

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Természettudományi Kar
Környezettudományi Centrum

A légköri aeroszol tér- és időbeli eloszlása Budapesten

Szakedolgozat



Készítette: Kovács Mónika Eszter
Környezettan alapszakos hallgató

Témavezető: Dr. Mészáros Róbert

ELTE TTK Meteorológiai Tanszék adjunktusa

Budapest, 2011.

Tartalom

Bevezetés.....	3
1. Az aeroszol fogalma és dinamikája.....	4
2. Aeroszol részecskék általános tulajdonságai	7
2.1. Képződés	7
2.1.1 Aeroszolképződési folyamatai.....	7
2.1.2 Elsődleges aeroszolképződés.....	8
2.1.3 Másodlagos aeroszolképződés.....	9
2.2 Nagyság szerinti eloszlás.....	10
2.3. Aeroszol részecskék hatása.....	14
2.3.1 Légkörfizikai, környezeti hatások	14
2.3.2 Egészségügyi hatások	15
3. A légköri aeroszol mintavétele és mérése	19
4. A szálló por területi eloszlása	23
4.1. A szálló por eloszlása a Föld egyes régióiban	23
4.2 Magyarország szállópor helyzete	24
5. Budapesti mérőhálózat	26
5.1 Légszennyezettségi mérőállomások Budapesten	26
5.2 Adatfeldolgozás	28
5.2.1 PM 10 havi eloszlásai	28
5.2.2 PM 10 órás eloszlásai	31
Összefoglalás.....	35
Köszönetnyilvánítás.....	36
Irodalomjegyzék	37

Bevezetés

Aeroszol részecskéket számos kutatási területen, kísérletekben, tudományos elemzések során alkalmaznak, illetve ezek a részecskék részt vesznek nagyszámú meteorológiai, biológiai, biogeokémiai, optikai, illetve kémiai folyamatokban is.

A légköri aeroszol, azaz a szálló por fogalomköre az elmúlt évtizedben került a figyelem központjába. Növekvő mennyisége mind hazánkban, mind a Föld más országaiban egyre égetőbb problémát jelent a levegőszennyezés valamint az éghajlatváltozásban betöltött szerep és egészségügyi hatások miatt. Természetes képződésük mellett jóval nagyobb hangsúlyt fektetünk az ember által kibocsátott forrásokra, melyek ellen védekezni csak úgy tudunk, ha megismerjük ezen μm -nyi részecskék tulajdonságait.

Szaktervezésben a légköri aeroszol részecskék tulajdonságait tekintem át, majd részletesen elemzem egy év során az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat (OLM) által Budapest különböző városrészében végzett aeroszol mérések adatsorát, bemutatva a havi, illetve a napszakos változásokat. A Dolgozat első fejezete ismerteti az aeroszol fogalmát, illetve dinamikáját. A második fejezet az aeroszol részecskék általános tulajdonságait, keletkezési mechanizmusait, méret szerinti eloszlásukat, valamint környezeti és egészségügyi hatásait írja le. A harmadik fejezetben az aeroszolok mintavételezési, mérési módszereit mutatom be. A negyedik fejezetben a szálló por területi eloszlását vizsgálom. Végül, az ötödik fejezet tartalmazza a budapesti mérőhálózat, illetve a mérési adatok feldolgozásának eredményeit.

1. Az aeroszol fogalma és dinamikája

Az aeroszol diszperz kolloid rendszer, amelyet a levegő és a benne szuszpendált formában lévő cseppfolyós és/ vagy szilárd részecskék alkotnak [Salma et al., 2006]. A légköri aeroszol részecskék nagysága a molekulacsoportoktól egészen a 10 μm -es nagyságrendig terjed. Nagyságukon kívül a formájuk is nagyon különböző lehet. Formájuk szerint lehetnek gömb alakúak (ilyenek pl. az oldatokat alkotó részecskék), kondenzációval létrejövők, illetve lehetnek szabálytalanok, amelyek talajeredetű, a felszín mállásával létrejövő részecskék. Aeroszról vagy aerokolloidális rendszerről akkor beszélünk, ha a részecskék felülete összehasonlíthatatlanul nagy a térfogatukhoz képest, a részecskék ülepedési sebessége alacsony, a részecskék mozgása által fellépő tehetetlenségi hatások elhanyagolhatók, azaz ha a tehetetlenségi és viszkózus erők aránya kicsi, illetve, ha a részecskék Brown-féle hő mozgása viszonylag nagy [Mészáros, 1977].

Az aeroszol jellemzéséhez tartozik a részecskék nagyság szerinti eloszlása:

$$\frac{dN}{dr} = f(r), \text{ vagy } \frac{dM}{dr} = F(r) \quad (1.1)$$

ahol, dN a gáz térfogategységére eső részecskék száma, dM a részecskék tömege, az r és $r + dr$ sugár intervallumban. Az eloszlási függvény tehát gyakorlatilag a részecskék számának, tömegének nagyság szerinti gyakorisága. Így az eloszlási függvény integrálja a teljes koncentrációt adja meg:

$$\int_0^{\infty} f(r)dr = N \text{ vagy } \int_0^{\infty} F(r)dr = M \quad (1.2)$$

Az aeroszol stabilitása a részecskékre ható külső erőktől függ. A légkörben ilyen külső erő elsősorban a Föld vonzása. A tömegvonzás hatására a részecskék a levegőben ülepednek. Ha ez a gravitáció miatti ülepedés sebesség (V_g) átlép egy bizonyos értéket, akkor a részecskék hamar távoznak a légkörből. Ezt az állandó esési sebességét úgy

adhatjuk meg, ha a részecskékre ható gravitációt a közegellenállással egyenlővé tesszük:

$$\frac{4}{3}r^3\pi\rho_p g = 6\pi\mu r V_g \quad (1.3)$$

ahol g a gravitációs állandó ($9,81 \text{ m s}^{-2}$), míg μ a dinamikus viszkozitási együttható ($1,815 \cdot 10^{-5} \text{ N s m}^{-2}$). Az 1.3-as egyenletből V_g -t kifejezve, a Stokes-féle formulát kapjuk:

$$V_g = \frac{2r^2\rho_p g}{9\mu} \quad (1.4)$$

Gömbalakot és egységnyi sűrűséget feltételezve kiszámítható, hogy 1, 10 és 100 μm sugarú részecskék esetén a gravitáció miatti ülepedési sebesség rendre 10^{-2} , 1 és 100 cm s^{-1} . Ebben a nagyságtartományban a részecskék száma a sugár növekedésével gyorsan csökken, és 100 μm sugarú részecske a levegőben ritkán, csak a források közelében, esetleg feláramló levegőben fordul elő.

A legkisebb részecskék tartományába (r kisebb, mint 0,1 μm) a koncentrációt egy másik folyamat, a *koaguláció* szabályozza mely a részecskék egymással való egyesülését jelenti. A levegőmolekulák ugyanis, kinetikus energiájuktól függően, a részecskéknek véletlenszerűen impulzust adnak át. Ennek hatására szabálytalan mozgást végeznek, amelynek következtében ütköznek és összetapadva nagyobb egységeket hoznak létre. N_1 és N_2 koncentrációjú, illetve r_1 és r_2 sugarú részecskék esetén a koaguláció miatti koncentráció- csökkenés az 1-es csoportban a következő lesz [Hidy and Brock, 1970]:

$$-\frac{dN_1}{dt} = K_c N_1 N_2 \quad (1.5)$$

amelynél t az idő, míg K_c a koagulációs együttható ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$). Az egyenletből kiolvasható, hogy nagyobb koncentráció gyorsabb koagulációval jár, mivel ilyenkor valószínűbb a részecskék ütközése.

A koagulációs együtthatót a részecskék nagysága és diffúziós állandója (D , m^2s^{-1}) határozza meg:

$$K_c = 2\pi (r_1 + r_2) (D_1 + D_2) \quad (1.6)$$

ahol a diffúziós állandó a következő:

$$D = \frac{kT}{6\mu\pi r} \left(1 + \frac{Al}{r} \right) \quad (1.7)$$

Itt k a Boltzmann-féle állandó ($1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$), T az abszolút hőmérséklet, l a levegőmolekulák közepes szabad úthossza (normál hőmérsékleten és nyomáson: $6,53 \cdot 10^{-6} \text{ cm}$), míg A -t az alábbi formula adja meg:

$$A = 1,25 + 0,400 \exp \left(-1,1 \frac{r}{\bar{l}} \right) \quad (1.8)$$

Ebbe a megfelelő értékeket behelyettesítve, arra az eredményre jutunk, hogy a sugár egy nagyságrenddel való növekedése a diffúziós együttható két nagyságrenddel történő csökkenését indukálja. Vagyis K_c értéke a részecske nagyságának csökkenésével egyre számottevőbb lesz, azaz gyorsul a koaguláció. Mindebből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy két alapvető dinamikai hatás a koaguláció és a gravitáció miatti ülepedés módosítja a troposzférikus aeroszol részecskék nagyság szerinti eloszlását [Mészáros, 1997].

2. Aeroszol részecskék általános tulajdonságai

2.1. Képződés

2.1.1 Aeroszolak keletkezési folyamatai

Az aeroszol részecskék keletkezése méretfüggő. A finom részecskék 1 μm alattiak, döntően kondenzációval keletkeznek, az 1 μm feletti durva részecskék pedig döntően mállással képződnek. Az elsődleges aeroszolak közvetlenül jutnak a légkörbe főleg diszperziós folyamatokon keresztül, a folyadék vagy szilárd halmazállapotú másodlagos aeroszolakat nukleációs és kondenzációs folyamatok hozzák létre gáz halmazállapotú prekursorokból. A diszperziós folyamat két részfolyamatra bontható: az aprítás és a diszperzió közegben történő szétosztás.

Az első lépés a nukleáció- gócképződés. A finom aeroszol részecskék keletkezésében a gőzök nukleációja fontos szerepet játszik. Nukleációnak nevezzük az olyan fázisváltást, amikor a kevésbé rendezett fázisból (pl. gőz) a tér bizonyos pontjain rendezettebb fázis (pl. folyadék) keletkezik. A nukleációs folyamatok jellemzői, hogy nincs termodinamikai egyensúly és van szabad energia akadály. A nukleáció lehet homogén, amikor a folyamatban csak a kondenzálandó gőzök vesznek részt, cseppképződés vízgőzből az aeroszol jelenléte nélkül, de végbemehet már meglévő aeroszol részecskéken, kondenzációs magvakon. Ez utóbbi esetben heterogén nukleációról beszélünk. A homogén kondenzáció akkor teljesül, ha a csepp (kondenzációs csíra) eléri a kritikus méretét, illetve ha a csepp körüli térben a telítési arány eléri a kritikus telítési arány értékét ($J = 1 \text{ csíra cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ csíraképződési mértékhez tartozó kritikus túltelítés értéke). A heterogén kondenzációnál fontos szempont az aeroszol részecskék vízben való oldhatósága. A részecske annál hatékonyabb kondenzációs mag, minél nagyobb és minél jobban oldódik vízben (ez anyagi minőségtől, molekulasúlytól, disszociációtól függő tulajdonság). Az oldhatatlan részecskék aktivitása 1–2 nagyságrenddel nagyobb túltelítettséget igényel, mint az ugyanakkora oldódó magvaké. Továbbá beszélhetünk homogén homomolekuláris, homogén heteromolekuláris, heterogén homomolekuláris, heterogén heteromolekuláris nukleációról is. Az első esetben egyetlen gőz van jelen és csak túltelített gőzben megy

végbe meg a folyamat, a második esetben több gőz egyidejűleg van jelen és akkor is végbemegy a folyamat, ha az egyes gőzökre a levegő nem túltelített, a harmadiknál egy részecske felületén történik a nukleáció, erre tipikus példa a vízgőz kondenzációja. A levegő szinte sohasem túltelített vízgőzzel. Mindig vannak olyan részecskék (kondenzációs magvak), amelyeken a kondenzáció a vízgőzre vonatkozó telítési gőznyomásnál alacsonyabb gőznyomáson megindul. Az utolsó esetben pedig több gőz egyidejűleg van jelen, és részecske felületén játszódik le a reakció [http://nimbus.elte.hu/oktatasi_anyagok/levegokemia/12_A_legkori_aeroszol.pdf].

A képződési mechanizmus szerint elsődleges és másodlagos aeroszolat különböztünk meg.

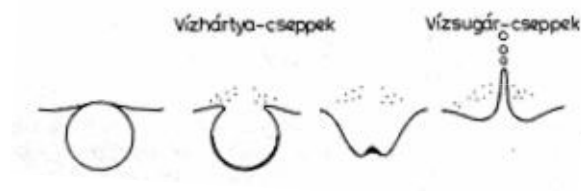
2.1.2 Elsődleges aeroszolatok

A elsődleges (primer) aeroszolat csoportját forrásuk szerint feloszthatjuk természetes és antropogén eredetű részecskékre. *Természetes eredetű* a por, amelynek leglátványosabb formája a porfelhők, porviharok kialakulása, itt valószínű, hogy a részecskéket rendezetlen turbulens mozgások juttatják a levegőbe. Az ily módon képződött durva részecskék egy része a források közelében visszahullik a felszínre. A szélerózió hatására keletkező aeroszol részecskék általában vízben oldhatatlan anyagokból állnak. Eredetük az ún. dúsulási tényező (*EF*) segítségével adható meg:

$$EF = \frac{\left(\frac{X}{R}\right)_{aeroszol}}{\left(\frac{X}{R}\right)_{talaj}} \quad (2.1)$$

ahol *X* a kérdéses elem koncentrációja az aeroszolban, illetve a talajban, míg *R* az a referencia elem, amely gyakorlatilag csak a földkéregből származhat (pl. Ti, Al). Ha a dúsulási tényező 1-hez közeli szám, akkor az adott elemet talajeredetűnek tekintjük. Továbbá természetes forrásból származnak a biogén részecskék, amelyeket az élő szervezetek hoznak létre. Ezek lehetnek pollenek, gombák, baktériumok, vírusok. Ide sorolhatjuk a vulkáni hamut, ami a vulkán kitörés során kerül a levegőbe. Szemben más aeroszol forrással, a hamufelhő olyan magas, hogy a részecskék és a gázok bejutnak a sztratoszférába. Az összes ilyen részecskének erős hatása van az éghajlatra. Ehhez a csoporthoz tartozik még a tengeri só, mely keletkezésének egyik formája, hogy a szél a

hullámok tarajáról közvetlenül cseppeket repít fel, mely melyek elpárolgása révén sórészecskék kerülnek a légkörbe. Ezek a részecskék azonban általában túlságosan nagyok ahhoz, hogy sokáig a levegőben tartózkodjanak. Az aeroszol keletkezés ennél sokkal eredményesebb módja a tengerfelszínre érkező gázbuborékok szétrobbanása (1. ábra).



1.ábra: A tengerfelszínre érkező gázbuborékok szétrobbanásakor képződő aeroszol részecskék keletkezési mechanizmusa. Forrás: Mészáros, 1997

A buborékok a vízhártya szétrobbanásakor először aránylag kis cseppet hoznak létre. Ezt követően a hártya felületi energiája kinetikus energiává válik. Ennek hatására kicsiny vízszugár lövődik ki, amely kisszámú, nagy részecske keletkezéséhez vezet. A keletkező részecskék száma a buborék nagyságának függvénye: minél nagyobb a buborék, annál több részecske képződik. Ezen felül a buborékképződés a szélesség növekedésével egyre valószínűbbé válik [Mészáros, 1997].

Az emberi tevékenység révén kibocsátott részecskéket nevezzük *antropogén eredetűnek*. Ebbe a csoportba tartoznak az ipari, mezőgazdasági eredetű porok, további prekursor molekulák (olyan vegyületek, amelyekből biokémiai folyamatok során jelentős szerepű végtermék alakul) a színesfém kohászat esetében a légkörbe kerülő réz, cink, kadmium; széntüzelésnél arzén, antimon, higany; olajtüzelésnél nikkel, vas, elemi szén; hulladékégetésnél kadmium, réz, mangán, szerves anyagok; közlekedésnél ólom, nehéz szénhidrogén illetve a biomassza égetésénél a korom és a hamu.

2.1.3 Másodlagos aeroszolak

A másodlagos (szekunder) aeroszolak szintén csoportosíthatók természetes és antropogén eredetű forrásokra.

A természetes eredetű aeroszolok többsége kéngáz reakcióból származik. A tengeri környezetben a legtöbb ként, dimetil szulfid (DMS) formájában a fitoplanktonok bocsátják ki. A DMS és a légköri alkotó elemek reakciójából kéndioxid (SO_2) keletkezik. A földön a pusztuló növényzet és az állatok is hoznak létre természetes eredetű H_2S -t, valamint a vulkánok közvetlenül is bocsátanak ki SO_2 -t. Ez a gáz további reakcióba lép, aminek következtében szulfát aeroszol részecskék képződhetnek. A természetes források termelnek széntartalmú gázokat is, melyek aeroszolat szolgáltatnak. Továbbá NO_x (nitrogén monoxid és nitrogén dioxid) vegyületet hoznak létre a nitrifikáló baktériumok, illetve a villámlás is, melynél a kisülési csatornában a hőmérséklet eléri a 30 000 Celsius-fokot, és itt könnyen felbomlanak a nitrogén kötéseik.

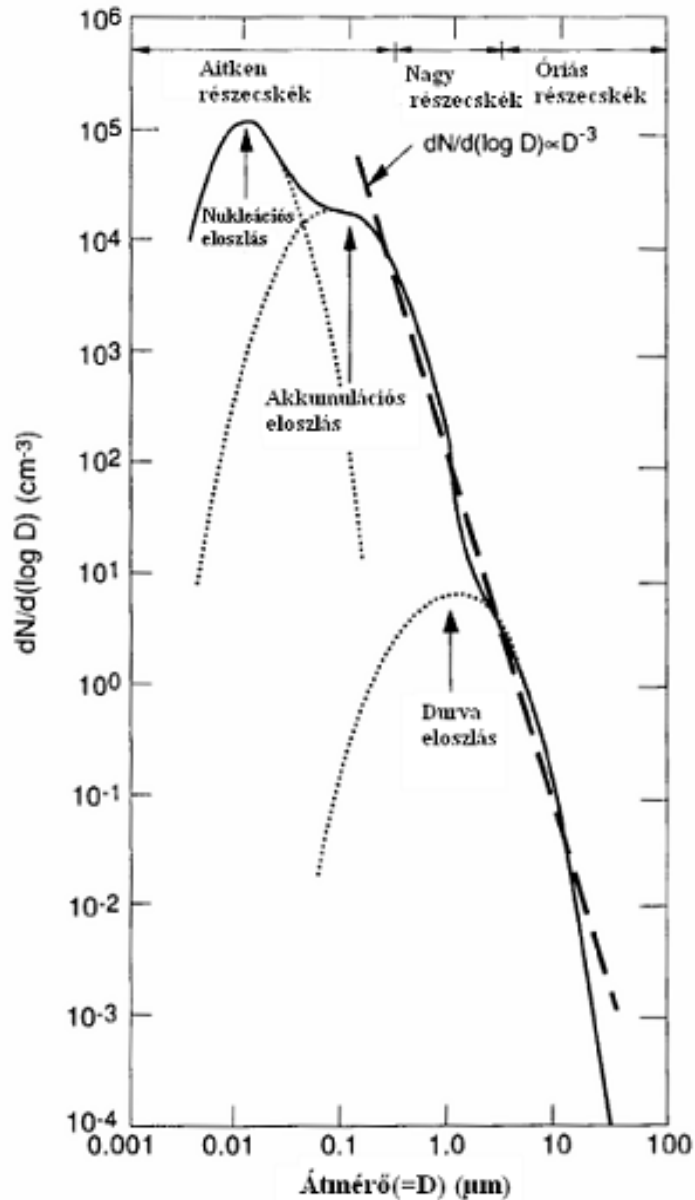
Antropogén eredetű az SO_2 , NO_x , melyek a tüzelőanyagok égetéséből származnak. Az ember évente 1860-ban 10 millió tonna SO_2 -t bocsátott ki, az 1980-as évekre ez 150 millió tonna/ év-re emelkedett. Az antropogén forrásból történő kibocsátás mára meghaladja a kéntartalmú gázok természetes kibocsátását, még akkor is, ha a nemzetközi egyezmények miatt a légköri SO_2 mennyisége csökken. Továbbá ide sorolható a VOC (illékony szerves vegyületek), ami biomassza égetése során kerül a légkörbe, ezen kívül az ammónia, mely rizstermesztéssel, állattenyésztéssel hozható összefüggésbe [Gourdeau, 2003].

2.2 Nagyság szerinti eloszlás

A légköri aeroszol részecskék száma térben és időben nagy változékonyságot mutat a troposzférában. Ez egyrészt a források, illetve nyelők erősségének, másrészt a keveredési és szállítási folyamatok hatékonyságának a függvénye. Óceánok fölött 10-100 cm^{-3} a gyakori koncentráció, míg szárazföldek fölött vidéki, közvetlenül nem szennyezett területeken ez az érték 10^3 - 10^4 cm^{-3} . A szennyezett városi levegőben a koncentráció eléri és felülmúlja a 10^5 cm^{-3} szintet. Az óceánok fölött a koncentráció magassággal való változása elhanyagolható, ellenben szárazföldek fölött a magassággal először exponenciálisan csökken, majd kb 4-5 km-en állandóvá válik és eléri az óceáni fölötti értéket [Jeanicke, 1993].

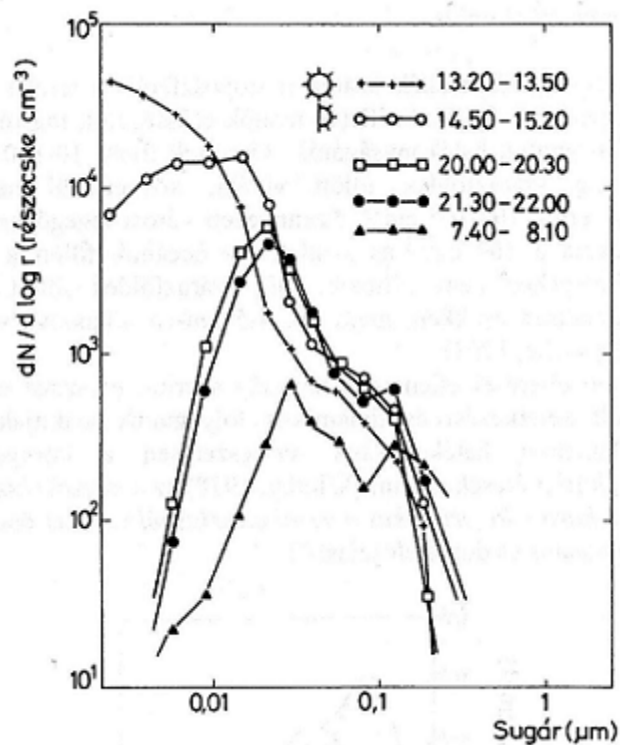
Az aeroszolok viselkedését leíró elméletek csak gömb alakú részecskéket tudnak kezelni, ezért bevezették az *ekvivalens aerodinamikai átmérőt* (EAD). A részecske átmérőjén azt az ekvivalens aerodinamikai átmérőt értjük, amit egy olyan egységnyi – a

vízzel azonos sűrűségű – gömb alakú részecske átmérőjeként írunk le, amelynek az aerodinamikai viselkedése a levegőben azonos a kérdéses részecske viselkedésével; értékét az átmérő és a relatív sűrűség négyzetgyökének hányadosa adja meg [Kertész, 2000]. Az aeroszol részecskék nagyság szerinti eloszlása három logaritmus normál eloszlásból tevődik össze: a nukleációs, koagulációs, és durva eloszlásból (2.ábra).



2.ábra. A légköri aeroszol részecskék számának nagyság szerinti eloszlása szennyezett levegőben Whitby (1978) szerint.

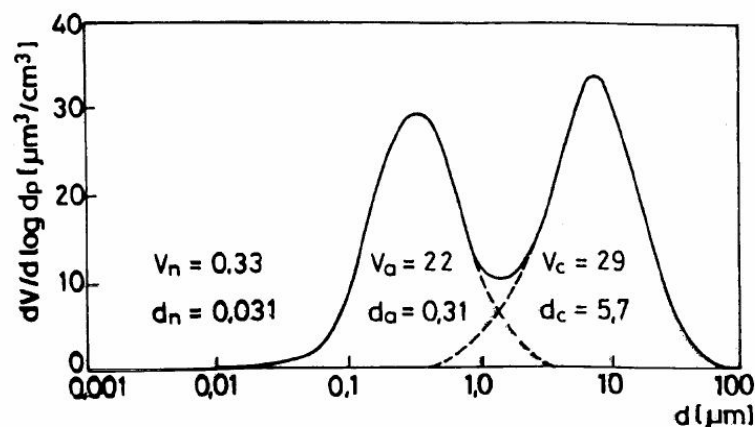
A nukleációs eloszlást nukleációval keletkező részecskék hozzák létre. Ezek tartománya 0,001–0,1 μm . Fontossága függ attól, hogy térben és időben milyen messze vagyunk az elsődleges gázok forrásaitól. Alkalmas források, így szennyezett levegő esetén a nukleációs részecskék száma nagy. A nukleációval keletkezett, nagy koncentrációjú részecskék gyorsan egyesülnek egymással, koagulálnak. A cseppfolyósodó gőznek a levegőben nincs utánpótlása, a finom aeroszol tömege koagulációval a 0,1–1,0 μm -es nagyságtartományba kerül és ott „összegyűlik”. Ezért ezt az eloszlást, mely ilyen dinamikus alakult ki, akkumulációs eloszlásnak nevezzük. Az akkumulációt tovább növeli, hogy a gőz az itt elhelyezkedő részecskékre közvetlenül kondenzálódik. Abban az esetben, ha a nukleációs részecskék száma alacsony és az akkumulációs részecskéké viszonylag magas, akkor ebből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy nincs új részecske képződés, azaz aeroszol aránylag rég keletkezett [Mészáros, 1997].



3. ábra: Az aeroszol részecskék számának (N) nagyság szerinti eloszlása a sugár (r) függvényében különböző napszakokban 1250m tengerszint feletti magasságban 1978. 05.16–17- én (Haaf and Jeanicke, 1980)

Az 3. ábráról leolvasható, hogy a déli órákban sok kicsiny, de nagy koncentrációjú részecske keletkezik. Ennek hátterében az áll, hogy a fotokémiai úton létrejött OH gyökök a különböző gázokat, mindenekelőtt a kén-dioxidot, gyorsan savgőzökké oxidálják, ami eredményes nukleációhoz vezet. A későbbi órákban, amikor a napsugárzásnak csökken az erőssége, megjelenik az akkumulációs eloszlás, amelynek csúcserőssége egészen a reggeli órákig egyre inkább a nagyobb részecskék irányába tolódik. Ezzel egyidejűleg a részecskék száma egyfolytában csökken [Mészáros, 1997].

A durva eloszlás ($>1\mu\text{m}$) a talajeredetű részecskék képződésének következménye. Ezeknek a részecskéknek a száma kellőképpen alacsony, tömegük viszont, méretüknek köszönhetően számottevő. Ezen ismeret birtokában tudjuk, hogy ha a részecskék számának nagyság szerinti eloszlását térfogati (vagy tömeg) eloszlássá számítjuk át a durva részecskék szerepe igen jelentőssé válik [Mészáros, 1997].



4.ábra. A 2. ábrán látható aeroszol térfogatának (V) nagyság (d: átmérő) szerinti eloszlása (Whitby,1978). Az ábrán d és V indexei a nukleációs (n), akkumulációs (a) és a durva (c) tartományra utalnak.

A nukleációs és akkumulációs részecskék a durva részecskékkel nem koagulálnak, ennek az oka ez utóbbiak kis száma és nagy mérete. A durva részecskék nem keverednek a nukleációs és akkumulációs részecskékkel. Eltérő keletkezésük miatt ezért a durva részecskék kémiai összetétele nem egyezik a többi részecske összetételével [Mészáros, 1997].

Mindebből következik, hogy a légkörben az aeroszol részecskék nagyság szerinti eloszlását két alapvető dinamikai hatás, a koaguláció és a gravitáció miatti ülepedés módosítja. A koaguláció az $0,1\ \mu\text{m}$ -nél kisebb aerodinamikai átmérőjű

részecskéket csökkenti. A gravitációs ülepedés az 1 μm -nél nagyobb aerodinamikai átmérőjű részecskék koncentrációját csökkenti, amelyek nagyrészt már a források közelében távoznak a levegőből, a légköri tartózkodási idejük alig pár óra. A légköri tartózkodási ideje a legmagasabb azoknak a részecskéknek, melyek 0,1 és 1 μm közötti akkumulációs módus csúcsának megfelelő mérettartományban esnek, ahol a nyelő folyamatok sebessége kicsi. A felhőcseppekbe jutva a csapadékkal összegezve, nedves ülepedéssel távoznak a levegőből, és légköri tartózkodási idejük a víz tartózkodási idejével hasonló, ~5–7 nap. A viszonylag rövid tartózkodási idő miatt az aeroszol térbeli és időbeli eloszlása nem egyenletes a légkörben [Mészáros,1997].

2.3. Aeroszol részecskék hatása

2.3.1 Légekőrfizikai, környezeti hatások

Az aeroszol különböző módokon hat a Föld sugárzási mérlegére: egyrészt közvetlenül, a napfény és a hősugárzás szórása vagy elnyelése által, másrészt közvetve, a felhők mikrofizikai és optikai tulajdonságainak módosításán keresztül [Salma, 2006].

Az aeroszol részecskék két módon befolyásolják a fény terjedését. Első a *fényszórás*, ami valamely közegtől eltérő törésmutatójú, gyengén elnyelő részecskén következik be akkor, amikor a részecske a beeső fény hatására maga is fényforrássá válik, és így fényt sugároz a beeső fénytől eltérő irányokba is. A hullámhossznál sokkal kisebb méretű részecskéken (molekulákon) történő szórás ($\alpha \ll 1$) Rayleigh- szórásnak nevezzük. Ha a molekula mérete és a fény hullámhossza összemérhető nagyságúak, vagy a szóró molekula nagyobb, Mie-szórásról beszélünk [http://koll1.chem.u-szeged.hu/colloids/staff/zoli/Uzenetek/Kolloidika%20Levelezo/8a_inkoherens%20rendszerek_a_eroszolo_k_habok.pdf]. A második a *fényelnyelés*, azaz abszorpció, itt a sugárzási energia a részecskékben másfajta energiává, pl. hővé, vagy kémiai energiává alakul, esetleg a részecske az eredetitől különböző hullámhosszon sugározza azt ki. A szórás és az elnyelés együttesen pedig az *extinkció* (sugárzásgyengülés) [Mészáros, 1997].

Ezen kívül az aeroszol részecskék kondenzációs magvakként is viselkedhetnek, így szerepet játszanak a felhőképződésben is, ezáltal közvetetten befolyásolják az éghajlatot. Felhők a levegő feláramlásánál képződnek, az emelkedő levegő

adiabatikusan hűl, benne a vízgőz telítetté válik, ami a kondenzáció megindulásához vezet. A levegőben a kondenzáció mindig az aeroszol részecskéken, ún. *kondenzációs magvakon* megy végbe. Minden részecskéhez kötődik egy kritikus túltelítettség, amelyet mikor elér a részecske aktívvá válik. Ez az érték fizikai és kémiai természetük függvénye. Minél nagyobb a részecske sugara, annál nagyobb az a túltelítettség, amelyen a kondenzációban aktívvá válik [Mészáros, 1997].

Magas számú antropogén aeroszol részecske és a vízgőz kölcsönhatásának fejleményeként több és kisebb effektív átmérőjű felhőcsepp alakul ki egyenlő mennyiségű vízgőz esetén. Az ilyen felhők „fehérebbek” és nagyobb mértékben verik vissza napfényt a világűrbe (első közvetett hatás), élettartamuk nagyobb, csapadékképződésnek pedig kisebb a valószínűsége (második közvetett hatás). Az aeroszol éghajlati hatásai előidézik a Föld felszínének hűtését, míg a légoszlop melegedését, amelyek befolyással vannak a hőmérséklet függőleges eloszlására (harmadik közvetett hatás) befolyásolva ezáltal a víz globális körforgását, további légköri összetevők és állapotjelzők függőleges eloszlását, transzportfolyamatait és dinamikáját [Salma et al., 2006].

Csapadékképződésnek nevezzük azt a folyamatot, ha a viszonylag nagy koncentrációjú (100 cm^{-3}) kicsiny sugarú ($10 \text{ }\mu\text{m}$) felhőelemekből kis koncentrációjú (100 m^{-3}) és jelentős méretű ($0,1\text{--}1 \text{ mm}$) esőcseppek keletkeznek. A csapadékképződés hatékonyan vonja ki az aeroszol részecskéket a levegőből, nedves ülepedéssel, illetve a felhő alatti térrészben a kimosódással, ezzel a légkör öntisztul.

2.3.2 Egészségügyi hatások

Aeroszol részecskék leginkább léggéssel jutnak a szervezetünkbe. Jótékony vagy káros egészségügyi hatásait a részecskék, valamint a légzőszervek fiziológiai, fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságainak komplex rendszere, és kölcsönhatásaik mechanizmusa befolyásolja. Az aeroszol részecskék koncentrációja, kémiai összetétele és mérete, valamint különböző egészségkárosodási mutatók között közvetlen összefüggést találtak az elmúlt években. Az említett hatások forgalmas nagyvárosok, városrészek vagy iparvidékek szennyezett levegőjében és levegőcsóvájában jelentősek, mert az antropogén perturbáció általában ilyen területeken koncentráltabb vagy

nagyobb. A városi agglomerációt egyben nagyszámú lakos és gyakran értékes épített környezet is jellemzi, így az esetleges káros hatások jelentős népességet és kulturális örökséget érintenek [Salma et al., 2006].

Budapest esetében az alapvetően közlekedési eredetű nitrogén-oxidok (nitrogén-dioxid) mellett az inkább közlekedési eredetű szállópor-kibocsátás több mint 75 százaléka a gépjárműforgalom eredménye. A közlekedési eredetű levegőszennyezés (magában foglalva a szálló por szennyezettséget is) a forgalmas utak mentén élő lakosság körében nagyobb mértékben fejti ki a káros hatásokat. A nem fűtési évszakok során a légköri aeroszol és a legtöbb szerves aeroszol faj összefügg a durva részecskék jelenlétével a város területén. A belváros átlagosan három-négyszer szennyezettebb durva aeroszol részecskék által, mint a külváros, de a koncentráció szintje jelentős tér- és időbeli változékonyságot is mutat. [Salma, et al., 2001; Schneider et al., 2005].

Az ipari kibocsátás (például erőművek, szolgáltatások) részaránya mintegy 10 százalék, továbbá a lakossági egyedi fűtés kibocsátása is gyakorlatilag mintegy 10 százalékot eredményez. A szálló por veszélyessége összefüggésben van annak szemcseméretével, így a 10 mikrométernél kisebb részecskék (PM_{10}) veszélyesebbek az egészségre, mint a nagyobbak. A 2,5 mikrométernél kisebb átmérőjű finom porszemcsék ($PM_{2,5}$) alkotják a belélegezhető frakciót, ezek lejutnak a tüdő lég hólyagocskába. A $PM_{2,5}$ porfrakció másodlagosan keletkezett aeroszolókból, égési termékekből és kondenzálódott szerves vagy fém részecskékből áll, és a szállópor mutagén hatásáért, valamint savasságáért felelős. A 10 mikrométernél nagyobb porrészecskéket a légutak természetes védekező működése (csillósőrös hámja) kiszűri. A porrészecskék baktériumokat, vírusokat, gombákat, valamint toxikus anyagokat kötnék magukhoz, és elősegítik azok bejutását a szervezetbe. Az egyik legkárosabb porforrás az aktív dohányzás, és ennek hatásaképp a dohányzás passzív szenvedői is jelentős ártalomban részesülhetnek.

Az aeroszol lehetséges egészségkárosító hatásai: izgatja a szem kötőhártyáját, a felső légutak nyálkahártyáját, köhögést és nehézlégzést válthat ki, majd a tüdőben felszívódva gyulladáshoz vezet, indíthat el. Növekszik az asztma és a krónikus légzőhurut miatti orvoshoz fordulás, illetve a szív-érrendszeri megbetegedések száma. A por belégzése a légzőszervi betegek állapotát súlyosbítja (különösen asztma,

hőrgyulladás esetében), csökkenti a tüdő ellenálló képességét a fertőzésekkel, toxikus anyagokkal szemben.

Veszélyeztetett népességcsoportok: légúti és keringési betegségben szenvedők, csecsemők, gyermekek és időskorúak, aktív és passzív dohányosok.

Javasolt elővigyázatossági intézkedés: elsősorban a veszélyeztetett népességcsoportokba tartozók kerülnek a jelentős gépjárműforgalom által érintett tereket, útszakaszokat [http://www.met.hu/levegokornyezet/Egeszsegugyi_hatasok.pdf].

Határértékek:

A szálló porra vonatkozó határértékeket az 1. táblázat mutatja.

[µg/m ³]		Egészségügyi határérték	Tájékoztatási küszöbérték	Riasztási küszöbérték	Az eü. határérték túllépésének évenként tűrhető esetszáma	Éves átlag határértéke
Szálló por (napi átlag)	PM ₁₀	50	75**	100***	35	40

1. táblázat: A szálló porra vonatkozó határértékek

Forrás: <http://www.met.hu/omsz.php>

Egészségügyi határérték: tartós egészségkárosodást nem okoz, és amelyet az emberi egészség védelme érdekében a jogszabályban meghatározott módon és időn belül be kell tartani. Elérése és túllépése veszélyes légszennyezettséget eredményez.

Tájékoztatási küszöbérték: a légszennyezettségnek egyes légszennyező anyagok tekintetében a lakosság egyes érzékeny (gyermek, időskorú, beteg) csoportjaira megállapított szintje, amelynek túllépése esetén a lakosságot Budapesten a Fővárosi Önkormányzatnak tájékoztatni kell. Elérése és túllépése enyhébb intézkedéseket jelentő, tájékoztatási fokozatú szmog helyzetet eredményez.

Riasztási küszöbérték: a légszennyezettség azon szintje, amelynek rövid idejű túllépése is veszélyeztetheti az emberi egészséget, és amelynél azonnali beavatkozást kell tenni. Elérése és túllépése forgalomkorlátozással járó intézkedéseket jelentő, riasztási fokozatú szmog helyzetet eredményez.

A szmogriadó tájékoztatási, vagy riasztási fokozatát akkor kell elrendelni, ha három mérőállomáson, egy időben mért légszennyező anyag koncentrációjának 3

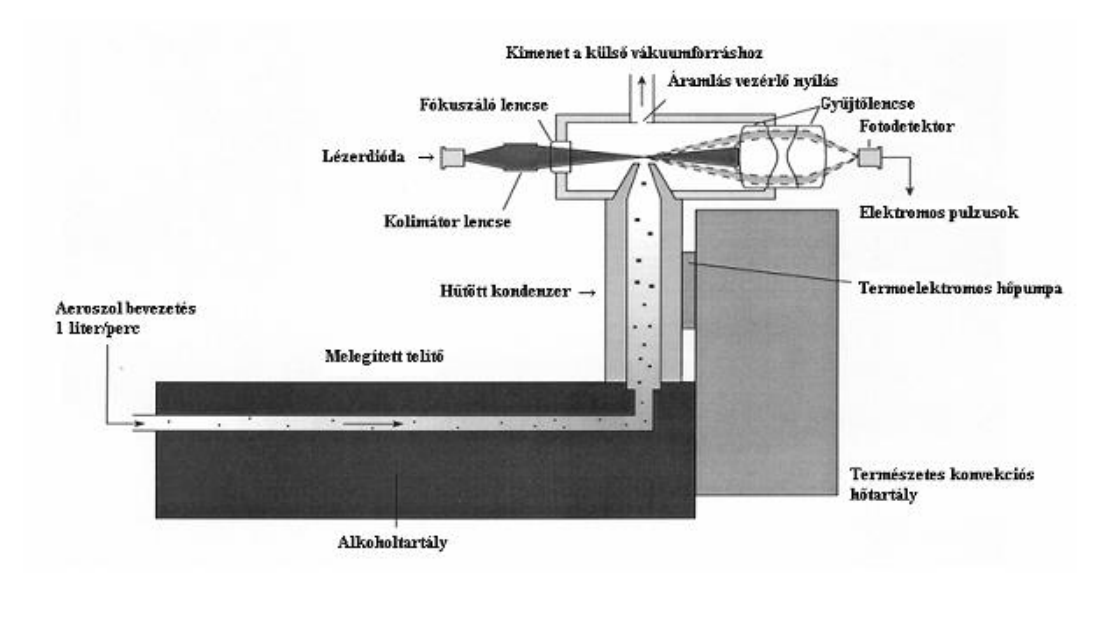
egymást követő 1 órás átlaga, illetve a szálló por (PM10) esetében 2 egymást követő 24 órás (naptári napra vonatkozó) átlaga meghaladja a határérték rendeletben rögzített tájékoztatási vagy riasztási küszöbértéket és teljesülnek a határérték rendelet további feltételei [<http://www.met.hu/omsz.php>].

3. A légköri aeroszol mintavétele és mérése

Az aeroszol részecskék mintavétele többnyire szűrőn keresztül történik, mely lehet teflon, papír vagy üvegszál is. Az üvegszövet filterek jól használhatók szénhidrogének hiányában a mintavételezéshez, de kémiaiag agresszív folyadékközegnek nem tud ellenállni, így elszennyezné a mintát. A gamma sugárzással méretpontos pórusokkal rendelkező PC vagy Teflon membránok jók folyadékok vákuumszűrésére, de elektrosztatikus töltésük és kis mechanikai szilárdságuk aeroszol alkalmazásnál gondot jelenthet. A térfogati szűrőközegeknek (pl. üvegszövet) mindig jelentősen nagyobb a kapacitása és erősebben kötik a részecskéket, mint a membránok. [Galbács, 2008].

A méréséhez felhasznált műszerek igen összetettek, az alábbiakban ezeket mutatom be.

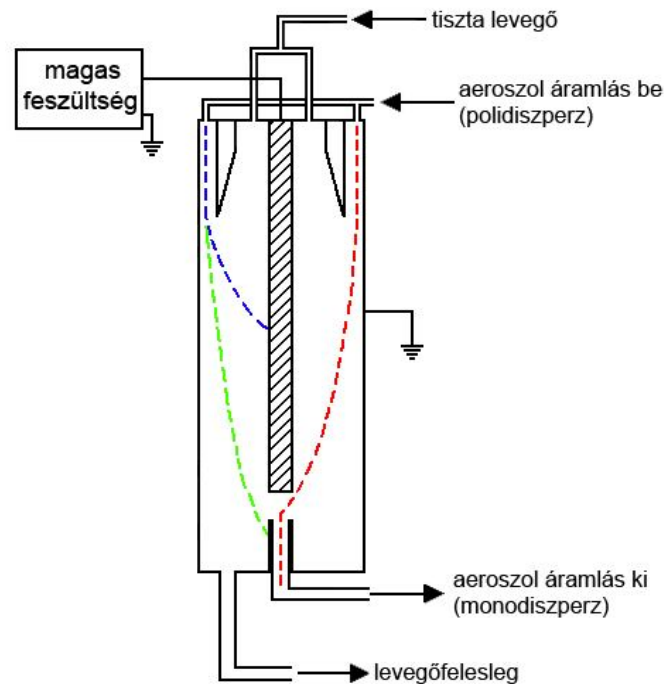
Kondenzációs részecskeszámláló (CPC): Ez a műszer a néhány nm ~kb. $1 \mu\text{m}$ átmérőjű aeroszolok számát határozza meg fényszórás mérése alapján. A detektálás előtt túltelített alkoholgőzben áramoltatják át az aeroszolókat, melynek eredményeképpen megnő a méretük. Azonban ez a méretnövekedés nem kontrollálható, az eredeti részecskék méretéről nem tudunk semmit sem mondani (5.ábra) [http://koll1.chem.u-szeged.hu/colloids/staff/zoli/Uzenetek/Kolloidika%20Levelezo/8a_inkoherens%20rendszerek_aeroszolo_k_habok.pdf]



5.ábra: A kondenzációs részecskeszámláló elvi felépítése
Forrás: Baron and Willeke, 2001.

A szórt fény intenzitása arányos a részecskék felületével, azonos felület esetén pedig a részecskék számával.

Elektromos mozgékonyaság analizátor (DMA): A műszer méret szerint elkülöníti, elektromos mozgékonyaságuk alapján frakciókba rendezi a részecskéket, az egyes csoportokat a feszültség változtatásával elkülöníti (6. ábra).



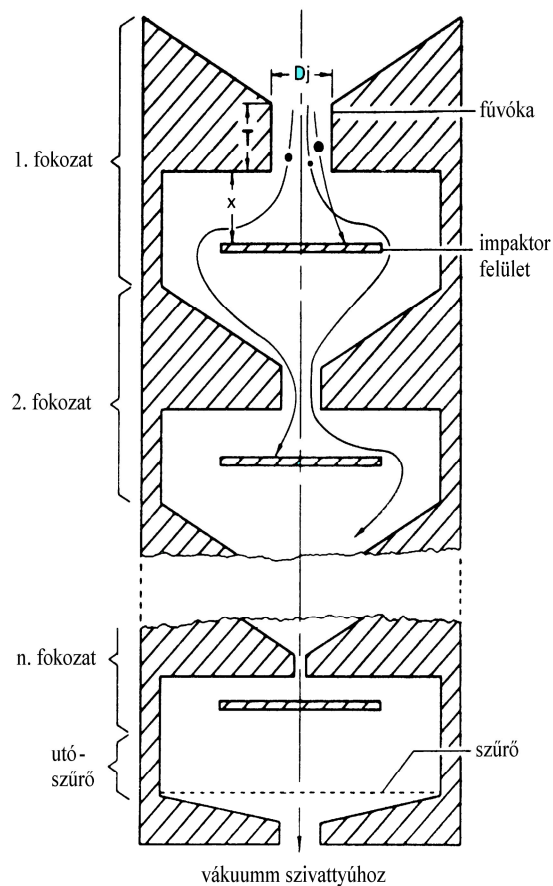
6.ábra: DMA elvi felépítése
Forrás: Dosztály, 2010.

A DMA-ba kerülő aeroszol részecskék elektromos töltését radioaktív sugárforrás közreműködésével egyensúlyi töltéeloszlássá alakítjuk, amelyet a Maxwell–Boltzmann eloszlással magyarázhatunk. A töltött részecskék az elektromos térben az elektromos mozgékonyaságuknak megfelelően mozognak, amely a részecske méretének és töltésének függvénye. Az elektromos mozgékonyaság a Stokes-törvény alapján határozható meg:

$$Zp = \frac{n * e * C_c}{3\pi * \eta * D_p} \quad (3.1)$$

ahol, Z_p az elektromos mozgékonyosság ($m^2V^{-1}s^{-1}$ egységben), n a részecske töltése, η a levegő dinamikus viszkozitása ($1,843 \cdot 10^{-5}$ Pa s), e az elemi töltés ($1,602 \cdot 10^{-19}$ C), C_c a részecskemérettől függő korrekciós tényező, D_p a részecskeméret [Borsos, 2007]. A belső elektród és a külső henger között változtatható nagyfeszültséget generálunk, ennek segítségével zajlik a részecskék szétválogatása. A közepén lévő elektród körül nagy tisztaságú levegőt áramoltatunk, és az aeroszolt tartalmazó levegőt a tiszta levegőréteg és külső henger közé vezetjük. A középső elektródon egy rés található, ahová csak a megfelelő mozgékonyssággal bíró részecskék kerülnek be, és haladnak tovább a detektorba. Ezen részecskék mérettartománya a nagyfeszültséggel szabályozható, és monodiszperznek tekinthetők [Dosztály, 2010].

Kaszád impaktor:



**7. ábra: Kaszád impaktor sematikus rajza
Forrás: Kertész, 2000.**

Méret szerint elkülönített mintasorozatokat inerciális szeparáció által nyerhetünk. Ez a műszer a levegőben lévő részecskéket aerodinamikai átmérőjük szerint osztályozza (7. ábra). Az impaktorban a levegő néhány osztályozó fokozaton halad keresztül, minden egymást követő fűvókánál egyre nagyobb sebességgel. Minden fokozat átlátszó a levegővel áramló azon részecskék számára, amelyek átmérője kisebb a fokozat aerodinamikai paramétereit által meghatározott kritikus értéknél. Azok a részecskék, amelyek nem felelnek meg ezen paramétereknek, becsapódnak a fokozathoz tartozó ütközési felületbe, amely egyúttal mintatartó alapként szolgál. Az egyes fokozatokon befogott részecskék mérettartománya, függ az adott fokozat előtti fűvóka átmérőjétől, a fűvóka és az impaktor felület távolságától, és az előző fokozat befogási jellemvonásaitól. Konstans szívósebesség és egyre kisebb átmérőjű fűvókák kombinációja eredményeként a levegőminta sebessége egyre nagyobb lesz, ahogy végig megy a mintavevőn, és egyre kisebb méretű részecskék rakódnak le az egymást követő fokozatokon.

Azokat a részecskéket, amelyek az utolsó fokozaton is áthaladnak, egy utószűrővel lehet összegyűjteni. Kaszkád impaktorokkal gyűjteni lehet nedves és szilárd részecskéket is. Az egyes méretfrakciók súlya mérhető, és a részecskéket könnyen el lehet távolítani a mintatartóról további vizsgálatok céljára.

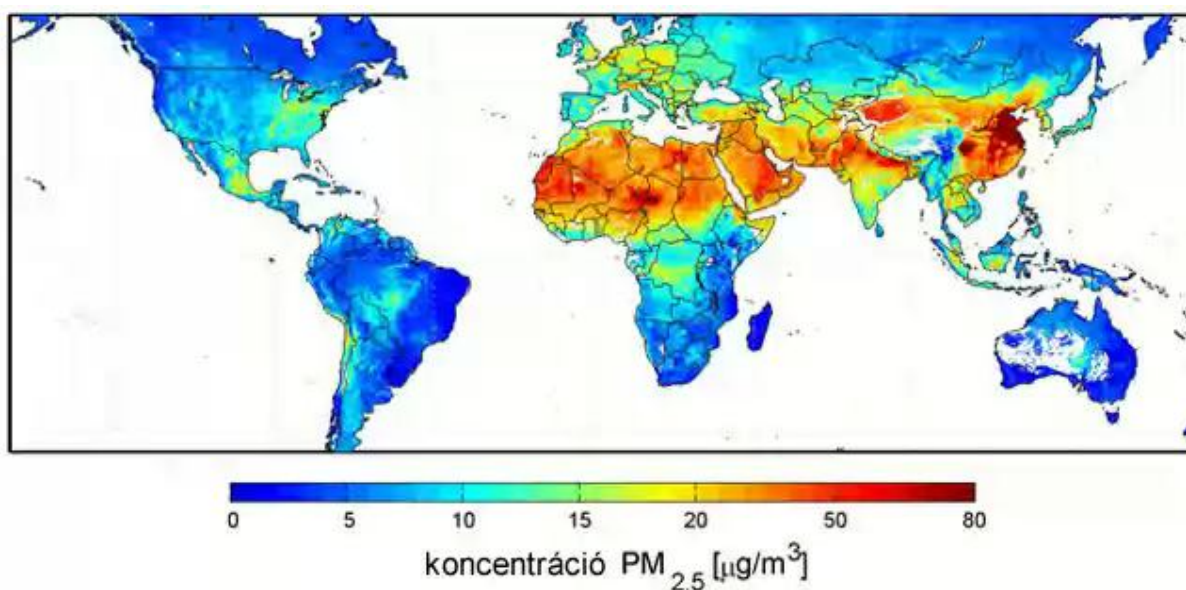
A kaszkád impaktorok különösen jól használhatók egészségügyi vizsgálatoknál. A részecskék magatartását és a különböző impaktor fokozatokon történő leválasztódását reprezentatívnak tartják az emberi légzőrendszerbe kerülő részecskék viselkedésének leírására [Kertész, 2000.].

4. A szálló por területi eloszlása

4.1. A szálló por eloszlása a Föld egyes régióiban

A 2,5 μm -nél kisebb mérettartományba eső részecskéknek az eloszlását a légkörben már nemcsak felszíni mérőállomásokkal, hanem mesterséges holdakkal is nyomon tudják követni. Az eddigi műholdas méréseket nehezítette a különböző légrétegekben lebegő szemcsék szétválasztása az adatsorokban, ezen kívül kellemetlenséget okozott a fényes felszíni területek(sivatag, hómező) és a felhők jelenléte.

Ezen problémák miatt van Donkelaar and Martin (2010) a NASA műholdas méréseit alapul véve készítettek el azt a térképet, mely megbízhatóbb elődeinél és információt ad a lebegő aeroszol eloszlásáról az egész Földre vonatkozóan. Az adott szemcsék függőleges eloszlásának megállapításához a Terra és Aqua műholdak adatait számítógépes szimulációval egyesítették.



8.ábra: Globális "portérkép" a 2001 és 2006 közötti időszakra. A koncentrációt mikrogramm/köbméterben mutatja a skála [van Donkelaar and Martin, 2010]

A 8. ábra a PM_{2.5} légköri sűrűségét szemlélteti, a 2001–2006 közötti időszakban történt megfigyelések alapján. Feltűnően magas értékek figyelhetők meg a Szahara területénél, melyért elsősorban a sivatagi szél felelős, illetve Délkelet-Ázsia

partvidéki térségeiben, ahol sokkal inkább az antropogén források(közlekedés, ipar) tehető felelőssé. Európát tekintve a sűrűn lakott és iparosodott területek mutatnak nagyobb koncentrációt. Ezek a részecskék a légköri mozgásoknak köszönhetően nagy távolságokra is eljutnak, a fenti térképen főleg kelet felé szállítódás látszik. Egy adott térségnek a meteorológiai adottsága is közre játszik a PM 2,5 magasabb koncentrációjában. Ilyenek a szélesendes, csapadékmentes, anticiklonális időjárású vidékek (pl. Pó folyó völgye) [Kereszturi, 2010].

4.2 Magyarország szállópor helyzete

Magyarországon 1997 óta végeznek PM 10-re vonatkozó méréseket. Budapesten a PM 10 terjedésére végeztek modell futtatást és méréseket 1999–2001 között az ELTE és az OKI (Országos Környezetegészségügyi Intézet) részvételével (Bozó et al., 2003). Arra az eredményre jutottak, hogy a PM 10 közlekedési kibocsátásból származó értéke az összes szállópor-koncentrációnak a 11–17%-át adja, továbbá 65–70%-ot képez a szemétegetőkből származó részecskék kibocsátása.

A PM 2,5 koncentrációját hazánkban csak egy állomáson mérik folyamatosan, a XVIII. kerületi Gilice téri állomáson. Az itt mért értékek a városi háttérkoncentrációt adják meg, amelyek tükrözik a város hatását, de nem a legforgalmasabb, legszennyezettebb városi értékeket mutatják. Az Európai Környezeti Ügynökség jelentése alapján a budapesti érték az európai városok mért értékeinek viszonylatában a középmezőnyben helyezkedik el. Antwerpen, Brüsszel, London hasonló értékeket mutat, míg például Milánóban magasabb értékeket mértek [Kereszturi, 2010].

2008-as adatok szerint Magyarországon fontossági sorrendben a közlekedés, a lakossági tüzelés (kazánok, kályhák), a fémkohászat, a mezőgazdaság és erdőgazdálkodás, valamint a cementgyártás voltak a fő PM 2.5 kibocsátók. Ennek eredményeként a városokban a PM 2.5 koncentrációja télen, a fűtési időszakban kétszerese is lehet a meleg évszakokban mért értékeknek [Kereszturi, 2010].

Hazánk nagyobb városaiban igen kedvezőtlen a levegő szálló por koncentrációja, elég gyakoriak a határérték túllépések, főként télen, a fent említett okok miatt. A legveszélyeztetettebb települések: Budapest, Miskolc, Dorog.

Az egészségügyi határértékről már volt szó, azonban meg kell említeni, hogy a PM 10-re előírt évenkénti határérték túllépésének túrhető esetszáma 35 nap, melyet

Budapest minden évben átlép, még hozzá elég jelentősen, 2004-ben 142, 2005-ben és 2006-ban 163, 2007-ben pedig 110 nappal lépte át e küszöbértéket. Ennek fényében a kormány egy határozatot terjesztett elő, mely szerint, akár 15%-kal is csökkenthető a PM 10 kibocsátása. Programjukban leírják a levegőminőség javulásához szükséges tennivalókat, ezek hatásait és a végrehajtás menetrendjét. A kormányhatározat végrehajtásával javulhat a levegő minősége az egész ország területén, és jobban érvényesülhet a lakosság egészséges környezethez való joga [<http://www.muszakiforum.hu/kornyezetvedelem>, 2011].

5. Budapesti mérőhálózat

5.1 Légszennyezettségi mérőállomások Budapesten



9. ábra: Budapesti mérőállomások földrajzi elhelyezkedése
Forrás: Baranyiné, 2010

Budapesten összesen 11 mérőállomás található (9. ábra), melyek közül van amelyik imissziós – városi háttér – mérőállomás (ilyen például a II. kerületi Pesthidegkút, vagy a VIII kerületi Teleki téren elhelyezett állomás), illetve közlekedési emissziós mérőállomás (többek között a II. kerület Széna téri állomása (10. ábra), vagy a XI: kerület Kosztolányi Dezső téri állomás).



10. ábra: Széna téri légszennyezettségi máróállomás

A mérőpontok helyének kiválasztásához figyelembe kell venni az emberi egészség védelmét és az ökológiailag sérülékeny területek védelmét.

„A mérőpont kialakításának szempontjai:

1. A mintavevő szonda bemenete körüli áramlást ne korlátozza semmilyen tényező.
2. A mintavételi pont bemenő nyílásának a talaj felett általában 1,5 méter (a légzési zóna) és 4 méter közötti magasságban kell lenni (talajközeli mintavétel). Bizonyos körülmények között magasabb elhelyezésre (8 méterig) is szükség lehet. A magasabb elhelyezés akkor indokolt, ha az állomás nagy területre reprezentatív.
3. A mintavevő szonda bemenő nyílását nem szabad a források közvetlen közelében elhelyezni, hogy elkerülhető legyen a fel nem hígult, közvetlen kibocsátás befolyása.
4. A mérőpont kivezető nyílását úgy kell kiképezni, hogy a kibocsátott levegő ne áramoljon vissza a mintavevőbe.
5. A közlekedési kibocsátásokat vizsgáló mérőpontot úgy kell elhelyezni, hogy bármelyik szennyezőanyag mérése esetén, a főbb forgalmi csomópontoktól legalább 25

méterre és a legközelebbi forgalmi sáv közepétől legalább 4, legfeljebb 8 méterre legyen.

6. A mérőpont kialakításánál a következő tényezők figyelembevétele is ajánlott: zavaró külső források, biztonság, hozzáférés, elektromos áramellátás és telekommunikációs kapcsolat elérhetősége, a helyszín láthatósága a környezete számára, a lakosság és a kezelőszemélyzet biztonsága, a különböző szennyezőanyagok mintavételi pontjainak kapcsolódó elhelyezése, tervezési követelmények.” [17/2001. (VIII. 3.) KöM rendelet; <http://www.kvvm.hu/olm/>]

5.2 Adatfeldolgozás

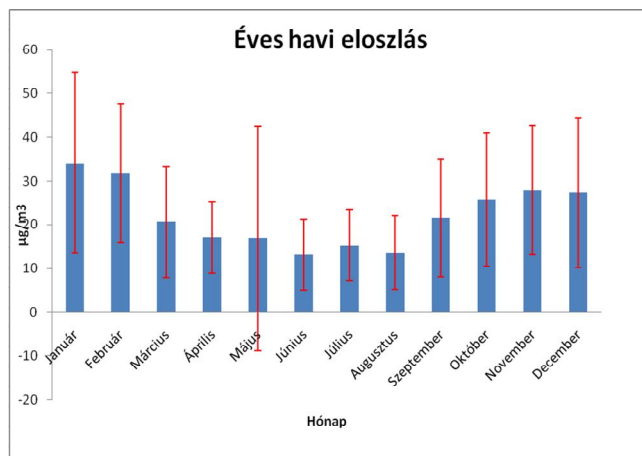
Szaktervezésemben Budapest légszennyezettségi mérőállomásainak adatelemzését végeztem a PM 10 szálló por részecskére vonatkozóan. Az szükséges adatokat a <http://www.kvvm.hu/olm/> oldalról töltöttem le. A PM 10 koncentrációját 2009.09.14. és 2010.09.14. között elemeztem.

5.2.1 PM 10 havi eloszlásai

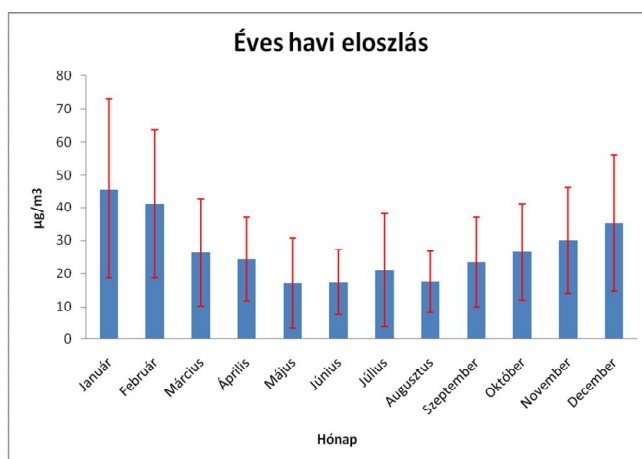
A következőkben 6 állomás éves havi PM 10 eloszlásának ábrái láthatóak. Az októberi, novemberi, decemberi hónapok 2009-es adatokat tartalmaznak, ezt követően a januári hónaptól már 2010-es adatokat mutatnak be.

A 11., 12. és 13. ábrák Budapest külvárosában elhelyezett mérőállomásainak adatait mutatják (Budatétény, Gilice tér, Pesthidegkút), a 14., 15. és 16. ábrák pedig belvárosi állomásokon mért értéke alapján készültek (Teleki tér, Széna tér, Kosztolányi Dezső tér).

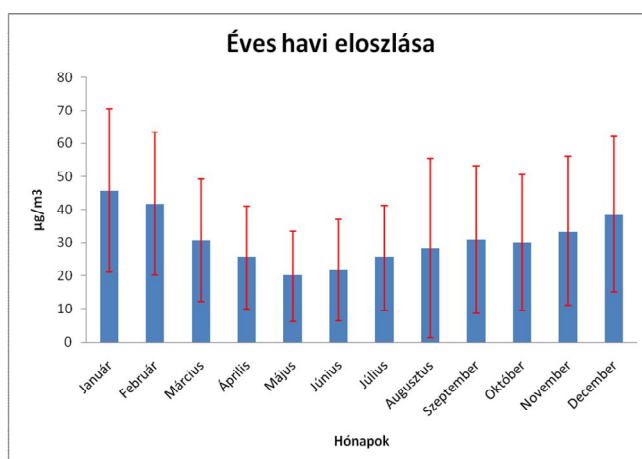
Az ábrák alapján megállapítható, hogy a belvárosban évszaktól függetlenül mindig magasabb a PM 10 koncentrációja. Ezt befolyásolja a közlekedés, illetve a lakó épületek közelsége is. A gépjárművek több módon is emittálnak aeroszol részecskéket a légkörbe. Egyrészt az üzemanyag tökéletlen égéséből származó finom méretű koromszemcsék formájában, másrészt hozzájárulnak a PM 10 kibocsátáshoz a fékbetétek és a gumi futófelületének kopásából eredő porrészecskék [Salma et al, 2006].



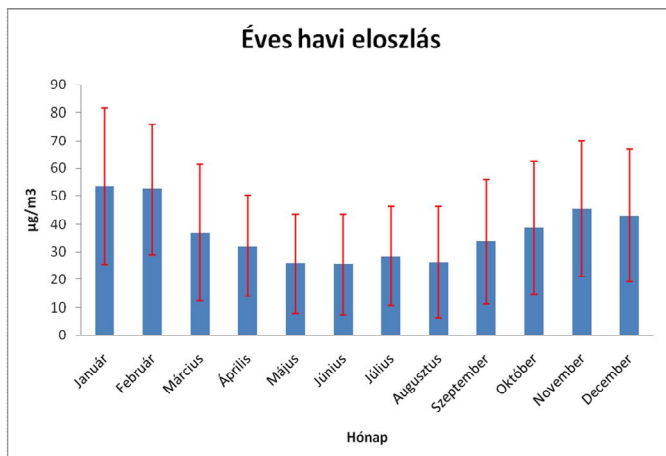
11. ábra: A szálló por koncentrációjának havi átlagértékei és szórása 2009.09.14 és 2010.09.14. között Budatétény állomáson.



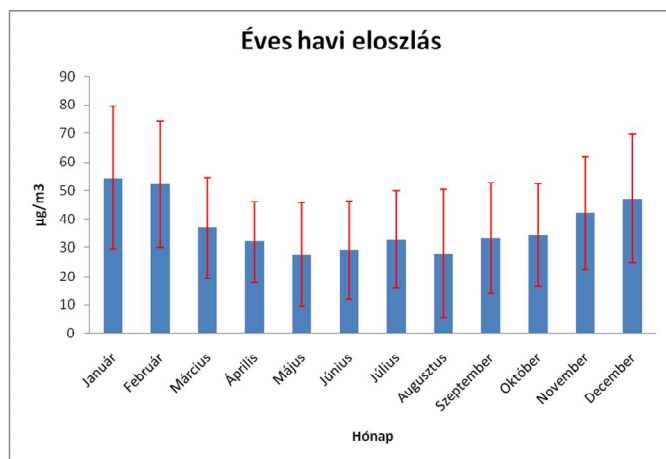
12. ábra: A szálló por koncentrációjának havi átlagértékei és szórása 2009.09.14 és 2010.09.14. között Gilice-tér állomáson.



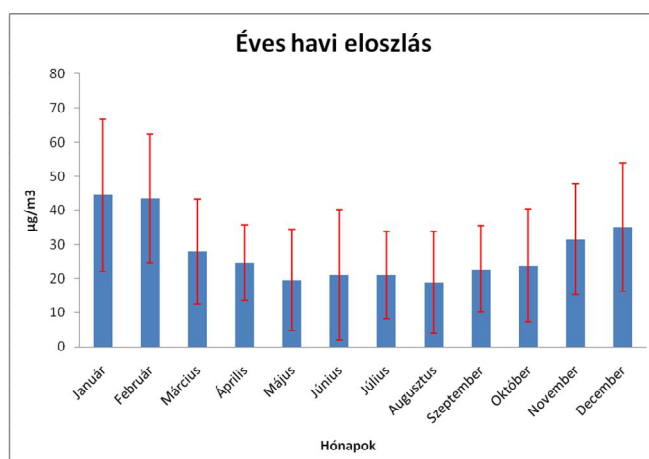
13. ábra: A szálló por koncentrációjának havi átlagértékei és szórása 2009.09.14 és 2010.09.14. között Pesthidegkút állomáson.



14. ábra: A szálló por koncentrációjának havi átlagértékei és szórása 2009.09.14 és 2010.09.14. között Teleki tér állomáson.



15. ábra: A szálló por koncentrációjának havi átlagértékei és szórása 2009.09.14 és 2010.09.14. között Széna tér állomáson.

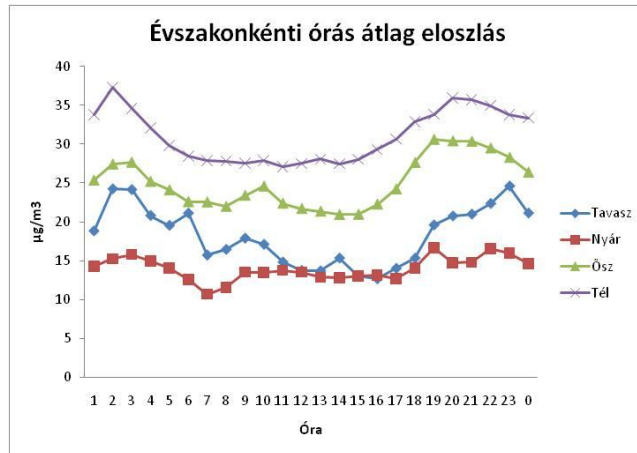


16. ábra: A szálló por koncentrációjának havi átlagértékei és szórása 2009.09.14 és 2010.09.14. között Kosztolányi Dezső tér állomáson.

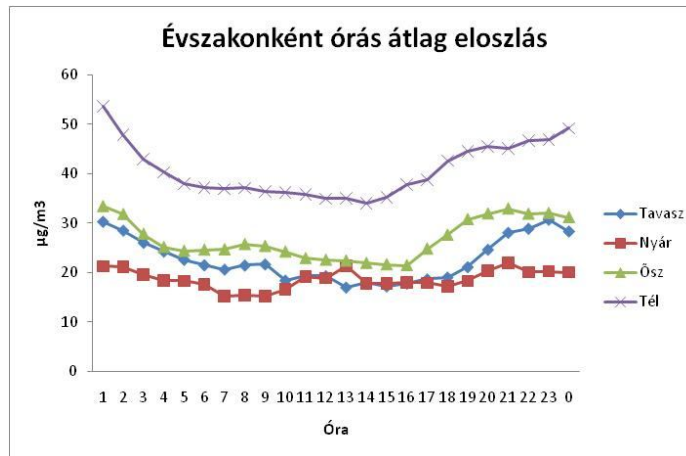
A hat diagramot összevetve látható, hogy a legmagasabb értékek a téli időszakban fordulnak elő, ilyenkor 40–50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -t is eléri a szálló por átlagos koncentrációja, ami megközelíti, néhol meghaladja az egészségügyi határértéket (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - napi átlag). Ez, mint már említettem köszönhető a fűtési szezonnak, illetve a alacsony planetáris határretegnek, melynek szerkezetét a felszínről induló turbulens örvények és a légkör stabilitási viszonyai határozzák meg. Ez Magyarországon télen 300–600 m, ezzel szemben nyáron 1500–2000m között mozog. A nyári alacsony koncentráció oka lehet még a határreteg vastagságának emelkedése, az erősebb turbulens átkeveredés, továbbá, hogy sok ember a fővárosban csak tanév alatt tartózkodik és használja gépjárművét, illetve az üdülő szezon miatt elutazó emberek is csökkentik a PM 10 emisszióját. A piros vonal az oszlopokban a szórást jellemzi.

5.2.2 PM 10 órás eloszlásai

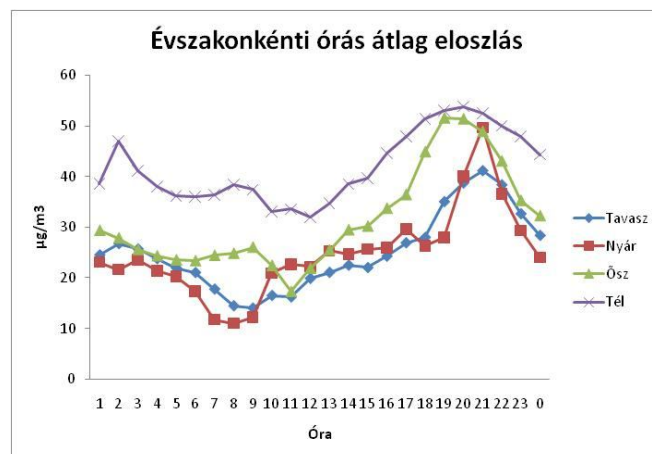
E fejezetben bemutatom a PM 10 méretfrakciójú részecskék évszakos eloszlását, melyet egy nap óráinak átlagos értékére lebontva vizsgáltam. Az alábbiakban az előző fejezethez azonos tematikával 6 diagramot elemzek, 3 kül- (17., 18., és 19. ábrák) és 3 belvárosi (20., 21. és 22. ábrák) légszennyezettségi mérőállomás adatai alapján.



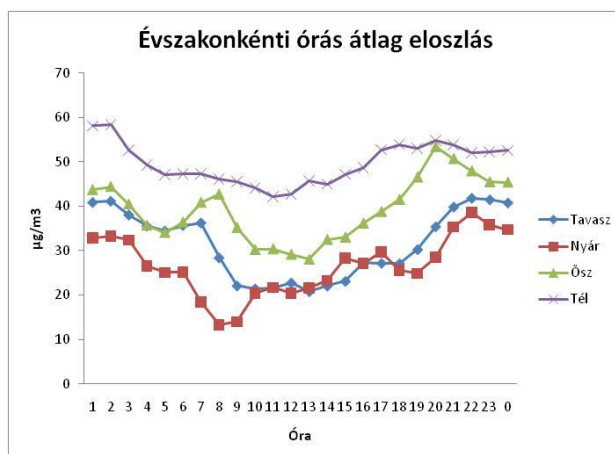
17. ábra: A szálló por koncentrációjának átlagos napi menete az egyes évszakokban 2009.09.14 és 2010.09.14. között Budatétény állomáson.



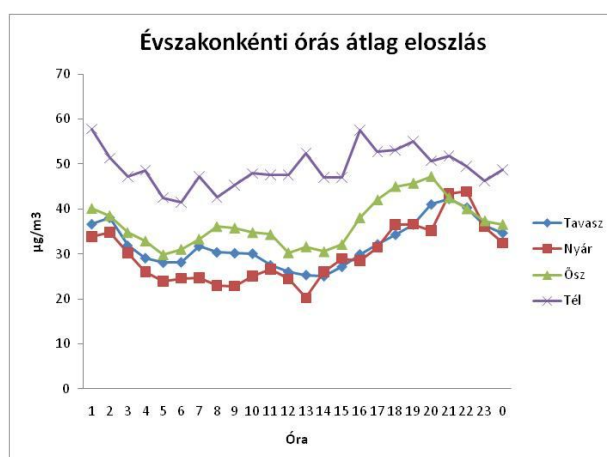
18. ábra: A szálló por koncentrációjának átlagos napi menete az egyes évszakokban 2009.09.14 és 2010.09.14. között Gilice tér állomáson.



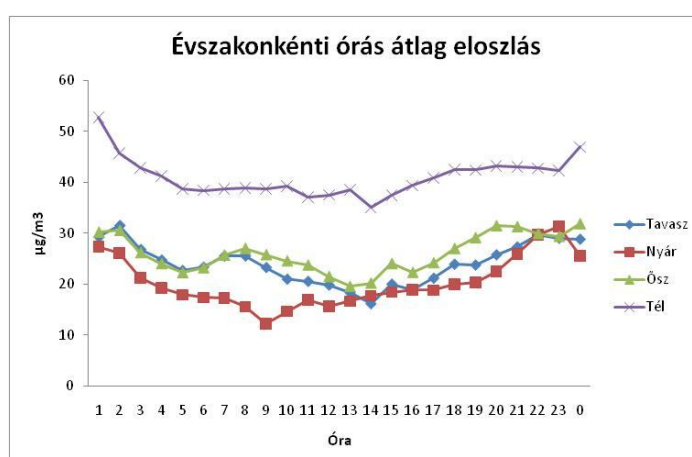
19. ábra: A szálló por koncentrációjának átlagos napi menete az egyes évszakokban 2009.09.14 és 2010.09.14. között Pesthidegkút állomáson.



20. ábra: A szálló por koncentrációjának átlagos napi menete az egyes évszokokban 2009.09.14 és 2010.09.14. között Teleki tér állomáson.



21. ábra: A szálló por koncentrációjának átlagos napi menete az egyes évszokokban 2009.09.14 és 2010.09.14. között Széna tér állomáson.



22. ábra: A szálló por koncentrációjának átlagos napi menete az egyes évszokokban 2009.09.14 és 2010.09.14. között Kosztolányi Dezső tér állomáson.

A diagrammok jól mutatják, hogy mindig a téli évszakban a legmagasabb az aeroszol részecskék koncentrációja, ezt követi az őszi, majd a tavaszi és nyári évszakok, bár az utóbbi kettőnél vannak sorrendbeli változások. Kül- és belváros tekintetében szintén azt tapasztalhatjuk, mint a havi eloszlásban, hogy az értékek alacsonyabbak a város külső pontjain. Az átlagos napi menetek magasabb éjszakai és alacsonyabb nappali értékeket mutatnak. Ez elsősorban az éjszakai planetáris határréteg alacsonyabb értékének köszönhető, ilyenkor gyengül a turbulens átkeveredés, aminek következtében feldúsúlnak a légszennyezők a talajhoz közeli légtérben. A reggeli órákban, nagyjából 6-tól 8 óráig, a város forgalma aktívvá válik, és ezáltal emelkedik a szálló por koncentrációja, majd viszonylag kis változékonyságot mutat délután 4 óráig, amikor is újból a megnövekedett forgalom miatt magasabb a koncentráció. Alkonyat után, az átkeveredés gyengülésével újra emelkedik a talajközeli koncentráció. Összeségében megállapítható, hogy a PM 10 átlagos napi menete egyrészt antropogén forrásoktól, másrészt a légkör állapotától függ.

Összefoglalás

Szaktervezésemben áttekintő képet adtam a légköri aeroszol főbb jellemzőiről. Bemutattam ezen részecskék dinamikáját, keletkezési folyamatait, méret szerinti eloszlásait. Kitértem a közvéleményt leginkább foglalkoztató hatásaira, mind környezeti, mind egészségügyi szempontból. Ezután részletesen ismertettem a szálló por méréséhez szükséges berendezések működéseit, majd a területi eloszlását is elemeztem.

Célom volt a budapesti légszennyezettség elemzése a PM 10 aeroszol részecskékre vonatkozóan. Munkám során a <http://www.kvvm.hu/olm/> oldalról letöltött adatokat használtam, melyeket a Microsoft Office Excel segítségével feldolgoztam. Hónapokra lebontva átlagos eloszlásokat készítettem, melyből kiderült, hogy télen magasabb a PM 10 koncentrációja, aminek legfőbb oka a fűtési szezon illetve a planetáris határréteg alacsonyága. Ezen kívül évszakonkénti napi menetet bemutató diagramokat is ábrázoltam, ahol a számos már megjelent tudományos publikációk eredményével azonos eredményt kaptam, mely szerint az éjszakai koncentráció magasabb a nappalinál. Napközben a nagyváros jelentős gépjármű forgalma, illetve az ipari kibocsátás a forrása az aeroszol részecskéknek, éjszaka pedig a turbulens átkeveredés hiánya, továbbá a már említett planetáris határréteg lecsökkenése emeli jelentősen a PM 10 koncentrációját.

Köszönetnyilvánítás

Hálával tartozom témavezetőmnek, Dr. Mészáros Róbertnek a munkám során nyújtott segítségért, hasznos tanácsokért és építő kritikáért.

Köszönöm családom és barátaim felbecsülhetetlen támogatását, és lelkesítését.

Irodalomjegyzék

- BORSÓS, T., 2007: Az ultrafinom légköri aeroszol méreteloszlása Budapesten és vidéki háttérhelyen. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Budapest (<http://www.chem.elte.hu/departments/tdk/arch/2007/dolgozat2007/BorsosTiborTDK.pdf>)
- BOZÓ, L., PINTO, J., KELECSÉNYI, S., 2003: Source origin and Spatial Distribution of Aerosol Particles in Budapest; Pollution and Water Resources (ed. George J. Halasi-Kun), Pécs.
- DOSZTÁLY, K., 2010: A beltéri aeroszol jellemezése egy egyetemi előadóteremben. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Budapest (http://www.chem.elte.hu/departments/tdk/arch/2010/dolgozat2010/dosztaly_katinka_tdk2010.pdf)
- GALBÁCS, G., 2008: Műszaki analitikai kémia: Mintavétel, minta előkészítés. Szegedi Tudományegyetem, Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszék ([http://www.sci.u-szeged.hu/inorg/Muszaki%20analitikai%20kemia%202010%20%20Mintavetel%20es%20mintaelokeszites%20\(ea%202-3\).pdf](http://www.sci.u-szeged.hu/inorg/Muszaki%20analitikai%20kemia%202010%20%20Mintavetel%20es%20mintaelokeszites%20(ea%202-3).pdf))
- GOURDEAU, J. 2003: Részecskék: Honnan származnak? , Environmental Science Published for Everybody Round the Earth (http://www.atmosphere.mpg.de/enid/2__R_szecskk/_Honnan_sz_rmaznak__34a.html)
- HAAF, W. and JEANICKE, R., 1980: Results of improved size distribution measurements in the Aitken size range of atmospheric aerosol. J. Aerosol Sci., 11, 321–330
- HIDY, G.M AND BROCK, J., 1970: The Dynamics of Aerocolloidal Systems. Pergamon Press, Oxford, New York, Toronto, Sydney, Braunschweig
- JAENICKE, R., 1993: Vertical distribution of atmospheric aerosols. In Nucleation and Atmospheric Aerosols (eds N. Fukuta and P.E. Wagner). A Deepack Publ., Hampton, Virginia , 417–425

KERESZTURI, Á, 2010: Porban él az emberiség négyötöde. (<http://www.origo.hu/tudomany/20101015-aeroszol-es-por-a-legkorben-eloszor-keszitetek-globalis-muholdas.html>)

KERTÉSZ, ZS: 2009: Városi és barlangi aeroszolok vizsgálata PIXE és MIKRO-PIXE módszerrel, Debreceni Egyetem, Természettudomány Kar, Debrecen. (<http://ganymedes.lib.unideb.hu:8080/dea/bitstream/2437/90412/21/ertekezes.pdf>)

MÉSZÁROS, E., 1997: Levegőkémia, Veszprém, 81–110.

SALMA, I., 2006: A Budapesti városi aeroszol összetevői, eredet és környezeti hatásai; MTA, Doktori értekezés tézisei, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Kémia Intézet, Budapest.

SALMA, I., MAENHAUT, W., ZEMPLÉN-PAPP, É., ZÁRAY, Gy., 2001: Comprehensive characterisation of atmospheric aerosols in Budapest, Hungary: physicochemical properties of inorganic species; Atmospheric Environment. 35, 4367–4378

SCHNEIDER, J., SILKE, S. HINGS, B. HOCK, N., WEIMER, S., BORRMAN, S., FIEBIG, M., PETZOLD, A., BUSEN, R., KARCHER, B., 2005: Aircraft-based operation of an aerosol mass spectrometer: Measurements of tropospheric aerosol composition; Journal of Aerosol Science, 37, 839–857

WHITBY, K.T. ,1978: The physical characteristics of sulfur aerosols. Atmospheric Environment 12, 136–159.

Internetes hivatkozások:

<http://koll1.chem.u-szeged.hu/colloids/staff/eti/oktatas/Kornyezeti%20kemia/Legkori%20aeroszolok.pdf>

http://koll1.chem.u-szeged.hu/colloids/staff/zoli/Uzenetek/Kolloidika%20Levelezo/8a_inkoherens%20rendszerek_aeroszol_habok.pdf

http://nimbus.elte.hu/oktatasi_anyagok/levegokemia/12_A_legkori_aeroszol.pdf

http://opt.physx.u-szeged.hu/oktatas/Lev_min/LM_09_10_Aeroszol.pdf

<http://www.kvvm.hu/olm/>

http://www.met.hu/levegokornyezet/Egeszsegugyi_hatasok.pdf

<http://www.muszakiforum.hu/cikk/82471/intezkedesi-program-a-szalloporkibocsatas-csokkentese-erdekeben?area=160>

http://www.petriktizsk.hu/Dokumentumok/Szakmai%20tananyagok%20vegyipari%20és%20környezetvédelmi%20területre-kiegészítve%20prezentációkkal%20és%20tanári%20kézikönyvvel!/Méréstech_gyak/MER14_TP1.ppt (*Baranyiné C Veres Anna: Levegőminőség (immisszió) vizsgálata ppt, 2010*)