

Táji mintázatok hatása vizes élőhelyek vasháztartására

K100180 és K100181 pályázatok zárójelentése



témavezetők: Szalai Zoltán, Németh Tibor

**készítették: Szalai Zoltán, Ringer Marianna, Balázs Réka, Németh Tibor,
Jakab Gergely, Kiss Klaudia, Horváth-Szabó Kata, Madarász Balázs, Sipos
Péter, Fehér Katalin, Kása Ilona**

2017.

Bevezetés

A kilencvenes évek angolszász tájkutatási iskolái a tájat a felszín egyfajta mozaikjaként értelmezi (Forman, 1995). A mozaik elemei a tájfoltok, melyeket elsődlegesen a növényzet rajzol ki, de ennek kialakításában a többi tájalkotó tényező is szerepet játszik. Az előbbiekből is következik, hogy a természetes tájfoltok végeredményben a tájalkotó tényezők térbeli heterogenitásának eredményei. A földfelszín tájsempéinek mozaikja a közvetlen és közvetett emberi beavatkozások hatására rendszerint megváltozik. A változás iránya (komplexxebbé válik, vagy ellenkezőleg a rendszer egyre egyszerűbb szerkezetűvé válik) és mértéke a beavatkozás intenzitásának függvényében alakul (Forman és Moore, 1998).

A vizes élőhelyek, ezen belül a mocsarak és lápok a tájkutatás egyfajta laboratóriumaiként értelmezhetők, mivel a tájfoltok már egyes tájalkotó tényezők (pl. relief, vízhatás mértéke, stb..) látszólag csekély különbségei esetén is kialakulnak, másrészt a tájkutatási kérdéseket felvető folyamatok sebessége is rendszerint nagyobb.

A múlt század hetvenes és nyolcvanas éveiben a tájökológia/geoökológia egyik kurrens kutatási irányzata a tájmozaikot, ill. a tájszerkezetet fenntartó anyag- és energiaáramok megismerése volt (Leser 1991). A tájkutatás ezen irányzatai részben az átfogó eredmények hiányában zsákutcába jutottak. Mai ismereteink tükrében ez feltételezhetően részben a mintaterületek kiválasztásának, részben pedig a kor műszaki fejlettségének volt betudható.

A tájfoltok közötti energiaáramok vizsgálata ma is komoly kihívást jelent. A talajban és a növényzetben kimutatható anyagi különbözőségeek vizsgálata terén az elmúlt másfél évtizedben azonban új lehetőségek nyíltak meg. A tájfoltok „ökoszisztémái” működésében a szén és a nitrogén minőségének vizsgálata lehet a leginkább releváns, de ezek (táji léptékben is megfigyelhető) biogeokémiai folyamatai a vas állapotváltozásainak függvényében értelmezhetők (Davidson et al, 2003). A vizes élőhelyeken, a folyamatok sebességén túl épp a vas szerepének vizsgálhatósága válik jelentősen egyszerűbbé.

Jelen kutatási pályázat a klasszikus német geoökológiai iskola nyomdokain haladva egy lápi és mocsári tájfoltokból felépülő, 8 ha területű, kvázi zárt egységet alkotó vizes élőhely alapján tett kísérletet az alábbi kérdések megválaszolására:

1. A növényzet és a domborzat által kirajzolt tájfoltok között megfigyelhetők-e a vas (valamint a szén és a nitrogén) mennyiségében és minőségében különbségek?
2. A tájfoltok talajaiban milyen mértékben eltérőek a redoxi viszonyok? Ezek a különbségek milyen mértékben függnek
 - a. a magasabb rendű növényektől,
 - b. a vízhatás mértékétől?
3. A redoxi viszonyokban kialakult területi különbségek megjelennek-e az talajban képződött (vas)ásványok minőségi különbségeiben?
4. A területi különbségek hatására kialakult (vas)ásványtani különbségek milyen módon befolyásolják a tápanyag és a toxikus nehézfémek megkötésének mértékét.

A kutatás során több módszertani fejlesztést is végeztünk. A zárójelentésben a publikált eredményeket szűkebb terjedelemben, a még nem közöltek és a módszertani fejlesztéseket bővebben ismertetjük.

Vizsgálati terület

Mintaterületünk Ceglédbercel község déli határában, a Gerje egykori hullámterén elhelyezkedő közel 8 ha kiterjedésű kaszálórét. A terület Dövényi (2010) kistájbeosztása szerint a Pilis-alpári Homokhát Gödöllői-dombsággal szomszédos részén fekszik. A vizsgált kaszálórét a Gerje vízhatása alatt áll, talajvízszintje ennek vízállását követi. A legmélyebb (lápi dinamikájú) szintek az év 5-9 hónapjában vízzel borítottak. A kiemeltebb réti dinamikájú területeken a vízborítás az év 2-5 hónapjára korlátozódik, míg a legmagasabb –mezofil növényzetű– térszínek még a legmagasabb vízállások idején is szárazon maradnak. A hidromorf területeken a feltalaj a legszárazabb időszakokban is szabadföldi vízkapacitásnál telítettebb vízzel.

A terület -időközben elhunyt- tulajdonosának (Plutzer Lénárd, 2013) elbeszélése szerint a terület az 1920-1970-es évek között jelentős felszínátalakításon esett át (1. ábra). A legnagyobb környezeti változást előidéző műveletek az alábbiak voltak:

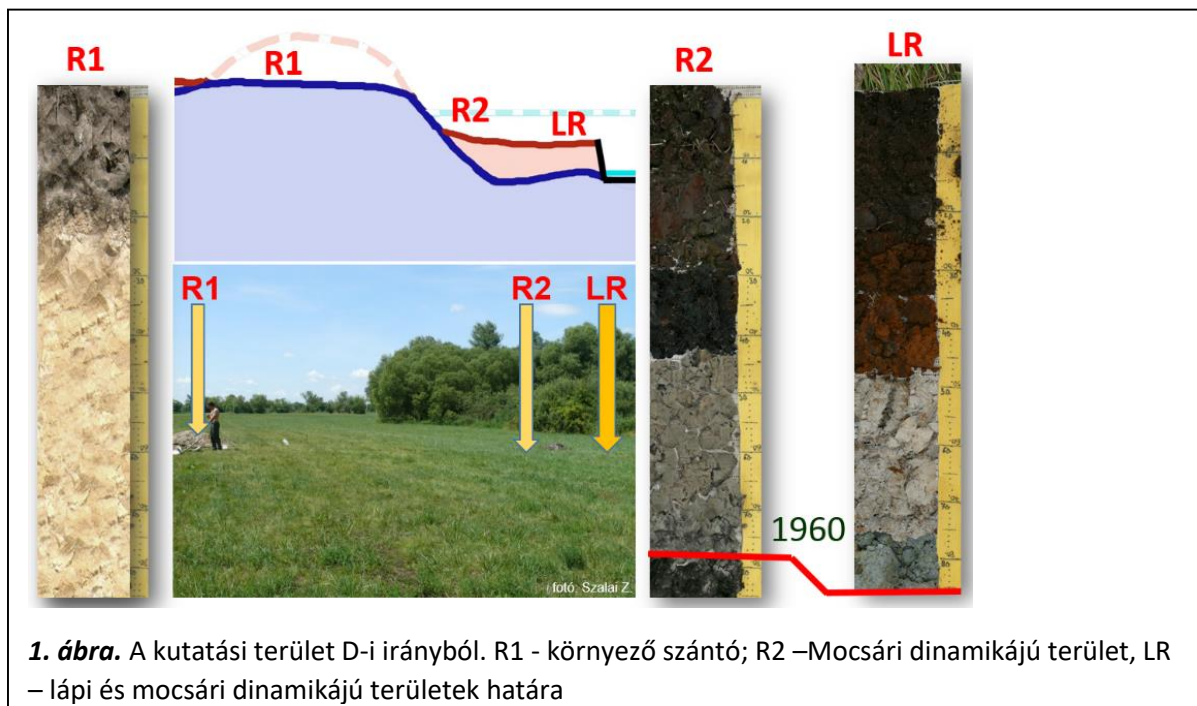
legmélyebb területeken történő tőzegkitermelés (1920-1940);

tereprendezés (1950-es évek eleje);

1963. március 30-i hirtelen olvadást követő árvíz, mely a környező dombról lehordott anyaggal töltötte fel a mélyebb területeket;

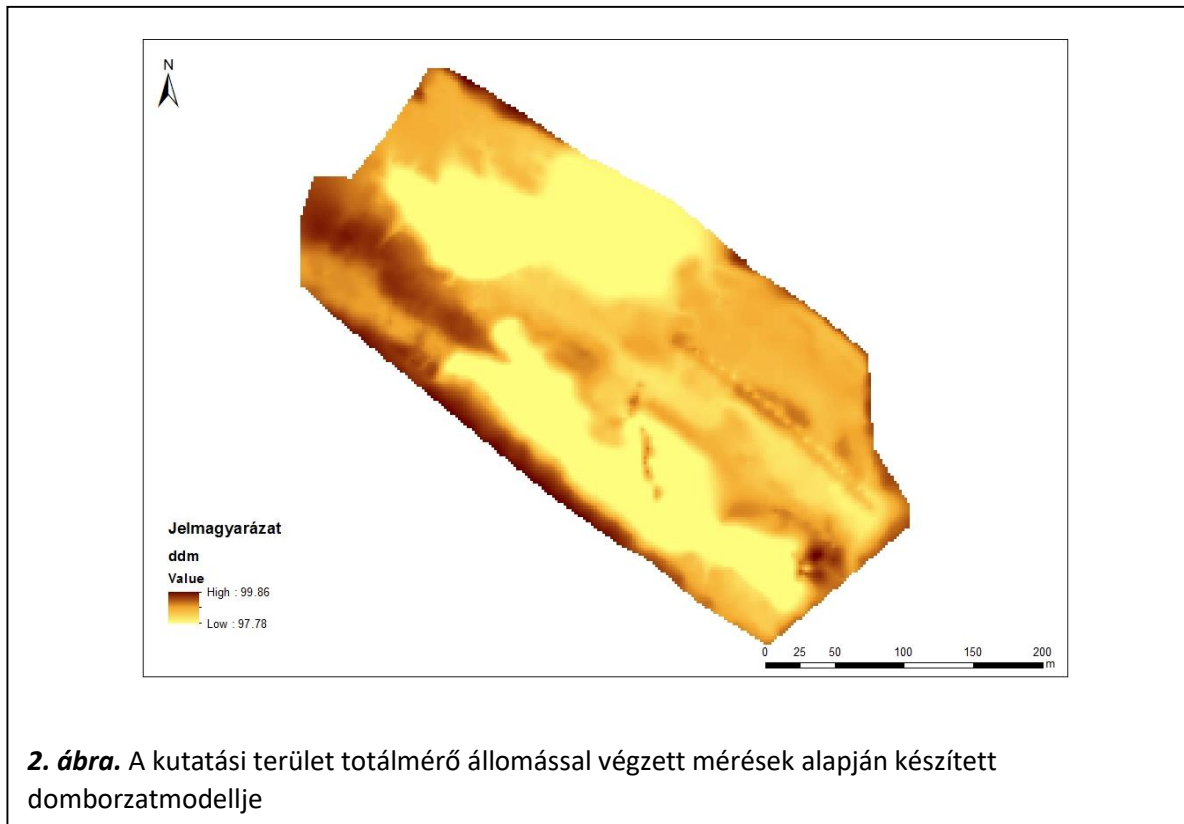
Gerje 1975-ös mederrendezése.

A területen ezt követően már nem volt olyan ár esemény, amely során a Gerje medrét elhagyta (Plutzer Lénárd, 2013 szóbeli közlés). A napjainkban réti és lápi dinamikájú területeken az eredeti (1963 előtti) felszín jelző eltemetett láptalaj legfelső szintjét 80-120 cm mélységben fúrással mi is megtaláltuk.



A közel zárt egységként kialakult területen (2. ábra) a legnagyobb szintkülönbség két méter. Mivel a talajképző kőzet anyaga homok, így ez a szintkülönbség a teljes lápi, mocsári és nem hidromorf mezofil jellegű területi egység kialakulását tette lehetővé.

A terület tereprendezés során szétterített egykori homokhát helyének területét ma szántóként hasznosítják. Az itt kialakult homoktalaj alapkőzete feltehetően ugyanaz a meszes homok, mely a vizsgált réti talaj kiindulási anyaga is volt. A terület genetikájának ismeretében így a mélyebb fekvésű területek fiatal talajainak kialakulását is nyomon követhetjük.



2. ábra. A kutatási terület totálmérő állomással végzett mérések alapján készített domborzatmodellje

Alkalmazott módszerek

Domborzat felmérése, DDM készítése

A terület domborzatának meghatározása Trimble 3305DR lézeres totálmérő állomás segítségével, centiméteres pontossággal történt. A kezdőpontot és a tájékozási irányt geodéziai GPS segítségével határoztuk meg. A mérést két figuráns bevonásával Leica, ill. Trimble prizmákra végeztük. A területen megközelítőleg 20 m rácsponttávolsággal 2600 pont térbeli koordinátáját vettük fel. A domborzatilag markáns (gátak, peremek, letörések, magaslatok) pontokon további méréseket végeztünk. A műszer a mérési eredményeket közvetlenül PC-re exportálta, ahol ArcGIS10.3 segítségével a mért pontok közé felszínt interpoláltunk.

Növényzeti felvételezés

A cönológiai vizsgálatok a területet átszelő transzkek, illetve a talaj- és vízmintavételi pontok helyszínének közelében, de azok által közvetlenül nem érintett területen történtek. A transzkek mentén egymással érintkező, 1x1 m-es oldalhosszúságú kvadrátok sorozatában fajlista felvételt, illetve fajok szerinti százalékos borításbecslést végeztünk. A cönológiai felvételezések július első-második hetében készültek. A további adatfeldolgozás az egyes fajokhoz tartozó Soó-féle ökológiai mutatók (TWR-értékek), illetve a Simon-féle természetvédelmi értékek felhasználásával történt. A növényzeti foltok lehatárolása a terület bejárása közben a folthatárok „lejárásával”, ill. e közben a poligonok határainak (GPS-sel) rögzítésével történt.

Talajmintavétel

A magasabb fekvésű területeken talajszelvényekből, a hidromorf területeken Eijkelkamp típusú kézfűró készülékekkel, Edelman-féle és Piston sampler fejeket alkalmazva gyűjtöttünk mintákat. A mintavétel 10 cm-es mélységközökkel történt. A víz feletti mintákat villámzáras PE tasakokba, a talajvízszint alól vettek Falcon csövekbe gyűjtöttük. A begyűjtött mintákat légmentesen lezárva tároltuk.

Talajvíz és talajnedvesség minták gyűjtése

A növényzeti felvételezések, a domborzat és az előzetes talajvizsgálati eredmények alapján meghatározott pontokba 10, 20, 40, 100 cm mélységekbe olyan vízszintes csöveket ($d=5$ cm) építettünk be, melyek belsejébe 0,5 cm átmérőjű, szifonban végződő kivezetőcsövet építettünk be. A kivezető cső felszín fölé érő részét nagyobb átmérőjű csővel védtük le és jelöltük. A vízszint meghatározásra, egy talajmintavételi fúrást PVC csővel történt kibélelésével biztosítottuk. A mintavétel vákuumpumpával történt, 0,9 bar nyomáson. A gyűjtött mintákat három részre osztottuk. A TOC méréshez a mintát szűrés után Falcon csőben légmentesen lezárva, hűtve tároltuk. A nitrogén méréséhez gyűjtött mintákat kloroform hozzáadásával tartósítottuk. A nehézfém méréshez gyűjtött mintákat analitikai minőségű salétromsav hozzáadásával, pH1,5 értéken tartósítottuk.

Terepi mérések

A csapadék mennyiségét automata állomással rögzítettük. Minden egyes tájfolttípusba terepi Eh-pH-T rögzítő állomást építettünk ki. Az állomások 10 perces, ill. órás gyakorisággal rögzítették a talaj pH-ját hőmérsékletét és redoxpotenciálját. Az értékelőket 20, 40, és 100 cm mélységben építettük be.

Vízminék laboratóriumi vizsgálata

1. *Oldott szervesanyag (DOM) és az oldott nitrogén (DN) mennyiségének meghatározása* Tekmar Dohrmann Apollo9000N TOC analizátorral történt;
2. *DOM UV-Vis minőségi meghatározása* a talajoldatok 240-900 nm közötti elnyelésének mérése alapján történt. A méréseket Shimadzu UV1240 spektrofotométerrel végeztük;
3. *Az oldott szervesanyag nitrogénformák meghatározása* fotometriás elven történt. A méréseket Shimadzu UV1240 spektrofotométerrel végeztük. Nitrit-ion (NO_2^-) meghatározása szulfanilsav és α -Naftilamin oldatot hozzáadását követően 540 nm-en történt. A nitrát-ion (NO_3^-) meghatározása Na-szalicilát és NaOH hozzáadását követően 410 nm-en történt. Az ammónium-ion (NH_4^+) meghatározása Na-diklór-izocianurát hozzáadását követően 660 nm-en történt.

Talajminták laboratóriumi vizsgálata

1. *Röntgen-pordiffrakciós mérések (XRD):* A talajok ásványos és agyagásványos összetételének meghatározása XRD módszerrel készült. Az XRD vizsgálatokat az FGI PHILIPS PW 1730 és RIGAKU MINIFLEX-600 típusú, Bragg-Brentano elrendezésű diffraktométeren végeztük el 45 kV gyorsítófeszültséggel, 35 mA csőárammal, grafit monokromátort és Cu $K\alpha$ sugárzást alkalmazva. A teljes talajok dezorientált röntgen-pordiffrakciós felvételei alapján a mennyiségi meghatározás teljes profilillesztéses eljárással történt, Rietveld-finomítással, Siroquant V4 szoftverrel. Az agyagásványos vizsgálatok a talajok 2 μm alatti szemcseméret frakcióból történtek. A 2 μm alatti frakciót az előzetesen desztillált vízben többször átmosott, diszpergált porított mintákból ülepítéssel állítottuk elő. A kapott szuszpenziót üveglemezre ülepítettük. A

duzzadó agyagásványok meghatározásához minden mintát etilén-glikollal telítettünk. Ugyanígy elvégeztük az összes minta hőkezelését is 350 illetve 550°C-on, elsősorban a kaolinit és a klorit elkülönítése, valamint a közberétegzett agyagásványok meghatározása érdekében. A duzzadó agyagásványok rétegtöltésének becsléséhez K-telítést alkalmaztunk. A szmektit – vermikulit elkülönítés a Mg-telített és glicerinnel kezelt minták alapján történt. A szmektit-csoporton belül a montmorillonit – beidellit szétválasztásához a Green-Kelly tesztet használtuk.

2. *Szelektív vaskioldásos eljárások:* A rosszul kristályosodott vas-oxidok (Fe_{CA}) kioldására a talajok magas karbonát-tartalma miatt Na-citrátos, -aszorbátos reagenst választottunk (Reyes&Torrent, 1997). A talajok teljes szabad vastartalmának (Fe_{CBD}) eltávolítására Jeanroy Na-citrátos, -ditióitos (1991) módszerét alkalmaztuk. A kioldott Fe-tartalom meghatározása az FGI és az ELTE Perkin Elmer AAnalyst 300 atomabszorpciós spektrofotométerén, lángtechnikájú módszer alkalmazásával történt. A méréseket Borsodiné Kovács Magdolnával és Zihné Perényi Katalinnal végeztük.

3. *Szabad vasásványok roncsolásmentes vizsgálata:* módszertani fejlesztés a röntgenamorf vasásványok kimutatására UV-ViS-NIR diffúz reflektancia elven Shimadzu UV3600-LISR3100 DRS spektrométerre alapozva. Bemutatása az eredmények fejezetben.

4. *Talaj szerves szén (SOC) és talaj összes nitrogén (TN) mennyiségi kimutatása:* A talajmintákat 20%-os sósavval karbonát mentesítettük. A karbonátmentesített mintákat (Tekmar Dohrmann Apollo9000N) TOC analizátorral mértük.

5. *Talaj szervesanyag (SOM) minőségi vizsgálata:* E paraméterek vizsgálata hagyományos UV-Vis spektroszkópiai elven történt (Kiss et al, 2014.). A mérés hazai alkalmazásával kapcsolatos előzetes módszerfejlesztési kutatásunk röviden az eredmények fejezetben található.

6. *Talajok fő- és nyomelem tartalmának meghatározása:* A vizsgálatokat a MÁFI 9.1:2001/9.5/2:2004 előkészítő műveletek szerint lítium-metaboráttal és királyvízzel feltárt teljes talajmintából Jobin Yvon ULTIMA 2C ICP-AES készülékkel végezték az MFGI-ben.

7. *Szorpciós vizsgálatok:* A szorpciós kísérletek teljes talajmintán történtek. Az egyes mintákat a szorpciót követő összevethetőségének érdekében monoionos formába hoztuk, hogy a szorpciót megelőző állapot mindegyik kiinduló anyag esetében azonos legyen, így a talajokat 0,5 M $CaCl_2$ oldatban elegyítettük. A kalciumtelített anyagokat háromszor centrifugáltuk és mostuk desztillált vízzel. A szorpciós kísérletben egyenként 400 mg porított, szárított talajokat, mint adszorbenst szuszpendáltuk 50 ml-es centrifugacsövekben 40 ml $CuCl_2$ és $PbCl_2$ oldatban 0,01 M $CaCl_2$ ionerősséget beállító oldat mellett. Az adszorbatumok kiindulási töménységei így alakultak: 20, 40, 60, 80, 100, 150, 200, 400, 600, 800, 1000 mg/L. Az adszorpciós sorozatban minden ponton három párhuzamossal dolgoztunk. A nehézfém-tartalmú oldatok kémhatása pH 5 körüli, mely megfelelő kísérleti körülmény. Az oldatok réz- és ólomtartalmának elemzését az FGI Perkin Elmer AAnalyst 300 atomabszorpciós spektrofotométerén, lángtechnikájú módszer alkalmazásával végeztük. A mérések Borsodiné Kovács Magdolna segítségével történtek.

7. *Pasztázó elektronmikroszkópos vizsgálatok (SEM):* SEM mérésekhez egy ZEISS EVO40XVP Oxford ISI energiadisziperzív röntgendetektorral (EDX) felszerelt mikroszkópot használtunk (20 kV feszültség és 5 mikron átmérőjű sugárnyaláb mellett). Az anyagok morfológiai vizsgálatát szekunder elektron képekkel végeztük. A minták kémiai heterogenitásának vizsgálatához visszaszórt elektronképeket használtunk és a kémiai összetételt EDX detektorral mértük.

8. *Analitikai elektronmikroszkópos elemzések (AEM):* AEM vizsgálatokhoz a 1000 mg/L nehézfém oldattal telített teljes talajmintákat alkohol alatti gyengéd porítással szuszpendáltuk,

majd ezt követően a híg szuszpenziót amorf szén lyukhártyával bevont arany hordozó rostélyra csöppentették. A műszeres vizsgálatok PHILIPS CM20 200 kV-os, NORAN Voyager energiadiszipatív röntgenspektrométerrel (EDX) felszerelt transzmissziós elektronmikroszkóppal az MTA Energiatudományi Kutatóközpont Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézetben történtek. A kémiai analíziseket 20 nm sugárátmérővel, 100 s mérési idővel, 20 nm mintavastagsággal és átlagosan 3 g/cm³ mintasűrűséggel végeztük. Az EDS mérések relatív hibája elem koncentrációként 2,5% (>10 atom%), 10% (1-10 atom%) és 50% (<1 atom%). Az elemzéseket Kovács Kis Viktória és Cora Ildikó végezte.

Adatfeldolgozás

Domborzatmodell és az elemeloszlási térképek ArcGIS10.3 –mal készültek. Az adatok normalitás vizsgálata Shapiro-Wilk teszttel határoztuk meg. A lineáris korreláció vizsgálatok normál eloszlású minták esetében Pearson-féle korrelációvizsgálattal, Seperman-féle rangkorrelációval történt. A kapcsolat szignifikanciájának vizsgálata F-próbával történt. A statisztikai számításokat SPSS14.0 szoftverrel végeztük.

Publikált, ill. részlegesen publikált eredmények

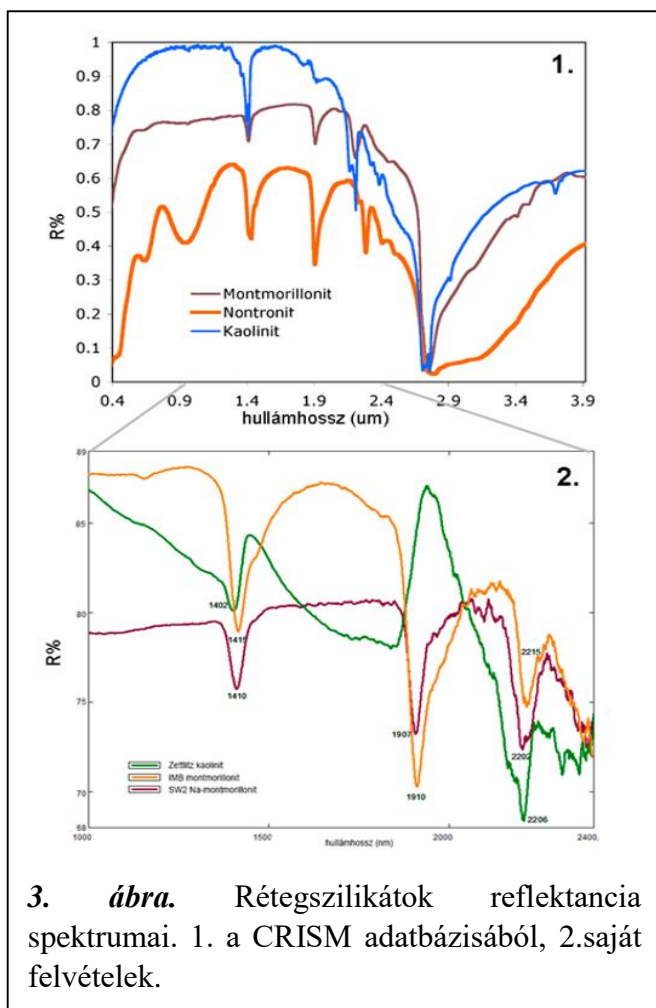
Módszertani fejlesztés: szabad vasásványok roncsolásmentes vizsgálata UV-ViS-NIR diffúz reflektancia elven

Eredmények publikálva:

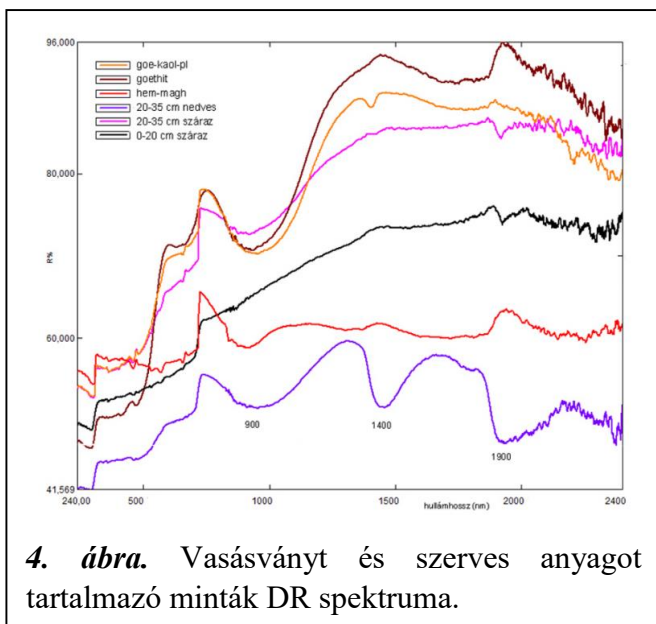
Szalai Z, Kiss K, Jakab G, Sipos P, Belucz B, Németh T: The use of UV-VIS-NIR reflectance spectroscopy to identify iron minerals, ASTRON NACHRICH 334: (9) 940-943, 2013

Marianna Ringer, Klaudia Kiss, Tibor Németh, Péter Sipos, Zoltán Szalai: Using diffuse reflectance spectroscopy (DRS) for qualitative examination of iron minerals formed in a hydromorphic soil, GEOPHYSICAL RESEARCH ABSTRACTS 18: Paper 12222. (2016)

A módszer előnye, hogy a két igen gyakori talajkomponens – a kvarc és a kalcit - spektrumában az UV-Vis tartományon belül nincs jellegzetes sáv. Ennek eredményeképpen ezek az összetevők nem fedik el a kisebb koncentrációban jelen levő ásványok spektrumát. Az (oktaéderes koordinációjú vasat nem tartalmazó) agyagásványok, például a kaolinit esetében Vis tartományban nem figyelhető meg karakterisztikus abszorpciós sáv (3. ábra). A kristályrácsában vasat tartalmazó montmorillonit esetében a Fe(III)-O töltésátmenet 241-243 nm-nél hoz létre abszorpciós sávot (Karickhoff, S.W.-Bailey, G.B., 1973, CHEN et al., 1979), ezt azonban mérésünk során nem tudtuk kimutatni. Az XRD által is kimutatható mennyiségű szmektitet tartalmazó talajminta (35-50 cm) diffúz reflektancia spektrumán csupán egy enyhe csúcs figyelhető meg, 1418 nm környékén, a többi jellegzetes OH-sáv nem mutatható ki a mintában. A 2267 nm-nél várható Al-OH sáv a kis jel/zaj arány miatt nem kivehető. Megjegyzendő, hogy az adott hullámhosszokon jelentkező sávok alapján csupán a kötéstípusra következtethetünk (pl. O-H 1400 és 1900 nm, Fe-O 900 nm), ásványfázisra csak teljes mintázat alapján.



3. **ábra.** Rétegszilikátok reflektancia spektrumai. 1. a CRISM adatbázisból, 2.saját felvételek.



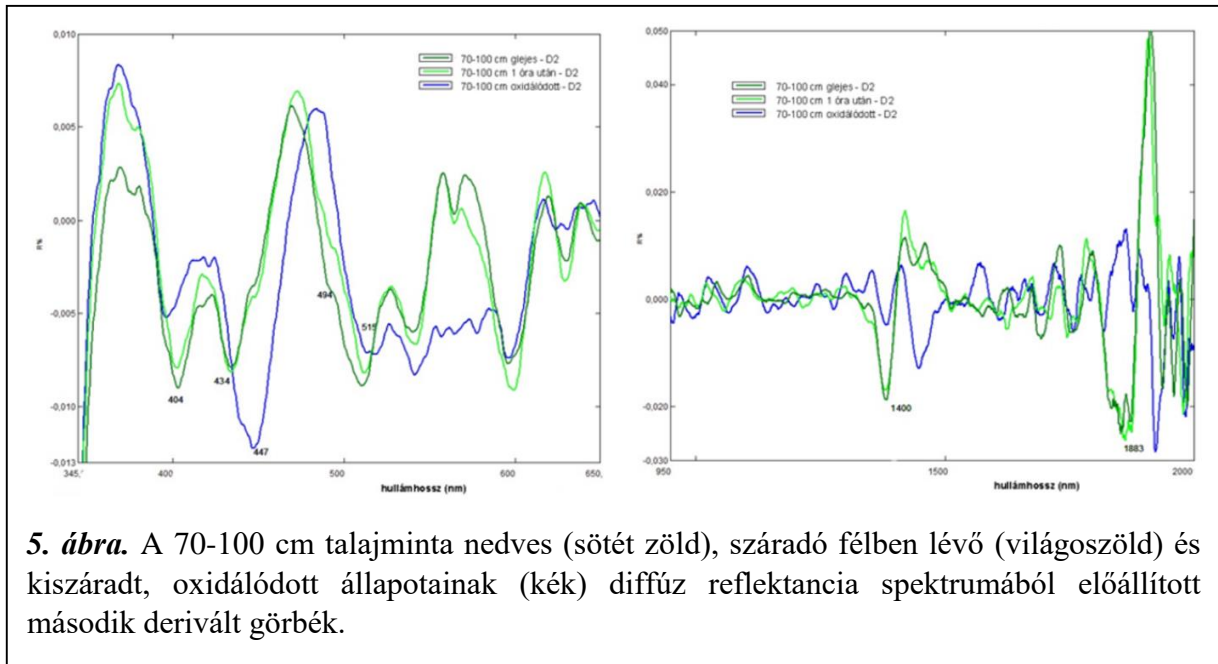
4. **ábra.** Vasásványt és szerves anyagot tartalmazó minták DR spektruma.

Vizsgálataink során több vasásványt tartalmazó minta diffúz reflektancia spektrumát is felvettük (4. ábra). A tiszta goethit minta (barna) spektruma az adatbázisokban közöltekhez igen hasonló lefutású. Hozzá igen hasonló az XRD vizsgálat szerint szintén jelentős mennyiségű goethitet tartalmazó Goe-kaol-pl ásványkeverék (sárga), illetve a vasfelhalmozódási szintből (20-35 cm) származó talajminta (rózsaszín) mintázata is. A vasásványokat tartalmazó minták spektrumában a 900 nm-nél megfigyelhető sáv a Fe-O elektronátmenethez kapcsolódik (Torrent, J.-Barrón, V., 2002). Az 1400 nm-nél lévő sáv alapján szabad és kristályvíz jelenlétére, míg az 1900 nm-nél lévő alapján rétegeközi vízre következtethetünk. Utóbbi a jelentős sávkiszélesedés alapján nagy mennyiségben lehet jelen a hidratált állapotú szmektitet tartalmazó nedves (35-50 cm) talajmintában (lila). Az 1400 nm-nél, a plumbogummitot (kristályvíz tartalmú ólom-foszfát) tartalmazó mintából a kristályvíz jelenléte egyértelműen kimutatható.

Talajok vasásványainak vizsgálati lehetőségei

A Vis-NIR diffúz reflektancia spektroszkópia módszere számos olyan előnnyel rendelkezik, mely alátámasztja a talajtani rutinvizsgálatokban való alkalmazásának létjogosultságát. Az egyszerű minta-előkészítés, a nagyszámú mérés gyors elvégzésének lehetősége, valamint a vegyszerek mellőzése lehetővé teszi az egyszerű, rutinszerű alkalmazást. A DRS hagyományos módszerek, elsősorban az XRD hasznos kiegészítő eljárása lehet, mivel segítségével a

gyengén kristályos (röntgenamorf), vagy a kis koncentrációban jelen lévő vasásványok is kimutathatóvá válnak. A karakterisztikus abszorpciós sávok mintázata alapján (korlátozottan) az egyes vasásványok (goethit, hematit) egymástól való elkülönítésére is lehetőség van.



5. ábra. A 70-100 cm talajminta nedves (sötét zöld), száradó félben lévő (világoszöld) és kiszáradt, oxidálódott állapotainak (kék) diffúz reflektancia spektrumából előállított második derivált görbék.

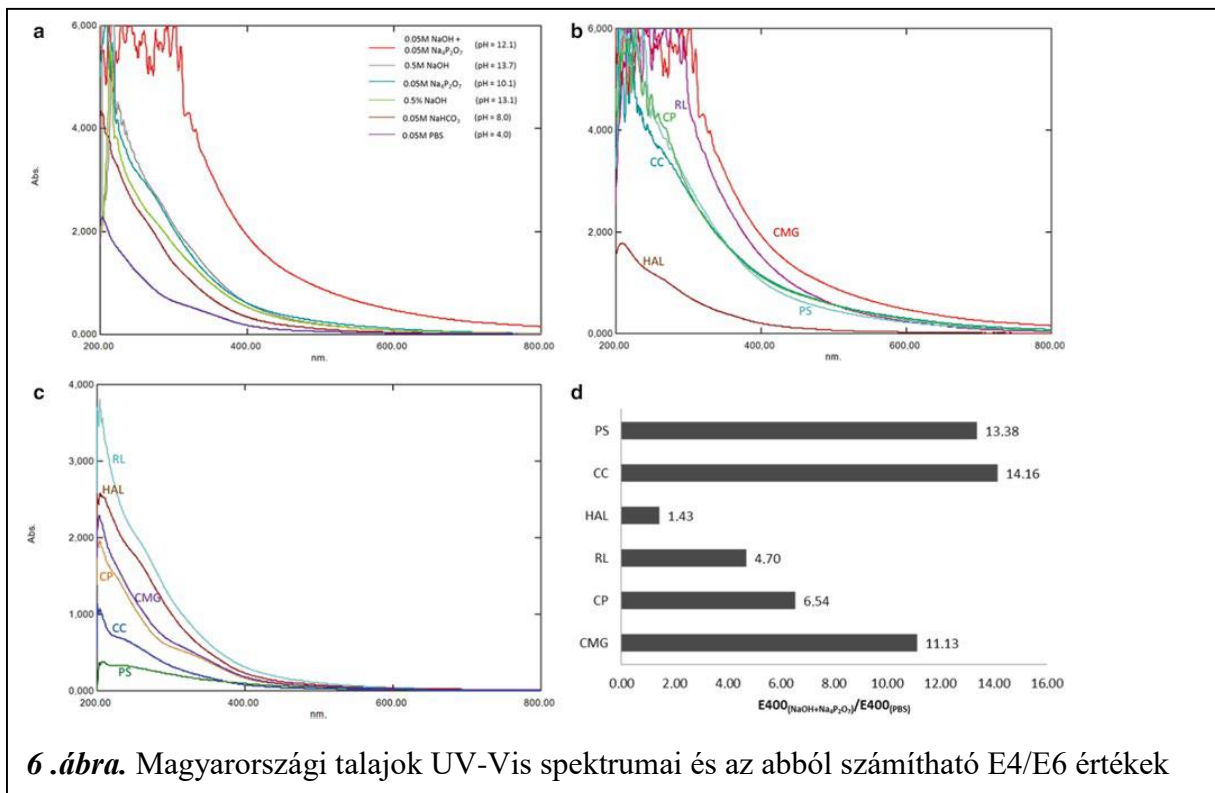
A vízhatású talajok kutatásának izgalmas, nehezen vizsgálható kérdése a redukált állapotú vasat tartalmazó ún. zöld rozsda (green rust, fougérit ásványcsoport) kimutatása és tanulmányozása (Mills et al., 2012, Antony, H. et al, 2008). A zöld rozsda vizsgálatára a szakirodalom szerint elsősorban Mössbauer-spektroszkópiát alkalmaznak, melyet laboratóriumi szintéziskísérletek alkalmával XRD mérésel egészítenek ki (Bourrié, G. et al, 1999, Feder, F. et al, 2005). A méréseink során kapott eredmények arra utalnak, hogy a DRS módszer is alkalmas lehet a fenti csoport bizonyos szintű vizsgálatára. A nedves mintákon végzett mérések – a víztartalom spektrumra gyakorolt előnytelen hatásainak következtében – számos bizonytalanságot rejtenek, ugyanakkor a vas érzékeny kimutathatósága, valamint a NIR tartományban lejátszódó változások követhetősége miatt – további módszertani fejlesztést követően - mégis számot tarthatunk a módszer alkalmazhatóságára. A fenti felismerésekből kiindulva további vizsgálatokat tervezünk, melyekben oxigénmentes környezetben kiszáritott minták spektrumait vesszük fel. A szakirodalomban nem található redukált állapotú mintákon végzett DRS vizsgálatról szóló forrásmunka, így az eredeti állapotban megőrzött glejes talajminta vizsgálata előzmények nélküli kísérletnek tekinthető. A témához legközelebb álló munka Karickhoff, S.W. és Bailey, G.B. (1973) nevéhez fűződik, akik csillámok oktaéderes ferro-ionját vizsgálva 402 nm-nél egy nagyon gyenge váll megjelenését írták le. A glejes minta esetében a második derivált görbén egy határozott abszorpciós sáv jelentkezik 404 nm-nél, ami szintén a ferro-ion jelenlétére utalhat (5. ábra).

A víztartalom-vesztés, illetve az oxidálódás folyamata a spektrumon nyomon követhető. A 404 nm-nél lévő csúcs a kiszáradó félben lévő mintában csökkenést mutat, míg a kiszáradt mintánál szinte hiányzik. A Torrent, J.-Barrón, V. (2002) szerint goethithez tartozó, 447 nm-nél lévő csúcs a kiszáradt minta esetében a legkifejezettebb, ami a vas feloxidálódása során képződött goethit/ferrihidrit jelenlétére utal. Az XRF mérés alapján az adott szint vastartalma kb. 1% körüli. A DRS módszer alkalmazásával tehát ilyen kis koncentrációk kimutatására is lehetőség nyílik. A NIR tartományt vizsgálva a nedvességi viszonyok átalakulása is megmutatkozik. Az 1400 és 1880 nm körüli sávok a nedves mintákban jóval erőteljesebbek. Az enyhén nedves minta spektrumának mintázata többnyire a két végállapot közé esik. Az egy órás időtartam alatt bekövetkező változás kimutatása gyors átalakulási folyamatra utal.

Módszertani fejlesztés: talaj szervesanyag UV-Vis alapú kvalitatív mérésével kapcsolatos vizsgálatok

Eredmények publikálva: Kiss K, Szalai Z, Jakab G, Madarász B, Zboray N Characterization of soil organic substances by UV-Vis spectrophotometry in some soils of Hungary In: Hartemink A, McSweeney K (szerk.) Soil carbon. 506 p. Dordrecht: Springer, 2014. pp. 127-136. (ISBN:978-3-319-04083-7)

A területen végzett korábbi munkák Hargitai-féle kettős extrakció (ENaF/ENaOH, Hargitai 1988) alapján szolgáltatott eredményeket a terület talaj szervesanyagainak (SOM) minőségéről. A hazánkban elterjedt eljárást a nemzetközi sztenderdek szerinti UV-Vis technikákkal kívántuk helyettesíteni úgy, hogy azok a már korábbi eredményekkel is összevetethetők legyenek. Ennek okán a Hargitai-féle eljárást az UV-Vis spektrumokból



6. ábra. Magyarországi talajok UV-Vis spektrumai és az abból számítható E4/E6 értékek

számítható indexekkel vetettük össze: E2/E3, E4/E6, SUVA, URI. Eredményeink szerint a hazai kettős extrakciós módszer legjobb egyezőséget az E4/E6 index eredményeivel mutatott. Az eljárást talajból vákuum segítségével kinyert vízmintákon is teszteltük. A vízmintákon az UV tartományú extinkciók alapján számított mutatók is kielégítő megbízhatóságúak voltak. A kutatás későbbi fázisaiban az SOM és az oldott szervesanyag (DOM) minőségével kapcsolatos fő paraméterként az E4/E6 indexet használtuk. A talajoldatból származó vízminták egyéb UV-Vis indexeit kiegészítő információként alkalmaztuk.

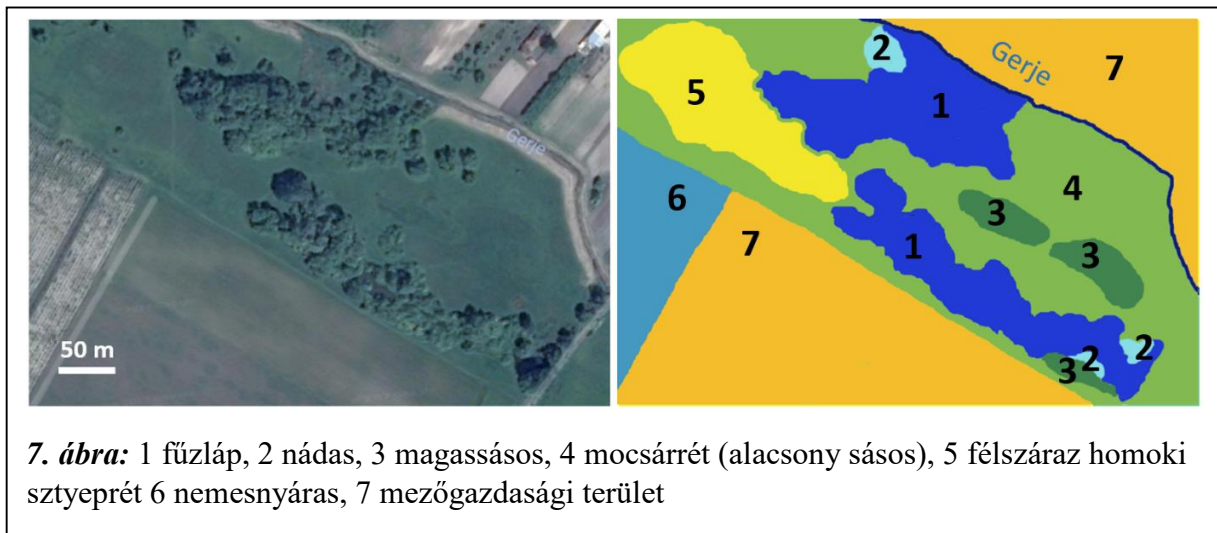
Tájfoltok lehatárolása növényzeti felvételezés, domborzatmodell, ill. a talajtulajdonságok által meghatározott dinamikák alapján

Eredmények publikálva:

Szalai Z. et al. 2012. Relationship between ecological indicators and soil properties (in case of a wetland) Hungarian Geographical Bulletin 61 (3) (2012) 187–196.

Szabó M et al. 2012: A növényzet ökológiai mutatóinak kapcsolata a tájfoltok talajkémiai és talajfizikai tulajdonságaival egy alföldi mocsárrét példáján, Farsang A. -Mucsi L. - Keveiné Bárány I. (szerk). Táj - érték, lépték, változás. GeoLitera. pp 161-170, 2012

A mintavételi területen az alábbi tájfoltokat a domborzat és a növényzet alapján határoztuk meg. A növényzet esetében jól megfigyelhető a domborzat, illetve ezen keresztül a talajvíz hatása. A különböző társulások a talaj nedvességétől függően váltják egymást, jól kirajzolva a mikrodomborzati viszonyokat. A vizsgált területen két nagyobb mélyedés figyelhető meg, melyeket az év legnagyobb részében víz tölt ki, és mocsári, lápi növényzet fed (7. ábra).



7. ábra: 1 fűzláp, 2 nádas, 3 magassásos, 4 mocsárrét (alacsony sásos), 5 félszáraz homoki sztyeprét 6 nemesnyáras, 7 mezőgazdasági terület

1. táblázat. A terület tájfoltok szerinti, illetve Á-NÉR 2011 alapján történő beosztása és a domináns fajok a térszín emelkedése mentén.

| Tájfolt | MÉTA kód és név | Domináns növényfajok |
|--|---|--|
| lápi dinamikájú, fásszárúak által uralt egységek | J1a - Fűzlápok | fehér fűz (<i>Salix alba</i>), fehér nyár (<i>Populus alba</i>), rekettyefűz (<i>S. cinerea</i>) |
| lápi dinamikájú, lágyszárúak által uralt egységek | B1 - Nem tőzegképző nádasok, gyékényesek és tavikákások | nád (<i>Pharagmites australis</i>) |
| mocsári dinamikájú magassásosok | B5 - Nem zsombékoló magassásrétek | parti sás (<i>Carex riparia</i>), fehér tippán (<i>Agrostis stolonifera</i>), bókoló sás (<i>C. melanostachya</i>) |
| mocsári dinamikájú alacsony sásosok | D34 - Mocsárrétek | fehér tippán (<i>Agrostis stolonifera</i>), rókasás (<i>Carex vulpina</i>), borzas sás (<i>C. hirta</i>) |
| nem hidromorf mezofil rétek | H5b - Homoki sztyeprétek | régi csenkesz (<i>Festuca pratensis</i>) |
| a kutatási területet határoló nem hidromorf egységek | S2 - Nemesnyárasok T6 – Extenzív szántó | <i>Populus × euramericana plantations</i> lucerna (<i>Medicago sativa</i>) |

A fűzláp foltok a terület eredeti (vízrendezés előtti) állapotát tükrözik. A lápok (1-2) határozott tereplépcsővel különülnek el a sással borított kaszálórétektől (ökológiai értelemben vett mocsár: 3-4). A mélyedések felől a magasabb térszín felé haladva (fokozatos emelkedéssel) nádasodó, valamint tipikus magassásrétet, illetve fehér tippanos mocsárrétet találunk (e területeket kaszálóként hasznosítják). A rétek szintén határozottan különülnek el a vízhatás által legkevésbé érintett homoki sztyepréttől (5). A legmagasabb térszíneken nemesnyáras és szántóföld (6-7) található.

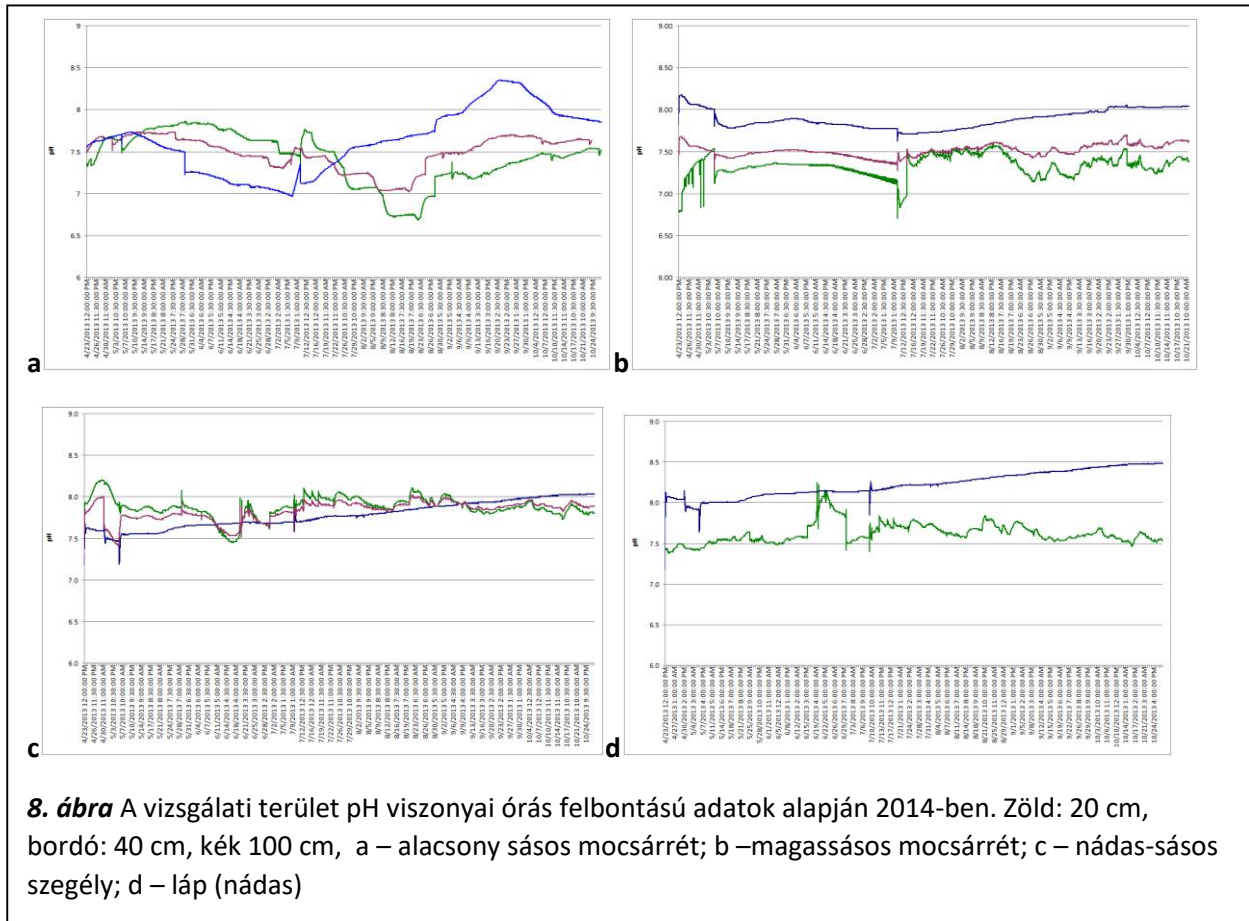
A fentiek alapján a területen öt különböző tájfoltot határoztunk le (1. táblázat): a kutatási területet határoló nem hidromorf egységek; nem hidromorf mezofil rétek; mocsári dinamikájú alacsony sásosok; mocsári dinamikájú magassásosok; lápi dinamikájú lágyszárúak által uralt egységek; lápi dinamikájú fásszárúak által uralt egységek (1. táblázat). A legrészletesebben megkutatott területen a talajtulajdonságok és a *Simon-féle* és *Soó-féle* növényzeti indexek kapcsolatát bemutató közleményt jelentettünk meg.

Vas és szénháztartást befolyásoló tényezők területi megoszlása a tájfoltok között

Eredmények részlegesen publikálva:

Szalai Z, Jakab G, Kiss K, Ringer M, Balázs R, Zacháry D, Horváth Szabó K, Perényi K. Vegetation-induced spatial variability of soil redox properties in wetlands GEOPHYSICAL RESEARCH ABSTRACTS 18: Paper 12032. (2016)

A vas mozgása a tájfoltokban és azok között vizes élőhelyeken legnagyobb részben oldott ill. kolloid fázisban történhet meg. Széleskörű tudományos konszenzus szerint a szilárd-oldott átmenet a területre jellemző pH viszonyok mellett a redoxviszonyok függvényében a ferri-ferro



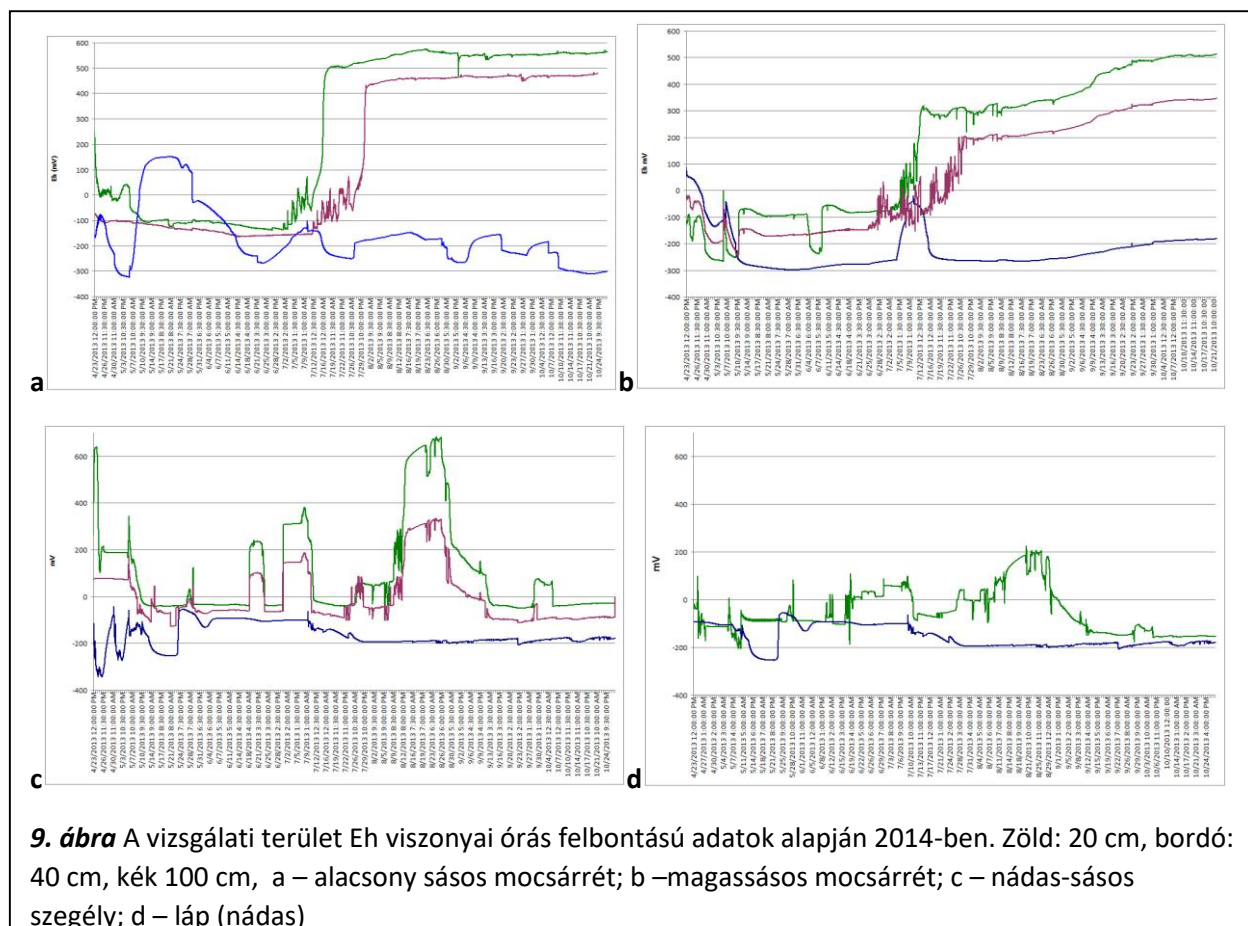
8. ábra A vizsgálati terület pH viszonyai óras felbontású adatok alapján 2014-ben. Zöld: 20 cm, bordó: 40 cm, kék 100 cm, a – alacsony sásos mocsárrét; b – magassásos mocsárrét; c – nádas-sásos szegély; d – láp (nádas)

átalakulás eredménye. A vas redukálódása és oxidálódása a szén és a nitrogén állapotváltozásaival együtt történik, s ez a folyamat mikrobiálisan mediált. Közel konstans hidromorf viszonyok között a redox viszonyok változása a tájfoltokat is kijelölő edényes növények gyökéraktivitására vezethető vissza.

A területre telepített automata mérőállomások órás felbontású adatsora alapján a területen a pH a víz és a növényzeti hatás alapján változik. A legalacsonyabb pH6.8 és a legmagasabb pH8.5 a ferri-vas és a mangani-mangán oldhatóságát (tisztán abiotikus rendszerekben) nem befolyásolja. A szolum alatt a vízhatás csökkenésével a pH magasabb. A feltalajban a pH csökkenése és a pH értékek rövid távon belüli ingadozása a növényzeti aktivitás függvénye (8. ábra).

A redox viszonyok a szolum alatt a pH-hoz hasonlóan kiegyenlítettek, azok elsősorban a talajvíz szint függvényében változnak. A szolum redox viszonyai a mocsári (sásos) és a lápi (nád, fűzláp) környezetben élesen elkülönülnek egymástól. Mindkét környezetben a redoxviszonyok ingadozásának mértéke a növényzeti aktivitástól függ. A mocsári környezetekben a redox ingadozás a vízszint mélyebbre húzódásával együtt következik be (9. ábra). A redox ingadozás a vas és a mangán redoxállapot váltásának értékeinél játszódik le.

A hidromorf környezetekben a feltalaj redox állapotára a csapadéknak még a legszárazabb időszakokban sincs hatása. A taposás és a kaszálás a pH és az Eh viszonyokat is alapvetően befolyásolja, így az így kialakult tájfoltok az SOM minőségében és hosszabb távon a vasasványok minőségében is elkülönülnek a természetes állapotú tájfoltoktól.



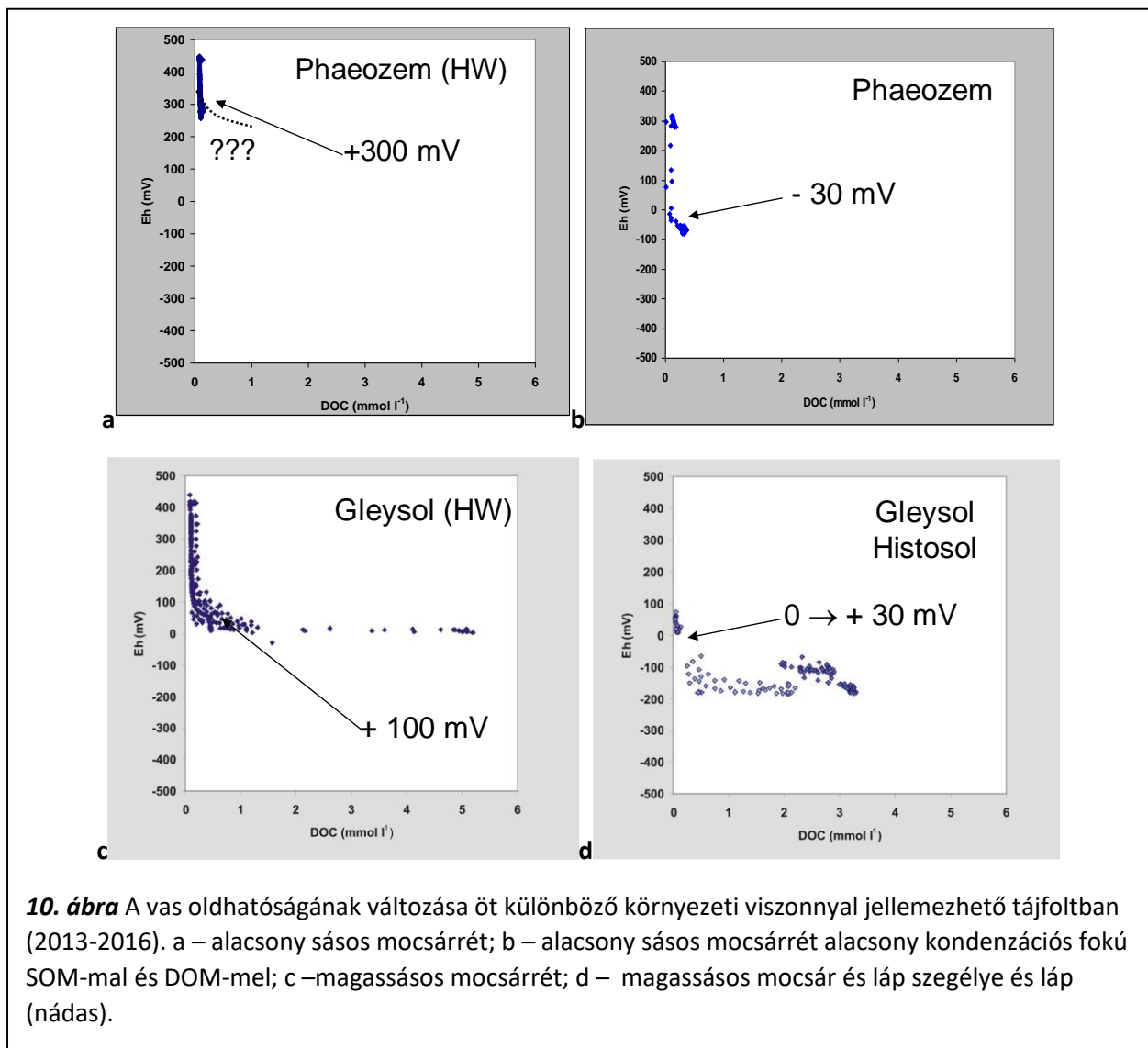
Vas oldhatóságának változása a tájfoltok függvényében

Eredmények részlegesen publikálva:

Szalai Z, Ringer M, Kiss K, Perényi K, Jakab G Does DOM properties or the amount of DOC induce iron reduction in topsoil porewater? *GEOPHYSICAL RESEARCH ABSTRACTS 19: Paper EGU2017-13610. (2017)*

Szalai Z, Kiss K, Jakab G, Balázs R, Sipos P, Zboray N, Németh T DOC-iron relations under fluctuating redox conditions in Gleysol-Phaeozem and Histosol-Phaeozem toposequences In: *International Union of Soil Sciences (szerk.) Global Soil C Conference: 3-6 June 2013 : program and abstracts. 112 p. Konferencia helye, ideje: Madison, Amerikai Egyesült Államok, 2013.06.03-2013.06.06. Madison: University of Wisconsin-Madison, p. 18.*

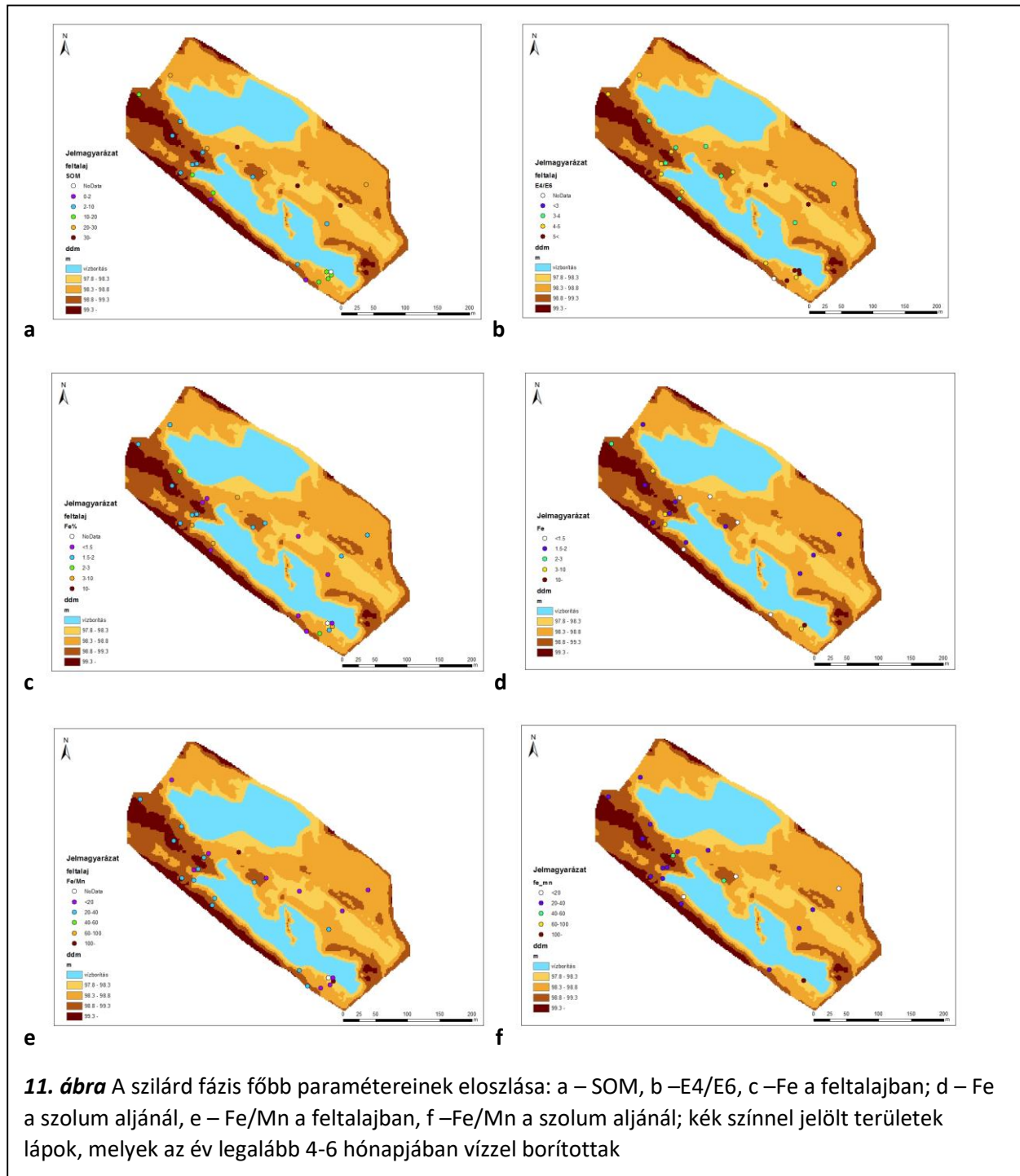
A vas oldhatósága McBride (1994), Sposito (2008.) szerint a pH és az Eh függvényében változik. Mivel a ferri-vas csak erősen savas állapotban oldható, így hazánkra jellemző környezetekben ez a jelenség a redox állapotváltozásokhoz köthető. A vas és a mangán redukálódása és oxidálódása adott pH viszonyok mellett jól meghatározható Eh tartományban következik be (Takeno, 2005). Hároméves monitoring mérések szerint a vas a különböző



tájfoltok talajaiban más-más Eh értékek mellett válik oldhatóvá (10. ábra). Az oldott fázisba kerülés az esetek egy részében a reduktív fázis arányának növekedésének köszönhetően történik meg. Ez dipiridil teszttel, ill. DRS vizsgálatokkal (ld. módszerfejlesztés) igazolható. Egyes csekély hidromorfia szintű tájfoltokban a vas oldódása magasabb Eh értékek mellett is végbemegy. Ezekben a pontokban a reduktív vas mennyisége csekély, ill. kimutathatatlan. Ezekben a területekben a vas oldhatóvá válása az alacsony kondenzációs fokú DOM (UV-Vis spektroszkópiai indexek alapján – ld. módszertani fejlesztés) jelenlétében történik meg.

A szilárd fázis anyagi jellemzőinek területi eloszlása a vizsgálati területen

Eredmények eddig publikálatlanok



11. ábra A szilárd fázis főbb paramétereinek eloszlása: a – SOM, b –E4/E6, c –Fe a feltalajban; d – Fe a szolum aljánál, e – Fe/Mn a feltalajban, f –Fe/Mn a szolum aljánál; kék színnel jelölt területek lápok, melyek az év legalább 4-6 hónapjában vízzel borítottak

A szilárd fázis főelem tartalmának, az SOM mennyiségének és minőségének területi eloszlása a szolumban legnagyobb részt a domborzat, pontosabban a vízhatás függvényében alakul (11. ábra). Általános szabályként fogalmazható meg, hogy az SOM mennyisége a vízhatással együtt nő. A fél méternél vastagabb szerves talajsztint (SOM>30%) a szakirodalmi forrásokkal ellentétben (Stefanovits et al. 1999, Sposito 2008) már a mocsári környezetben is megjelenik. Az SOM polimerizáltsági foka az SOM mennyiségével ellentétes irányban a hidromorfia fokával együtt csökken.

A feltalajban az összes vas mennyisége az SOM-mal egyező területi eloszlást mutat. Ez az eloszlás a szolum aljában is megfigyelhető, de a legjelentősebb vasfelhalmozódás ezekben a szintekben a növényzeti határokon figyelhető meg. A nem hidromorf területekhez képest a vastöbbslet szabad vasásványok formájában van jelen.

A szakirodalmi adatok szerint a vas a mangánnál 50-60 szor nagyobb mennyiségben van jelen a talajokban (Schacklette-Boerngen, 1984). A területen ehhez képest a Fe/Mn arány alacsony, ez az arány sokszor még 10-nél is kisebb. A növényzeti hatásokon megfigyelt vasfelhalmozódás ezzel ellentétben kizárólag a vasra vonatkozik. Ezekben a talajokban a Fe/Mn arány 10 fölé emelkedik. A mangán dúsulás jelenségének oka feltehetően talaj anyagában megfigyelhető nagymennyiségű puhatestű váztrörmelékben keresendő, bár vannak ennek ellentmondó adatok is. Ennek kiderítéséhez még további vizsgálatok szükségesek.

A mocsári dinamika mellett bekövetkező szerves talajképződés oka nagy valószínűség szerint szintén a szabad vasásványok területi eloszlására vezethető vissza. Mocsári dinamika mellett fél méternél vastagabb szerves talajsztint a szabad ferri-vas ásványokkal figyelhető meg.

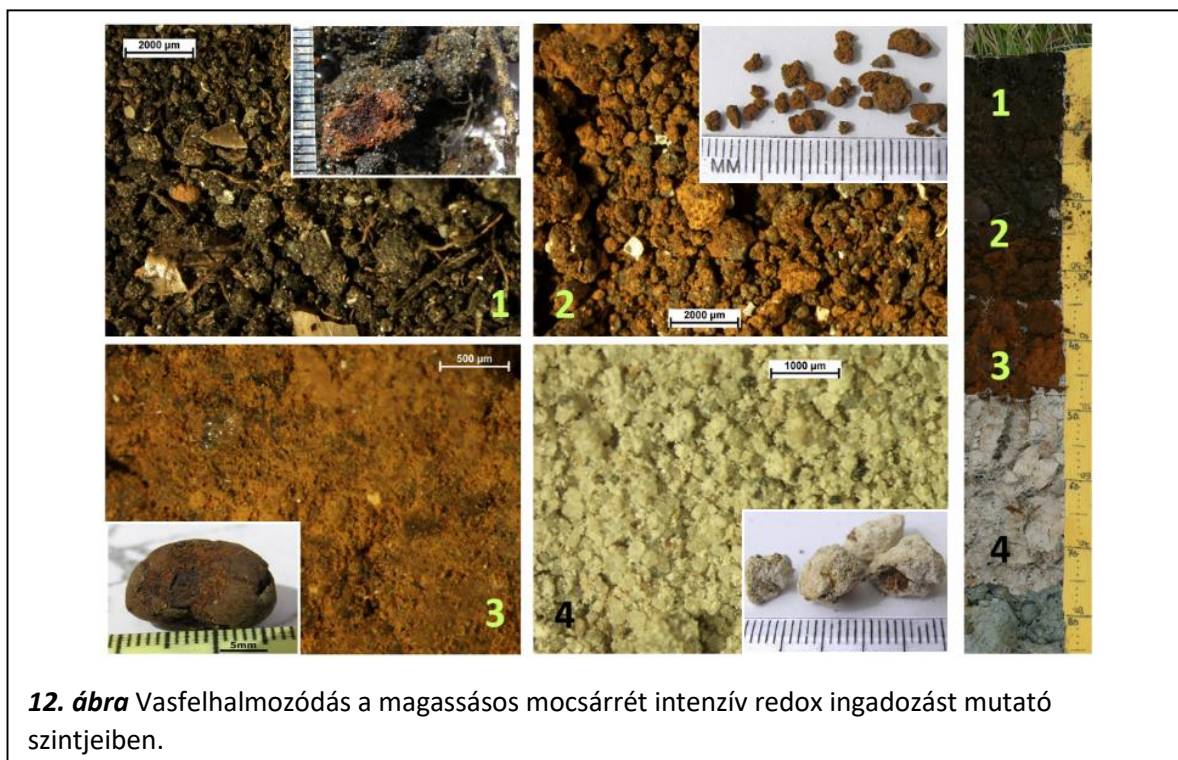
Vasásványok felhalmozódása a szolumban. Ennek hatása talajképződésre és a vasfelhalmozódásra

Eredmények részlegesen publikálva:

Ringer M, Jakab G, Sipos P, Karlik M, Balázs B R, Zihné Perényi K, Szabó A J, Szalai Z Effects of humus quality on the spatial iron distribution in hydromorphic topsoils GEOPHYSICAL RESEARCH ABSTRACTS 19: Paper EGU2017-13453. (2017)

Ringer M, Kiss K, Horváth -Szabó K, Balázs R B, Németh T, Sipos P, Szabó M, Jakab G, Madarász B, Szalai Z Can hydromorphic conditions accelerate soil development? GEOPHYSICAL RESEARCH ABSTRACTS 18: Paper 12563. (2016)

A vas 20-50 cm közötti mélységben (a parti sás gyökérszónájában) éri el maximális koncentrációját, s itt felhalmozódási szintet hoz létre (12. ábra). Ez a redoxviszonyok ingadozási zónája egyben (***ld. Vas és szénháztartást befolyásoló tényezők területi megoszlása a tájfoltok között***). Akkumulációja az évszakos talajvízszint ingadozás nyomán fellépő, szélsőséges Eh viszonyoknak köszönhető. Az említett zónában a redox potenciál értéke jellemzően 130 mV körül ingadozik, ami a vas vegyértékváltásának felel meg. A jelentős textúra finomodás, illetve a kolloidális szemcsefrakció jelenléte alapján arra következtethetünk, hogy ebben a zónában a legintenzívebb a pedogén ásványképződés. A kolloidális szemcseméret a pedogén ásványokra jellemző. Mansfeldt et al., 2012 szerint hidromorf talajok vasfelhalmozódási zónájában leginkább az ún. nanogoethit kiválása jellemző. A frissen kivált ásványoknak többnyire nem áll rendelkezésre elegendő idő a rendezettebb szerkezet elérésére.



12. ábra Vasfelhalmozódás a magassásos mocsárrét intenzív redox ingadozást mutató szintjeiben.

A kristályosság kifejlődésének akadályozói lehetnek például szerves anyagok, ionok, biogén faktorok (pl. magasabb rendű növények gyökérzete által kibocsátott asszimilátumok), illetve a gyorsan változó Eh és pH viszonyok (pl. magasabb rendű növények gyökérzete által generált évszakos és napszakos Eh és pH fluktuáció). XRD mérésekkel kis mennyiségben minden talajszintben kimutatható az agyagásványok jelenléte. Legnagyobb mennyiségben a B felhalmozódási szintben találhatóak, ahol a szmektit az uralkodó agyagásvány. Ennek pedogenezise a réti talajokra jellemző. A talajszelvény mentén a B szintben feltűnő a szmektit és a goethit mennyiségének emelkedése, ezzel párhuzamosan pedig a primer ásványok mennyiségének csökkenése. Ez a jelenség a primer (alapkőzetből származó) ásványok mállása és anyagaik újrakristályosodása révén történő pedogén ásványképződés eredménye, illetve a pedogenezis során kivált goethit és szmektit relatív feldúsulásának következménye lehet. A másodlagos képződményeket a B szintben a vaskonkréciók képviselik. Morfológiájuk (szabálytalan alak) és ásványos összetételük (talajmátrix anyagának beépülése), valamint a Fe(II) és Mn(II) tartalmú vegyes karbonát és Fe(III) tartalmú goethit együttes megjelenése szintén a dinamikus változó redox-viszonyokat tükrözi (Szendrei, 2000).

Mintaterület ásványtani feldolgozása)

Eredmények részlegesen publikálva:

Balázs R, Németh T, Szalai Z, Sipos P Clay and iron mineralogical study of meadow soils from a Hungarian wetland area In: Statni M, Zigová A (szerk.) 6th Mid-European Clay Conference. Konferencia helye, ideje: Pruhonice, Csehország, 2012.09.04-2012.09.09. Pruhonice: p. 148.

Balázs R, Németh T, Szalai Z, Kiss K, Horváth-Szabó K, Mészáros E, Sipos P Vízhatású talajok vasásványos változásainak vizsgálata In: Dobos Endre, Bertóti Réka Diana, Szabóné Kele Gabriella (szerk.) Talajtani vándorgyűlés : talajtan a mezőgazdaság, a vidékfejlesztés és a környezetgazdálkodás szolgálatában: program, az előadások és posztterek összefoglalója. 78 p.

Munkánk egyik célkitűzése szerint különös tekintettel voltunk a terület jellemző vasásványok felkutatására, térbeli és mélység szerinti megjelenésükre, azon túl a kis szemcseméretű vasásványokkal szoros kapcsolatban lévő agyagásványok részletes leírására. Az ásványtani vizsgálatokhoz olyan talaj toposzekvenciát választottunk, ahol kis területen belül van jelen a legtöbb tájfolt egység: M-1: alacsony sásos, M-2 magassásos, M-3: sás-nád szegély, M-4 lép. A talajminták mellett a vasas kiválások összetételének jellemzését is fontosnak tartottuk, így gyökér menti bevonatok, konkréciók (vasborsók/vaskőpadok) kerültek górcső alá.

A terület talajképző közeete meszes homok. Az itt képződött talajok lápos réti talajok, karbonátos típusos réti talajok vagy csernozjomjellegű homoktalajok. A talajok kémhatása gyengén alkalikus (pH 8 körüli). Ennek megfelelően jelentős mennyiségben tartalmaznak különféle karbonátásványokat. Ezek közül uralkodó a kalcit, melynek aránya 10–70% között változik, általában a C szintben éri el maximumát, de jellemző a mélység szerinti egyenletes eloszlása is. A nagy kalcittartalom egyik oka a számottevő mennyiségű puhatestűhéj. A dolomit mennyisége a kalcit mellett alárendelt. A további vegyes karbonátásványokról, vas-(oxi)hidroxid vagy redukált vasásványok előfordulásáról egy-egy szelvény tárgyalása során lesz szó. A talajok és a vasas kiválások összehasonlítását a 2. táblázatban foglaljuk össze.

A toposzekvencia tetejéről indulva az M-1 szelvényt kevés (2-3 %) szmektit-tartalom jellemzi, valamivel több illit és szintén nagyon kevés klorit található. A kalcit mennyisége 45 és 70 % között mozog viszonylag egyenletesebb eloszlással. 10-20 cm-ről származó vasasabb rész (rozsdaszínű anyag kipreparálása) és talaj anyagának összessége között összetételbeli különbség nem mutatható ki.

Az előző talajszelvényhez képest kis távolságon belül megváltozik az ásványos összetétel (2. táblázat). Az agyagásványok közül uralkodóak a szmektitek (10-30 %), továbbá kevés a klorit és az illit hiánya figyelhető meg. A szelvényben vastag vasfelhalmozódási zóna alakult ki, melynek uralkodó vasásványa a goethit és a ferrihidrit. A kioldott szabad vastartalom jól egyezik a röntgendiffrakciós vizsgálatokkal megállapított vas-(oxi)hidroxid mennyiségével. Többszöri mintázás során a gyökérzóna környékéről preparált anyagokban a goethit és ferrihidrit jelent meg (rozsdás vas-oxid szemcsék: goethitre és ferrihidritre utaló jelek, Carex gyökérjárata: egyértelműen ferrihidrit). A 0-20 cm-ről származó vasas szeparátumokban a vas-oxihidroxidok mellett megtalálhatóak magának a talajnak az uralkodó ásványai. Egy méteres mélységben nyomnyi sziderit előfordult.

Az M-3 szelvényben az ásványi rész eloszlása hasonló az előzőekben leírtakhoz. A vasas szeparátumokat (0-20 cm) egyértelműen rosszul kristályosodott goethit építi fel. Lényeges különbség, hogy az M-2 szelvény vasfelhalmozódási része agyagosabb, az utóbbié karbonátosabb (kalcit) a mintákat döntő részben alkotó goethit mellett. Több éves mintavétel során a toposzekvencia legmélyebb pontján a mézsiszap körül (50 cm) jelentősebb szideritet (nyomokban vivianit is társul hozzá), a felszín közelében kis mennyiségű goethitet azonosítottunk (0-20 cm). A rozsdás szeparátumokban is goethit feltételezhető (20-40 cm).

A redukált vasásványok vizsgálatára a toposzekvencián kívüli szelvényeket jelöltünk ki. A terület É-i részén magassásosban található TSZ-5 jelű szelvényt mélységgel növekvő agyagásvány tartalom és felszín felé dúsuló kalcit és dolomit jellemzi. A teljes talajmintákból és az agyagfrakciókból röntgendiffrakcióval vasásványok nem mutathatók ki a 90-110 cm-en fellelhető víztelített, sötétzöld színt kalcium tartalmú vas-karbonát (Ca-sziderit) és kevés pirit kivételével. A minta erőteljes redukzív viszonyokat jelző színe miatt Glejes talajokra jellemző amorf ferro-hidroxid és ferro-ferri-hidroxid (green rust) jelenléte azonban nem zárható ki.

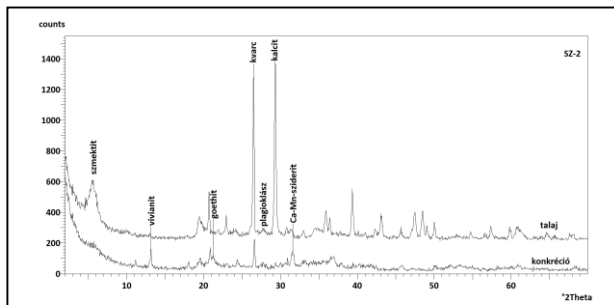
2. táblázat: Összefoglaló a toposzekvencia (M-1 – M-4 talajszelvények) vasásvány előfordulásairól. Vasas részek=átlag talajmintából és gyökérszónából szeparált rozsdás anyagok, kiválások, esetleg konkréciók

| | Feltalaj | Altalaj | Vasas részek |
|-----|--|--------------------|---|
| M-1 | nincs vasásvány | nincs vasásvány | összetétele átlag talajjal egyező nyomnyi goethittel |
| M-2 | vasfelhalmozódásos szintekben goethit és ferrihidrit | nyomnyi sziderit | <ul style="list-style-type: none"> •összetétele átlag talajjal egyező jelentősebb mennyiségű rosszul kristályosodott goethittel és ferrihidrittel •előfordul vaskonkréció (goethit, Ca-, (Mg-,)Mn-,Fe-karbonát, amorf Mn-oxid) •gyökérszónában ferrihidrit a többi talajalkotó mellett |
| M-3 | vasfelhalmozódásos szintekben goethit | nincs vasásvány | <ul style="list-style-type: none"> •döntően rosszul kristályosodott goethit, többi ásványos talajalkotó elenyésző •előfordul vaskonkréció (goethit, Ca-,(Mg-,)Mn-,Fe-karbonát, amorf Mn-oxid) •gyökérszónában rosszul kristályosodott goethit |
| M-4 | kevés goethit | sziderit, vivianit | összetétele átlag talajjal egyező nyomnyi goethittel |

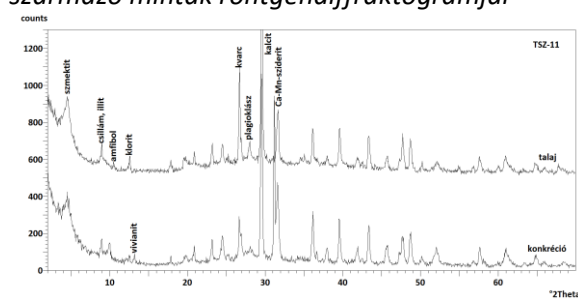
A teljes talajmintákból és az agyagfrakciókból röntgendiffrakcióval vasásványok nem mutathatók ki a 90-110 cm-en fellelhető víztelített, sötétzöld szint kalcium tartalmú vas-karbonát (Ca-sziderit) és kevés pirit kivételével. Glejes talajokra jellemző amorf ferro-hidroxid és ferro-ferri-hidroxid (green rust) jelenléte azonban nem zárható ki a minta erőteljes redukzív viszonyokat jelző színe miatt.

A szintén magassásos SZ-2 szelvény szintén mélység felé növekvő agyagásvány- és egyenletes karbonát eloszlással rendelkezik. A vasásványok közül 20 cm-től 1 m-ig a mintákban mélységgel növekvő mennyiségű goethitet találunk, mely a ditionit oldható szabad vastartalomban is nyomon követhető (~2-10 %). 1 méteren megjelenik a glejes szint, jellemző vas(II) ásványai a vivianit (vas-foszfát) és a Ca-sziderit (vas-karbonát). Az XRD vizsgálatok szerint egy méteres mélységben a talajvíz magasságában vivianitot valamint szideritet igazoltak kis mennyiségű pirit mellett. A mintából szeparált vivianit kristályok elérhetik a 3-5 mm nagyságot is. Az utóbbi ásványok szulfid-szegény, oldott vas(II)-ban és szervesanyagban gazdag, anoxikus üledékes környezetben jellemzőek. Képződésük során a tútelített talajoldatból csapódnak ki, ez a folyamat rendkívül lassú (Nriagu, 1972., Postma, 1981). A vas(II) és a foszfor forrásaként vas-(oxi)hidroxidok redukzív oldódását kell megemlíteni, az előbbieket felületükön adszorbeálják a szervesanyagok bomlásából származó ortofoszfátot, az oldódás során mindkettő oldatba kerül, vivianit keletkezhet. A folyamat köztes állomása a green rust (vas(II)-vas(III)-hidroxid) lehet. A pórusvízben oldott vas(II) a foszfáttal együtt vas-

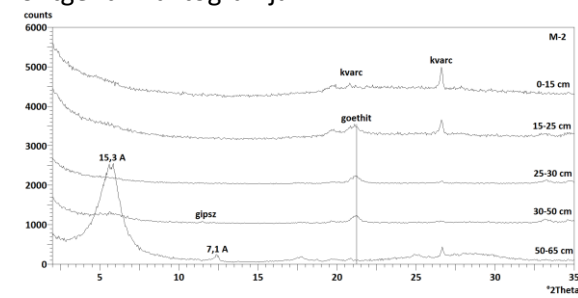
(oxi)hidroxidokon és agyagásványokon kötődik, ezzel elindítva vas-oxidok zöld rozsdává alakulását, ez a fázis hónapok alatt vivianitá alakul át megfelelő ortofoszfát koncentráció mellett (Hansen & Poulsen 1999). Az agyagásványokon szorbeált vas(II) viszont csökkenti a porusvíz vas(II) koncentrációját, ezáltal gátolva a vivianit képződését.



13. ábra: SZ2 szelvény 100 cm mélységből származó minták röntgendiffraktogramjai



14. ábra: 100 cm mélységből származó minták röntgendiffraktogramjai

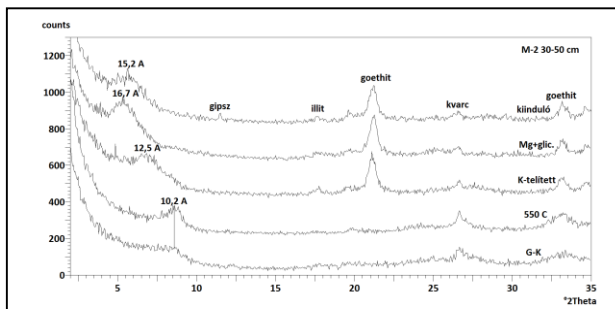


15. ábra: Agyagfrakciók röntgendiffraktogramjai az M-2 szelvényben

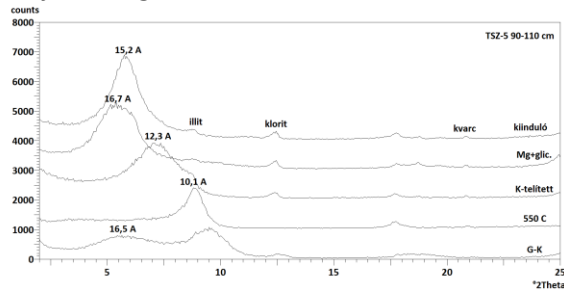
A konkréciók között a mintaterületen vasas és karbonátos típusokat különíthetünk el. A vasfelhalmozódási talajsíntekben a vasborsók anyaga rosszul kristályosodott goethit, mellette a többi talajalkotó ásvány kisebb hányadban szerepel (M-3), vagy fordítva, de szintén rosszul kristályosodott goethittel és ferrihidrittel (M-2). Mindkét szelvényben kalcit, dolomit vagy vegyes összetételű karbonát is szerepel a vasas kiválásokban (2. táblázat). A talajban goethit és vas(II)-tartalmú ásvány társulását nem sikerült kimutatni, azonban a redukált talajkörnyezetben képződött konkréciókban egymás mellett előfordulnak ilyen fázisok, vasas vagy karbonátos kiválásokat vivianit, esetenként mellette goethit jellemzi (SZ-2, TSZ-11). Goethit és vivianit párhuzamos előfordulása vasoxidáló mikrobák jelenlétére és/vagy oxikus és anoxikus határfelületre utal. SZ-2 jelű minta esetében ez valószínűsíthető, mivel a szelvény tőpart közelében fekszik, így oxigéndúsabb víz kerülhet az altalajba. Megemlítendő, hogy a teljes talaj jellemző komponense, a kalcit ebben a vasas kiválásban nem jelenik meg (13. ábra).

A döntően Ca-, Mn-, Fe-karbonát alkotta konkréciók (TSZ-11) a tútelített talajoldatból válhattak ki a többi talajalkotó szemcse felületén, majd növekedésük során bekebelezték azokat (14. ábra). Szárazabb periódusban a vivianit pár hónap alatt oxidálódott, goethitté és további magas foszfor-tartalmú rendezetlen szerkezetű vas-(oxi)hidroxiddá alakult, ami a vas ásványi változásaival kapcsolatos viszonylag nagy sebességre utal.

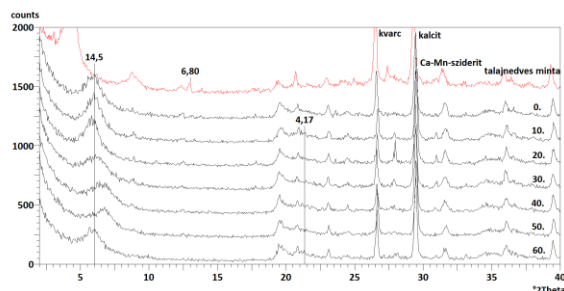
A szeparált agyagfrakciókban egy szelvényen belül mélység fele növekszik a duzzadó agyagásványok aránya (15. ábra). Mivel a magas talajvízszint duzzadó agyagásványok képződésének kedvez a klorit és az illit eloszlása egyenletes, pangó vizes talajokra jellemző kis mennyiségben jelennek meg. Az agyagfrakcióban kis mennyiségű kvarc, illit és a réti és láptalajokra jellemző gipsz mellett a goethit dúsul. Részletes agyagásványtani vizsgálatok alapján a duzzadó agyagásvány dominánsan kis rétegtöltésű, montmorillonitos karakterű szemektit (16. ábra).



16. ábra: Agyagfrakciók röntgendiffrakrogramjai a diagnosztikai kezeléseket követően



17. ábra: Agyagfrakciók röntgendiffrakrogramjai a különböző diagnosztikai kezeléseket követően



18. ábra: Száritási-nedvesítési ciklusok közötti röntgendiffrakrogramok (SZ-2, teljes talaj)

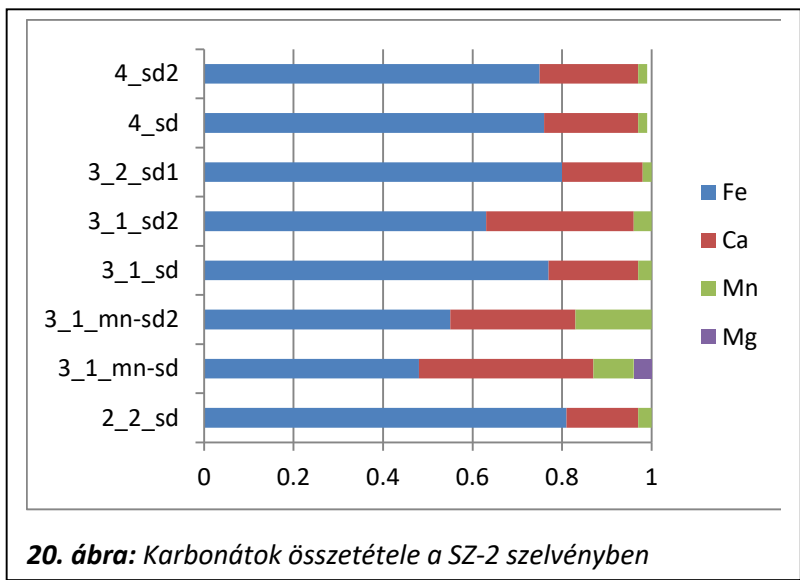
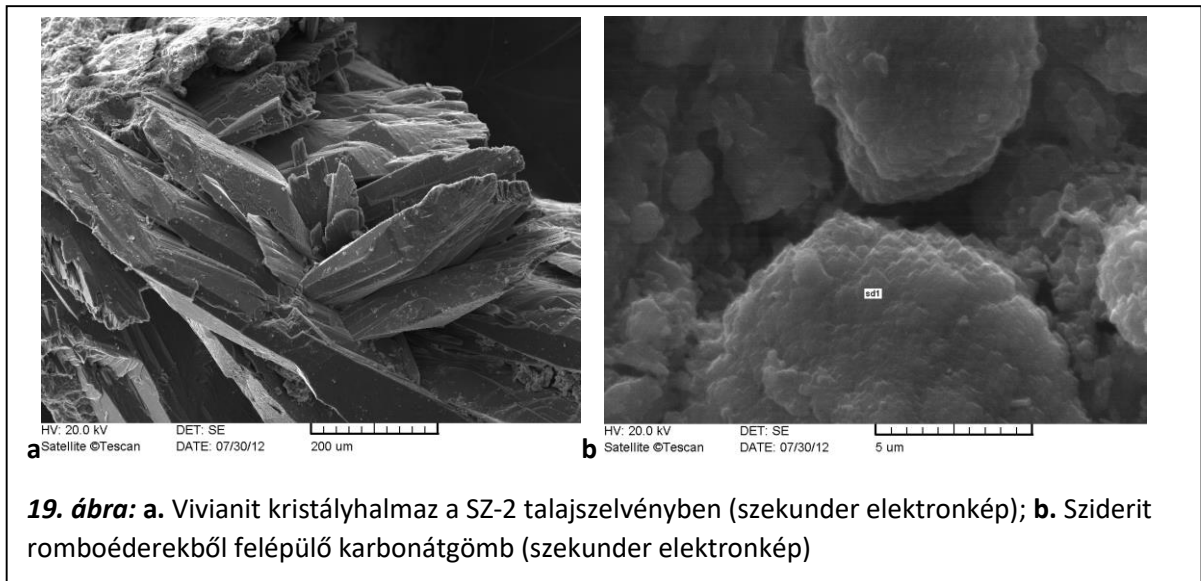
A glejes szintek 2 μm –nál kisebb frakciójának alkotói szintén a szmektit, valamint az ennél némileg kisebb mennyiségben jelen lévő klorit és az illit (17. ábra). Reduktív talajviszonyok alatt a szmektitek –a ferri vas tartalmú szintekhez hasonlóan– általában kis rétegtöltéssel rendelkeznek. A K-telítés utáni 12,5 Å felé tolódott bázisreflexió határozott nagyobb $o2\theta$ felé eső vállal rendelkezik, mely az illit mellett nagyobb rétegtöltésű szmektit meglétére utal. Ez a szmektitek rétegtöltésének emelkedésére utal.

A vízhatású talajok száraz vagy víztelített állapotát **Száritási-nedvesítési kísérlettel** is modelleztük. A 30. ciklus után észlelhető a szmektit (001) reflexiójának intenzitás csökkenése, a csúcs kiszélesedése. A víztelítettség ciklikus változtatásával rendezetlenebb szmektit alakul ki, sőt a montmorillonit kisebb, sokszor 1-2 réteg vastagságú kristallitokra esik szét. Az XRD felvételeken a 6,80 Å csúcs eltűnik, majd a kvarc csúcs tövében megjelenik 4,17 Å körüli váll, így a vivianit oxidációja során rosszul kristályosodott goethitté alakul (18. ábra).

Vasásványok együttes megjelenése: pásztázó elektronmikroszkópos (SEM-EDS) megfigyelések

Eredményeket eddig nem publikáltuk

Talajban az ásványok stabilitását sok tényező befolyásolja, ami kiemelten igaz a vasásványokra. A termodinamikai stabilitás szempontjából jelentősen lecsökken a hőmérséklet és a nyomás szerepe, ugyanakkor előtérbe kerülnek a fluidum (talajvíz, pórusvíz, talajoldat) kémiai paraméterei: kation- és anionkoncentrációk, kémhatás, redox viszonyok, szervesanyag-tartalom stb. A területen lelhető leglátványosabb vasásvány, a vivianit milliméteres kristályai olykor szabad szemmel is megfigyelhetőek. A SEM képeken általában néhány száz mikrométeres pompás, lapos, táblás, éles kristályai alkotnak csoportokat (19.a. ábra). A kristályokon jól megfigyelhető az ásvány tökéletes hasadása. A kémiai elemzés alapján a vivianit alumíniumot és mangánt is tartalmaz, számolt képlete: $Fe_{2,96}Mn_{0,02}Al_{0,6}(P_{0,99}O_4)_2 \cdot 8H_2O$.



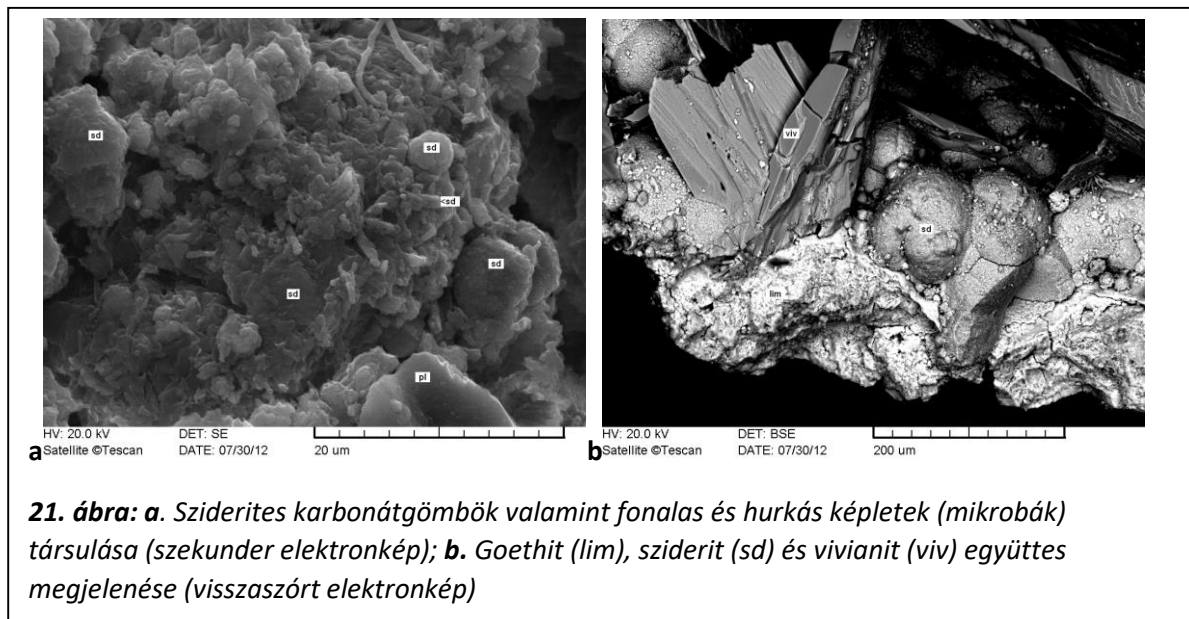
Ugyanebben a mintában igen gyakori a sziderit is. Ez az ásvány 10 μm körüli gömböket alkot, melyek romboédes habitusú sziderit kristályokból épülnek fel (19.b. ábra). Az ilyen karbonátgömbök változatos kémiai összetételt mutatnak, bár döntő részük szideritként azonosítható. Ezek átlagos összetétele a

$$(\text{Fe}_{0,78}\text{Ca}_{0,19}\text{Mn}_{0,02})\text{CO}_3$$

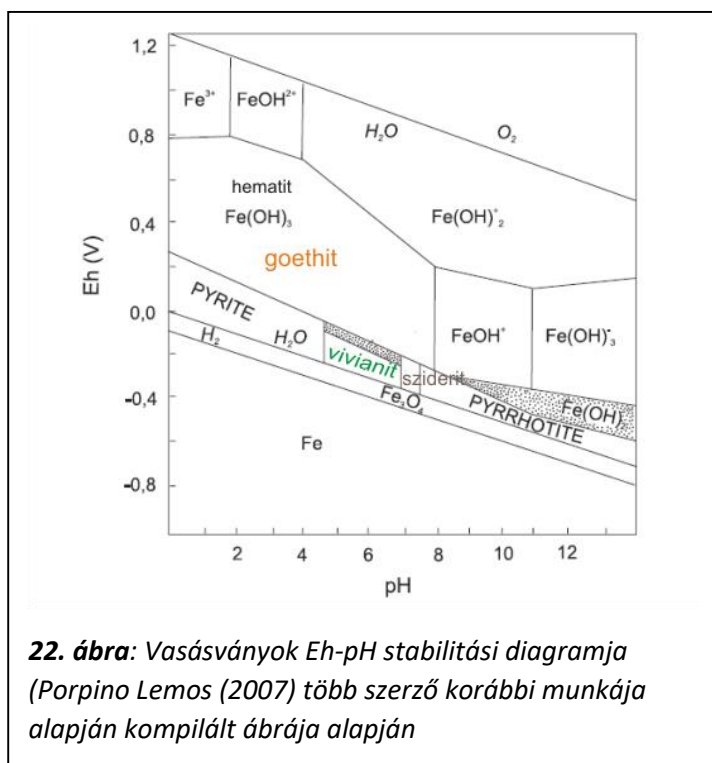
képlettel adható meg. Egy ilyen látható a következő képen is, melyen megfigyelhető, hogy a

romboéderek nem hajlított élűek, vagyis nem dolomitácsú ásványról van szó, hanem egy Ca-tartalmú szideritről (20. ábra).

A sziderit mellett előfordulnak olyan, a sziderithez hasonló megjelenésű karbonátgömbök is, melyekben a Fe:Ca arány közelít az 1:1-hez, és emellett jelentős mangántartalmuk is van. Magnéziumot csak egy szemcséből sikerült kimutatni, abban is kis mennyiségben. Az ilyen ankerites (Mn-ankerites) összetételű karbonát elemzések többféleképpen értelmezhetőek. A röntgendiffraktogramokon a egyértelműen, jelentős intenzitással kalcitra és szideritre jellemző reflexiók jelennek, de kis intenzitással dolomitácsú karbonátra (dolomit, ankerit) is utaló csúcs is megjelenik. Ismert, hogy természetben nem képződik rendezett tiszta ankerit szélső tag (Chai és Navrotsky, 1996). Ez megmagyarázza az ilyen összetételű ásványaink mangántartalmát és a dolomitácsú karbonát reflexiók kis intenzitását. Mindez azt jelenti, hogy feltételezhetően rendezetlen Mn-tartalmú ankerit jelenik meg a vizsgált talajban. Egy másik magyarázat lehet, hogy a karbonátgömbök belseje nem homogén összetételű, azaz sziderites és kalcitos részek,



21. ábra: **a.** Sziderites karbonátgömbök valamint fonalas és hurkás képletek (mikrobák) társulása (szekunder elektronkép); **b.** Goethit (lim), sziderit (sd) és vivianit (viv) együttes megjelenése (visszaszórt elektronkép)



22. ábra: Vasásványok Eh-pH stabilitási diagramja (Porpino Lemos (2007) több szerző korábbi munkája alapján kompilált ábrája alapján)

zónák vannak benne. Sajnos nem sikerült olyan preparátumot készítenünk, amelyen a zónásság, mozaikosság egyértelműen vizsgálható, eldönthető lenne. A jövőben még kísérletezünk vele, mert ennek nagy jelentősége van a vaskarbonátok talajbeli képződésében. A viszonylag nagy mangántartalmat azonban egy ilyen kép nem magyarázná, hisz a mintában található kalcitok és szideritek is kevés mangánt tartalmaznak.

A karbonátok (sziderit, ankerit) mellett gyakran megfigyelhetők hurka alakú és hosszú, vékony ívelt, hajladozó szálak (21.a. ábra). Ezek baktériumok és gombafonalak lehetnek, melyek jelenléte arra utal, hogy a mikrobáknak szerepük van a vaskarbonátok kialakulásában.

Sziderit mikrobiális képződését – igaz azok a szideritek nanométeres méretűek –már több esetben is mutattak ki felszínközeli anaerob körülmények között (Sánchez-Román et al., 2014; Sawicky et al., 1995). A vizsgált mintákban egyértelműen látszik, hogy a különböző vasásványok együtt is megjelenhetnek. Ebben a szelvényben ilyen a vas-oxihidroxidnak (goethit, ferrihidrit), a szideritnek és a vivianitnak az asszociációja (21.b. ábra). Ebből arra következtethetünk, hogy a vasásványok képződését vízhatású talajban a paraméterek nagyon kis arányú változása is már befolyásolja. Ha megnézzük ezen ásványok stabilitási diagramját, akkor a fenti vasásvány-társulás a semleges körüli pH-n, enyhén negatív Eh viszonyok között jött létre (22. ábra). Ugyanakkor ne feledjük el, hogy nem csak e két kémiai paraméter befolyásolja a képződést és a stabilitást, hanem a nyomelemek és a mikrobiális tevékenység is komoly szerepet játszik ebben.

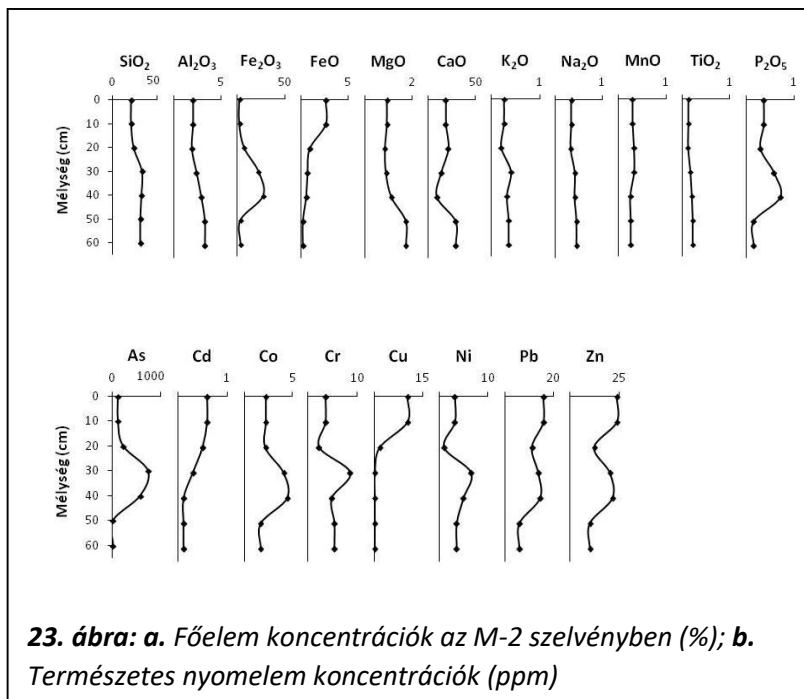
Természetes fő- és nyomelem eloszlások egy talajszelvényhez vagy jellegzetes vasásványokhoz kapcsolódóan

Eredményeket eddig nem publikáltuk

Kutatási területünkön teljes kémiai elemzésre a különböző jellegzetes vasásványok megjelenése alapján választottunk mintákat, hogy a talajok ásványos részének ismeretében magyarázzuk a természetes elemeloszlásokat, valamint a már korábban bemutatott vasásvány átalakulások okozta geokémiai változásokat. Vizsgáltunk egy jellegzetes vasfelhalmozódási szinttel rendelkező talajszelvényt (M-2), továbbá különböző vas(II)-tartalmú ásványos talajmintákat vagy kiválásokat. A vas(III) eloszlása szoros kapcsolatot mutat többek között a foszfor, arzén, ólom, cink előfordulásával, míg a vas(II) a foszfor-és a cinktartalommal korrelál ($r^2 > 0,7$). Az előbbi a nagy fajlagos felülettel rendelkező vas-(oxi)hidroxidok kation- és anion-megkötőképességéből fakad. A vas(II)-tartalmú ásványokhoz kapcsolódóan a cink dúsul a mintákban. A talajokból szeparált kiválásokban ehhez hasonló nyomelem-dúsulásokat tapasztalunk (As, Pb, Zn, 3. táblázat).

3. táblázat: Nyomelem koncentrációk különböző konkréciókban (ppm)

| | As | Co | Cr | Ni | Pb | Zn |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|
| TSZ-11 sziderit/vivianit | 98,1 | 22,9 | 8,60 | 17,7 | 12,1 | 22,4 |
| SZ-2 vivianit/goethit | 621 | 7,99 | 2,98 | 1,65 | 20,5 | 86,2 |



A nyomelemek szelvénybeli elterjedése a szerves anyagokhoz és a vasfelhalmozódáshoz kötődik (23. ábra). A légköri ülepedést és a szerves anyagokhoz való affinitást igazolja az A szint magasabb kadmium-, réz-, ólom- és cinktartalma. A vas eloszlását követik az alábbi nyomelemek: As, Co, Cr, Ni, Pb, Zn. A jól vagy rosszul kristályosodott vas-(oxi)hidroxid koncentrációkkal összevetve a króm és a nikkelt a magasabb amorf vas-oxidot tartalmazó mintákban dúsul. Az ólom és a cink hasonló

koncentrációban jelenik meg a szerves és vasas szintekben.

A természetes elemtartalmak a kijelölt (eltérő vasásványos) mintáinkban így alakultak: As M-2 >> SZ-2 >> TSZ-5; Pb M-2 > SZ-2~TSZ-5; Zn SZ-2 > M-2 > TSZ-5. A természetes Cu koncentráció 1 ppm körül alakul mintákban (SZ-2 > TSZ-5 > M-2). A vasfelhalmozódásos (M-2) és a redukzív környezetből származó SZ-2 talajmintát hasonló foszfor- (1 % körüli P₂O₅) és nagyon eltérő teljes vastartalom jellemzi (27 és 15 % Fe₂O₃). Az előbbi vasasabb mintákkal

szemben figyelembe kell venni a TSZ-5 jelű talajminta a magasabb alumino-szilikát koncentrációját főelem összetételek alapján.

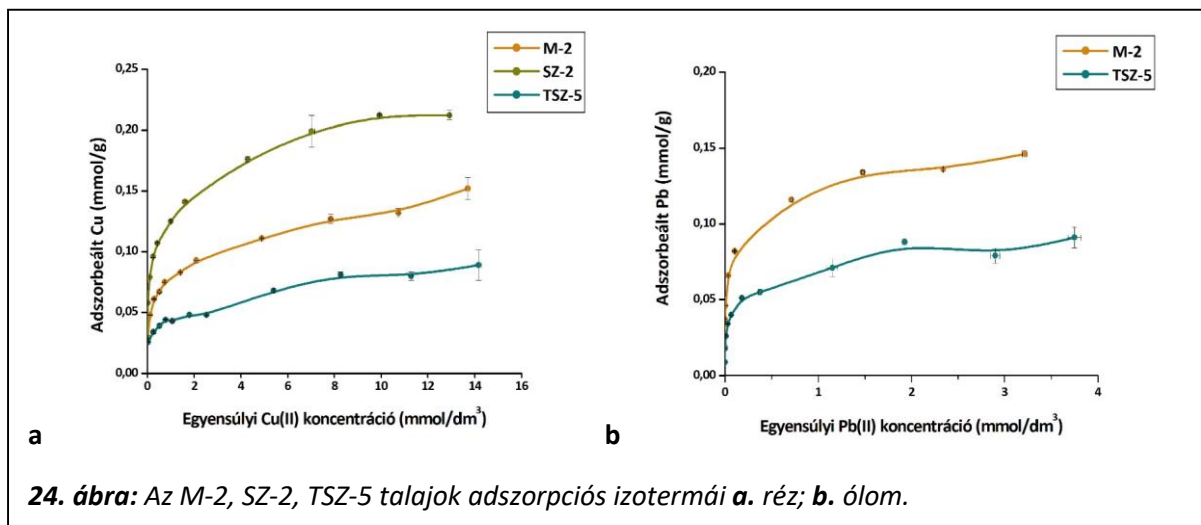
Nehézfém szorpciós kísérletek: Az ólom és a réz megkötődésének vizsgálata

Eredmények részlegesen publikálva:

Balázs R, Németh T, Kovács Kis V, Cora I, Szalai Z, Sipos P. 2016 Influence of clay and iron mineralogy on copper sorption by meadow soils 8th Mid-European Clay Conference (MECC 2016): Book of Abstracts. 207 p.

Számos nyomelem dúsulása a vas-(oxi)hidroxidok felhalmozódását követte. A dúsulás mértéke nemcsak a vasásványok mennyiségétől, hanem azok szerkezeti rendezettségétől is függ. A rosszul kristályosodott vas-(oxi)hidroxidok fajlagos felülete nagyobb, ezáltal több kötőhellyel jellemezhetők. Mivel az előbbi komponensek kémhatással változó felületi töltéssel rendelkeznek, a kísérlet pH-viszonyait is figyelemmel kell kísérnünk.

A magassásos (M-2) talajok vasfelhalmozódási szintjében a szervesanyag-tartalom 3%, a redukív talajkörnyezet mintáiban ugyan ez a paraméter 1%, ill. 0,5% volt (SZ-2, TSZ-5). A jól (Fe_{CBD}) és rosszul kristályosodott (Fe_{CA}) vas-(oxi)hidroxid mennyiségek szerint is az előbbihez hasonló sorrend körvonalazódik a vizsgált talajok között. Az ásványos összetételt megerősítve az M-2 kiugró kioldható vastartalommal rendelkezik (Fe_{CBD} : 21 %, Fe_{CA} : 9%) a másik két választott mintához képest (SZ-2: 6-6 %, TSZ-5: Fe_{CBD} : 1,3 %, Fe_{CA} : 0,6 %).



24. ábra: Az M-2, SZ-2, TSZ-5 talajok adszorpciós izotermái **a.** réz; **b.** ólom.

Az egyes talajokra jellemző maximális nehézfém-kapacitást a Langmuir izoterma mért adatainkra való illesztésével határoztuk meg. A talajok vasásványos összetételéből feltételezett sorrend megfordult, a legnagyobb szorpciós kapacitással az SZ-2 minta rendelkezett (13,4 g/kg), M-2 9,7 és a TSZ-5 5,7 g/kg a réz esetében. Ólomterhelés esetén a vasfelhalmozódási szint (M-2) maximális nehézfém-megkötő képessége 29,6 g/kg, a TSZ-5 talajban 18,3 g/kg (24. ábra).

A szorpciós kapacitással összefüggésben tárgyalandó a réz- vagy ólomadszorpciós közeg pH körülményeinek változása, amelyből a megkötődés részfolyamataira következtethetünk. A kiinduló nehézfém oldatok kémhatása 5 körüli volt (kis töménységű oldatoknál kb. 5,5; nagy koncentrációjú terheléskor kb. 4,5). A folyamat során a TSZ-5 jelű talaj egyensúlyi pH értékei emelkedtek a kezdeti kémhatásokhoz képest (pH 6,4-4,8), M-2 esetében csökkentek (pH 5,4-3,9), köztes helyen szerepel a harmadik mintánk, kisebb koncentrációjú oldatokban kis emelkedés, nagyobb töménységeknél enyhe csökkenés tapasztalható (pH 6,2-4,4).

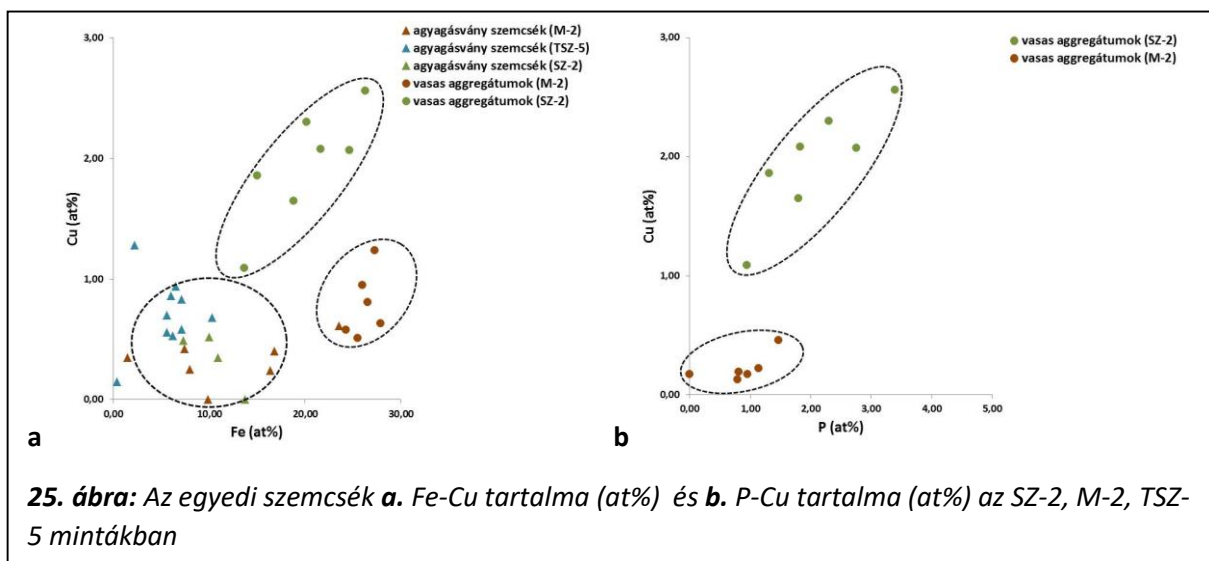
Azokban a talajszuszpenziókban változik az egyensúlyi kémhatás lúgosabb tartomány felé, ahol a nehézfém hidrolíziséből származó oxóniumion kötődik, a savas fémoldatok hidrogén aktivitása csökken. Mindemellett jelentős réz- vagy ólomadszorpció történik. Ebben a folyamatban az agyagásványok, jelen esetben a szmektitek állandó, negatív rétegtöltéséből eredő kationkötő helyek mellett jelentős szerepet játszanak a pH függvényében változó felületi csoportok (-XOH, -XPO₄H₂).

A vas-oxidok, (oxi)hidroxidok izoelektromos pontja pH 7 és 8 körül található, így a hidroxil csoportok a kísérleti pH körülmények között nem rendelkezhetnek homogén negatív felületi töltéssel. A nettó töltést nem befolyásoló inhomogenitások ellenben jelentős kationkötő lehetőséget biztosíthatnak. A vasásványok szerkezetébe beépülő egyéb kationok vagy a felülethez kötődő oxianionok az izoelektromos pontot alacsonyabb pH tartományok felé változtathatják, szilícium tartalmú ferrihidritek esetében 5 körüli értékre csökken (Schwertmann, 1982). Az oxianionok között a foszfátok rendelkeznek a legnagyobb affinitással, goethiten foszfát jelenlétében számottevő a kationszorpció savanyú oldatokban is (Rietra et al., 2001). Hasonlóképp szintetikus Fe(II)-foszfát savas közegben negatív felületi töltéssel rendelkezik (pH_{IEP}: 3,3, Luna-Zaragoza et al., 2009).

Analitikai elektronmikroszkópos vizsgálatok

Az AEM vizsgálat az egyedi talajalkotók kémiai elemzésével az egyes szemcséken kötődött nehézfémek meghatározását tárja elénk, mindemellett a szervesetlen komponensek pontosabb leírásához járul hozzá. Különösen fontos a különböző redox viszonyú talajkörnyezetből származó agyagásványok és vasas fázisok minőségének és a toxikus elemek megkötésében játszott szerepük megismerése.

Az agyagásványok összetételükben magas vas-tartalmúak, a helyettesítés az oktaédes és a tetraédes pozíciókban is lehetséges. A vizsgált talajok vasban gazdag szmektit szemcséi 1 atom% alatti réz-tartalommal rendelkeznek. Enyhe fordított összefüggés figyelhető meg az kálium, a vas és a réz koncentrációk között az agyagásványokban. Kevert szerkezetű illit/szmektitben a növekvő illit közberétegződés kisebb rézszorpcióval jár. A legtöbb teljes vasat tartalmazó M-2 mintában az agyag kristallitok dominánsan vasas aggregátumokkal együtt fordultak elő, ezért többnyire összetételükről a két komponens együttes elemzésével kaptunk eredményt. Így a vas és a réz összefüggése kapcsán inkább a szmektitek rétegekzi terében is jelenlévő vas-(oxi)hidroxidokkal és az általuk blokkolt adszorpciós helyekkel magyarázható.



Összevetve az előbbi talajalkotókat, a vasas komponensek szembetűnően elkülönülnek vas- és réztartalmuk alapján (25. a. ábra). A szorpciós kísérletek eredménye igazolódott, a kezdetben vivianitot is tartalmazó talaj vasas alkotói kétszer annyi nehézfém megkötésére voltak képesek, mint az M-2 (átlagosan 2 és 1 atom%). A szorpciós különbségek magyarázata az egyedi szemcsék foszfor-tartalmában is keresendő, mely az SZ-2-ben közel háromszorosa a M-2 vasas aggregátumaihoz képest (25.b. ábra). Kiemeljük a szoros összefüggést, növekvő P-koncentráció magasabb rézszorpciót eredményezett az egyedi szemcsékben.

A redukált környezetben lévő talajvas (vas(II)-foszfát, és feltehetően egyéb amorf vas(II)-fázisok) a kísérlet oxidatív körülményei között magas foszfát-tartalmú vas-(oxi)hidroxiddá alakul. Mivel a növekvő P/Fe arány a vas-oxidokban gyengébb rendezettséget eredményez (Cumplido et al., 2000), az M-2-ben jelen lévő, alacsonyabb foszfor-tartalmú goethitnél gyengébben rendezett, nagyobb fajlagos felülettel és magasabb nehézfém-megkötő képességgel rendelkező fázis alakult ki. Mindemellett a foszfát oly módon adszorbeálódik a felületen, hogy csökkenti annak izoelektromos pont értékét. Következésképpen a P/Fe és P/nehézfém arány megállapítása jelentőséggel bír különböző talajok vagy földtani minták vizsgálata során egyedi szemcsék szintjén is.

Következtetések

Vizes élőhelyeken a tájfoltok határait a vízhatás erősségében bekövetkező változások jelölik ki. A vízhatás erősségét nemcsak a mikrodomborzat, hanem a talajképző kőzet és a talaj szöveti tulajdonságai meghatározhatják. Közel azonos vízellátottság esetén a tájfoltok határait a növényzet jelöli ki.

A vizes élőhelyek tájfoltjainak a talajban is van kiterjedésük. A tájfoltok által meghatározott anyagi különbségek egészen a szolum aljáig megfigyelhetők.

A felszínen kizárólag a növényzet által kijelölhető tájfoltok területi különbözőségei nem feltétlenül jelennek meg a talajban. Az ilyen tájfoltok talajaiban az egyéb hatások (pl. extrém SOM felhalmozódás mocsári dinamikájú tájfoltban) felülírják a növényzet által okozott különbségeket. Azokon a területeken, ahol az oxidációs-redukációs viszonyokban megfigyelhető különbségek a növényzetre vezethetők vissza, ott a növényzet által kijelölt foltok a talajban is megjelennek.

A vizes élőhelyeken a redoxpotenciál jellemző értékei közötti különbségek (vegetációs időszakban) legalább annyira a növényzeti különbözőségnek köszönhető, mint a hidromorfia fokának.

A növényzet által kijelölt tájfoltok között a DOM dinamikában és ezáltal az oldott vas mennyiségének időbeli változásában is különbségek figyelhetők meg. Ezek a különbségek is a növényzet által irányított redoxpotenciál dinamikában keresendők.

A vizes élőhelyek tájfoltjainak határain a növényzet által kiváltott redoxpotenciál ingadozások sokkal jelentősebbek. Ennek köszönhetően a tájfoltok határain a vasfelhalmozódás sokkal intenzívebb, mint a tájfoltok magterületein. A tájfoltokon nemcsak a ferri-vas mennyisége, de a szabad vasásványok rendezetlensége is magasabb.

A redoxpotenciál ingadozások a Fe^{2+} - Fe^{3+} intervallumban történnek. Ez az ingadozás nem érinti az Mn^{2+} - Mn^{3+} átalakulás redox folyamatait, így a mangán felhalmozódása nem követi a vasét.

A tájfoltokban az ásványi fázis fejlődése leginkább a vasásványok fejlődéséhez kapcsolható. A különböző redox viszonyokat jelző vasásványokhoz az időnként kiszáradó talajokban rendezetlenebb szerkezetű, kis rétegtöltésű duzzadó agyagásvány, lejjebb a glejes, víztelített szintekben nagyobb rétegtöltésű, beidellitessé karakterű szmektit társul. A duzzadó agyagásványok aránya a homokos talajképző kőzet felé növekszik, jellemzően csak a szerves anyagban gazdag A szintben vehető össze a szmektittel az illit és a klorit mennyisége. Mindez azt jelentheti, hogy a szmektit nem az illit vagy a klorit átalakulása során keletkezett, neoform eredet valószínűsíthető. A változó víztelítettségnek köszönhetően kisebb szemcsméretű agyagásványok alakulnak ki, melyek vas-(oxi)hidroxidokkal együttesen fordulnak elő.

A különböző tájfoltokból (redox környezetből) származó talajok eltérően adszorbeálják a nehézfémeket. A megkötésben a vasásványok játszanak jelentős szerepet. Általánosan kijelenthető, hogy ebben a környezetben a szmektitek kisebb mértékben vesznek részt a toxikus elemek visszatartásában.

A terület különböző talajainak összehasonlítása a redukzív környezet vasas komponenseinek jelentőségét szemlélteti a foszfor és a nehézfémek visszatartásában is. Az eredmények környezeti szempontból lényegesek, remediációs és víztisztítási technológiákban széles körben alkalmazott vas-(oxi)hidroxidoknál az előbbi fázisok magasabb szennyező-megkötő képességgel rendelkezhetnek. Mesterséges vizes élőhelyeken (constructed wetlands) nemcsak az eutrofizáló tápanyagok, hanem egyidejűleg a toxikus nehézfémek is eltávolíthatók.

Irodalomjegyzék

- Anthony, H., Legrand, L., Chaussé, A. (2008): Carbonate and sulphate green rusts – Mechanism of oxidation and reduction. *Electrochimica Acta* 53 7146-7156.
- Bourrié, G., Troland, F., Génin, J.-M.R., Jaffrezic, A., Maître, V., Abdelmoula, M. (1999): Iron control by equilibria between hydroxy-Green Rusts and solutions in hydromorphic soils. - *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 63, No. 19/20 pp. 3417–3427.
- Chai L., Navrotsky A. (1996): Synthesis, characterization and energetics of solid solution along the dolomite-ankerite join, and implications for the stability of ordered $\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$. *American Mineralogist* 81, 1141-1147.
- Chen, Y., Shaked, D., Banin, A. (1979): The role of structural iron(III) in the UV absorption by smectites. *Clay Minerals* 14, 93.
- Cumplido, J., Barron, V., Torrent, J. (2000): Effect of phosphate on the formation of nanophase lepidocrocite from Fe(II)sulfate. *Clays and Clay Minerals*, 48, 503–510.
- Davidson E.A., Chorover J, Dail D.B. 2003. A mechanism of abiotic immobilization of nitrate in forest ecosystems: the ferrous wheel hypothesis. *Global Change Biology* 9.2. 228-236. 10.1046/j.1365-2486.2003.00592.x
- Dövényi Z. (szerk.) 2012. Magyarország kistájainak katasztere. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet 876 p.
- Feder, F., Troland, F., Kingelhofel, G., Bourrié, G. (2005): In situ Mössbauer spectroscopy: Evidence for green rust (fougerite) in a gleysol and its mineralogical transformations with time and depth. - *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 69, No. 18, pp. 4463-4483.
- Forman, R.T.T. 1995. Some general principles of landscape and regional ecology *Landscape Ecology* 10.3 133-142.
- Forman R.T.T. és Moore P.N. 1998. Theoretical Foundations for Understanding Boundaries in Landscape Mosaics .Series of Ecological Studies 92. 236-258.
- Hansen, H.C.B., Poulsen, I.F. (1999): Interaction of synthetic sulphate “green rust” with phosphate and the crystallization of vivianite. *Clays and Clay Minerals*, 47, 312–318.
- Jeanroy, E., Rajot, J.L., Pillon, P., Herbillon, A.J. (1991): Differential dissolution of hematite and goethite in dithionite and its implication on soil yellowing. *Geoderma*, 50. 79-94
- Karickhoff, S.W.-Bailey, G.W. (1973): Optical absorption spectra of clay minerals. *Clays and Clay Minerals*, Vol. 21, pp. 59-70.
- Lemos, V.P., Costa, M.L., Lemos, R.L., Gomes F.M.S. (2007): Vivianite and siderite in lateritic iron crust: an example of bioreduction – *Química Nova* 30 (1)
- Leser H. 1991. Landschaftsökologie UTB Ulmer p.
- Luna-Zaragoza, D., Guzmán-Romero, E.T., Gutiérrez-Reyes, L.R. (2009): Surface and physicochemical characterization of phosphates vivianite, $\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$ and hydroxyapatite, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$. *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, 8 , 591–609.

- Mansfeldt, T., Schuth, S., Hausler, W., Wagner, F.E., Kaufhold, S., Overesch, M. (2012): Iron oxide mineralogy and stable iron isotope composition in a Gleysol with petroglycic properties. - *J Soils and Sediments* 12. pp. 97–114.
- McBride M.B. (1994). *Environmental chemistry of soils*. Oxford University Press. 408 p.
- Mills, S.J., Christy, A.G., Génin, J.-M.R., Kameda, T., Colombo, F. (2012): Nomenclature of the hydrotalcite supergroup: natural layered double hydroxides. *Mineralogical Magazine* Vol. 76(5), pp. 1289-1336.
- Nriagu, J.O., (1972): Stability of vivianite and ion-pair formation in the system $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2\text{-H}_3\text{PO}_4\text{-H}_2\text{O}$. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 36, 459–470.
- Porpino Lemos V., Lima da Costa M.; Lima Lemos R.; Gomes de Faria M.S. (2007): Vivianite and siderite in lateritic iron crust: an example of bioreduction. *Química Nova* 30, 36-40.
- Postma, D. (1981): Formation of siderite and vivianite and pore water composition of a recent bog sediment in Denmark. *Chemical Geology*, 31, 225–244.
- Reyes, I, Torrent, J. (1997): Citrate-ascorbate as a highly Selective extractant for poorly crystalline iron oxides. *Soil Science Society of America Journal* 61:1647-1654.
- Rietra, R.P.J.J., Hiemstra, T., Riemsdijk, W.H. (2001): Interaction between calcium and phosphate adsorption on goethite. *Environmental Science & Technology*, 35, 3369–3374.
- Schacklette, H. T., and J. G. Boerngen. (1984) Element concentrations in soils and other surficial materials of the conterminous United States. U.S. Geological Survey Professional Paper 1270.
- Sánchez-Román M., Fernández-Remolar D., Amils R., Sánchez-Navas A., Schmid T., San Martín-Uriz P., Rodríguez N., McKenzie J.A., Vasconcelos C. (2014): Microbial mediated formation of Fe-carbonate minerals under extreme acidic conditions. *Scientific Reports* 4, 4767.
- Sawicky J.A., Brown D.A., Beveridge T.J. (1995): Microbial precipitation of siderite and protoferrihydrite in a biofilm. *The Canadian Mineralogist* 33, 1-6.
- Schwertmann, U. (1982): The point of zero charge of natural and synthetic ferrihydrites and its relation to adsorbed silicate. *Clay Minerals*, 17, 471–476.
- Sposito, G. (2008): *The Chemistry of Soils*. - Oxford University Press, New York. 342 p.
- Stefanovits P., Filep GY., Füleky GY. (1999): *Talajtan*. - Mezőgazda Kiadó, Budapest, 470 p.
- Szendrei G. (2000): *Talaj-mikromorfológia*. - ELTE Eötvös Kiadó, Budapest. 220 p
- Takeno N. (2005) *Atlas of Eh-pH diagrams. Intercomparison of thermodynamic databases*. Geological Survey of Japan Poen File Report 419. 285 p.
- Torrent, J.-Barrón, V. (2002): Diffuse reflectance spectroscopy of iron oxides – *Encyclopedia of Surface and Colloid Science*.