

4. Légköri aeroszol időbeli változásának vizsgálata

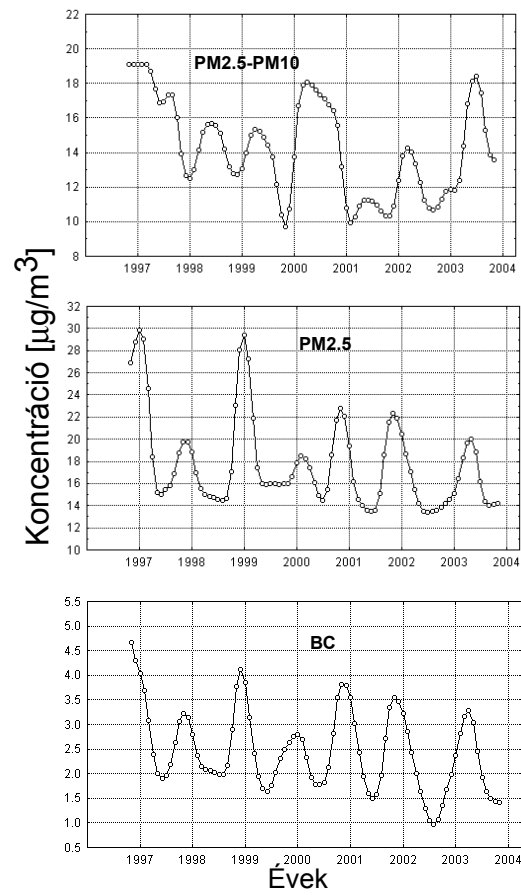
4.1 Kétfokozatú mintavevővel gyűjtött minták vizsgálata

Az ATOMKI udvarán 1996 óta történik rendszeresen, heti két alkalommal mintagyűjtés kétfokozatú „Genti típusú” mintavevővel. Az 1996-2004 közötti időtartamra kapott adatbázisból minden elemre, továbbá a teljes PM_{2.5-10} és PM_{2.5} tömegekre valamint a black carbonra havi átlagkoncentrációkat számoltam. Az így kapott átlagokat az idő függvényében ábrázolva nagyon jól lehet követni az egyes aeroszol összetevők szezonális változásait.

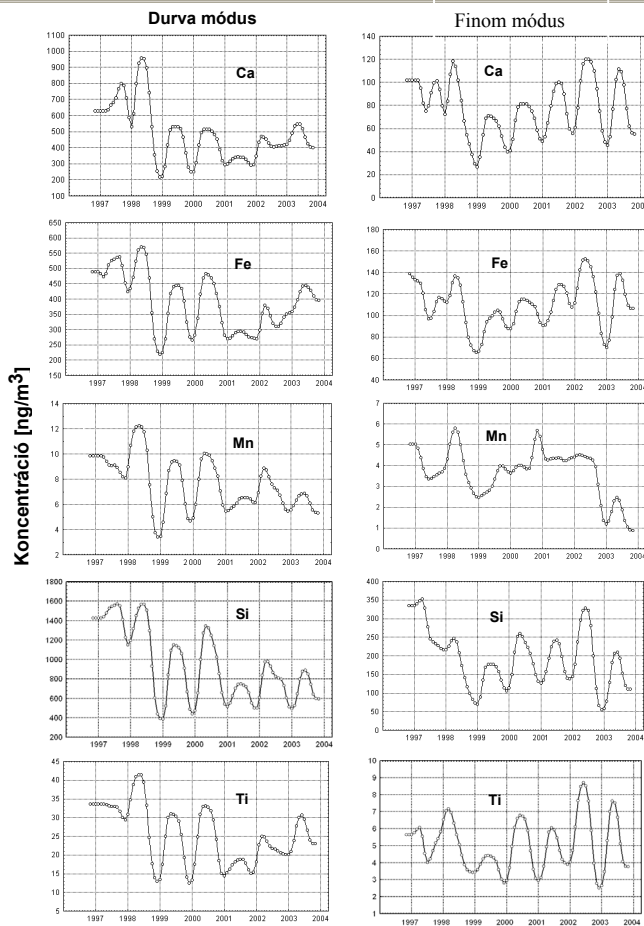
A 4.1.1. ábrán a durva, finom és black carbon koncentrációk szezonális változásai láthatók. A grafikonokról egyértelműen kitűnik, hogy a finom módusú aeroszol részecskék összkoncentrációjának és a black carbonnak telenként volt a maximuma, nyaranként a minimuma. A durva módusú aeroszol részecskék összkoncentrációja pedig pontosan fordítva viselkedett, vagyis nyáron volt maximuma, míg telenként minimuma. Ez részben azzal magyarázható, hogy télen a talajszerkezet a fagy és a hótakaró hatására megváltozik és ezáltal kevesebb részecske jut a légkörbe. Az 1996-2004 közötti teljes időszakban a PM_{2.5} és black karbon egyértelmű csökkenő tendenciát mutatott. A PM_{2.5-10} is határozott csökkenést mutatott az 1996-2000 közötti időszakban, majd ezt követően egyértelműen növekedett.

A 4.1.2. ábrán több elsősorban természetes eredetű elem szezonális változásai láthatóak. Mindegyikre teljesül, hogy a havi átlagkoncentrációknak szezonálisan nyáron volt a maximuma és télen volt a minimuma a finom és durva módusnak egyaránt. A hosszú távú tendenciákat figyelve a kalcium és vas esetében 1996-2000 között csökkenő, míg 2000-2004 között növekedő tendenciát mutattak az átlagkoncentrációk mindkét mérettartományban. Szilícium és titán esetében is csökkenő volt az átlagkoncentrációk tendenciája 1996-2000 között,

viszont 2000-2004 között stagnált. Mangán esetében nem volt megfigyelhető egyértelmű növekedés vagy csökkenés egyik mérettartományban sem.



4.1.1. ábra Durva (PM2.5-10), finom (PM2.5) és black carbon (BC) szezonális változása.

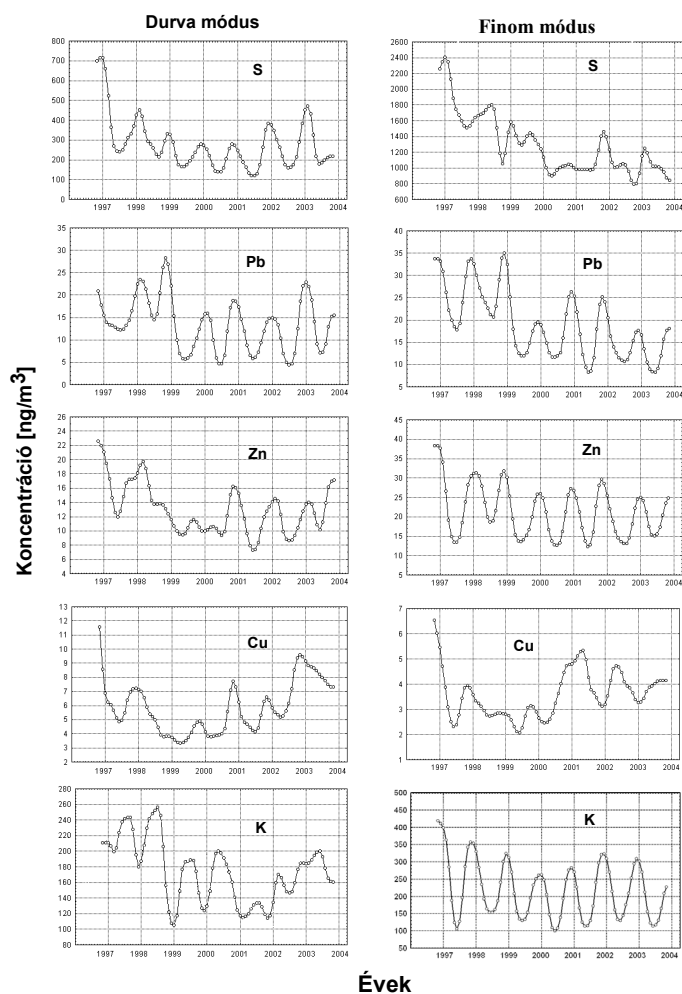


Évek

4.1.2. ábra Természetes eredetű elemek átlagkoncentrációi.

A 4.1.3. ábrán látható elsősorban antropogén eredetű elemek esetében szezonálisan télen voltak a maximumok, nyáron pedig a minimumok mindegyik frakcióban, kivéve a káliumnál a durva módusban, ahol nyaraként volt az átlagkoncentrációknak a maximuma, telenként meg a minimuma. A kálium finom módusát alkotó aeroszol a téli tüzelés eredménye, ugyanis biomassza égetésnél nagy mennyiségű káliumtartalmú aeroszol jut a légkörbe, míg a durva módust alkotó részecskék nem mesterséges forrásból származnak. Ezzel magyarázható a két módus ilyen eltérő viselkedése. A finom módusban a kén és a

réz esetében már nem volt megfigyelhető ez az évszakos különbség. A teljes időszakot figyelembe véve a kén, ólom és a cink esetében a finom módusban a teljes vizsgált időszakban egyértelmű csökkenő tendencia volt megfigyelhető, míg a durva módusban 1996-2000 között csökkenő, 2000-2004 között pedig növekvő volt a tendencia. A réz esetén mindkét mérettartományban 1996-2000 között csökkenést, 2000-2003 között pedig növekedést figyelhetem meg.



4.1.3. ábra Mesterséges eredetű elemek átlagkoncentrációi.

Számoltunk ún. korrelációs együtthatókat az elemkoncentrációk és az eltelt idő között 1996-2003 és 2000-2003-as időtartamra, amelyeket a 4.1.1. táblázat mutat. A negatív értékek a koncentrációk csökkenését, míg a pozitív értékek a koncentrációk növekedését mutatják. A vastagított értékek szignifikáns csökkenést, ill. növekedést jelölnek. A táblázatban kapott értékek is megerősítik a grafikonokon látható koncentrációváltozások tendenciáit.

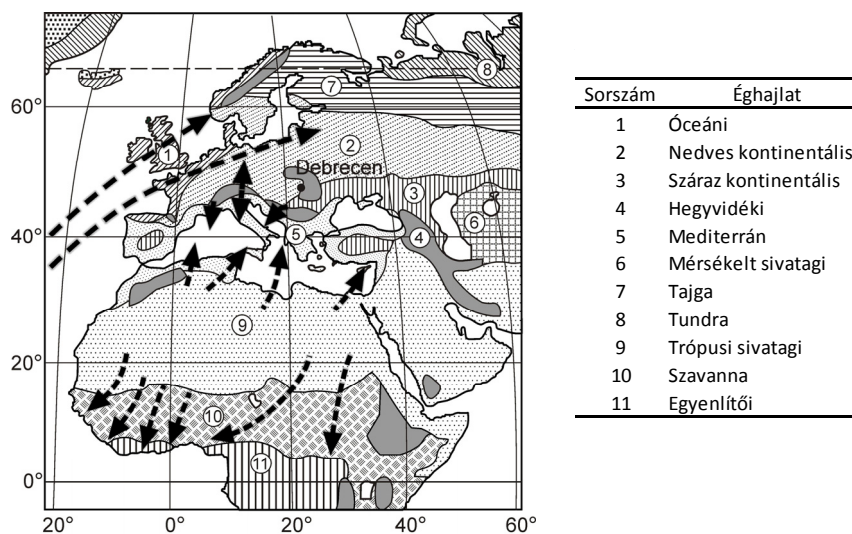
4.1.1. táblázat Az elemkoncentrációk és az eltelt idő között számolt korrelációs együtthatók.

Elemek	1996-2003						2000-2003					
	Finom módus			Durva módus			Finom módus			Durva módus		
	Teljes idősz.	Fűtési idősz.	Nem fűtési	Teljes idősz.	Fűtési idősz.	Nem fűtési	Teljes idősz.	Fűtési idősz.	Nem fűtési	Teljes idősz.	Fűtési idősz.	Nem fűtési
Si	-0.147	-0.350	0.011	-0.293	-0.264	-0.359	-0.148	-0.277	-0.164	-0.119	-0.100	-0.187
S	-0.346	-0.338	-0.354	-0.162	-0.163	-0.150	-0.016	-0.052	0.068	0.063	0.077	0.186
Cl	-0.716	-0.690	-0.847	-0.236	-0.246	-0.096	-0.597	-0.579	-0.709	-0.060	-0.175	0.250
K	-0.148	-0.146	-0.102	-0.130	-0.089	-0.205	-0.058	-0.041	0.062	0.023	-0.001	0.059
Ca	0.002	-0.149	0.099	-0.226	-0.184	-0.290	0.014	-0.022	-0.021	0.041	0.035	0.026
Ti	0.002	-0.246	0.176	-0.183	-0.179	-0.213	-0.011	-0.067	-0.038	0.004	0.001	0.024
V	-0.357	-0.362	-0.169	-0.081	-0.131	0.158	-0.251	-0.381	-0.147	0.161	0.139	0.217
Mn	-0.060	-0.091	-0.018	-0.203	-0.145	-0.287	-0.185	-0.189	-0.181	-0.110	-0.086	-0.168
Fe	0.031	-0.121	0.156	-0.148	-0.111	-0.213	-0.009	-0.080	-0.001	0.004	-0.010	0.013
Ni	-0.320	-0.385	-0.161	0.179	0.054	0.379	-0.174	-0.216	-0.011	0.330	0.273	0.383
Cu	0.051	-0.007	0.097	0.123	0.120	0.134	-0.003	-0.028	0.010	0.133	0.095	0.186
Zn	-0.159	-0.169	-0.101	-0.091	-0.047	-0.128	-0.059	-0.090	0.092	0.077	0.044	0.200
Pb	-0.277	-0.242	-0.314	-0.039	0.045	-0.142	-0.103	-0.095	-0.049	0.032	0.060	0.156
Tömeg	-0.129	-0.220	0.038	-0.032	-0.048	0.093	-0.092	-0.184	0.089	-0.001	-0.014	0.004
BC	-0.016	-0.175	0.032				-0.165	-0.184	0.015			

Összefoglalva az mondható el, hogy a teljes finom frakció, valamint a finom frakció több alkotóelemének a koncentrációja is csökkent, ami több szennyező forrás gyengülésére utal. Ugyanakkor a teljes durva frakció, valamint a durva frakcióban lévő talajeredetű elemek koncentrációjában növekedést tapasztaltam. Ha figyelembe vesszük, hogy az utóbbi évtizedben Debrecen területén jelentősen megnőtt a gépkocsiforgalom, akkor így kimutattam a már egyszer kiülepedett pornak a gépkocsiforgalomnak köszönhető fokozott reszuszpenzióját (újrafelverődését).

4.2 Debrecen Európa finom módusú aeroszol térképén

Az utóbbi időkben számos publikáció jelent meg európai együttműködésekről [Göt05, Hit04, Hou01, Put04, Van04], amelyben elsősorban olyan nyugat- és közép-európai laboratóriumok eredményei szerepeltek, ahol finom módusú aeroszol gyűjtése is folyik. Természetesen a különböző helyekről különféle módszerekkel gyűjtött aeroszol minták összehasonlítása nem egyszerű feladat. Ezzel kapcsolatban több cikk is született [Bri04, Mü04].



4.2.1. ábra Éghajlati térkép uralkodó szélirányokkal [Köp06].

Debrecen az Alföldön elhelyezkedő 200.000 lakossal rendelkező város, amelyet mezőgazdasági területek vesznek körül és nehézipar nincs a környéken. Meteorológiailag rendkívül érdekes helyen található ez a város. A 4.2.1. ábrán látható térkép jól mutatja, hogy Debrecen a nedves és száraz kontinentális, a mediterrán és hegyvidéki éghajlati területek találkozásánál helyezkedik el, amelyek mindegyike hatással van a település időjárására. Talajtanilag a lösz és

homokos területek találkozásánál fekszik, és foltokban elég sok erdő is található a városban és a környéken.

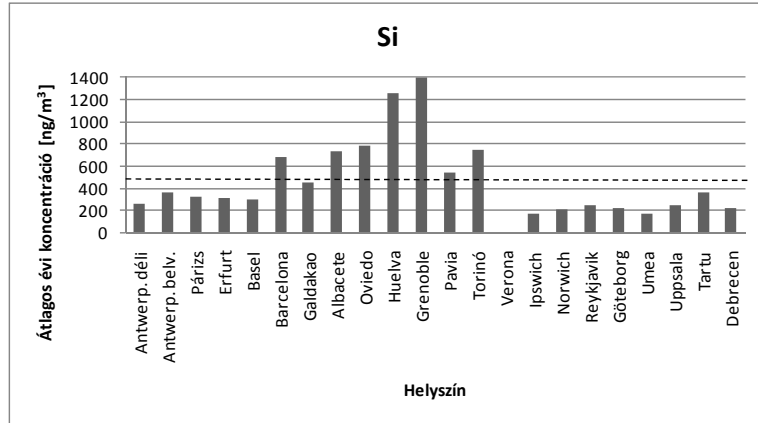
Az összehasonlítás alapjául szolgáló cikkben [Göt05] 21 helyszínen 2000. június és 2001. december között gyűjtött aeroszol adatokat dolgoztak fel. Mivel Debrecenben ebben az időben már történt rendszeres mintagyűjtés az ATOMKI udvarában, ezért ezeket az adatokat tudjuk a Götschi cikk eredményeihez kapcsolni és együtt kezelni őket. A helyszíneket a 4.2.1. táblázat mutatja, amelyek jó része nyugat európai város.

4.2.1. táblázat Götschi [Göt05] cikkében szereplő helyszínek Debrecennel kiegészítve.

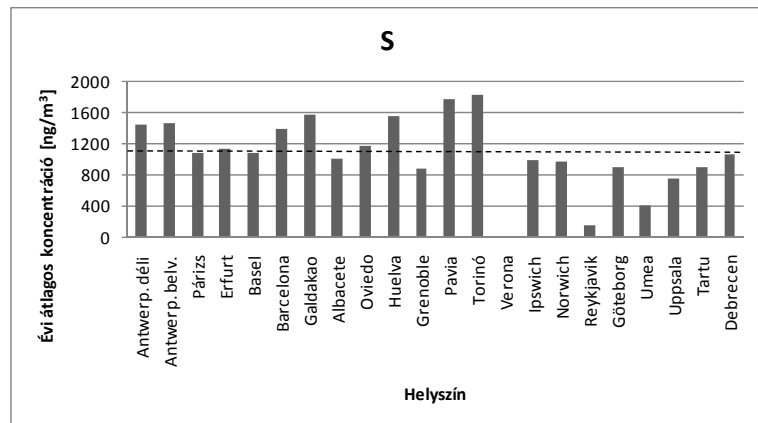
Ország	Helyszín (város)
Belgium	Antwerpen déli rész
	Antwerpen belváros
Franciaország	Párizs
Németország	Erfurt
Svájc	Basel
Spanyolország	Barcelona
	Galdakao
	Albacete
	Oviedo
	Huelva
Franciaország (Alpok)	Grenoble
Olaszország	Pavia
	Torinó
	Verona
Anglia	Ipswich
	Norwich
Izland	Reykjavik
Svédország	Göteborg
	Umea
	Uppsala
	Tartu
Észtország	Tartu
Magyarország	Debrecen

A 4.2.2. ábrán az egyes helyszíneken számolt átlagos szilíciumkoncentrációkat láthatjuk. Szaggatott vonallal pedig valamennyi helyszínen számolt átlagos koncentráció látható. Az ábráról nagyon jól látszik, hogy Debrecenben jóval az átlag alatti értéket kaptunk, ami a skandináv

országokban és Angliában kapott értékekkel közel egyenértékű. Ezzel szemben Spanyolország több helyszínén és Olaszországban jóval az átlag fölötti értékeket mutat a grafikon.

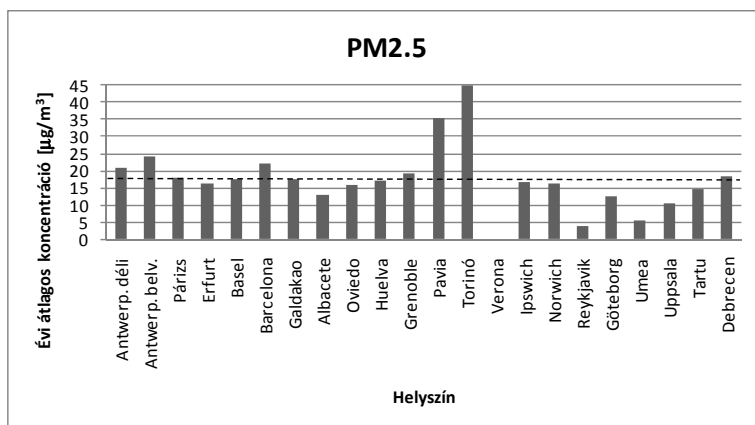


4.2.2. ábra Szilícium éves átlagos elemkoncentrációi. Szaggatott vonal valamennyi helyszín összesített átlagát mutatja.



4.2.3. ábra Kén éves átlagos elemkoncentrációi. Szaggatott vonal valamennyi helyszín összesített átlagát mutatja.

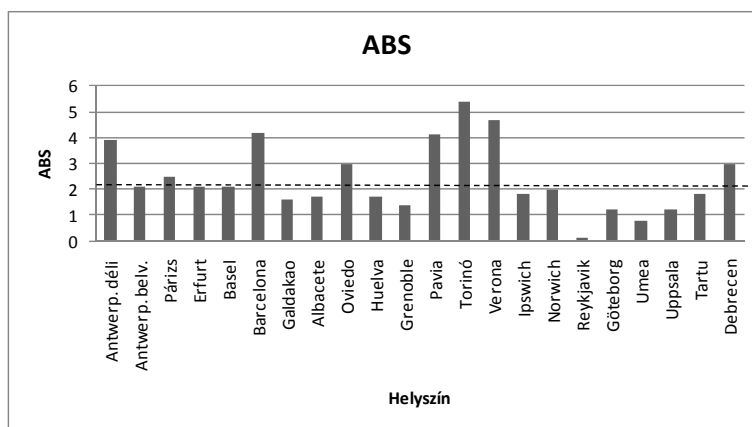
Kén esetében (4.2.3. ábra) az átlagkoncentrációk sokkal kevésbé tértek el egymástól, mint a szilícium esetében. Debrecenben és a legtöbb helyen egyaránt az átlag körüli értéket kaptunk. Egyedül Antwerpenben, Olaszországban és egyes spanyol városokban mértek átlag feletti értékeket.



4.2.4. ábra Finom módus éves átlagos elemkoncentrációi. Szaggatott vonal valamennyi helyszín összesített átlagát mutatja.

A teljes finom frakció esetében (4.2.4. ábra) ismét átlag körüli érték volt Debrecenben. Olaszországban viszont többszöröse van az átlagnak, míg Skandináviában jóval kisebb értékek láthatók.

Debrecenben rendszeresen mérjük a finom frakció black carbon tartalmát fényvisszaverődésen alapuló módszerrel. A többi helyszínen fényabszorpciós módszerrel (ABS) mérik a black carbont, ami szerencsére összevethető a mi adatainkkal [Mül04] (4.2.5. ábra.). E tekintetben Debrecenben átlag feletti értéket kaptunk. Ennél nagyobb értéket csupán Antwerpenben, Barcelonában és olasz városokban mértek. A többi helyszínen a cívisvárosinál kisebb érték adódott. A legkisebb értékeket most is Skandináviában mérték.



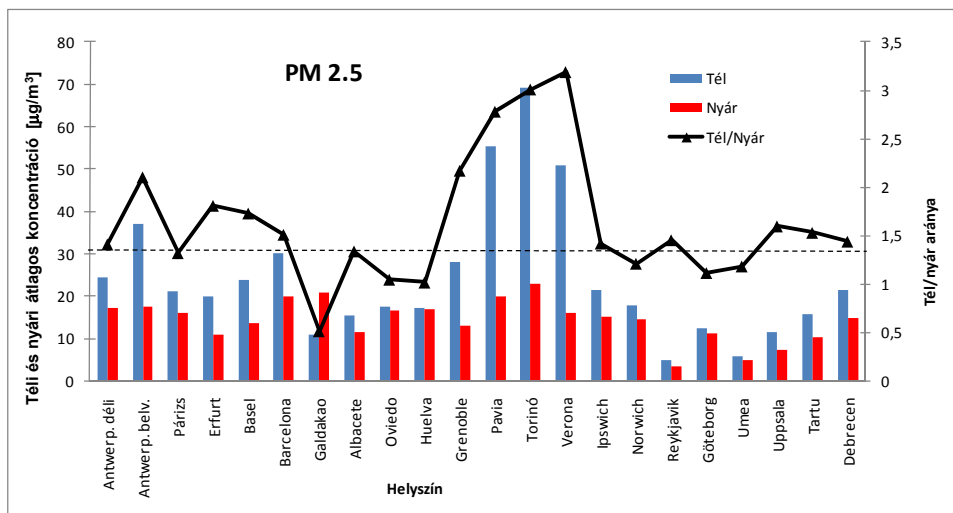
4.2.5. ábra ABS értékek. Debrecen esetén black carbon érték [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] egységben.

Szaggatott vonal valamennyi helyszín összesített átlagát mutatja.

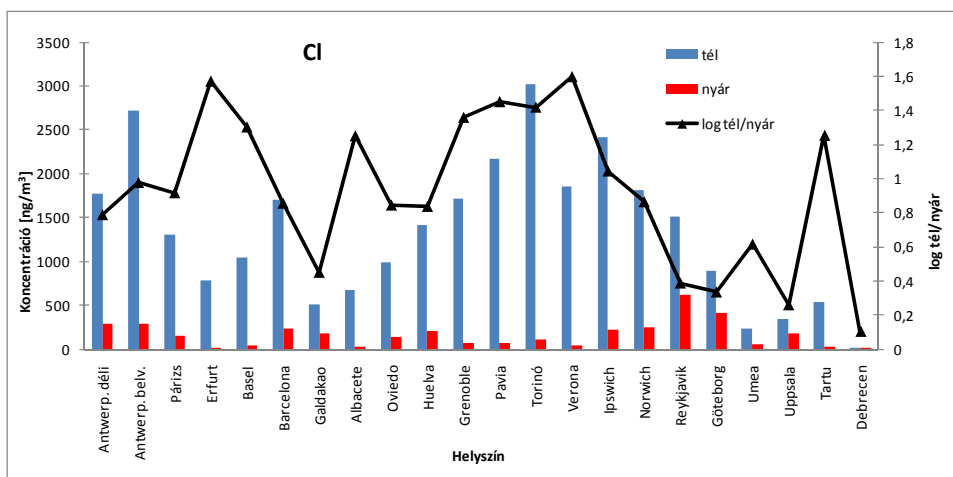
Természetesen szezonális változásai is voltak az egyes elemkoncentrációknak minden egyes helyszínen. Ezért külön-külön megvizsgáltam a nyári és téli adatokat. A téli a 2000. december 1. és 2001. február 28., míg a nyári a 2000. június 1. és 2000. augusztus 31. közötti időszakot ölelte fel.

A PM_{2.5} téli és nyári átlagait a 4.2.6. ábra mutatja az összes helyszínen. A téli és nyári értékek arányát is feltüntettem, amely nagyon jól követi a téli maximumokat. A téli maximumok most is Olaszországban voltak a legnagyobbak, míg a skandináv országokban a legkisebbek, és ezeknél a debreceni sem sokkal volt magasabb. A nyári maximumok között messze nem volt olyan nagy különbség az egyes európai helyszíneken.

A klórkoncentrációk szezonális változásai igen jelentős különbséget mutattak szerte Európában. A tengervizek párolgásából, a nagy szelek által a hullámok vízpermetéből valamint az elnyelt légbuborékok szétpukkasásából nagy mennyiségű (évente 1,3 millió tonna) tengeri só-tartalmazó aeroszol jut a légkörbe, amely nagy mennyiségben tartalmaz többek között klórt is.



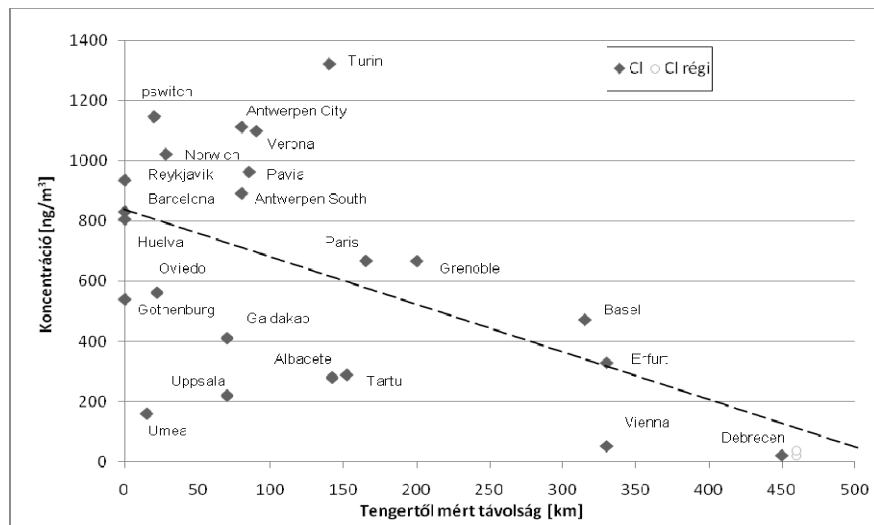
4.2.6. ábra A nyári és téli átlagkoncentrációi a finom frakciónak. Szaggatott vonal valamennyi helyszín összesített téli/nyári átlagát mutatja.



4.2.7. ábra A klór nyári és téli átlagkoncentrációi.

Az egyes helyszíneken mért átlagos klórkoncentrációkat a 4.2.7. ábra mutatja téli és nyári értékeket külön-külön. Mind a nyári és mind a téli értékek Debrecenben a legkisebbek közé tartoztak, köszönhetően annak is, hogy ez a város van a legmesszebb az óceántól, mint a legfőbb forrástól. A forrástól

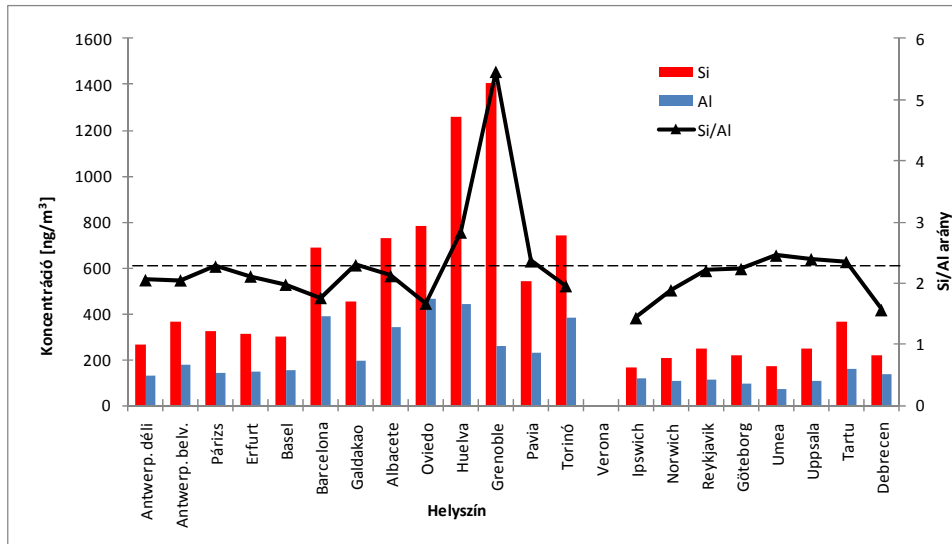
(tengerparttól) mért távolság alapján tüntetve fel a koncentrációkat (4.2.8. ábra) az látható, hogy az egyes koncentrációértékek nem közvetlenül az ún. Pearson korrelációs faktort jelölő szaggatott vonal mentén helyezkednek el, hanem attól jóval messzebb is találhatóak az egyes helyszíneket jelölő pontok. Ennek az oka az, hogy a légköri aeroszol a szárazföld belseje felé haladva, rengeteg módosító hatásnak van kitéve. Egyrészt keveredik a kontinensen lévő emberi tevékenység által termelt más klórtartalmú aeroszol részecskékkal megváltoztatva ezáltal a koncentrációjukat. Másrészt a helyi időjárási viszonyok is módosítják az eloszlásukat, továbbá egyes légkörkémiiai folyamatok is hatással vannak rájuk.



4.2.8. ábra A klórkoncentrációk a tengertől mért távolság függvényében. A szaggatott vonal a Pearson korrelációs faktort jelöli, amelynek értéke: -0,5116.

A szilícium és alumínium elemek egymáshoz viszonyított arányát mutatja a 4.2.9. ábra. A Föld átlagos Si/Al aránya 3,409 [Mas66], amit a SiO_2 és a földkéreg Al_2O_3 összetevője alapvetően befolyásol. Ez az érték agyagásványokban 1,04 és 2,07, míg kövekben és talajban 3,41 és 4,65 között változik [Rah76]. A Si/Al érték légköri aeroszol esetében 1,40-4,63 között

váltakozik. Valamennyi helyszínen kapott arányok átlaga 2,29. Jóval az átlag feletti érték volt a franciaországi Grenoble és a spanyol Huelva városokban, míg Debrecenben jócskán átlag alatti arány volt 1,56 értékkel. A korábbi méréseknél is hasonló értéket kaptunk a cívisvárosra 1,46 [Bor99a] és 2,21 [Bor99b] értékekkel.



4.2.9. ábra Az alumínium és szilíciumkoncentrációk és egymáshoz viszonyított arányuk. A szaggatott vonal valamennyi helyszínen összesített átlagát mutatja.