

I. A kutatás célkitűzése, elvi alapjai és gyakorlati kapcsolatai

Az 1980-as években Európában és É-Amerikában felmerült a lehetősége, hogy a talajokon észlelt mágneses szuszceptibilitás értékek változását a talajokban felhalmozódott ritkafémek (főleg nehézfémek) koncentrációjának változásával összefüggésbe lehet hozni, így a talajszennyeződések terepi mágneses mérésekkel lehetne detektálni. Az elméleti alapok pontosabb ismerete, megkutatása is megindult, de – amint az a természet és műszaki tudományokban gyakori – a gyakorlat bevezetése megelőzte az elméleti ismeretek elmélyülését. Hazánkban ezen a téren még nem történt eddig próbálkozás a módszer bevezetésével, de a környezettudományi kutatások és a gyakorlati környezetvédelem igényei miatt úgy véltük, hogy a kérdéssel foglalkozni kell.

Ennek alapján projektünk tematikája: a felhalmozódó nehézfémek koncentrációja és a talajok mágneses szuszceptibilitása (MS) összefüggésének megismerése Magyarországon legelterjedtebb talajtípusaiban. A kutatás célja végső soron olyan módszer fejlesztése, amely a rendelkezésünkre álló műszeres analitikával és kutatási szemlélettel lehetővé teszi a hazánkban előforduló talajtípusokra jellemző környezetgeokémiai és mágneses paraméterek kvalitatív és kvantitatív meghatározását és megalapozza azoknak kataszter-szerű összefoglalását a gyakorlati környezetvédelem számára.

A kutatás kiterjedt nemzetközi kutatási és alkalmazási eredményeken, ill. az azokban fellelhető ellentmondások figyelembevételén alapult. A nemzetközi szakirodalomban és több EU ország kutatási projektjeiben a 1990-es évektől egyre elterjedtebben foglalkoznak **a talajok mágneses szuszceptibilitása és a bennük levő nehézfém koncentráció közötti korreláció** kutatásával (pl. Flanders, 1994; Hay et al., 1997; Scholger, 1997; Heller et al., 1998; de Oliveira et al., 2000; de Jong et al., 2001; Hoffmann, 2001; Kapička et al., 2001). Az összefüggés elméleti alapjainak szórványos kutatásával egyidejűleg, több európai államban (Franciaország, Németország, Ausztria, Lengyelország, Csehország, Ukrajna) országos talaj szuszceptibilitási hálózat mérése is történik, jelentős iparvidékekről szennyezettségi térképsorozatok is megjelentek.

Jelen pályázatunk témája szigorúan vett alap kutatás, ezért mi – felhalmozódott tapasztalataink, szellemi és műszaki kapacitásunk segítségével – elsősorban az elméleti megalapozáshoz és a módszertani felkészüléshez kívántunk hozzájárulni. E célból a leggyakrabban, ill. regionálisan legelterjedtebben megjelenő talajaink típusszelvényein koordinált mágneses szuszceptibilitás méréseket (részben laboratóriumi, részben terepi mérések) és komplex geokémiai talajvizsgálatokat terveztünk. **Legfőbb célkitűzésünk, hogy olyan ásványtani-geokémiai paramétereket találjunk az egyes talajtípusok esetében, amelyek párhuzamba állíthatók a talajmágneses adatokkal.**

Az ásványtani vizsgálatoknál alapvetően abból indulunk ki, hogy legnagyobb szuszceptibilitása van a ferromágneses terméskémeknek (vas, kobalt, nikkelt), amelyek azonban a természetben ritkán fordulnak elő, azonban az ércfeldolgozás-kohászat során jelentős mennyiségben kerülhetnek a környezet talajaiba. Nagyságrendekkel kisebb a magnetit és a maghemit MS értéke, majd a többi mágneses Fe ásvány (pirrotin, greigit, hematit, goethit) következik. A paramágneses ásványok közül az ilmenit, sziderit, nontronit szuszceptibilitása igen kicsiny, a biotit, amfibol, piroxén szuszceptibilitása általában az előbbiekhöz képest is elhanyagolható. A sorban a dolomit és az agyagásványok (kivéve a kaolinit) következnek. A kőzet és talajalkotó ásványok közül negatív mágneses szuszceptibilitással rendelkező diamágneses anyagok a kalcit, földpátok, kvarc, szerves anyag, a víz (és a kaolinit). Ebben a vonatkozásban mindig figyelembe kell venni, hogy a talajok Fe-ásványai autigének, ill. allotigének-e, ezen belül antropogén szennyeződésből származnak-e. Ezekre a vizsgálatokra a projekt keretében költség- és időigényessége miatt nem keríthettünk sort, de a kutatás kiterjesztését újabb projekt keretében tervezzük.

A nemzetközi rutin környezetvédelmi felméréseknél a talajásványtani és geokémiai szempontokat általában nem veszik figyelembe, így a mérési adatok értékelése félrevezető lehet. Éppen ezért jelen projektünkben azt a célt tűztük ki, hogy olyan komplex geokémiai és geomágneses kutatási módszert dolgozzunk ki, amely alkalmas lehet az egyes talajtípusok különböző földtani és felszíni viszonyok között kialakuló eredeti, valamint utólagos, antropogén szennyezés során kialakult nyomelem dúsulás jellemzésére. **A kidolgozott módszerrel egzakt paramétereket adhatunk hazánk területén kifejlődött fő talajtípusok nehézfém szennyezésének mérési lehetőségéről talajmágnességi mérések alkalmazásával. Végző soron a tervezett kutatáson alapulva a jövőben olyan mérőhálózat is kialakítható lenne, amely kritikus területeken, gyors terepi módszerrel a szennyeződések monitorozását tenné lehetővé.**

II. A kutatás stratégiája és az alkalmazott kutatási módszerek

A projekt megvalósításának első szakaszában megtörtént az ásványtani, geokémiai és geofizikai kutatási módszerek kiválasztása és kalibrálása (pl. a mágneses mérőberendezés külföldi projekt keretében történő kalibrálása egy ausztriai terepi felmérésen), valamint a kutatásra alkalmas régiók, ill. talajszelvények kiválasztása, majd elindult a terepi munka kivitelezése (mintavétel és terepi mérések).

Hazánk területén a 35 talajkörzetben a FAO osztályozás szerint 22 talajtípus fejlődött ki, amelyek közül 8 olyan alaptípust különböztetünk meg, amelyek fő ásványtani-szöveti (strukturális) jellegük szerint élesen elkülönülnek, tehát a környezetgeokémiai szempontok szerint önálló jellemzésük szükséges (öntéstalajok, homoktalajok, réti talajok, csernozjomok, barnaföldek, agyagbemosódásos barna erdei talajok, szolonyecok és síklápi talajok). Ezek a talajtípusok viszonylag összefüggő területeken, egy-egy talajkörzetben fordulnak elő és viszonylag nagy területeket borítanak. A fő talajtípusok bizonyos sajátosságai az aljközetek (földtani felépítés) szerint is különböznek, így a vizsgálandó típus szelvények kiválasztásában ezt a szempontot is figyelembe kellett vennünk.

Kiválasztott etalon területeink: Cserhát, Duna-Tisza Köze É-i része (Hatvani síkság) és a Dráva völgye (Vízvár környéke). A vizsgált talajszelvények 6 olyan talajtípust képviselnek, amelyek hazánkban leginkább elterjedtek: barna erdei talajok, csernozjom talajok, réti talajok, szolonyec talajok (kétféle), humuszos homoktalajok és öntéstalajok.

Fontosnak tartottuk, hogy a talaj anyaközetek is eltérőek legyenek. Így a Cserhátban három jelentősen különböző talajképző kőzeten (andezit, slír és mészkő) kifejlődött talajszelvényeket vizsgáltunk. Tóalmás környékén pleisztocén laza üledékek, esetenként löszök alkotják a talaj anyaközeteket, Vízvár környékén pedig finomabb és durvább szemű, diagenetikusan gyöngén átalakult folyóvízi üledékekre települő talajok képezték a kutatás tárgyát. A kutatásnál olyan területeket választottunk, amelyek környezetileg nem terheltek, ipari működés és jelentős járműforgalom, valamint hulladéklerakó a környéken nem volt. **Összesen 14 talajszelvény különböző talajszintjeiből származó 96 talajmintán végeztünk laboratóriumi méréseket.**

A kiválasztott talajszelvényből kézi fűréssal a szemmel látható inhomogenitásoknál talajmintát gyűjtöttünk be és a talajfelszínen, ill. 5 cm mélységben, valamint a szelvények közelében több ponton végeztünk **terepi mágneses szuszceptibilitás (MS) mérést**. Ezek a mérések térfogatspecifikus szuszceptibilitásokat szolgáltattak, amelyek jól tükrözik a mágnesezhetőségi viszonyokat és az esetleges monitorozás szempontjából fontosak. A mérések nedves talajra és térfogategységre vonatkoznak, tehát nem azonosak az értékek a laboratóriumban történő, száraz mintákon súlyarányosan mért értékekkel. Ettől eltekintve a felszínen mért adatok nagyságrendi tájékoztatást adnak a talaj mágneses szuszceptibilitásáról. (E mérések szerint pl. a Dráva árterének üledéke a kiemelkedő nehézfém tartalma átlagos mágneses szuszceptibilitás értékkel, az andezitre települt erdei talaj, valamint a Tóalmás

környéki (kláramajori) csernozjom talaj pedig az átlagosnál nagyobb szuszceptibilitás értéket mutatott).

I. táblázat. A részletesen vizsgált talajszelvények

Szelvény (a talajszelvény kutatásban használt számjével)	Talajtípus	Talaj anyakőzet
13 Kisbárkány (Cserhát)	agyagbemosódásos barna erdőtalaj	Garábi slír
15 Szentkút (Cserhát)	agyagbemosódásos barna erdőtalaj	Lajtamészkö
16 Alsótold (Cserhát)	agyagbemosódásos barna erdőtalaj	Piroxénandezit málladék
ZS-1 Zsitfapuszta (Vízvár környéke)	barna erdőtalaj	Középszemű, homokos kőzetlisztes üledék
H-1 Háromfa (Vízvár környéke)	barna erdőtalaj	Finomszemű, homokos kőzetlisztes üledék
M-1 Háromfa (Vízvár környéke)	szántott barna erdőtalaj	Finomszemű, homokos kőzetlisztes üledék
1207 Felsőboldogkát (Tóalmás környéke)	alföldi mészlepedékes csernozjom	Agyagos, finomhomokos kőzetlisztes üledék
495 Kláramajor (Tóalmás környéke)	alföldi mészlepedékes csernozjom	Agyagos, finomhomokos kőzetlisztes üledék
1470a Szentlőrinc-káta (Tóalmás környéke)	redukált szolonyec	Agyagos, finomhomokos kőzetlisztes üledék
1470b Szentlőrinc-káta (Tóalmás környéke)	oxidált szolonyec	Agyagos, finomhomokos kőzetlisztes üledék
1051 Tóalmás (falu széle)	régi talaj	Agyagos, finomhomokos kőzetlisztes üledék
VDR-1 Vízvár (Dráva völgy)	ártéri talaj	Kavicsos, középszemű homokos üledék
DP Vízvár (Dráva-völgy)	ártéri üledék szelvény	Középszemű, homokos üledék
715 Tóalmás, Szőlő-hegy	humuszos homoktalaj	Futóhomok

Az ELGI Paleomágneses laboratóriumában eddig nem alkalmazott módszertani újításként a Bartington szuszceptibilitás mérővel kétféle frekvencián is mértünk. A kisfrekvenciás méréssel az összes paramágneses és mágneses ásvány szuszceptibilitását lehet mérni, míg a nagyfrekvenciás méréssel kiküszöböljük a szuperparamágneses szemcséktől eredő összetevőt. Az utóbbi a talajokban, nagyobb arányban fordul elő, mint az anyakőzetben, ezért a talajosodás mértékére is lehet következtetni a kis és nagyfrekvencián mért szuszceptibilitás nagyságának eltéréseiből. A talajokban gyakori Fe-dús gélanyagokból igen finomszemű mágneses ásványok kezdenek kristályosodni, ezek kis frekvencián mért szuszceptibilitás értékei jelentősen nagyobbak, mint a jól kristályosodott, nagyobb szemcséjű, többnyire az anyakőzetekből áthalmozott ásványszemcséké. **Ez a módszer tehát alkalmas lehet arra, hogy a vizsgált talajokban szétválasszuk az elsődleges és másodlagos hatókat.** Egyben magyarázatot kapunk arra is, hogy miért jelentkezik a különféle talajokban eltérő mértékű, de általában nem jelentős korreláció a Fe koncentráció és a mágneses szuszceptibilitás értékek között (ld. III. fejezet).

Laboratóriumban mértünk tömegspecifikus szuszceptibilitást a 14 szelvény 96 laborszár az mintáján. Ahol elég nagy értékeket találtunk, a szuperparamágneses frakció arányának becslése céljából nagyfrekvenciás szuszceptibilitás méréseket is végeztünk.

A talajszelvényekből célszerű sűrűséggel vett talajmintákon a **pH értékek** mérése mellett az összes minta **röntgen diffraktometriás (Philips PW 1730) ásványos összetétel meghatározásával** az agyagásvány- ill. csillámszerkezetek, karbonátásványok, továbbá ahol ez lehetséges volt (a röntgen kimutathatóság határát meghaladó koncentráció esetében) a téma szempontjából legjelentősebb a vasásványok (goethit, hematit, maghemit, magnetit, pirit és egyéb szulfidok), ill. színes szilikátok félkvantitatív mérése is megtörtént.

Az egyes talajszelvényekben a toxikus nyomelemek (nehézfémek) koncentrációjának mérése, valamint szelektív oldhatóságának vizsgálata is megtörtént. Az összes mintán röntgenfluoreszcens (Philips PW 1410) elemzéssel mértük a Fe, Mn, Co, Ni, Zn és Pb koncentrációkat. A nyomelemek mobilitási viszonyainak megállapítása is kutatási célunk volt. Ennek megállapítására szekvenciális kioldást is végeztünk Li et al. (1995) módszere alapján. **Az ICP-AES méréseket kutatási együttműködés keretében a Bristol University-n végezték el Jobin Yvon Ultima 2 szekvenciális spektrométerrel.** A módszer idő- és költségigényessége miatt csak 35 olyan talajmintán végeztük el ezeket a méréseket, amelyek az összes vizsgált talajszelvénynek fő (A, B és C) talajszintjeit reprezentálják.

Az alkalmazott kémiai analitikai módszerek specifikációja:

I. XRF (Philips 1410) elemzések relatív hibája: Fe 0,6%, Mn 1,5%, Co 12%, Ni 10%, Zn 4%, Pb 15%.

II. Szekvenciális kioldás Li et al. (1995) módszere alapján öt lépésben:

1. Ioncsere $MgCl_2$ -dal
2. Adszorbeált és karbonátokhoz kötött mennyiség meghatározása CH_3COOH -val
3. Vas-mangán oxidokhoz köthető elemtartalom meghatározása (redukálható mennyiség) $NH_2.OH.HCl$ -dal (redukálható mennyiség)
4. Szerves anyaghoz és szulfidokhoz köthető mennyiség meghatározása H_2O_2 és HNO_3 elegyével (oxidálható mennyiség)
5. Maradék frakció HF , $HClO_4$ és HNO_3 elegyével.

A feltárások reprodukálhatósága 85-113% között volt.

A mágnese szuszceptibilitás, valamint a kétféle geokémiai mérés eredményeit korrelációs számításokkal értékeltük szelvényenként, ill. összesítve. Az ásványfázisok ismeretét az észlelt anomáliák értékelésénél használtuk föl.

III. A terepi és laboratóriumi mérési eredmények és értékelésük

1. A vizsgált talajszelvények ásványos összetétele talajtípusonként XRD és kiegészítő derivatográf mérések alapján, különös tekintettel a mágnese szuszceptibilitást meghatározó ásványokra:

Alföldi mészlepedékes csernozjom:

Kevés illit és klorit, másutt szmektit is. Kalcit és dolomit az egész szelvényben jelentős. **Amfibol és hematit** az alsó zónában kimutatható. **Másutt a B szintben piroxén, hematit, goethit is megjelenik.**

Réti talaj (ösrét, sok száz évig bolygatatlan, igen magas talajvíz szinttel):

Agyagfrakcióban illit, klorit. Kalcit és dolomit **az egész szelvényben, az alsó szinten piroxén és magnetit. A legfelső 5-10 cm-en a maghemit kimutatható.**

Humuszos homoktalaj:

A kvarcon és földpáton kívül csak nyomokban van csillámszerkezet. **A felső szintben nyomokban amfibol is.** A felső 25 cm-en humuszanyag.

Ártéri talaj:

Közepes mennyiségű, jól kristályosodott csillámszerkezet és klorit. A karbonát főleg dolomit, kevés kalcittal. **Amfibol és piroxén** az egész szelvényben kimutatható. A középső szintben **maghemit és goethit** ugyanazon mintából kimutatható.

Erdei talajok (Dráva völgyben):

Kevés, ill. közepes mennyiségű szmektit, illit, klorit (mennyisége lefelé növekszik). Amfibol nyomokban (karbonátok és vasásványok nem mutathatóak ki). Ugyanezen talaj szántóföldi megművelésben **goethitet és hematitot** tartalmaz, az alsó szintben **maghemitet** mutattunk ki.

Erdei talajok (Vízvár környékén): Lefelé haladva a csillámszerkezetek, agyagásványok mennyisége növekszik, az illit-klorit dominál, a szmektit kevés, de lefelé növekszik. Karbonátosodás nincs. **Amfibol és goethit** nyomokban. (A mágneses szuszceptibilitás viszont a talaj középső szintjében éri el maximumát).

Erdei talajok (Cserhátban):

Slírre települt talaj: Az agyagfrakcióban dominál a szmektit (tipikus kis rétegtöltésű, nagy vas-tartamú talajmontmorillonit). Karbonát nincs. A talaj alsó részében **magnetit**, középső szintjében **maghemit** fordul elő. TEM vizsgálatok során 10 nanométeres, sajtá alakú **hematit** is kimutatható volt.

Andezitre települt talaj: Az előző szelvényhez hasonló agyagásvány összetétel, de kevesebb agyagfrakció. Alsó szelvényrészben **piroxén és magnetit** (allochton), a 15 cm-ről vett mintában **hematit** és **goethit** erős oxidációra utal.

Szolonyec talajok:

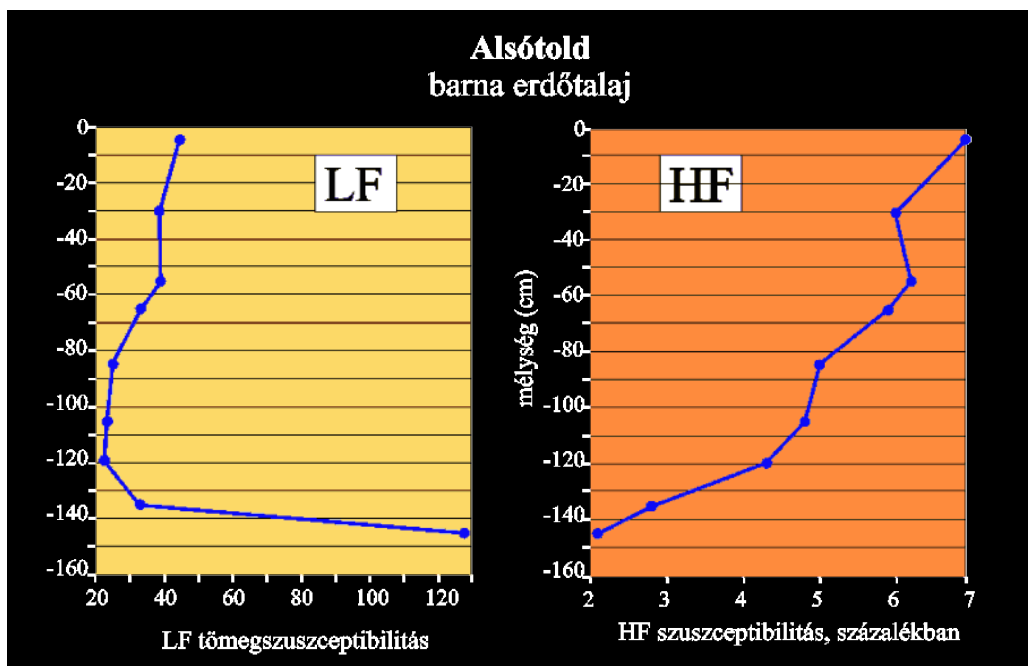
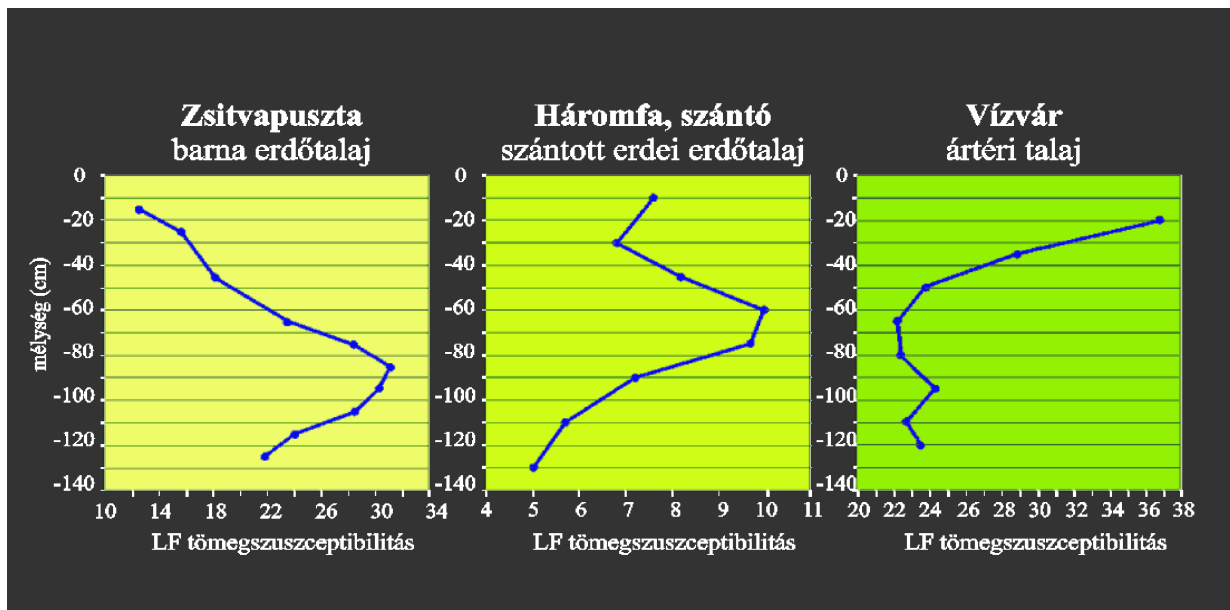
Reduktív: Illit-klorit (igen kevés szmektit) a B szintben kissé dúsul. A legalsó és legfelső szinten kalcit. Az **amfibol** nyomokban kimutatható.

Oxidatív: Igen kevés az agyagásvány (megegyezik az összetétel a reduktív talajéval). Fe-ásványt nem lehetett detektálni sehol a szolonyeces talajokban.

2. A talajok mágneses szuszceptibilitás értékei

A mágneses szuszceptibilitás (MS) értékek $2 - 130 \times 10^{-6}$ CGS között változtak. A legnagyobb értékeket anyakőzet közeli C szintben andezit anyakőzeten mértük. A legfelső talajszintben (A szint legfelső 5 cm-ében) a legnagyobb MS-t erősen kötött csernozjom talajban (77×10^{-6} CGS), a legkisebbet öntéstalajban figyeltük meg. Az MS értékek szelvénymenti eloszlása változatos képet mutat. Erdői talajokban a B szintben általában maximuma van (ami egybeesik a Fe maximummal és itt halmozódnak az agyagásványok is). Csernozjomban a legnagyobb MS értékek az A szintben jelentkeznek. Itt a maximális a szuperparamágneses ásványok (ezek a talajosodás mértékére jellemző nanoásványokkal azonosíthatóak) aránya is, míg ezek szinte teljesen hiányoznak az ártéri üledékeken, vagy andeziten keletkezett talajokban (itt ui. az áthalmozott, törmelékes Fe-ásványok dúsulnak).

Az összes szelvényről rendelkezünk MS eloszlási diagrammal, a korlátozott terjedelm miatt itt csak a talajgenetika, az és anyaközet jelentőségét bemutató diagramokat mutatjuk be.



3. A nehézfémek koncentrációja és változása a szelvényekben

Az MS mérésekkel azonos pormintákból elvégzett kémiai analitikai mérések szerint kiemelkedően nagy értékeket (a talajokra megállapított WHO felső értékeknél nagyobb koncentrációkat) csak a Dráva árterén mintázott szelvényben mértünk, más esetekben a vizsgált területeken sehol nem történt jelentősebb nehézfém szennyezés (a Dráva árterben mért nehézfém dúsulás egyben a Fe-ásványok dúsulását is jelentette).

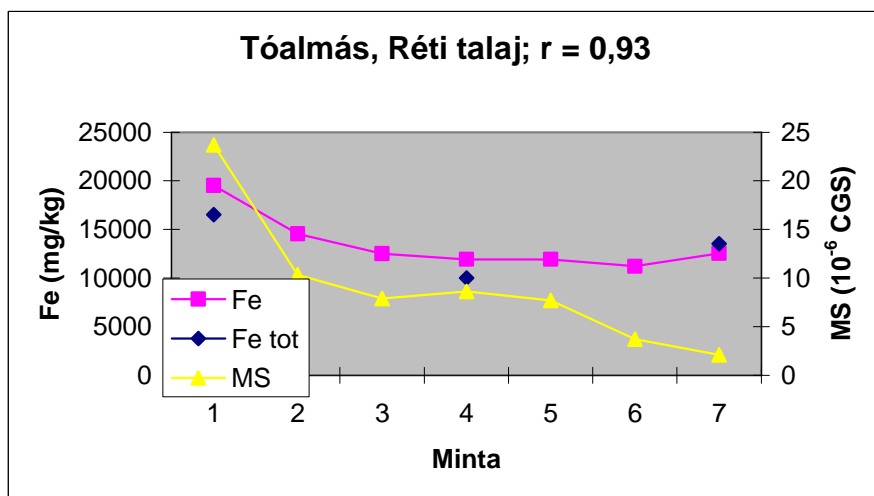
Természetesen a nehézfémek a talajok A, B és C szintjeiben eltérő koncentrációt mutattak, mégpedig a talajtípusokra jellemző módon. A bolygatatlan talajok felső szintjében, míg az agyagbemosódásos erdei talajok B szintjében, ill. C szintjében, másutt általában a C szintben jelentkezik a legtöbb nehézfém. Általában ezt az eloszlást a mért MS értékek is alátámasztják.

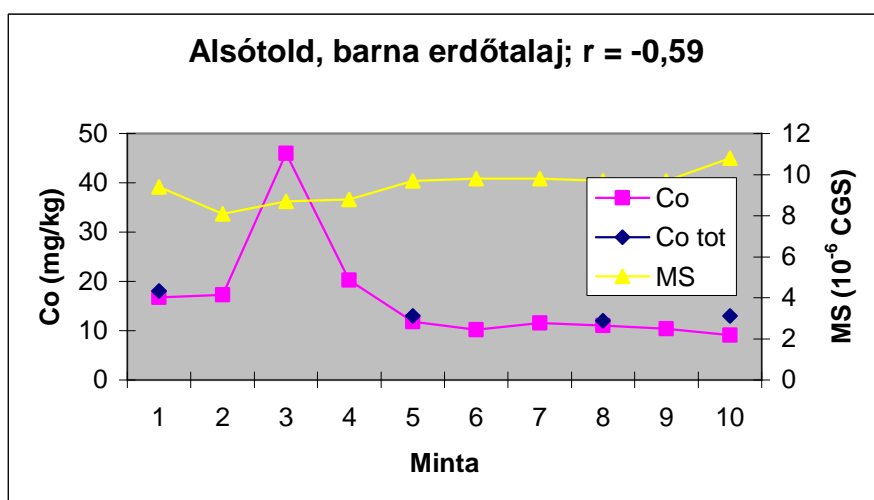
Ez az eredmény arra hívja föl a figyelmet, hogy nagyobb területen a mágneses szuszceptibilitások értékelésénél figyelembe kell vennünk a talajtípusok változásán kívül a terület földtani felépítésének (a talajok anyaközetének) változását is. (Ilyen értékeléseket a nemzetközi szakirodalomban ritkán találtunk, de figyelembe kell venni, hogy a szennyezett területek nagyságrendekkel nagyobb MS értékei elfedik a földtani adottságból adódó különbségeket).

A **szekvenciális kioldással megállapított redukált, oxidált, ill. maradék fázisok mérése** azt mutatta, hogy a Fe főleg a maradék fázisban (spinell rácsú oxidos és szilikátos kötésben), ill. másodsorban a redukált kioldási fázisban (pedogén oxidok-hidroxidok formájában) van jelen a talajokban, de talajtípusonként eltérő arányban. Ez az érték ugyanazon talajszelvények A, B és C szintjeiben is jelentősen különbözik. Ezt az eloszlást részben az oldhatatlan, ill. nehezen oldható átöröklött ásványok aránya, részben a talaj átalakulási folyamatában kialakuló redox-viszonyok befolyásolják. Az MS értékek és a nehézfémek számított korrelációjának változása a talajszelvények különböző szintjeiben, ill. a szelvények összehasonlításában arra utal, hogy a mobilis, ill. mobilizálódásra alkalmas vasnak (és a vele migráló nehézfémeknek) nemcsak a mennyisége, hanem megkötődési formája is befolyásolja a mágneses szuszceptibilitást.

A mellékelt diagramokon a korlátozott terjedelem miatt csak két talajszelvényben mutatjuk be az MS értékek és az adott nehézfémek koncentráció változását a mélység függvényében.

A diagramok mellett feltüntettük az adott elemre vonatkozó szelektív kémiai analízis korrelációs értékeit az MS értékekkel. Ezek a számok mutatják, hogy az adott talajszelvényben melyik fázis volt meghatározó (ld. a II. fejezetben ismertetett szelektív nehézfém analízis jellemzését). A két illusztráció egy igen jó és egy gyenge korrlációt mutató talajszelvényről készült.





Az ismertetett eredmények arra engednek következtetni, hogy a kutatást szükséges lenne kiterjeszteni a talajok mikro-és nano vasásványainak detektálására, főként a Fe-ásványok nehézfém megkötési folyamatának kristálykémiai vizsgálatára. Külön feladat a gél állapotú, instabil fázisok kimutatása, amelyek valószínűleg a legjelentősebbek a felszíni nehézfém szennyeződések megkötésében, ugyanakkor a felszíni fiziko-kémiai viszonyok, főként a p_H és a redox viszonyok változása ezek stabilitás viszonyait az adott talajszelvényben jelentősen és viszonylag rövid idő alatt megváltoztathatják. (Amit ma mérünk, az már kérdéses lehet a következő évszakban, vagy a klíma gyors változásának hatására). Jelenleg folyamatban van OTKA pályázatunk a téma megoldására.

IV. Az eredmények összefoglalása, következtetések és javaslat a hasznosításra

A kutatás eredményei:

1. A projekt célkitűzésének megfelelően Magyarországon először végeztünk talajokon mágneses szuszceptibilitás mérést komplex ásványtani-geokémiai vizsgálatokkal koordináltan.

Három kutatási területen 13 talajszelvényen, ill. az azokból vett 96 fúrási talajmintán terepi, ill. laboratóriumi mérések történtek a II. fejezetben részletezett módszerekkel.

A mérésekkel hazánkban legelterjedtebb talajtípusainkról (barna erdei talajok, réti talajok, csernozjomok, öntéstalajok, szolonyec talajok) – viszonylag szennyeződéstől mentes, természetes állapotukban – sikerült a mágneses szuszceptibilitás és a talajgeokémiai jellegek összefüggésére alapadatokat adni.

2. Meghatároztuk a talajok típusát részben alakító ásványos alkat és a talaj mágneses szuszceptibilitása közti összefüggéseket. Eredményeink azt mutatják, hogy a természeteshez közeli állapotú talajok szennyeződésének detektálásánál nem elegendő csak a felszínen (néhány cm-es mélységig) mérni, hanem kontrol szelvény méréseket is be kell iktatni a módszer alkalmazásánál.

3. Az eredmények részletes értékelésével megállapítottuk, hogy a nehézfém-tartalom és a mágneses szuszceptibilitás közti összefüggés a bolygatatlan talajokban egyértelmű (esetünkben a csernozjomok, a barna erdei talajoknak, főként a B szintje és a réti talajok). A (jelentős) nehézfém szennyezéssel nem járó mezőgazdasági tevékenység azonban megváltoztatja a természetes állapotban tapasztalt összefüggéseket a nehézfém-tartalom és a mágnesezhetőség között.

4. Egyes talajszelvények esetében a mágneses szuszceptibilitás (MS) értékek gyengén, vagy nem korrelálhatóak a nehézfém koncentrációkkal. Ezekben az esetekben a talaj redox viszonyok és p_H által jelentősen befolyásolt, valamint az adott talaj érettségétől függően stabilis, vagy instabilis ásványfázisok okozzák a korreláció anomáliáját. Ezért a kutatás folytatásaként tervezzük a vizsgált talajszelvényekben a mágneses szuszceptibilitással rendelkező mikro- és nanoásványok részletes, korszerű műszeres (SEM és TEM) vizsgálatát, különösen az azokhoz kapcsolódó nehézfémek beépülését a rácsszerkezetekbe. Különösen fontos feladat a gél állapotú, ill. kriptokristályos (nano-méretű) instabil Fe ásványfázisok kimutatása, amelyek valószínűleg a legjelentősebbek a nehézfém szennyeződések megkötésében. (A kutatás költségigényessége miatt ezekre a vizsgálatokra eddig nem került sor).

Az eredmények gyakorlati felhasználási lehetősége

1. Az említett, jelentős elterjedésű talajtípusaink ásványtani és geokémiai adatbázisához új, korszerű, nagyműszeres analitikai adatokkal járultunk hozzá. Különösen kevés adattal rendelkezünk eddig a szelektív nehézfém megkötés kérdésében, amely adatok ismerete különösen fontos az esetleges jövőbeli nehézfém szennyeződési folyamatok dinamizmusának előrejelzésénél. Így a jelenleg zajló klímaváltozásokkal kapcsolatos redox, p_H , ill. víztelítettségi változások hatásának előrejelzése egzaktabbá válhat.

2. Összességében a jelen projekt eredményeinek felhasználásával - az általunk kísérletileg igazolt módszerrel - a már kialakult szennyezett területeken, ill. esetleg a jövőben bekövetkező nehézfém szennyeződések esetében a mágneses szuszceptibilitás felhasználásával gyors és viszonylag olcsó terepi mérésekkel és monitoring rendszer felállításával hatékony és gyors környezetvédelmi térképező munkát végezhetünk. A kutatásból levonható következtetésünk szerint azonban - a nemzetközi gyakorlatban gyakran fellelhető, rutinszerű, a földtani és talajtani viszonyokat figyelmen kívül hagyó, egyoldalú, automatikus mérési tevékenység helyett - mindenkor komplex földtani-geokémiai szemléletű kontrol alkalmazását is javasoljuk.

Az analitikai mérések költség és időbeli igénye miatt ez ideig csak részadatok publikálásával jelentkeztünk nemzetközi és hazai konferenciákon, ill. kisebb publikációkban. Jelenleg folyamatban van három, nagy terjedelmű kéziratunk összeállítása: melyek közül egy-egy a Földtani Közlönyben és a Geofizikai Közlönyben (a módszer ismertetése és az eredmények összegzése kétféle aspektusból), a harmadikat egy nemzetközi környezetgeokémiai folyóiratban (a mérési adatok részletes közlése, értékelése és a módszerrel kapcsolatos új javaslataink) tervezzük megjelentetni.

Irodalom

Baize, D, Sterckeman, T. 2001. On the necessity of knowledge of the natural pedo-geochemical background content in the evaluation of the contamination of soils by trace elements. *The Science of the Total Environment* 264: 127-139

Flanders P.J., 1994. Collection, measurements and analysis of airborne magnetic particulates from pollution in the environment. *J. Appl. Phys.*, 75, 5931-5936.

Hay K.L., J.A. Dearing, S.M.J. Baban and P.J. Loveland, 1997. A preliminary attempt to identify atmospherically-derived pollution particles in English topsoils from magnetic susceptibility measurements. *Phys. Chem Earth*, 22, 207-210.

Heller F., Z. Strzyszczyk and T. Magiera, 1998. Magnetic record of industrial pollution in forest soils of Upper Silesia, Poland. *J. Geophys. Res.*, 103, 17767-17774.

Hoffmann V, and MAGPROX team, 2001. Large-area mapping of soil magnetic susceptibility and links to pollution sources. *Geophys. Res. Abstr.*, 3, SE 15.

- Kapička A., Jordanova N., Petrovský E. & Ustjak S., 2001. Effect of different soil conditions on magnetic parameters of power-plant fly ashes. *J. Appl. Geophys.*, 48, 93-102.
- Li et al 1995
- Scholger R., 1997. Magnetic susceptibility as a tool for mapping of heavy metal contamination of sediments and soils. Case studies from Styria, Austria. Abstract. *Annales Geophysicae*, Part I, Suppl. I, 15, C105.
- de Jong, E, Kozak, LM, Rostad, HPW. 2000. Effects of parent material and climate on the magnetic susceptibility of Saskatchewan soils. *Canadian Journal of Soil Science* 80: 135-142
- de Matos, AT, Fontes, MPF, da Costa, LM, Martinez, MA. 2001. Mobility of heavy metals as related to soil chemical and mineralogical characteristics of Brazilian soils. *Environmental Pollution* 111: 429-435
- de Oliveira, TS, Fontes, MPF, da Costa, LM, Horn, AH. 2000. Relationship between magnetization and trace elements content of Brazilian soils from different parent materials. *Soil Science* 165: 825-834
- Fujikawa, J, Fukui, M, Kudo, A. 2000. Vertical distributions of trace metals in natural soil horizons from Japan. Part 1. Effect of soil types. *Water, Air, and Soil Pollution* 124: 1-21
- Pasieczna, A, Lis, J. 1999. Relationship between the geochemistry of soils and the geological basement in the Lower Silesian Coal Basin, SW Poland. *Journal of Geochemical Exploration* 66: 219-227