

Környezeti mágnesség — mágneses részecskék szerepe az antropogén porszennyezés detektálásában

MÁRTON Emő¹, MÁRTON Péter², ZAJZON Norbert³

¹ Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, Paleomágneses Laboratórium, H-1145 Budapest, Columbus u. 17–23., e-mail: paleo@elgi.hu

² Eötvös Loránd Tudományegyetem, Geofizikai Tanszék, H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C., e-mail: martonp@ludens.elte.hu

³ Miskolci Egyetem, Ásvány- és Kőzettani Intézet Tanszék, H-3515 Miskolc, Egyetemváros, e-mail: nzajzon@uni-miskolc.hu

Environmental magnetism — the role of magnetic particles in tracing environmental pollution by anthropogenic dust

Abstract

Environmental magnetism, a relatively new field of science, involves the application of standard rockmagnetic techniques to solve problems arising in palaeoclimatic and provenance studies in various sediments, in studies of pedogenesis in soils and in the detection of environmental pollution. In this paper the authors are concerned only with the latter. Anthropogenic pollution sources, such as coal burning plants, steelworks, cement factories and vehicular traffic, all produce magnetic particles which after travelling some distance in air may be deposited on vegetation and buildings or fall directly onto the topsoil. With modern equipment it is possible to get useful magnetic signals from the environmental material even if the magnetic component is just a minute fraction of the sample. Magnetism can thus be used as a tracer of environmental conditions. For example soil pollution by heavy metals can be detected by susceptibility measurements given the correlation established of high magnetic susceptibility with elevated concentrations of Cu, Pb etc. (STRZYSZCZ 1993, STRZYSZCZ et al. 1996, HAY et al. 1997, HANESCH & SCHOLGER 2002, MÁRTON & MÁRTON 2006). After reviewing the basics of magnetic susceptibility, we proceed to present results of the application of this technique as outlined below.

The susceptibility of samples from tree trunks were measured (*Figure 1*) to detect pollution against distance from a road with heavy traffic along a perpendicular bystreet and found that the pollution could be traced to a distance of about 90 m from the main traffic (*Table I*). Angular and spherular particles using SEM of Fe-oxide and sulphide as well as of the metallic Fe composition, these were the sources of the susceptibility signal, were also identified (*Figure 2*).

The North-Hungarian Inspectorate for Environmental Protection runs monitoring stations in the township of Miskolc and its environs (*Figure 3*) and these collect monthly samples of settled dust. Both water soluble and water insoluble components of the samples are weighed. Their samples of water insoluble dust collected between February, 2005 and April, 2006 were studied by susceptibility measurement. When all the data were put together, it turned out that the mass-specific susceptibility tends to decrease with increasing sample mass. This suggests that the magnetic pollution can be high even if the quantity of dust remains low (*Figure 4*). The highest magnetic signals were obtained for the station of DAM Rt. (an electrosteel works). This was the main source of industrial pollution, the effect of which (along with neighbouring ironworks) can at times be detected even as far away as Szent Ferenc Kórház (an hospital and TB-sanatorium). However, it is reassuring that housing (e.g. Martintelep) and recreation areas (e.g. Tapolca) are relatively clean of magnetic pollution (c. f. *Figures 3 and 5*).

Finally, we studied settled dust samples from Cluj County (Romania) which had collected under the same conditions as the ones in Miskolc. By courtesy of FARKAS & WEISZBURG (2006) we received samples from nine stations for various months between March and June, 2003. They had already separated these into seven grainsize fractions from >400 μm to <1 μm ; the second smallest of these fractions (32 μm – 1 μm) contributes most to the mass of the samples (*Figure 7*). Even after sampling for mineralogy, all samples were of sufficient mass to measure the magnetic susceptibility, but meaningful values of mass specific susceptibility were calculated only for samples/month/fractions as shown in *Table II*. It is remarkable, that irrespective of the source of pollution (shown in *op. cit.* above) it is the (32 μm – 1 μm) grainsize fraction which exhibits significant mass specific susceptibility in almost all samples and also this is the grainsize range in which the occurrence of the Fe-oxide spherules may be expected.

Pilot samples were subjected to Curie temperature runs both from Miskolc and Cluj County to identify the source of magnetic signals and this turned out to be magnetite (*Figure 8*). The concentration of magnetite goes up to 13% of the mass in the Miskolc samples and but only to 3% in the Cluj county samples.

Keywords: magnetic particles, anthropogenic dust, environmental pollution

Összefoglalás

A viszonylag új diszciplínának számító környezeti mágnesség magában foglalja azokat az egyébként a kőzetmágnesség körébe tartozó módszereket, amelyek alkalmasak pl. paleoklimatológiai problémák megoldására, a paleokörnyezet rekonstruálására vagy a jelen környezet antropogén szennyezettségének vizsgálatára. Ebben a munkában csak az utóbbiakról foglalkozunk.

Az antropogén szennyező források (széntüzelésű erőművek, vas- és cementgyártás, gépjárműforgalom) apró mágneses részecskéket juttatnak a levegőbe, amelyek bizonyos távolságon túl leülepednek a növényzeten, épületeken vagy közvetlenül a talaj felszínén. Modern mérőeszközökkel ezen részecskéktől származó mágneses jel még rendkívül kis koncentrációk mellett is kimérhető. Ilymódon a mágnesség a környezeti állapot nyomjelzőjeként hasznosítható. Például a talaj nehézfém szennyezése mágneses szuszceptibilitás méréssel nyomonkövethető, ui. az a tapasztalat, hogy a talajban mérhető nagyobb szuszceptibilitás értékekhez általában megnövekedett nehézfém-koncentrációk tartoznak (STRZYSZCZ 1993, STRZYSZCZ et al. 1996, HAY et al. 1997, HANESCH & Scholger 2002, MÁRTON & MÁRTON 2006). A szuszceptibilitás fizikai alapjait a Bevezetésben tekintjük át, majd a továbbiakban e módszer alkalmazásával kapott eredményeket tárgyaljuk a porszennyezéssel kapcsolatban.

A nagy forgalmú M1-M7 autópálya Budaörsi úti kivezető szakaszának egy mellékutcájában (XI. Homonna utca) fakéreg minták szuszceptibilitását határoztuk meg a főúttól mért távolság függvényében. A fatörzseken kiülepedett mágneses szennyezés mintegy 90 m távolságig volt nyomonkövethető (I. táblázat). A SEM felvételek (2. ábra) szerint a szennyező mágneses részecskék apró vas-, vas-oxid- és vas-szulfid-szferulák, valamint szögletes vas-oxid-törmelékek.

Vizsgáltuk továbbá az Észak-magyarországi Környezetvédelmi Felügyelőség által Miskolcon és környékén működtetett megfigyelő állomásokon (3. ábra) havi rendszerességgel begyűjtött, leülepedett porminták szuszceptibilitását a 2005. februártól 2006. áprilisig terjedő időszakra. Minden adatot felhasználva és csak a por vízben oldhatatlan frakcióját tekintve, úgy tűnik, mintha a mintatömeg növekedésével a tömegspecifikus szuszceptibilitás csökkenne (4. ábra). Ez annak a jele, hogy a mágneses szennyezés kistömegű ülepedett por esetében is lehet jelentős. Itt a helyi fő szennyező forrás a DAM Rt. vasgyárai, amelyek hatása időnként nagyobb távolságokon (pl. Szent Ferenc Kórház és Csanyik Tüdőszanatórium) is komolyan terheli a környezetet. Megnyugtató viszont, hogy lakótelepeken (pl. Martintelep) és üdülőkörzetekben (pl. Tapolca) a mágneses szennyezés általában kicsiny (vö. 3. és 5. ábrák).

A miskolciakhoz hasonló méréseket végeztünk kilenc Kolozs megyei leülepedett pormintán, amelyek részét képezik annak a kollekciónak, amelynek ásványtani vizsgálati eredményeit a közelmúltban tették közzé (FARKAS & WEISZBURG 2006). E szerzők a mintákat hét szemmagysági osztályba sorolták $>400 \mu\text{m}$ és $<1 \mu\text{m}$ között és meghatározták az egyes szemcsefrakciók tömegeit is. Az említett kilenc mintára vonatkozó tömegadatokat eloszlásában a 32-1 μm frakció általában nagy, vagy kiugróan nagy értékkel van képviselve (7. ábra). Nagyon valószínű, hogy ezekben a mintákban annak a frakciónak a tömege sem elhanyagolható, amely a tüdőbe bejut ($<10 \mu\text{m}$). Noha a szuszceptibilitásmérések az ásványtani meghatározásokhoz felhasznált anyag tömegével csökkentett tömegeken történtek, minden mintára, ill. frakcióra eredményesek voltak. A kiszámított tömegspecifikus szuszceptibilitások (II. táblázat) azonban egyedül a 32-1 μm frakcióban szignifikánsak majdnem minden mintára. Ez a mérettartomány az, amelyben a szferulák a mágneses tulajdonságok hordozói (vö. 2. ábra).

Végül néhány kiválasztott miskolci és Kolozs megyei pormintán Curie-hőmérséklet-méréseket hajtottunk végre a mágneses jel forrását képező részecskék meghatározása céljából (8. ábra), amelyek magnetitnek mutatkoztak. A magnetit koncentrációja a miskolci mintákban eléri a 13 tömegszázalékot szemben a kolozsakkal, ahol csak 3%-ig megy fel. Az utóbbi adatok jelentős környezetterhelési különbségre utalnak.

Tárgyszavak: mágneses részecskék, antropogén por, környezetszennyezés

Bevezetés

Ipari forrásokból (acél és cementgyárak, széntüzelésű erőművek stb.) és járművekből többek között vastartalmú környezetszennyező anyagok is a levegőbe kerülnek, amelyek belélegezve, csupán kis szemcseméretüknél fogva egészségkárosítóak lehetnek. Utóbbi hatást növeli, hogy e részecskékhez mérgező nehézfémek (pl. Pb, Zn, Cu, Cr, Ni, Mo) társulhatnak, amelyek velük és más anyagokkal együtt szállítódnak, majd leülepednek.

Általában az anyagok, és így a környezetet szennyező szálló, ill. leülepedett por is, egyéb jellemzőik mellett, kivétel nélkül rendelkeznek mágneses tulajdonságokkal, amelyek alapján dia-, para-, illetve ferromágneses (beleértve a ferri-, és antiferromágnességet is) csoportokba sorolhatók be. A természetes ásványok közül pl. a kvarc és a kalcit diamágneses, az amfibolok és piroxének paramágnesesek. A dia-, és paramágnesekkel szemben a ferromágneses csoport ásványai önálló mágneses

momentummal rendelkeznek. Ilyenek az antiferromágneses hematit és goethit, a ferrimágneses magnetit, maghemit, pirrotin és greigit. Valódi ferromágneses komponensek a vas, kobalt és nikkell. Szobahőmérsékleten a diamágneses mágneses szuszceptibilitása kicsiny és negatív, a paramágneseké kicsiny és pozitív, míg a ferromágneseknek viszonylag nagy pozitív szuszceptibilitásuk van. Nagyságrendeket tekintve, m^3kg^{-1} egységekben, a diamágneses ásványok 10^{-9} , a paramágneses és antiferromágneses ásványok 10^{-6} , a ferrimágneses ásványok 10^{-3} , végül a vas 10^{-1} rendű szuszceptibilitással jellemezhető.

A szálló, ill. leülepedő porban a diamágneses és paramágneses összetevők dominálnak, amelyek ásványtani módszerekkel jól azonosíthatók, míg a ferri-, és ferromágneses ásványok kis koncentrációjuk miatt gyakran észrevétlenek maradnak. Mágneses módszerekkel azonban még a nyomokban előforduló mágneses részecskék jelenléte is biztonságosan és gyorsan kimutatható, ui. a modern

szuszeptibilitásmérők érzékenysége egészen kis mágneses anyagtartalom kimutatását is lehetővé teszi. Ennek köszönhető a viszonylag új, környezeti mágnesség nevet viselő diszciplína gyors térhódítása, amely a szuszeptibilitás paraméterek mérésével együtt a paleo-, ill. kőzetmágnességben használt módszereket alkalmazza a mágneses részecskék pontosabb meghatározására (pl. Curie-hőmérséklet-mérés).

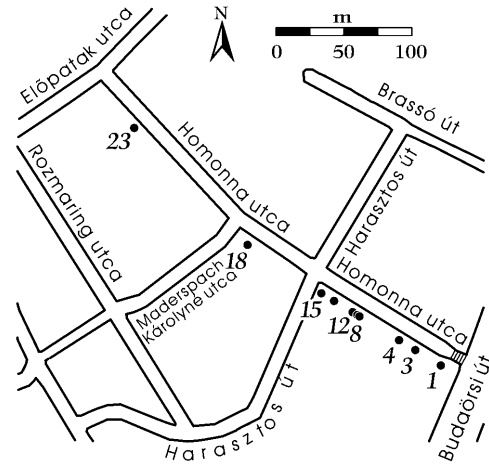
A m^3kg^{-1} egységekben kifejezett tömegszuszeptibilitásból becsülhető a mágneses frakció szemnagysága és koncentrációja. Mivel a szuszeptibilitás és a korábban említett nehézfémek koncentrációja között általában korreláció figyelhető meg, szuszeptibilitás „térképezéssel” olyan pontokat jelölhetünk ki, ahol a költségigényesebb kémiai elemzést is érdemes elvégezni.

A levegőben szálló por a talajon, fákön, épületeken rakódik le, vagy vízbe hullik. Talajra vagy vízbe hullva egyéb ásványokkal keveredik, amelyek között lehetnek nagy szuszeptibilitásúak is (pl. magnetit, maghemit). Ezekben a közegekben a legnagyobb probléma a természetes és az antropogén forrásból eredő szuszeptibilitás megkülönböztetése. Ilyen probléma általában nincs, ha faleveleken, fakérgen lerakódott port vizsgálunk. Utóbbi vizsgálatokban az okozza a nehézséget, hogy a szennyezést és a hordozó közeget nem tudjuk fizikailag szétválasztani. Így a meghatározott tömegszuszeptibilitásokat erősen befolyásolja a hordozó anyag tömege, mely sokkal nagyobb a szennyezés tömegénél. Ezért leveleken és fakérgen végzett vizsgálatok csak kis területen belüli összehasonlításra alkalmasak, szigorúan szabályozott körülmények között (pl. ugyanazon a napon gyűjtött anyag, ugyanaz a fajta, ugyanolyan gyűjtési magasság stb.).

Ebben a tanulmányban egy, a „klasszikus” vonalhoz tartozó fakérgvizsgálat mellett a vizsgálat tárgyát illetően újdonságnak számító mérésorozatról is beszámolunk. Utóbbiakat az Észak-magyarországi Környezetvédelmi Felügyelőség által működtetett gyűjtőhálózat mintáin, ill. Kolozs megye Környezetvédelmi Hivatalának hálózati pontjairól származó mintákon végeztük. Az említett szervezetek a leülepedett por vízoldhatatlan tömegét mérik, annak ásványos-kémiai összetételével és mágneses tulajdonságaival nem foglalkoznak. E minták nagy előnye az, hogy a mért szuszeptibilitásuk ismert tömegre vonatkozatható. A leülepedett porok tömegszuszeptibilitása olyan paraméter, amely csak a mágneses szennyezéstől függ, ezért a szennyezés monitorozására és a különböző területek közötti összehasonlításra is kiválóan alkalmas.

Fakérgeken végzett vizsgálatok

A Budapest XI. Homonna utcában, a nagy forgalmú Budaörsi úttól kiindulva 10 darab, egyidős japán akác kérégből mintegy 2 m magasságból, 2006. februárban gyűjtöttük mintákat (1. ábra). Bár törekedtünk arra, hogy a



1. ábra. Térképvázlat a Budapest XI. Homonna utcában mintázott, arab számokkal megjelölt fák elhelyezkedéséről (vö. I. táblázat)

Figure 1. Sketch map of Budapest, XI. Homonna utca and vicinity. The positions of the trees sampled for susceptibility measurement are indicated by numbered dots (c.f. Table I)

kéregdarabok egyforma nagyságúak legyenek, tömegük (a szennyezéssel együtt) az I. táblázatban feltüntetett mértékben változó. Először a minták látszólagos térfogati szuszeptibilitását mértük meg, majd a tömegek figyelembe-

I. táblázat. A Budaörsi úti járműforgalom környezetszennyezésének terjedése a Budapest XI. Homonna utcában fakérg mintákon mért mágneses szuszeptibilitások alapján (vö. I. ábra)

Table I. Propagation of environmental pollution related to vehicular traffic along Budaörsi út detected by magnetic susceptibility measurements on tree bark samples in Budapest, XI. Homonna utca (c.f. Figure 1)

Fa száma Number of tree	Távolság a Budaörsi úttól Distance from Budaörsi str.	Minta tömege (Fakéreg + szennyezés) Mass of the sample (bark+pollution)	Látszólagos szuszeptibilitás Apparent sus-ceptibility	Tömeg spec. szuszeptibilitás Mass spec. susceptibility
	m	g	10^{-6} SI	10^{-8} m^3/kg
Budaörsi út és Harasztos út között Between Budaörsi and Harasztos streets				
1	15	3,01	108,4	36,01
3	37	1,95	73,9	37,90
4	51	1,56	32,2	20,64
8	86	2,12	50,3	23,73
10	87	2,08	27,6	13,27
12	91	1,45	20,9	14,41
13	107	2,73	42,6	15,60
15	118	2,63	47,5	18,06
Harasztos út és Maderspach Károlyné utca között Between Harasztos and Maderspach Károlyné streets				
18	183	2,16	32,3	14,95
Maderspach Károlyné és Előpatak utca között Between Maderspach Károlyné and Előpatak streets				
23	301	3,83	53,6	14,00

vételével számítottuk a m^3kg^{-1} -ban kifejezett tömegszuszeptibilitást, amely a (mágneses) szennyezés és a fakéreg együttesét jellemzi. Ezekből kiolvasható, hogy a Budaörsi úttól kb. 90 m távolsáig egyértelműen a főút autóforgalmának tulajdonítható a szennyezés (a Homonna utca e szakaszán nincs autóforgalom). Ez meglepően nagy távolság, ha figyelembe vesszük, hogy az uralkodó szél a Budaörsi út felé fúj. Kissé növekszik a szuszeptibilitás a Harasztos út forgalmának köszönhetően (13. és 15. fák, amelyek nagyon közel vannak a kereszteződéshez), majd ismét csökken a Budaörsi úttól távolodva (1. táblázat).

A két legszennyezettebb fakéregdarabot elektronmikroszkóppal (SEM) is vizsgáltuk. Mivel a szennyezést a kéreg durva felületéről nem lehetett eltávolítani, apró kéregdarabok vizsgálatára került sor. A felvételeken agyagásványokon kívül (amelyek valószínűleg a Budai Márgából származnak) különböző összetételű és méretű szögletes szemcsék és ép vagy törött szferulák láthatók, amelyek minden valószínűség szerint a járműmotorok mozgó alkatrészeinek kopásából, valamint a kipufogó rendszerekben nagy hőmérsékleten leváló részecskéktől erednek (2. ábra).

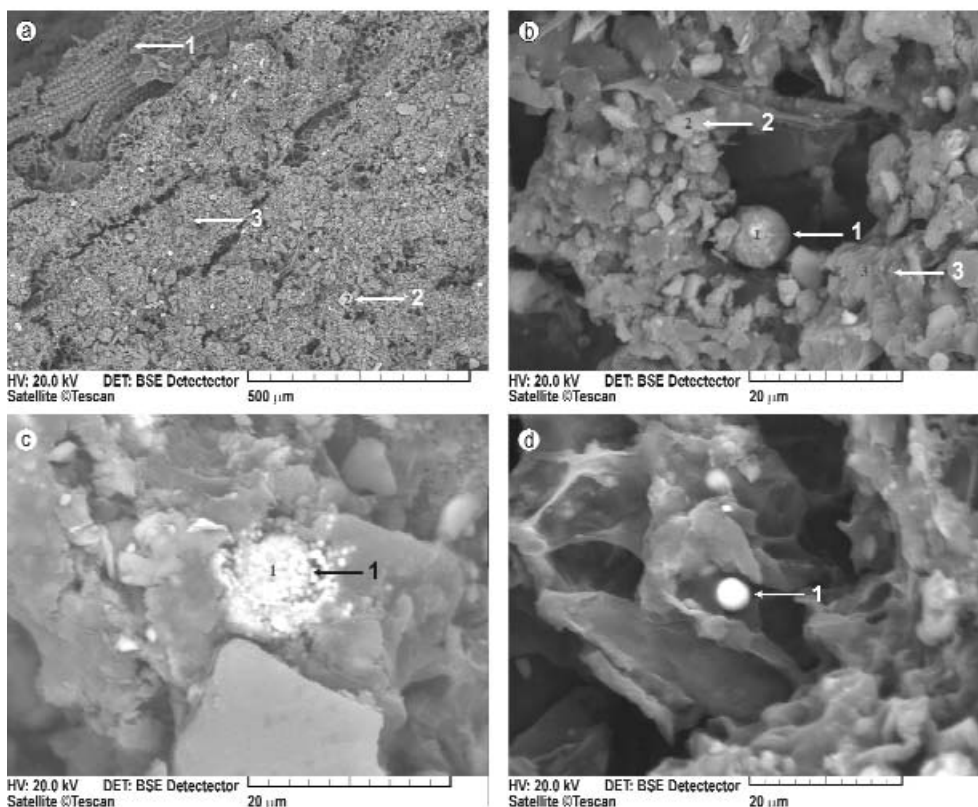
Érdeemes megjegyezni viszont, hogy a közúti közlekedésből eredő szennyezők mágneses hatása a talajon a távolsággal viszonylag gyorsan lecseng. Pl. Németország főútjai mentén az úttól 2 m-re a felére csökken és 5 m-nél

távolabb nem észlelhető (HOFFMANN et al. 1999). Saját méréseink is hasonló eredményre vezettek (MÁRTON & MÁRTON 2006). A közlekedéstől származó környezet-szennyezés vizsgálata tehát a talajszennyezés szempontjából megnyugtató eredményeket hozott, amennyiben jelentős nehézfém szennyezéssel néhány méterre a forgalmas utaktól már nem kell számolnunk. Viszont a gyorsan kiülepedő, viszonylag nagy szemcseméretű szennyezésen túl, finomabb, sokszor a szálló por tartományba ($<10 \mu\text{m}$) eső fémszennyezés az úttól kb. 100 m-re is kimutatható. Soproni levélszennyezés-vizsgálatunk arra egedett következtetni, hogy az ilyen szennyezés terjedését a levegőben fallal lehet hatékonyan megakadályozni (MÁRTON & MÁRTON 2006). Az első sorban zajvédelmet szolgáló falak jó hatásfokkal állhatják útját a belélegezhető káros részecskék terjedésének is.

Leülepedett porok vizsgálata

Miskolci minták

Az ülepedő por mennyiségi meghatározása céljából az Észak-magyarországi Környezetvédelmi Felügyelőség Miskolcon és környékén 18 állomásból álló mérőhálózatot mű-

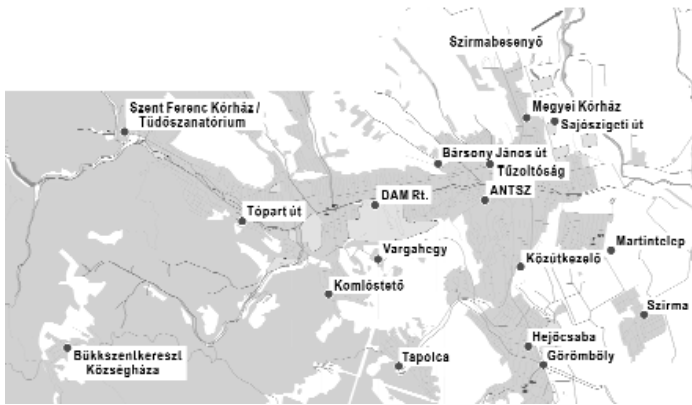


2. ábra. SEM felvételek fakéregre települt szennyező részecskékről

a) 1 – a fakéreg szerkezete, 2 – szögletes Fe-oxid-szemcse, 3 – főleg agyagásványokból álló bevonat. b) 1 – Ti-oxid-szferula, 2 – egy alapot alkotó szögletes Fe-oxid-szemcse, 3 – agyagásványok. c) 1 – Fe-szulfid-szferula halmaz. d) 1 – kis Ca-tartalmú fémes vas-szferula

Figure 2. SEM photographs of pollution particulates settled on a tree bark

a) 1 – structure of the bark, 2 – angularly shaped Fe-oxide grain, 3 – coating of predominantly clay minerals. b) 1 – Ti-oxide spherule, 2 – angularly shaped Fe-oxide grain, 3 – clay minerals. c) 1 – stack of Fe-sulphide spherules. d) 1 – Ca bearing metallic iron spherule

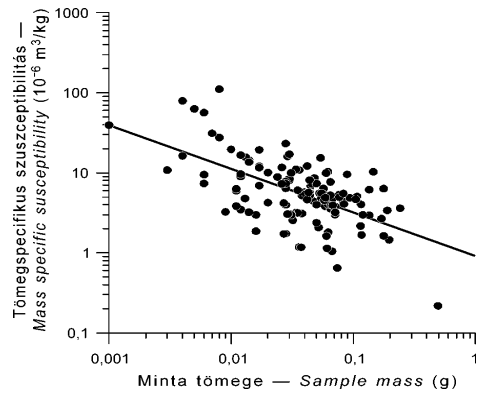


3. ábra. Az Észak-magyarországi Környezetvédelmi Felügyelőség mérőhálózatának üledékpor mérő állomásai Miskolc városban és környékén

Figure 3. Monitoring stations for settled dust run by the N Hungarian Inspectorate for Environmental Protection in the township of Miskolc and environs

ködtet (3. ábra), amely iparilag és/vagy járműközlekedéssel erősen terhelt (pl. DAM Rt., cementgyárak, 3-as út, ércelőkészítő) állomásokat és a „háttérértékek” meghatározását célzó állomásokat (pl. Szt. Ferenc Kórház /Csanyik Tüdőszanatórium, Tapolca Vízmű, Bükkszentkereszt) foglal magában.

Mágneses mérésekre ismert vízdohozható tömegű pormintákat kaptunk, néhány hónap hűján a 2005. február – 2006. áprilisi időszakokra. Az egy-egy hónapban összegyűlt porminta vízdohozható tömege általában kisebb, mint 0,2 g. A mágneses szuszceptibilitás jól mérhető, a tömegszuszceptibilitások pontosan meghatározhatók. A 4. ábra az összes adat figyelembe vételével készült, és a mért tömegspecifikus szuszceptibilitás tízes alapú logaritmusa a vízdohozható portömeg tízes alapú logaritmusa függvényében. A regressziós egyenes enyhe negatív meredeksége arra utal, hogy a két mennyiség nem teljesen független egymástól. Más szavakkal, lehetnek olyan időszakok, amikor a porterhelés jelentősen lecsökken, ugyanakkor a vele járó egészségkárosító mágneses és potenciális toxikus nehézfém szennyezés veszélye továbbra

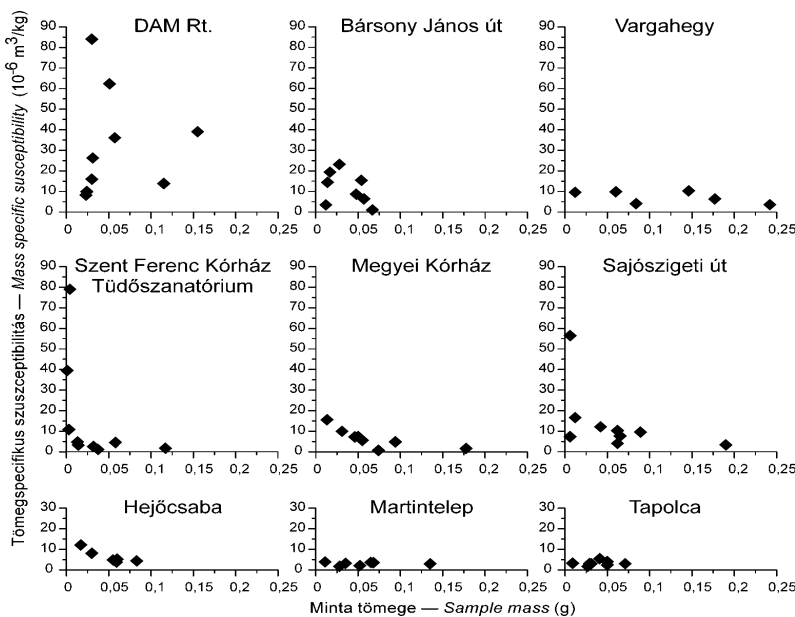


4. ábra. Miskolc és környékén 2005. február és 2006. április között havonta üledékpor vízdohozható portömegspecifikus szuszceptibilitás – minta tömeg eloszlásának kumulatív diagramja a mérőállomások adatai alapján

Figure 4. Cumulative diagram showing monthly values of mass-specific susceptibility against sample mass of water insoluble settled dust for all stations investigated in Miskolc and environs between February, 2005 and April, 2006

is fennállhat (4. ábra). Az adatrendszer megfigyelési pontokra bontva és csak a (hely és gyűjtési hónap szerint) biztosan azonosítható mintákat véve figyelembe változatos képeket látunk (5. ábra). Kiemelkedően nagyok a tömegszuszceptibilitások a DAM Rt. területén, ami nem meglepő, viszont figyelemreméltó, hogy a DAM-tól kb. egyforma távolságra telepített Vargahegy és Bárszony J. u. állomásokon nagyon eltérőek az értékek, amit a szélirányok különbözősége okozhat. Érdekes, hogy a cementgyárak és az ércelőkészítő körzetében gyűjtött minták szuszceptibilitása viszonylag kicsi, valószínűleg a csökkent kibocsátás következtében.

A „háttérértékek” meghatározására szolgáló állomáshegyek leggyakrabban a mágneses szennyezettség viszonylag kicsi. Egyik ilyen ponton azonban (Szt. Ferenc Kórház /Csanyik Tüdőszanatórium) olyan nagy tömegszuszceptibilitás értékeket is mértünk, amelyek messze meghaladják pl. a nagy



5. ábra. Miskolc és környékén 2005. február és 2006. április között havonta üledékpor vízdohozható portömegspecifikus szuszceptibilitás – minta tömeg eloszlásának diagramjai kilenc kiválasztott mérőállomás adatai alapján

Felső sor: DAM Rt. (acélmű) és 1 km-es körzetén belül, középső sor: kórházak és a Megyei Kórház közelében lévő állomás (Sajószigeti út), alsó sor: Hejőcsaba (cementmű és főút), valamint lakó-üdülő körzetek (vö. 3. ábra)

Figure 5. Diagrams showing monthly values of mass-specific susceptibility against sample mass of water insoluble settled dust for nine selected stations investigated in Miskolc and environs between February, 2005 and April, 2006

Upper row: DAM Rt. (steelworks) and two stations (Bárszony János út and Vargahegy) within its neighbourhood of 1 km, Middle row: two hospitals (Szent Ferenc Kórház és Megyei kórház) and one station (Sajószigeti út) near the latter. Lower row: Hejőcsaba (cement factory and main road) and two stations of housing (Martintelep) and recreation (Tapolca) areas (c.f. Figure 3)



6. ábra. SEM felvételek a leülepedett porminták mágneses részecskéiről a) szferulák tömeges előfordulása (DAM Rt.), b) 1. és 2. majdnem tiszta vas- (vas-oxid-) szferulák kevés Zn, Ca és Mn tartalommal, 3. Túlnyomóan vas-, vas-oxid-szferula kevés Zn-, Mn-, Si- és Cr-tartalommal (Kömlesztő), c) szferula szerkezete (DAM Rt.)

Figure 6. SEM photographs of magnetic pollution particulates in settled dust samples

a) mass occurrence of magnetic spherulae (DAM Rt.) b) 1 and 2: iron (iron-oxide) spherulae with little Zn, Ca and Mn, 3: predominant iron (iron-oxide) spherule with subordinate Zn, Mn, Si and Cr (Kömlesztő), c) structure of a spherule (DAM Rt.)

gépjárműforgalmú Sajószigeti út megfigyelőponton mért értékeket. Így valószínűsíthető, hogy a Tüdőszanatórium légtérében időnként jelentős a vasművektől vagy távolabbi forrásokból származó szennyezés.

A mágneses részecskék (vasban gazdag szferulák) SEM felvételeiből a 6. ábrán láthatóakat választottuk ki.

Kolozs megyei minták

Ezen minták mágneses vizsgálata FARKAS & WEISZBURG (2006) a Földtani Közlönyben megjelent dolgozatához kapcsolódik, amely a Kolozs Megyei Környezetvédelmi Hivatal által 2003 márciusa és júniusa között, 18 mintavételi helyről havonta begyűjtött porminták ásványtani összetételének meghatározásával foglalkozik. Fenti szerzők kérésünkre, az általuk 7 szemcseméret kategóriába sorolt anyagból, 9 helyről származó, összesen 175 mintát adtak át mágneses (és tömeg) mérésekre. A minták mindegyikén

II. táblázat. Kolozs megyében gyűjtött porminták különböző szemmagysági frakcióinak tömegspecifikus szuszeptibilitásai $10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$ egységekben (félkövér) és a méréshez rendelkezésre álló tömegei mg-okban zárójelben

Table II. Cluj County. Mass specific susceptibility (**bold**) in $10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$ and mass of settled dust available for measurement (in brackets, in mg) for each of the separated grainsize fraction for nine sampling sites

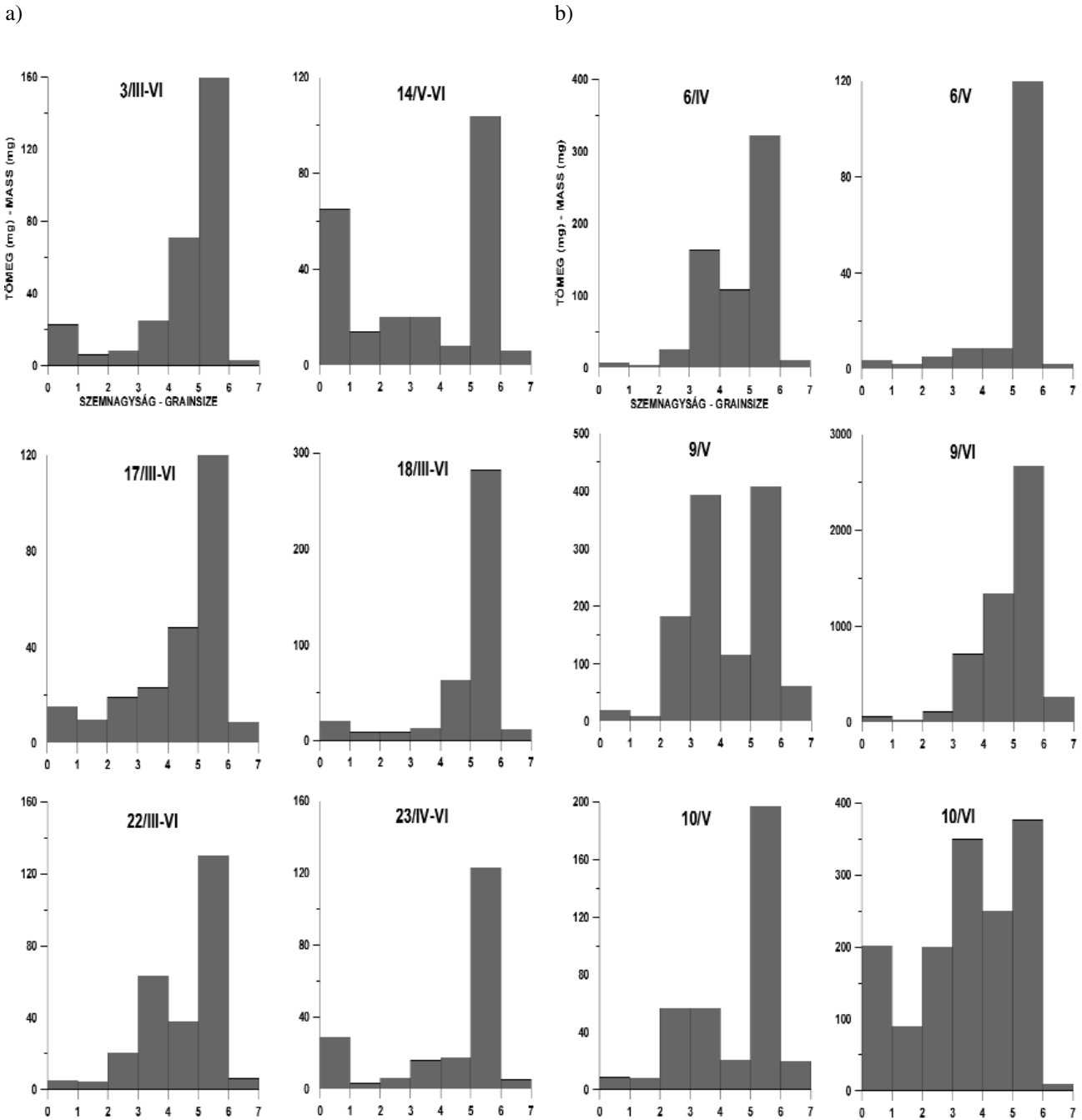
	Frakció – Fraction (μm)						
	>400	400-250	250-125	125-63	63-32	32-1	<1
3 III					2,2 (65)	3,4 (65)	-
3 IV						18,2 (10)	-
3 V	4,3 (30)					4,4 (85)	-
3 VI	1,0 (45)		3,1 (25)	2,6 (20)	2,9 (80)	3,1 (125)	-
6 IV				1,5 (75)	2,2 (35)	2,4 (210)	
6 V						25,0 (5)	
9 V			1,8 (50)	1,3 (190)	4,6 (65)	5,5 (115)	5,7 (18)
9 VI	0,7 (60)	5,6 (28)	3,2 (95)	3,7 (445)	5,9 (1110)	-	1,7 (75)
10 V			3,0 (30)	2,6 (55)		9,7 (60)	
10 VI	28,2 (150)	22,2 (85)	6,8 (120)	2,9 (220)	6,3 (100)	-	
14 V	4,8 (35)		20,2 (15)			13,4 (10)	
14 VI	14,6 (100)						
17 III						6,2 (15)	
17 IV						9,1 (8)	
17 V	3,4 (40)	4,7 (25)	3,8 (30)	5,6 (13)	3,2 (40)	3,5 (60)	
17 VI					2,3 (45)	3,1 (70)	
18 III						1,3 (100)	
18 IV	24,3 (35)					18,3 (30)	
18 V						8,2 (10)	
18 VI					3,0 (130)	5,7 (290)	1,5 (25)
22 III							
22 IV			4,6 (30)	4,4 (60)	6,4 (25)	4,4 (115)	
22 VI				2,4 (45)	3,6 (23)	2,6 (55)	
23 IV				3,9 (35)	5,2 (30)	4,7 (100)	
23 V	2,2 (65)					-	
23 VI							

Bal oldali oszlop: arab számok: állomásazonosítók (vö. FARKAS & WEISZBURG 2006), római számok: hónapok. Üres cella: túl kis szuszeptibilitás, -: hiányzó frakció.

Leftmost column, arab numbers as in FARKAS & WEISZBURG (2006) and different months (Roman numerals). Empty cell: too low susceptibility, hyphen: missing fraction.

mértük a mágneses szuszceptibilitást, amely a minták sokszor igen kis tömege (minden szemcseméret-frakcióból hiányzott az ásványtani vizsgálathoz használt anyag) ellenére jól mérhető volt (II. táblázat). Ahol a látszólagos szuszceptibilitás kicsi volt, ott nem határoztunk meg tömegszuszceptibilitást (üresen maradt cellák). Ahol a rendelkezésre álló minta tömege 10 mg-nál kisebb, de a látszólagos szuszceptibilitás nagy volt, ott meghatároztuk a

tömegszuszceptibilitást, de ezt csak tájékoztató adatként tekintjük (II. táblázat). Figyelemre méltó, hogy bármi is a szennyezés forrása, a 32–1 µm frakció szinte kivétel nélkül jelentős tömegszuszceptibilitással rendelkezik. Ugyanakkor ez az a frakció, amely a legtöbb mintavételi ponton a legnagyobb tömegű (7. ábra) és amelyben a 10 µm-nél kisebb vastartalmú szferulák előfordulása várható (vö. 2. ábra).



7. ábra. A leülepedett vízdoldhatatlan por tömegeloszlása a különböző szemnagysági tartományokban Kolozs megye 12 (6-6) mérőállomásán (FARKAS & WEISZBURG 2006)

a) Tömegátlagok a jelzett hónapokra vonatkozólag. b) Tömegek a jelzett hónapra vonatkozóan. Az ábracímekben az arab számok az állomásazonosítók, a római számok a hónapok (a részleteket lásd a hivatkozott cikkben). Szemnagysági tartományok µm-ben: 0-1: >400, 1-2: 400-250, 2-3: 250-125, 3-4: 125-63, 4-5: 63-32, 5-6: 32-1, 6-7: <1

Figure 7. Distributions of water insoluble masses of settled dust between the different grain size fractions at 12 (6 plus 6) stations of Cluj County

a) Mass averages for the months indicated. b) Masses for the month indicated. Figure titles show the identification numbers of the stations as in FARKAS & WEISZBURG (2006)/ months (Roman numerals). Grain size fractions are in µm as follows: 0-1: >400, 1-2: 400-250, 2-3: 250-125, 3-4: 125-63, 4-5: 63-32, 5-6: 32-1, 6-7: <1

A miskolci és Kolozs megyei porminták tömegsuszeptibilitásainak összehasonlítása

A két anyag összehasonlításakor azonnal feltűnik, hogy Miskolcon sokkal nagyobb tömegsuszeptibilitása van az ülepedő poroknak, mint Kolozs megyében, akár iparilag terhelt, akár csak a közlekedés által érintett gyűjtőpontokra meghatározott értékeket hasonlítunk össze. A különbség valójában nagyobb a látszólagosnál, hiszen a Kolozs megyei porok átlagos tömegsuszeptibilitása biztosan kisebb, mint a II. táblázatban található egy-egy frakcióra mért legnagyobb érték. Felmerül a kérdés, hogy Miskolc nehézfém környezetterhelése valójában is többszöröse-e a Kolozs megyeinek vagy, hogy a mágneses szemcsék minőségileg különböznek a két területen. Az ásványtani vizsgálat nem terjedt ki a Kolozs megyei anyagban talált szferulák összetételének meghatározására, noha a röntgenfelvételeken egy bizonytalan spinell-csúcs jelentkezik (FARKAS & WEISZBURG 2006). Mi a suszeptibilitás hőmérsékletfüggésének mérésével Curie-pont és fázisátalakulási hőmérsékletek meghatározására tettünk kísérletet (8. ábra). Ennek eredményeként megállapíthatjuk, hogy Miskolcon éppúgy, mint Kolozs megyében a mágneses ásvány a magnetit, elemi vas (esetleg ötvözet) nincs a mintákban. Ebből következik, hogy Miskolcon valóban nagyobb a mágneses és ezzel együtt a valószínűsíthető nehézfém környezetterhelés. A magnetit koncentrációja a

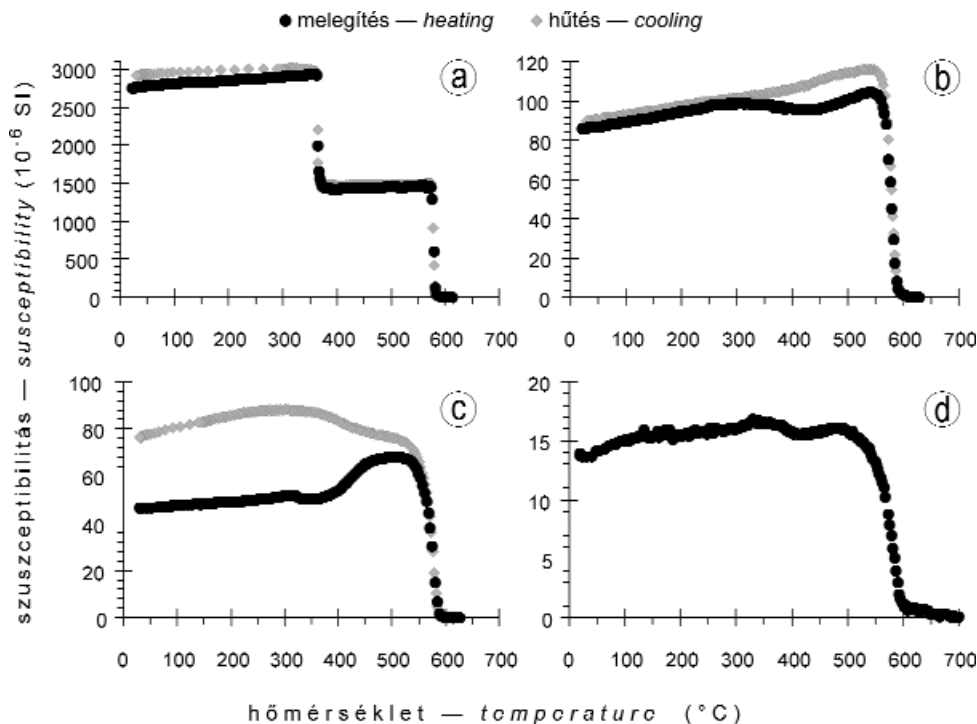
leülepedett porban Miskolcon eléri a 13 tömegszázalékot, míg Kolozs megyében maximum 3 tömegszázalék.

Következtetések

Ipari forrásból és járművektől eredő környezetszennyezést fakérgen, és környezetvédelmi szervezetek hálózati pontjain összegyűjtött pormintákon vizsgáltunk mágneses módszerrel. A gyűjtött porminták, amelyeket tudomásunk szerint még sehol sem vizsgáltak mágneses szempontból, a kutatás ideális tárgyainak bizonyultak. Ennek az oka, hogy tömegsuszeptibilitásuk csak a mágneses szennyezéstől függ, míg talajokban a természetes és antropogén forrásból származó mágneses ásványok együtt fordulnak elő, a fakérgen szennyezése pedig gyakorlatilag nem választható le a hordozó közegről. Porminták mágneses tömegsuszeptibilitását egymástól távol eső területek összehasonlítását is lehetővé teszi, kiválóan alkalmas a szennyezés monitorozására, sőt a mágneses szemcsék tömegszázalékának becslésére is (ehhez meg kell határozni a mágneses ásványt).

Fakéreg és ülepedő por vizsgálatainkból a következő megállapításokat tehetjük:

— A fákon megletezően magas mágneses szennyezés forgalmas utak mentén több 10 m-re is jelentős terjedésének, fallal lehet hatékonyan útját állni. Zajvédő falak építésével a légszűrőket károsító hatás is komolyan csökkenthető lenne.



8. ábra. Suszeptibilitás-hőmérséklet görbék néhány porminta Curie-hőmérsékletének (T_c) meghatározására

a) Ni és magnetit (Mt) etalon, $(T_c)_{Ni} = 360^\circ\text{C}$, $(T_c)_{Mt} = 578^\circ\text{C}$, b) Miskolc (DAM Rt.), c) Kolozs megye (9. sz. állomás, 63–32 μm -es frakció), d) Kolozs megye (23. sz. állomás, 32–1 μm -es frakció)

Figure 8. Susceptibility-temperature runs for Curie temperature (T_c) determination of some settled dust samples

a) Ni plus magnetite (Mt) standard sample ($T_c)_{Ni} = 360^\circ\text{C}$, $(T_c)_{Mt} = 578^\circ\text{C}$, b) Miskolc (DAM Rt.), c) Cluj County (Station 9, grainsize fraction 63–32 μm), d) Cluj County (station 23, grainsize fraction 32–1 μm)

— Miskolcon és Kolozs megye ipari városaiban gyűjtött porokban kizárólag magnetit a mágneses ásvány. Ez a gépjárművektől származó, fakérgen megfigyelt mágneses szferulákra is általában igaz. Egyetlen vasszferulát azonban talált az elektronmikroszkópos vizsgálat, amely egyúttal azt is megmutatta, hogy a legtöbb mágneses részecske a 10 µm vagy annál kisebb mérettartományba esik.

— Az ülepedő porokban a 32–1 µm szemcseméret dominál, és mivel ez a frakció egyben a leggyakrabban jelentkezik jelentős tömegszuszeptibilitással (II. táblázat), nagyon valószínű, hogy ebben dúsulnak az apró, hörgőket, sőt a tüdőhólyagokat károsító mágneses szferulák.

— Miskolcon lényegesen nagyobb a mágneses (és feltehetően a vele együtt járó potenciális nehézfém-) szennyezettség, mint Kolozs megye ipari városaiban. A magnetit koncentrációja a leülepedett porban Miskolcon eléri a 13 tömegszázalékot, míg Kolozs megyében maximum 3 tömegszázalék. Az ipari forrásból származó mágneses

szennyezés Miskolcon főleg a vasművektől ered és nagyobb távolságra is eljuthat, mert pl. a Szent Ferenc Kórház és Tüdőszanatórium területén gyűjtött porminták időnként kiemelkedően nagy szuszeptibilitása nem írható a gépjárműforgalom rovására.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást a TS044765 számú, „Integrált kutatómódszer kifejlesztése negyedidőszaki környezeti állapotok geofizikai vizsgálatára” című OTKA projekt keretében végeztük. A 3. ábra alapjául szolgáló térképért URAM Jánosnak, a Kolozs megyei mintákért FARKAS Izabellának és WEISZBURG Tamásnak mondunk köszönetet. A mérésekben és a segédanyagok elkészítésében IMRE GÁBOR és FERENCZ Edith működött közre.

Irodalom — References

- FARKAS, I. M. & WEISZBURG, T. 2006: Ülepedő és szálló por ásványtani vizsgálata a romániai Kolozs megyéből. — *Földtani Közlemény* **136**, 547–572.
- HANESCH, M. & SCHOLGER, R. 2002. Mapping of heavy metal loadings in soils by means of magnetic susceptibility measurements. — *Environmental Geology* **42**, 857–870.
- HOFFMANN, V., KNAB, M. & APPEL, E. 1999: Magnetic susceptibility mapping of roadside pollution. — *Journal of Geochemical Exploration*, **66**, 313–326.
- HAY, K. L., DEARING, J. A., BABAN, S. M. J. & LOVELAND, P. J. 1997. A preliminary attempt to identify atmospherically-derived pollution particles in English topsoils from magnetic susceptibility measurements. — *Physics and Chemistry of the Earth* **22**, 207–210.
- MÁRTON PÉTERNÉ SZALAY, E. & MÁRTON, P. 2006: Környezetszennyezés detektálása mágneses szuszeptibilitás mérésekkel. — *Magyar Geofizika* **47**, 27–30.
- STRZYSZCZ, Z. 1993. Magnetic Susceptibility of Soils in Areas Influenced by Industrial Emissions. — In: SCHULIN, R. (ed.): *Soil Monitoring. Monte Verita*. Birkhauser Verlag, Basel, 255–269.
- STRZYSZCZ, L., MAGIERA, T. & HELLER, F. 1996. The influence of industrial emission on the magnetic susceptibility of soils in Upper Silesia. — *Studia Geophysica et Geodaetica* **40**, 276–286.
- Kézirat beérkezett: 2007. 05. 16.