részt az adott szennyezés összetételében.

A forrásazonosító módszerek három fő csoportba sorolhatók:

1. mérési adatok értékelésén alapuló módszerek például:
 - a. szennyező komponensek mennyisége és a szélirány közötti korreláció vizsgálata;
 - b. gáz és szilárd halmazállapotú szennyező anyagok tömegkoncentrációja közötti korreláció vizsgálata;
 - c. háttér állomáson mért érték kivonása (autópálya közeli környezetben mért szennyezés mértékéből kivonva a városi háttér állomáson mért mennyiséget, megbecsülhető a forgalomnak a légszennyezéshez való hozzájárulása);
 - d. természetes eredetű PM mennyiség becslése (városi háttérszennyezésből kivonva a regionális háttérszennyezést megfelelő meteorológiai körülmények között).
2. emissziós leltáron és/vagy diszperziós modellen alapuló módszerek:

A szennyezőanyagok koncentráció eloszlását próbálják leírni olyan alap paraméterek függvényében, amelyek jellemzik az áramlást, a szélesebbeséget, a felszíni hő fluxust és a keveredési rétegvastagságot. Ez a módszer meglehetősen bonyolult és időigényes.

3. receptormodellek:

Receptorpontokon végzett mérések alapján következtet a lehetséges kibocsátó források típusára, intenzitására, a különböző helyeken található kibocsátók relatív hozzájárulásának mértékére a vizsgált szennyező koncentrációjának kialakításában. A számítások a szennyezőanyagok receptorpontokon meghatározott tömegmérlegeken nyugszanak, meteorológiai mezőkkel, domborzattal és a forráserősséggel kapcsolatos adatok szükségtelenek.

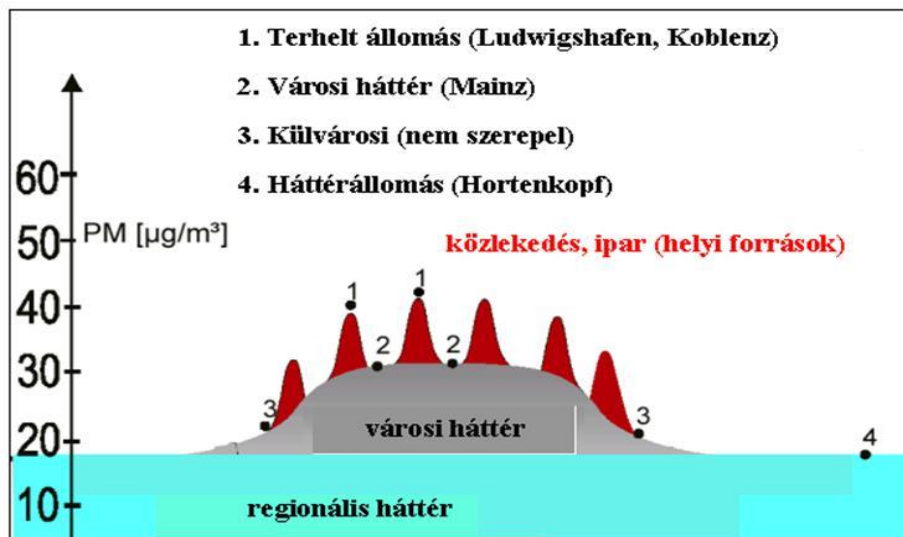
Receptormodellekhez három különböző típusú statisztikai eljárás alkalmazható:

- kémiai tömegmérleg-számítás (a kibocsátó forrásoknak a receptorpontokon mért koncentrációkhoz történő relatív hozzájárulásainak becslésére alkalmas);
- fő komponens analízis (a források azonosításában nyújt segítséget);
- empirikus ortogonális függvény módszer (a források helyének és erősségének meghatározására használatos) [23].

6.2 Példa az egyes forrásazonosítási módszerekre

1. Mérési adatok értékelésén alapuló módszerek

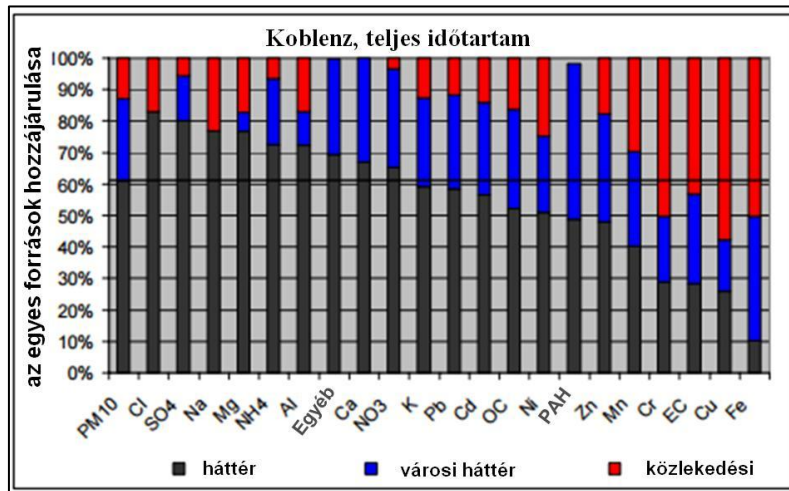
- a) Spanyolországi kutatók ezzel a módszerrel az afrikai eredetű PM terhelés növekedését vizsgálták Dél-Európában porviharok esetén. A napi PM₁₀ regionális háttér adatot vonták ki az ugyanazon háttérállomáson egy nappal korábban, a porvihar előtt regisztrált értékből. A különbség a napi afrikai eredetű PM [85].
Egy másik tanulmány a légszennyező anyagok koncentrációja és a szélirány közötti összefüggéseket vizsgálta nem paraméteres regresszióval (Gauss) [86].
- b) A PM₁₀ és a többi légszennyező koncentráció aránya használható a járulékos részecskék lehetséges forrásának meghatározására. A PM₁₀ koncentrációt a többi légszennyező koncentrációjához arányítva, az arány megmutatja, hogy a PM₁₀ és a többi légszennyező anyag ugyanabból a forrásból származik-e. Az arány csökken, ha a forrás különböző. Légszennyezési epizódok alatt, ahol a közúti közlekedés volt a leginkább feltételezett forrás, a PM₁₀ szén-monoxid valamint PM₁₀ nitrogén-monoxid koncentráció aránya csökken, de a PM₁₀ kén-dioxid és PM₁₀ ózon arány növekszik. Ezzel ellentétben, ha az epizódot a rendelkezésre álló információk alapján építkezési tevékenység okozza, az előbb említett valamennyi arány csökken [87].
- c) Ezt a forrás-hozzárendelés módszert alkalmazta Rheinland-Pfalzban a Környezetvédelmi Hivatal. 2002. 03. 28. és 2003. 03. 26. között négy ponton (Hortenkopf – háttérpont; Mainz-Goetheplatz – városi háttérpont; Koblenz-Zentralplatz – közlekedési pont; Ludwigshafen-Mundenheim – ipar és közlekedés által befolyásolt városi pont) vizsgálták a PM₁₀ tömegkoncentrációt és az elemi összetételt [88]. A vizsgálatok eredményét a 28. ábra mutatja be.



28.ábra. Forrás-hozzárendelés Lenschow módszere szerint [88]

Lenschow és kollégái a PM₁₀ forrásazonosításnál abból indultak ki, hogy a különböző forrástípusok hozzájárulása egymástól elválasztható. Ebben az esetben háttér-, külvárosi-, városi háttér és terhelt pont (Hot Spot) állomásokra osztották fel a vizsgált pontokat [88]. Emellett vizsgálták az egyes források hozzájárulását a különböző típusú monitorállomások PM₁₀ mintáiban.

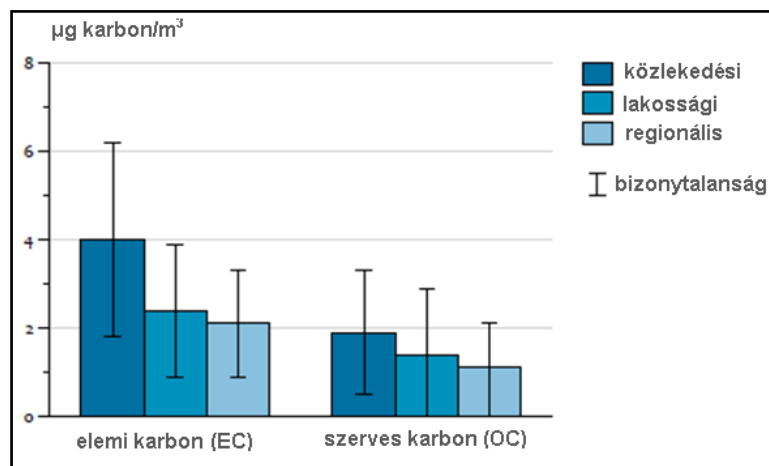
Az elemanalízis eredményét mutatja a 29. ábra.



29.ábra. Az egyes állomástípusok hozzájárulása a PM₁₀ alkotóelemeihez [88]

Ugyanezen módszert alkalmazták Berlin légszennyezettségének átfogó vizsgálatok, ahol megállapították, hogy a városi háttér állomásokon a PM₁₀ koncentráció 50 %-áért a szekunder aeroszolok (ammónium-nitrát, ammónium-szulfát) és a természetes források nagy távolságra jutó transzport folyamatai felelősek. A fő útvonalak forgalmas oldalán a PM₁₀ koncentráció 40 %-al nagyobb, mint a városi háttér. Ennek a többletterhelésnek a feléért a kipufogógáz emisszió és a gumikopás felelős, a másik felét a reszuszpendálódott aeroszol részecskék adják [89].

- d) Holland kutatók összefüggést kerestek az elemi és a szerves karbon mennyiség és a különböző mérőállomás típusok között a 30. ábra a PM₁₀ karbon tartalmú komponenseinek alakulását mutatja a különböző típusú monitor állomásokon a 2007 és 2008 közötti intervallumban végzett vizsgálatok alapján .



30.ábra. PM₁₀ karbon tartalmú komponenseinek alakulása 2007 és 2008 között végzett vizsgálatok alapján [90]

Az egyes állomástípusokon jelentős a különbség az elemi és a szerves karbon részaránya között. Megfigyelhető viszont, hogy a sorrend mindkét komponensnél ugyanaz, a közlekedési állomás vezető szerepe mellett a lakossági arány a második helyre szorul [90].

Magyarországon az első rendszeres aeroszorból történő szén meghatározásokra az 1970-es években került sor. A városi aeroszolban mérhető széntartalmat többféleképpen

definiálják. A két fő széntartalmú összetevő egyike a grafit jellegű szén, amelyet a mérési metodikától függően elemi szénnek (termikus-optikai mérési módszer, elemental carbon, EC) vagy fekete karbonnak (műkorom) neveznek (optikai tulajdonságok alapján, black carbon, BC). A másik összetevő, pedig a szerves anyag (organic matter, OM).

A szerves anyag tömegét általában a szerves széntartalommal (organic carbon, OC) fejezzük ki. Az elemi széntartalom, a szerves széntartalom és a teljes szervesetlen széntartalom (total inorganic carbon TIC) összegeként megkapjuk a teljes széntartalmat ($TC=OC+EC+TIC$).

Egy másik megközelítés alapján definiálhatjuk a teljes szerves széntartalmat (total organic carbon, TOC) és a teljes szervesetlen széntartalmat is, a kettő összegzésével szintén a teljes széntartalmat (total carbon, $TC=TOC+TIC$) kapjuk meg [27].

2. Emissziós leltáron és/vagy diszperziós modellen alapuló módszerek

Ezt a módszert alkalmazta pl. Németországban a Baden-Württembergi tartomány Tartományi Hivatala. A vizsgálat tárgya a 2006 telén fellépő nagy PM₁₀ szennyezettség okainak kutatása volt [91].

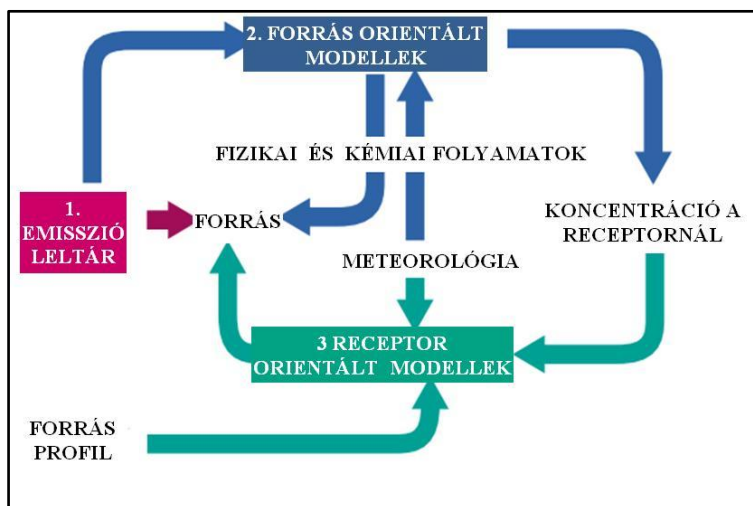
3.Receptormodellek

Ennek a módszernek az alkalmazásához ad iránymutatást az European Guide on Air Pollution Source Apportionment with Receptor Models dokumentáció [92].

Különböző megközelítések használatosak a légszennyező források levegő minőségre gyakorolt hatásának vizsgálatára. A leggyakrabban használt technikák:

Feltáró módszer, emissziós leltárak, inverz modellezés, Lagrange modell, Gauss modell, Euler modell, receptor modell.

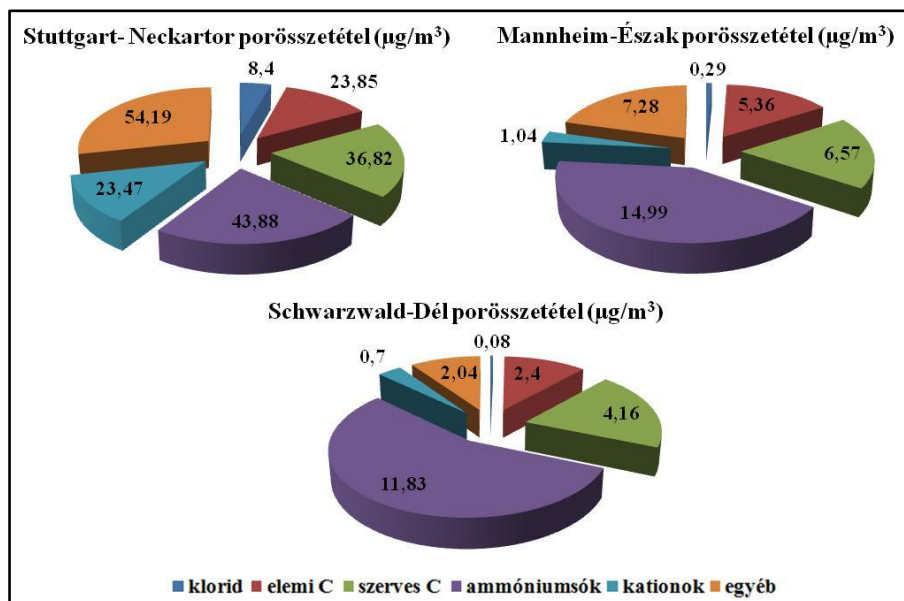
A 31. ábra a forrásazonosításhoz használt különböző módszerek sematikus ábráját mutatja be.



31.ábra. Forrásazonosításhoz használt különböző módszerek sematikus ábrája [92]

A különböző receptor modellek az eredményeket tekintve jelentősen különböznek egymástól.

- A kémiai tömegmérleghez (chemische Massenbilanzmodell = CMB) a teljes forrás-emisszióprofil szükséges. A Baden-Württemberg tartományban ezen módszer alkalmazásával készült PM összetétel eredményeket mutatja a 32. ábra.



32. ábra. Különböző típusú monitorállomások PM₁₀ összetétele receptormodell alkalmazásával Németországban [93]

- A multivariációs modellekhez nem szükséges további információ a forrás-emisszió összetételéről.

A multivariációs statisztika lehetővé teszi a korábban nem ismert források azonosítását, viszont az a hátránya, hogy egyrészt egy adathalmazból több információt próbál kinyerni, mint amennyit tartalmaz, másrészt pl. a transzport folyamatokból származó belső korrelációkat nem oldja fel [51] [94].

Ilyen módszer pl. az elvi elemanalízis (Principle Component Analysis = PCA), melyet többek között Észak-Spanyolország 3, jelentős iparterület közeli monitorállomásának adatelemzésére használtak fel [95].

A másik módszer a pozitív mátrix faktoranalízis (Positiv-MatrixFaktorisierung = PMF). A pozitív mátrix faktoranalízist finn EMEP állomás napi csapadékleoszlásának vizsgálatánál alkalmazták először [96].

A transz-alpesi főutak közlekedési kibocsátásainak PM₁₀ forrásazonosítására is ezt a modellt használták. Elemi és szerves karbontartalmat vizsgáltak 2007 és 2009 között a napi PM₁₀ szűrőkről gyűjtött mintából 7 mérőponton [97].

Az egyes részecskék eredetének azonosítását megkönnyíti a nyomjelzők használata. A korom a dízel gépjárművek, a levoglucosan a fakorom, az As a háztartási széntüzelés, a NaCl az útszórósó, a Si és a Ca az ásványi porok, a Fe a vas- és acéltermelés és feldolgozás, ammónium-szulfát, -nitrát pedig a szervesetlen szekunder aeroszol makro nyomjelzője [98].

A szilárd részecske forrás felosztásával foglalkozó, 1987 és 2007 között megjelent európai publikációkban a PM₁₀ és PM_{2,5} komponensek forrás azonosítására az alábbi fő komponenseket használták: közlekedési forrás (szén/Fe/Ba/Zn/Cu), földkéregből

származó forrás (Al/Si/Ca/Fe), tengeri só forrás (Na/Cl/Mg), vegyes ipari/tüzelőanyag-olaj tüzelés (V/Ni/SO₄²⁻) és a másodlagos aeroszolk (SO₄²⁻/NO₃⁻/NH₄⁺) [99].

Madrid városi állomásának adatait szintén ezzel a módszerrel értékelték ki. Négy fő forrást azonosítottak a következők szerint: közúti közlekedés, földkérgi/ásványi forrás, másodlagos és tengeri eredetű aeroszol. Észak-Afrika sivatagi régióját azonosították, mint a földkérgi részecske leginkább szignifikáns forrását a nagy Al és Ti tartalma alapján. Az Atlanti-óceáni régió gyengén közepes Na forrás [100].

Krakkói esettanulmányban 6 különböző helyről gyűjtötték az adatokat. Az elemzés során az következő csoportokat különítették el: szénttüzelés a már ismert korom, szerves karbon (OC), bróm vagy a szekunder emisszióból az ammónium, szulfát, nitrát komponensekkel; talaj- vagy közúti eredetű markerként az alumínium, titán, kvarc, vas, kalcium [94].

6.3 Levegőkémiai modellek

Míg a korábbi direktívák a becslésen és az évente jelentett mérési adatokon alapultak, a Levegőminőségi Irányelv - 2008/50/EC Irányelv – a levegőminőségi modellek használatát támogatja sok más applikációval kombinálva.

A levegőminőség becsléshez szükséges modelleket a becsült terület méretétől függően lehet megválasztani. Helyi/hotspot (1 - 1000 m) terület esetén Gauss és nem Gauss paraméterezett modellek, statisztikai modellek, gátlás-feloldó dinamikus modellek és Lagrange részecske modellek használhatók. Lakossági/agglomeráció (1 - 300 km) vizsgálatára a Gauss és nem Gauss paraméterezett modellek, az Euler kémiai transzport modellek és a Lagrange részecske modellek használhatók. Regionális (25 - 10000 km) hatás becslésére az Euler kémiai transzport modell és a Lagrange kémiai modellek alkalmasak [101].

A különböző feladatokhoz az alábbi modell programokat fejlesztették ki:

- Nagytávolságú transzport modellek (LRT): EMEP
- Regionális skálájú levegőminőség előrejelző modellek: CHIMERE
- Szabályozás-orientált modell: AERMOD
- Baleseti modellek:
 - trajektória számítások: FLEXTRA
 - regionális és kontinentális skála: FLEXPART

A nagytávolságú transzport modellek a következő feladatok ellátására alkalmasak:

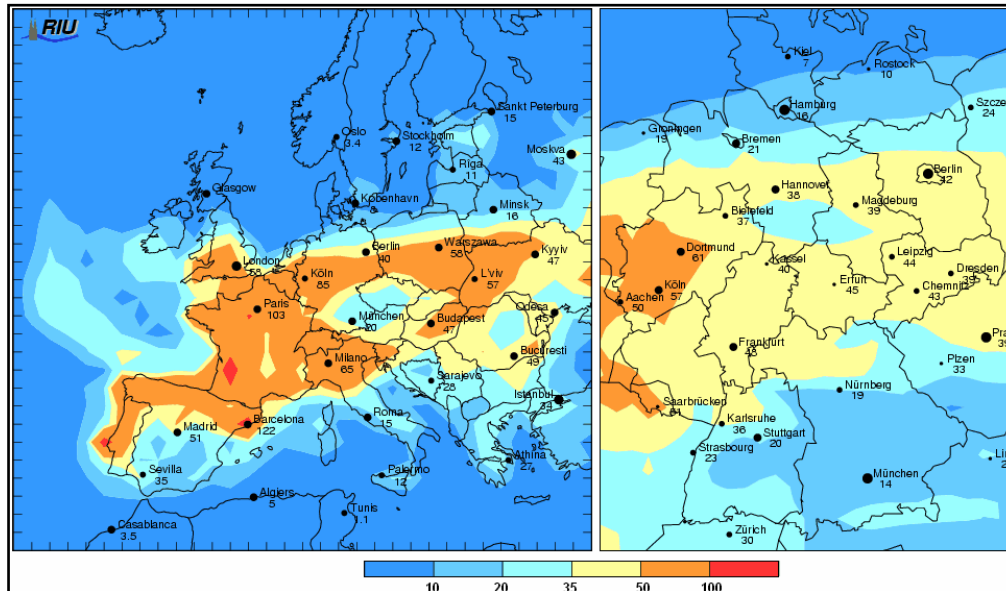
- Regionális levegőminőség értékelése;
- Lokális/nagytávolságú hatások szétválasztása;
- Az ökoszisztéma aktuális/kritikus terhelés arányának becslése;
- Határértékek, értékelési küszöbök túllépésének becslése;
- Források azonosítása.

Ez a típusú modell használható arra, hogy meghatározzuk, hogy Magyarországon a PM₁₀ szennyezettség kialakulásához milyen mértékben járulnak hozzá a környező országok [102].

Az állomásspecifikus prognózis-modellek mellett van még néhány további kémiai elemzésen alapuló modell a PM₁₀ nagy távolságra jutó immissziós prognózisára, mint pl. az

EURAD (Europäisches Ausbreitungs- und Depositionsmodell = Európai terjedés- és depozíciós modell) vagy a PREV'AIR [103].

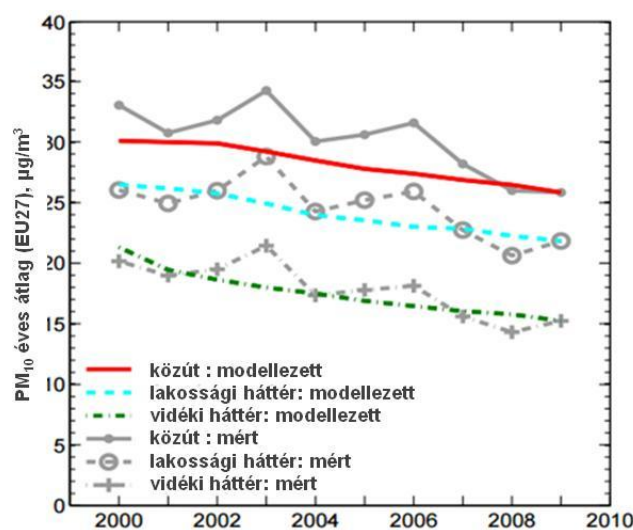
A 33. ábra. egy példát mutat be az EURAD modellel lefuttatott PM₁₀ prognózisra Európában és Németországban két napra előre.



33.ábra. EURAD modellel lefuttatott PM₁₀ prognózis [103]

Különböző modellek használhatók az utak melletti levegőminőség becslésére. Az indiai Guwahati egyik legforgalmasabb kereszteződésében a levegőminőség kiértékelésére három levegő minőségi modellt alkalmaztak. Ezekkel a modellek a járművekből származó szilárd részecske (PM₁₀ és PM_{2,5}) emissziót, a helyi meteorológiai viszonyokat és a mért PM₁₀ és PM_{2,5} napi átlag koncentráció időbeli eloszlást értékelték ki [104].

A 34. ábra a modellezett és mért PM₁₀ átlagokat mutatja be különböző típusú monitor állomások esetében az EU-ban.



34.ábra. Modellezett és mért PM₁₀ átlagok idősoros változása a különböző típusú monitor állomásokon az EU-ban [41]

A modellezett trendek elsimítják a kiugró értékeket. A közúti modellezett görbe jellemzően alábecsüli a tényleges koncentrációt, a háttér típusú állomások esetében viszont kiegyenlítettebb a két görbe közötti különbség.

A statisztikai modellek többnyire képesek nagyon pontos rövid távú előrejelzésre, azonban nem tudnak számot adni a vegyi és fizikai folyamatok városi levegőminőségre gyakorolt hosszú távú hatásáról [105].

A modellezés előnyei és hátrányai:

- Előnyök:
- Olyan területek levegőminősége is vizsgálható, ahol nincs mérőállomás (térbeli fedettség növelés).
 - A mérési pontok száma optimalizálható.
 - A mérések azokra a helyekre koncentrálnak, ahol a levegőminőség problematikus.
- Hátrányok:
- A modelleket jó minőségű input (emisszió + meteorológia) adatokkal kell ellátni.
 - A modelleket validálni kell.
 - A modellek fizikai, kémiai korlátainak ismerete szükséges.
 - Az adatok futtatásához és értékeléséhez szakember kell.

7 ADATELEMZÉS

Kutatási témám Szilárd részecske forrás-hozzárendelése és a szmoghelyzet kezelése mérési adatokra alapozott statisztikai elemzés segítségével.

Munkám során elemeztem az OLM (Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat) több évre visszamenőleg rendelkezésre álló szennyezőanyag koncentráció adatait (közel 80000 adatot) az általam vizsgált Sajó völgye légszennyezettségi zónában. Hosszú- és rövidtávú trendek alapján következtettem a Miskolc város légszennyezettségét meghatározó forrásokra összevetve az egyes légszennyező komponensek napi lefutását, figyelembe véve a mért meteorológiai adatokat. Megvizsgáltam a Sajó völgye légszennyezettségi zóna és Miskolc város légszennyezettsége közötti összefüggéseket. A Sajó völgye zóna monitor állomásainak bevonására azért volt szükség, mivel Miskolcon hosszútávú adatsorok tekintetében csak két típusú monitor állomás adatai állnak rendelkezésre (városi, közlekedési).

Az levegőminőségi vizsgálatok, alapján a Sajó völgye légszennyezettségi zóna kritikus komponense a PM₁₀. A napi határérték túllépések száma meghaladja a 35-öt, ezért a zónára vonatkozóan jogsértési eljárás folyik az EU-ban.

Disszertációmban az ÉMI-KTF által rendelkezésemre bocsátott adatsorokat értékeltem ki 2002-től 2014-ig. Az éves és napi koncentráció értékek valamint a mért meteorológiai adatok közötti összefüggéseket vizsgáltam, összevetve az ipari, lakossági, közlekedési és háttér állomások adatait. A továbbiakban a legkritikusabb PM₁₀ komponens forrás hozzárendelésére szűkítettem le az elemzést, mivel a Sajó völgye légszennyezettségi zóna tekintetében napjainkban ez a légszennyező anyag nem teljesíti az EU határértékeket.

A szmoghelyzetekben végrehajtandó hatékony intézkedések elrendeléséhez elengedhetetlen a túllépést okozó helyzetek elemzése, ezért a továbbiakban a forrás hozzárendeléshez részletesen vizsgáltam a szmoghelyzetek lefutását a teljes epizódok alatt valamint 24 órás intervallumban.

7.1 Az adatok forrása

Hazánkban a levegőminőség mérését, értékelését az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat (OLM) végzi. A hálózat alapvetően két részből áll: az automata állomások folyamatos mérést végeznek, a manuális hálózat (RIV) pontjain gyűjtött minták elemzése laboratóriumban történik, és kén-dioxid, nitrogén-dioxid (kivételes helyeken ülepedő por) összetevőkre korlátozódik.

A hálózat szakmai irányítása a Földművelésügyi Minisztériumhoz tartozik, a rendszer szakmai irányításának operatív, valamint a minőségirányítás feladatait az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) alá tartozó Levegőtisztaság-védelmi Referencia Központ (LRK) látja el. A mérőállomások és pontok üzemeltetése a kijelölt megyei kormányhivatalok (korábban: környezetvédelmi és természetvédelmi felügyelőségek) feladata, a hálózat egyes háttérállomásainak üzemeltetése az OMSZ-hoz tartozik [14].

Az OMSZ Farkasfán, K-pusztán és Nyírjesen a regionálisan legfontosabb, a környezetre kockázatot jelentő légszennyező anyagokat méri, melyek közül PM₁₀ regisztráció csak K-Pusztán van. (Megjegyzés: Hegyhátsálon CO₂, CH₄, CO, H₂, N₂O és SF₆ mintavételezés történik, Hortobágyon csapadék mintavételezés és ózonmérés folyik, Siófokon

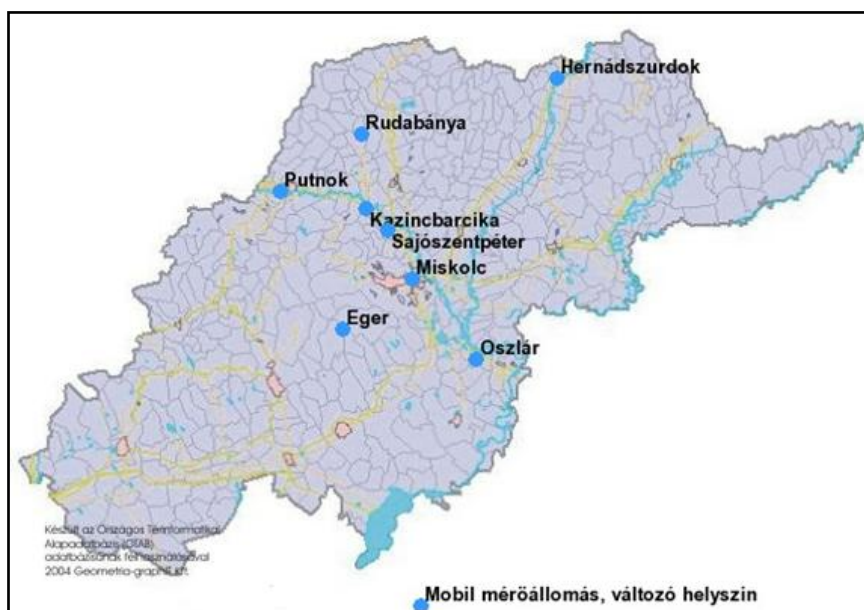
csapadékminta-vételek folynak, elsősorban a Balatonba történő ülepedés megfigyelése céljából).

A 35. ábra az OMSZ által üzemeltetett valamennyi háttérszennyezettség mérőállomás elhelyezkedését mutatja.



35.ábra. OMSZ háttérszennyezettség mérőállomások [14]

A 36. ábra az ÉMI-KTF illetékességi területén üzemelő monitor állomások elhelyezkedését mutatja. Ezen állomások mérési adatai képezik a disszertációban vizsgált összefüggések alapját.



36.ábra. Az ÉMI-KTF illetékességi területén üzemelő monitor állomások elhelyezkedése [14]

A mérési eredmények értékelése során figyelembe kell venni a mérőállomások jellegét, melyet a telepítés helyszíne határoz meg. A levegőterheltségi szintet vizsgáló mérőpontok elhelyezésének követelményeit a 6/2011 (I.14.) VM rendelet határozza meg [106].

Az 5. táblázat a Sajó völgye zónában működő monitor állomások besorolását mutatja be.

A domináns légszennyező forrásokat abban a sorrendben adja meg a táblázat, amilyen mértékben az egyes tevékenységek hozzájárulnak a mért terület immissziós helyzetéhez.

Annak alapján, hogy az állomás az emisszió forráshoz képest hogyan helyezkedik el, megkülönböztetünk regionális, városi háttér, ipari és közlekedési állomást. A városi háttérállomás ipari és közlekedési emissziótól nem közvetlenül befolyásolt városi területen helyezkedik el, míg az ipari háttér bizonyos ipari létesítmény, a közlekedési pedig nagyobb forgalmú út közelében található.

5. táblázat. A Sajó völgye zónában működő monitor állomások besorolása [14]

Település	Cím	Domináns légszennyező források	Mérőállomás besorolása	Állomáskód
Miskolc	Búza tér	közúti közlekedés, szállítás kereskedelmi, intézményi fűtés lakossági fűtés, tüzelés szolgáltatások	városközponti/ közlekedés	M4
Miskolc-Görömböly	Lavotta út	lakossági fűtés, tüzelés ipari technológiák közúti közlekedés, szállítás	külvárosi háttér	M6
Miskolc-Martintelep	Alföldi utca	lakossági fűtés, tüzelés közúti közlekedés, szállítás	külvárosi háttér	M5
Kazincbarcika	Egressy Béni u. 1.	lakossági fűtés, tüzelés kereskedelmi, intézményi fűtés ipari tüzelőberendezések ipari technológiák	városi háttér	K1
Sajószentpéter	Sport út	lakossági fűtés, tüzelés ipari technológiák ipari tüzelőberendezések közúti közlekedés, szállítás	külvárosi/ipari	S1
Putnok	Bajcsy- Zsilinszky u.	lakossági fűtés, tüzelés	külvárosi háttér	P1
Oszlár	Petőfi u. 2.	ipari technológiák ipari tüzelőberendezések lakossági fűtés, tüzelés mezőgazdaság	vidéki ipari	T1
Hernádszurdok	Gátórház 3.	háttér légszennyezettség	vidéki háttér	H1

Az Oszlár és Hernádszurdokon üzemelő monitor állomások a közlekedéstől és egyéb szilárd részecske kibocsátó forrástól (ipari, lakossági források) távol helyezkednek el, ezért adataik ezen komponens vonatkozásában háttér koncentrációként értékelhetők. (Egyéb, elsősorban szerves komponensek tekintetében minősül az oszlári állomás vidéki ipari állomásnak). Miskolc tekintetében az Oszlár mért adatok tekinthetők relevánsnak, mivel ugyanabban a völgyben (Sajó völgy) helyezkedik el a két település. Hernádszurdok Szlovákia legszennyezettebb ipari forrásaitól, az U.S. Steel Kosice vasműtől mindössze 21,4 km-re van, tehát a mért koncentráció elsősorban a határon áttérjedő szennyezés meghatározására lehet alkalmas.

A monitor állomások műszerei NO, NO₂, NO_x, SO₂, CO, O₃, és PM₁₀ komponenseket mérnek, az oszlári és a Miskolc, Búza téri állomás BTEX mérőműszerrel is rendelkezik. Ezen kívül rögzítik a hőmérséklet, szélirány, szélsébség és páratartalom értékeket.

7.2 Jogszabályi háttér

A levegő védelméről szóló 306/2010 (XII.23.) Kormányrendelet 14. §-a írja elő a levegőminőségi terv készítési kötelezettséget azokra a zónákra és agglomerációkra, amelyekben a levegő kén-dioxid, nitrogén-oxid, nitrogén-dioxid, PM₁₀, PM_{2,5}, ólom, benzol

vagy szén-monoxid szintje az éves levegőminőségi értékelés alapján meghaladja a határértéket. A tájékoztatási vagy riasztási fokozat elrendelésének feltételeit, menetét a Korm. rendelet 3. sz. melléklete szabályozza. A jogszabály részletesen megadja az egyes szmoghelyzet fokozatokban a tájékoztatás rendjét és az elrendelhető intézkedéseket [70].

A levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről szóló 4/2011 (I. 14.) VM rendelet PM₁₀-re és PM_{2,5}-re többféle határértéket illetve küszöbértéket különböztet meg a 6. és a 7. táblázatban foglaltak szerint. Már a szabályozás is figyelembe veszi a meteorológiai helyzetet, és ennek függvényében határozza meg a szmoghelyzetek elrendelésének feltételeit.

6. táblázat. PM₁₀ határértékek és küszöbértékek [107]

PM ₁₀			
Egészségügyi határérték		Tájékoztatási küszöbérték	Riasztási küszöbérték
24 órás	éves	24 órás	24 órás
50 µg/m ³ a naptári év alatt 35-nél többször nem léphető túl	40 µg/m ³	75 µg/m ³ két egymást követő napon és a meteorológiai előrejelzések szerint a következő napon javulás nem várható	100 µg/m ³ két egymást követő napon és a meteorológiai előrejelzések szerint a következő napon javulás nem várható

7. táblázat. PM_{2,5} határértékek [107]

PM _{2,5}	
Egészségügyi határérték	A határértéknek való megfelelés időpontja
25 µg/m ³	2015. 01. 01.
20 µg/m ³	2020

7.3 Az adatok elemzése

A forrásazonosítás fontosságát igazolja, hogy az EU, az általa meghatározott határérték túllépések megszüntetése érdekében hatékony intézkedéseket vár el a tagállamoktól. Ez csak akkor lehetséges, ha a megfelelő területeken történik a beavatkozás.

Vizsgálataimat három időszakban végeztem. Elemeztem a rendelkezésre álló, hosszú távú – 11 éves – adatsorokat, melyek alapján következtettem a háttérszennyezettség mértékére, majd fűtési és nem fűtési bontásban kerestem összefüggéseket a koncentráció változása és a lehetséges források között.

A továbbiakban a szmoghelyzetek teljes időtartama alatt vizsgáltam a PM₁₀ koncentráció lefutását a túllépési helyzet kialakulástól a lecsengésig.

Ezt követően külön-külön elemeztem a rövidtávú (napi) adatokat a szmoghelyzetek lefutásának vizsgálatán keresztül a monitor állomások által regisztrált hőmérsékleti adatok figyelembe vételével. A különböző komponensek egymáshoz viszonyított koncentráció változása alapján szintén következtettem a források eredetére, amihez felhasználtam a szennyezettségi rózsákat is, melyek megmutatják, hogy milyen irányból érkeznek a különböző koncentrációjú szennyezőanyagok.

7.3.1 A vizsgált terület bemutatása

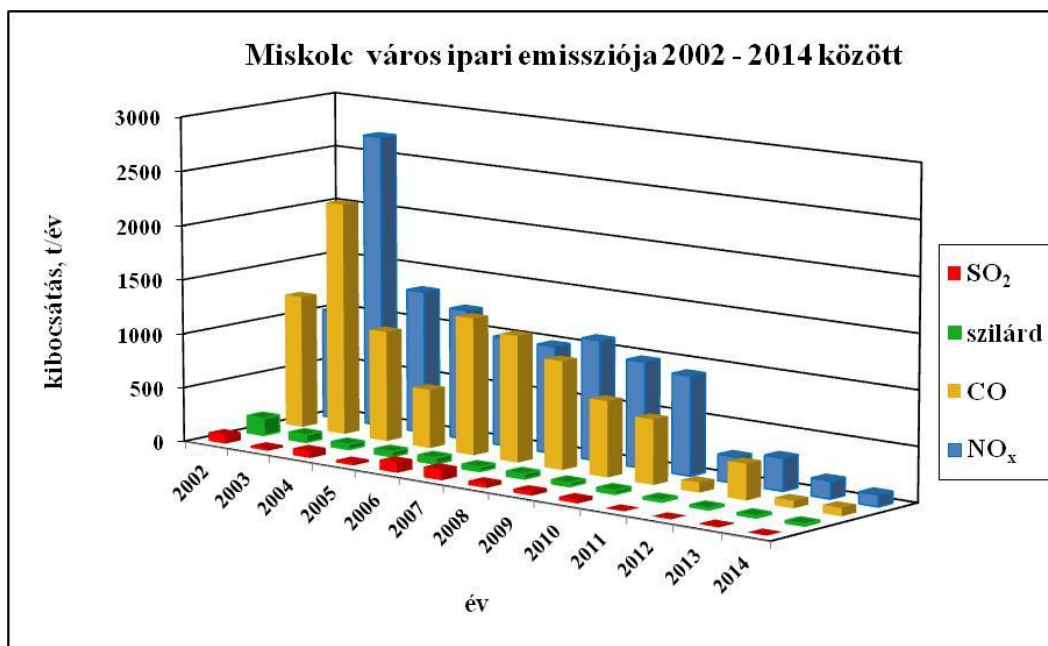
A térségben tapasztalható erős gazdasági hanyatlás következtében az elszegényedett területeken napjainkban már a lakossági emisszió szerepel az első helyen, de a megnövekedett autóforgalom hatása is szerepet játszik abban, hogy az előző évekhez képest ismét lassú romlás tapasztalható a levegőminőségben elsősorban a szilárd részecske tekintetében.

Az ÉMI-KTF illetékességi területén ipari kibocsátások tekintetében négy nagy erőmű, két nagy vegyipari komplexum, cementgyár és kohászati üzemek légszennyezőanyag kibocsátása volt meghatározó, de 2011-ben drasztikus változások történtek. A Sajó völgye légszennyezettségi zónában az AES által üzemeltetett mindhárom erőmű (Berente, Tiszaújváros, Tiszapalkonya), valamint a Sajókeresztúrtban üzemelő BÉM Zrt. bezárt, ami a térség levegőterhelésének jelentős csökkenését eredményezte.

7.3.1.1 Ipari emissziók

Miskolc város egyik jelentős környezet szennyezője a DAM 2004 Kft. volt, elsősorban a metallurgiai egység (acélgyártás) diffúz porszennyezése révén. A cég tevékenysége 2009. év elején megszűnt, így a város jelentős porkibocsátója fejezte be tevékenységét. A korábbi kohászati üzemhez tartozó halna, melyet az Eurofém Halna Kft üzemeltetett, 2009 évben rekultivációra került. A Holcim Zrt. 2011-ben szüntette be a tevékenységét. A nagy kibocsátó telephelyek megszűnése megmutatkozik az egyes légszennyező komponensek éves mennyiségében, különösen a CO tekintetében.

Az iparszerkezet átalakulása, az ipari kibocsátókra vonatkozó jogszabályi előírások szigorodása jól megmutatkozik az egyes komponensek emissziójában. 2012-re a kén-dioxid mennyisége 40-edére, a szén-monoxid közel a negyedére, a nitrogén-oxid kevesebb mint harmadára, a szilárd részecske kibocsátása pedig a tizedére csökkent. A 37. ábra szemlélteti az ipari emisszió változását Miskolcon 2002-2014 között.



37. ábra. Ipari emisszió Miskolcon 2002 – 2014 között [108]

A diagramon látható jelentős emisszió csökkenés a nagyibocsátó források megszűnésén kívül az alábbiakkal magyarázható:

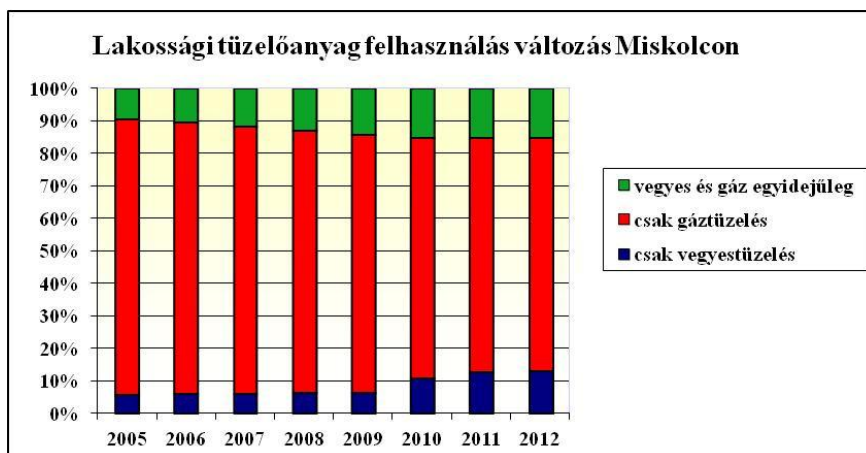
A város a hőigény fedezésére a következőkben felsorolt beruházásokat hajtotta végre, mely korszerűsítések szintén hozzájárultak a levegőminőség javulásához:

- geotermikus rendszer kiépítése a Belvárosi körzet hőellátására,
- 1 db biomassza kazán létesült a Diósgyőri és Bulgárföldi körzet hőellátására,
- 2004 márciusában beüzemelésre került 5 db korszerű gázmotor,
- 2007 decemberében átadásra került egy korszerű, kombinált ciklusú erőmű, melynek üzemeltetője a MIFŰ Kft,
- 2009-ben 1 db biogáz kazán létesült a Futó utcai körzet hőellátására,
- 2010-ben 1 db biogáz motor létesült szintén a Futó utcai körzet hőellátására,
- 2012-ben 1 db biomassza kazán létesült a Kenderföldi és Dorottya utcai körzet hőellátására, melynek üzemeltetője a BIOMI Kft,
- 2013-ban geotermikus rendszer kiépítésére került sor az Avasi körzet hőellátására, melynek üzemeltetője a Pannergy Nyrt.

7.3.1.2 Lakossági emissziók

Az országos statisztikai adatokat figyelembe véve 2006-tól folyamatosan csökken a lakossági gázfelhasználás. A tendenciát egyedül a 2013-as év töri meg, ami az előző két évhez képest 8 %-os növekedést mutat, de a 2005-ös évhez viszonyítva ebben az évben is csökkent a felhasználás 30 %-kal [109]. A lakosság egyre nagyobb hányada tér át a fa- vagy széntüzelésre, ami kedvezőtlenül befolyásolja a levegőminőséget.

Miskolcon a kéményseprő szolgáltató Termoment Tüzeléstechnikai Kft adatai alapján a lakossági tüzelésben felhasznált tüzelőanyagok részarányának változását mutatja a 38. ábra 2005-2012 között. A gáztüzelésen 98%-ban földgázt és 2%-ban pb-gázt, míg az ún. vegyes tüzelésen mintegy 93%-ban fa vagy egyéb biomassza, és 7%-ban szén-szénszármazék tüzelést kell érteni. Mind a fa, mind a széntüzelés PM₁₀ koncentráció növekedést okoz. Emellett, bár a széntüzelés részaránya a vegyes tüzelésen belül mindössze 0,84 %, ez a kis mennyiség szmoghelyzetekben mégis jól kimutatható SO₂ koncentráció növekedést okoz a korszerűtlen tüzelőberendezések miatt. A még létező olajtüzelés részaránya elhanyagolható.



38.ábra. Miskolci lakossági tüzelésben felhasznált tüzelőanyagok részarányának változása 2005-2012 között [109], [110]

Látható, hogy csökkenő gázfelhasználás mellett egyre többen térnek át a fa- vagy egyéb biomassza és szén tüzelésére. A 2005. évi %-os adatokat összevetve a 2012. évi adatokkal megállapítható, hogy a vegyes tüzelés részaránya az adott intervallumban megduplázódott. A szilárd tüzelőanyagok közül a hazánkban bányászott és forgalmazott lignit erőműi tüzelésre alkalmas, mivel az ilyen nagyteljesítményű berendezések rendelkeznek megfelelő leválasztó és füstgáz tisztító egységekkel. Ugyanez a tüzelőanyag, - többek között nagy kén- és nedvességtartalma, kis fűtőértéke miatt – régi, korszerűtlen háztartási tüzelő berendezésekben eltűzelve jelentős légszennyezést okoz.

7.3.1.3 Közlekedésből származó emissziók

A város valamennyi szelvényében csökkenő tendenciát mutat a forgalom. 2008-ról 2009-re a Szentpéteri kapu előtt vezető 26-os számú főút forgalma felére csökkent, ezzel egyidőben a Szentpéteri kapu kiveető szakaszán pedig másfélszeresére nőtt. A forgalmi terhelés változása a 2005-ben megkezdődött, várost elkerülő szakasz első ütemének átadásával magyarázható, mely beruházás célja többek között a belváros forgalmának tehermentesítése volt. 2013 novemberében megkezdődött a M30 26-os főút összekötő szakasz második ütemének építése. Az elkerülő szakasz átadására 2015 júliusában került sor, így várható a Búza téren regisztrált PM₁₀ koncentráció további csökkenése.

2009-ben Miskolcon kezdetét vette a villamos vonal felújítási projekt „Zöld Nyíl” néven. A projekt keretén belül 2010. május 3-án kezdődtek meg a bontási munkák, 2011. szeptember elsejétől pedig beindult a forgalom a felújított pályaszakaszon, de a bővített szakasz átadására csak 2012. január 16-án került sor. 2012 évben tehát már a teljes felújított és bővített pályán folyt a villamos közlekedés a Tiszai pályaudvartól Felső-Majláthig. Ez szintén hozzájárul a város levegőminőségének javulásához.

A Borsod Volán Zrt. és a Miskolc Városi Közlekedési ZRt. folyamatosan korszerűsíti az autóbusz állományt. A 2016-ban CNG üzemű, sűrített földgázzal hajtott 75 db busz forgalomba állításával a borsodi megyeszékhelyen már nagyrészt csak alacsonypadlós, klimatizált buszok járnak, amelyek megfelelnek az Euro 6-os környezetvédelmi követelményeknek is.

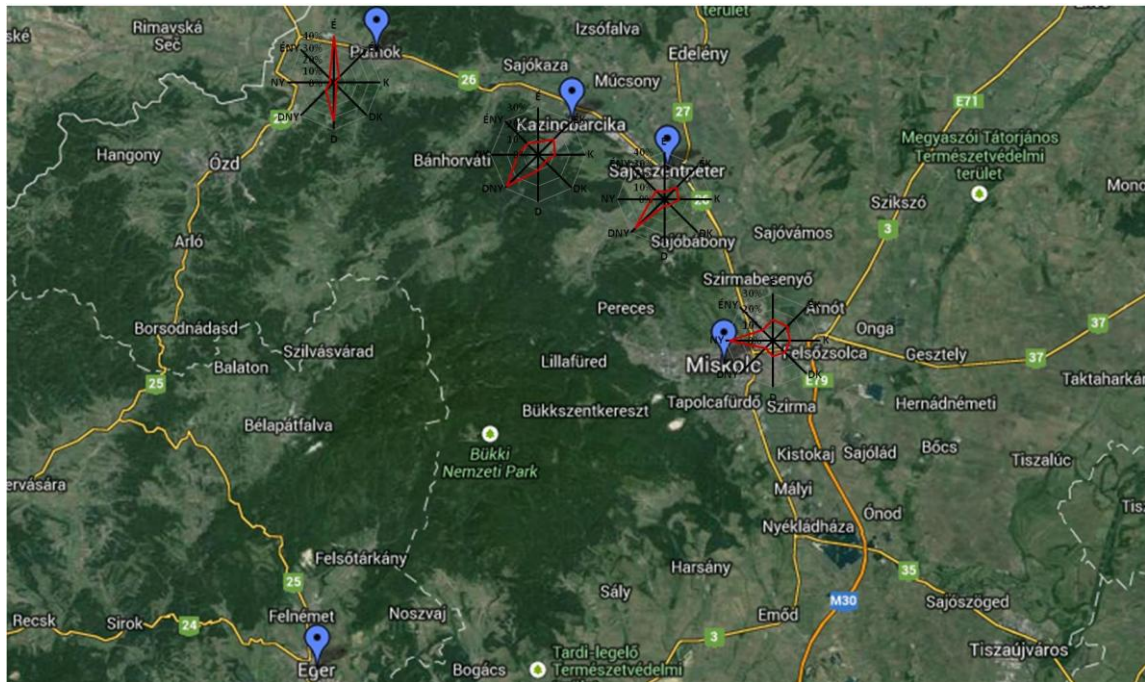
7.3.1.4 Meteorológia

A mérsékelt éghajlati övben, nagyobb magasságokban a nyugatias szelek az uralkodóak, de alacsonyabb szinteken a domborzat ezt jelentősen befolyásolja. A szélsébség aktuális értékét nagymértékben a lokális tényezők határozzák meg. A szélsébség a makroléptékű tényezőkön kívül a domborzattól, a felszínborítottságtól és az adott hely környezetében levő egyéb akadályoktól (épületek, fák, fasorok stb.) függ [64].

A Szinva völgy széljárása kedvezőtlen, uralkodóan K - NY-i, gyenge szeles (0 - 2,5 m/s), a szélsébség aránya igen nagy (35 - 38 %). Jellemző a szélirány periodikus K - NY-i váltakozása, ami a lassabban terjedő légszennyezők távozása szempontjából kedvezőtlen. A védett völgyben, a levegő hőmérséklet szerinti rétegződése is hatással van a légmozgás napszakonkénti periodicitására és a gyakori ködképződésre. Hideg téli időben a széljárás lelassul, megnő a szélsébség aránya [111].

Ha a vizsgált terület monitor állomásainak (Putnok, Kazincbarcika, Sajószentpéter, Miskolc) jellemző szélirányait térképen megjelenítjük, akkor jól látható, hogy az uralkodó szélirányok nem völgyhatásúak, ahogy az feltételezhető, hanem jellemzően a Sajó völgyére

merőlegesek, amit a 39. ábra szemléltet. Ebből következően a vizsgált települések PM₁₀ határérték túllépéseit jellemzően a helyi kibocsátások befolyásolják.



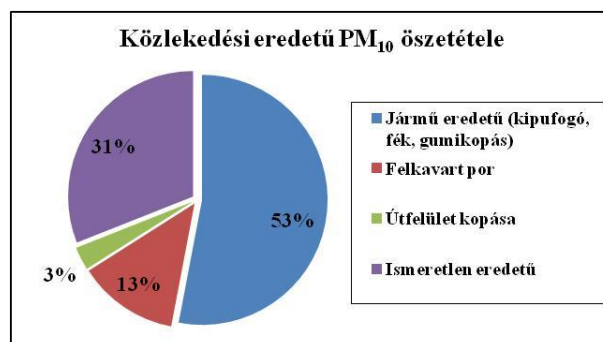
39.ábra. Évi átlagos uralkodó szélirányok Putnokon, Kazincbarcikán, Sajószentpéteren és Miskolcon

7.3.1.5 Egyéb tényezők

Az elemzés során az alábbi tényezőket is figyelembe kell venni:

- Miskolc tekintetében a Búza téri monitor elsődlegesen a közlekedésből származó légszennyező anyagokat rögzíti, de a város háttérterhelése jelentősen befolyásolja a mért adatokat. A közlekedési típusú monitor állomások által regisztrált szilárd részecske adatokhoz a másodlagos szennyezés – siktalanító anyagok és leülepedett por felferődése – is hozzáadódik, de ez a mennyiség is csak a meteorológiai adatok együttes vizsgálatával becsülhető, hiszen száraz, szeles időszakban jóval nagyobb mértékben járul hozzá a kedvezőtlen szilárd részecske koncentráció kialakulásához.

A Közlekedéstudományi Intézet Környezetvédelmi és Energetikai Tagozatának 2013-ban közzétett vizsgálata alapján a közlekedési eredetű PM₁₀ összetételét a 40. ábra szemlélteti. A gumiabroncs kopásból származó PM₁₀ szennyezés akár 5-10-szer nagyobb, mint a kipufogógázból eredő (Euro5/6 gépjármű esetén) [112].



40.ábra. Közlekedési eredetű PM₁₀ összetétele [112]

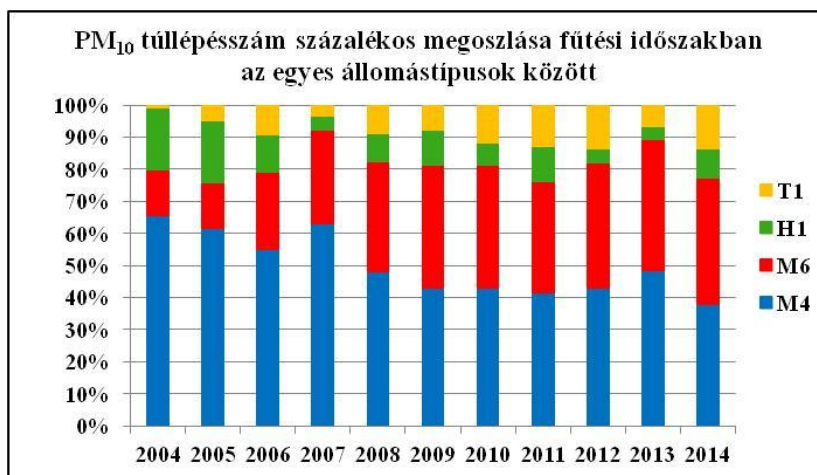
- Sajószentpéteren nincs kiépített elkerülő út, a 26-os számú főközlekedési út a település központján vezet keresztül, így a közúti forgalom hatása egyértelműen nem különíthető el az állomás által rögzített adatokból.
- Kazincbarcika környékén a belváros részben kikerülhető, ezen a településen a 26-os főút csak a város szélét érinti, a monitor állomástól messze halad el. Azonban a konténer telepítési helye, a domborzati viszonyok és a településszerkezet változása miatt – a kertvárosi lakóterület fejlődése, ahol az utóbbi években a hagyományos tüzelőanyag dominál – elsősorban a lakossági kibocsátásokat regisztrálják a mérőműszerek.
- Putnokon az állomás távol helyezkedik el a forgalmas közúttól, viszont az elszegényedett lakosság a szén és fa tüzelőanyagot részesíti előnyben, ami a levegőminőség jelentős romlásához vezet a településen

7.3.2 Hosszútávú adatsorok elemzése

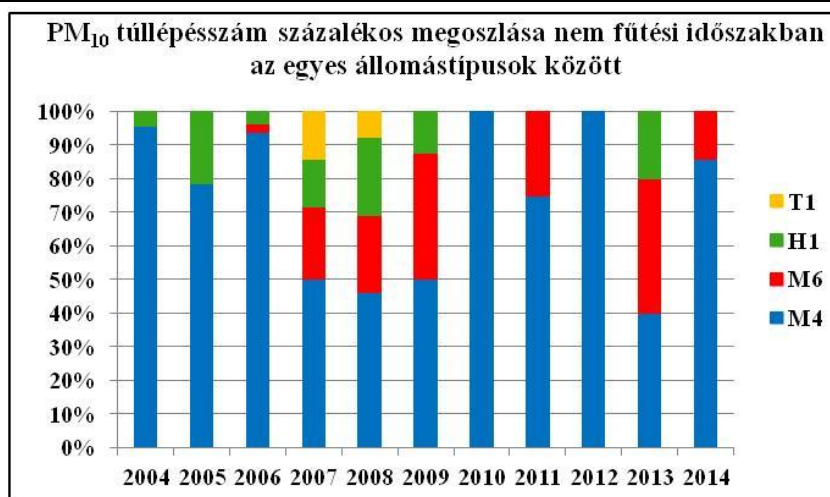
A hosszútávú adatsorok kiértékelése segítséget nyújt a PM₁₀ koncentrációk eredetének vizsgálatában, mivel nagyrészt kiküszöböli az adat rendelkezésre állásban mutatkozó hiányokat, valamint a meteorológia paraméterek változásának hatását. Így pl. elsimítja a 2011. évi rendkívüli időjárás által okozott PM₁₀ koncentráció és a túllépésszám (napi határértéket meghaladó napok száma) növekedést, ami az összes európai országra jellemző volt.

Az éves mérési adatok fűtési (fűtési időszak: 01.01. – 03. 31. és 10. 01. – 12. 31. és nem fűtési (nem fűtési időszak: 04. 01. – 09. 30.) időszakra történő felosztása tájékoztató adatot szolgáltat a lakossági tüzelésből származó komponensek részarányáról, feltételezve, hogy a közlekedési légszennyezés szezonálisan nem változik számottevő mértékben. A több éves adatsorok tendenciáinak elemzéséből következtetni lehet a lakossági tüzelés előtérbe kerülésére.

A 41. ábra a PM₁₀ túllépésszám százalékos arányának változását mutatja 2004 - 2014 fűtési, a 42. ábra pedig nem fűtési időszakban a Miskolci közlekedési és városi háttér valamint a hernádszurdoki és oszlári monitor állomások között.



41.ábra. PM₁₀ túllépésszám százalékos arányának megoszlása Miskolcon, a közlekedési típusú M4, a lakossági típusú M6 valamint a hernádszurdoki (H1) és az oszlári (T1) monitor állomások között 2004-2014 fűtési időszakban



42.ábra. PM₁₀ túllépésszám százalékos arányának megoszlása Miskolcon, a közlekedési típusú M4, a lakossági típusú M6 valamint a hernádszurdoki (H1) és az oszlári (T1) monitor állomások között 2004-2014 nem fűtési időszakban

A diagramokból megállapítható, hogy nem fűtési időszakban a túllépések elsősorban a közlekedési típusú állomáson jelentkeznek, a háttér típusú állomáson pedig csak nagyon ritkán, az utóbbi 6 évben pl. egyszer sem. Az országhatárokon áterjedő szennyezettséget vizsgáló hernádszurdoki monitorállomáson gyakoribb a túllépések száma, mint az oszlárin, ami arra utal, hogy a PM₁₀ koncentráció alakulásában jelentős szerepet játszik a Szlovákiából érkező szennyezés.

A 8. táblázat a vizsgált állomások PM₁₀ napi határérték túllépéseinek számát mutatja fűtési és nem fűtési félévben.

8. táblázat. PM₁₀ napi határérték túllépések száma a Sajó völgyében üzemelő monitor állomásokon fűtési és nem fűtési időszak szerinti bontásban [14]

állomás	Miskolc (M4) közlekedési típusú állomás		Miskolc (M6) lakossági típusú állomás		Kazincbarcika (K1) lakossági típusú állomás		Sajószentpéter (S1) lakossági típusú állomás		Putnok (P1) lakossági típusú állomás		Oszlár (T1) háttér típusú állomás		Hernádszurdok (H1) háttér típusú állomás	
időszak	Nem fűtési, db	Fűtési, db	Nem fűtési, db	Fűtési, db	Nem fűtési, db	Fűtési, db	Nem fűtési, db	Fűtési, db	Nem fűtési, db	Fűtési, db	Nem fűtési, db	Fűtési, db	Nem fűtési, db	Fűtési, db
2004	42	126	0	27	0	9	0	9	12	117	0	2	2	37
2005	44	130	0	30	0	5	0	12	37	111	0	10	12	41
2006	74	148	2	65	0	4	0	77	12	135	0	25	3	31
2007	14	73	6	34	0	0	2	39	7	63	4	4	4	5
2008	6	85	3	61	3	57	1	58	4	96	1	16	3	15
2009	4	55	3	49	4	66	0	35	3	62	0	10	1	14
2010	1	77	0	69	0	95	0	48	0	83	0	21	0	13
2011	3	109	1	90	2	100	2	100	1	112	0	34	0	29
2012	1	76	0	69	2	87	1	89	0	90	0	24	0	8
2013	2	73	2	62	0	60	0	72	1	76	0	10	1	5
2014	6	53	1	55	0	60	1	64	1	70	0	19	0	13
összesen	197	1005	18	611	11	543	7	603	78	1015	5	175	26	211

A Miskolc, Búza téri állomáson 2005-2007 között regisztrált túllépések számát jelentős mértékben befolyásolta, hogy az állomás közvetlen környezetében (kb. 50 méteren belül) a város legnagyobb üzletközpont-irodaház-lakópark épületkomplexuma, az ún. Macropolis építése folyt. A nagy területen folyó alapozási és építési munkák számottevő porzással jártak,

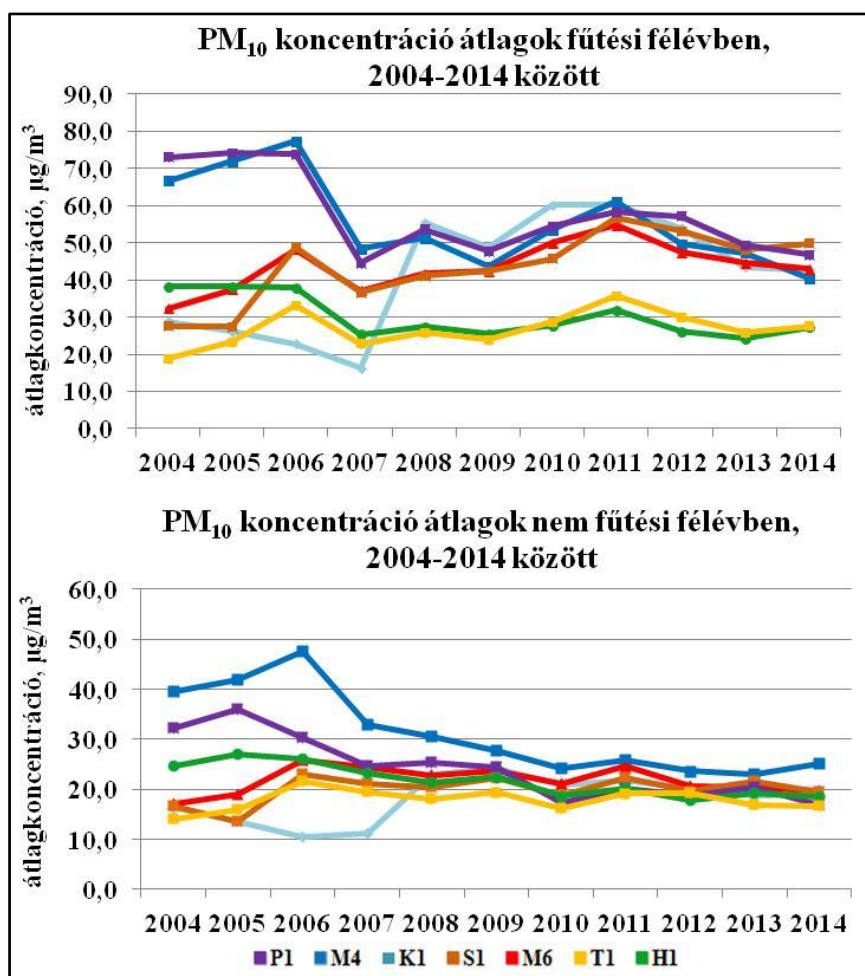
valamint megnőtt az építkezéshez kapcsolódó járműforgalom. Ezt mutatja a nem fűtési időszakban előforduló nagyszámú napi határérték túllépés.

A túllépések nagy többsége (több mint 90 %-a) fűtési időszakban fordul elő, amikor az ipari és közlekedési kibocsátások mellett a lakossági fűtés is hozzájárul a levegőterheléshez.

2008-tól a városi állomások veszik át a vezető szerepet a közlekedési típusúval szemben, amit legjobban a 2014 évi adatok szemléltetnek, amikor valamennyi városi típusú állomáson nagyobb a PM₁₀ napi határérték túllépésszám a közlekedési típusú állomáshoz képest. Az is megfigyelhető, hogy 2010-ben megfordul a hernádszurdoki (H1) és az oszlári (T1) állomásokon a túllépések száma, továbbá az oszlári (T1) állomáson a PM₁₀ túllépések száma 2013 kivételével a duplájára nőtt. Az elemzés tehát igazolja, hogy 2010-2014 között a lakossági emisszió nagyobb arányban járul hozzá PM₁₀ túllépésszám növekedéséhez, mint a közlekedés.

A 11 éves adatsor tekintetében a putnoki (P1) állomáson a legtöbb az egészségügyi határértéket túllépett napok száma, ezt követi a miskolci közlekedési típusú (M4), a miskolci lakossági típusú (M6), a Sajószentpéteri (S1) és a kazincbarcikai (K1) állomás.

A 43. ábra a vizsgált monitor állomásokon a fűtési és nem fűtési félév PM₁₀ koncentráció átlagait, valamint az állomások koncentrációinak egymáshoz való viszonyát szemlélteti.



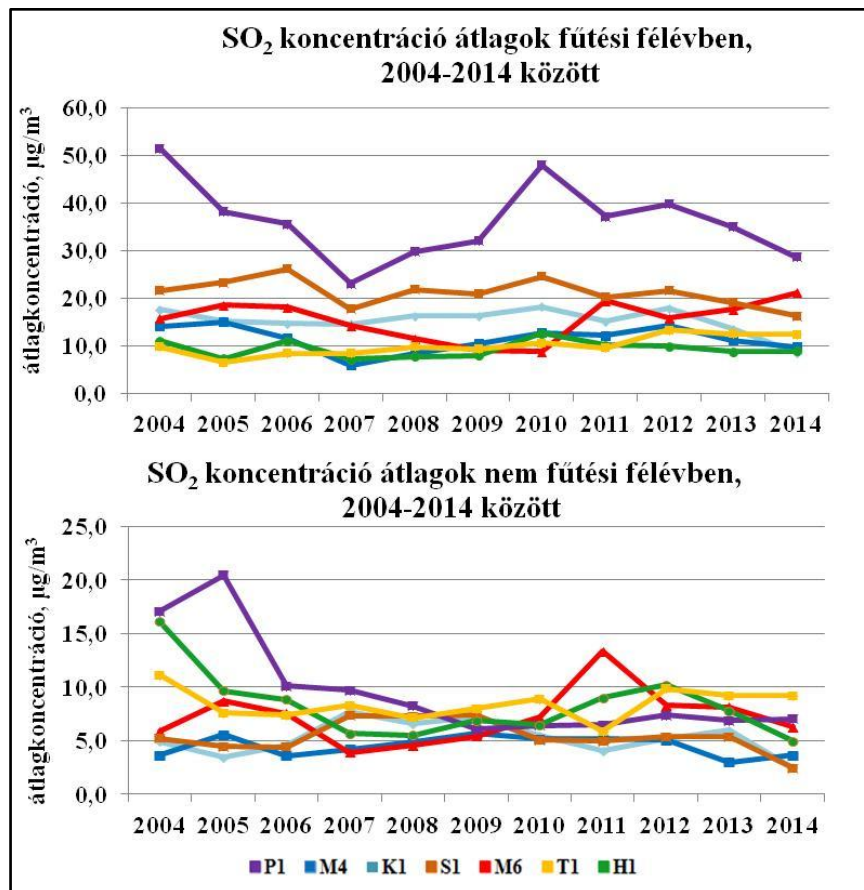
43.ábra. PM₁₀ koncentráció átlagok fűtési és nem fűtési félévben a Sajó völgyben üzemelő monitor állomásokon 2004-2014 között

A PM₁₀ fűtési és nem fűtési koncentráció különbségéből hosszú távon szintén vonhatók le következtetések a lakossági kibocsátások változására, hiszen az októbertől áprilisig terjedő időszakban ez az egyetlen emisszió forrás, mely többletterhelést okoz. Természetesen az inverziós helyzetek, a szélcsend, a csapadék is jelentősen befolyásolja a PM₁₀ koncentráció mértékét, ami a 11 éves adatsor elemzésével részben kiküszöbölhető.

SO₂ komponensnél - ami tipikusan a lakossági tüzelésre jellemző - a PM₁₀-hez hasonló tendencia érvényesül. Ezt mutatja a 44. ábra.

2012-t követően fűtési időszakban valamennyi állomáson csökkenő a tendencia, kivéve a Miskolc, Lavotta utcai (M6) lakossági típusú állomást, ahol ellenkezően alakulnak az átlagkoncentrációk, bár még így is alig haladja meg a putnoki (P1) lakossági típusú átlag 2/3-át. SO₂ tekintetében a putnoki átlagkoncentráció tölti be a vezető szerepet, vagyis ipari SO₂ kibocsátó forrás hiányában a lakossági tüzelés a meghatározó.

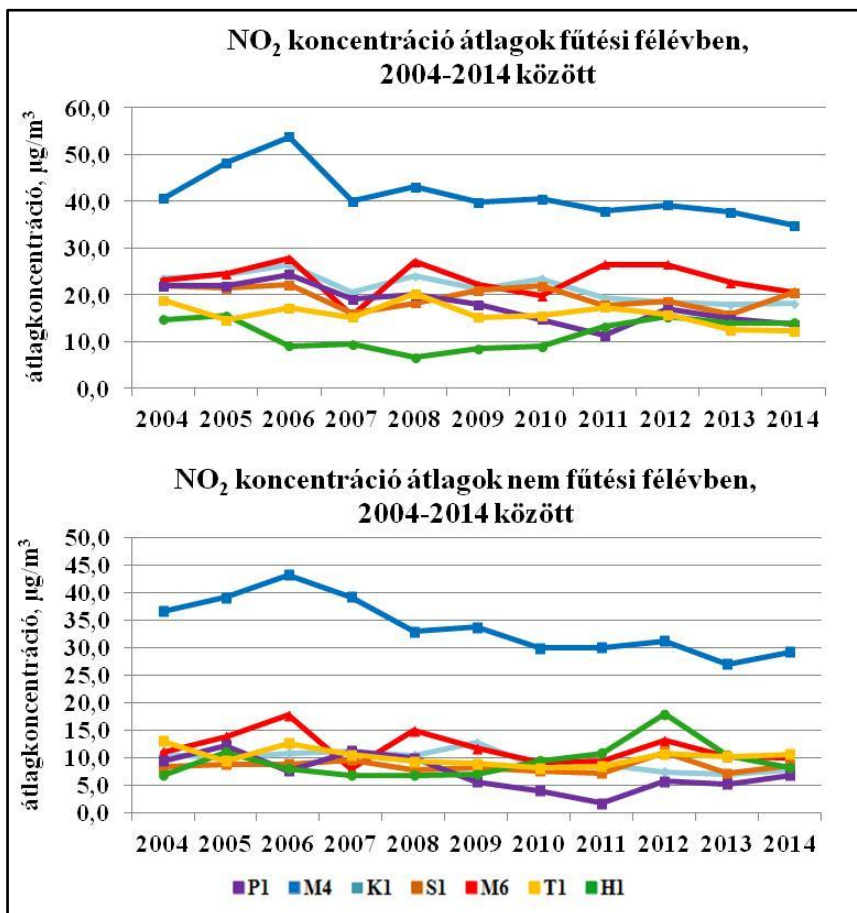
Ahogy várható volt, a háttér állomásokon (Oszlár (T1), Hernádszurdok (H1)), alig van különbség a fűtési és nem fűtési félév adatai között, ami azt igazolja, hogy a lakossági fűtés nem befolyásolja számottevően az ott regisztrált mérési adatokat.



44.ábra. SO₂ koncentráció átlagok fűtési és nem fűtési félévben a Sajó völgyben üzemelő monitor állomásokon 2004-2014 között

Az NO₂ komponens mind a közlekedés, mind pedig a tüzelési technológiák jellemzője.

A 45. ábrán bemutatott diagramokból jól látható, hogy a nem fűtési félév koncentráció átlaga a közlekedési típusú állomáson (M4) jóval nagyobb, a két félév közötti koncentráció különbség pedig kisebb, mint a városi állomásokon (S1, K1, P1, M6), tehát, mint ahogy azt feltételeztük, a Búza téri állomáson (M4) regisztrált adatokat kevésbé befolyásolja a lakossági emisszió.



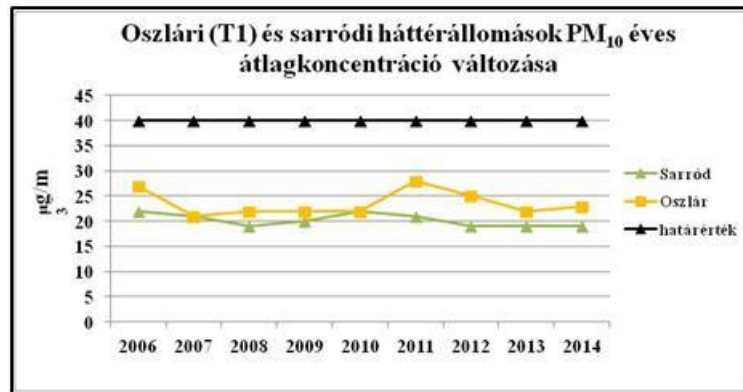
45.ábra. NO₂ koncentráció átlagok fűtési és nem fűtési félévben a Sajó völgyben üzemelő monitor állomásokon 2004-2014 között

A H1 hernádszurdoki háttér állomáson időnként előfordul, hogy a nem fűtési félévben nagyobb az NO_x koncentráció a fűtésinél – ami az SO₂ komponenshez hasonlóan szintén azt igazolja, hogy ezeket az adatokat a lakossági tüzelés nem befolyásolja, ezzel alátámasztva a korábbi feltételezést, miszerint a H1 monitor állomás háttér állomásnak tekinthető.

Az országos és a Sajó völgyi háttérállomás éves PM₁₀ koncentrációjának változását adja meg 2006 és 2014 között a 9. táblázat. A tendenciát a 46. ábra szemlélteti.

9. táblázat. A Sajó völgye zóna oszlári (T1)PM₁₀ háttérállomása és az országos háttérállomás (Sarród) éves PM₁₀ koncentrációja 2006 – 2014 között µg/m³-ben

Mérőállomás	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Átlag
Oszlár (T1)	27,3	21,4	22,4	21,9	22,4	27,8	24,7	21,6	22,5	23,6
Sarród	22	21	19	20	22	21	19	19	19	20,2



46.ábra. Oszlári (T1) és sarródi (országos) háttérállomás PM₁₀ koncentráció változás
2006-2014 között

A Sajó völgye zóna átlagértéke a 6.2 fejezetben bemutatott, Lenschow által bevezetett forrás hozzárendelésnek megfelelően az oszlári mérőállomás 9 éves átlaga, azaz 23,6 µg/m³. Ez az érték tekinthető regionális háttérkoncentrációnak. (Mivel a sarródi országos háttérállomás adatai csak 2006-tól állnak rendelkezésre, ezért az összehasonlíthatóság érdekében a rendelkezésre álló 9 éves adatsort átlagoltam. A K-Pusztán található háttérállomás adatai nagyon hiányosak, mindössze a 2008, 2009 és 2013 évi adatmennyiség felel meg az EU rendelkezésre állási követelményének, ami minimum 90 %).

A táblázat adatai alapján megállapítható, hogy mind a hernádszurdoki (H1), mind az oszlári (T1) PM₁₀ éves átlagok nagyobbak, mint az országos háttérállomás adatai. Az is szembejövő, hogy Hernádszurdokon, - annak ellenére, hogy ez az állomás a lakott településektől jóval messzebb található, mint az oszlári - minden vizsgált évben nagyobb a mért értékek éves átlaga. Hernádszurdokon tehát jobban érvényesül a határon áterjedő hatás. Az is egyértelműen megállapítható, hogy az általam vizsgált területen nagyobb a háttérkoncentráció az országos háttérhez viszonyítva. Ez visszavezethető az észak-magyarországi régió domborzati adottságaira, az ehhez kapcsolódó speciális meteorológiai viszonyokra és a térség gazdasági helyzetére.

Az antropogén eredetű nehézfém kibocsátásoknak általában egyik legfőbb forrása a különböző fosszilis eredetű tüzelőanyagok (szén, kőolaj) tüzelése, valamint egyes technológiai folyamatok. A tüzelési eredetű kadmium kibocsátások kb.70 %-a, az ólom kibocsátások kb. 40 %-a, a higany kibocsátás kb. 30 %-a a közlekedésből és a lakossági tüzelőanyag felhasználásból származik [113].

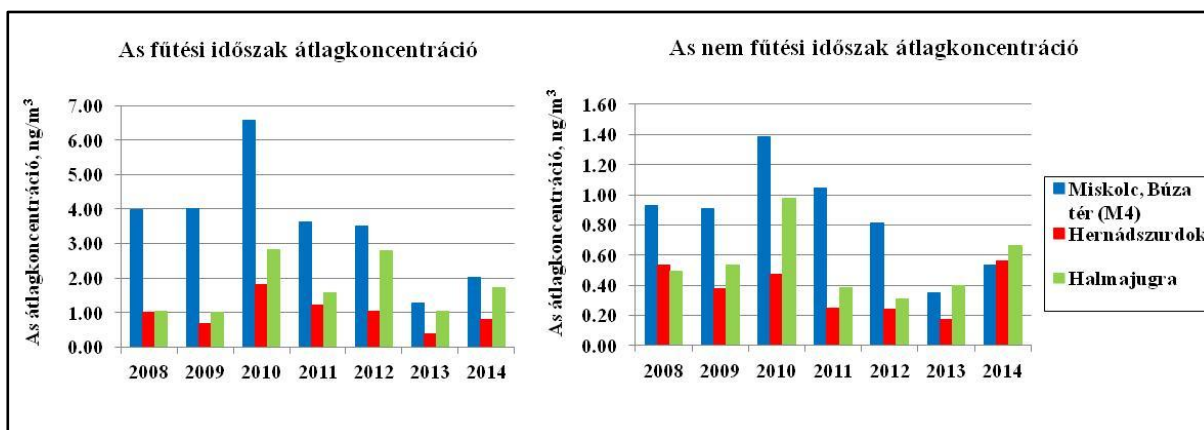
A PM₁₀ mikroszennyezők közül arzén, kadmium, benz(a)pirén, ólom komponensekre állnak rendelkezésre mérési adatok Miskolcon, a Búza téri (M4) állomáson, Halmajugrán a település központjában, és Hernádszurdokon. Az adatok speciális, negyedévente végrehajtott 2 hetes méréssorozat eredményei, mely méréssorozatra országos szinten, a minisztérium megbízásából került sor.

A szennyezőanyagokra vonatkozó célértékeket, alsó és felső vizsgálati küszöbértékeket a levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről szóló 4/2011. (I. 14.) VM rendelet szabályozza a 10. táblázatban foglaltak szerint.

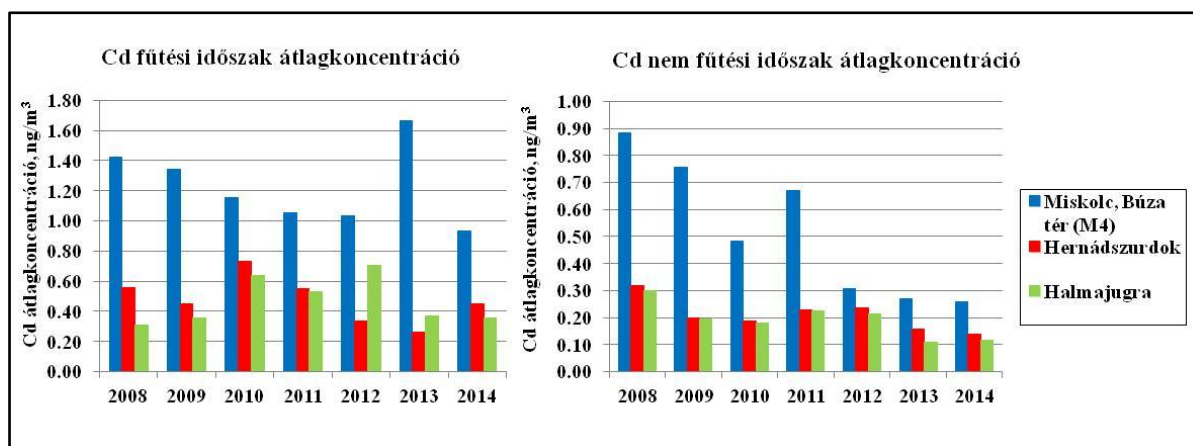
10. táblázat. PM₁₀ mikroszennyezőkre vonatkozó határérték [107]

Szennyezőanyag	Éves határérték (A PM ₁₀ frakcióban lévő teljes mennyiség egy naptári év átlagában)
Arzén	10 ng/m ³
Kadmium	5 ng/m ³
Pb	300 ng/m ³
Benz(a)pirén	1,2 ng/m ³

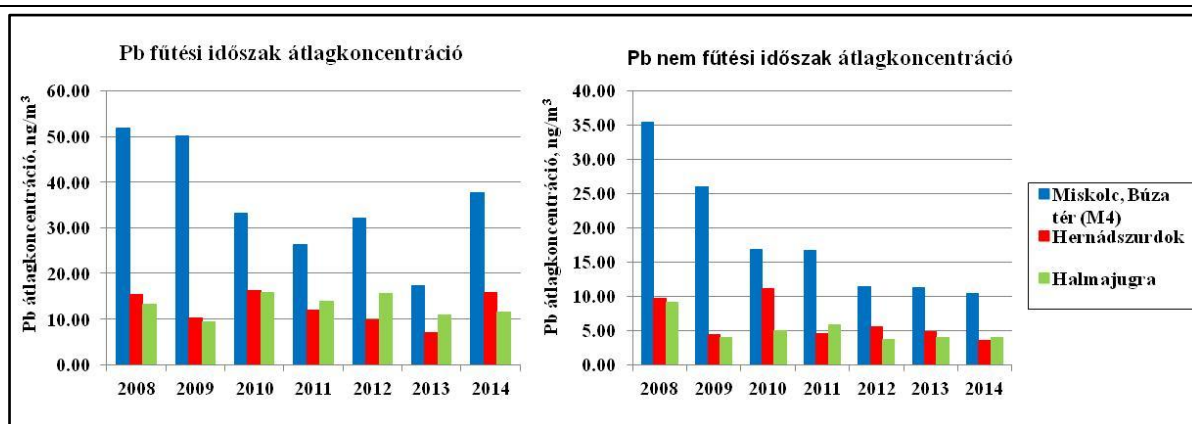
A PM₁₀ mikroszennyezők koncentrációjának alakulását 2008 és 2014 között fűtési és nem fűtési félévre bontva a 47-50. ábrák mutatják be.



47. ábra. As koncentráció átlagok fűtési és nem fűtési félévben Miskolcon, Hernádszurdokon és Halmajugrán 2008-2014 között

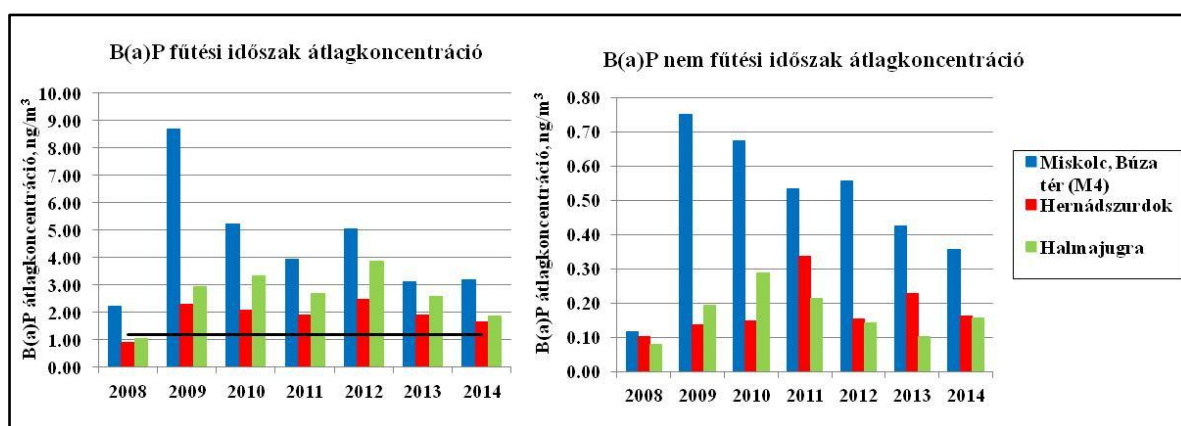


48. ábra. Cd koncentráció átlagok fűtési és nem fűtési félévben Miskolcon, Hernádszurdokon és Halmajugrán 2008-2014 között



49.ábra. Pb koncentráció átlagok fűtési és nem fűtési félévben Miskolcon, Hernádszurdokon és Halmajugrán 2008-2014 között

Valamennyi vizsgált mikroszennyezőre jellemző, hogy koncentrációjuk Miskolcon, a közlekedési típusú állomáson a legnagyobb, legalább a kétszerese a többinek, valamint hogy a benz(a)piréneen kívül egyetlen mikroszennyező sem haladja meg a határértéket.

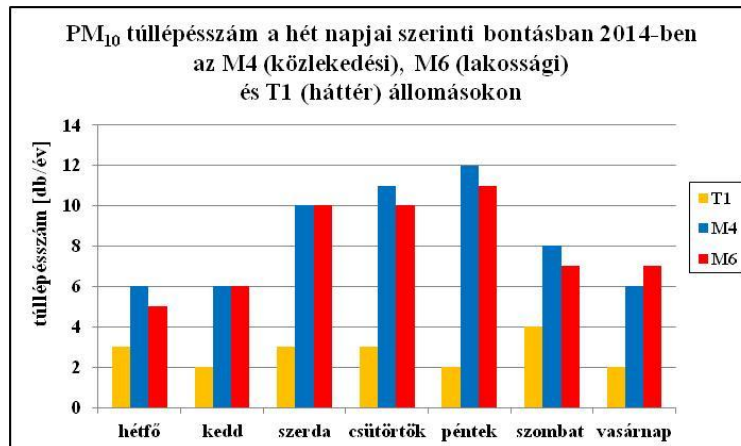


50.ábra. B(a)P koncentráció átlagok fűtési és nem fűtési félévben Miskolcon, Hernádszurdokon és Halmajugrán 2008-2014 között

Megfigyelhető továbbá, hogy a B(a)P koncentráció 2009-től fűtési időszakban Halmajugrán és Hernádszurdokon is meghaladja az 1,2 ng/m³ értéket (éves határérték), ami szintén megerősíti azt a feltevést, hogy a lakossági tüzelés egyre nagyobb mértékben befolyásolja a levegőminőséget.

Az egyes komponensek koncentrációi szerint a vizsgált mérőpontok sorrendje fűtési időszakban állomástípusonként: közlekedési (Miskolc, Búza tér), lakossági (Halmajugra) és háttér (Hernádszurdok), ami Cd tekintetében 2011 előtt az utóbbi két állomástípusnál megfordul, bár a koncentráció értékeket tekintve (0,3-0,6 ng/m³) ez az eltérés az elemzés hibahatárán belül van.

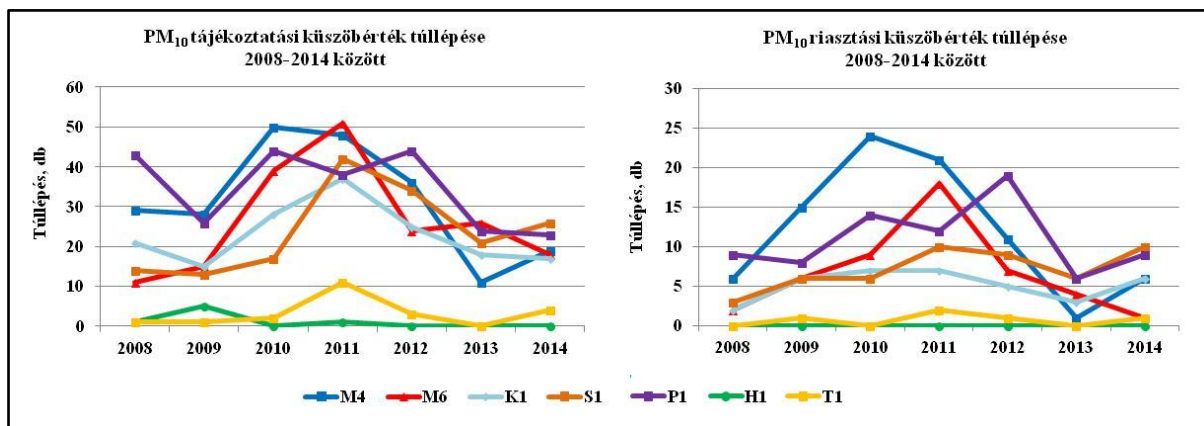
Az 51. ábra azt szemlélteti, hogy a hét egyes napjain milyen arányban fordulnak elő a PM₁₀ egészségügyi határérték (50 µg/m³) túllépések az M4 közlekedési típusú, az M6 lakossági típusú és a T1 háttér típusú monitor állomásokon 2014-ben.



51.ábra. PM₁₀ egészségügyi határérték ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) túllépések hét napjai szerinti eloszlása az M4 (közlekedési) és M6 (lakossági típusú) monitor állomásokon 2014-ben

Mindkét miskolci állomásokra (M4, M6) jellemző, hogy a hét középső napjaiban jelentkeznek nagyobb számban a túllépések. A túllépésszámok nem követik a háttér állomás (T1) értékeit, gyakori, hogy az utóbbi csökkenéséhez nagyobb Búza téri (M4) vagy Lavotta utcai (M6) adatok társulnak. Ebből az a következtetés vonható le, hogy az M4 és M6 állomásokon regisztrált koncentrációkat elsősorban a helyi kibocsátó források befolyásolják, ami az M4 állomáson a közlekedés, az M6-nál pedig a lakossági emisszió.

A különböző típusú állomások tájékoztatási és riasztási küszöbérték túllépéseinek számát az 52. ábra mutatja be.



52.ábra. PM₁₀ tájékoztatási ($75 \mu\text{g}/\text{m}^3$) és riasztási ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) küszöbérték túllépések a különböző típusú mérőállomásokon 2008 és 2014 között

Az 52-es ábrát elemezve az állapítható meg, hogy 2012-t követően a városi állomásokon gyakrabban fordul elő tájékoztatási és riasztási küszöbérték túllépés, ami a lakossági tüzelés hozzájárulásának növekedését támasztja alá. 2009-ben a H1 állomáson is, 2011-ben pedig a T1 állomáson több esetben alakult ki tájékoztatási koncentrációt meghaladó szint, ami a már korábban említett rendkívüli időjárás következménye volt. A háttérállomások viszonylag nagyszámú, $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -t túllépő PM₁₀ koncentráció értéke a meteorológia és a határokon áterjedő szennyezés hatását támasztja alá. A jelentős téli lehűlés a lakossági tüzelés erősödését eredményezi, ami a PM₁₀ koncentráció növekedéséhez vezet.

A 11. táblázat az összes vizsgált mérőállomás éves PM₁₀ átlagkoncentrációi (x) és a túllépésszámok (y) közötti összefüggést mutatja be 2004 - 2014 között. (A diagramokat az 1. sz. melléklet tartalmazza tájékoztatóként).

11. táblázat. PM₁₀ éves átlagkoncentráció és a napi határérték túllépések száma közötti összefüggés 2004 - 2014 között

Év	Egyenes egyenlete	R ²	35 db túllépésszámhoz tartozó számított koncentráció, µg/m ³
2004	y = 3,5731x - 71,586	0,9626	29,8
2005	y = 4,5088x - 87,291	0,9892	27,1
2006	y = 4,931x - 102,83	0,9539	28,0
2007	y = 3,6141x - 64,052	0,9052	27,4
2008	y = 4,4003x - 83,838	0,9508	27,0
2009	y = 3,8183x - 76,692	0,9373	29,3
2010	y = 4,164x - 76,175	0,9700	26,7
2011	y = 4,9229x - 99,697	0,9296	27,4
2012	y = 5,3665x - 110,42	0,9951	27,1
2013	y = 5,139x - 104,37	0,9910	27,1
2014	y = 4,1398x - 78,327	0,8511	27,4
Átlag			27,5

A statisztikai elemzés adatai jól mutatják, hogy a különböző típusú állomások mérési adatai az adott egyenesekkel jól közelíthetők (nagy, 0,9 feletti R² értékek). Az egyenletet átrendezve, és behelyettesítve az y = 35 értéket – ami a jelenlegi szabályozás szerint megengedett éves maximális túllépésszám – megkaphatjuk azt az éves PM₁₀ átlagkoncentrációt, mely mellett ez a túllépésszám a jelenlegi tendenciák mellett betartható lenne. Ez az érték átlagban 27,5 µg/m³.

A 12. táblázat alapján látható, hogy ezt az értéket 2008-tól csak a két háttérállomásként definiált állomás (T1 és H1) tudja teljesíteni. A 2011-es év rendkívüli időjárásának hatása a háttérállomások éves átlagkoncentrációjában is megmutatkozik, ezt mutatja a sárgával kiemelt mező.

12. táblázat. PM₁₀ éves átlagkoncentráció a Sajó völgye zóna mérőállomásain és a hernádszurdoki (H1) háttérállomáson 2004 - 2014 között

Állomáskód	Éves PM ₁₀ átlagkoncentráció, µg/m ³										
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
S1	22,0	20,7	35,9	29,2	31,2	33,2	30,6	40,1	36,8	34,9	37,8
K1	23,0	19,9	16,6	13,8	34,8	36,7	40,0	40,9	36,8	31,0	31,5
P1	55,0	53,0	53,0	34,9	40,1	36,3	35,6	39,5	37,8	34,8	32,6
M6	25,0	27,8	37,3	30,9	32,5	32,9	35,7	42,1	33,9	32,6	32,0
M4	53,0	57,2	62,3	41,0	40,9	35,9	44,7	43,7	36,4	35,3	31,5
T1	17,0	19,6	27,3	21,4	22,4	21,9	22,4	27,8	24,7	21,6	22,5
H1	32,0	32,8	32,1	24,6	24,7	24,3	23,3	26,4	22,1	22,1	24,00

A 2014. évre vonatkozó egyenlet alapján megvizsgálható, hogy mennyi túllépéses nap okoz az éves átlagkoncentrációban 1 µg/m³-es emelkedést. A számítás adatait a 13. táblázat tartalmazza.

13. táblázat. 2014 évi napi PM₁₀ koncentráció növekedés számítása

y	Napi számított érték, µg/m ³	Napi növekmény, µg/m ³
0	18,920	
1	19,162	0,242
2	19,404	0,242
3	19,645	0,242
4	19,887	0,242
5	20,128	0,242
6	20,370	0,242
7	20,611	0,242
8	20,853	0,242
9	21,094	0,242
10	21,336	0,242

A számításokat elvégezve a 2004-2014 közötti időintervallumra a 14. táblázat szerinti napi növekmény értékeket adódnak.

14. táblázat. Napi PM₁₀ koncentráció növekedés 2004-2014 között

Év	Napi növekmény µg/m ³
2004	0,280
2005	0,220
2006	0,200
2007	0,280
2008	0,230
2009	0,260
2010	0,240
2011	0,200
2012	0,190
2013	0,190
2014	0,240
Átlag	0,230

Az adatok azt mutatják, hogy az éves átlagkoncentráció 1 µg/m³-es növekedéséhez átlagban 5 túllépéses nap szükséges.

A 35 db. túllépésszámhoz tartozó koncentráció érték és a háttérszennyezettség különbsége adja a terhelhetőséget, ami a vizsgált időszakban 3,9 µg/m³, tehát a Sajó völgyében már 20 túllépéses nap után várható az éves határérték túllépése.

A 15. táblázat a PM₁₀ fűtési és nem fűtési félév átlagkoncentráció különbségeket mutatja be 2004 – 2014 között a Sajó völgye zónában. A pirossal kiemelt értékek nem fűtési időszakban a 27,5 µg/m³-t meghaladó értékeket jelölik. A táblázat szerint 2004-től 2009-ig a Búza téri közlekedési állomás PM₁₀ koncentráció átlaga minden nem fűtési félévben nagyobb volt, mint a 35 túllépésszámhoz meghatározott érték. Ez azt jelenti, hogy ha ugyanez az érték érvényesülne egész évben, akkor a túllépésszámra megadott határérték nem teljesül, vagyis nem elegendő csak a fűtési félévben megtenni a PM₁₀ csökkentési intézkedéseket, hanem a nem fűtési félévben is csökkenteni kell a porkibocsátást.

A fűtési és nem fűtési félévek koncentráció különbségeinél (a pirossal jelölt értékek szintén a 27,5 µg/m³-nél nagyobb értékeket jelölik) megfigyelhető, hogy 2010-ben a sajószentpéteri

állomás kivételével, 2011-ben pedig valamennyi állomásokról jelentősen megnőtt a két időszak közötti különbség, ami elsősorban a városi állomásokon szembetűnő. Ugyanez a tendencia érvényesül 2012-ben is azzal a különbséggel, hogy a miskolci állomások már kisebb koncentrációt regisztráltak.

15. táblázat. PM₁₀ fűtési és nem fűtési félév átlagkoncentráció különbségek
2004 – 2014 között a Sajó völgye zónában

Év	Mérőállomás	M4 Miskolc közlekedési	M6 Miskolc lakossági	K1 K.barcika lakossági	S1 S.péter lakossági	P1 Putnok lakossági	Lakossági típusú állomások átlaga (M6, K1, S1, P1)
2004	Fűtési félév	66,8	32,4	28,8	27,6	73,1	40,5
	Nem fűtési félév	39,5	17,2	16,3	16,6	32,2	20,6
	Különbség	27,3	15,2	12,5	10,9	40,9	19,9
2005	Fűtési félév	71,9	37,4	26,1	27,5	74,1	41,3
	Nem fűtési félév	41,9	19,1	13,6	13,5	36,0	20,6
	Különbség	30,0	18,3	12,6	14,0	38,1	20,8
2006	Fűtési félév	77,5	48,3	22,9	48,7	73,9	48,5
	Nem fűtési félév	47,6	25,9	10,5	22,9	30,4	22,4
	Különbség	29,9	22,4	12,4	25,7	43,5	26,0
2007	Fűtési félév	48,4	37,1	16,3	36,7	44,5	33,7
	Nem fűtési félév	32,9	24,4	11,2	21,1	24,7	20,4
	Különbség	15,5	12,7	5,1	15,6	19,8	13,3
2008	Fűtési félév	51,2	41,8	55,5	41,2	53,7	48,1
	Nem fűtési félév	30,6	22,8	23,0	20,4	25,4	22,9
	Különbség	20,7	19,0	32,6	20,8	28,3	25,2
2009	Fűtési félév	43,8	42,3	48,8	42,4	47,8	45,3
	Nem fűtési félév	27,8	23,6	24,2	22,4	24,5	23,7
	Különbség	16,0	18,7	24,7	20,0	23,3	21,7
2010	Fűtési félév	53,5	50,1	60,1	45,8	54,4	52,6
	Nem fűtési félév	24,3	21,2	20,9	18,9	17,3	19,6
	Különbség	29,2	28,9	39,2	26,9	37,2	33,1
2011	Fűtési félév	61,1	54,8	60,1	56,8	58,2	57,5
	Nem fűtési félév	25,8	24,6	21,7	22,3	20,3	22,2
	Különbség	35,2	30,2	38,4	34,5	37,9	35,3
2012	Fűtési félév	49,6	47,5	54,0	53,3	57,2	53,0
	Nem fűtési félév	23,6	20,6	20,2	19,6	18,9	19,8
	Különbség	26,0	26,8	33,7	33,7	38,3	33,1
2013	Fűtési félév	47,3	44,5	43,5	48,1	49,4	46,4
	Nem fűtési félév	23,0	20,4	18,7	21,7	20,3	20,3
	Különbség	24,3	24,1	24,8	26,4	29,1	26,1
2014	Fűtési félév	40,4	42,9	42,9	49,9	46,9	45,7
	Nem fűtési félév	25,2	19,7	18,9	19,4	16,9	18,7
	Különbség	15,1	23,2	24,0	30,4	30,0	26,9

A nem fűtési félév 11 éves PM₁₀ átlagkoncentráció adataiból levonva a T1 háttérállomás szintén 11 éves átlagolt koncentráció értékét, a 16. táblázatban foglalt értékek adódnak.

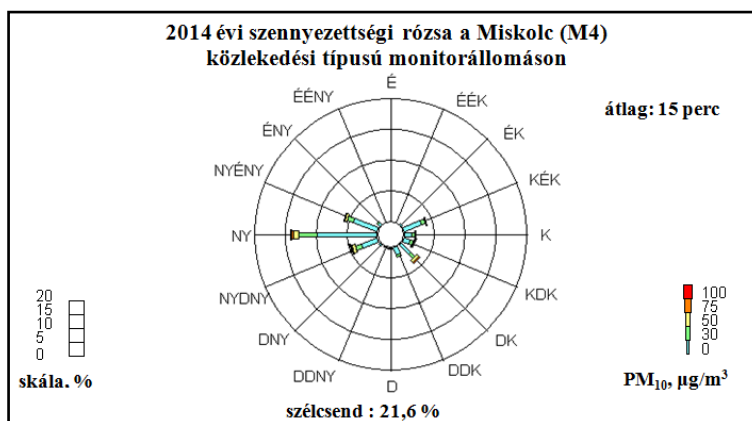
Nem fűtési félévben a városi típusú állomásokon a háttérterhelés felett 0,2 – 6,4 µg/m³ között alakul a többletterhelés, ami fűtési félévben 14,8 – 30,7 µg/m³. Közlekedési típusú állomáson a fűtési félév átlagos PM₁₀ többletkoncentrációja alig több mint kétszerese a nem fűtési félévben regisztrált értékek átlagának, míg ez az arány városi állomásoknál 5-8-szoros.

16. táblázat. A Sajó völgyében üzemelő monitor állomások (M4, M6, K1, S1, P1) fűtési és nem fűtési félév PM₁₀ koncentrációi a háttérkoncentráció (T1) levonásával 11 éves átlagban

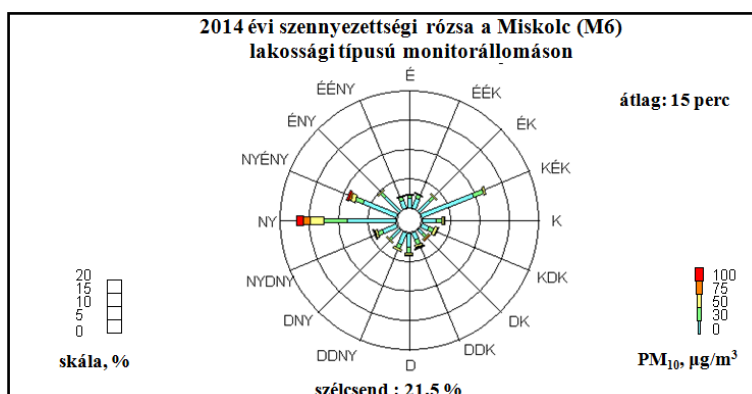
Állomás	M4	M6	K1	S1	P1
	µg/m ³				
Fűtési félév 11 éves átlag háttérterhelés nélkül	28,7	16,7	14,8	16,6	30,7
Nem fűtési félév 11 éves átlag háttérterhelés nélkül	13,2	3,9	0,2	2	6,4

(A kazincbarcikai állomás 11 éves átlagát fenntartásokkal kell kezelni, mivel 2008-ig egy elavult MPSI-100 típusú mérőműszer szolgáltatta a PM₁₀ adatokat). A fűtési és nem fűtési félévek közötti PM₁₀ koncentráció különbség (háttérterhelés nélkül) a városi állomásokon 14 – 24 µg/m³ között alakul, a közlekedési állomáson pedig 15 µg/m³.

A szennyezettségi rózsák a szélirány, szélsébség és a mért koncentráció összefüggését szemléltetik, megmutatják, hogy az adott területen mely irányokból milyen nagyságú szennyezés érkezik. Az 53-59. ábrák a vizsgált állomások 15 perces adataiból számított éves átlagértékeket ábrázolják az átlagolt szélirány és szélsébség függvényében 2014 évben. A szélcsend érték az éves szélcsendes időszakot adja meg %-ban. (A monitor állomások telepítési helyének közvetlen környezetét az állomásokat pontos megjelölésével a 2. sz. melléklet tartalmazza tájékoztató jelleggel).



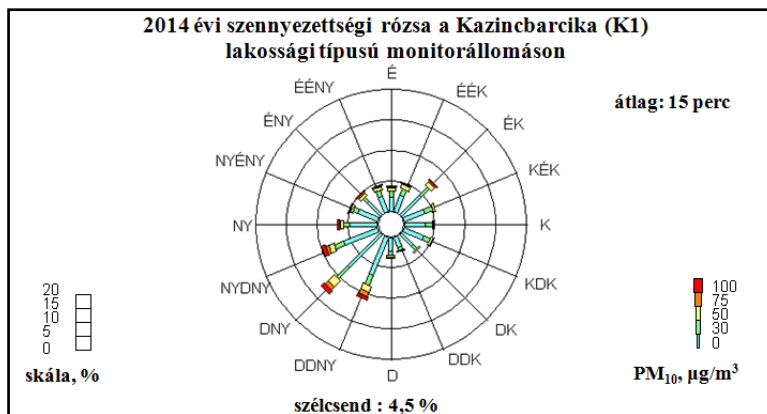
53.ábra. Miskolc (M4) Búza téri monitor állomás 2014 évi szennyezettségi rózsza



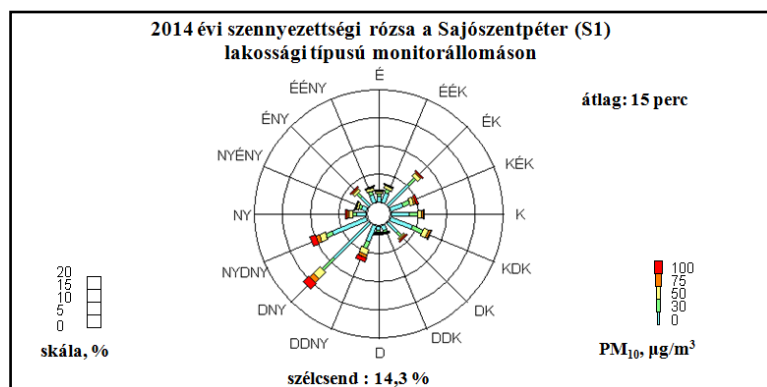
54.ábra. Miskolc (M6) Lavotta úti monitor állomás 2014 évi szennyezettségi rózsza

A domborzat és az épületek elhelyezkedése és magassága gátolja az áramlást. Ez elsősorban a Búza tér környékén figyelhető meg, ahol a monitorállomás sűrűn beépített városközpontban

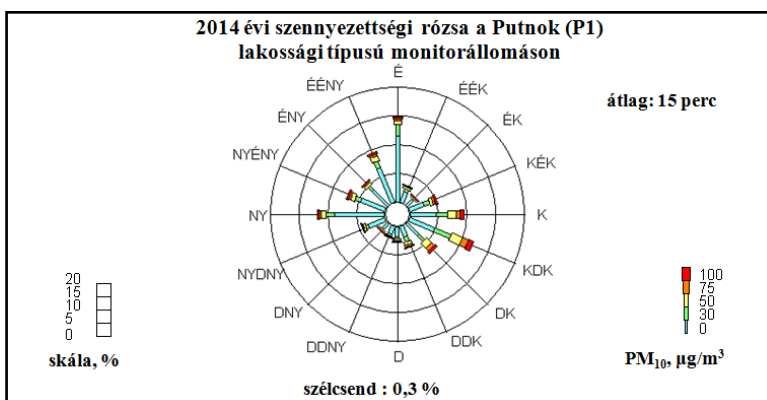
üzemel. A Szinva völgy széljárására jellemző a szélirány periodikus K - NY-i váltakozása. A szennyezettségi rózsáról leolvasható, hogy az állomáson mért szennyezőanyagok legnagyobb hányada nyugati irányból érkezik, ahol az északi terelő út, a forgalmas csomópont és a jelentős arányban fatüzelést használó családi házas városrészek találhatók.



55.ábra. Kazincbarcika (K1) monitor állomás 2014 évi szennyezettségi rózsza



56.ábra. Sajószentpéter (S1) monitor állomás 2014 évi szennyezettségi rózsza



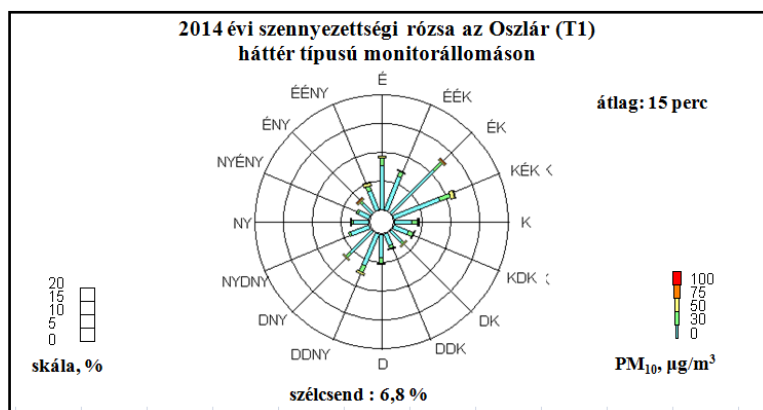
57.ábra. Putnok (P1) monitor állomás 2014 évi szennyezettségi rózsza

Miskolcon a Lavotta utcai állomáson, Kazincbarcikán és Sajószentpéteren az uralkodó szél a közeli családi házak irányából szállítja a szennyezőanyagot a mérőponthoz. A beépítettség, a források magassága valamint a felhasznált tüzelőanyag függvényében változik a koncentrációk nagysága. A szennyezettségi rózsán majdnem minden irányban megjelennek a 100 µg/m³ tartományba eső a koncentráció értékek.

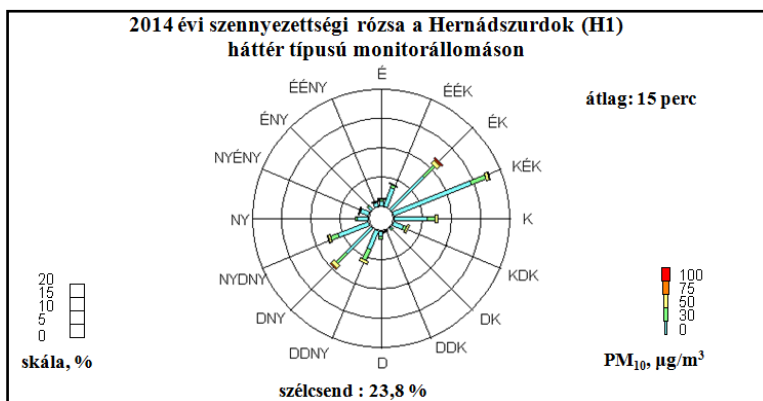
A putnoki szennyezettségi rózsza azt mutatja, hogy szinte minden irányból érkeznek nagy koncentrációk. Ez logikus következménye annak, hogy az állomást olyan családi házak veszik körül, amelyek többségében nemcsak gáz tüzelőanyagot használ a lakosság. Éppen ezért a putnoki állomás tendenciái egyértelműen jellemzőek a lakosság tüzelés változására.

Összevetve a közlekedési és a lakossági típusú monitor állomások szennyezettségi rózsáit, megállapítható, hogy a 100 µg/m³ tartományba eső koncentrációk tekintetében a lakossági kibocsátások dominálnak.

A háttér állomások adatait (Oszlár, Hernádszurdok) elsősorban a domborzati viszonyok és a meteorológia befolyásolja. A háttérállomásokon ritkán fordulnak elő magas koncentráció értékek.



58.ábra. Oszlár (T1) monitor állomás 2014 évi szennyezettségi rózsza



59.ábra. Hernádszurdok (H1) monitor állomás 2014 évi szennyezettségi rózsza

7.3.3 Rövidtávú adatsorok elemzése 2009-2014 között

A 14/2001 (V.9.) KöM-EüM-FVM együttes rendelet 2008. október 25-től vezette be a külön szilárd részecskére érvényes, 6. táblázatban bemutatott tájékoztatási és riasztási küszöbértékeket. (Korábban a szállópor és a kén-dioxid mért koncentrációjának összege adta a szabályozás alapját).

A szabályozás bevezetése, azaz 2008 óta mért PM₁₀ adatok kiértékelését követően az alábbiak állapíthatók meg:

- A vizsgált években minden esetben csak a PM₁₀ komponens tekintetében volt tájékoztatási vagy riasztási küszöbérték túllépés.
- A túllépési helyzetek szinte minden esetben kedvezőtlen meteorológiai helyzetben, ún. inverziós időszakban fordultak elő és általában az ország többi mérőpontján és a háttérállomásokon is nagy volt ezekben az esetekben a PM₁₀ koncentráció.
- Ezen időszakokban a keveredési rétegvastagság nagyon kicsi, a levegő, és benne a légszennyező anyagok elkeveredése, felhígulása nem biztosított. Hazánk medence fekvéséből adódóan a téli időszakokban többször előfordul, hogy a hideg levegő fölé melegebb légáramok érkeznek, és meggátolják a légmozgást, a vertikális keveredést.
- Valamennyi riasztási helyzetre jellemző volt továbbá, hogy általában két napig regisztrált az ÉMI-KTF 100 µg/m³ feletti értékeket, vagyis a riasztási szintre vonatkozó túllépési helyzet nem állt fenn tartósan [14].
- Az Észak-magyarországi régióra általában jellemző, hogy az ország egyéb területeihez képest gyakrabban, és tartósabban alakulnak ki szmoghelyzetek, ami a szennyezőanyag terjedését befolyásoló domborzati viszonyokon kívül a térség elmaradottságával és elszegényedésével is indokolható.

Az egyes években előforduló szmoghelyzetek kialakulásának és lecsengésének elemzéséből szintén vonhatók le következtetések a szennyezettség forrásáról. A 2009-2014 közötti szmoghelyzetek PM₁₀ és SO₂ koncentráció lefutásának összehasonlító vizsgálata a lakossági, közlekedési és háttér típusú állomásokon, összevetve a hőmérséklet napi változás lefutásával, információt szolgáltat a szennyezettség eredetéről.

A háttérkoncentrációk levonásával a miskolci közlekedési és városi állomáson a PM₁₀ és az SO₂ koncentráció alakulása alapján következtetni lehet a közlekedés illetve a lakossági kibocsátás mértékére. A 2009. évi szmoghelyzetre vonatkozóan rendelkezésre állnak továbbá a K-pusztai valamint a burgenlandi PM₁₀ adatok, melyek elemzésével igazolható, hogy forrásazonosításnál fontos szerepet játszik a meteorológia és a domborzat is.

Műszerhibák miatt az adatsorok néhány esetben hiányosak, ezért ezeken a napokon a koncentráció görbék megszakadnak.

7.3.3.1 2009. 01. 03. – 01. 24. közötti szmoghelyzet

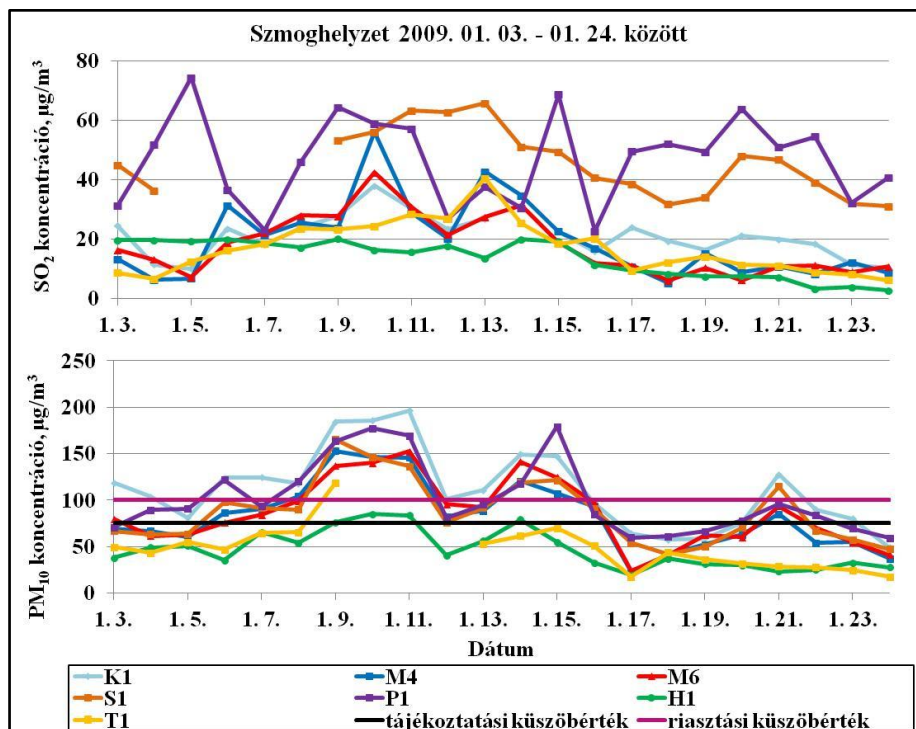
A PM₁₀ koncentrációjának növekedését még a téli időszakra jellemző nagyobb emisszió sem indokolta, ezért az időjárási helyzet okolható az epizód helyzet kialakulásával. Az időjárás kulcsszerepét igazolja az is, hogy a riasztási szintet Budapesten szombat és vasárnap érte el a PM₁₀ koncentrációja, mely napokon a közlekedés – mint a fővárosban elsődleges PM₁₀ forrás - sűrűsége a hét közben tapasztaltnál kisebb. Sőt, vasárnap is megmaradt a kiugróan nagy koncentráció szint Budapesten még azután is, hogy ekkor már életbe lépett a forgalomkorlátozás.

A vizsgált időszakban nagyon hideg volt, -10 °C alatti órás átlaghőmérsékleteket mértek. Gyenge szél fújt és a keveredési réteg vastagsága is extrém módon alacsony volt. Sem horizontális, sem pedig vertikális irányban nem volt olyan légmozgás, amely segítette volna a PM₁₀ elkeveredését a környező levegővel. Mindezek a kedvezőtlen meteorológiai feltételek együttesen járultak hozzá a PM₁₀ jelentős feldúsulásához a Magyarország fölötti légtérben. Sőt az epizód helyzet megszűnése is egyértelműen a meteorológiai helyzet kedvező

változásának számlájára írható. Hétfőtől (január 12.) fokozatosan szelesebbé és enyhébbé vált az időjárás, valamint beindultak a vertikális keveredési folyamatok is [114].

A speciális légköri viszonyok elsődleges szerepét igazolja, hogy nemcsak Magyarországon, hanem Burgenlandban is hasonló koncentráció kiugrást regisztráltak [115].

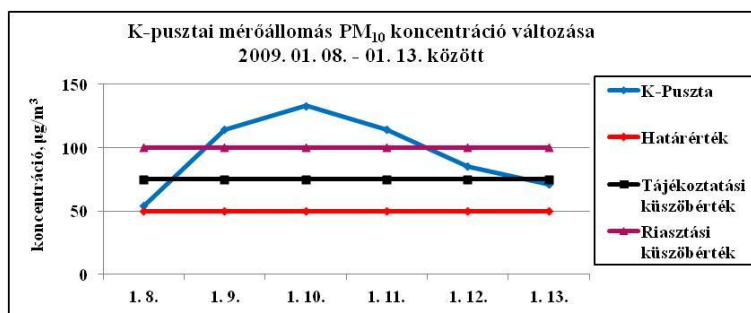
A 60. ábra a PM₁₀ és SO₂ koncentráció változását mutatja be a szmoghelyzet alatt a Sajó völgyében üzemelő monitor állomásokon.



60. ábra. PM₁₀ és SO₂ koncentráció változás 2009. 01. 03. – 2009. 01. 24. között

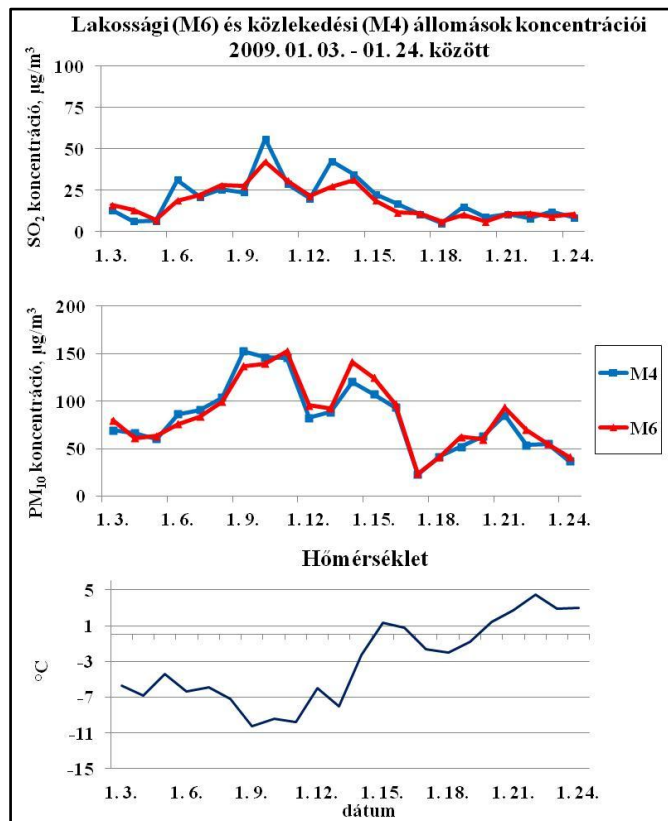
Összevetve a PM₁₀ és az SO₂ koncentrációk lefutását, megállapítható, hogy a PM₁₀ koncentráció változása jó közelítéssel együtt halad valamennyi mérőponton, míg SO₂ tekintetében a vidéki városi állomások (P1, S1, K1) a szmoghelyzet lecsengésével is nagyobb koncentrációt mutatnak a többi állomáshoz képest.

A kedvezőtlen meteorológiai körülményeket igazolja az a tény is, hogy az esemény alatt a háttérszennyezettséget mérő K-pusztai állomáson is riasztási küszöbérték feletti koncentrációt regisztráltak, amit a 61. ábra szemléltet.



61. ábra. PM₁₀ koncentráció változás 2009. 01. 03. – 2009. 01. 24. között
a K-pusztai mérőállomáson

A miskolci közlekedési (M4) és a lakossági (M6) típusú mérőállomások SO₂ és PM₁₀ koncentrációinak alakulását a hőmérséklet változással kiegészítve a 62. ábra mutatja be.



62.ábra. PM₁₀, SO₂ koncentráció változás, és a napi átlaghőmérséklet alakulása a miskolci közlekedési (M4) és lakossági típusú (M6) mérőállomáson

A PM₁₀ és SO₂ koncentrációja valamint a hőmérséklet változásának vizsgálata azt mutatja, hogy a szmoghelyzet időtartama alatt regisztrált legkisebb napi átlaghőmérsékletre tartozik a legnagyobb SO₂ és PM₁₀ koncentráció, míg a PM₁₀-nél a hőmérséklet növekedése ellenére is mutatkozik egy újabb csúcs, ami mind a közlekedési, mind a lakossági típusú állomáson jelentkezik. Mivel az SO₂ komponensnél ez a második csúcs nem mutatkozik, feltételezhető valamilyen egyéb kibocsátó hatása.

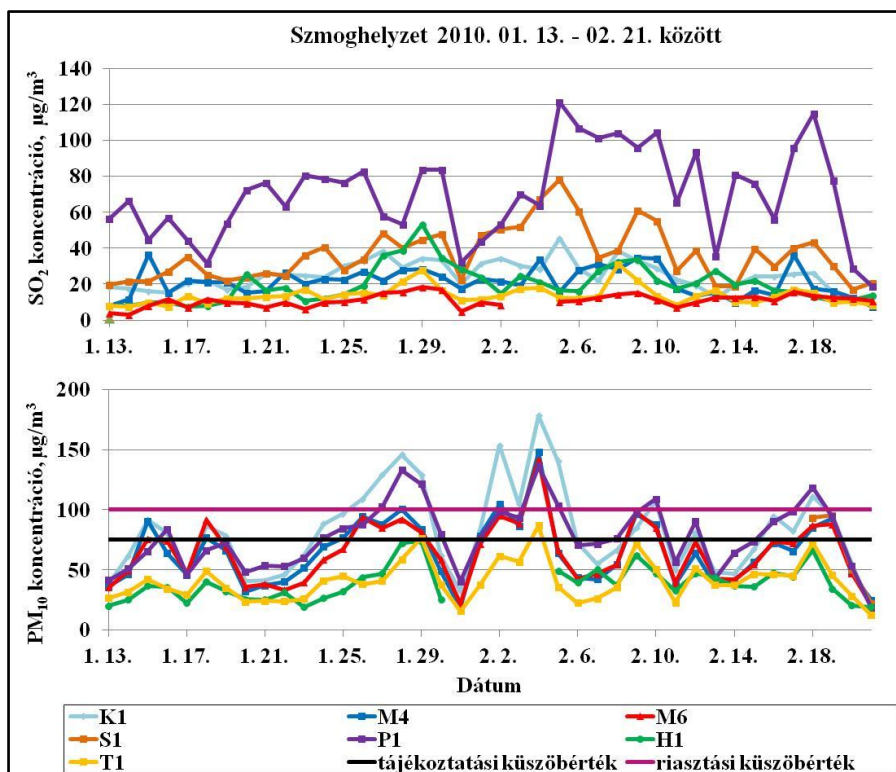
7.3.3.2 2010. 01. 13. – 02. 21. közötti szmoghelyzet

Az összes állomást bemutató diagramok a 2009 évihez hasonló tendenciát mutatnak, amit a 63. ábra szemléltet. A 64. ábra a miskolci monitor állomások PM₁₀ és SO₂ adatai és a hőmérséklet változása közötti összefüggést mutatja be. (Az S1 állomás PM₁₀ adatai műszerhiány miatt nem álltak rendelkezésre, a hernádszurdoki PM₁₀ adatokban 5 napos adathiány van).

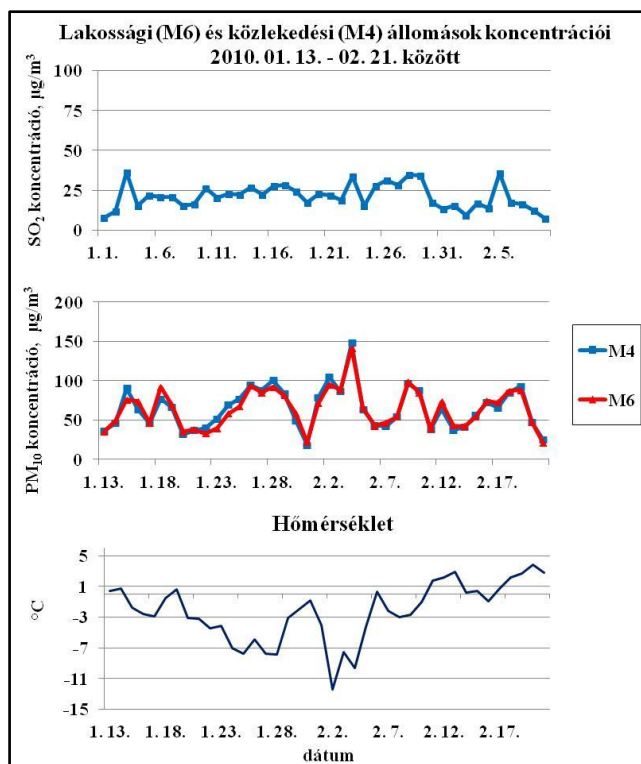
A putnoki és sajószentpéteri kiemelkedő SO₂ értékek egyértelműen a lakossági tüzeléssel azonosíthatók. Az SO₂ csúcsok Putnokon elérik a 120 µg/m³ feletti értéket, ami a 2009 évi adatokhoz képest (74,4 µg/m³) majdnem kétszeres növekedést mutat.

A miskolci monitor állomásokon a koncentráció csúcsok itt is a hőmérséklet minimumoknál figyelhetők meg, ami a hideg időben a lakossági fűtésből származó kibocsátásra utal.

A PM₁₀ koncentrációk a közlekedési és a lakossági típusú állomásokon teljesen együtt haladnak. (Az SO₂ koncentráció esetén az M6 állomás adatai műszerhiba miatt valószínűtlenül alacsony koncentrációt rögzítettek, ezért nem kerültek kiértékelésre).



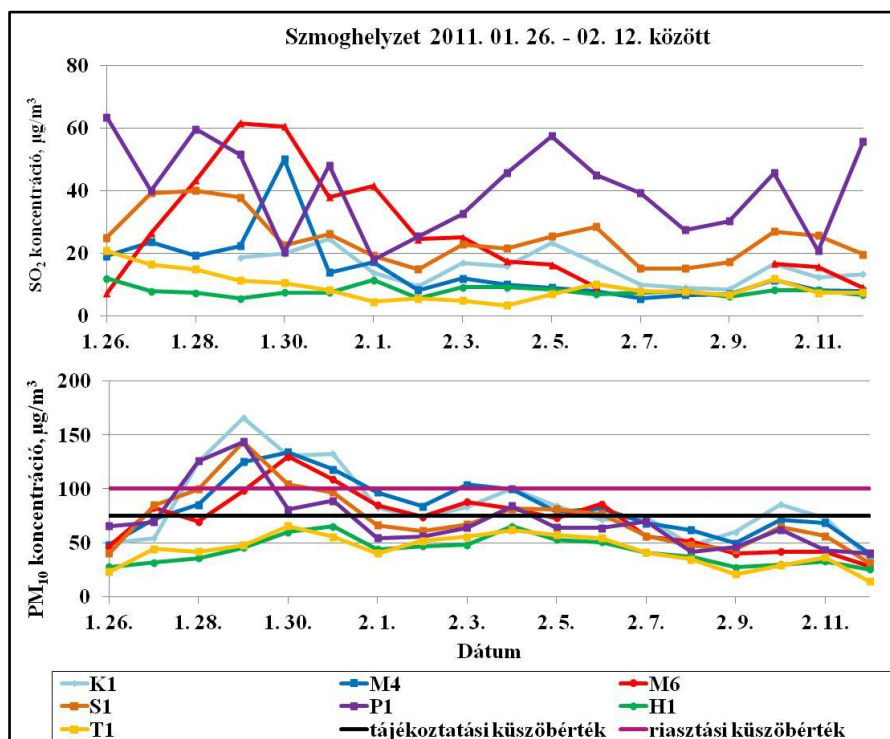
63.ábra. PM₁₀ és SO₂ koncentráció változás 2010. 01. 13. – 2010. 02. 21. között



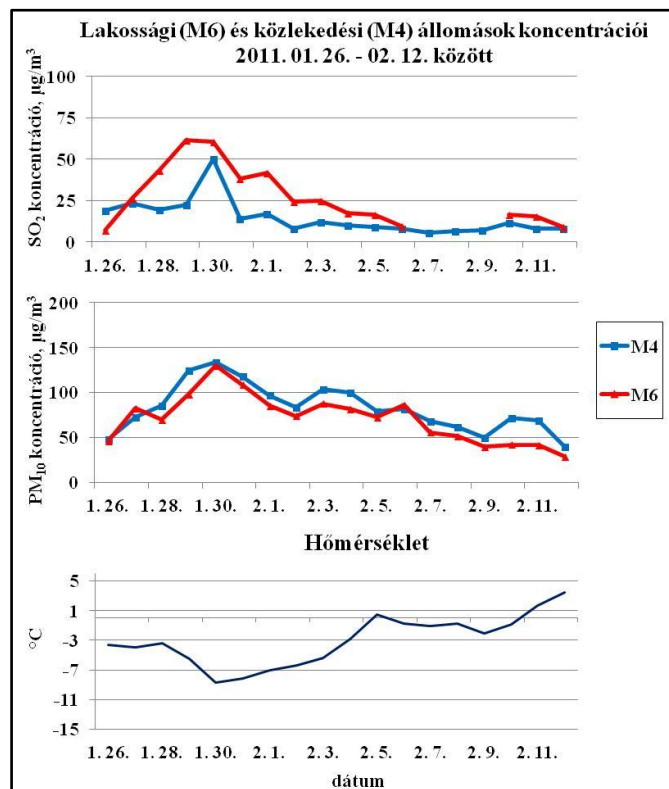
64.ábra. PM₁₀, SO₂ koncentráció változás, és a napi átlaghőmérséklet alakulása a miskolci közlekedési (M4) és lakossági típusú (M6) mérőállomáson

7.3.3.3 2011. 01. 26. – 02. 12. közötti szmoghelyzet

A szmoghelyzetben a koncentrációk alakulását a 65. ábra, a 66. ábra pedig a hőmérséklet és a miskolci monitor állomások SO₂ és PM₁₀ koncentrációi közötti összefüggést szemlélteti.



65.ábra. PM₁₀ és SO₂ koncentráció változás 2011. 01. 26. – 2011. 02. 12. között



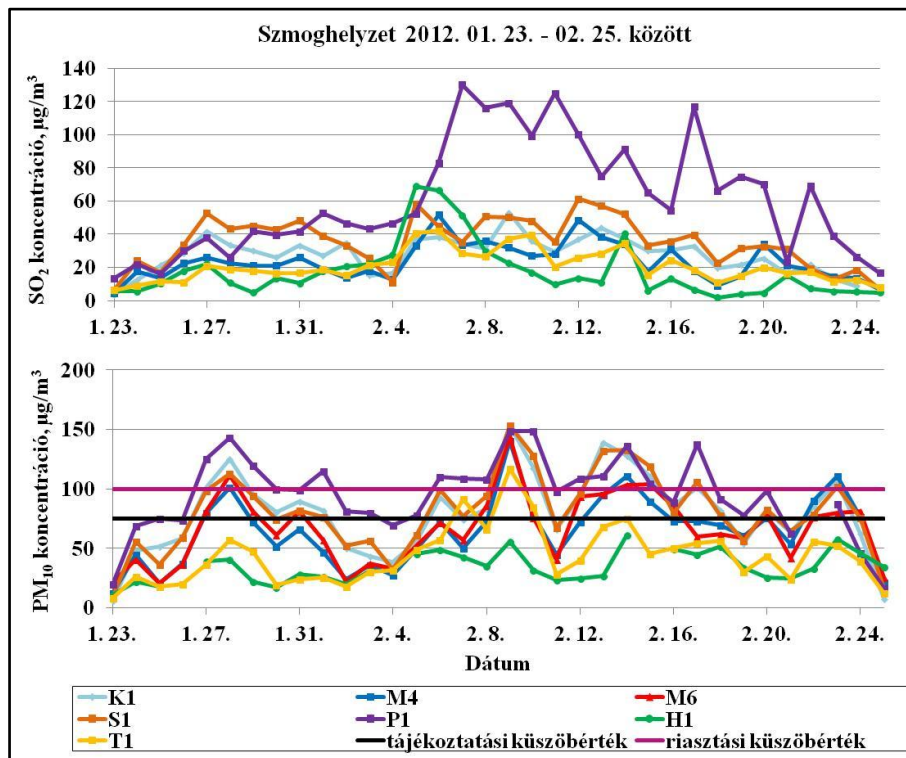
66.ábra. PM₁₀, SO₂ koncentráció változás, és a napi átlaghőmérséklet alakulása a miskolci közlekedési (M4) és lakossági típusú (M6) mérőállomáson

A Miskolc Lavotta úti állomás (M6) SO₂ koncentrációja az előző évekkel ellentétben néhány napig már meghaladja a Búza téren regisztráltat, vagyis a családi házas övezetben növekedett a szilárd tüzelőanyag felhasználás. PM₁₀ tekintetében viszont még mindig a közlekedési állomás vezet.

A 66. ábra jól szemlélteti, hogy a hőmérséklet növekedésével a közlekedési és a lakossági típusú monitorállomásokon is csökken mind az SO₂, mind a PM₁₀ koncentráció. A koncentráció csúcsok pedig az állomások típusától függetlenül egybeesnek a hőmérséklet minimummal.

7.3.3.4 2012. 01. 23. – 02. 25. közötti szmoghelyzet

A szmoghelyzetben a PM₁₀ és SO₂ koncentrációk alakulását a 67. és 68. ábra szemlélteti.

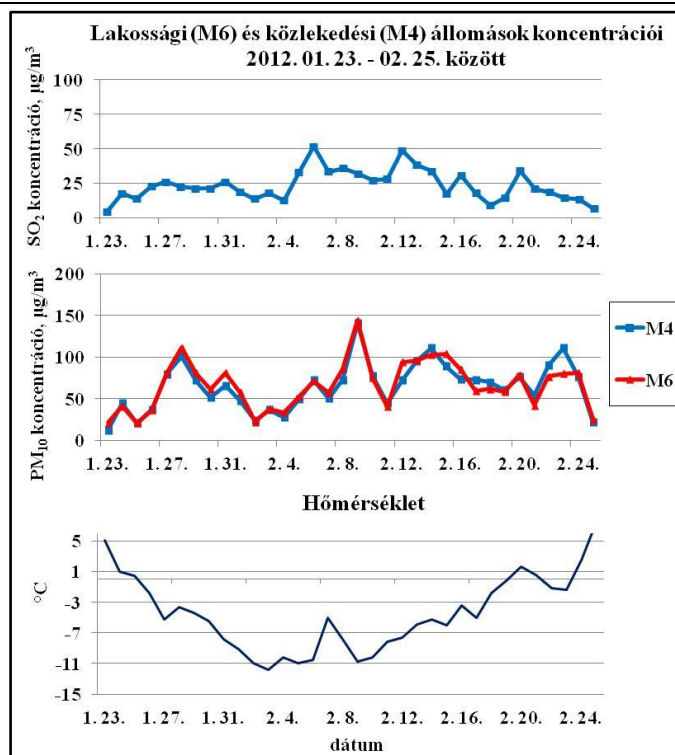


67.ábra. PM₁₀ és SO₂ koncentráció változás 2012. 01. 23. – 2012. 02. 24. között

A 67. ábrán látható, hogy a városi állomás PM₁₀ koncentrációja egyre gyakrabban nagyobb, mint a közlekedésié. Az is szembetűnő, hogy a putnoki és a többi bemutatott állomás által regisztrált SO₂ koncentráció között egyre nagyobb a különbség.

A 68. ábra adataiból megállapítható, hogy a hőmérséklet növekedését lassabban követi a PM₁₀ koncentráció csökkenés, ami a kis szélsébséggel magyarázható. (A vizsgált időszakban a miskolci Lavotta úti állomáson nem állt rendelkezésre SO₂ adat).

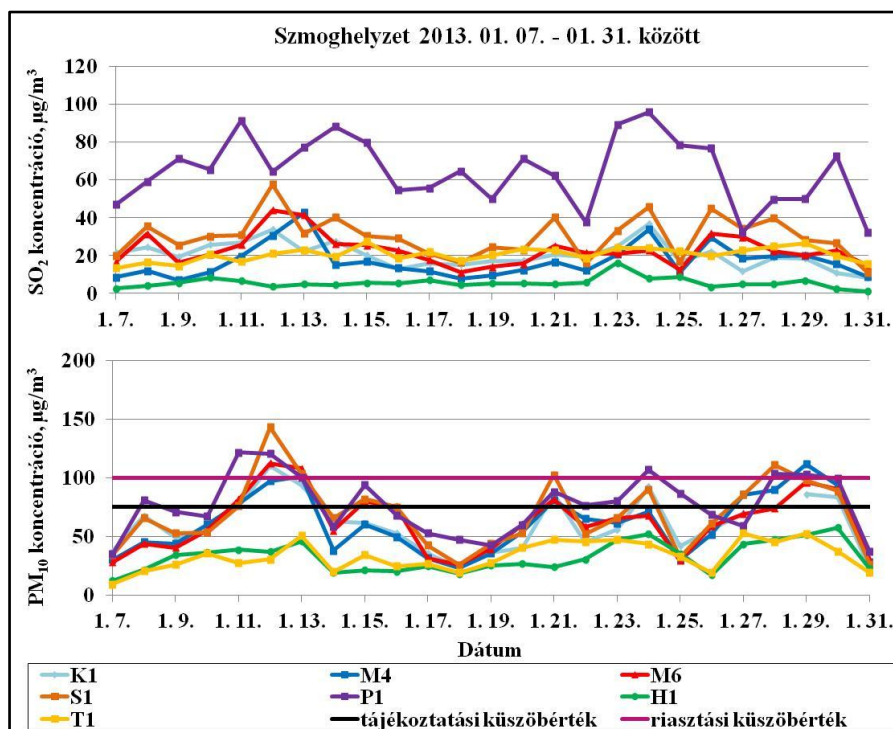
Összevetve a korábbi évek hőmérséklet és koncentráció változása közötti összefüggést szemléltető diagramjaival az is megfigyelhető, hogy a fokozatos hőmérséklet csökkenésre a koncentráció változás lassabban reagál, a hirtelen hőmérséklet csökkenést viszont jobban követi.



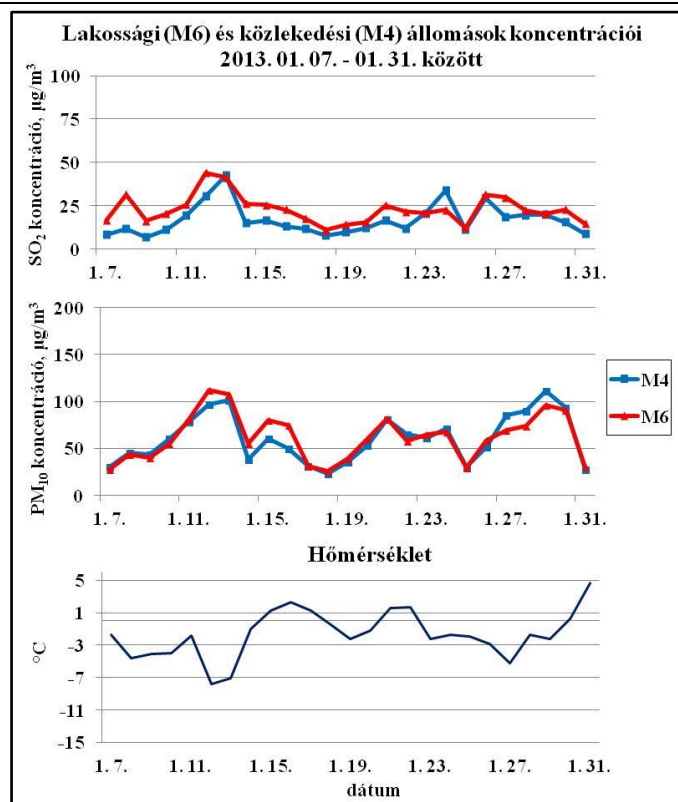
68.ábra. PM₁₀, SO₂ koncentráció változás, és a napi átlaghőmérséklet alakulása a miskolci közlekedési (M4) és lakossági típusú (M6) mérőállomáson

7.3.3.5 2013. 01. 07. – 01. 31. közötti szmoghelyzet

A szmoghelyzetben a PM₁₀ és SO₂ koncentrációk lefutását a Sajó völgye zónában a 69. ábra szemlélteti.



69.ábra. PM₁₀ és SO₂ koncentráció változás 2013. 01. 07. – 2013. 01. 31. között



70.ábra. PM₁₀, SO₂ koncentráció változás, és a napi átlaghőmérséklet alakulása a miskolci közlekedési (M4) és lakossági típusú (M6) mérőállomáson

Ez a szituáció azt mutatja, hogy továbbra is a lakossági kibocsátás a domináns szerep. A putnoki állomás SO₂ koncentrációi akár 40 µg/m³-rel is meghaladják a többi állomás értékeit.

A 70. ábrán - a korábbi évekkel ellentétben - Miskolcon a legkisebb regisztrált hőmérséklethez tartozó PM₁₀ koncentráció a lakossági típusú állomáson már meghaladja a közlekedési állomáson rögzített értéket.

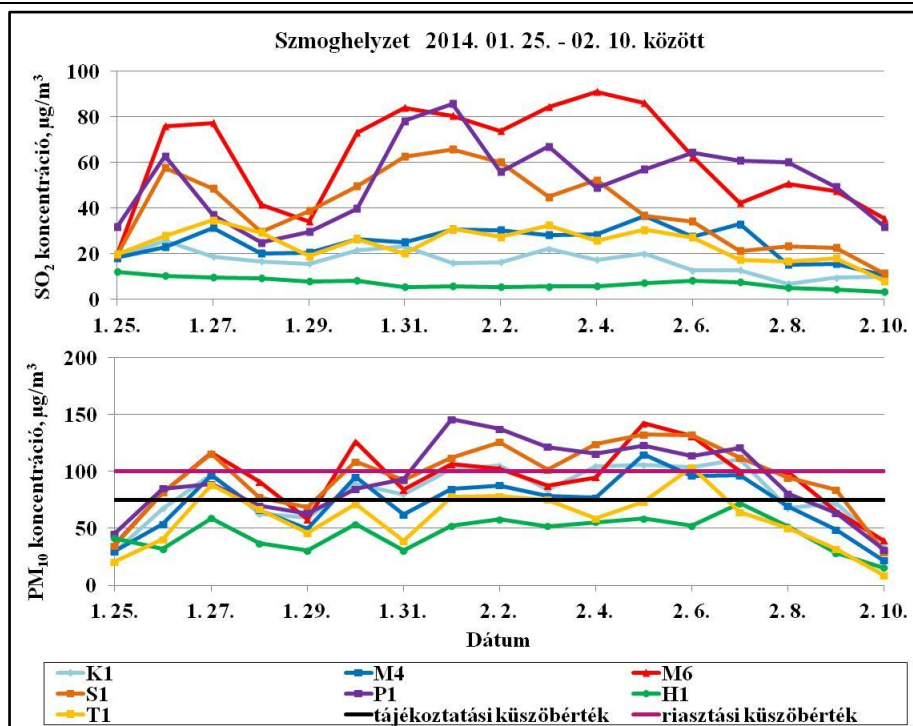
7.3.3.6 2014. 01. 25. – 02. 10. közötti szmoghelyzet

2014-ben már az M6 állomás SO₂ koncentrációja a legnagyobb, ami a fokozódó szilárd tüzelőanyag felhasználásra utal. Ez olvasható le a 71. ábráról. Az is megfigyelhető, hogy a szmoghelyzetben, a korábbi évekhez képest a közlekedési típusú (M4) állomás egyre inkább háttérbe szorul, a lakossági típusú állomásokkal szemben.

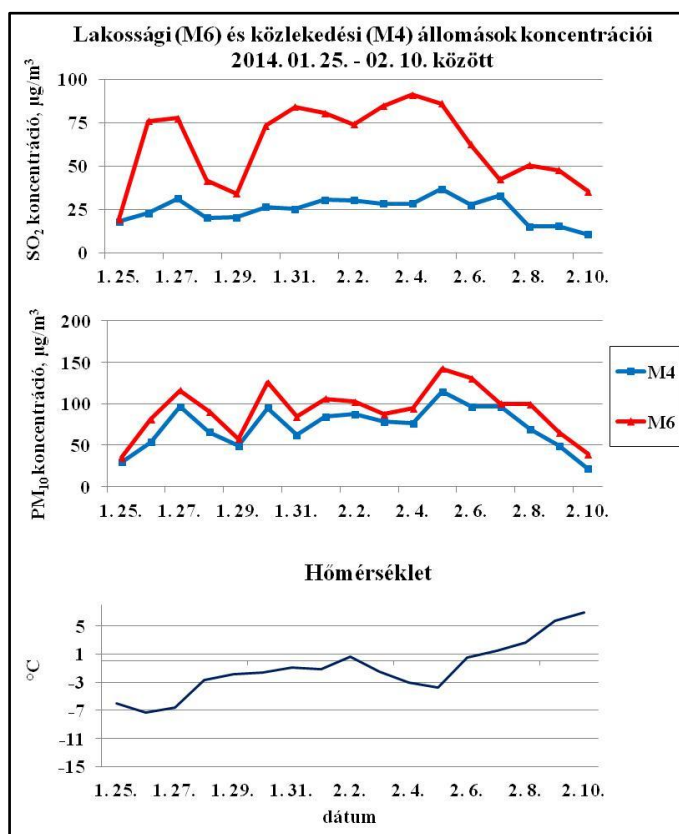
Ebben a helyzetben is jól megfigyelhető a meredek lecsengés, nyomon követhető a hőmérséklet növekedéssel egyidejű koncentráció csökkenés, mely mindkét komponensre vonatkozik, amit a 72. ábra szemléltet. Viszont ebben az évben már jelentős a városi és a közlekedési állomás közötti PM₁₀ és SO₂ különbség, ami szintén a lakossági kibocsátás erősödését igazolja.

A 73. ábra a PM₁₀ koncentráció és a szélesebbesség változását mutatja be 2014. 02. 09-én éjfélről 02. 10-én reggel 8:00-ig, vagyis a szmoghelyzet megszűnéséig.

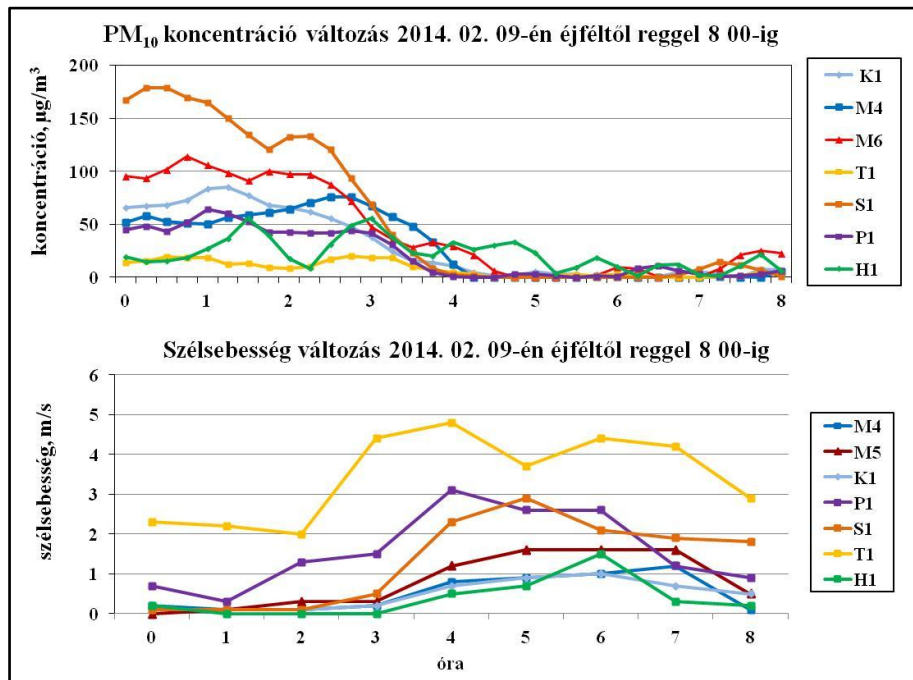
Az ábra azt igazolja, hogy a szélesebbességnek jelentős szerepe van a szmoghelyzetek megszűnésében. Egyértelműen látszik, hogy a szél feltámadása után a PM₁₀ koncentráció akár 1 óra alatt lecsökken 130 µg/m³ értékről 1-2 µg/m³ értékre.



71.ábra. PM₁₀ és SO₂ koncentráció változás 2014. 01. 25. – 2014. 02. 10. között

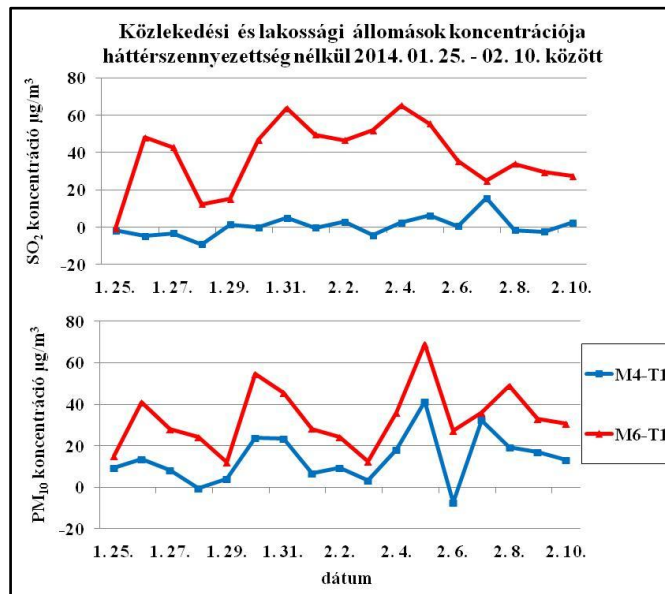


72.ábra. PM₁₀, SO₂ koncentráció változás, és a napi átlaghőmérséklet alakulása a miskolci közlekedési (M4) és lakossági típusú (M6) mérőállomáson



73.ábra. PM₁₀ koncentráció és szélsebesség változás 2014. 02. 09-én éjféltől reggel 8 00-ig

A 74. ábra a Miskolc városi (M6) és a közlekedési (M4) típusú állomásokon és az oszlári (T1) háttérállomáson regisztrált PM₁₀ és SO₂ koncentrációk különbségét szemlélteti.



74.ábra. A miskolci közlekedési (M4) és lakossági típusú (M6) mérőállomások koncentrációi és a háttérállomáson regisztrált PM₁₀, SO₂ koncentrációk különbsége

A háttérállomásként használt T1 állomáson regisztrált koncentrációk levonásával információt kaphatunk a miskolci lakossági és közlekedési kibocsátások mértékéről. Megállapítható, hogy a közlekedési típusú állomásokon az SO₂ koncentráció a vizsgált időszak alatt többször kisebb, mint a háttérállomás értéke, a többi esetben pedig alig haladja meg azt. Az M4 állomáson a helyi SO₂ koncentráció maximuma 15,6 µg/m³, átlagban pedig 0,5 µg/m³, ugyanez a lakossági típusú M6 állomáson 65,2 µg/m³, átlagban pedig 38,2 µg/m³.

PM₁₀ tekintetében Miskolcon az M4 közlekedési típusú állomáson a helyi koncentráció maximuma 41,3 µg/m³, átlagban pedig 13,8 µg/m³, a lakossági típusú állomáson a maximum 69 µg/m³, az átlagérték pedig 33,3 µg/m³. A helyi koncentráció értékek is azt igazolják, hogy 2014-ben a lakossági típusú állomás PM₁₀ koncentrációja közel másfélszerese a közlekedésinek, vagyis a lakossági emisszió jobban befolyásolja a helyi koncentráció alakulását.

7.3.4 Egy adott szmoghelyzet részletes elemzése

A légszennyezés forrásazonosítása jó közelítéssel elvégezhető a különböző típusú mérőállomások légszennyező komponenseire vonatkozó adatainak párhuzamos elemzésével, figyelembe véve a meteorológiai viszonyokat és a háttér állomások adatait is. A következőkben egy adott időszakban bekövetkezett szmoghelyzetben mért adatok alapján mutatom be az értékelési módszert.

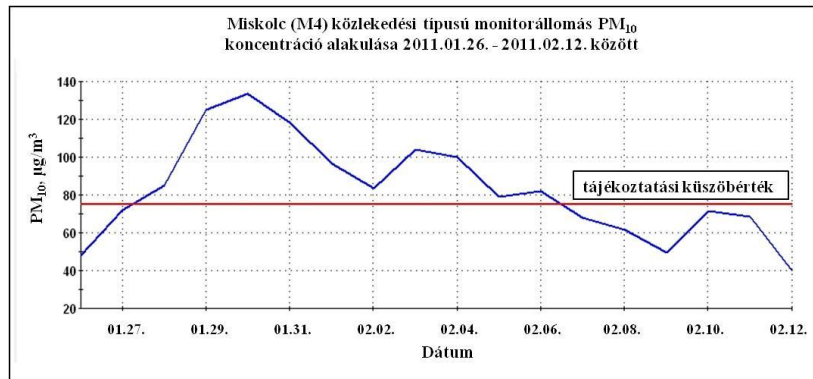
2011 januárjában szmoghelyzet alakult ki a Sajó völgyében. Sajószentpéteren az S1, Kazincbarcikán a K1, Putnokon a P1 és Miskolcon a Búza téren az M4 és a Lavotta utcai M6 jelű állomásokon a mért PM₁₀ koncentráció 24 órás átlaga több napon keresztül meghaladta a tájékoztatási (75 µg/m³) ill. a riasztási küszöbértéket (100 µg/m³). A regisztrált adatokat a 17. táblázat mutatja be. A kiemelés nélküli adatok az egészségügyi határérték (50 µg/m³) alatti, a sárga kiemelés az egészségügyi határérték feletti, a szürke a tájékoztatási küszöbértéket meghaladó (75 µg/m³), a piros pedig a riasztási küszöbértéket (100 µg/m³) átlépő napi átlagértékeket jelzi.

17. táblázat. PM₁₀ 24 órás átlagai Miskolcon a közlekedési típusú (M4) és a lakossági típusú (M6,) a kazincbarcikai (K1), sajószentpéteri (S1) és putnoki (P1) mérőállomásokon
2011. 01. 26. - 2011. 02. 12. között [14]

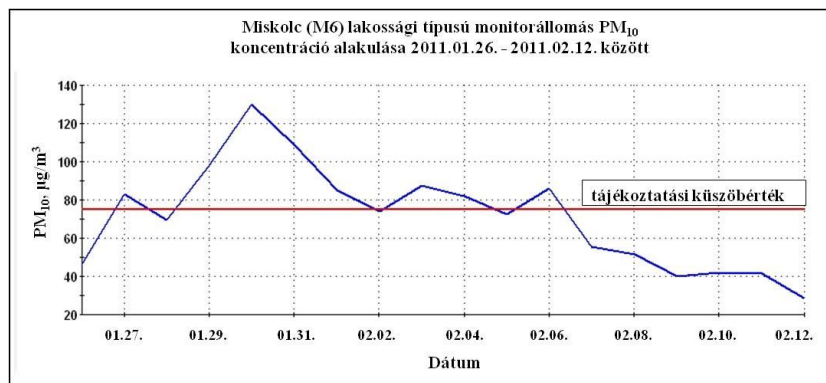
Állomáskód	M4	M6	K1	S1	P1
Dátum	PM ₁₀ µg/m ³				
2011. 01. 26	48,0	46,4	49,7	40,1	65,5
2011. 01. 27.	72,2	82,8	54,3	85	69
2011. 01. 28.	85,1	69,6	124,9	99,6	125,9
2011. 01. 29.	124,8	97,9	165,8	143,1	143,8
2011. 01. 30.	133,6	129,8	131	103,9	80,6
2011. 01. 31.	117,8	108,5	132,4	96,6	88,9
2011. 02. 01.	96,7	85,0	82,8	66,2	54,3
2011. 02. 02.	83,7	73,9	73,2	61,1	55,6
2011. 02. 03.	103,8	87,5	83,1	67	63,7
2011. 02. 04.	99,8	81,8	100,1	81,5	84,1
2011. 02. 05.	79,1	72,6	84,1	81,1	64,2
2011. 02. 06.	82,0	85,9	71,2	76,5	63,5
2011. 02. 07.	68,1	55,6	73,5	56,2	69,8
2011. 02. 08.	61,7	51,3	47,8	47,3	41,7
2011. 02. 09.	49,4	39,8	59,8	43,5	46,1
2011. 02. 10.	71,3	41,9	85,3	64,9	62,1
2011. 02. 11.	68,6	41,7	72,8	56,2	43,2
2011. 02. 12.	39,8	28,4	35,6	31	39,9
jelmagyarázat:	<50 µg/m ³	50-75 µg/m ³	75-100 µg/m ³	>100 µg/m ³	

A legnagyobb napi PM₁₀ átlagkoncentráció, 165,8 µg/m³, Kazincbarcikán, a lakossági típusú monitorállomáson alakult ki és ezen a településen állt fenn a legtartósabban. A napi átlagérték hirtelen nőtt 2,5-szeresére. Az egészségügyi határérték túllépést rögtön riasztási küszöbérték túllépés követte a putnoki állomáshoz hasonlóan. A többi vizsgált állomáson ezzel szemben túllépést fokozatosabban következett be.

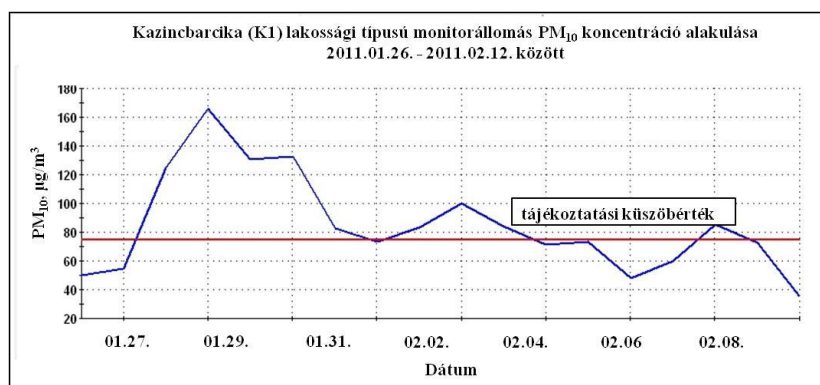
A 75. ábra a miskolci közlekedési típusú (M4), a 76. ábra a miskolci lakossági típusú (M6), a 77. ábra a kazincbarcikai (K1), a 78. ábra a sajószentpéteri (S1), a 79. ábra pedig a putnoki (P1) állomáson mutatja be a PM₁₀ koncentráció trendjét a vizsgált időszakban.



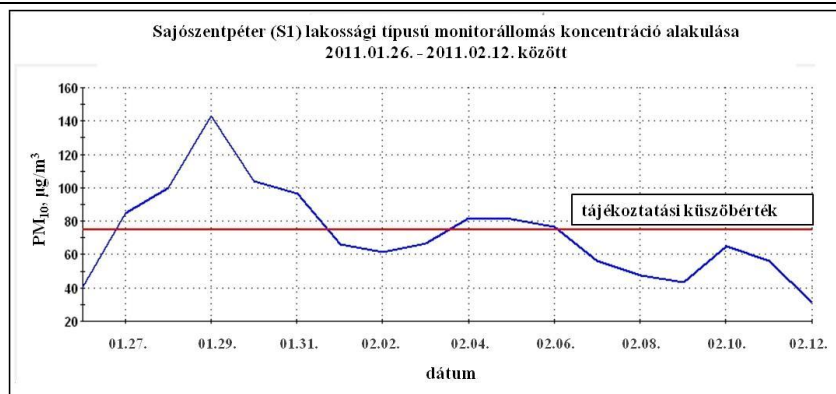
75.ábra. PM₁₀ koncentráció alakulása 2011. 01. 26. - 2011. 02. 12. között Miskolcon, a közlekedési típusú M4 mérőállomáson [14]



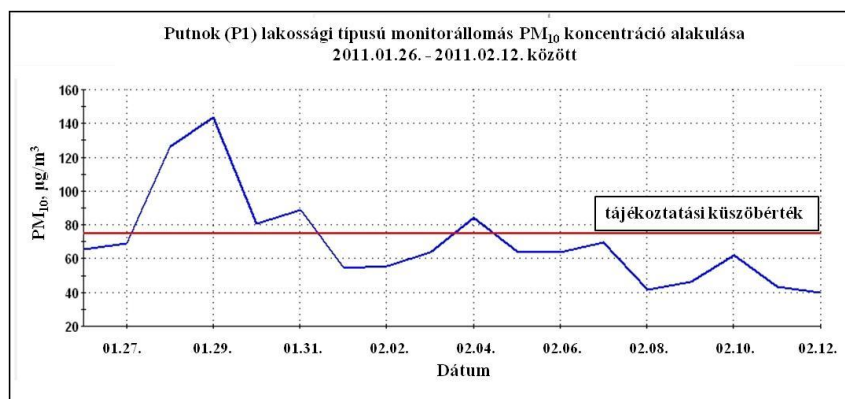
76.ábra. PM₁₀ koncentráció alakulása 2011. 01. 26. - 2011. 02. 12. között Miskolcon, a lakossági típusú M6 mérőállomáson [14]



77.ábra. PM₁₀ koncentráció alakulása 2011. 01. 26. - 2011. 02. 12. között Kazincbarcikán, a lakossági típusú K1 mérőállomáson [14]



78.ábra. PM₁₀ koncentráció alakulása 2011. 01. 26. - 2011. 02. 12. között
Sajószentpéteren, a lakossági típusú S1 mérőállomáson [14]



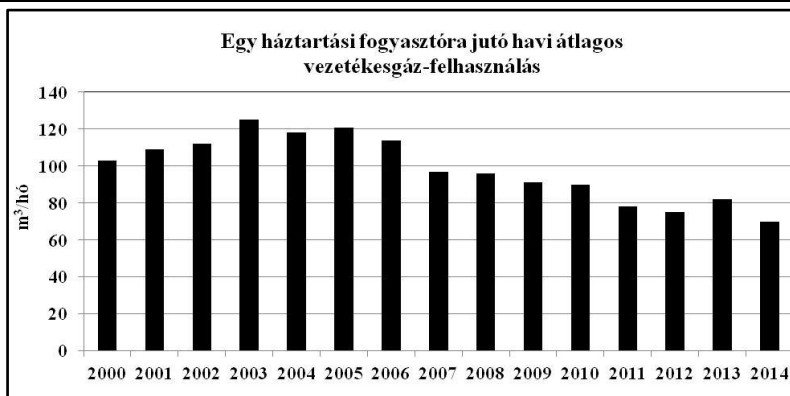
79.ábra. PM₁₀ koncentráció alakulása 2011. 01. 26. - 2011. 02. 12. között
Putnokon, a lakossági típusú P1 mérőállomáson [14]

Látható, hogy a görbék hasonló lefutásúak, vagyis az esemény a Sajó völgyében Sajószentpéteren, Kazincbarcikán és Putnokon egyszerre, 2011. 01. 29-én érte el a csúcspontot, Miskolcon a szennyezettség kis késleltetéssel, 2011. 01. 30-án volt észlelhető.

Az utóbbi 3 évben fő PM₁₀ kibocsátó forrássá léptek elő a szilárd tüzelőanyag elégetésével járó folyamatok, ezek közül is kiemelkedően a lakossági tüzelés. Továbbra is jelentős a közúti közlekedés, kiemelten a dízel üzemű járművek részecske-kibocsátása. Ezekhez hozzájárul még a kiülepedett por újbóli felkavarása, a diffúz kibocsátó források, illetve a nagy távolságból érkező szennyezés.

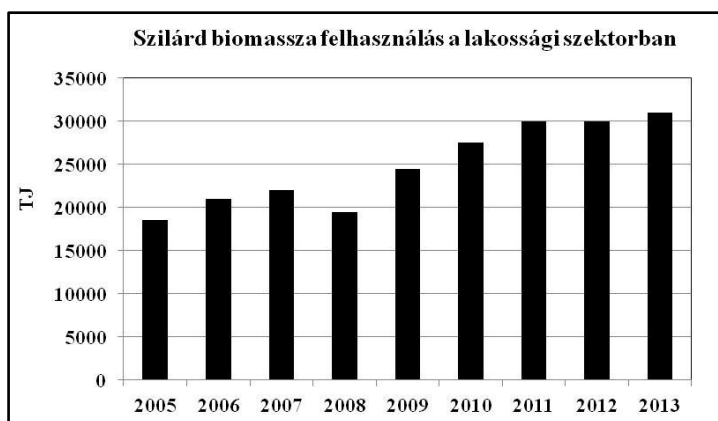
Bár a szennyezettség kialakulása komplex folyamatok és kibocsátások eredménye, a 2011-ben tapasztalt nagy szennyezettség okait kutatva három érdemel kiemelést. Egyrészt a lakossági tüzelésben tapasztalható változás. Mivel a vezetékes gáz ára a 2000-2010. közötti időszakban 32,50 Ft/m³-ről 115,0 Ft/m³-re emelkedett, a lakosság egy része szilárd tüzelőanyag (szén, fa, biomassza, egyéb) felhasználásra váltott. Az utóbbiak esetén a szilárd szennyezőanyag kibocsátás jelentős, ezzel a levegő porterheltsége számottevően nőtt.

A 80. ábra jól mutatja, hogy 2006-tól folyamatosan csökken a lakossági gázfelhasználás Magyarországon. A tendenciát egyedül a 2013-as év töri meg, ami az előző két évhez képest 8 %-os növekedést mutat, de a 2005-ös évhez viszonyítva ebben az évben is csökkent a felhasználás 30 %-kal.

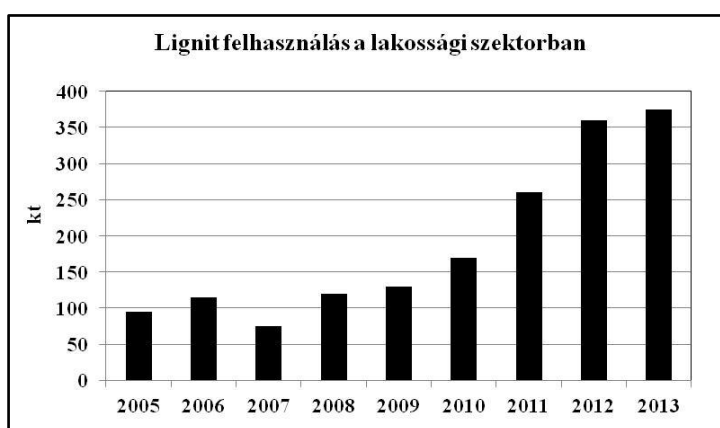


80.ábra. Egy háztartási fogyasztóra jutó havi átlagos vezetékgáz-felhasználás Magyarországon [109]

A 81. ábra szerint a lakossági szektorban felhasznált biomassza, a 82. ábra szerint pedig a lignit mennyisége országosan folyamatos növekedést mutat. Eszerint a lakossági gázfogyasztás csökkenésének másik oka a tüzelőanyag váltás.

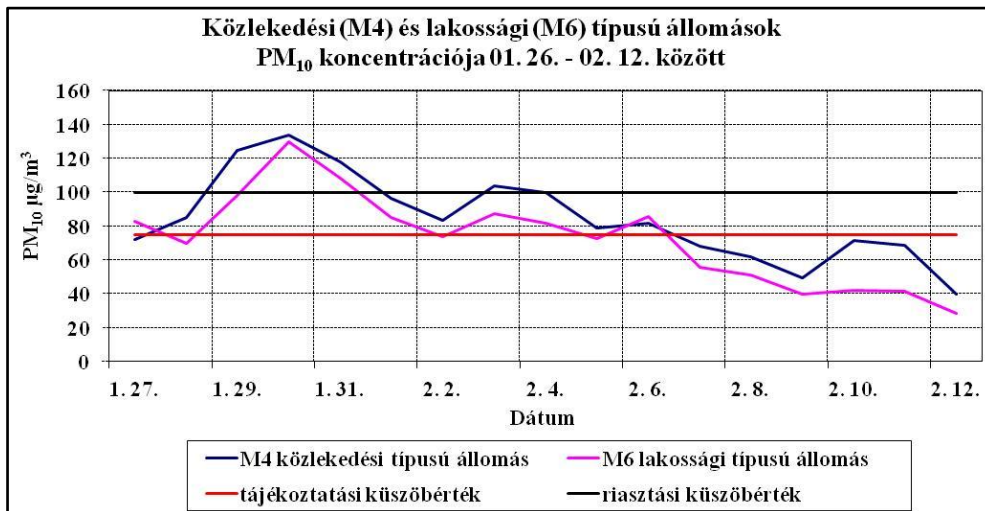


81.ábra. Biomassza felhasználás a lakossági szektorban 2005-2013. között Magyarországon [116]



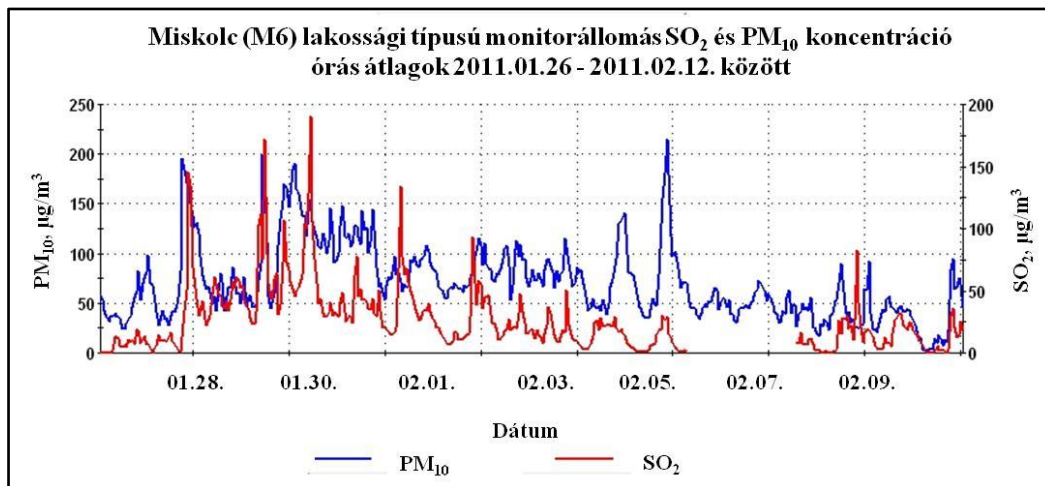
82.ábra. Lignit felhasználás a lakossági szektorban 2005-2013. között Magyarországon [116]

A 83. ábrán paralel diagram mutatja a miskolci, két különböző típusú mérőállomáson a szmoghelyzeti PM₁₀ koncentráció alakulását. Megállapítható, hogy a vizsgált szmoghelyzet idején, ~44 %-os szélcsendes időben, a közlekedési típusú mérőállomás (M4) koncentráció görbéje jellemzően magasabban fut, mint a lakossági jellegű (M6) állomásé.



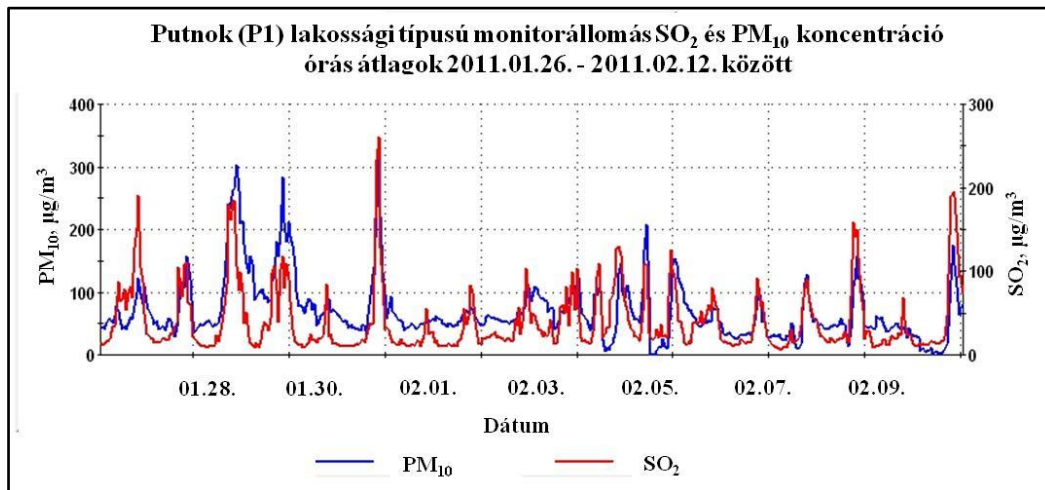
83.ábra. PM₁₀ koncentráció alakulása 2011. 01. 26. - 2011. 02. 12. között
Miskolcon a közlekedési típusú M4 és a lakossági típusú M6 mérőállomásokon [14]

Az SO₂ tipikusan tüzelési komponens, ezért a SO₂ és a PM₁₀ komponensek párhuzamos vizsgálatával a lakossági tüzelésből származó kibocsátásokat lehet alátámasztani. A 84. ábra a vizsgált szmoghelyzetben mutatja a SO₂ és a PM₁₀ komponensek együttes lefutását Miskolcon. Látható, hogy az első két PM₁₀ és a SO₂ csúcs fedi egymást, a továbbiakban viszont kissé eltolódnak, amit okozhat a közeli lakossági tüzelőberendezésből származó füstgáz pillanatnyi lecsapódása, ami kiugró értéként jelentkezik a negyedórás adatokban.



84.ábra. SO₂ és PM₁₀ órás átlagok alakulása 2011. 01. 26. - 2011. 02. 12. között
Miskolcon a lakossági típusú M6 mérőállomáson [14]

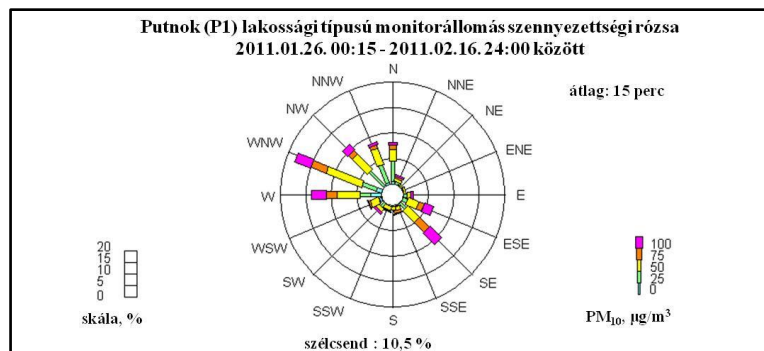
A putnoki állomáson az SO₂ és a PM₁₀ komponensek együttes lefutása, tekintve, hogy az állomás környezetében se forgalmas közút, se ipari kibocsátó forrás nincs, a lakossági kibocsátások hatását tükrözi. A 85. ábra a vizsgált szmoghelyzetben ábrázolja a putnoki állomáson a SO₂ és a PM₁₀ koncentráció trendjét.



85. ábra. SO₂ és PM₁₀ órás átlagok alakulása 2011. 01. 26. - 2011. 02. 12. között a lakossági típusú putnoki (P1) mérőállomáson [14]

A görbék egyértelműen mutatják a lakossági eredetet, a PM₁₀ és a SO₂ görbén a csúcsok együtt futnak, a csúcsok szinte teljesen fedik egymást.

A 86. ábrán bemutatott szennyezettségi rózsza elemzéséből megállapítható, hogy jellemzően észak-északnyugat és délkelet felől érkeznek a 75 µg/m³ feletti PM₁₀ koncentrációk, valamint a legnagyobb mennyiség is észak-északnyugati irányból származik. Ezeken kívül jelentős mennyiségű PM₁₀ frakciót regisztrált az állomás nyugati és északnyugati irányból is. Az említett területek a településen családi házas beépítettségűek, a legkritikusabb nyugat-északnyugati területen elszegényedett réteg lakik.



86. ábra. PM₁₀ Szennyezettségi rózsza 2011. 01. 26. - 2011. 02. 12. között a putnoki (P1) mérőállomáson [14]

A meteorológia elsődleges szerepet tölt be a szmoghelyzetek kialakulásában illetve lecsengésében, elsősorban az inverzió és a szélcsend befolyásolja a PM₁₀ terjedését. A szmogesemények bekövetkeztekor tett PM₁₀ csökkentési intézkedések nem hatékonyak. Fontos a szmogesemények előrejelzése.

A többváltozós adatelemző módszer (főkomponens elemzés) az m változót és n esetet tartalmazó $m \times n$ méretű mátrixot olyan mátrixok összegére bontja fel, amely mátrixok mindegyike egy oszlop és sormátrix szorzata. A monitor állomáson rendelkezésre álló adatok alapján végzett főkomponens elemzéssel a szmoghelyzetekben elsődleges komponensek

közül a szélesebbesség került az első főkomponensbe, míg a PM₁₀ „csak” a második főkomponensben jelenik meg [117].

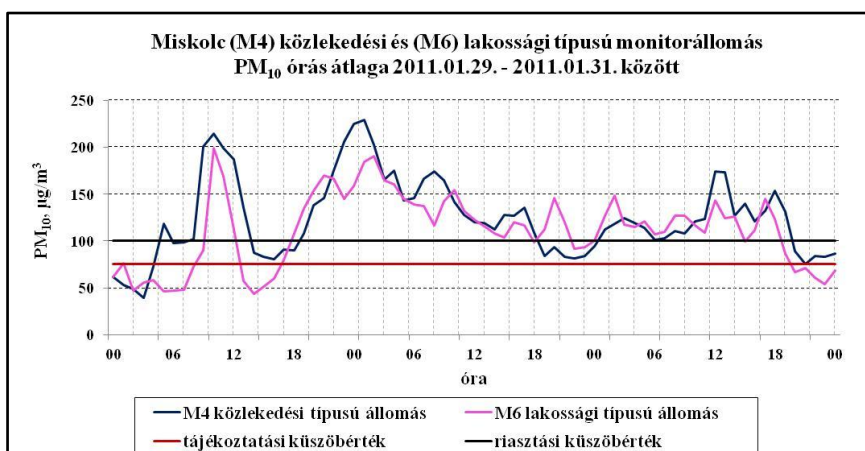
Az inverzió szintén befolyásolja a PM₁₀ koncentrációt. A 18. táblázat a Mátraszentimrén és Miskolcon regisztrált hőmérséklet minimumokat mutatja be 2011. 01. 26. és 2011. 02. 12. között.

18. táblázat. Napi minimumhőmérsékletek Mátraszentimrén és Miskolcon
2011. 01. 26. - 2011. 02. 12. között [14]

Dátum	Mátraszentimre	Miskolc	Különbség
	T _{min}		
2011. 1. 26.	-8,4	-4,7	3,7
2011. 1. 27.	-6,6	-6,4	0,2
2011. 1. 28.	-6,7	-9,1	-2,4
2011. 1. 29.	-7,5	-10,2	-2,7
2011. 1. 30.	-7,1	-12,6	-5,5
2011. 1. 31.	-7,4	-12,5	-5,1
2011. 2. 1.	-11,2	-8,8	6,8
2011. 2. 2.	-13	-7,6	3,9
2011. 2. 3.	-8,6	-6,7	3,4
2011. 2. 4.	-8,6	-4,7	5,4
2011. 2. 5.	-3	-1,3	5,5
2011. 2. 6.	1,3	-2,4	3,5
2011. 2. 7.	3,4	-2,5	6,4
2011. 2. 8.	1,6	-2,4	6,8
2011. 2. 9.	-1,6	-4,8	5,8
2011. 2. 10.	-3,1	-5,3	4,5
2011. 2. 11.	-3,4	-3,5	7,6
2011. 2. 12.	-4,6	-2,5	8,6

A pirossal kiemelt értékek azokat a napokat jelölik, amikor Mátraszentimrén, - annak ellenére, hogy a település tengerszint feletti magassága (~ 800 m) jóval nagyobb, mint Miskolc (~ 130 m) - nagyobb volt a minimum hőmérséklet, mint Miskolcon. Ezen inverziós időszakban regisztrálta mindkét miskolci monitorállomás a legnagyobb PM₁₀ napi átlagokat.

A napi koncentráció trendek lefutásából is következtetni lehet a PM₁₀ eredetére. A 87. ábra az órák PM₁₀ koncentrációk változását mutatja a napszak függvényében.



87.ábra. PM₁₀ órák átlagok alakulása 2011. 01. 29. - 2011. 01. 31. között
Miskolcon a közlekedési típusú M4 és a lakossági típusú M6 mérőállomáson [14]

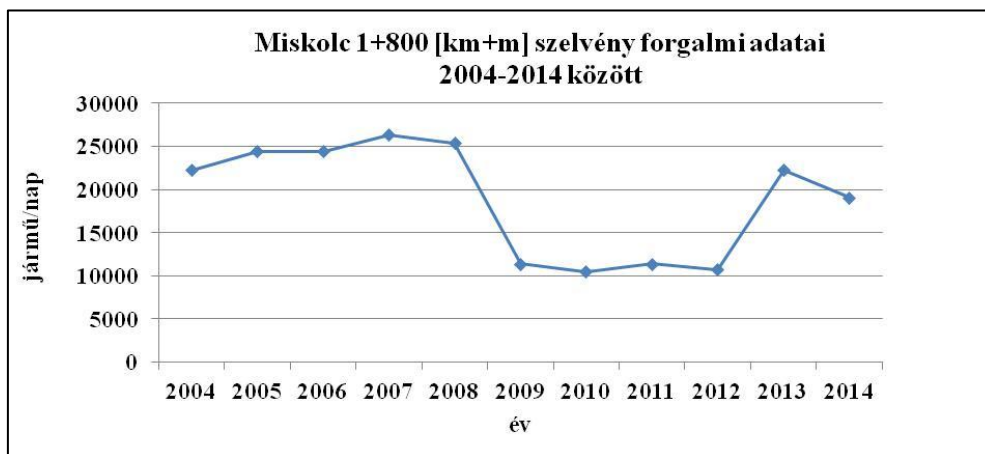
A reggeli és késő délutáni csúcsok elsősorban a lakossági fűtés miatt alakulnak ki, amit jól szemléltetnek a diagramon 01. 29-én megjelenő csúcsok. Forgalomszámlálási adatokkal kiegészítve pontosítható a forráskutatás, mivel a forgalmi adatok napi eloszlása és a fajlagos kibocsátási adatok alapján a közlekedési kibocsátás tendenciája nyomon követhető.

A Búza téri monitor állomás közelében található forgalomszámlálási pont helyét szemlélteti a 88. ábra mutatja be.



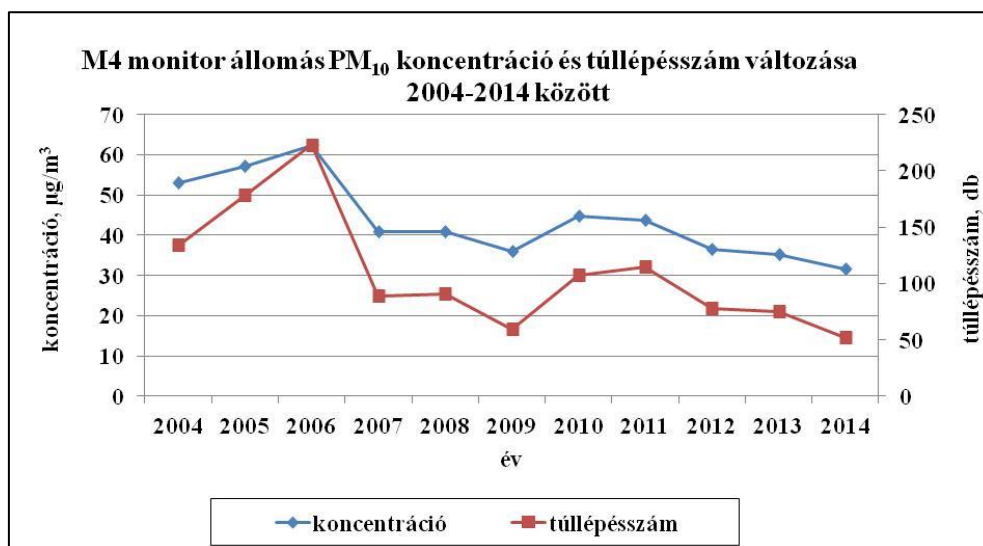
88.ábra. Miskolc 1+800 [km+m] szelvény elhelyezkedése [118]

A 89. ábra az állomás mérési adatai szempontjából meghatározó 26-os főútra (1+800 [km+m] szelvény) rendelkezésre álló forgalomszámlálási adatokat, a 90. ábra pedig a Búza téri állomás PM₁₀ éves átlagkoncentrációjának és éves túllépésszámának alakulását ábrázolja.



89.ábra. Miskolc 1+800 [km+m] szelvény forgalmi adatai 2004-2014 között [119]

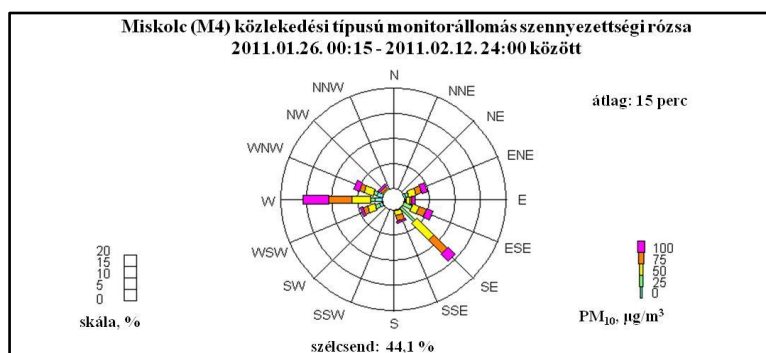
Jól látható, hogy 2008-ban a vizsgált szelvényen áthaladó forgalom kevesebb, mint a felére csökkent, majd 2013-ban megduplázódott, 2014-ben pedig kismértékben csökkent. Mindezekkel szemben viszont 2009-től vizsgálva (a Macropolis építési idejét figyelmen kívül hagyva) sem a PM₁₀ túllépésszám, sem pedig az éves PM₁₀ átlagkoncentráció nem követi ezt a tendenciát.



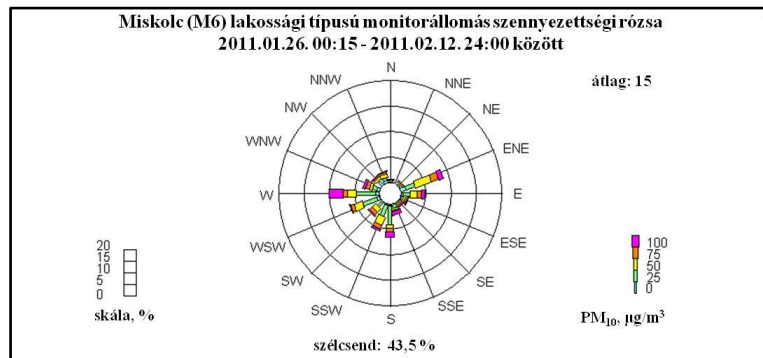
90. ábra. PM₁₀ koncentráció és túllépésszám a miskolci közlekedési típusú M4 monitor állomáson 2004-2014 között

Ha megvizsgáljuk a szennyezettségi rózsát, ami megmutatja, hogy az egyes szélirányokból milyen koncentrációjú PM₁₀ komponens érkezett és a milyen mennyiségben, akkor a helyszínen ismeretében következtethetünk a PM₁₀ eredetére. A 91. és a 92. ábra az M4 és az M6 állomások szennyezettségi rózsáit mutatja a szmoghelyzeti időintervallumban, vagyis 2011. 01. 26. – 2011. 02. 12. között.

A Búza téri állomás forgalmas közlekedési csomópontban található, az állomáson mért adatok elsősorban a közlekedési típusú kibocsátások hatását rögzítik. A 91. ábráról leolvasható, hogy a vizsgált időszakban a szennyezés túlnyomó többsége, ezen belül a legnagyobb PM₁₀ koncentrációk nyugat felől érkeztek, ahonnan a Bükk hegység felől érkező légáramlatok szállítják a családi házas környezetben és a Hámor völgyben felgyülemlett tüzelési eredetű szennyezőanyagokat. Emellett délkeleti irányából az állomás közelében benzinkút, távolsági autóbusz pályaudvar és a 3. számú főközlekedési út városon átmenő szakaszának csomópontja található.



91. ábra. Szennyezettségi rózsza 2011. 01. 26. - 2011. 02. 12. között a miskolci közlekedési típusú M4 mérőállomáson [14]

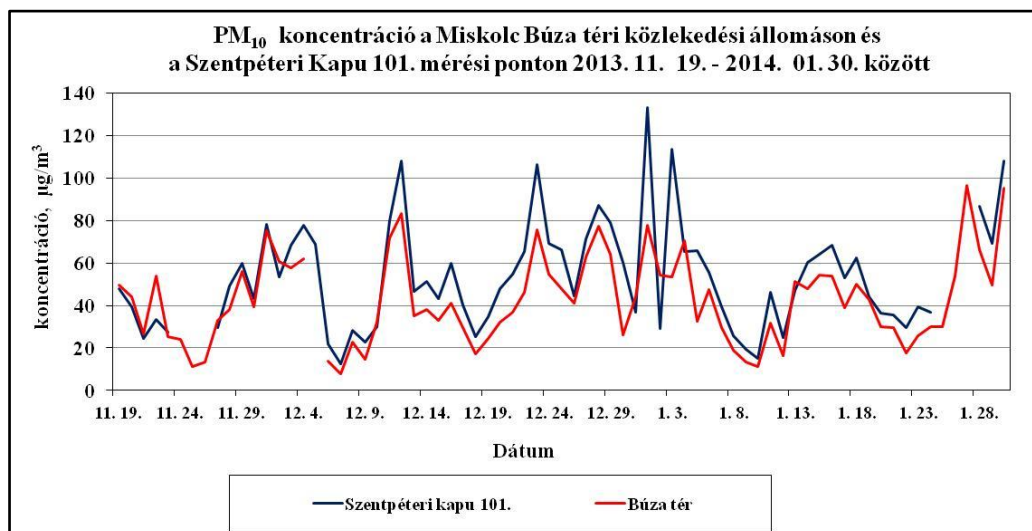


92.ábra. Szennyezettségi rózsája 2011. 01. 26. - 2011. 02. 12. között
a miskolci lakossági típusú M6 mérőállomáson [14]

A közlekedés hatásának további vizsgálatára a környezetvédelmi felügyelőség segítségével célzott vizsgálatot végeztem a miskolci önkormányzattal egyeztetve annak érdekében, hogy meghatározzam a Miskolc, Szentpéteri kapui terület szilárd részecske szennyezettségét ill. megvizsgáljam, hogy a 26-os út forgalma által okozott PM₁₀ koncentráció mennyire különbözik a Búza téri monitor állomás által regisztrált értékektől. A vizsgálat érdekében nagytérfogataramú PM₁₀ pormintavevőt helyezett ki a felügyelőség a Szentpéteri kapu 101. Őszi Napsugár Otthon udvarára, ahol a 2013. 11. 19. - 2014. 01. 30. közötti időszakban a szilárd részecske PM₁₀ frakció koncentrációjának folyamatos mérésére.

Az eredményeket a 93. ábra mutatja be.

A diagramról megállapítható, hogy a Búza téren regisztrált koncentráció rendszerint kisebb a Szentpéteri kapuban telepített mérési pontban mértnél, amiből arra lehet következtetni, hogy a terület átszellőzése rosszabb, mint a Búza téri területé. A Szentpéteri kapuban vizsgált szakasz közelében jelentős kibocsátó forrás a vizsgált időszakban nem üzemelt, a mérési adatok a közlekedési kibocsátásokra jellemzők. (Megjegyzés: korábban a BÉM Zrt. szinterező üzemének kibocsátása befolyásolta a környék levegőminőségét).



93.ábra. PM₁₀ koncentráció változás 2013. 11. 19. – 2014. 01. 30. között
a közlekedési típusú M4 monitor állomáson és a Szentpéteri kapui mérési ponton

A Lavotta úti állomás (M6) környezete családi házas terület, ezért az állomáson regisztrált adatok elsősorban a lakossági tüzelésre jellemzőek. A szennyezettségi rózsán (92. ábra) látható, hogy változó szélirány mellett, 43,5 %-os szélcsendes időszakban a szennyezés jellemzően nyugat és észak-északnyugat irányából érkezik, de a dél és nyugat-délnyugat irányból érkező PM₁₀ koncentráció is számottevő.

Az adatok további elemzéséhez meg kell vizsgálni a szélsébség hatását is, ami az ismertett szmoghelyzeti időszak ~56 %-ában nagyobb volt, mint 0,1 m/s, vagyis nem volt teljes szélcsend, ezért a regisztrált adatok nemcsak az állomás környezetére jellemzőek, tehát a nagyobb távolságban lejátszódó epizódok is befolyásolhatták a levegőminőséget.

8 AZ ELÉRT EREDMÉNYEK HASZNOSÍTÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI

Értekezésem fő feladata a nagyvárosi légszennyezés PM₁₀ komponensének forráshozzárendelése mérési adatokra alapozott statisztikai elemzés segítségével. Az elemzést a Sajó völgye légszennyezettségi zónára végeztem el. A zóna kritikus légszennyező komponense a szilárd részecske PM₁₀ frakciója, melyre vonatkozóan a jogszabályban meghatározott napi határérték nem teljesül. A túllépés miatt az Európai Unió jogsértési eljárást indított Magyarország ellen. Az eljárás következménye jelentős bírság lehet, éppen ezért az országnak minden intézkedést meg kell tennie a PM₁₀ koncentráció csökkentése érdekében. Ehhez nyújtanak segítséget a disszertációmban bemutatott hosszú távú és rövid távú adatsorok kiértékeléséből származó eredmények és a levont következtetések.

Az Észak-magyarországi régióban korábban nem készültek részletes elemzések a forrásazonosításra. Az értekezésemben feltárt összefüggések alapján hathatósabb intézkedések tehetők a PM₁₀ koncentráció csökkentésére. A nagy regionális háttérkoncentráció miatt a korábbi gyakorlattal ellentétben a nem fűtési félévben is csökkenteni kell a szilárd részecske PM₁₀ frakciójának koncentrációját.

Az elvégzett külön méréssorozat eredményeit a környezetvédelmi hatóság alkalmazni tudja a Miskolcon jelenleg folyó úthálózat fejlesztési projekt levegőtisztaság-védelmi szempontú értékelésében. Mivel a jelenleg hatályos levegő védelméről szóló Kormányrendelet értelmében "amennyiben a levegőterheltség a tervezett helyhez kötött légszennyező forrás hatásterületén az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat (a továbbiakban: OLM) regionális adatai alapján nem haladja meg az egészségügyi határértéket, a helyhez kötött légszennyező forrás létesítésére irányuló engedélyezési eljárásban a levegővédelmi követelményeket úgy szükséges meghatározni, hogy annak várható levegőterhelése ne eredményezze az egészségügyi határértékek túllépését". (306/2011 (XII. 23.) Korm. rendelet 7. § (1)).

A miskolci közlekedési típusú M4 (Miskolc, Búza tér) és a lakossági típusú M6 (Miskolc, Lavotta u.) állomások PM₁₀ és SO₂ koncentráció változását bemutató paralel diagramjaiból levont következtetések Miskolc város önkormányzatának adnak iránymutatást arra vonatkozóan, hogy a PM₁₀ koncentráció csökkentése érdekében elsősorban a lakossági tüzelésnél kell beavatkozni, a közlekedés korlátozása a prioritási sorban csak másodlagos.

Vizsgálataim igazolták, hogy a korábbi jogalkotáskor alkalmazott elmélettel ellentétben szükség van a lakossági tüzelésből származó emisszió szabályozására. Jelenleg az un. kis-tüzelőberendezések (P<140 kW) emissziójára vonatkozóan Magyarországon nincs hatályos jogszabály, ellentétben Németországgal, ahol 2010 januárjában éppen a PM₁₀ emisszió csökkentése érdekében alkották meg (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen vom 26.) illetve Ausztriával, ahol tartományonként eltérő a szabályozás. A lakossági tüzelés előtérbe kerülését igazoló vizsgálatokra alapozva ezért annak megalkotása fontos feladat.

9 ÖSSZEFOGLALÁS

A CAFE (Clean Air For Europe) program célja a levegőminőség megfelelő szintjének biztosítása az EU tagállamokban. A szabályozásban szereplő határértékek és célértékek betartása érdekében intézkedési tervek biztosítják a főbb légszennyezőanyagok környezeti levegőben lévő koncentrációjának csökkentését. A hatékony tervek kidolgozásának alapvető feltétele a kibocsátó források pontos meghatározása. Kiemelt prioritással rendelkezik a PM₁₀ szennyezettség csökkentését célzó intézkedési programok kialakítása.

Az Európai Bizottság a PM₁₀ határértékek túllépése miatt 2008-ban indított jogsértési eljárást Magyarországgal szemben, többek között a Sajó völgye zóna PM₁₀-re vonatkozó határérték túllépése miatt. Az eljárás következménye jelentős bírság lehet, éppen ezért az országnak minden intézkedést meg kell tennie a PM₁₀ koncentráció csökkentése érdekében.

Doktori disszertációmban a rendelkezésemre álló 11 éves légszennyezettségi adatsor elemzése alapján megállapítottam, hogy a PM₁₀ koncentráció csökkentése érdekében a szükséges beavatkozásokat nem elég csak a túllépési helyzetek kezelésekor megtenni. A nem fűtési időszakokban ugyanis olyan nagy a PM₁₀ átlagkoncentráció, amihez hozzáadva a lakossági kibocsátás okozta téli fűtésből eredő többletkoncentrációt, a határérték túllépés bizonyosan bekövetkezik.

Azt is megállapítottam, hogy 2014-ben valamennyi városi állomás megelőzi a közlekedési típusút, továbbá 2011-től minden évben a putnoki állomáson a legnagyobb a túllépések száma. A PM₁₀ napi határérték betartása érdekében tehát elsősorban a lakossági kibocsátások csökkentése a feladat, ezért be kell vezetni a kistüzelő berendezések kibocsátását szabályzó jogszabályokat.

Jól szemléltetik a lakossági kibocsátás előtérbe kerülését a miskolci közlekedési típusú M4 és a lakossági típusú M6 állomások PM₁₀ és SO₂ koncentráció változását bemutató paralel diagramjai. Inverziós időszakban a lakossági típusú állomás PM₁₀ értékei a közlekedési felett futnak. A napi lefutás vizsgálata révén egyértelműen kimutatható, hogy az esti időszakban jelentősen megnő a PM₁₀ koncentráció a lakossági típusú állomásokon. Az SO₂ görbe - mint tipikus tüzelési komponens – lefutása szintén igazolja a lakossági kibocsátások előtérbe kerülését. Alátámasztja ezt az állítást az a tény is, hogy a vizsgált területen üzemelő monitor állomások közvetlen közelében nincsenek ipari SO₂ kibocsátó források.

10 SUMMARY

The aim of CAFE (Clean Air for Europe) Program is to ensure proper level of air quality in all Member States of the European Union. To comply with limit and target values of relevant regulation air quality plans and programs ensure the decrease of concentration of major air pollutants in ambient air. For the establishment of effective plans the exact determination of major sources is inevitable. Plans aiming the reduction of particulate matter (PM₁₀) have high priority.

Proceedings of infringement of rights were initiated against Hungary by the European Commission in 2008 as a result of the exceedance of PM₁₀ limit values in the zone of the Sajó valley among other areas. This procedure can result in a significant fine, which is why the country must take every step available to reduce the PM₁₀ concentration.

Based on the analysis of 11 years of air quality data I came to the conclusion in my doctoral thesis that in order to reduce PM₁₀ concentration, necessary interventions should not only be made when handling situations of exceedance. Coupled with residential emissions caused by the excess concentration resulting from winter heating, PM₁₀ concentration is so high in non-heating periods that the exceedance of limits is certain to occur.

I also state that in 2014 all the urban stations surpassed traffic ones and from 2011 every year the urban station in Putnok station registered the highest number of exceedances. Thus, in order to keep PM₁₀ daily emission within limits the primary task is to reduce household emissions. New legislation governing the issue of small combustion plants must be introduced.

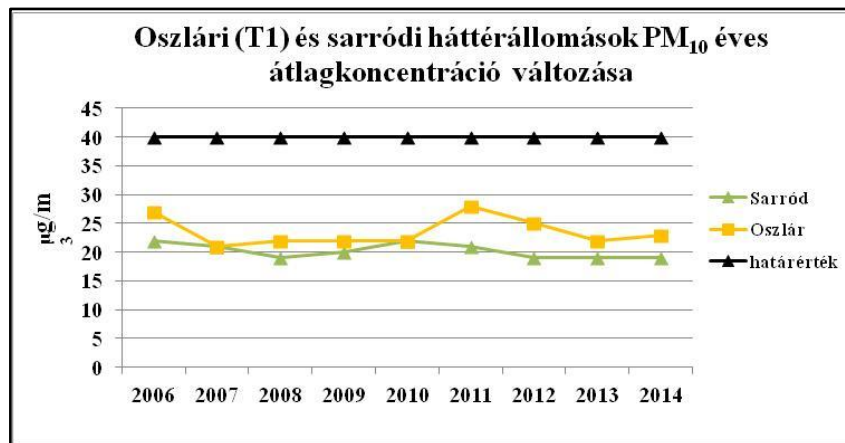
The growing importance of residential emission is clearly illustrated by the parallel graphs showing the changes of concentration of PM₁₀ and SO₂ levels in Miskolc at the traffic station M4 and urban station M6. During inverse periods, stations registering household emission show higher levels than traffic ones. If we look at the daily developments, it is clearly demonstrated that the concentration of PM₁₀ at residential stations significantly increases in the evening. The curve showing the levels of SO₂ – as a typical combustion component - also demonstrates the increasing prominence of household emission. This claim is further supported by the fact that there are no industrial sources of SO₂ emission operating in close proximity to the monitoring stations in the study area.

11 ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A PM₁₀, SO₂ légszennyező komponensek és a hőmérséklet több éves lefutásának kiértékelésével, valamint egy adott szmoghelyzetben a részletes komponens elemzések alapján megállapítottam, hogy az utóbbi években a városi típusú mérőállomások PM₁₀ koncentrációja dominál a közlekedési típusú állomásokon regisztrált PM₁₀ koncentrációval szemben. Az Észak-magyarországi régió légszennyezettségi zónájában a közlekedési típusú állomáson a fűtési félév átlagos PM₁₀ többletkoncentrációja alig több mint kétszerese a nem fűtési félévben regisztrált értékek átlagának, míg ez az arány városi állomásoknál 5-8-szoros.

A PM₁₀ napi határérték túllépések számának csökkentése érdekében a beavatkozást elsősorban a lakossági kibocsátások mérséklésére kell koncentrálni.

2. Az adatok elemzése során a vizsgált régióban meghatározott PM₁₀ háttérszennyezettséget (23,6 µg/m³) az országos PM₁₀ háttérkoncentrációval összevetve, megállapítottam, hogy az Észak-magyarországi régió légszennyezettségi zónájában a PM₁₀ háttérkoncentráció a 2006-2014 közötti időszakban nagyobb az országos átlagnál.



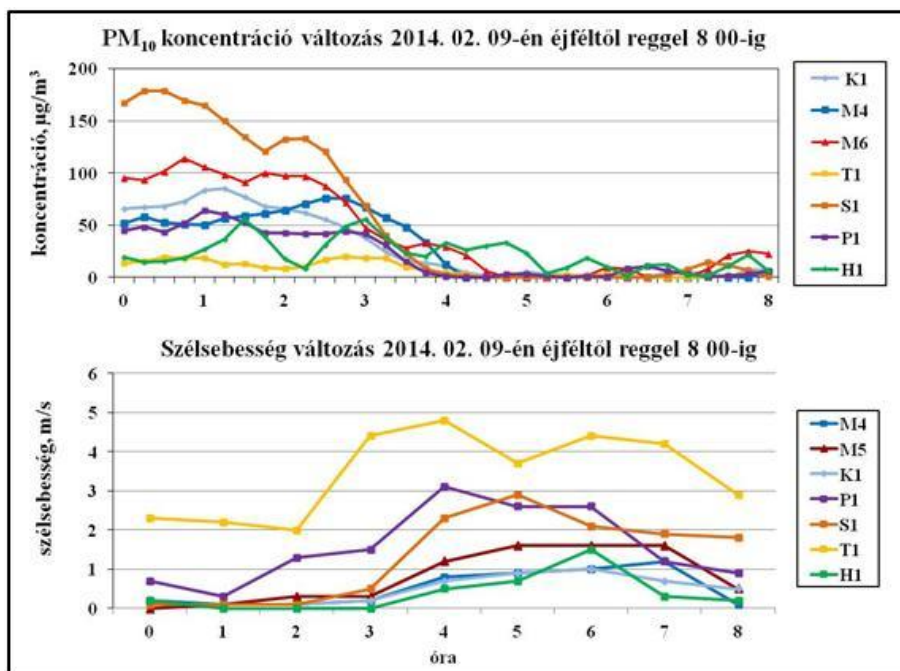
3. Meghatároztam a vizsgált összes mérőállomás éves PM₁₀ átlagkoncentrációi (x) és a túllépésszámok (y) közötti összefüggést leíró egyenesek egyenleteit 2004 - 2014 között. Behelyettesítve a PM₁₀ komponensre megengedett éves 35 db. túllépésszámot, kiszámítottam a hozzá tartozó koncentráció értéket (27,5 µg/m³), melyet az Észak-magyarországi régióban csak a háttér típusú állomások tudják teljesíteni.

Kiszámítottam, hogy az éves átlagkoncentráció 1 µg/m³-es növekedéséhez átlagban 5 túllépéses nap járul hozzá.

A 35 db. túllépésszámhoz tartozó koncentráció érték és a háttérszennyezettség különbsége adja a terhelhetőséget, ami a vizsgált időszakban 3,9 µg/m³, tehát a Sajó völgyében már 20 túllépéses nap után várható az éves határérték túllépése.

4. A szélesebbesség befolyásolja a legnagyobb mértékben a PM₁₀ koncentrációt. A monitor állomáson rendelkezésre álló adatok alapján végzett főkomponens elemzéssel a szmoghelyzetekben elsődleges komponensek közül a szélesebbesség került az első főkomponensbe, míg a PM₁₀ „csak” a második főkomponensben jelenik meg.

A szélesebbesség elsődleges szerepét igazolja a szmoghelyzet lecsengésének vizsgálata, ahol a PM₁₀ koncentráció 1 óra leforgása alatt a riasztási színtről minimális értékre csökkent.



12 IRODALOM

12.1 Szakirodalom

- [1] European Environment Agency: AirBase - The European air quality database
<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/airbase-the-european-air-quality-database-7>
- [2] Európai Környezetvédelmi Ügynökség: Légszennyezés
<http://www.eea.europa.eu/hu/themes/air/intro>
- [3] Cristina Guerreiro, Frank de Leeuw, Valentin Foltescu: Air quality in Europe — 2013 report (No 9/2013), European Environment Agency, 2013.
- [4] Englert N.: Fine particles and human health—a review of epidemiological studies, Toxicology Letters, 2004. 149. sz. p. 235-242
- [5] Forbes L, Patel MD, Rudnicka AR, Cook DG, Bush T, Stedman JR, Strachan DP, Anderson HR: Chronic exposure to outdoor air pollution and diagnosed cardiovascular disease: meta-analysis of three large cross-sectional surveys, Environmental Health, 2009. 8. sz.
- [6] Pope CA, Ezzati M, Dockery DW: Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States. New England Journal of Medicine, 2009. 360. sz. p. 376-386
- [7] Zanobetti A, Schwartz J.: The effect of particulate air pollution on emergency admissions for myocardial infarction: a multicity case-crossover analysis. Environmental Health Perspectives, 2005. 113. sz. p. 978-982
- [8] Bobvos János, Szalkai Márta, Fazekas Balázs, Páldy Anna: A szálló por szennyezettség egészségkárosító hatásának becslése néhány hazai városban, Egészségtudomány, LVIII. évfolyam, 2014. 3. sz. p. 1-16
- [9] OECD Environmental Outlook to 2050, The Consequences of Inaction
<http://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/healthenvchapter-environmentaloutlookto2050.htm>
- [10] EUR-Lex Access to European Union law
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX:52013DC0918>
- [11] European Commission: Infringements of EU law
http://ec.europa.eu/eu_law/infringements/infringements_en.htm
- [12] 2008/50/EK irányelv a környezeti levegő minőségéről és a Tisztább levegőt Európának elnevezésű programról
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0050&qid=1451412819999&from=HU>
- [13] Beszámoló jelentés az 1330/2011. (X. 12.) Korm. határozattal elfogadott Kisméretű Szálló Por (PM₁₀ részecske) Csökkentés Ágazatközi Intézkedési Programjáról 2015
http://pm10.kormany.hu/download/f/24/41000/PM10_Besz%C3%A1mol%C3%B3_2015.pdf
- [14] Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat
<http://www.levegominoseg.hu/>
- [15] Brian Donegan: Fort McMurray, Canada, Wildfire Smoke Blows Into Europe, 2016. május 24.
<https://weather.com/science/environment/news/fort-mcmurray-wildfire-smoke-travels-europe>
- [16] Makra László: Környezeti klimatológia, Szegedi Tudományegyetem, 2000

-
- [17] Gelencsér, András Molnár, Ágnes, Imre Kornélia: Levegőkörnyezet és az emberi tevékenység
http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0012_levegokornyezet/index.html
- [18] World Health Organization, Database: outdoor air pollution in cities
http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/cities/en/
- [19] Salma Imre: Környezetkémia, Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar, 2012.
- [20] Dr. Varga Judit: A légszennyező anyagok kibocsátásának hazai alakulása a nemzetközi egyezmények szabta célok tükrében, Vidékfejlesztési Minisztérium, Levegős Szakmai Tanácskozás, 2013. január 21.
- [21] Sárváry Attila: Környezetegészségtan, Debreceni Egyetem, 2011.
- [22] Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium: 25 éves a légszennyezés mérséklésére irányuló nemzetközi egyezmény
<http://www.kvvm.gov.hu/index.php?pid=9&sid=47&hid=705>
- [23] Filep Ágnes: Aeroszolkok abszorpciós Angströmxponensének és méreteloszlásának mérése – a forrásazonosítás lehetőségeinek vizsgálata, PHD értekezés Környezettudományi Doktori Iskola, Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék, Szegedi Tudományegyetem, Természettudományi és Informatikai Kar, 2012.
- [24] iMA Richter & Röckle GmbH & Co.KG, IUTA e.V.: Ermittlung von Emissionsfaktoren für die Lagerung und den Umschlag von Kohle: Braunkohle, Institut für Energieund Umwelttechnik e.V. 2011.
- [25] Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK: Feinstaub Fragen und Antworten zu Eigenschaften, Emissionen, Immissionen, Auswirkungen und Massnahmen, Bundesamt für Umwelt BAFU Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien, 2013 január
- [26] Jürgen Müller: PM-Quellenidentifizierung mittels Impaktormessungen, Umweltbundesamt, Berlin (Workshop PM_x-Quellenidentifizierung Ergebnisse als Grundlage für Maßnahmenpläne), 2004.
- [27] Muránszky Gábor: Városi aeroszol PM₁₀ frakciójának kémiai jellemzése, Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi kar Kémiai Intézet, Budapest, 2011
- [28] D. Owen Harrop: Air quality assessment and management. A practical guide, Clay's Library of Health and the Environment, 2002.
- [29] Gunter Löschau, Alfred Wiedensohler, Wolfram Birmili, Fabian Rasch, Gerald Spindler, Konrad Müller, Uwe Wolf, Andrea Hausmann, Hartmut Herrman.: Umweltzone Leipzig Teil 1: Ausgangsbeurteilung, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), 2012.
<http://www.smul.sachsen.de/lfulg/6447.htm>
- [30] Dr. Salma Imre: Környezeti kémia és környezetvédelem, ELTE egyetemi jegyzet, 2002.
- [31] Balogh K. at al.: Balogh K., Csige I., Dezső Z., Kiss Á. Z., Koltay E., Kovách Á., Rajta I., Svingor É.: Fejezetek a környezetfizikából. Debreceni Egyetem Kossuth Egyetem Kiadó, 2003.
- [32] NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC): PM 2.5 Grids from MODIS, MISR and SeaWiFS, 2010-2012
<http://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/sdei-global-annual-avg-pm2-5-modis-misr-seawifs-aod-1998-2012>
- [33] TIME, The 10 Most Air-Polluted Cities in the World
<http://science.time.com/2011/09/27/the-10-most-air-polluted-cities-in-the-world/#ixzz2WbX2KDGS>
-

- [34] Umweltbundesamt für Mensch und Umwelt: HINTERGRUND Jahr der Luft 2013 - Monatsbeitrag April, Feinstaub in Megacities – Ein Thema mit essentieller Bedeutung für Millionen Menschen, 2013.
- [35] Tages Anzeiger, In diesen Städten stinkt es zum Himmel
<http://www.tagesanzeiger.ch/wissen/natur/In-diesen-Staedten-stinkt-es-zum-Himmel/story/12851946>
- [36] Frederic Spohr: Indiens schwarze Luft, Zeit Online, 2013.
<http://www.zeit.de/wirtschaft/2013-02/luftverschmutzung-indien-chandrapur>
- [37] MTI: MTI: Közlekedési szigorítás Észak-Olaszországban a légszennyezés miatt, 2002. január 21.
- [38] Istat: Air quality in European cities 2004-2008, 2010.
- [39] MTI: Kína százmilliárdokat költ a tiszta levegőre, 2012.
http://index.hu/tudomany/2012/12/07/kina_szazmilliardokat_kolt_a_tiszta_levegore/
- [40] HÍR 24: Uj-fegyverek-a-gyilkos-szmog-ellen, 2013.
- [41] Guangjin Tia, Zhi Qiao, Xinliang Xu: Characteristics of particulate matter (PM₁₀) and its relationship with meteorological factors during 2001–2012 in Beijing, Environmental Pollution, 2014. 192. sz. p. 266-274
- [42] G. Kiesewetter, J. Borken-Kleefeld, W. Schöpp, C. Heyes, P. Thunis, B. Bessagnet, E. Terrenoire, H. Fagerli, A. Nyiri, M. Amann: Modelling street level PM₁₀ concentrations across Europe: source apportionment and possible futures, Atmospheric Chemistry and Physics, 2015. 15. sz. p. 1539-1553
- [43] Marloes Eeftens, Ming-Yi Tsai, Christophe Ampe, Bernhard Anwander, Rob Beelen.: Spatial variation of PM_{2.5}, PM₁₀, PM_{2.5} absorbance and PM_{coarse} concentrations between and within 20 European study areas and the relationship with NO₂ Results of the ESCAPE project, Atmospheric Environment 2012. 62. sz. p. 303-317
- [44] European Environment Agency: Air pollution fact sheet 2014 Netherlands
<http://www.eea.europa.eu/themes/air/air-pollution-country-fact-sheets/netherlands-air-pollutant-emissions-country-factsheet/view>
- [45] European Environment Agency: Air pollution fact sheet 2013 Italy
<http://www.eea.europa.eu/themes/air/air-pollution-country-fact-sheets/italy-air-pollutant-emissions-country-factsheet/view>
- [46] European Environment Agency: Air pollution fact sheet 2013 Slovakia
<http://www.eea.europa.eu/themes/air/air-pollution-country-fact-sheets/slovakia-air-pollutant-emissions-country-factsheet/view>
- [47] European Environment Agency: Air pollution fact sheet 2013 Czech Republic
<http://www.eea.europa.eu/themes/air/air-pollution-country-fact-sheets/czech-republic-air-pollutant-emissions/view>
- [48] European Environment Agency: Air pollution fact sheet 2013 Spain
<http://www.eea.europa.eu/themes/air/air-pollution-country-fact-sheets/spain-air-pollutant-emissions-country-factsheet/view>
- [49] European Environment Agency: Air pollution fact sheet 2014 France
<http://www.eea.europa.eu/themes/air/air-pollution-country-fact-sheets/france-air-pollutant-emissions-country-factsheet/view>
- [50] Arinto Yudi Ponco Wardoyo: Biomass Burning: Particle Emissions, Characteristics and airborne measurements, Queensland University of Technology School of Physical Chemical Sciences, 2007.
- [51] Dr.-Ing. Christof Asbach, Prof. Dr. Urs Baltensperger, Prof. Dr. Peter Bruckmann, Prof. Dr. Peter J. H. Builtjes, Dr. Viviane Després, Volker Diegmann, Prof. Dr. Elke Dopp: Feinstaub, GDCh-/ KRdL-/ ProcessNet-Gemeinschaftsausschuss „Feinstäube“, 2010.

-
- [52] United Nations: Economic Commission for Europe Executive Body for the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution
<https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2013/air/eb/ECE.EB.AIR.114.ENG.pdf>
- [53] European Environmental Agency: 36th highest 24-hour mean PM₁₀ concentration observed at urban background stations, 2001-2010 (EU-27)
<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/36th-highest-24-hour-pm10-concentration-averaged-through-available-urban-background-stations-eea-member-countries-1>
- [54] European Environment Agency: Air quality in Europe — 2012 report, EEA Report No 4/2012. p. 1725-9177
- [55] Európai Bizottság: A Bizottság közleménye az Európai Parlamentnek, a Tanácsnak, az Európai Gazdasági és Szociális Bizottságának és a Régiók Bizottságának, Együtt a versenyképes és erőforrás-hatékony városi mobilitás felé, 2013.
- [56] Európai Községek Bizottsága: A Bizottság közleménye a környezeti levegő minőségéről és a Tisztább levegőt Európának elnevezésű programról szóló 2008/50/EK irányelv 22. cikkének megfelelően a megfelelési határidők meghosszabbításáról és a bizonyos határértékek alkalmazásának kötelezettsége alóli mentességről szóló értesítésekről, Európai Községek Bizottsága, 2008.
- [57] KvVM: Hazánk környezeti állapota 2010.
http://www.kvvm.hu/cimg/documents/HAZANK_KORNYEZETI_ALLAPOTA_2010.pdf
- [58] Nemzeti Környezetügyi Intézet: Magyarország környezeti állapota, 2013.
- [59] European Environment Agency: Air pollution fact sheet 2013 Hungary, 2013.
- [60] H. A. C. Denier van der Gon, R. Bergström, C. Fountoukis, C. Johansson, S. N. Pandis, D. Simpson, and A. J. H. Visschedijk: Particulate emissions from residential wood combustion in Europe – revised estimates and an evaluation, Atmospheric Chemistry and Physics, 2015. 15. sz. p. 6503-6519
- [61] Levegő Munkacsoport: Légszennyezés
<http://www.levego.hu/tevekenysegeink/legszennezes>
- [62] dr. Várkonyi Tibor, Bozó László, dr. Szilávik János, Vaskövi Béláné dr., Váraljai Irén: A levegőminőség alakulása Magyarországon az 1990-2003 közötti időszakban, KvVM 2005.
- [63] LRK Adatközpont: Országos Meteorológiai Szolgálat 2011. évi összesítő értékelés hazánk levegőminőségéről az automata mérőhálózat adatai alapján
http://www.levegominoseg.hu/Media/Default/Ertekeles/docs/2011_automata_ertekeles.pdf
- [64] Puskás Mónika, OMSZ Éghajlati és Levegőkörnyezeti Főosztály Levegőtisztaság-védelmi referencia Központ: A hazai levegőminőség alakulása 2012-ben, Balatonőszöd, 2013. 06. 04.
- [65] Országos Meteorológiai Szolgálat
<http://www.met.hu>
- [66] 1330/2011. (X. 12.) Korm. határozat a kisméretű szálló por (PM₁₀) csökkentés ágazatközi intézkedési programjáról
<http://PM10.kormany.hu/download/a/78/60000/PM10%20Program.pdf>
- [67] Ferenczi Zita: Az országhatáron áterjedő légszennyezések vizsgálata. Az aeroszol részecskék nagytávolságú transzportjának modellezése. Balatonőszöd, 2013.06.04.
- [68] Budapest Főváros Önkormányzata: Budapest Főváros környezeti állapotértékelése 2011.
-

-
- [69] 96/62/EK irányelv a környezeti levegő minőségének vizsgálatáról és ellenőrzéséről
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1996L0062:20031120:HU:PDF>
- [70] 4/2002. (X. 7.) KvVM rendelet a légszennyezettségi agglomerációk és zónák kijelöléséről
http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A0200004.KVV
- [71] 306/2010. (XII. 23.) Korm. rendelet a levegő védelméről
http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A1000306.KOR
- [72] Sajó völgye zóna intézkedési program
http://www.kvvm.hu/cimg/documents/Sajo_volgye_Intezkedesi_Program.pdf
- [73] Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium: A PM₁₀ határértéke(ke)t túllépő zónákra készült új levegőtisztaság-védelmi intézkedési tervek.
<http://www.kvvm.hu/index.php?pid=1&sid=1&hid=2029>
- [74] European Commission, Press release database
http://europa.eu/rapid/press-release_IP-10-1420_hu.htm?locale=en
- [75] A Magyar Aeroszol Társaság és a IX. Magyar Aeroszol Konferencia Tudományos Bizottsága: A Magyar Aeroszol Társaság javaslatai a PM₁₀/PM_{2.5} aeroszol („szálló por”) szennyezettség mérésével és szabályozásával kapcsolatban, IX. Magyar Aeroszol Konferencia, Balatonfüred, 2009. április 27.
- [76] Dr. Balásházy Imre, Dr. Bozó László Dr. Czitrovszky Aladár, Dr. Gelencsér András, Dr. Horváth László, Dr. Mészáros Ernő, Dr. Rudnai Péter, Dr. Salma Imre: A Magyar Aeroszol Társaság javaslatai a PM₁₀/PM_{2.5} aeroszol („szálló por”) szennyezettség mérésével és szabályozásával kapcsolatban, Magyar Aeroszol Társaság és a IX. Magyar Aeroszol Konferencia Tudományos Bizottsága, 2009.
- [77] Lucy Sadler, Martin Lutz: Achieving the EU Limit Values - a city's viewpoint, Berlin, 03 - 04 November 2003
http://ec.europa.eu/environment/archives/cafe/working_groups/pdf/agenda_item5b.pdf
- [78] Escudero M, Querol X, Avila A, Cuevas E.: Origin of the exceedances of the European daily PM limit value in regional background areas of Spain. Atmospheric Environment, 2007. 41. sz. p. 730-744
- [79] Meloni D, di Sarra A, Monteleone F, Pace G, Piacentino S, Sferlazzo DM: Seasonal transport patterns of intense Saharan dust events at the Mediterranean Island of Lampedusa. Atmospheric Research, 2008. 88. sz. p. 134-148
- [80] Perrino C., Canepari S, Catrambone M, Dalla Torre S, Rantica E, Sargolini T.: Influence of natural events on the concentration and composition of atmospheric particulate matter. Atmospheric Environment, 2009. 43. sz. p. 4766-4779
- [81] Querol X, Alastuey A, Rodríguez S, Viana MM, Artíñano B, Salvador P, Mantilla E, Santos SGD, Patier RF, Rosa JDL, Campa ASDL, Menéndez M: Levels of PM in rural, urban and industrial sites in Spain. Science of the Total Environment, 2004. p. 334–335:359-376
- [82] Wolfgang Spangl, Christian Nagl, Jürgen Schneider, August Kaiser: Herkunftsanalyse der PM₁₀ Belastung in Österreich, Ferntransport und regionale Beiträge, Umweltbundesamt GmbH, 2006.
<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0034.pdf>
- [83] Krabbe, Sabrina; Lutz-Holzhauser, Christiane; Stoll, Sigrun: Ausbruch des Eyjafjallajökull im April 2010 Auswirkungen auf die Feinstaubkonzentrationen in Baden-Württemberg, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 2010.
-

-
- [84] Ulrike Kugler: Straßenverkehrsemissionen in Europa -Emissionsberechnung und Bewertung von Minderungsmaßnahmen, Universität Stuttgart Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Forschungsbericht, 2012.
- [85] Escudero M. X. Querol, J. Pey, A. Alastuey, N. Pérez, F. Ferreira, S. Alonso, S. Rodríguez and E. Cuevas: A methodology for the quantification of the net African dust load in air quality monitoring networks, Atmospheric Environment 2007, 41. sz. p. 5516-5524.
- [86] Henry R. C., Y.S. Chang, C.H. Spiegelman: Locating nearby sources of air pollution by nonparametric regression of atmospheric concentrations on wind direction, Atmospheric Environment, 2002. 36. sz. p. 2237-2244
- [87] David Muira, J.W.S. Longhurstb, A. Tubb: Characterisation and quantification of the sources of PM₁₀ during air pollution episodes in the UK, Science of the Total Environment, 2006. 358. sz. p. 188-205
- [88] T. Kuhlbusch, A. John, O. Romazanowa, S. Top: Identifizierung von PM₁₀-Emissionsquellen im Rahmen der Maßnahmenplanung zur Reduktion der PM₁₀-Immissionsbelastung in Rheinland-Pfalz, Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht, 2003.
- [89] Lenschow P.: Some ideas about the sources of PM₁₀, Atmospheric Environment, 2001. 35/1001. sz. p 23-33
- [90] Jan Matthijsen, Robert Koelemeijer: Policy research programme on particulate matter Main results and policy consequences, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2010.
- [91] Dr. Dieter Ahrens Katja Anke, Sabina Drechsler, Bernhard Gromes, Dr. Jutta Holst, Dr. Ralf Lumpp, Elke Sähn, Helmut Scheu-Hachtel, Dr. Werner Scholz: Einflussgrößen auf die zeitliche und räumliche Struktur der Feinstaubkonzentrationen, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 2007.
- [92] Claudio A. Belis Bo R. Larsen, Fulvio Amato, Imad El Haddad, Olivier Favez, Roy M.Harrison, Philip K. Hopke, Silvia Nava, Pentti Paatero, André Prévôt, Ulrich Quass, Roberta Vecchi, Mar Viana: European Guide on Air Pollution Source Apportionment with Receptor Models, European Commission Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability, 2014.
- [93] Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (LUBW): Informationen zur Luftqualität
<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/18788/>
- [94] Vasil Simeonov: Receptor modeling of air contaminants, Proceedings of ECOpole 2007. p. 53-58
- [95] Viana M. Querol X, Alastuey A, Gil JJ, Menéndez M.: Identification of PM sources by principal component analysis (PCA) coupled with wind direction data, Chemosphere, 2006. 65. sz. p. 2411-2418.
- [96] Sirkka Juntto, Pentti Paatero: Analysis of daily precipitation data by positive matrix factorization, Environmetrics, 1994. 5. sz. p. 127-144
- [97] Regina E. Ducret-Stich, Ming-Yi Tsai, Devraj Thimmaiah, Nino Künzli, Philip K. Hopke, Harish C. Phuleria: PM₁₀ source apportionment in a Swiss Alpine valley impacted by highway traffic, Environmental Science and Pollution Research, 2013. 20. sz. p. 6496-6508
-

- [98] H. Bauer A., Kasper-Giebl, A. Limbeck, C. Ramirez - Santa Cruz, N. Jankowski, B. Klatzer, P. Pouresmaeil, A. Dattler, J. Handler, Ch. Schmidl, H. Puxbaum.: Endbericht für das Projekt "AQUELLA" Graz Süd PM_{2.5} Quellenanalyse von PM₁₀- und PM_{2.5} Belastungen in Graz, Technische Universität Wien Institut für Chemische Technologien und Analytik Arbeitsgruppe für Umweltanalytik, 2009.
- [99] Viana M., T.A.J. Kuhlbusch, X. Querol, A. Alastuey, R.M. Harrison, P.K. Hopke, W. Winiwarter, A. Vallius, S. Szidat, A.S.H. Prevot, C. Hueglin, H. Bloemen, P. Wahlin, R. Vecchi, A.I. Miranda, A. Kasper-Giebl, W. Maenhaut, R. Hitzenbergerq: Source apportionment of particulate matter in Europe: A review of methods and results Journal of Aerosol Science, 2008. 39. sz. p. 827-849
- [100] Pedro Salvador, Begona Artinano, Diana G. Alonso, Xavier Querol, Andrés Alastuey: Identification and characterisation of sources of PM₁₀ in Madrid (Spain) by statistical methods, Atmospheric Environment, 2004. 38. sz. p. 435-447
- [101] European Environment Agency: The application of models under the European Union's Air Quality Directive: A technical reference guide, European Environment Agency, 2011.
- [102] Dunkel Zoltán: A levegőminőség mérésének jelenlegi helyzete, a határon túlról érkező légszennyezések mennyiségi értékelésére alkalmas modell kidolgozásának állása, Vidékfejlesztési Minisztérium, Levegős Szakmai Tanácskozás, 2013. január 21.
- [103] Dr. Dieter Ahrens Katja Anke, Sabina Drechsler, Bernhard Gromes, Dr. Jutta Holst, Dr. Ralf Lumpp, Elke Sähn, Helmut Scheu-Hachtel, Dr. Werner Scholz: Einflussgrößen auf die zeitliche und räumliche Struktur der Feinstaubkonzentrationen, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 2007.
https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/20250/feinstaub-einfluesse_endfassung.pdf?command=downloadContent&filename=feinstaub-einfluesse_endfassung.pdf
- [104] Sharad Gokhale, Namita Raokhande: Performance evaluation of air quality models for predicting PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations at urban traffic intersection during winter period, Science of the Total Environment, 2008. 394. sz. p. 9-24
- [105] Tareq Hussein, Christer Johansson, and Lidia Morawska: Forecasting Urban Air Quality, Hindawi Publishing Corporation Advances in Meteorology Volume 2012.
- [106] 6/2011. (I. 14.) VM rendelet a levegőterheltségi szint és a helyhez kötött légszennyező források kibocsátásának vizsgálatával, ellenőrzésével, értékelésével kapcsolatos szabályokról
http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A1100006.VM
- [107] 4/2011. (I. 14.) VM rendelet a levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről
http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A1100004.VM
- [108] Légszennyező anyag kibocsátások (LAIR)
<http://web.okir.hu/sse/?group=LAIR>
- [109] Központi Statisztikai Hivatal, adatok
<http://www.ksh.hu/>
- [110] Karczagi Gyula, Nagy Gábor: Fűtési módok változásának hatása Miskolc város levegőminőségére a kéményseprő-ipari közszolgáltatás adatbázisának elemzése alapján, Termoment Tüzeléstechnikai Kft. Miskolc város hivatalos kéményseprő-ipari közszolgáltatója, 2011.

- [111] Nagy Dezső, Nagy Ferenc: Miskolc klímája és levegőminősége valamint a levegőminőséget alakító tényezők, Miskolc 2005
http://miskolc.hu/sites/default/files/dokumentumok/kornyezetvedelem/levegotisztasag-vedelmi_aktioterv/miskolc-klima-es-levegotisztasag-vedelmi-allapotfelfeles.pdf
- [112] Pénzes László – Uhlik Krisztián: Közlekedési kibocsátások, Levegős Szakmai Tanácskozás, 2013. január 21. Budapest
- [113] Kun Gabriella: A nehézfémek légköri kibocsátásának csökkentését célzó Nemzeti Intézkedési Terv, Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium Környezetfejlesztési Főosztály, 2007.
- [114] Ferenczi Zita: Az időjárás szerepe a légszennyezettségi epizódok kialakulásában, Légkör, 2009. 2. szám, p. 2-5
- [115] Luftgütemessungen in Burgenland, Statistiken
http://www.burgenland.at/fileadmin/user_upload/Downloads/Umwelt_und_Agrar/Umwelt/Luftguete/Statistiken/1719_PM10_2009.png
- [116] Beszámoló jelentés az 1330/2011. (X. 12.) Korm. határozattal elfogadott Kisméretű Szálló Por (PM₁₀ részecske) Csökkentés Ágazatközi Intézkedési Programjáról 2014
http://pm10.kormany.hu/download/7/7b/d0000/PM10_Besz%C3%A1mol%C3%B3_2014.pdf
- [117] Horvai Gy, Borosy A. P., Heberger K, Kolossváry I., Lengyel A., Paksy L., Rajkó R., Szepesváry P.: Sokváltozós adatelemzés (Kemometria), Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2005
- [118] Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ, Országos közúti adatbank
<http://utadat.hu/index.php>
- [119] Magyar Közút Nonprofit Zártkörűen Működő Részvénytársaság: Az országos közutak 2014. évre vonatkozó keresztmetszeti forgalma,
http://internet.kozut.hu/Documents/Orszagos_kozutak_2014_evre_vonatkoz_keresztmetszeti_forgalma.pdf

12.2 A disszertáció témakörében készült saját publikációk jegyzéke

12.2.1 Szakfolyóirat

1. Uramné L. K.: Levegőminőség vizsgálata, szmoghelyzetek elemzése az Észak-Magyarország régióban, Anyagmérnöki tudományok, 2013. (38) 1, p. 309-318.
2. Uramné L. K., Árpád B. Palotás: Air Quality Monitoring and analysis of smog episodes in the North Hungarian region, Meteorologický časopis, 2012. 15, p. 53-58
3. Uramné LK; Lengyel, A; Palotas, AB: Just in time smog-alert forecast by analysis of air quality monitoring stations' data, Immissionsschutz, 2015. 20. évfolyam, p. 108-188
4. Uramné L. K., Prof. Palotás Árpád B.: Lakossági tüzelés szerepe a téli szmoghelyzetek kialakulásában a Sajó völgyében, Energiagazdálkodás, 2016. 1-2. szám
5. Katalin Lantai, Ágnes Wopera, Gábor Nagy: Air quality development in the Northern Hungarian Region, Material Science and Engineering Vol. 41. No 1. 2016 University Press, p. 79-89

12.2.2 Egyéb folyóirat

1. Uramné L. K.: Autómentes nap Miskolcon - A közlekedési infrastruktúra fejlesztésének környezetvédelmi kérdései, Új KÖR-KÉP, 2001. szeptember-október-novemberi szám, p. 9-11

2. Uramné L. K.: Légszennyezettségi agglomerációk és zónák, Új KÖR-KÉP, 2003. IV. negyedév, p. 4-6
3. Uramné L. K.: A levegőtisztaság-védelem időszerű kérdései, figyelemmel a nagytüzelő berendezések üzemelését szabályozó jogszabályokra, Új KÖR-KÉP, 2003. p. 13-15
4. Uramné L. K.: Autómentes nap, Új KÖR-KÉP, 2005. IV. negyedév, p. 19
5. Uramné L. K.: Csökkenő kibocsátás – javuló levegőminőség, Új KÖR-KÉP, 2010. december, p. 18-19

12.2.3 Konferencia kiadvány

1. Uramné L. K.: Az Észak-magyarországi Környezetvédelmi Felügyelőség, ezen belül a Levegőtisztaság-védelmi és Zajvédelmi Osztály működési feltételei, jogszabályi háttére, Cereco 2000, Lillafüred, 2000. május
2. Uramné L. K.: A térség környezetvédelmi helyzete, az erőművek környezetvédelmi problémái az EU csatlakozás tükrében, Villamosenergia-ipari környezetvédelmi szakemberek tanácskozása, Markaz, 2001. május 24-25.
3. Uramné L. K.: A levegőtisztaság-védelem időszerű kérdései, figyelemmel a nagytüzelő berendezések üzemelését szabályozó jogszabályokra, Környezetvédelmi Konferencia, Siófok, 2001. szeptember,
5. Uramné L. K.: Kis- és középvállalkozások környezettudatos szemléletformálása, EU normák és követelmények. Vállalati KIR menedzserek továbbképzése V. füzet: Levegőtisztaság-védelem, Zaj- és Rezgésvédelem, Eger, 2004. október 4-8.
6. Uramné L. K., Csuhánics B.: Külszíni lignitbánya PM₁₀ terhelésének feltárása, XVII. Bányászati, Kohászati és Földtani konferencia, Déva, 2015. március 26-29., p.100-104

12.2.4 Kézirat, tanulmány

1. Uramné L. K.: Miskolc levegőszennyezettségi folyamatainak és szmoghelyzeteinek értékelése, Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Kar, Energia és Minőségügyi Intézet, Tüzeléstani és Hőenergia Intézeti Tanszék, 2014. február
2. Uramné L. K. A Mátrai Erőmű Zrt. Bükkábrányi bánya PM₁₀ szennyezésének feltárása. ÉMI-KTF, résztanulmány, 2014. május
3. Észak-magyarországi Környezetvédelmi Felügyelőség, Levegőtisztaság- és Zajvédelmi Osztály: Intézkedési Program a „Sajó völgye” kijelölt zóna levegőminőségének javítására, 2004
<http://emiktf.hu/Szakosztalyok/LZO/zona/Sajo.pdf>
4. Észak-magyarországi Környezetvédelmi Felügyelőség, Levegőtisztaság- és Zajvédelmi Osztály: A „Sajó völgye” kijelölt zóna levegőminőségének javítására készült Intézkedési Program Felülvizsgálat, 2013
<http://emiktf.hu/Szakosztalyok/LZO/zona/Intezkedesi%20program%20Sajo%20felulvizsgalat%202013%20november.pdf>
5. Észak-magyarországi Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség, Levegőtisztaság- és Zajvédelmi Osztály: Intézkedési Program a „Sajó völgye” kijelölt zónában a PM₁₀ komponens határérték túllépésének megszüntetésére, 2008
http://www.kvvm.hu/cimg/documents/8_zona_miskolc.pdf
6. Észak-magyarországi Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség, Levegőtisztaság- és Zajvédelmi Osztály: Intézkedési Program Eger kijelölt levegőminőségének javítására, 2004
<http://emiktf.hu/Szakosztalyok/LZO/zona/Eger.pdf>

7. Észak-magyarországi Környezetvédelmi Felügyelőség, Levegőtisztaság- és Zajvédelmi Osztály: Eger kijelölt város levegőminőségének javítására készült Intézkedési Program Felülvizsgálat, 2013
<http://emiktf.hu/Szakosztalyok/LZO/zona/Intezkedesi%20program%20Eger%20felulvizsgalat%202013%20november%20javitott%2020131223.pdf>
8. Eger kijelölt zóna levegőminőségének javítására készült Intézkedési Program részleges felülvizsgálat, 2016 (Eger megyei jogú város megbízására)

13 ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra. PM₁₀ éves átlag a világ egyes régióiban 2003-2010 között
2. ábra. A levegőterhelés tipikus alakulása a gazdasági fejlődéssel.
3. ábra. Szilárd részecske szemcseméret tartományai
4. ábra. Globális PM_{2,5} átlag műhold térképe 2010-2012 között
5. ábra. A 10 legszennyezettebb város
6. ábra. Svájci városok légszennyezettsége nemzetközi összehasonlításban
7. ábra. Fő szennyezőanyagok emissziós trendjei 2004-2013 között (a 2004-es bázisévhez viszonyítva) szektoronkénti bontásban az EU 28 tagországában
8. ábra. PM₁₀ éves átlagkoncentráció 2011-ben az EU tagállamokban
9. ábra. A 2030-ra modellezett PM₁₀ koncentráció éves átlag az AirBase állomásokon
10. ábra. Az EU 28 tagállamának PM₁₀ napi átlaga a városi háttérállomásokon 2000-2013 között
11. ábra. PM₁₀ napi határérték 2010-ben az EU tagállamokban
12. ábra. PM_{2,5} éves célérték 2010-ben az EU tagállamokban
13. ábra. PM₁₀ és PM_{2,5} koncentráció trendje állomástípusonként az EU tagállamokban
14. ábra. Kén-dioxid emisszió szektoronkénti megoszlás 2008-ban és 2011-ben
15. ábra. Szén-monoxid emisszió szektoronkénti megoszlás 2008-ban és 2011-ben
16. ábra. Nitrogén-oxid emisszió szektoronkénti megoszlás 2008- és 2012-ben
17. ábra. Szilárd anyag emisszió szektoronkénti megoszlás 2008-ban és 2013-ban
18. ábra. Becsült tűzifa felhasználás (GJ/személy) Európában
19. ábra. Gépkocsik számának és átlagéletkorának változásai 2002 és 2012 között
20. ábra. Magyarország légszennyezettségének alakulása 2003-2013 között
21. ábra. Havi csapadékösszegek 2011-ben és az 1971-2000-es átlagértékek
22. ábra. SO₂ koncentráció éves átlagértékének változása az ÉMI-KTF illetékességi területén üzemelő monitor állomásokon, 2002-2014. között
23. ábra. CO koncentráció éves átlagértékének változása az ÉMI-KTF illetékességi területén üzemelő monitor állomásokon, 2002-2014. között
24. ábra. NO₂ koncentráció éves átlagértékének változása az ÉMI-KTF illetékességi területén üzemelő monitor állomásokon, 2002-2014. között
25. ábra. PM₁₀ koncentráció éves átlagértékének változása az ÉMI-KTF illetékességi területén üzemelő monitor állomásokon, 2002-2014. között
26. ábra. Magyarország PM₁₀ koncentrációjának alakulása 2003 - 2013 között állomástípusonként
27. ábra. Az antropogén források részaránya a PM₁₀ és PM_{2,5} emisszióban az EU29 országokban 2009-ben

-
28. ábra. Forrás-hozzárendelés Lenschow módszere szerint
29. ábra. Az egyes állomástípusok hozzájárulása a PM₁₀ alkotóelemeihez
30. ábra. PM₁₀ karbon tartalmú komponenseinek alakulása 2007 és 2008 között végzett vizsgálatok alapján
31. ábra. Forrásazonosításhoz használt különböző módszerek sematikus ábrája
32. ábra. Különböző típusú monitorállomások PM₁₀ összetétele receptormodell alkalmazásával Németországban
33. ábra. EURAD modellel lefuttatott PM₁₀ prognózis
34. ábra. Modellezett és mért PM₁₀ átlagok idősoros változása a különböző típusú monitor állomásokon az EU-ban
35. ábra. OMSZ háttérszennyezetségi mérőállomások
36. ábra. Az ÉMI-KTF illetékességi területén üzemelő monitor állomások elhelyezkedése
37. ábra. Ipari emisszió Miskolcon 2002 – 2014 között
38. ábra. Miskolci lakossági tüzelésben felhasznált tüzelőanyagok részarányának változása 2005-2012 között
39. ábra. Évi átlagos uralkodó szélirányok Putnokon, Kazincbarcikán, Sajószentpéteren és Miskolcon
40. ábra. Közlekedési eredetű PM₁₀ összetétele
41. ábra. PM₁₀ túllépésszám százalékos arányának megoszlása Miskolcon, a közlekedési típusú M4, a lakossági típusú M6 valamint a hernádszurdoki (H1) és az oszlári (T1) monitor állomások között 2004-2014 fűtési időszakban
42. ábra. PM₁₀ túllépésszám százalékos arányának megoszlása Miskolcon, a közlekedési típusú M4, a lakossági típusú M6 valamint a hernádszurdoki (H1) és az oszlári (T1) monitor állomások között 2004-2014 nem fűtési időszakban
43. ábra. PM₁₀ koncentráció átlagok fűtési és nem fűtési félévben a Sajó völgyben üzemelő monitor állomásokon 2004-2014 között
44. ábra. SO₂ koncentráció átlagok fűtési és nem fűtési félévben a Sajó völgyben üzemelő monitor állomásokon 2004-2014 között
45. ábra. NO₂ koncentráció átlagok fűtési és nem fűtési félévben a Sajó völgyben üzemelő monitor állomásokon 2004-2014 között
46. ábra. Oszlári (T1) és sarródi (országos) háttérállomás PM₁₀ koncentráció változás 2006-2014 között
47. ábra. As koncentráció átlagok fűtési és nem fűtési félévben Miskolcon, Hernádszurdokon és Halmajugrán 2008-2014 között
48. ábra. Cd koncentráció átlagok fűtési és nem fűtési félévben Miskolcon, Hernádszurdokon és Halmajugrán 2008-2014 között
49. ábra. Pb koncentráció átlagok fűtési és nem fűtési félévben Miskolcon, Hernádszurdokon és Halmajugrán 2008-2014 között
50. ábra. B(a)P koncentráció átlagok fűtési és nem fűtési félévben Miskolcon, Hernádszurdokon és Halmajugrán 2008-2014 között
51. ábra. PM₁₀ egészségügyi határérték (50 µg/m³) túllépések hét napjai szerinti eloszlása az M4 (közlekedési) és M6 (lakossági típusú) monitor állomásokon 2014-ben
-

-
52. ábra. PM₁₀ tájékoztatási (75 µg/m³) és riasztási (100 µg/m³) küszöbérték túllépések a különböző típusú mérőállomásokon 2008 és 2014 között
53. ábra. Miskolc (M4) Búza téri monitor állomás 2014 évi szennyezettségi rózsza
54. ábra. Miskolc (M6) Lavotta úti monitor állomás 2014 évi szennyezettségi rózsza
55. ábra. Kazincbarcika (K1) monitor állomás 2014 évi szennyezettségi rózsza
56. ábra. Sajószentpéter (S1) monitor állomás 2014 évi szennyezettségi rózsza
57. ábra. Putnok (P1) monitor állomás 2014 évi szennyezettségi rózsza
58. ábra. Oszlár (T1) monitor állomás 2014 évi szennyezettségi rózsza
59. ábra. Hernádszurdok (H1) monitor állomás 2014 évi szennyezettségi rózsza
60. ábra. PM₁₀ és SO₂ koncentráció változás 2009. 01. 03. – 2009. 01. 24. között
61. ábra. PM₁₀ koncentráció változás 2009. 01. 03. – 2009. 01. 24. között a K-pusztai háttérállomáson
62. ábra. PM₁₀, SO₂ koncentráció változás, és a napi átlaghőmérséklet alakulása a miskolci közlekedési (M4) és lakossági típusú (M6) mérőállomáson
63. ábra. PM₁₀ és SO₂ koncentráció változás 2010. 01. 13. – 2010. 02. 21. között
64. ábra. PM₁₀, SO₂ koncentráció változás, és a napi átlaghőmérséklet alakulása a miskolci közlekedési (M4) és lakossági típusú (M6) mérőállomáson
65. ábra. PM₁₀ és SO₂ koncentráció változás 2011. 01. 26. – 2011. 02. 12. között
66. ábra. PM₁₀, SO₂ koncentráció változás, és a napi átlaghőmérséklet alakulása a miskolci közlekedési (M4) és lakossági típusú (M6) mérőállomáson
67. ábra. PM₁₀ és SO₂ koncentráció változás 2012. 01. 23. – 2012. 02. 24. között
68. ábra. PM₁₀, SO₂ koncentráció változás, és a napi átlaghőmérséklet alakulása a miskolci közlekedési (M4) és lakossági típusú (M6) mérőállomáson
69. ábra. PM₁₀ és SO₂ koncentráció változás 2013. 01. 07. – 2013. 01. 31. között
70. ábra. PM₁₀, SO₂ koncentráció változás, és a napi átlaghőmérséklet alakulása a miskolci közlekedési (M4) és lakossági típusú (M6) mérőállomáson
71. ábra. PM₁₀ és SO₂ koncentráció változás 2014. 01. 25. – 2014. 02. 10. között
72. ábra. PM₁₀, SO₂ koncentráció változás, és a napi átlaghőmérséklet alakulása a miskolci közlekedési (M4) és lakossági típusú (M6) mérőállomáson
73. ábra. PM₁₀ koncentráció és szélsőérték változás 2014. 02. 09-én éjféltől reggel 8 00-ig
74. ábra. A miskolci közlekedési (M4) és lakossági típusú (M6) mérőállomások koncentrációi és a háttérállomáson regisztrált PM₁₀, SO₂ koncentrációk különbsége
75. ábra. PM₁₀ koncentráció alakulása 2011. 01. 26. - 2011. 02. 12. között Miskolcon, a közlekedési típusú M4 mérőállomáson
76. ábra. PM₁₀ koncentráció alakulása 2011. 01. 26. - 2011. 02. 12. között Miskolcon, a lakossági típusú M6 mérőállomáson
77. ábra. PM₁₀ koncentráció alakulása 2011. 01. 26. - 2011. 02. 12. között Kazincbarcikán, a lakossági típusú K1 mérőállomáson
78. ábra. PM₁₀ koncentráció alakulása 2011. 01. 26. - 2011. 02. 12. között Sajószentpéteren, a lakossági típusú S1 mérőállomáson
79. ábra. PM₁₀ koncentráció alakulása 2011. 01. 26. - 2011. 02. 12. között Putnokon, a lakossági típusú P1 mérőállomáson
-

80. ábra. Egy háztartási fogyasztóra jutó havi átlagos vezetékesség-felhasználás Magyarországon
81. ábra. Biomassza felhasználás a lakossági szektorban 2005-2013. között Magyarországon
82. ábra. Lignit felhasználás a lakossági szektorban 2005-2013. között Magyarországon
83. ábra. PM₁₀ koncentráció alakulása 2011. 01. 26. - 2011. 02. 12. között Miskolcon, a közlekedési típusú M4 és a lakossági típusú M6 mérőállomásokon
84. ábra. SO₂ és PM₁₀ órás átlagok alakulása 2011. 01. 26. - 2011. 02. 12. között Miskolcon, a lakossági típusú M6 mérőállomáson
85. ábra. PM₁₀ és SO₂ órás átlagok alakulása 2011. 01. 26. - 2011. 02. 12. között a putnoki lakossági típusú mérőállomáson
86. ábra. PM₁₀ szennyezettségi rózsza 2011. 01. 26. - 2011. 02. 12. között a putnoki lakossági típusú P1 mérőállomáson
87. ábra. PM₁₀ órás átlagok alakulása 2011. 01. 29. - 2011. 01. 31. között Miskolcon a közlekedési típusú M4 és a lakossági típusú M6 mérőállomáson
88. ábra. Miskolc 1+800 [km + m] szelvény elhelyezkedése
89. ábra. Miskolc 1+800 km + m] szelvény forgalmi adatai 2004-2014 között
90. ábra. PM₁₀ koncentráció és túllépésszám a miskolci közlekedési típusú M4 monitor állomáson 2004-2014 között
91. ábra. Szennyezettségi rózsza 2011. 01. 26. - 2011. 02. 12. között a miskolci közlekedési típusú M4 mérőállomáson
92. ábra. Szennyezettségi rózsza 2011. 01. 26. - 2011. 02. 12. között a miskolci lakossági típusú M6 mérőállomáson
93. ábra. PM₁₀ koncentráció változás 2013. 11. 19. – 2014. 01. 30. között a közlekedési típusú M4 monitor állomáson és a Szentpéteri kapui mérési ponton

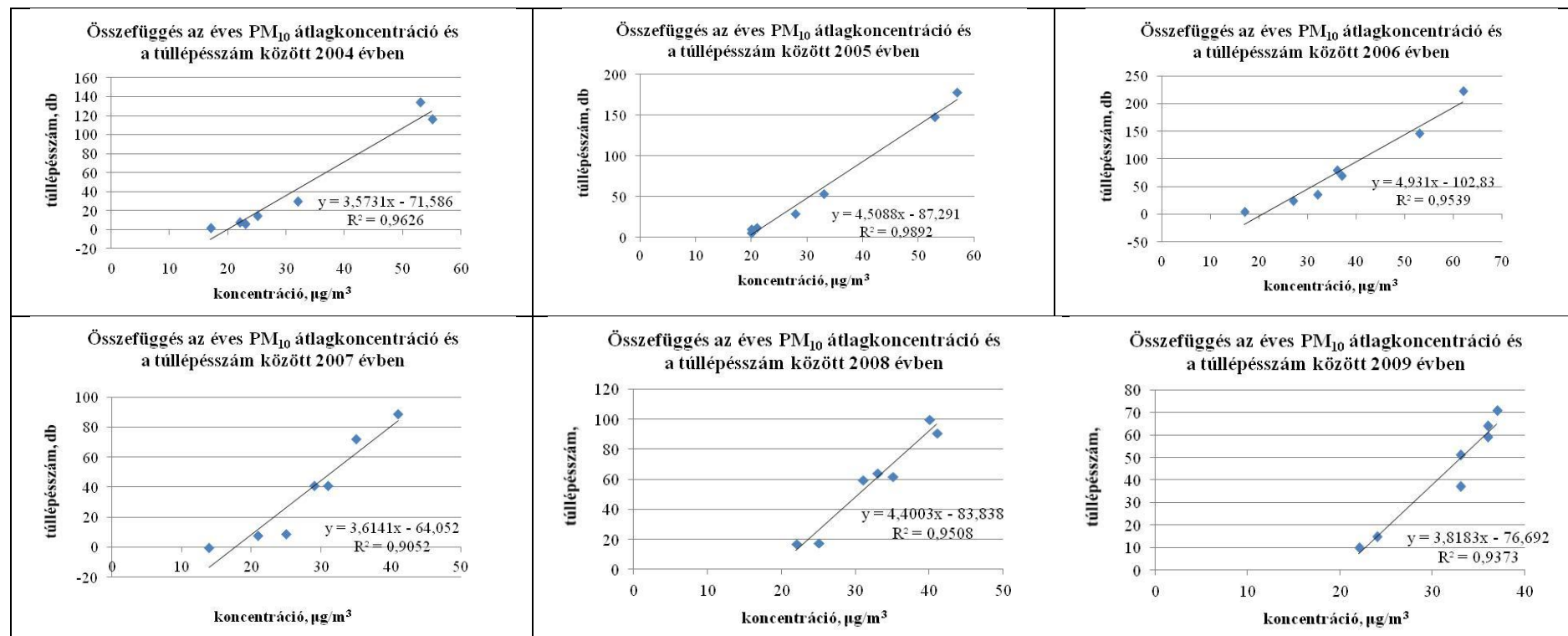
14 TÁBLÁZATJEGYZÉK

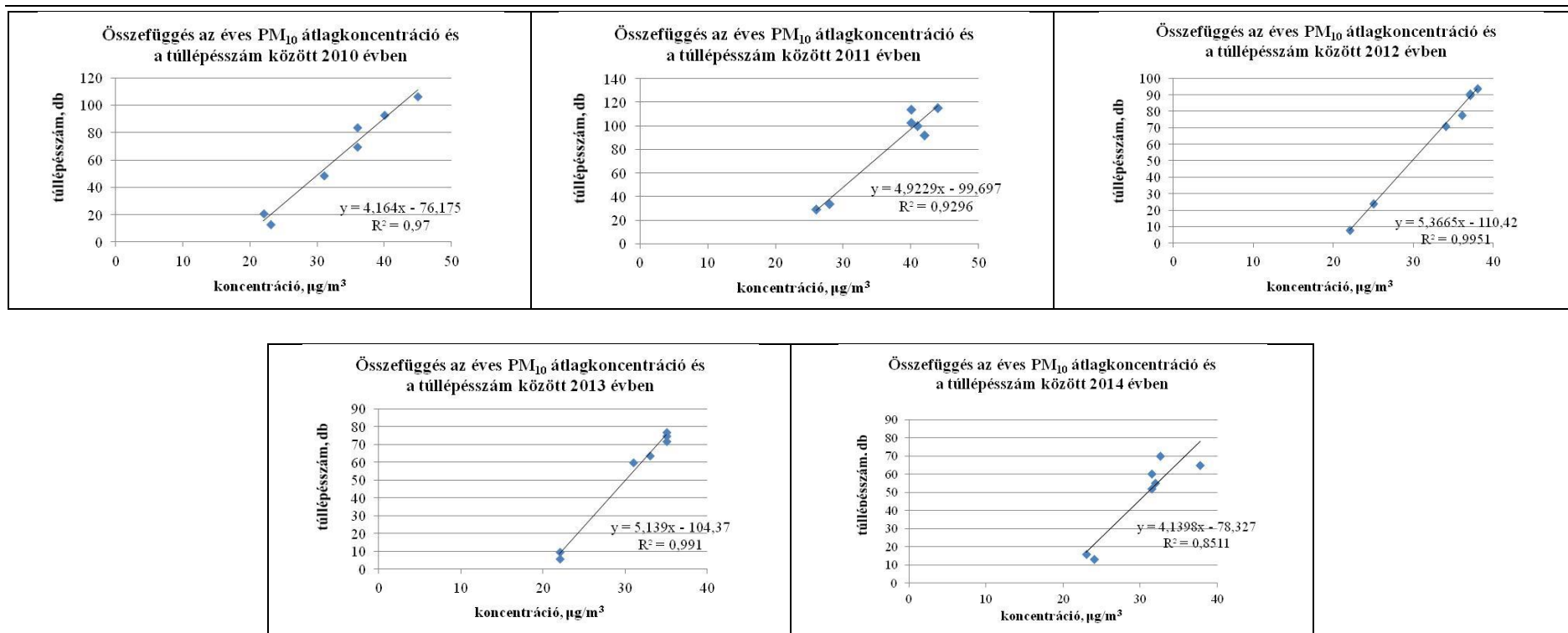
1. táblázat. Az aeroszolkok forrásai
2. táblázat. PM₁₀, PM_{2,5} egészségügyi határérték a világ országaiban
3. táblázat. Éves csapadékmennyiség az 1971-2000. évek átlagához viszonyított normál százalékban
4. táblázat. Az ÉMI-KTF illetékességi területén üzemelő mérőállomások PM₁₀ 24 órás határérték túllépései [db/év]
5. táblázat. A Sajó völgye zónában működő monitor állomások besorolása
6. táblázat. PM₁₀ határértékek és küszöbértékek
7. táblázat. PM_{2,5} határértékek
8. táblázat. PM₁₀ napi határérték túllépések száma a Sajó völgyében üzemelő monitor állomásokon fűtési és nem fűtési időszak szerinti bontásban
9. táblázat. A Sajó völgye zóna oszlári (T1) PM₁₀ háttérállomása és az országos háttérállomás (Sarród) éves PM₁₀ koncentrációja 2006 – 2014 között µg/m³-ben
10. táblázat. PM₁₀ mikroszennyezőkre vonatkozó határérték
11. táblázat. PM₁₀ éves átlagkoncentráció és a napi határérték túllépések száma közötti összefüggés 2004 - 2014 között

-
- | | |
|---------------|---|
| 12. táblázat. | PM ₁₀ éves átlagkoncentráció a Sajó völgye zóna mérőállomásain és a hernádszurdoki (H1) háttérállomáson 2004 - 2014 között |
| 13. táblázat. | 2014 évi napi PM ₁₀ koncentráció növekedés |
| 14. táblázat. | Napi PM ₁₀ koncentráció növekedés 2004-2014 között |
| 15. táblázat. | PM ₁₀ fűtési és nem fűtési félév átlagkoncentráció különbségek 2004 – 2014 között a Sajó völgye zónában |
| 16. táblázat. | A Sajó völgyében üzemelő monitor állomások (M4, M6, K1, S1, P1) fűtési és nem fűtési félév PM ₁₀ koncentrációi a háttérkoncentráció (T1) levonásával 11 éves átlagban |
| 17. táblázat. | PM ₁₀ 24 órás átlagai Miskolcon a közlekedési típusú (M4) és a lakossági típusú (M6,) a kazincbarcikai (K1), sajószentpéteri (S1) és putnoki (P1) mérőállomásokon 2011. 01. 26. - 2011. 02. 12. között |
| 18. táblázat. | Napi minimumhőmérsékletek Mátraszentimrén és Miskolcon 2011. 01. 26. - 2011. 02. 12. között |

15 MELLÉKLETEK

1. melléklet. Összefüggés az éves PM₁₀ átlagkoncentráció és a túllépésszám között 2004 - 2014 között



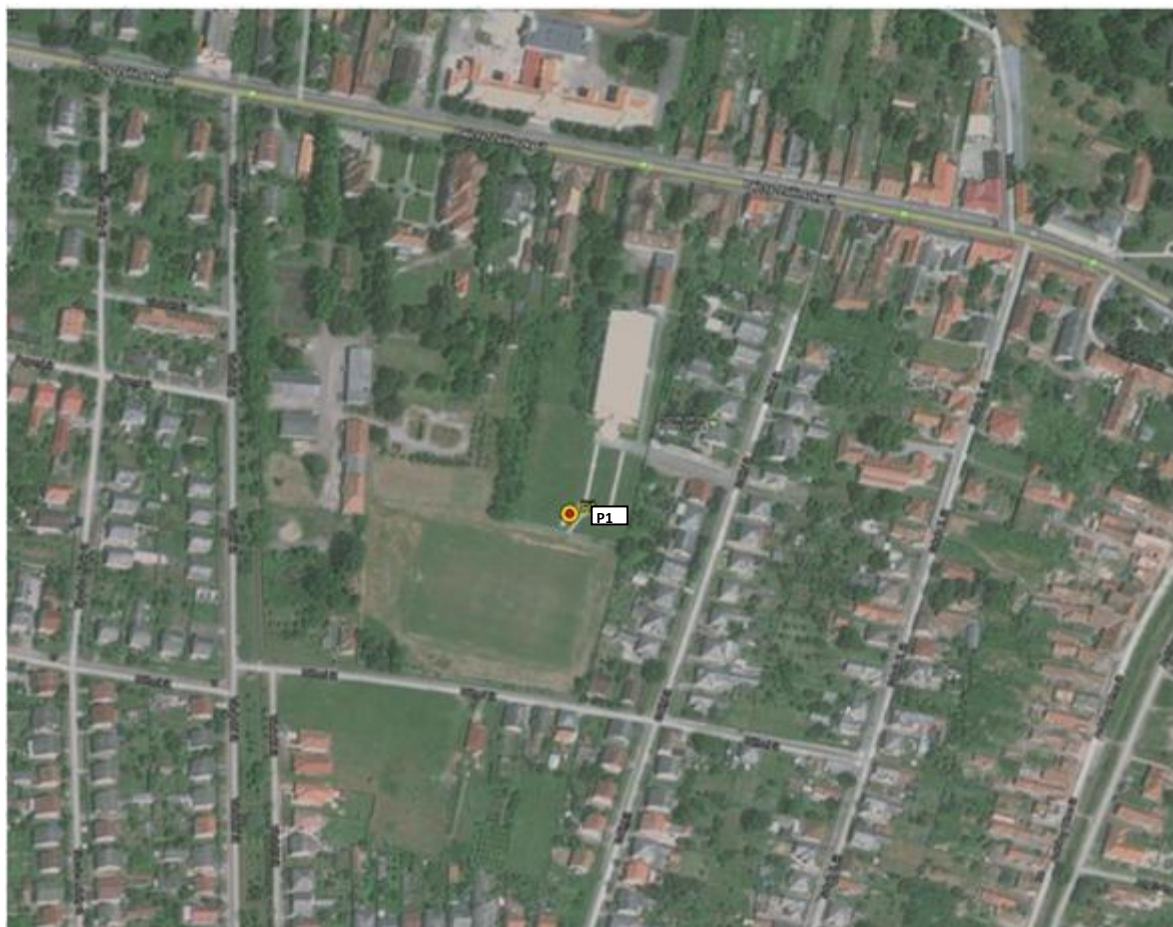


2. melléklet. A mérési pontok térképi megjelenítése

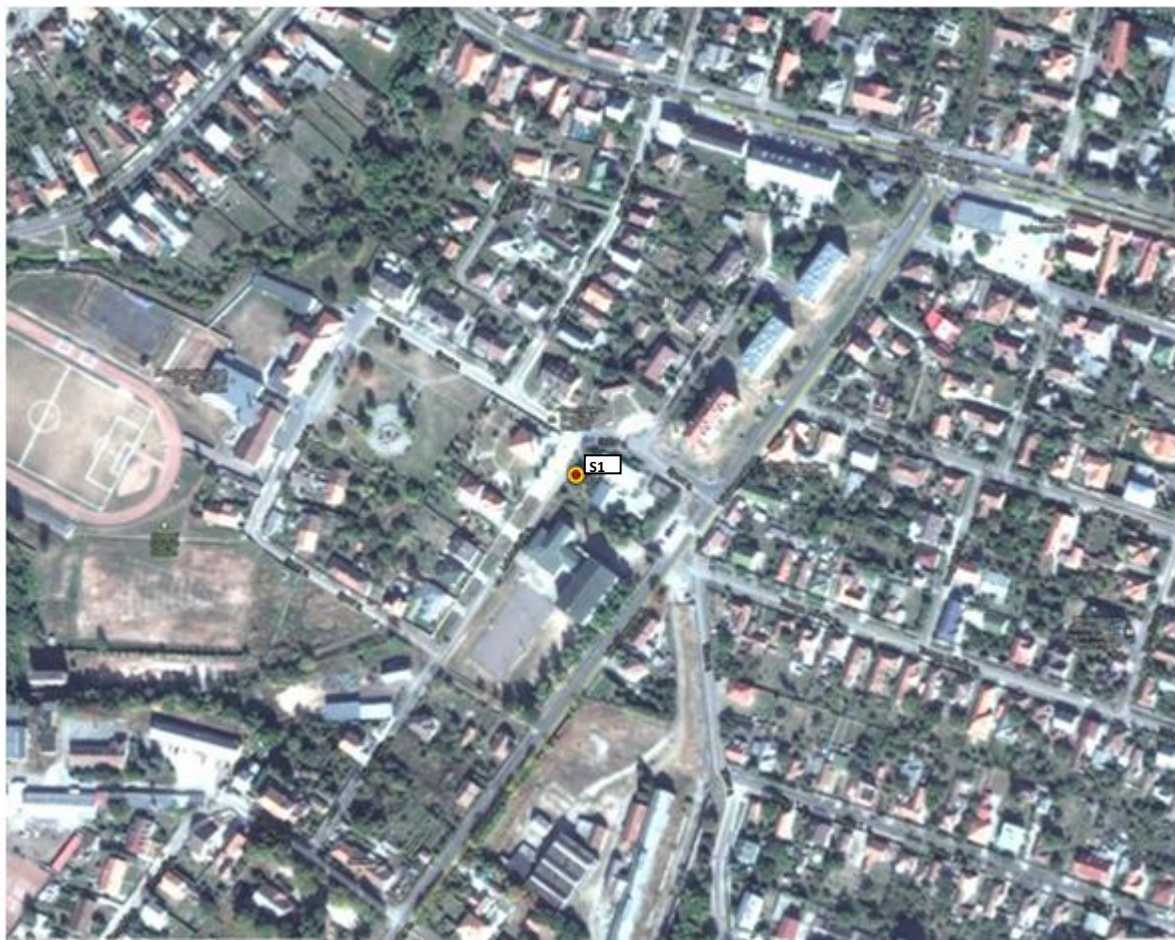
2/1. melléklet. Kazincbarcika mérőállomás és környezete



2/2. melléklet. Putnok mérőállomás és környezete



2/3. melléklet. Sajószentpéter mérőállomás és környezete



2/4. melléklet. Miskolc, Búza tér mérőállomás és környezete



The map shows a residential area with a yellow line indicating a route. A yellow circle with a black dot is labeled 'M6'. A text box on the right contains information about the location.

2/6. melléklet. Oszlár mérőállomás és környezete



2/7. melléklet. Hernádszurdok mérőállomás és környezete

