

Szegedi Tudományegyetem
Természettudományi és Informatikai Kar
Környezettudományi Doktori Iskola
Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék

PhD értekezés

**A SZEGEDI FEHÉR-TÓ SZIKES ÜLEDÉKEINEK KÖRNYEZET-
GEOKÉMIAI TULAJDONSÁGAI**

BOZSÓ GÁBOR

Témavezető
Dr. Pál-Molnár Elemér

Szeged, 2010

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	1
1.1. A doktori értekezés célkitűzései, indokoltsága	3
1.2. A szikesedést kialakító geokémiai és hidrológiai folyamatok	5
1.3. A magyarországi szikesek keletkezésének elméletei	10
1.4. Nehézfémek a talajban	12
2. A VIZSGÁLATI TERÜLET BEMUTATÁSA	13
2.1. A mintaterület kiválasztásának szempontjai.....	13
2.2. Korábbi vizsgálatok a kutatási területen.....	14
2.3. A vizsgálati terület földrajzi elhelyezkedése	15
2.4. Domborzat	15
2.5. A terület földtani fejlődése, környezetének földtani felépítése	16
2.6. Klimatikus viszonyok.....	19
2.7. Vízrajzi tulajdonságok.....	20
2.8. Talajtani viszonyok.....	21
2.9. A terület flórája és faunája	23
3. MINTAVÉTELEZÉS-, ELŐKÉSZÍTÉS, A SZELVÉNYEK RÖVID LEÍRÁSA	24
3.1. A vizsgált szelvények rövid jellemzése	24
3.1.1. A „K” szelvény	24
3.1.2. Az „SZ-2” szelvény	25
3.1.3. Az „X-2” szelvény	26
3.1.4. Az „S1” szelvény	27
4. ALKALMAZOTT VIZSGÁLATI MÓDSZEREK	28
5. A SZEGEDI FEHÉR-TÓ SZIKES ÜLEDÉKEINEK GEOKÉMIAI, ÁSVÁNYTANI TULAJDONSÁGAI ÉS GEOKÉMIAI FOLYAMATAI	31
5.1. A vizsgált szelvények kémhatása	31
5.1.1. A vizsgált szelvények aktív savanyúsága	31
5.1.2. A vizsgált szelvények rejtett, vagy potenciális savanyúsága	34
5.2. A vizsgált szelvények vezetőképessége	36
5.3. A vizsgált szelvények szemcseösszetétele	38
5.3.1. A „K” szelvény szemcseösszetétele	38
5.3.2. Az „SZ-2” szelvény szemcseösszetétele	39
5.3.3. Az „X/2” szelvény szemcseösszetétele	40
5.3.4. Az „S1” szelvény szemcseösszetétele	42
5.4. A vizsgált szelvények karbonáttartalma	43

5.5. A vizsgált szelvények szerves anyagának minősége és mennyisége.....	45
5.5.1. <i>A vizsgált szelvények szerves anyagának mennyisége</i>	45
5.5.2. <i>A vizsgált szelvények szerves anyagának minősége és összetétele</i>	47
5.5.2.1. <i>A „K” szelvény szerves anyagának minőségi jellemzői</i>	49
5.5.2.2. <i>Az „SZ-2” szelvény szerves anyagának minőségi jellemzői.....</i>	51
5.5.2.3. <i>A „K” és „SZ-2” szelvények szerves anyagának eredete.....</i>	54
5.6. A vizsgált szelvények ásványtani jellemzői	56
5.6.1. <i>A vizsgált szelvények agyagásvány-tartalma.....</i>	60
5.7. A vizsgált szelvények főelemtartalma	64
5.7.1. <i>A vizsgált szelvények nátriumtartalma</i>	64
5.7.2. <i>A vizsgált szelvények magnéziumtartalma</i>	66
5.7.3. <i>A vizsgált szelvények alumíniumtartalma</i>	67
5.7.4. <i>A vizsgált szelvények szilíciumtartalma</i>	68
5.7.5. <i>A vizsgált szelvények káliumtartalma</i>	69
5.7.6. <i>A vizsgált szelvények kalciumtartalma</i>	70
5.7.7. <i>A vizsgált szelvények vastartalma</i>	71
5.8. A vizsgált szelvények nyomelemtartalma	72
5.8.1. <i>A vizsgált szelvények foszfortartalma</i>	73
5.8.2. <i>A vizsgált szelvények titántartalma</i>	74
5.8.3. <i>A vizsgált szelvények mangántartalma</i>	75
5.8.4. <i>A vizsgált szelvények nikkeltartalma</i>	77
5.8.5. <i>A vizsgált szelvények réztartalma</i>	78
5.8.6. <i>A vizsgált szelvények cinktartalma</i>	79
5.8.7. <i>A vizsgált szelvények rubídiumtartalma</i>	80
5.8.8. <i>A vizsgált szelvények stronciumtartalma</i>	81
5.8.9. <i>A vizsgált szelvények cirkóniumtartalma</i>	82
5.8.10. <i>A vizsgált szelvények ólomtartalma</i>	83
5.9. A vizsgált üledékszelvények geostatisztikai jellemzése	84
5.9.1. <i>A vizsgált szelvényekben mért paraméterek korrelációs viszonyai</i>	85
5.9.1.1. <i>A „K” szelvényben mért paraméterek korrelációs tulajdonságai</i>	85
5.9.1.2. <i>Az „SZ-2” szelvényben mért paraméterek korrelációs tulajdonságai ...</i>	87
5.9.1.3. <i>Az „X/2” szelvényben mért paraméterek korrelációs tulajdonságai</i>	88
5.9.1.4. <i>Az „S1” szelvényben mért paraméterek korrelációs tulajdonságai</i>	90
5.9.2. <i>A vizsgált minta szelvények főkomponens-analízisének eredményei</i>	91
5.9.2.1. <i>A „K” szelvény főkomponens-analízisének eredményei</i>	92
5.9.2.2. <i>Az „Sz-2” szelvény főkomponens-analízisének eredményei</i>	93
5.9.2.3. <i>Az „X/2” szelvény főkomponens-analízisének eredményei</i>	95

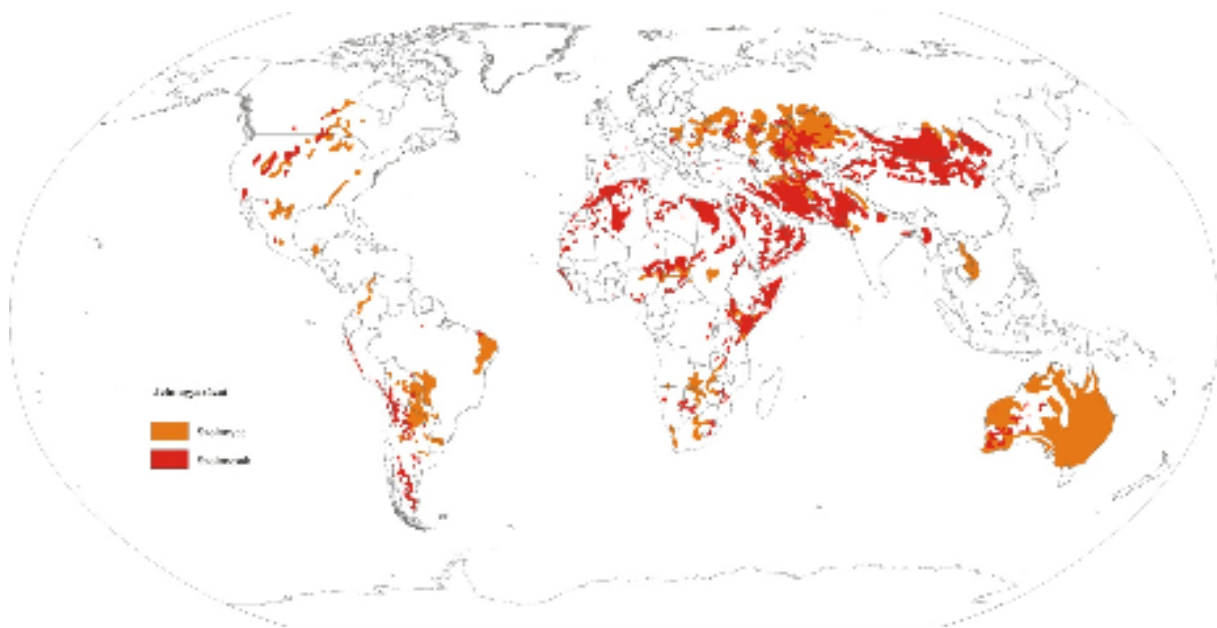
5.9.2.4. Az „S1” szelvény főkomponens-analízisének eredményei	97
5.9.3. A vizsgált szelvényeken elvégzett klaszteranalízis eredményei	99
5.9.4. A vizsgált szelvények diszkriminancia-analízisének eredményei	102
5.9.4.1. A „K” szelvény diszkriminancia-analízisének eredményei	102
5.9.4.2. Az „SZ-2” szelvény diszkriminancia-analízisének eredményei	104
5.9.4.3. Az „X/2” szelvény diszkriminancia-analízisének eredményei	106
5.9.4.4. Az „S1” szelvény diszkriminancia-analízisének eredményei	107
6. A GEOKÉMIAI ÉS ÁSVÁNYTANI VIZSGÁLATOK	
EREDMÉNYEINEK ÉRTÉKELÉSE	110
6.1. Az üledékek sótartalma és kémhatásai, valamint az azokat kialakító természetes és antropogén folyamatok	110
6.2. A szikes üledékek szemcseösszetételének és karbonáttartalmának tulajdonságai	111
6.3. A szerves anyag felhalmozódásának körülményei	112
6.4. Az üledékek ásványtani tulajdonságai és mállási folyamatai	114
6.5. Az üledékek fő-, és nyomelem-tartalma	116
6.6. Az elem-eloszlásokat kialakító háttér-folyamatok	117
7. A VIZSGÁLT ÜLEDÉKEK NEHÉZFÉM-ADSORPCÍÓS	
TULAJDONSÁGAI	119
7.1. Az adszorpciós kísérletekhez felhasznált minták rövid jellemzése	119
7.2. A szegedi Fehér-tó üledékeinek nehézfém-adszorpciós tulajdonságai	120
7.2.1. A nikkel egyelemes adszorpciója	122
7.2.2. A réz egyelemes adszorpciója	125
7.2.3. A cink egyelemes adszorpciója	127
7.2.4. A kadmium egyelemes adszorpciója	130
7.2.5. Az ólom egyelemes adszorpciója	133
7.2.6. A nikkel, réz, cink, kadmium és ólom kompetitív adszorpciója	135
7.3. A nehézfém-adszorpciós kísérletek eredményeinek értékelése	140
8. ÖSSZEFOGLALÁS	145
9. SUMMARY	147
10. GYAKORLATI EREDMÉNYEK, TOVÁBBI CÉLOK	149
11. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	150
12. IRODALOMJEGYZÉK	151
MELLÉKLETEK	161

1. BEVEZETÉS

A szikesedés, világszintű probléma révén, rendkívül széles körben vizsgált jelenség, így igen nagy kutatási múltra tekint vissza. Az ENSZ Élelmezési és Mezőgazdasági Szervezetének (Food and Agricultural Organization [FAO]) felmérése alapján (Abrol et al., 1988) a szárazföldek felszínének közel 6%-a, 9 millió km² érintett a szikesedés által. A legnagyobb kiterjedésű szikes területek Ausztráliában (3,5 millió km²), Oroszországban és volt tagállamaiban (2,2 millió km²) és Argentínában (850.000 km²) találhatóak (1. ábra). Jelentős a szikesedéssel érintett területek nagysága az Amerikai Egyesült Államokban (160.000 km²), Indiában (230.000 km²), valamint Európában Magyarországon (13.000 km²).

Az USA-ban önálló intézetet alapítottak a szikesedés folyamatainak kutatására és számos összefoglaló tanulmány készült a szikes területek javítási lehetőségeiről (Richards, 1954; Abrol et al., 1988). Ausztráliában az egyik legnagyobb környezeti kihívásnak tekintik a szikesedés kezelést, nemzeti cselekvési terv készült a szikes területek javítására, hiszen az országban a 3,5 millió km²-nyi szikes területen több mint 6 millió hektár termőterületet, több ezer km folyót, közutat, vasutat veszélyeztet a sófelhalmozódás (Stirzaker et al., 2002). Indiában a vízkészletek csökkenése mellett, a növekvő népesség élelmezési problémái miatt az egyik legfontosabb környezeti problémának tekintik a szikesedést, külön intézet foglalkozik a sófelhalmozódás tudományos vizsgálatával (Tyagi és Minhas, 1998). Mivel Európában is meghaladja a szikesek területe az 500.000 km²-t, így az Európai Unió olaszországi Fenntartható Környezet Intézete (Institute for Environment & Sustainability) is vizsgálja a szikesedés visszaszorításának lehetőségeit (Tóth et al., 2008).

Magyarországon a földtani, földrajzi, klimatikus és hidrológiai adottságok miatt szintén nagy területen (~12%) (Szabolcs, 1974) fordulnak elő szikesek, a magyarországi szikesekkel foglalkozó könyvek, valamint monográfiák száma meghaladja a 20-at (Tóth, 2005). Magyarországon is intézeti szinten foglalkoznak a szikesedés kutatásával, 1924-ben alapították meg a Szegedi Talajtani Kísérleti Intézetet, elsősorban a szikes területek hasznosítási lehetőségeinek kidolgozására (Herke, 1983), jelenleg pedig az MTA Talajtani és Agrokémiai Intézetének egyik fő profilja a szikes területek vizsgálata. A magyarországi szikes kutatások legnagyobb része agrogeológiai, agrokémiai témájú (Kádár, 1995); a kutatások zöme a szikes területeket jellemző könnyen oldható sók mozgásának kémiai, hidrológiai feltételeit (Kovács et al., 2006), a sófelhalmozódás eredetét, valamint a talajjavítási lehetőségeket vizsgálja. A felszíni sókivirágzások, valamint a szikes területek ásványtani jellemzése is hagyományosan nagy múltra tekint vissza (Szendrei, 2006).



1. ábra A szolonyec és szoloncsák talajok földrajzi elhelyezkedése a Földön (FAO, 1990 talajtérképei alapján)

A XX. század drasztikus ipari fejlődése magával hozta a mesterséges környezetszennyező anyagok mennyiségének növekedését is. Érthető módon a nemzetközi és a magyarországi talajkutatások jelentős részének a figyelme a huszadik század végére ezen környezetszennyező anyagok vizsgálatára irányult (Adriano, 1986; Pais, 1989; Fergusson, 1990; Calmano és Förstner, 1996; Kabata-Pendias és Kabata, 2001, Siegel, 2002). A talajban adszorbeált szennyező anyagok közül a nehézfémek kiemelt jelentőséggel bírnak (Aubert és Pinta, 1977; Sposito, 1983). Egyrészt bebizonyosodott, hogy a kémiai elemek legnagyobb része koncentrációtól függően lehet esszenciális és toxikus is (Gough et al., 1982; Crounse et al., 1983), másrészt a nehézfémek ad- és deszorpció folyamatait rendkívül komplex hatások befolyásolják, így a geokémiai körülmények változásával a talaj kémiai „időzített bombaként” képes kibocsátani az évek alatt megkötött szennyezőket (Stigliani, 1991).

A magyarországi talajokban található nyomelemek, nehézfémek adszorpció tulajdonságainak vizsgálatával túlnyomórészt agrokémiai szempontból foglalkoznak, elsődleges cél a növények számára felvehető elemtartalom vizsgálata (Kádár, 1999), ugyanakkor a modern műszeres analitika fejlődésével lehetővé vált, és meg is kezdődött az ad-, és deszorpció folyamatok komplex talajtani értelmezése is (Sipos és Németh, 2006).

1.1. A doktori értekezés célkitűzései, indokoltsága

A doktori értekezés kutatási témájának elsődleges célkitűzése annak vizsgálata volt, hogy hasonló földtani kifejlődésű, de különböző hidrológiájú, és eltérő antropogén hatás alatt álló szikes üledékekben hogyan alakul a környezeti szempontból fontos kémiai elemek eloszlása, valamint mely geokémiai és ásványtani tulajdonságok befolyásolják ezeket a koncentrációkat. További célul tűztük ki a szikes tavi üledékek nehézfém adszorpciós tulajdonságainak meghatározását.

A doktori értekezés így két, meglehetősen széles körben vizsgált kutatási témát – a szikesedés, valamint a jelentős környezeti hatással rendelkező elemek geokémiai vizsgálatát – kapcsolja össze. A vizsgálatokat és az eredmények értékelését a mai modern analitikai és adatelemzési módszerek lehető legszélesebb körű felhasználásával új, komplex kutatási koncepcióban végeztük.

A kutatási téma aktualitását egyrészt az adja, hogy a globális klímaváltozási folyamatoknak köszönhetően olyan – legtöbbször mezőgazdasági – területek szikesednek el, amelyek esetében soha nem tapasztalták az ilyen jellegű talaj-degradációs folyamatokat, tehát egyre nagyobb területen változik meg a talajok és üledékek alapvető geokémiája. Másrészt a XX. század robbanásszerű fejlődési folyamatai során olyan jelentős mennyiségű, elsősorban toxikus, vagy bizonyítottan valamilyen káros élettani hatással rendelkező elem került a környezetbe, amely jelentősen megváltoztatta szinte minden talaj nyomelemkészletét. Így ismernünk kell az egyes talajok és üledékek geokémiai tulajdonságát, abban az esetben is, ha azok a természetesnél nagyobb koncentrációban tartalmaznak bizonyos elemeket. A szikesedés folyamata során potenciálisan fennáll annak a veszélye, hogy az addig jó pufferkapacitással rendelkező üledék elveszíti elem adszorpciós képességeinek nagy részét, így az esetlegesen addig felhalmozódott elemek káros mennyiségben szabadulnak fel a megváltozott geokémiai körülmények miatt. A szikes tavak hidrológiai és zárt üledékgyűjtő medencejellegüknél fogva, mind a szikesedést, mind a szennyező anyagok felhalmozódásának folyamatait képesek rendkívül érzékenyen jelezni, így igen alkalmasak lehetnek szikesedési és a nyomelem-felhalmozódási folyamatok hatásainak vizsgálatára.

Bár mind a szikesedéssel, mind a környezeti szempontból releváns kémiai elemekkel igen sok kutatás foglalkozik, a szikes talajok és fiatal üledékek átfogó környezet-geokémiai elemzése meglehetősen hiányosak. Mindemellett kevés az információ arról is, hogy a nagy sótartalommal rendelkező területeken mely geokémiai folyamatok szabályozzák a kémiai elemek eloszlását, ad- és deszorpciós folyamatait. Így munkánk elsődleges célkitűzése annak

vizsgálata volt, hogy hasonló földtani kifejlődésű, de különböző hidrológiájú, és eltérő antropogén behatás alatt álló szikes üledékekben hogyan alakul a környezeti szempontból fontos kémiai elemek eloszlása, valamint mely geokémiai és ásványtani tulajdonságok befolyásolják ezeket a koncentrációkat.

Vizsgálataink célja a különböző üledékszelvényeken a pH, az összes sótartalom, a szemcseméret-eloszlás, a karbonáttartalom, a fő- és nyomelemek mennyiségének, az ásványi fázis összetételének, valamint az agyagásványok és a szerves anyag mennyiségének és minőségének meghatározása volt. A meglehetősen nagyszámú vizsgálati eredmények könnyebb értelmezésének érdekében további célunk volt a rendelkezésre álló, korszerű geostatistikai elemzések segítségével a mérési adatok elemzése. Továbbá célul tűztük ki a különböző szerves-, és agyagásvány-, valamint karbonáttartalommal rendelkező, reprezentatív üledékszintek nyomelem adszorpciós tulajdonságainak vizsgálatát is.

A kutatás nagyjából alaperedményeket kíván nyújtani a szikes, nagy sótartalmú geokémiai közegben történő elemadszorpciós folyamatokról, az elemek megkötődéséért felelős szerves és szervetlen ásványi fázis eloszlásának tulajdonságairól. Másrészt gyakorlatban is használható eredményeket mutat be, amelyek segíthetik a másodlagos, antropogén szikesedéssel érintett mezőgazdasági területek talajaiban található nyomelemek eloszlásának értelmezését, a szikesedés hatására elinduló elem-mobilizáció folyamatainak megismerését. A kutatási eredmények nemcsak az agrokémia, de a geotermikus energia felhasználásakor történő felszíni termálvíz elvezetésében, valamint hulladéklerakók tervezésében is hasznos információkat nyújthatnak. Jelenleg Magyarországon az egyik legnagyobb vitát a termálvíz felhasználásakor az váltja ki, hogy a felszíni befogadóba bocsátott nagy sótartalmú víz milyen hatással van a környezetre. Könnyen belátható, hogy ez a folyamat egy mesterséges szikesedési kísérletnek is felfogható, amelyben a kezdeti geokémiai körülmények gyökeresen megváltoznak, így az addig adszorbeált – esetlegesen szennyező – elemek mobilizálódhatnak, míg más elemek immobilissá válnak. Másrészt a lakossági és ipari hulladéklerakók tervezésekor fontos szempont, hogy ismerjük a hulladék deponálására kijelölt területek nehézfém-adszorpciós tulajdonságait alkalikus környezetben is. E gyakorlati és aktuális környezet-geokémiai problémák vizsgálatában igen hasznos információkat nyújthatnak a disszertációban bemutatott eredmények.

1.2. A szikesedést kialakító geokémiai és hidrológiai folyamatok

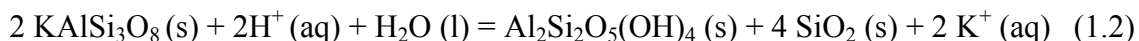
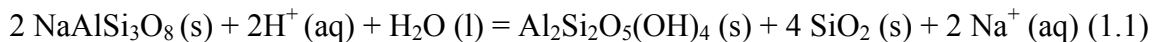
Az értekezés eredményeinek értelmezéséhez nélkülözhetetlennek tartjuk a szikes folyamatok ismertetését, ezért a következőkben röviden bemutatjuk a szikesedés geokémiai, hidrológiai feltételeit, ismertetjük a szikes területek földrajzi elhelyezkedésének okait, valamint összefoglaljuk a szikesedés kialakulásáról felállított elméleteket. Továbbá áttekintjük a magyarországi szikesek jellemző tulajdonságait, illetve a magyar szikkutatás főbb eredményeit.

A szikesedési folyamatok által érintett területek üledékei, valamint talajai rendkívül dinamikusán változó geokémiai és hidrológiai jellemzőkkel rendelkeznek, így a szikesedés jelenségét összetett, komplex folyamatok együttes hatása alakítja ki. A szikesedés világméretű jelensége alapvetően az alkáli-, alkáliföldfém-sók felhalmozódására vezethető vissza (Arany, 1956). A szikes talajok, vagy üledékek felszínhez közeli rétegében a mobilis alkáli-sók igen nagy mennyiségben felhalmozódhatnak (Bohn et al., 1985). Ez az egyszerűnek tekinthető változás alapjaiban módosítja a talajok átlagos geokémiai, talajfizikai és talajmechanikai tulajdonságait.

Elsődlegesen az üledékek ásványos összetétele, valamint a hidrológiai folyamatok felelősek a szikesedésért (Abrol et al., 1988). A sófelhalmozódást másodlagosan a domborzati viszonyok, a klimatikus tényezők (Tóth és Szendrei, 2006), a növényi borítottság, szikes tavakban a mikrobiális aktivitás (Vörös et al., 2005), valamint az antropogén hatások is szabályozzák. Ezen hatások eredőjeként a szikes területek rendkívül változatos, sokszor néhány száz méteren belül jelentősen eltérő képet mutatnak (Tóth, 2002). Ennek következményeként sokáig magát a szikesedést mint folyamatot sem tudták a kutatók megfelelően definiálni, így jelenleg is számos definíció és nevezéktan van használatban. Habár a témával foglalkozó kutatók a mai napig nem tudtak egy általános – konszenzuson alapuló – szikesedési elméletet elfogadni, a szikesedésért alapvetően felelős folyamatokat határozottan definiálták.

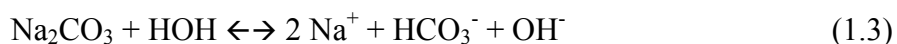
A szikesedés kialakulásakor a legmeghatározóbb folyamat a talajok, vagy üledékek felső, 1-2 m mélységű rétegeiben a könnyen oldható alkáli-, alkáliföldfém sók mennyiségének jelentős megnövekedése (Bohn et al., 1986; Filep, 1988). A sók felhalmozódásának elsődleges forrása elsősorban a talajképző kőzet ásványainak mállása, az evaporáció (Richards, 1954; Kuti et al., 2003), valamint a légköri csapadék (Abrol et al., 1988) és a mezőgazdasági területeken az öntözés (Tyagi és Minhas, 1998).

A mállás során elsődlegesen a földpátokból (albit - anortit, ortoklász), valamint a mafikus ásványokból származik a szikes területeket jellemző magas Na^+ -, K^+ - koncentráció (Arany, 1956, Bohn et al., 1985). Példa erre a folyamatra az albit és az ortoklász mállása, miközben kaolinit és szabad Na^+ (1.1 egyenlet), illetve K^+ (1.2 egyenlet) keletkezik.



A mállás az arid és szemi-arid területeken a csökkent mértékű kilúgzás miatt folyamatosan növeli a felszínközeli talajrétegek alkáliion-tartalmát (Stefanovics, 1999). Az ásványok a mállás során ritkán oldódnak kongruens módon, legtöbbször a legoldékonyabb ionok válnak szabaddá. Így például magas kalcium, magnézium, kálium és nátrium tartalmú ásványok esetén a Na^+ és a K^+ oldódik ki először (Bohn et. al, 1985). A mállás az előbb említett hidrológiai és ásványtani körülmények közt jelentősen megnöveli a szivárgó vizek sótartalmát, nem ritka az 50-80 mg/l-es összesó-koncentráció sem (Herke, 1983). Természetesen a szikes területekre jellemző magas sótartalom nem csak autigén eredetű, a felszín alatti, felszíni vízmozgások, illetve a légköri folyamatok is jelentős mennyiségű sót képesek koncentrálni egy adott területen (Fórizs et al., 2006). Mivel a legtöbb szikképződési elmélet kulcsfontosságú kérdése a felhalmozódó sók eredete, ezért ezeket a transzport folyamatokat a szikesedési elméletek bemutatásakor ismertetjük.

Uralkodóan szikes területeken a kationok közül a nátrium koncentrációja dominál; a $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ sorrendben csökken a szikesekre jellemző kationok átlagos mennyisége. Az anionok előfordulása és koncentrációja területenként jelentős eltéréseket mutat, nem lehet a kationokhoz hasonló sorrendet felállítani. A szikes talajokban jelentős mennyiségben halmozódnak fel a HCO_3^- , a CO_3^{2-} , a SO_4^{2-} , valamint a Cl^- -ionok (Abrol et al., 1988). Döntően tehát a nátrium vegyületek dominálnak a szikes területeken, nem ritka, hogy a vízben oldható sók akár 99%-a Na-vegyület és a nátrium 3-5%-os mennyiségben van jelen a talajoldatban (Herke, 1983). A nátrium elsősorban NaHCO_3 , Na_2CO_3 , Na_2SO_4 és NaCl formában van jelen a szikesedéssel érintett területeken (Szendrei, 2006). Amíg a nátrium-hidrogénkarbonát (hétköznapi nevén szódabikarbóna) és a nátrium-karbonát (vagy ismertebb nevén sziksó) elsődlegesen a kontinentális szikesek jellemző sói, addig a nátrium-szulfát (vagy glauber-só) és a nátrium-klorid (vagy halit) mind a szárazföldi, mind a tengerpartok menti szikesekben előfordulnak (Szendrei, 2006). Mivel a NaHCO_3 és a Na_2CO_3 is a szénsav (mint gyenge sav) nátrium sói, ezért lúgosan hidrolizálnak az 1.3 egyenlet alapján.



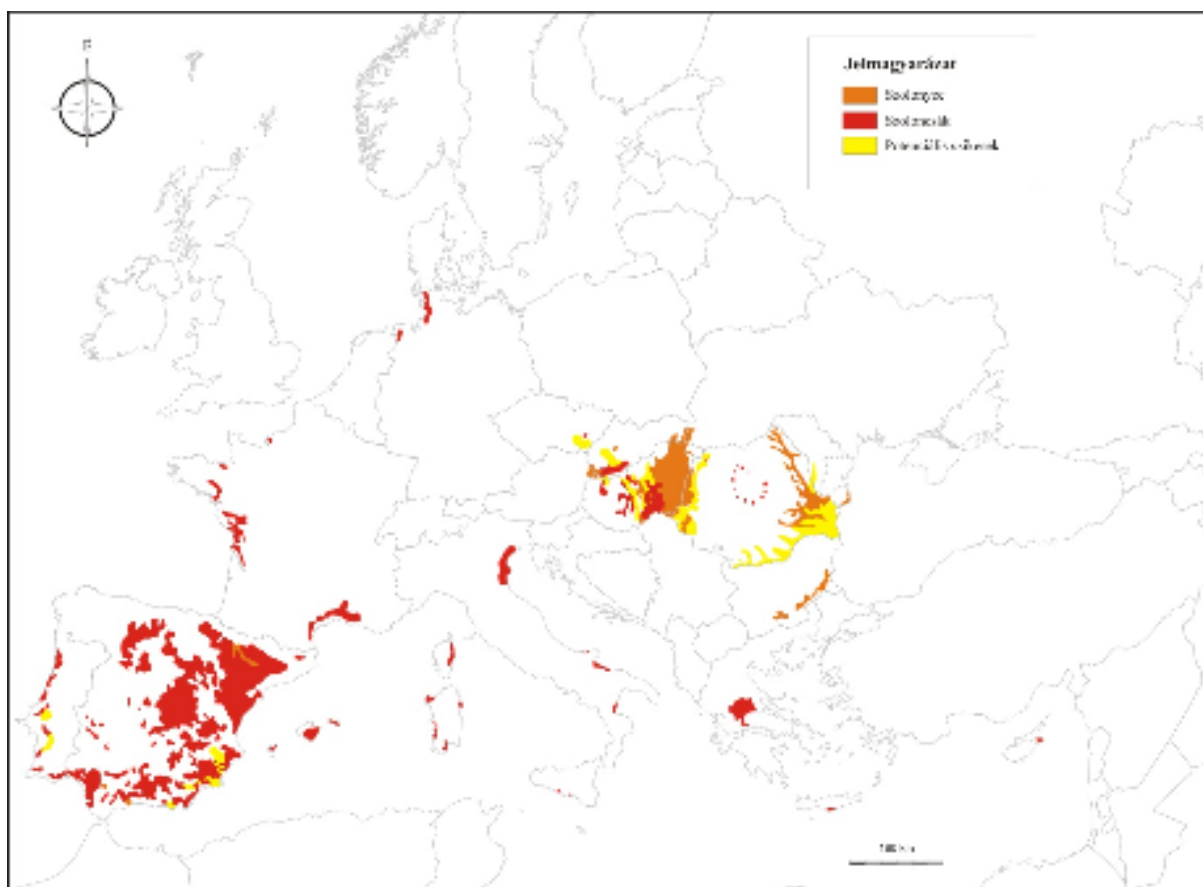
A fenti reakciók eredményeként jelentősen nő a szikesek talajoldatában az OH^- -ionok koncentrációja, a pH erősen lúgossá válik. A különböző típusú szikes területeken mért pH értékek jellemzően a pH=8-10 tartományban mozognak, de a szódás-szikes szolonyeceken az extrémnek mondható pH=11 érték sem ritka (Bohn et al., 1985; Abrol et al., 1988; Tyagi és Minhas, 1998).

A szikes területek talajadatainak nagy sókoncentrációja nagy ionerősséget eredményez ezekben a rendszerekben. A lúgosan hidrolizáló folyamatok pedig jelentősen megnövelik a talajoldat OH^- -koncentrációját. E folyamatok jelentős fiziológiai stresszt jelentenek a szikes területeken élő flóra és fauna számára. Ez az egyik oka annak, hogy a szikesedéssel érintett talajok meglehetősen gyér vegetációval és csökkent termőképességgel rendelkeznek. E paraméterek képezik a nemzetközi szikes talajosztályozási rendszerek alapjait is. Az USA és az EU talajosztályozási rendszerében az össz-vezetőképesség, valamint a kicserélhető Na% alapján osztályozzák a szikes területeket (Bohn et al., 1985).

Önmagában a talajok magas sótartalma nem jelentene világszintű problémát, azonban a szikesedés jelensége döntően a talajok és üledékek felszínközeli rétegeiben, a gyökérzónában játszódik le, ezzel jelentősen rontva a talaj termőképességét. A különböző sóvegyületek vertikális elhelyezkedését és mozgását alapvetően befolyásolja az adott terület hidrológiája (Várallyay, 1999). A szikesek kialakulásának így fontos feltétele – a talaj magas sótartalma mellett – a talajvízszint jelentős ingadozása. Az akár szélsőséges talajvíz-ingadozás elsősorban az arid, szemi-arid területeken jellemző, ezt igazolja, hogy a szikesek szinte teljes egészében ilyen száraz, száraz-kontinentális klimatikus körülmények közt fordulnak elő (1. ábra) (Abrol et al., 1988). Hasonló okok miatt Európában is a tengerparti, illetve a zárt medence-jellegű területeken alakultak ki szikesek (2. ábra). Ilyen hidrológiai feltételek mellett a csapadékos időszakokban megnő a beszivárgás sebessége, növekszik a talaj kilúgozódása, az oldható komponensek a talajszelvény mélyebb rétegei felé mozdulnak el. A száraz időszakban azonban drasztikusan megnő a kapilláris vízemelkedés nagysága, ekkor az oldható ionok, kolloid méretű részecskék a felszín felé mozognak (Stefanovics, 1999). Az evaporációs folyamat során töményedik a talajoldat, majd az oldott anyagok oldhatóságuk függvényében kiválnak a talaj felszínközeli rétegeiben. Attól függően, hogy milyen mértékű az evaporációs és a kilúgozási folyamat, az oldott sók különböző mélységekben – nem ritkán a talaj felszínén – halmozódnak fel (Szendrei, 2006).

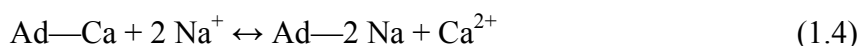
Különösen intenzív ez a folyamat a hidrológiailag zárt szikes-sós tavak, illetve torkolati területek (Savenije, 2005) esetében. A Föld minden jelentősebb szikes területén előforduló sós tavak üledékei a rendkívül rapszodikus és szezonális vízszíningadozások miatt jó jelzői a

fejlődéstörténetben bekövetkezett hidrológiai (Jones és Deocampo, 2003), ásványtani (Last, 1990), üledékképződési (Smoot és Lowenstein, 1991) változásoknak.



2. ábra Európa szikes területei (Tóth, 2008 nyomán)

A talajvízszint szezonális váltakozása és a felhalmozódott Na^+ -többség miatt a talajszelvény agyagásványain (elsősorban a filloszilikátok közül a szmektit csoport aktív ioncserélő helyein) kötött Ca^{2+} Na^+ -ra cserélődik. Ezt a peptizációs folyamatot (1.4 egyenlet) már nagyon korán felismerték és sematikusán definiálták is a kutatók (Herke, 1934; Di Gleria, 1934, Arany, 1934).

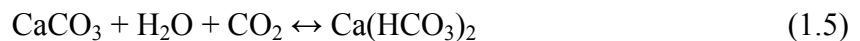


Ahol: Ad: az adszorpciós kötőhely bármely anion többlettel rendelkező filloszilikát esetében. Meg kell jegyezni, hogy természetesen a fenti ioncsere a Na^+ bármely vegyületével lejátszódhat. Már a szikesedés kutatásának korai szakaszában felismerték, hogy ez a folyamat drasztikusan rontja a talaj hidrológiai és permeabilitási tulajdonságait, ugyanis míg a Ca-tartalmú, elsősorban szmektit szerkezetek jó vízáteresztő képességű, termékeny talajokat eredményeznek, addig az elszikesedett területeken a Na-tartalmú agyagásványok uralkodnak, ez pedig azt eredményezi, hogy a talaj vizes állapotában szappanos jellegűvé, száraz

időszakban viszont kőkeménnyé válik. Így a talaj vízáteresztő képessége és kapilláris tulajdonságai drasztikusan romlanak (szélsőséges esetekben vízrekesztő réteg alakul ki a talajszelvényben), ami a szikesedés legjellemzőbb talajfizikai indikátora.

A fent említett fő folyamatok mellett számos befolyásoló tényező módosítja a szikesedés jellegét. A domborzat jelentősen megváltoztathatja az általános szikesedési metódust. Tóth és Szendrei (2006) megállapították, hogy a szikes területek mikromorfológiája határozza meg sókivirágzások helyét. Továbbá Tóth és Jozefaciuk (2002) bemutatták, hogy egy klasszikus szikpadka esetében a padka középső, átmeneti szintjében fordulnak elő jellemzően a legnagyobb mértékű só felhalmozódások, ez pedig csak úgy lehetséges, ha a szikpadka magasabb részeiről beszivárgás történik, valamint az alsó részek vízállásai megakadályozzák a legmélyebb helyekre történő elszivárgást.

A szikesedés mértékét több szempontból is befolyásolja a növényzet. Egyrészt a növényzeti fedettség csökkenti a talaj felületének átlaghőmérsékletét, ami csökkenti kopár felszínekhez képest a kapilláris evaporációt, így a sók a mélyebb talajszintekben megrekednek (Kovács és Tóth, 1988). Ugyanakkor ismeretes az is, hogy a száraz időszakban a növények a gyökérzónába szívják a talajvizet, azzal együtt pedig az oldott sókat is (Kádár, 1995). Másrészt a növények gyökérlégzése jelentős mennyiségű CO₂-t juttat a talaj felső szintjeibe, ez jelentősen megnövelheti a hidrokarbonát-képződést (az 1.5 egyenlet alapján) a karbonátos szikes talajokban az alábbi reakció szerint (Arany, 1956).



A fenti reakció alapján is látható, hogy a víz és a szén-dioxid mennyiségének változása érzékenyen módosítja a hidrogén-karbonát, végső soron a lúgosságot leginkább meghatározó vegyületek mennyiségét. Harmadrészt a növényi bomlásból származó humusz és humin anyagok jelentősen növelik a talaj adszorpciós kapacitását, így puffer képességét is (Stolbovoy és Montanarella, 2008).

1.3. A magyarországi szikesek keletkezésének elméletei

Már az előzőekben összefoglaltak alapján is látható, hogy a szikesedés jelensége igen komplex folyamat, számos hatótényező befolyásolja a talajok, illetve üledékek felszínközeli rétegeiben végbemenő sófelhalmozódást. A magyarországi szikkutatás kezdetétől fogva minden kutató megpróbált valamilyen egységes szikesedési alapmodellt kidolgozni, azonban pontosan a folyamat komplexitása miatt jelenleg sincs egységesen elfogadott elmélet.

Először 1804-ben Tessedik, szarvasi evangélikus lelkész írja le saját kertjében történő kísérletei alapján, hogy a termőföldek szikesedését elsődlegesen a nátrium felhalmozódása okozza, valamint leírja a szikes talajok legjellemzőbb tulajdonságait is: ha nedves az időjárás a víz megáll a termőföldeken, száraz periódusban viszont kőkeménnyé válik a talaj (Nádor és Kemény, 1936).

Balogh (1840) először tesz különbséget a Tiszántúli és a Duna-Tisza közén található szikesek között, felismeri, hogy a szikesedés mértékét a talaj agyagtartalma döntően befolyásolja.

'Sigmond (1934), az első, nemzetközileg is elismert magyar, talajtannal foglalkozó kutatónk kezdi el a szikesek tudományos vizsgálatokkal megalapozott kutatását, számos tévhit tisztázását. Megállapítja, hogy a szikesedés alapvető feltételei: az arid-, szemi-arid éghajlat, a vízrekesztő agyagréteg jelenléte a talajban, időszakosan jelentős mennyiségű csapadék lehullása.

Treitz (1934) a tektonikai vonalak mentén feláramló gázokhoz köti a szikesedést. Megállapítja, hogy a felszín alatti jelentős – néhány km – mélységű rétegekből feláramló gáz növeli meg a felszínen vizenyős területek sótartalmát. A meglehetősen egyedi modell sem megírásakor, sem a későbbiekben nem került megerősítésre.

Scherf (1935) szerint a magyarországi szikesek magas Na-tartalma a felső pleisztocén rétegek erodálódásából származik, a lepusztult felszín alatti völgyek adják a felszínre kapillárisan felszivárgó talajvizet. Továbbá megállapítja, hogy a szoloncsák és szolonyec talajok közti különbség elsődleges oka a földtani rétegek településében keresendő, a szikesedés elégséges feltétele a löszös rétegekből származó magas nátrium tartalmú talajvíz és a száraz éghajlat.

Sümeghy (1937) szerint is a magas Na-tartalom szorosan összefügg a földtani rétegzettséggel. A felsőpleisztocén-rétegek fedőjében (az ó-holocén löszös fedőrétegben, vagyis a siltben) vízrekesztő anyagréteg alakul ki, ami szükséges feltétele a szikesedésnek.

Kreybig és Endrédi (1935) geológiai okokra vezeti vissza a szikesedés forrását a Kárpát-medencében. Véleményük szerint az Alföld peremi hegységeiben előforduló nagy Na-

tartalmú kőzetek mállásából származik a zárt medencében feldúsuló sók nagy része. A mélyebben elhelyezkedő talajrétegvizek magas NaHCO_3 tartalma a peremi hegységek vulkáni tufáiból, elsősorban riolittufából származik.

Székyné Fux és Szepesi (1959) egy hortobágyi mintaterület vizsgálatakor megállapítják, hogy a szelvényben olyan ásványok vannak, amelyek a Tisza völgyéből származnak (a Vihorlát-Gutin andezitjéből a plagioklász, zöld amfibol, hipersztén, valamint a flisből származó kvarc), tehát a Kárpát-medence peremvidékének hegységeiből jelentős mennyiségű ásvány kerül eróziós úton az Alföldre, ami a nátrium elsődleges forrását biztosítja.

Várallyay (1967) is szintén a medence elmélet gondolatmenetével ért egyet a Duna-Tisza közén végzett vizsgálatait alapján.

Ugyanakkor Herke (1983) a Duna-Tisza közti szikesekről írt összefoglaló könyvében hangsúlyozza, hogy vizsgálatait szerint a nátrium elsődlegesen a felszíni löszrétegek kilúgozásából származik, a talajvíz áramlása pedig az alacsonyabb térszínen fekvő területekre szállítja a könnyen oldható sókat, ahol azok a párolgás hatására betöményednek és kiválnak a talajrétegekben.

Kuti (1989) szerint a Duna és Tisza völgyében azért történik sófelhalmozódás, mert a hátságok felől migráló, magas nátrium-hidrogénkarbonát koncentrációjú talajvizek a folyók visszaduzzasztó hatására megrekednek és ott az evaporáció miatt viszonylag gyorsan betöményednek.

Mádlné Szőnyi és munkatársai (2006) a Duna-Tisza közén a Kelemenszék – Kolon-tó – Ágasegyházai-tó NYDNY – ÉÉK irányú szelvényének hidrológiai vizsgálatait végezték el. Megállapították, hogy a Duna-Tisza köze pre-neogén aljzatából mindenütt feltételezhető a magas oldott ásványi anyag tartalmú rétegvizek feláramlása, ami elsődleges oka lehet a szikes területek elterjedésének a mintaterületen. A hátság felől beáramló felszíni vizek azonban 300-400 m mélységig a felszálló vizeket nyugati irányba kényszerítik. Végül megállapítják, hogy a rétegvizek a területen felszínre juthatnak, ezt azonban nagyon érzékeny egyensúlyban szabályozza a felszínről beszivárgó vizek mennyisége. A szikesek felszín alatti vizek feláramlásának hatására való kialakulását számos más kutatás is valószínűsíti. Már Treitz (1934) is a felszín alatti utánpótlást valószínűsíti gáz feláramlási területeken, amit Póka és munkatársai (2006) mérései is alátámasztanak. Nemzetközi kutatások is megerősítik, hogy az egyik fő só-utánpótlást a szikes területeken – azok hidrogeológiájától függően – a felszín alatti vizek feláramlása (Jones és Decampo, 2003) és magas sótartalma (Volkova, 1998) biztosítja.

1.4. Nehézfémek a talajban

A nehézfémeknek definíció szerint az 5 g/cm^3 -nél nagyobb fajsúllyal rendelkező elemeket nevezzük (Fergusson, 1990). Azonban a nehézfémek kutatásának kezdetek óta számos más definíciója is született. Napjainkra sajnos gyakorlattá vált, hogy szinonimaként kezelik a „nehézfém”, „nyomelem”, „mikroelem”, „mikro-tápelem”, „esszenciális elem”, „toxikus elem” kifejezéseket. Az élettani kutatásokban nehézfémeknek, vagy toxikus elemeknek hívják mindazon elemeket, amelyek bizonyítottan károsítják az élettani folyamatokat (Pais, 1989), ugyanakkor mikro tápelemeknek azokat, amelyek nélkülözhetetlenek a növényi, vagy állati fejlődéshez (Kádár, 1995). A geológiában nyomelemnek hívják azokat az elemeket, amelyek átlagos litoszférabeli koncentrációja nem haladja meg a 0,1%-ot, ugyanakkor a biokémiai és élettani kutatásokban nyomelemnek hívják azokat az elemeket, amelyek a növényekben vagy állatokban nem haladják meg a 0,01% koncentrációt (Adriano, 1986). Ez a jelenség a téma multidiszciplináris jellege miatt azonban érthető, hiszen például a cink sűrűsége alapján ($7,13 \text{ g/cm}^3$) lehet nehézfém, az élettani tulajdonságai miatt lehet mikroelem, az emlősökre azonban lehet toxikus is (Calmano és Förster, 1996).

Összegezve, általános definícióként, napjainkban nehézfémeknek nevezhetjük azokat az elemeket, amelyek nagy sűrűséggel rendelkeznek, az antropogén tevékenységek miatt a természetes szinthez képest az átlagos koncentrációjuk megnövekedett – főleg az urbanizálódott területeken, és ebben a megemelkedett koncentrációban már jelentős élettani – elsősorban káros – hatásokkal rendelkeznek. Jellemzően a környezeti és talajtani kutatások nagy részében a Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, As elemeket vizsgálják a legtöbbször, valamilyen antropogén szennyezés kapcsán (Bradl, 2004, Covelo et al., 2007, Jalali et al., 2007, Usman, 2008).

A nehézfémek (és általában minden elem) adszorpciója a talajban és üledékekben alapvetően három nagy csoporthoz kötött: szerves anyag (Gough et al., 1982), filloszilikátok, vagy talajtanban gyakran alkalmazott nevén agyagásványok (Nemecz, 1973; Fergusson, 1990) illetve az amorf Fe-, Mn-, és Al-oxidok (Young és Harvey, 1992, Bradl, 2004). A nehézfémek adszorpcióját az előbb említett csoportokon alapvetően a talaj, vagy üledék H^+ koncentrációja, vagyis pH-ja határozza meg. Semleges vagy savanyú kémiai közegben a legtöbb (kationos formában) a talajban jelen lévő ion mobilis, míg lúgos pH-n a legtöbb fém valamilyen formában immobilizálódik, specifikus adszorpcióval, vagy precipitációval (amorf Fe-, és Mn kiválásakor koprecipitációval) (Adriano, 1986). A nehézfémek talajbeli koncentrációját jelentősen befolyásolja a talaj karbonáttartalma, a redox-potenciál érték, valamint a redox mutatón keresztül közvetetten a vízborítottság (Siegel, 2002).

2. A VIZSGÁLATI TERÜLET BEMUTATÁSA

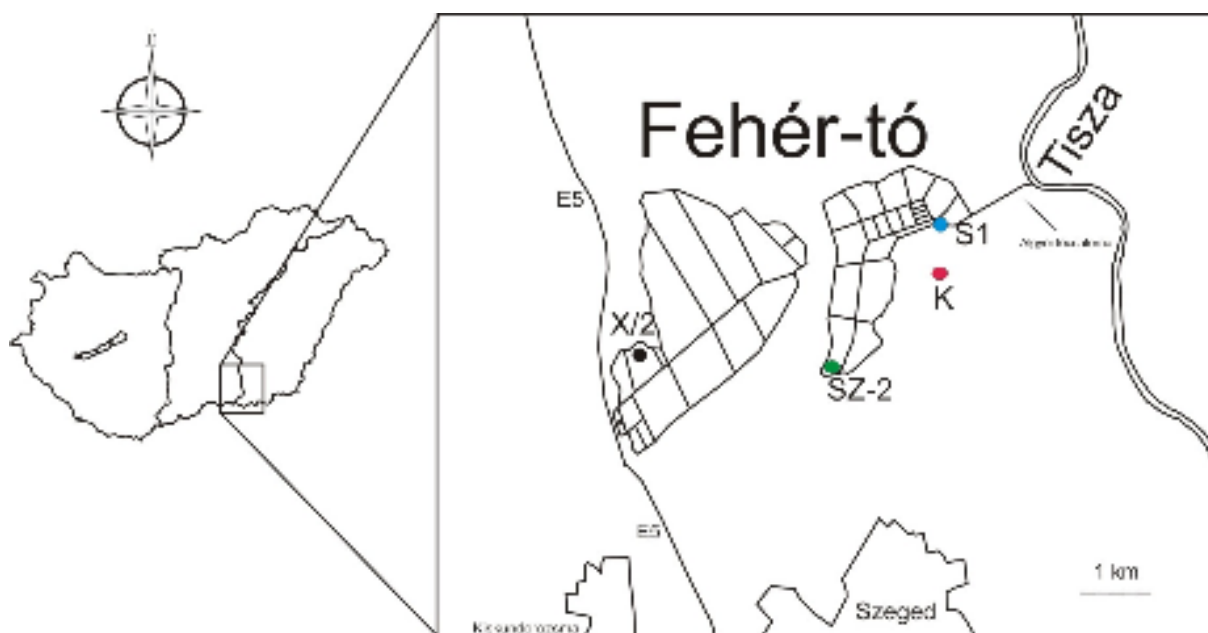
2.1. A mintaterület kiválasztásának szempontjai

A kutatás célkitűzéseinek megfelelően olyan szikes mintaterületet kellett választanunk, amely földtani és talajtani felépítését tekintve homogénnek mondható, ugyanakkor kis távolságokon változatos képet mutatnak a hidrológiai viszonyok, jelentősen eltér a növényzeti borítottság, vannak természetes, természetközeli és antropogén hatás alatt álló területek is. E szempontok figyelembevétele elsődleges fontosságú volt, hiszen a különböző hidrológiai, biológiai és mesterséges hatótényezők alakítják ki, illetve differenciálják a hasonló képződési körülmények közt kialakult üledékek elemeloszlásait.

Fontos szempont volt az is, hogy lehetőleg ipari, nagy szennyező forrásoktól távol legyen a terület, hiszen elsődlegesen egy természetközeli környezeti állapotú szikes terület vizsgálata volt a fő cél. Sajnos a mesterséges szennyezés lehetőségét napjainkra már sehol sem zárhatjuk ki, hiszen a légköri kiülepedésből gyakorlatilag bármely nehézfém szennyezheti a környezetet (Aubert és Pinta, 1977, Johansson et al., 1995).

A fenti elvárásoknak megfelelően egy összefüggő, kontrollált vízkezelésű tórendszer a legalkalmasabb a kutatási célkitűzések megvalósítására. A szikes tórendszerben kijelölhetőek különböző vízháztartással rendelkező tavak, de találhatók állandóan nedves lápos, és időszakosan vízzel borított rétek is. Az antropogén hatás vizsgálata akkor lehetséges, ha a tavak egy részét hasznosítják, valamilyen – legtöbbször haltenyésztési – céllal.

Mindezek figyelembevételével a vizsgálatok mintázási pontjait a szegedi Fehér-tó területén jelöltük ki (3. ábra). A tórendszer minden szempontból eleget tesz a fenti szempontoknak. A terület Magyarország legnagyobb szikes tórendszere, ÉNy-i területeinek bizonyos része a Kiskunsági Nemzeti Parkhoz tartozik, így megtalálhatóak a természetközeli területek, a halgazdaság területén a szabályozott vízszintű tavak nagy részében intenzív haltenyésztést végeznek, így kijelölhetőek eltérő vízháztartású és antropogén behatású területek, ugyanakkor a térség vízgyűjtőjeként egyes részeken megjelenhet a tórendszer környezetében található mesterséges tevékenységek hatása is. Természetesen a vizsgált üledék és talajszelvények egy-egy típust reprezentálnak, a mintavételezés korántsem mutatja be az összes ható paraméter által kialakított elemeloszlásokat, ugyanakkor a kijelölt szelvényekből kellő biztonsággal meghatározhatóak a terület geokémiai tulajdonságai.



3. ábra A vizsgálati terület földrajzi elhelyezkedése és a mintapontok helye a tórendszerben

2.2. Korábbi vizsgálatok a kutatási területen

A Szegedtől É-ÉNy-ra elterülő Fehér-tó területén ez idáig nem történt jelentősebb geokémiai tárgyú kutatás. A terület vizsgálatával számos földtani, talajtani – és védett természeti értékei miatt – botanikai, valamint ornitológiai kutatás foglalkozott.

A tórendszer kialakulásának fázisait, fejlődéstörténetét Keveiné et al. (2000) foglalták össze. A Fehér-tó geomorfológiai leírását, illetve a terület domborzati tényezői kialakító hatások részletes ismertetését Irmédi-Molnár (1929) adta.

A terület talajtani viszonyaival és hasznosítási lehetőségeinek vizsgálatával Herke (1983) foglalkozott részletesen. Az 1924-ben megalapított és Herke által vezetett Talajtani Kísérleti Intézetben a Duna-Tisza köze, kiemelten a szegedi Fehér-tó talajvíz viszonyaival (Herke, 1934), a szódás szikes talajok kémiai javítása módszereinek kidolgozásával, illetve a tórendszer lehetséges hasznosítási módjainak vizsgálatával foglalkoztak (Herke, 1983). Herke javaslatára alakítják ki a halgazdaság első tavait a tórendszer nyugati részén.

A Fehér-tó keletkezésének és vízföldtanának vizsgálatával a Szegedi Tudományegyetem Földtani és Őslénytani Tanszékének számos kutatója foglalkozott. Miháltz (1966) a Tisza-völgy déli részének vízföldtanát ismerteti, összefoglalja a Fehér-tó kialakulásának feltételeit, valamint a tórendszer fejlődését befolyásoló hidrogeológiai feltételeket. A szegedi Fehér-tó keletkezésével, illetve vízföldtanával Molnár számos munkájában foglalkozik. Bemutatja a Duna-Tisza közti szikes tavak üledékképződési és alapvető geokémiai folyamatait (Molnár,

1980), a tavi hiperszalin dolomitképződés feltételeit (Molnár et al., 1981) ismerteti a tórendszer kialakulásának földtani feltételeit (Molnár, 1996), valamint a területen jellemző belvizek földtani okait (Molnár, 2000).

A tórendszer dél-keleti részét határoló löszképződmények keletkezésével és paleoökológiai rekonstrukciójával Krolopp et al. (1996) foglalkoztak részletesen.

Európában is ritka növény-, és madárvilága miatt számos tudományos és ismeretterjesztő munka jelent meg a Fehér-tóról (Beretzk, 1956; Csizmazia, 1989; Tasnádi, 1997), elsősorban ezeknek a munkáknak köszönhető, hogy Európában is ismertté váltak a terület természeti értékei.

2.3. A vizsgálati terület földrajzi elhelyezkedése

A szegedi Fehér-tó a Nagyalföld DK-i részén található, földrajzilag a Kiskunság nagytáj déli határvonalán húzódik, a Duna-Tisza közti síkvidéken, a Dorozsma-Majsai-Homokhát kistájon belül található. A Magyarország déli határvidékén fekvő mintaterület egyben a Duna-Tisza közti, Budapest déli részétől a szerb országhatárig húzódó Homokhátság jellegzetes vidéke. A tórendszer Szeged városától 5-6 km-re, É-ÉNy-ra található, nyugaton az E5 számú főút vonal, keleten a Tisza határolja. A tavak északi határán Szatymaz és Sándorfalva települések találhatóak. A tórendszer két része osztható: az E5 főút vonal és a Szeged-Csongrád országút között az egykor természetes, „ős” Fehér-tó, illetve az abból átalakított halastavak találhatóak, míg a Szeged-Csongrád országúttól keletre az egykori Fertőlápos területein kialakított halnevelők helyezkednek el (3. ábra).

2.4. Domborzat

A vizsgálati terület a Tisza völgyében, Magyarország és a Kárpát-medence legalacsonyabb térszínű területén fekszik. Az átlagos, Balti-tengerszint feletti magasság 80-82 m, a tavak alig 20 km-re fekszenek a Kárpát-medence legalacsonyabb, 75,8 m Btszf.-i magasságú Tiszasziget mellett található pontjától. A térszín a Duna-Tisza közti hátság 100 m Btszf.-i szintvonalától folyamatosan nyugatról keletre, a Tisza felé lejt (Molnár, 2000). A lejtés 2 határozott szakaszra bontható: a 100 és a 90 m Btszf.-i magasságú szintvonalak között a lejtés 0,7 – 0,8 m/km², míg az átlagos relief a 90 m és 80 m Btszf.-i magasságú szintvonalak között igen minimális 0,4 – 0,5 m/km². Ráadásul a 85 m magasságú szintvonalnál hirtelen megtörik, és megnő a lejtés a Tisza felé, ez a határ a Homokhátság és a Tisza völgye között. Ilyen

minimális lejtések ellenére is, a térszín változása alapvetően meghatározza a tavak a Homokhátság felőli vízutánpótlását.

2.5 A terület földtani fejlődése, környezetének földtani felépítése

A Fehér-tó fejlődéstörténete tágabb értelemben a felső eocéntől kezdődő tektonikai folyamatokkal indult. Mintegy 40-45 millió éve a tektonikai mozgások következtében a Kárpátok vonulata emelkedni, a medence pedig süllyedni kezdett, ez a süllyedés alakította ki az Alföld akkumulációs területét (Rónai, 1985). A változó ütemű süllyedés következtében eltérő vastagságú tengeri üledékek töltik fel a medencét. A felső-miocénben a Parathetys nyílt óceánnal való kapcsolata teljesen megszűnt, majd több részmedencére, köztük a Pannon beltóra szakadt szét. A tenger vize folyamatosan kiédesedett, majd medence a pannon időszak végére teljesen feltöltődött. A pleisztocénben Magyarország periglaciális terület volt, így a terület további feltöltődését az eolikus, a fluvioeolikus, valamint tavi üledékképződés alakította. Az intenzív medencesüllyedésnek köszönhetően Magyarország 80%-át negyedidőszaki üledék borítja, ami - az arid szedimentációs körülményeknek megfelelően döntően – löszből, futóhomokból és folyóvízi üledékből áll.

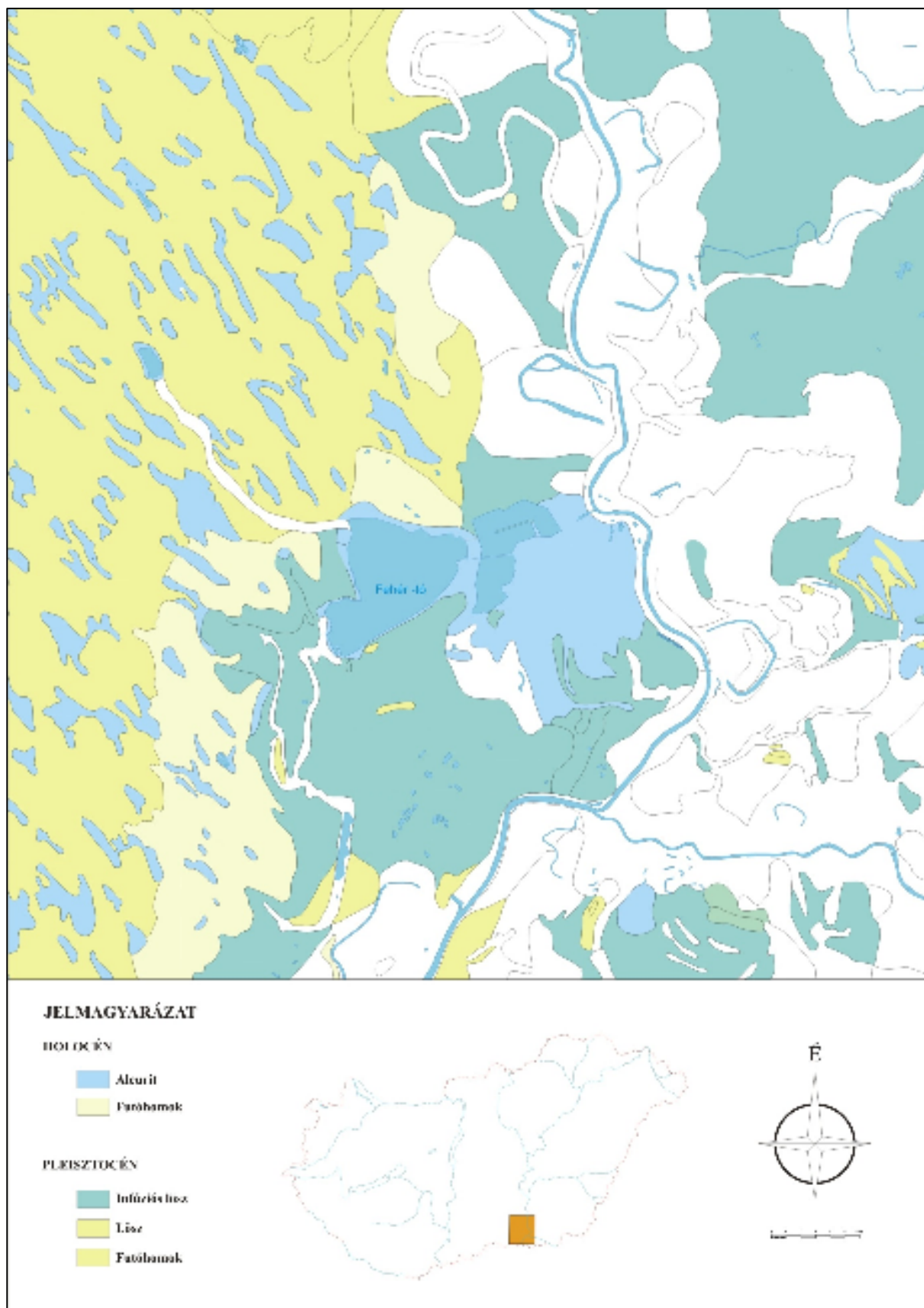
A Dél-Alföld – így a Fehér-tó környezetének – földtani fejlődése is jelentősen megváltozott a pleisztocén végén. A glaciális és interglaciális periódusok váltakozásával lösz és futóhomok halmozott fel a területen (Molnár, 1996). A pleisztocén utolsó előtti Würm₂ stadiális (intenzív lehülési) szakaszában a csapadék minimális. Mivel a Duna már jóval korábban elhagyta Szeged irányú átlós folyását a Duna-Tisza közti hátság morfológiailag magasabb részén (a mai Duna völgyétől keletre) csak eolikus üledék, típusos lösz és futóhomok rakódik le. A Fehér-tó területén ekkor a Tisza feltöltő hatása érvényesül. Ekkor kezdődik meg a törendszér két irányból történő fejlődése: nyugati irányból (a hátság felől) a szárazabb periódusokban futóhomok, a nedvesebb időszakokban infúziós lösz rakódik le, míg keleti irányból a Tisza alakítja a feltöltődést. A Würm₂-Würm₃ interstadiálisban a felmelegedési folyamatoknak köszönhetően csapadékos az időjárás a területen, az előző időszakhoz képest magasabb a Tisza vízszintje, így a hátságához képest alacsonyabb térszínű Fehér-tó területén, a mai folyásától nyugatabbra folyt. Emiatt a területen feltárt szelvények ebből az időszakból csak folyóvízi üledékeket tartalmaznak (Miháltz, 1966). Az utolsó, Würm₃ lehüléskor a Tisza a Würm₂-Würm₃ interstadiálisban kialakított medrét feltölti és a lecsökkent csapadékmennyiség miatt keletebbre, a mai völgyébe helyeződik át a folyása. A korábbi, nedves térszínű ártereken a nyugatról szállított eolikus, finomszemű üledékekből

nagyrészt infúziós, vagy alluviális lösz képződik. A területen ekkor a kiemelkedő, egykori parti homokdűnék kivételével mindenütt infúziós lösz réteg alakul ki. A folyamatos feltöltődés eredményeként a hátságperemi terület a Tisza árvízszintjei felé kerül, mindenütt megkezdődik a típusos lösz képződése. Eközben nyugatról, a hátság területéről folyamatosan futóhomok halmozódik át, így a Fehér-tó É-ÉNy-i területein mélyített szelvényekben sűrűn keverednek a futóhomok és az infúziós lösz rétegek.

A holocénben az uralkodó ÉNy-DK irányú szél a futóhomokot elnyúló dűnék formájában tovább mozgatta a Szatymaz-Sándorfalva vonalig és létrehozta azt a földtani környezetet, amely a szikes tavak kialakulásának kedvez. A homokdűnék közti mélyedésekben a nedves időszakokban nyugodt finom szemcseméretű üledékképződés következik be, ez alakítja ki a vízrekesztő agyagrétegeket, amelyek egyik szükséges feltételei a szikesedés folyamatának (Keveiné et al., 2000). A tavak feltöltődése az utóbbi évszázadokban is jelentős volt, elsősorban ÉNy-ról történt erős eolikus futóhomok beszállítódás, így a tórendszer, a mesterséges vízkezelésű halgazdaság 1932-es létrehozásáig folyamatosan dél-keleti irányba kényszerült mozogni.

A tórendszer felszíni földtani képződményei az előzőekben bemutatott fejlődéstörténet eredményeként jöttek létre (4. ábra). A tómedence É-ÉNy-i és DNy-i részén uralkodóan apró szemű futóhomok borítja, amely a Duna-Tisza közti hátság felől a holocénben eolikus szállítással került a mai helyére. A futóhomok borította felszíneken a szél általi erózió hosszan elnyúló barázdákat, hétköznapi nevén semlyékeket hozott létre. E mélyedésekben a csapadékosabb évszakokban felgyűlt a talajvíz és a tófenékre karbonátiszap vált ki (Molnár, 1980). Mivel futóhomok fedte a környezetet, a karbonátiszap gyakran nagy mennyiségű homokot tartalmaz, igen sokszor folyamatos átmenetekkel. E két üledéktípus jelenik meg a Duna-Tisza közti hátsággal határos magasabb morfológiai szinten.

A futóhomokkal borított területtől délre és keletre a második, mélyebb térszint felszínén döntően infúziós lösz található. E területek üledékeit elsősorban a Tisza jelenléte határozta meg. Az infúziós lösszel borított területekből kiemelkedő, korábbi övzátonyokon (Szatymazi temető, Székhalom, Tápai-, és Öthalom) (Molnár, 1996) típusos lösz található. A típusos lösz akkor rakódott le a területre amikor a Tisza árvízszintje már nem érte el azokat, ezt erősítik meg Krolopp et al. (1996) által az Öthalmi dombon elvégzett szedimentológiai és faunisztikai vizsgálatok.



4. ábra A Fehér-tó és környezetének földtani felépítése a Magyar Állami Földtani Intézet térképe alapján (in Gyalog, 2005)

A tómeder ÉK-i területein rendkívül rosszul osztályozott, több kőzetfrakciót (finom homok, durva-, és finom kőzetliszt) tartalmazó üledék található. A finom homok a környező futóhomok területekről szél általi szállítással halmozódott át. A finomabb szemű kőzetliszt frakciók pedig a gyakori vízborításból származnak. A legfinomabb szemcseméretű frakciók pedig a sófelhalmozódáskor történő kapilláris vízemelkedés eredményeként rakódtak le. E területen a legintenzívebb a szikesedés is, hiszen a leülepedett futóhomokos kőzetliszten könnyen lejátszódik a kapilláris vízemelkedés, így a sók felszínre jutása is.

A Fehér-tói területek felszín alatti földtani képződményeit a Miháltz (1966) által mélyített szelvény sorok tárták fel. A legmagasabb térszintű északi területeken a kutató fúrások Szatymaz környékén 5-8 méter, Sándorfalvánál 5-6 méter vastagságú futóhomok réteget tártak fel. A futóhomok több helyen karbonátiszap lencséket tartalmaz, ami ismételten bizonyítja, hogy a területen intenzív homokmozgások történtek.

A futóhomok területtől délre minden szelvényben uralkodóvá válik az infúziós lösz, valamint a fúrások mélyebb rétegeiben megjelennek a folyóvízi üledékek. A finomabb üledéktípusok a mélység növekedésével durvább homokos üledékbe, valamint apró szemű és középszemű homokba, részben övzátany, és mederüledékbe mennek át. A tórendszer Ny-i része 6-8 méteres vastagságban nagyrészt apró szemű futóhomokból áll, amely kelet felé haladva fokozatosan átmegy infúziós-, majd típusos löszbe, a Tisza közelében pedig a mélyebb rétegekben megjelennek a folyóvízi durvább szemcseösszetételű üledékek.

A területen elvégzett földtani kutatások egyértelművé tették, hogy a Fehér-tó mai területének kialakulásában döntő szerepet játszott a folyamatos tektonikai süllyedés, a Duna-Tisza közti hátságról eolikus úton szállított futóhomokmozgások, valamint a Tisza hordalékából történő feltöltődés. A terület középső-, valamint keleti részében a Tisza üledékei rakódnak le a pleisztocénben, majd a paleoklíma szárazodásával a nyugati területéről származó futóhomok folyamatosan rátelepül, az alapvetően nedves térszínen képződő infúziós löszrétegekre. A rétegek folyamatos vertikális váltakozása azt bizonyítja, hogy az aktuális klimatikus viszonyoktól függően két, szedimentációs folyamat határán fejlődik a szegedi Fehér-tó.

2.6. Klimatikus viszonyok

A hőmérséklet és csapadék adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálat mérései alapján mutatjuk be. A terület klímája száraz-kontinentális, szubmediterrán jelleggel. Az évi középhőmérséklet 10,5 °C, de meglehetősen nagy fluktuációk jelentkeznek a hőmérsékleti

adatokban, a téli hónapok középhőmérséklete változékony az egyes évek között, $-5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ között alakult a század második felében, míg a nyári hónapok közül a legmelegebb a július, 1971-2000 átlagában $21,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ Szegeden. Az évi közepes hőingás (a leghidegebb január hónap és a legmelegebb július átlaghőmérsékletei közti különbség) $21\text{ }^{\circ}\text{C}$. Szeged hőmérsékleti sorában is jelentős az évről-évre fellépő változékonyság, a hőmérséklet emelkedő tendenciája azonban az utolsó harminc évben egyértelműen kimutatható, az illesztett lineáris trend $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os növekedést jelez az adatsorban az utolsó 30 évre vonatkozóan.

A szegedi éves csapadék átlaga az 1971-2000 évek alapján 490 mm , 100 év alatt mintegy 10%-ot csökkent. Az évek közötti változékonyság igen jelentős, a csökkenés ellenére nagycsapadéku évek a század végén is előfordultak, és voltak aszályos évek a század első felében is. Az 1900-2000 évek alatti periódus alatt egyszer haladta meg az éves csapadékmennyiség a 800 mm -t, (1940-ben 867 mm), a legszárazabb öt évben (1907, 1971, 1973, 1983, 2000) a 350 mm -t sem érte el az éves összeg.

A Homokhátság klimatikus viszonyai az utóbbi évtizedben kiemelt figyelmet kaptak, hiszen a kutatások kimutatták, hogy a globális klímaváltozás lehetséges eredményeként a területen egyre kevesebb az éves csapadék mennyisége. Ennek következtében a Homokhátság szárazodik, a talajvíz szintje csökkenő tendenciát mutat (Rakonczai és Kovács, 2005), és egyre inkább a szélsőséges hőmérséklet és csapadékviszonyok jellemzik az utóbbi éveket.

2.7. Vízrajzi tulajdonságok

A vizsgálati terület teljes egészében a Tisza vízgyűjtőjéhez tartozik. A tórendszer alacsony térszínű elhelyezkedése miatt elsősorban a hátság felől, É-ÉNy-i irányból kap felszíni vízutánpótlást (Irmédi, 1929), így a domborzati viszonyok miatt a tórendszer mintegy 200 km^2 -nyi terület vízgyűjtője. Természetes állapotukban a tavak nemcsak a hátság felől, hanem az akkor még szabályozatlan Tisza kiöntéseiből is kaptak utánpótlást. A felszíni vizek mellett szintén a terület morfológiája miatt a hátság talajvizei is a Fehér-tó felé migrálnak. A Tisza szabályozása előtt a tórendszerben felgyűlt tavaszi vizek természetes úton folytak le a Belső-, és Külső Maty-éren keresztül a folyóba (Keveiné et al., 2000). Az északról történő folyamatos feltöltődés miatt a tavakból csak keleti irányba történhetett vízlevezetés a Tiszába a Fertőlaposon, a Gyevi fertőn és Baktőn keresztül, ez azonban egyre inkább veszélyeztette Szeged városát, így 1871-ben megépítik a Fehér-tói csatornát, ami újra nyugati irányba vezeti le a tavakban felgyűlt belvizet.

A tiszai gátak megépítésével jelentősen megváltoztak a hidrológiai viszonyok, a természetes vízelvezető erek elzáródtak, a tavak megkezdődött a tavak természetes feltöltődése. A folyamatos belvízveszély miatt 1905-ben terv készül a Fehér-tó hasznosításáról, a szakértői vélemények alapján (Herke, 1934) egy halgazdaság létesítése tudja megoldani a térség belvízvédelmét és a szikes területek hasznosítását. 1932-ben épül meg a halgazdaság első üteme a DNY-i területeken 520 ha-on. Ezzel párhuzamosan megépítik az Algyői-főcsatornát, amely szükség szerint le tudja vezetni a felhalmozódó belvizeket, illetve aszályos években a Tiszából a csatornán keresztül feltölthetőek a tavak. 1943-ban újabb 100 ha-t vonnak be a haltenyésztésbe, megépül a mai tórendszert kettészelő Majsai-főcsatorna, amelynek feladata a tavakban összegyűlt felesleges vizek levezetése a Tiszába. A csatorna megépítésével gyakorlatilag megszűnt a tórendszer természetes vízszint ingadozása. 1982-ben a Fertőlápos területeit is bekapcsolják a haltenyésztésbe, így gyakorlatilag a teljes Fehér-tó környéke szabályozott vízgazdálkodású területté alakul. A Tisza szabályozásával, valamint a térség belvízvédelmi rendszerének kialakításával napjainkra teljes egészében kontrollálható a tavak vízszintje.

Az Alsó Tiszavidéki Vízügyi és Környezetvédelmi Igazgatóság (ATIKÖVIZIG) négy, tórendszer környékén található, talajvíz monitoring kútjának vízállás adatai alapján elmondható, hogy a területen nem tapasztalható a Homokhátságon jelentős problémát okozó talajvízszint süllyedés. A következő adatokat az ATIKÖVIZIG engedélyével Busa-Fekete Bertalantól kaptuk meg.

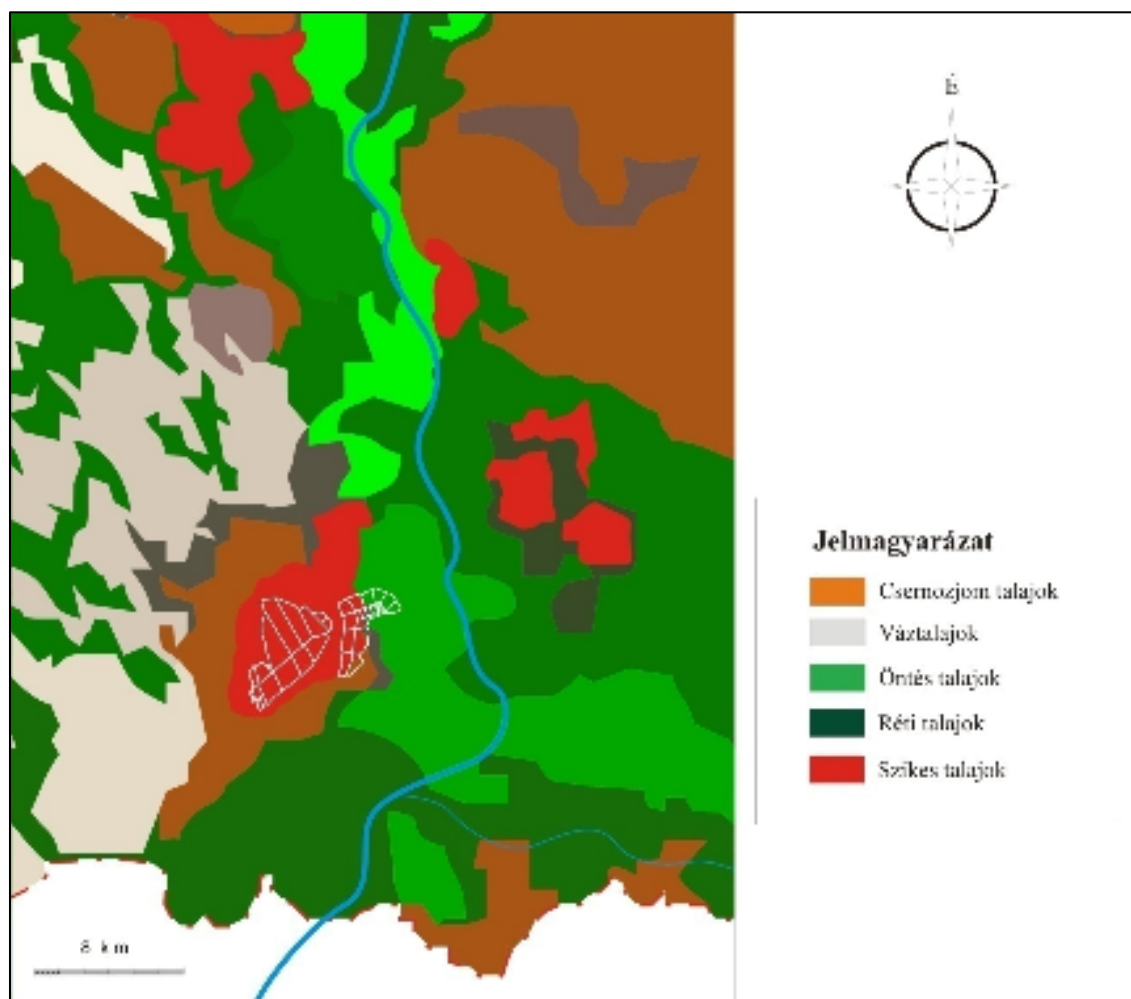
A sándorfalvai felszínközeli talajvíz megfigyelő állomás 1933-ban 253 cm-es középvízszintet regisztrált, ez az érték nagyjából állandó napjainkig, 2009-ben 281 cm. A szatymazi állomás 1933-as kialakításakor 169 cm középvízszintet regisztráltak a talajvíz kútban, ez az érték 30-50 cm-es szint ingadozásokkal 2000-ig állandónak mondható. 2000-től tendenciózusan nő a talajvíz szintje a kútban, 2009-ben 223 cm. A szegedi Fehér-tó területén tehát a Duna-Tisza közével szemben lényeges talajvízszint-süllyedés nem tapasztalható.

2.8. Talajtani viszonyok

Az előzőekben bemutatott földtani felépítés, a klimatikus, valamint vízrajzi tulajdonságok alapvetően határozzák meg a vizsgálati területen kialakult talajokat (5. ábra).

A Tisza és Maros árterében öntéstalajok, míg a folyószabályozások előtt elöntött területeken zömében réti talajok találhatóak. A Fehér-tó területének keleti területein az egykori folyamatos kiöntéseknek köszönhetően jó minőségű csernozjom talajok, míg az ÉNy-

i területein a Kiskunsági futóhomokból álló vázhatású talajok találhatóak. A Duna-Tisza közti hátság felől érkező folyamatos felszíni és felszín alatti vízáramlások állandó víz-, és oldott só utánpótlást biztosítanak a területen. Ez a többletvíz mennyiség azonban a Tisza visszaduzzasztó hatása miatt megreked és a nyári hónapokban bepárlódik. Ennek eredményeként jött létre az egyik legjellegzetesebb szikes terület Magyarországon. A Fehér-tó nyugati területein alapvetően magas nátrium-hidrogénkarbonát-tartalmú szódás-szikes talajok alakultak ki (Herke, 1934), a fő talajtípus a szolonyec. A területen a mélyebb tocsogókban felhalmozódott finom szemcseméretű agyag a magas Na-koncentráció hatására vízrekesztő rétegeket hozott létre, drasztikusan rontva e talajok vízháztartási és termőképességét. Azokon a foltokon, ahol egy-egy futóhomok-lencse hatására jobbak voltak a vízvezetési tulajdonságok, dúsabb növényzet, így humuszosabb szolonyekek fejlődtek ki. A Fehér-tó nyugati területeinek nagy része karbonátos, azonban a karbonáttartalom lényegesen kisebb mint a Homokhátság talajaiban, legtöbbször mészszegénynek mondható. A sárga agyagrétegekben gyakran fordulnak elő mészkonkréciók.



5. ábra A Fehér-tó és környezetének talajtani viszonyai (Juhász, 2008 nyomán)

A tórendszer északi, Sándorfalvával határos részein szoloncsák talajok fordulnak elő, ami a földtani felépítés egyértelmű következménye. A futóhomok, valamint a finomabb szemcseméretű közetliszt frakció váltakoznak, ami a nyugati területekhez képest egy lényegesen porózusabb fizikai talajféleséget hoz létre. A nyári hónapok folyamán a tavak kiszáradásával a kapilláris vízemelkedés felszínig szállítja a talajvízben oldott sókat, ami létrehozza a szoloncsák talajokon jellemző sókivirágzásokat. Az esőzések alkalmával a sötétebb színű, kolloid méretű agyagok a mélyebb fekvésű helyekre vándorolnak, létrehozva a mintaterületre rendkívül jellemző foltos talajfelszínt.

A Fehér-tó harmadik, talajtani szempontból jellegzetes egysége a sándorfalvai út és a Tisza közötti volt Fertőlápos területe. Az itt kialakult öntés és réti talajok valamivel jobb minőségűek, mint a tőlük nyugatra fekvő területek. A térszínből kiemelkedő háta leggyakrabban határozott szerkezettel bíró szolonyec talajokból épülnek fel. Jellemzően a humuszos réteg a felszíntől 50-80 cm mélységig terjed ki, alatta jelentős (egy-egy területen néhány méteres) vastagságú mészkonkréciós rétegek találhatók. A Tisza folyamatos árvizei állandó kilúgzással csökkentették a terület sótartalmát, ennek, valamint a magasabb humusztartalomnak köszönhető, hogy a Fertőlápos területei jobb termőképességűek.

A természetes állapotok átalakításával a Fehér-tó nagy része elvesztette eredeti erősen szikes jellegét. A tavak Tiszából történő vízutánpótlása, valamint a szabályozott vízgazdálkodás erős kilúgzást jelent, csökkentve a tórendszer és környéke talajainak magas sótartalmát.

2.9. A terület flórája és faunája

A vizsgálati terület az Eupannonicum középső részéhez, a Praematricum flórajárásba tartozik (Borhidi, 2003). A semlyékek északnyugati részein (láprétfő) kékperjés és kormos csátés láprétek, a mélyebb területeken magassásosok, zsombékosok, nádasok vannak. A szélbarázdák lefolyástalan részein szoloncsákos, fehértippanos rétek találhatók. A Kiskunsági-homokhát felől a Tisza felé haladva a szikesek aránya nő a láprétek rovására. A Fehér-tó területének egy részét 1939-ben természetvédelmi területté nyilvánították, majd 1976-ban a Pusztaszeri Tájvédelmi Körzet részeként nemzetközileg is kiemelkedő természetvédelmi értékű területként tartják nyilván. A területet a Ramsari egyezményben is rögzítették, mint nagy nemzetközi jelentőséggel bíró állóvizet. Sajnos a halgazdaság létesítése óta folyamatosan ütköznek a gazdasági és természetvédelmi érdekek, a tavak természetes flórájának és faunájának jelentős része eltűnt (Keveiné et al., 2000).

3. MINTAVÉTELEZÉS-, ELŐKÉSZÍTÉS, A SZELVÉNYEK RÖVID LEÍRÁSA

A kutatási célkitűzéseknek megfelelően a vizsgálati terület négy pontján történt mintavételezés (3. ábra). Minden mintapont más-más vízgazdálkodási, növény-borítottsági és általában a szikesedést meghatározó tényezőket tekintve eltérő talajtani jellegekkel bír.

A mintázásra 2006 tavaszán került sor, ekkor lehetett – a halgazdaság termelési ciklusait is figyelembe véve – megközelíteni a mintapontokat. A mintavételezés az előzetesen megtervezett mintavételi helyeken (a területek előzetes vízkezelési, növényzeti, földtani, talajtani tulajdonságainak ismeretében) kézi fúróval történt. Mind a négy mintapont esetében 4 méter mélységű és 10 cm átmérőjű, háborítatlan üledékoszlopokat emeltünk ki. A minták kiemelése után közvetlenül röviden leírtuk a főbb makroszkopikus jellemzőket, majd hosszában megfeleztük a szelvényeket. A minták egyik felét lefagyasztottuk a későbbi szerves anyag tartalom vizsgálatokra, a másik felét pedig 5 cm-es részekre osztottuk és 3 hét alatt légszáraz állapotra szárítottuk. A szárítás közben a mintákat nagyobb rögökre törtük szét, a nagyobb növényi részeket pedig eltávolítottuk. Az összesen 320 darab kiszáritott mintát achát golyós malomban az ásványtani vizsgálatokhoz tíz, a kémiai vizsgálatokhoz 20 percig porítottuk.

3.1. A vizsgált szelvények rövid jellemzése

A négy vizsgálati szelvényt a halgazdaságban is használt területi azonosítójuk alapján neveztük el. Összesen három eltérő kezelésű tóból és kontroll területként a tórendszer közvetlen közelében elhelyezkedő természetközeli szikes-zsombékos rétről történt mintavételezés.

3.1.1. A „K” szelvény (3. ábra)

A kontroll területként kijelölt rét a tórendszer DK-i részén található (GPS koordinátái: 001-10-141 É, 007-36-264 K). Az antropogén hatások a halastavak környezetében itt mondhatóak minimálisnak. A rét vízellátottsága a klasszikus szikes jellegeket mutatja. Tavasszal egészen a felszínig emelkedik a talajvíz szintje, hóolvadás után 1-2 hónapig víz borítja a területet. A mintázáskor a megütött talajvíz szintje 140 cm mélységben volt. A rét fokozatosan kiszárad a nyár közepére, azonban a vízellátottság nem szűnik meg a hátság és a tórendszerből való gravitációs szivárgásnak köszönhetően. A területet állandó növényi borítás jellemzi, a folyamatos vízutánpótlás miatt nyáron sem száraz ki a döntően sásos, gyékényes, mészpázsitos növényzet.

A szelvény a terepi makroszkopikus jellemzői alapján a réti talajoknak megfelelő felépítést mutatja. A talaj A szintje 0-60 cm mélységű tartományban van. Az A szint két részre osztható. Az A1 szintben 0 és 40 cm között erős humuszos réteg figyelhető meg, 1-2 cm nagyságú növényi törmelék darabokkal. Az A2 szintben intenzív karbonát kiválásra utaló konkréciók figyelhetők meg 50 cm mélységben, 50-60 cm között agyagos átmenet figyelhető meg. A szelvény B szintje 60 és 120 cm között azonosítható. A szerves anyag mennyisége fokozatosan csökken, azonban 100 cm-nél intenzívebb szerves anyag bemosódásra utaló sötét réteg látható. A 110-120 cm-es rétegben történik meg a humuszos szint átmenete a lösz alapkőzetbe. Az alapvetően nagy agyagtartalmú, szürkés réteg gyakorlatilag a szelvény C szintje, 400 cm-es szintjéig folyamatos. 160 cm mélységben az intenzív vízhatásra utaló vasfoltok jelennek meg, majd 200 cm-től néhány milliméter átmérőjű karbonát szemcsék is. Mind a vas mind a karbonát kiválások a szelvény legmélyebb rétegéig folyamatosnak mondható. 300 cm-es mélységben 20 cm vastagságú csiga törmelék réteg jelenik meg, de a nagy arányú töredékek mellett, ép vázakat is találtam. A szelvény 300 cm és 400 cm rétegeit alapvetően szürke agyagos lösz építi fel, néhány vasfolttal tarkítva.

3.1.2. Az „SZ-2” szelvény (3. ábra)

A tórendszer legdélebbi pontján található halnevelőben került sor a mintázására (GPS koordinátái: 001-08-720 É, 007-34-004 K). Ez a halnevelő van legközelebb Szeged városához, annak Sándorfalvai úti hulladéklerakójához. A hulladéklerakó 1,5-2 km távolságra délre található. A halnevelő intenzív használat alatt áll. A folyamatos marhatrágya és haltáp betáplálása a tó ÉK-i csücskében történik, a mintázás a tó átellenes DNy-i részében történt, így a legnagyobb az esélye annak, hogy a tóban felhalmozódó szerves anyag minőségéről és mennyiségéről reprezentatív információkat kapjunk. A halnevelőt minden év októberében töltik fel 1-1,5 m üzemi vízszintre, majd minden tavasszal leengedik. A mintázáskor a megütött vízszint 110 cm mélységben volt. A tómeder a nyári hónapokban kiszárad, az üledék felső 20 cm-es része felrepedezik, néhol sókivirágzás figyelhető meg. A tó száraz periódusában a mederfenéken csak viszonylag gyér, 10-20 cm-es ritka növényzet fejlődik.

A szelvény terepi makroszkopikus felépítése alapján szoloncsák jellegű talaj ismérveit mutatta (lévén üledék és nem talajszelvényről van szó). A szelvény 0 és 120 cm-es rétege szerkezet nélküli, nem állapítható meg jellegzetes határvonal a kilúgozási és felhalmozódási szintek között. Az erősen humuszos felső 20 cm-es réteg után a szerves anyag mennyisége fokozatosan csökken a 120 cm-nél kezdődő löszréteget. A 30 cm mélységű rétegben agyagos közberétegződés, 60 cm-nél pedig karbonát szemcsék találhatóak. A 120 cm mélységtől

megjelenő C szint jelentős mennyiségű karbonát konkréciót tartalmaz egészen a megmintázott legmélyebb, 400 cm-es mélységig. A 200 cm, 220-280 cm, 320-380 cm mélységű rétegekben erőteljes vasfoltok láthatóak, amik elsősorban a nagy vízingadozás eredményei. A szelvény 380-400 cm-es rétegében az előző szelvényhez hasonlóan megjelenik egy teljes és töredék csiga vázakat tartalmazó réteg. Ezek a csigafajok döntően állandó vízborítással rendelkező tavakban jelennek meg.

A „K” és az „SZ-2” szelvény makroszkopikus jellegeik alapján hasonló kifejlődési struktúrával rendelkezik, ami az egymástól való kis távolságuk és a terület fejlődéstörténete alapján el is várható.

3.1.3. Az „X-2” szelvény (3. ábra)

Az „ős” Fehér-tó területén, a tórendszer ÉNy-i területén található tó a Kiskunsági Nemzeti Park területe (GPS koordinátái: 001-09-144 É, 007-29-415 K), ezért csak a Nemzeti Park külön engedéllyel történhetett a mintavételezés. A halgazdaság itt halat nem tenyészt csak a nádat termeli ki a tóból. Természetvédelmi okok miatt a tómedret 1 évig természetes állapotában hagyják, ekkor csak a tavaszi és őszi periódusban fedi 20-30 cm vastagságú víz, nyáron teljesen kiszárad. A következő évben a halgazdaság 0,5-1 m üzemi vízszintre tölti fel, egész évben vízzel borított. A kétéves periódusok végén a gazdaság a területen fejlődött 2-3 m magasságú nádat learatja, ezután újra indul az egy éves természetes állapot szakasza. A mintavételezés az üzemi vízszintre való feltöltés előtt valósult meg. A szelvény kiemelésekor a megütött vízszint 120 cm mélységben volt. A területre a dús, nádas-gyékényes vegetáció jellemző. A tómeder kiszáradásakor megjelennek szikós foltok a növényzettel kevésbé fedett részekben.

A szelvény szoloncsákos-szolonyec talaj szintjeire jellemző rétegzettségű üledékoszlopot tárt fel. A szelvényben az erőteljes növényzet miatt a 150 cm-es mélységig folyamatosan találhatóak nádmaradványok. A felső 60 cm-es réteg erőteljesen humuszos, nád-, és egyéb növényi gyökér maradványok találhatóak benne, egyben ez a réteg a szelvény „A” szintje. 60-120 cm között továbbra is jelentős mennyiségű növényi maradvány, valamint humuszos anyag található. Felhalmozódási, „B” szint nem ismerhető fel. 120 és 150 cm mélységben megjelenik a szürkés, sárgás színű, nagy agyagtartalmú lösz, melyben továbbra is felismerhetőek növényi gyökér maradványok. A 150-170 cm mélységű rétegben glejfoltok jelennek meg. 170 cm-től 200 cm-ig erősen karbonátos réteg jelenik meg, mészkonkréciókkal. 200 cm-től a legmélyebb, 400 cm-es szintig löszös, szürke színű üledék

alkotja a szelvényt. A 200-260 cm, a 300 cm, és a 360 cm mélységű rétegekben újra növényi maradványokat találtunk, egyedül ennek a mintapontnak a feltárásakor figyeltünk meg ilyen mélységben szerves anyag maradványokat. 320 cm-től 400 cm-ig döntően édesvízi, állóvizet kedvelő csigák vázait, illetve töredékeket figyeltünk meg, ez a réteg erősen limonitos jellegeket is mutat.

3.1.4. Az „S1” szelvény (3. ábra)

A tiszai vízbepótláshoz legközelebb eső halnevelő a tórendszer K-i határán (GPS koordinátái: 001-11-755 É, 007-36-304 K). A tóban szintén intenzív haltenyésztés folyik. Ezt a halnevelőt április-május kivételével folyamatosan 1-1,5 m üzemi vízszinten tartják. A tó keleti részében található szigeten számos védett madárfaj költ, ezért a költési időszakra hagyják kiszáradni a medret. Ebben a rövid időszakban nem tud kiszáradni a tófenék, a mintázáskor is nedves volt, a megütött vízszint 60 cm mélységben volt. A vízmentes időszakban perjés és pázsitos vegetáció fejlődik maximum 10-15 magasságban.

Az alapvetően teljes terjedelmében nagy homok-, és mindvégig (az előző szelvényekhez képest) alacsony karbonáttartalmú szelvény felső 5 cm-es vastagságában található szerves anyag. Ezek, az előzőekhez képest lényeges különbségek, a folyamatos vízborítás eredményeként jöhettek létre. Ebben az esetben valódi tavi üledékoszlopról van szó, nem is lehet talajszinteknek megfelelő rétegzettséget látni. A 10-20 cm-es rétegben csigatörmelék jelenik meg, ez is utal a folyamatos vízborítottságra. 40 cm-től 100 cm-ig finom homokos agyagos üledéket találtunk, amelyben helyenként fekete színű, mangán, vagy vas eredetű foltok jelennek meg. A 80-100 cm-es rétegben glejes foltok találhatóak, majd a redukzív zónára utaló kékes foltok 180 cm-ig fokozatosan kivilágosodnak és anyagos világos színű üledékbe mennek át. A redukzív körülményekre utaló vas és mangán foltok a szelvény legmélyebb, 400 cm-es rétegéig fellelhetőek. 200 cm-től folyamatosan található az állóvízi, időszakosan kiszáradó területekre jellemző csigák vázai, illetve annak töredékei. Ez a szelvény egy alapvetően folyó-, és állóvízi körülmények közt kialakult területet tárt fel.

4. ALKALMAZOTT VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

A talajok kémhatásának meghatározására két módszert is alkalmaztunk. A talaj aktív savanyúságát 1:2,5 (talaj - 7-es pH-jú desztillált víz) arányú szuszpenzióban, míg a kicserélhető savanyúságot 1:2,5 (talaj – 1M KCl oldat) arányú szuszpenzióban elektrometriásan CONSORT C561 típusú pH-mérővel és WTW SenTix 52 típusú kombinált üvegelektróddal mértük a hatályos magyar szabványnak megfelelően (MSZ 21470/2-81, 1982). Mind a 320 db begyűjtött mintának meghatároztuk a desztillált vizes, és a KCl-os pH-ját. Minden esetben 2 párhuzamos mérés készült, így összesen 1280 db pH-mérési eredményt kaptunk.

Az összes minta *elektromos vezetőképességét* meghatároztuk az 1:2,5 (talaj - 7-es pH-jú desztillált víz) arányú talajszuszpenziókban CONSORT C561 típusú vezetőképességmérő műszerrel, a hatályos magyar szabványnak megfelelően (MSZ 21470/2-81, 1982). Szintén két párhuzamos mérés készült mind a 320 db minta esetében, így 640 db elektromos vezetőképességi adat állt rendelkezésre.

Összesen 80 db, az egyes talajszintek alapján reprezentatívan kiválasztott minta *szemcseméret-összetételét* határoztuk meg röntgen-szedigráfias módszerrel a Szegedi Tudományegyetem Földtani és Őslénytani Tanszékén. A műszer SediGraph 5000ET típusú részecskenagyság analízátor. A röntgensugár forrás W-cső, a gerjesztő feszültség 13,8 kV, az anódáram 3 mA volt. A műszer pontossága $\pm 1\%$, a reprodukálhatóság 1 μm -nél nagyobb szemcsék esetében $\pm 1\%$, 0,5-1 μm esetében $\pm 3\%$, 0,1-0,5 μm esetében $\pm 5\%$.

80 db, a kalciumtartalom alapján reprezentatívan kiválasztott minta *karbonáttartalmát* határoztuk meg Dean-módszerrel (Dean, 1974).

52 db, a különböző talajszintek alapján reprezentatívan kiválasztott, mintában Rock-Eval pirolízis módszerrel meghatároztuk a minták *összes szerves szén tartalmát*, majd ezen adatok alapján kiválasztottuk azokat az üledékszinteket, ahol értékelhető mennyiségű szerves anyag állt rendelkezésre a részletes szerves anyag vizsgálatokhoz. Az előzetes mérések alapján újabb 80 db minta részletes vizsgálatát végeztük el a Rock-Eval módszerrel. Az Oil Show Analyzer típusú Rock-Eval pirolizátorban három perc 180 °C hőmérsékletű előmelegítés után, programozott 25 °C/perc sebességű felfűtéssel 600 °C-ig történik a minta pirolizálása. Az állandó, 180 °C hőmérsékleten a szabad szénhidrogének szabadulnak fel a mintából (ez a pirogram elején jelenik meg S1 csúcsként), majd a folyamatos felfűtés alatt a maradék szerves anyag krakkolódásával keletkező szénhidrogének szabadulnak fel (ez a pirogram S2 csúcsa) (Espitalié és munkatársai, 1985). Az anoxikus környezetben a szénhidrogének detektálása

lángionizációs detektorral történik, inert hélium atmoszférában. Ezután konstans sebességű oxidáló légáramban 600 °C-on 7 percig hevítjük a mintát az összes szerves szén tartalom meghatározására. A mérés vezetőképesség-detektorral történik.

A módszer által szolgáltatott S2 csúcs alkalmas a talajok humifikációs folyamatainak vizsgálatára (Disnar és munkatársai, 2003), az S2 csúcs matematikai dekonvolúciójával a talajban egyidejűleg található szerves anyagok csoportjai meghatározhatóak (Sebag és munkatársai, 2005). A módszer talajokra és üledékekre továbbfejlesztett változatát (Hetényi és munkatársai, 2005) használtuk. Az alkalmazott matematikai bontás eredményeként négy csoportot különíthetők el: instabil vagy labilis (F1) és stabil (F2) biopolimerek, illetve az éretlen (F3) és érett (F4) geopolimerek.

A szerves anyag eredetének pontosabb meghatározásához 10 mintában *szerves szén és nitrogén izotóp vizsgálatokat* végeztünk. A szén és nitrogén stabil izotóp analízis Thermo Finnigan ConFlo III feltárási egységgel összekötött NA 1500 NCS Fision Instrument készülékkel és Finnigan DeltaPlusXp tömegspektrométerrel történt. Az eredményeket három párhuzamos mérésből PD Belemnite $\delta^{13}\text{C}$ és $\delta^{15}\text{N}$ levegő standardhoz viszonyítva kaptuk meg. Az ismételt mérések pontossága 0,1‰ a $\delta^{13}\text{C}$ és 0,15‰ a $\delta^{15}\text{N}$ esetében.

Az üledékszelvek *ásványtani vizsgálatát* DRON UM-1 típusú röntgen diffraktométerrel végeztük. A sugárforrás Cu-cső, LiF monokromátorral, 35 kV gerjesztő feszültséggel, 20 mA anódárammal, szcintillációs detektorral, 1°/perc léptetési sebességgel. 36 darab reprezentatív kiválasztott minta ásványtani összetételét határoztuk meg a 3-52 2 θ szögtartományban. A 36 darab minta agyagásvány-összetételét a 2 μm alatti szemcsefrakcióból határoztuk meg az 1-16 2 θ szögtartományban. A szelvek duzzadó agyagásványainak meghatározására a mintákat 1 óráig 60 °C hőmérsékleten etilén-glikolos kezelésnek vetettük alá, majd az 1-16 2 θ szögtartományban újra megmértük a diffrakciós csúcsok elmozdulását. Így összesen 108 darab röntgen spektrumot készítettünk el.

A szelvek *fő-, és nyomelemeinek mennyiségét* röntgen-fluoreszcens spektrofotometriai módszerrel határoztuk meg. A HORIBA Jobin-Yvon XGT-5000 típusú műszer Rh-sugárforrással, 30 kV gerjesztő feszültséggel, és 1 mA anódárammal, és 100 μm nyalábátmérővel működött. A nettó mérési idő minden minta esetében 60 perc volt. Minden mintán három párhuzamos mérést végeztünk. A minták elemtartalmait a Canadian Certified Reference Materials Project LKSD sorozatai alapján határoztuk meg. A minta sorozat összesen 17, auditált laboratóriumban megmért üledék keverékéből áll. Az alapvizsgálatok alapján összesen 128 darab reprezentatív kiválasztott minta elemtartalmát határoztuk meg, így 384 darab röntgen-fluoreszcens spektrummal dolgoztunk.

Szelvényenként 20, összesen 80 darab minta növények által felvehető *nátrium és foszfor tartalmát* határoztuk meg a Szegedi Tudományegyetem Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszékén. A mintákat ammónium-laktát oldatban tártuk fel a hatályos magyar szabványnak megfelelően (MSZ 20135: 1999). A nátrium mérése Perkin-Elmer 3110 típusú láng atomabszorpciós és emissziós spektrofotométerrel történt, 7 pontos kalibrációval 0,2-2 mg/l tartományban. A foszfor mennyisége Flow Injection Analysis módszerrel, FOSS Star 5000 típusú műszerrel került meghatározásra.

Az *alkalmazott geostatistikai vizsgálatokat* SPSS 11.0 programmal végeztük. Az alapstatisztikai vizsgálatoknál minden mért változó esetében vizsgáltuk az átlagot, medián, móduszt, szórást, a minta terjedelmet, minimumot, maximumot és a percentiliseket (25, 50, 75), valamint a változók gyakorisági eloszlását hisztogramokon ábrázoltuk. A többváltozós statisztikai elemzés során vizsgáltuk valamennyi változó között a lineáris összefüggéseket Pearson-féle korrelációval, valamint a regressziós analízis során vizsgáltuk, hogy milyen egyéb, nem lineáris kapcsolat deríthető fel a mért változók esetében. Az adott főkomponensek korrelációs mátrix segítségével, Varimax rotációs eljárással kerültek meghatározásra. Azokat a változókat, amelyek az alapstatisztikai vizsgálatnál nem mutattak normális eloszlást, logaritmikusan transzformáltuk. Az egyes geokémiai háttér tényezők hatására kialakult elemcsoportok meghatározására klaszteranalízist végeztünk mind a mért változók, mind a főkomponensek alapján. A mért változók eltérő mennyiségei miatt standardizáltuk azokat. Az analízis során Ward-féle csoportosítási eljárást és a cosinus távolságokat használtuk. Az előző vizsgálatok alapján kialakított csoportok közti különbségek felderítésére diszkriminancia-analízist alkalmaztunk. A módszer a csoportokon belüli korrelációs mátrixból indul ki, amely során csoport páronként történik az összehasonlítás.

A *nyomelem adszorpciós vizsgálatokra* öt, eltérő összetételű minta került kiválasztásra. Az egyenként 200 mg tömegű mintákat rendre 20 ml cink-, kadmium-, nikkel-, ólom-, és réz-nitrát oldatban szuszpendáltuk. Az oldatok kiindulási fémkoncentrációja mintánként és elemenként 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000 mg/l volt. Az adszorpciós kísérleteket 48 órán keresztül végeztük, miközben az első hat órában óránként, majd a 24. és 48. órában megmértük a szuszpenziók pH-ját CONSORT C561 típusú pH mérővel. A 48. óra végén a szuszpenziókat 4000 1/min fordulaton, 20 percig lecentrifugáltuk, majd a felülúszó elemtartalmait a fent ismertetett röntgen-fluoreszcens spektrofotometriai módszer azonos paraméterei mellett mértük vissza. Mindösszesen 240 adszorpciós eredmény, valamint 1920 pH mérési adat készült a méréssorozatban.

5. A SZEGEDI FEHÉR-TÓ SZIKES ÜLEDÉKEINEK GEOKÉMIAI, ÁSVÁNYTANI TULAJDONSÁGAI ÉS GEOKÉMIAI FOLYAMATAI

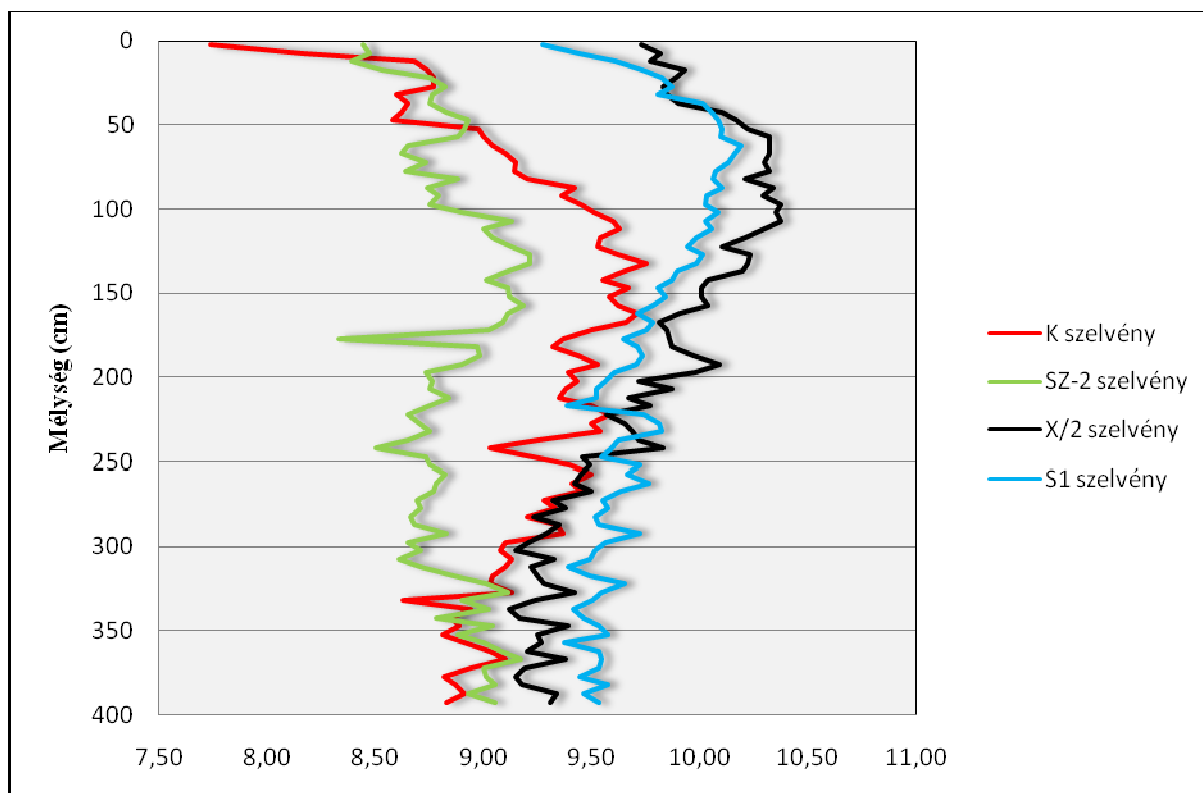
Az értekezés összetett felépítése, és a meglehetősen nagyszámú vizsgálati adat miatt célszerűnek tartottuk, hogy már az egyes vizsgálati eredmények bemutatásakor rövid, az adott paraméterre vonatkozó diszkutív jellegű megjegyzéseket tegyünk. Ezért az ismertetett adatokat bemutató fejezetek végén néhány sorban az általunk lényegesnek tartott paramétereket röviden értelmeztük is, ezzel segítve az adatok és az azokat kialakító okok könnyebb megértését. Célszerűnek tartottuk, hogy miután minden mért paramétert bemutattunk, csak azután ismertessük a vizsgált szelvények tulajdonságainak tágabb magyarázatát (hiszen például a kémhatás változásainak értelmezése csak a só-, karbonáttartalom, vagy szerves anyag eloszlásának ismeretében célszerű). Mivel minden vizsgált változó több másiktól is függ, így a 6. fejezetben foglaljuk össze és értelmezzük az 5. fejezetben bemutatott paraméterek kialakításában ható folyamatokat. Az ábrákon bemutatott trendvonalak minden esetben a mérési pontok értékeinek mozgó átlagából kerültek meghatározásra.

5.1. A vizsgált szelvények kémhatása

5.1.1. A vizsgált szelvények aktív savanyúsága

A vizsgált üledékszelvények kémhatását kétféle módon határoztuk meg. A desztillált vízzel készült szuszpenziókból mért aktív savanyúság (illetve szikes geokémiai környezetben célszerűbb aktív lúgosságról beszélni) értékei meglehetősen eltérőek az egyes szelvényekben (1. táblázat, 6. ábra). Gyakorlatilag mind a négy területen (3. ábra) más-más lefutásúak a mért pH értékek.

A „K” szelvény átlagos kémhatása $\text{pH}=9,17$, ami a harmadik legmagasabb érték a szelvények között. A pH értékei meglehetősen eltérőek az egyes szintekben, a legnagyobb szórás (0,4) a mérési adatokban itt figyelhető meg, tehát a kémhatás heterogén eloszlású a szelvényben. A szelvény felszíni 10-20 cm vastagságú szintjében 8,6-8,7 a pH értéke, ez a szint a legkevésbé lúgos ebben a mintapontban. A felszíntől a mélyebb rétegek felé haladva a pH folyamatosan nő, a legnagyobb értékét ($\text{pH}=9,6-9,7$) a 110-150 cm-es rétegben veszi fel. Tovább haladva a mélység növekedésével, kisebb-nagyobb kiugrásokkal ugyan, de a pH folyamatosan visszacsökken a felszínhez közeli rétegekben mért 8,7-9,0 értékre.



6. ábra A „K”, „SZ-2”, „X/2” és „S1” szelvények $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ értékei

Mivel az aktív savanyúságot elsősorban a talajoldatban található könnyen oldódó vegyületek – jelen esetben elsődlegesen a Na_2CO_3 és NaHCO_3 – határozzák meg (Filep, 1988), ezért a pH szelvényen belüli lefutásából erős kilúgozási folyamatra következtethetünk. A terület periodikus vízjárása miatt a felszíni csapadék-utánpótlás és a száraz időszakok kapilláris transzport folyamatainak eredőjeként a könnyen oldható sók a 100-150 cm-es rétegben rekednek meg. A felszínhez közeli pH relatív alacsony értékeihez az is hozzájárulhat, hogy az állandó növényzeti borítás miatt a növényi gyökérsavak jelentős mennyiségben vannak jelen a 0-40 cm-es szintben, ami szintén oka lehet a pH csökkenésének.

Az „SZ-2” szelvény pH értékei jelentősen eltérnek a másik három szelvényben mértektől. A rétegekben mért kémhatások átlaga ($\text{pH}=8,84$) a legalacsonyabb a négy mintapont közül. A pH lefutása lényegesen kiegyenlítettebb, mint a többi szelvény esetében (ezt mutatja az is, hogy itt a legalacsonyabb a szórás értéke is, 0,20). A kémhatás szelvény menti lefutása meglehetősen zavartnak mondható. A felső 20 cm-es rétegben a kezdeti $\text{pH}=8,5$ -es értékről meredeken emelkedik $\text{pH}=9$ fölé a kémhatás, majd az 50 és 100 cm között némileg visszaesik. 100 cm-től 150 cm-ig a leglúgosabb a szelvény 9 feletti pH értékkel. Nagyobb kilengésekkel a 150 cm-es rétegtől 300 cm-ig csökken a pH, majd 400 cm-ig újra eléri a $\text{pH}=9$ értéket.

A pH szelvényen belüli lefutásából az intenzív vízhatásra lehet következtetni. A gyorsan és szezonálisan változó vízszintek hatására nem tud beállni a vertikális mozgású felszínről lefelé tartó szivárgó vizek és a felszín felé tartó kapilláris vízemelkedés által meghatározott sófelhalmozódás.

Megjegyzendő, hogy a „K” és „SZ-2” szelvények bizonyos pontjaikban rendkívül hasonló lefutást mutatnak a pH értékekben. Mindkét mintapontban 50-től 150 cm-ig nagyon hasonló a kémhatás lefutása, a 170, 235, 280 cm-es rétegekben ugyanazok a kiugrások figyelhetők meg.

Az „X/2” szelvényben mért pH értékek a legmagasabbak a vizsgált mintapontok közül. A rétegek összegzett, átlagos kémhatása 9,74, ami erősen lúgosnak mondható. A pH szelvényen belüli lefutása hasonló a „K” mintapontban mértékhez, az adatok szórása is magas, 0,4, ez alapján is látható, hogy a szelvény különböző szintjeinek kémhatása heterogén eloszlású. A felszíni 10 cm vastagságú rétegben 9,6-9,7-es értékről az 50 cm-es rétegig folyamatosan, 10,5-es értékig nő a pH. 50 cm és 100 cm között közel állandósul a kémhatás, majd kisebb-nagyobb kiugrásokkal, de tendenciózusan csökken a pH a 300 cm mélységű szintig. 300 cm-től a pH=9,2-9,4 érték állandósul.

A szelvény pH profilja a szikes talajok esetében klasszikusnak mondható menetet mutatja (Tóth és Szendrei, 2006). A 0-50 cm-es rétegekben a felszíni vizekből származó utánpótlás a kilúgozási folyamatokat erősíti, azonban ez nem kellően nagy mértékű, így 50 cm és 100 cm között megrekednek a lúgosságot okozó, elsősorban Na-sók. Ugyanakkor a száraz periódusokban lejátszódó kapilláris vízemelkedés a növényzeti borítottság – és emiatt a csökkent párolgás – eredményeként nem tudja a felszínre hozni az oldott sókat, így azok a mélyebb rétegekben megrekednek. Természetesen a pH profiljának kialakításában erőteljes szerepet játszik a talajvíz, a megütött talajvízszint közelében a legnagyobb a mért pH. Ugyanakkor a mért pH maximuma 50 cm vastagságban (50 és 100 cm között) állandósul, ami arra utal, hogy a talajvíz ebben a szintben ingadozik és a rétegben megrekedt sókat mennyiségileg homogenizálja ebben az intervallumban.

Az „S1” szelvényben mért pH értékek szintén magasak, átlaguk pH=9,72, szórásuk viszont alacsony (0,24). Ez látható a szelvény kémhatásának vertikális lefutásában is. A felszíntől az 50 cm-es szintig 9,5-ről 10 fölé nő a pH értéke, az 50 cm-es szintben éri el a maximumot a kémhatás, ez a leglúgosabb szint. 50 cm-től fokozatosan csökken a pH értéke, 210 cm-es mélységben éri el a szelvénybeli minimumát, a pH=9,3-et. 210 cm-től a szelvény legmélyebb 400 cm-es rétegéig erősen fluktuálva a kémhatás pH=9,5 körül ingadozik. A „K” és „X/2” szelvényekhez hasonlóan itt is egy jelentős változás azonosítható a kémhatás lefutásában.

Mivel ez a halnevelő folyamatosan vízzel borított és az egy hónapos száraz periódusban történt a mintavételezés, a lehúzódó vízszint frontját követi a pH lefutása is, ez egyértelműen a könnyen oldható, lúgosan hidrolizáló sók mozgására utal. Egyedül ebben a szelvényben alakul ki ilyen jelentős maximum, ami arra utal, hogy a vízszint itt nagyon gyorsan változik, ami erőteljesen meghatározza a pH alakulását is.

5.1.2. A vizsgált szelvények rejtett, vagy potenciális savanyúsága

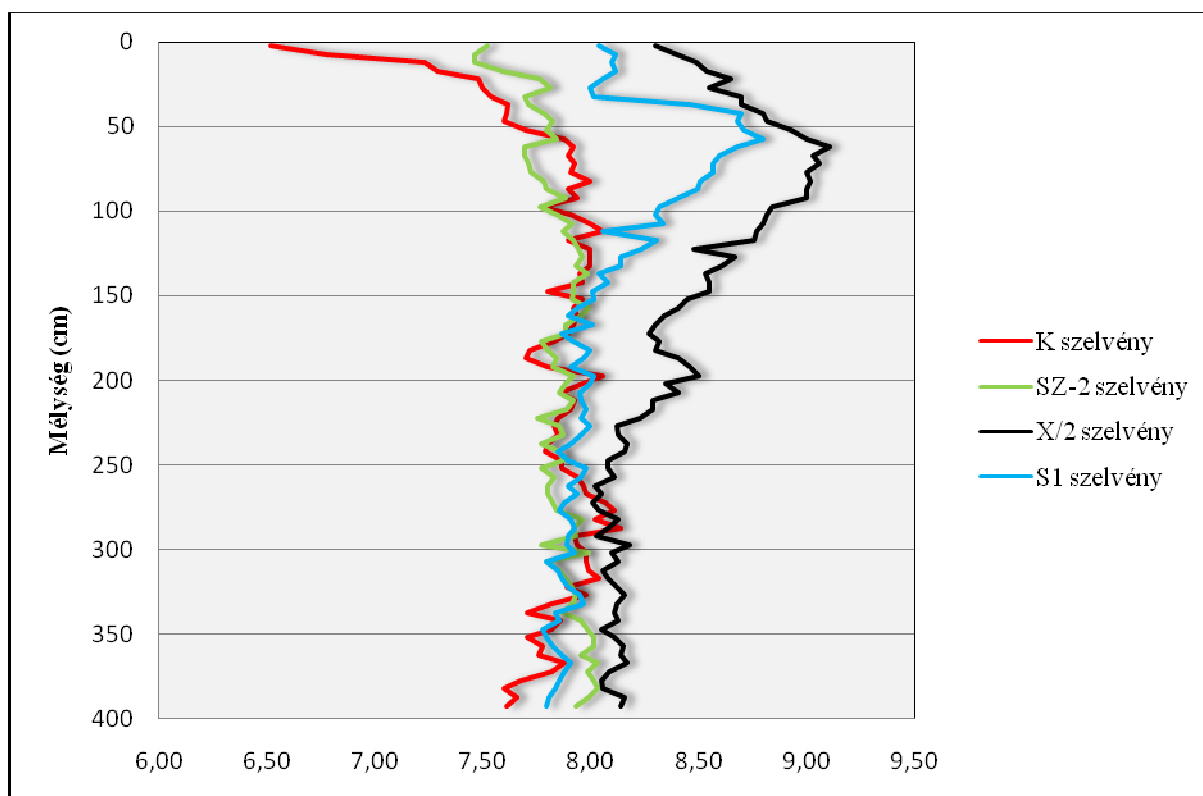
Az 1M-os KCl oldattal készült szuszpenziók kémhatása hasonló képet mutatnak (1. táblázat, 7. ábra), mint a $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ eloszlások, de szelvényenként itt is lényeges különbségek figyelhetők meg. A KCl oldattal készült szuszpenzióban mért pH értékek alapján következtethetünk a talajkolloidok felületén kötött, kicserélhető, vagy rejtett savanyúságra (általában a H^+ , Na^+ , Al^{3+} , Ca^{2+} , Fe^{3+} ionok okozzák) (Stefanovics, 1999, Lee et al., 2010). Mivel a K^+ nagy töménysége miatt leszorítja az adszorpciós helyekről az ott kötött H^+ -t is, a $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ minden esetben kisebb értékeket mutat, mint a $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ (Bohn et al., 1985).

A „K” szelvény átlagos pH-ja 7,80, ami mintegy 1,5-del marad el a szelvény aktív savanyúságától. A kémhatás szelvénybeli eloszlása hasonló a desztillált vizes oldatban mérthez, a szelvény felső 30-40 cm-es rétegében erőteljesen nő a kezdeti $\text{pH}=6,8$ érték, majd az 50 cm mélységben éri el a maximumot, a $\text{pH}=8,0$ -t. Egyedül ebben a szelvényben mértünk semleges, vagy enyhén savanyú pH-t. Az 55 cm-es rétegtől a pH a szelvény aljáig 7,8-8,0 érték körül ingadozik, állandónak mondható.

Fontos eltérés a szelvény két féle módon meghatározott kémhatása között, hogy a rejtett savanyúság lefutásában hamarabb állandósul a kémhatás, a felső 50 cm-ben, ez egyértelműen a növényzeti borításnak, illetve a gyökérsavak jelenlétének tudható be. Az egyetlen állandó növényzettel rendelkező „K” szelvény felső rétegében a megnövekedett H^+ -koncentráció miatt a felületi kötőhelyeken nagyrészt H^+ ionok adszorbeálóak.

Az „SZ-2” szelvény KCl-os talajszuszpenzióiból mért kémhatás értékek lefutása egyedinek mondható a vizsgált mintapontok közül. Az alacsonynak mondható, enyhén lúgos $\text{pH}=7,85$ átlag érték szórása a legkisebb, 0,12 a mért szelvények közül. A szelvény teljes mentén gyakorlatilag állandó, 7,8-8,0 a pH, ebből arra lehet következtetni, hogy egyfelől a rejtett savanyúságot okozó ionok adszorbensei állandóak a szelvényben, ez pedig ilyen nagy vízhatású üledékek esetén csak akkor lehetséges, ha az üledék keveredik. Mivel a tómeder a nyári hónapokban rendszeresen kiszárad és felrepedezik, valamint az elárasztás és a tó leengedése hirtelen történik, az üledék folyamatosan mechanikai keveredés alatt van.

Másfelől természetesen az intenzív vízmozgás is homogenizálja a talajoldatban előforduló ionok vertikális eloszlását.



7. ábra A „K”, „SZ-2”, „X/2” és „S1” szelvények $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ értékei

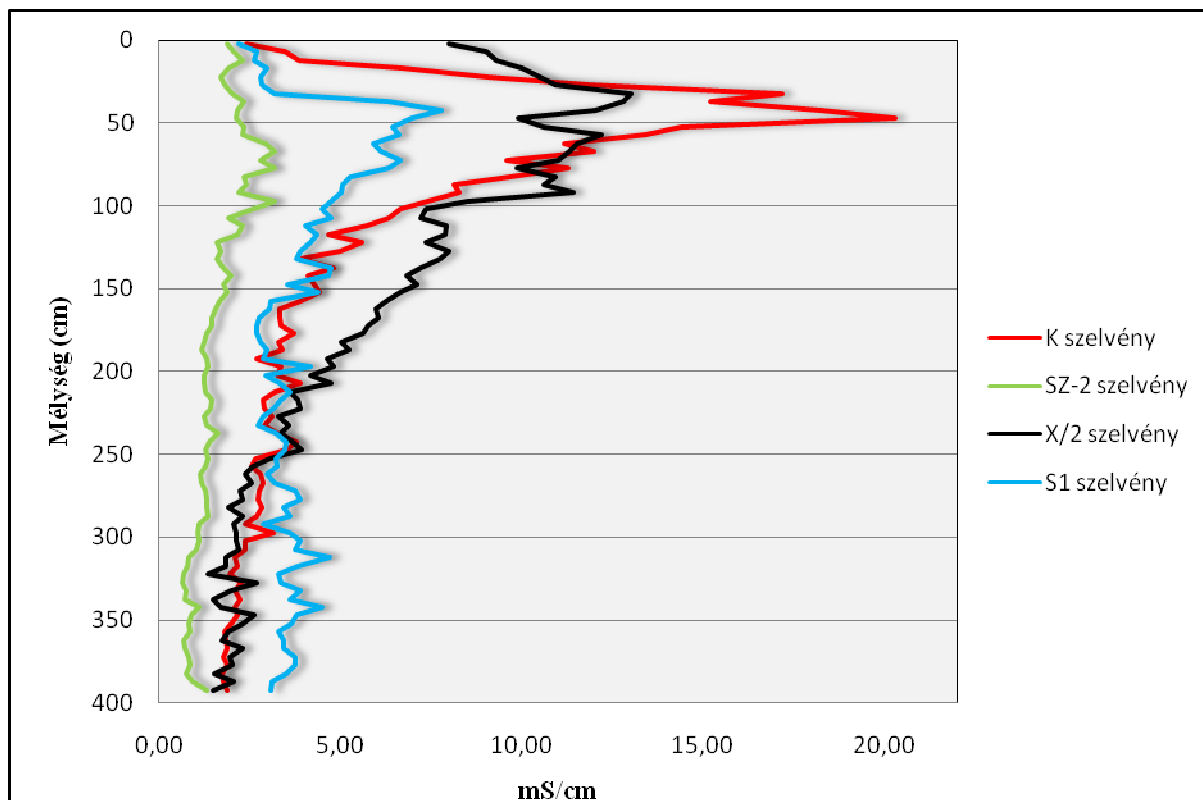
Az „X/2” szelvény rejtett savanyúságának átlagos értéke $\text{pH}=8,39$, az értékek szórása viszonylag nagy, 0,33 a szelvényben. A $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ lefutása gyakorlatilag ebben a mintapontban megegyezik a desztillált vizes szuszpenzióból mért profillal. A felszínen mért 8,5-es pH-ról 9,0 fölé nő a kémhatás az 50 cm mélységű rétegig. A maximum elérése után folyamatosan csökken a pH, 130 cm, és 160 cm mélyen mindkét pH esetben ugyanazok a kiugrások figyelhetők meg. 250 cm-től állandósul a kémhatás, $\text{pH}=8,1$ körül ingadozik. Az „X/2” szelvényben mért két fajta pH gyakorlatilag teljesen azonos lefutásából arra lehet következtetni, hogy itt elsősorban a talajoldatban oldott sók határozzák meg a pH-t, és a kötött savanyúságot okozó ionok alárendelt szerepet játszanak.

Az „S1” szelvény $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ átlagos értéke lúgos, 8,06. A pH lefutása ebben az esetben is teljesen korrelál a szelvényben mért $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ értékekkel. A kezdeti, felszíni 8,0-as pH érték folyamatosan nő 50 cm-ig, itt éri el a maximumot, a $\text{pH}=8,7$ -t. 50 cm és 100 cm között folyamatosan $\text{pH}=8,0$ körülre csökken a kémhatás, ami állandósul a szelvény 400 cm mélységű aljáig. Az „S1” szelvény esetén is hasonló okok miatt egyezik meg az aktív és a potenciális kémhatás lefutása, döntően a talajoldatban jelen lévő, elsősorban Na^+ és Ca^{2+}

ionok határozzák meg a pH-t, a kötött kationok alacsony koncentrációban vannak jelen az üledékben.

5.2. A vizsgált szelvények vezetőképessége

A desztillált vizes szuszpenzióból mért vezetőképesség adatait a 2. táblázat, a szelvényekben való eloszlást a 8. ábra szemlélteti. Az egyes szelvényekben mért vezetőképesség értékek jelentősen különböznek egymástól.



8. ábra A „K”, „SZ-2”, „X/2” és „S1” szelvények elektromos vezetőképesség értékei

A „K” szelvény átlagos fajlagos vezetőképessége a második legnagyobb, 5,2 mS/cm, a négy mintaterület közül. A vezetőképesség változása a mélység függvényében meglehetősen jellegzetes, a felszínen mért 4,0 mS/cm érték rendkívül gyorsan 20,0 mS/cm fölé növekszik az 50 cm-es mélységben. Ez a maximum érték messze meghaladja többi szelvényben mért értékeket és jelentősen túllépi a sós talajokra adott 4 mS/cm-es határértéket (Bohn és munkatársai, 1985), extrém sósnak mondható, ugyanakkor a Bowen (2009) által Ausztrália part menti vidékein a tengervíz utánpótlással rendelkező szikes tavakban mért 200-300 mS/cm össz-vezetőképességtől elmarad. Az 50 cm-es rétegtől intenzíven csökken a vezetőképesség 130 cm-ig, majd a felszínen is mért 4 mS/cm érték körül ingadozva állandóvá válik a szelvény 400 cm-es, legmélyebb pontjáig. Mivel a vezetőképesség változását

egyértelműen a talajoldatban könnyen oldható, jelen esetben elsősorban Na-sók okozzák, az 50 cm-es rétegben intenzív só felhalmozódási zóna azonosítható.

Az „SZ-2” szelvényben mért értékek jelentősen eltérnek a többi mintapontban tapasztaltaktól. A szelvény átlagos vezetőképessége 1,56 mS/cm, ami a legkisebb a négy mintapont közül, valamint a mélység szerinti eloszlás meglehetősen homogén képet mutat. A 2-3 mS/cm érték körül ingadozva gyakorlatilag állandó a szelvényben mért vezetőképesség, egyedül az 50 cm és 100 cm közötti rétegben figyelhető meg némi emelkedés, ez azonban a többi szelvényben tapasztalt változásokhoz képest elhanyagolható. Az ilyen jellegű eloszlás az üledék erőteljes fizikai keveredésének, illetve a területen alkalmazott intenzív vízmozgatás hatásának tudható be.

Az „X/2” szelvény átlagos vezetőképessége 5,6 mS/cm, ezzel a legnagyobb érték a négy vizsgált területen. Az adatok szelvényen belüli szórása viszonylag nagy, 3,53 mS/cm, ami a felső rétegek megemelkedett értékeinek tudható be. A vezetőképesség változása a felszíntől a mélyebb rétegek felé haladva folyamatosan csökkenő tendenciát mutat. A szelvény felszíni már erősen sós környezetre utaló 10 mS/cm-es értéke a 30 cm-es mélységig folyamatosan nő, itt éri el a szelvénybeli maximumát 13 mS/cm feletti értéket. A 30 cm és 100 cm közötti zónában ez az érték kisebb ingadozásokkal, de állandónak mondható, majd hirtelen 5 cm-en belül (95 cm és 100 cm mélység között) drasztikusan csökken a vezetőképesség, 8 mS/cm alá. A 100 cm-es mélységtől kezdve folyamatosan csökken a vezetőképesség 250 cm mélységig, majd a 2-3 mS/cm tartományon belül maradván a szelvény aljáig állandósul.

A felső 100 cm-es rétegben látható megemelkedett vezetőképesség értékekből arra következtethetünk, hogy a növényzeti fedettség miatt a kapilláris vízemelkedés a száraz periódusokban korlátozott, és a felszíni vízbepótlással a szelvény felső 30 cm-es rétege folyamatosan kilúgozódik. E két ellentétes irányú folyamat eredőjeként megrekednek a nagy vezetőképességet okozó sók a 30 és 100 cm között. Ez a 70 cm vastagságú front egyben a legvastagabb a vizsgált szelvények felhalmozódási zónáját tekintve. Ez azzal magyarázható, hogy az igen nagy mennyiségű sót az ingadozó talajvíz nem tudja kellőképpen mozgatni és a 30 és 100 cm közötti zónában széthúzódik a nagy só koncentrációjú felhalmozódási zóna.

Az „S1” szelvény átlagos vezetőképessége 3,89 mS/cm, az adatok szórása a szelvényben csekély, 1,16 mS/cm. A halnevelőben mért értékek a második legalacsonyabbak a mért szelvények közül. A viszonylag kiegyenlített menetet mutató vezetőképesség a felső 70 cm-es zónában mutat némi változatosságot. A kezdeti 3 mS/cm körüli (egyébként a vizsgált szelvényekhez képest alacsony) vezetőképesség meredeken emelkedik a 40 cm-es mélységig, itt éri el a szelvényen belüli maximumot, 7,5 mS/cm-t. A 40 cm és 100 cm közötti zónában

folyamatosan csökken ez az érték 4 mS/cm-re, majd állandósul a szelvény 400 cm-es mélységéig.

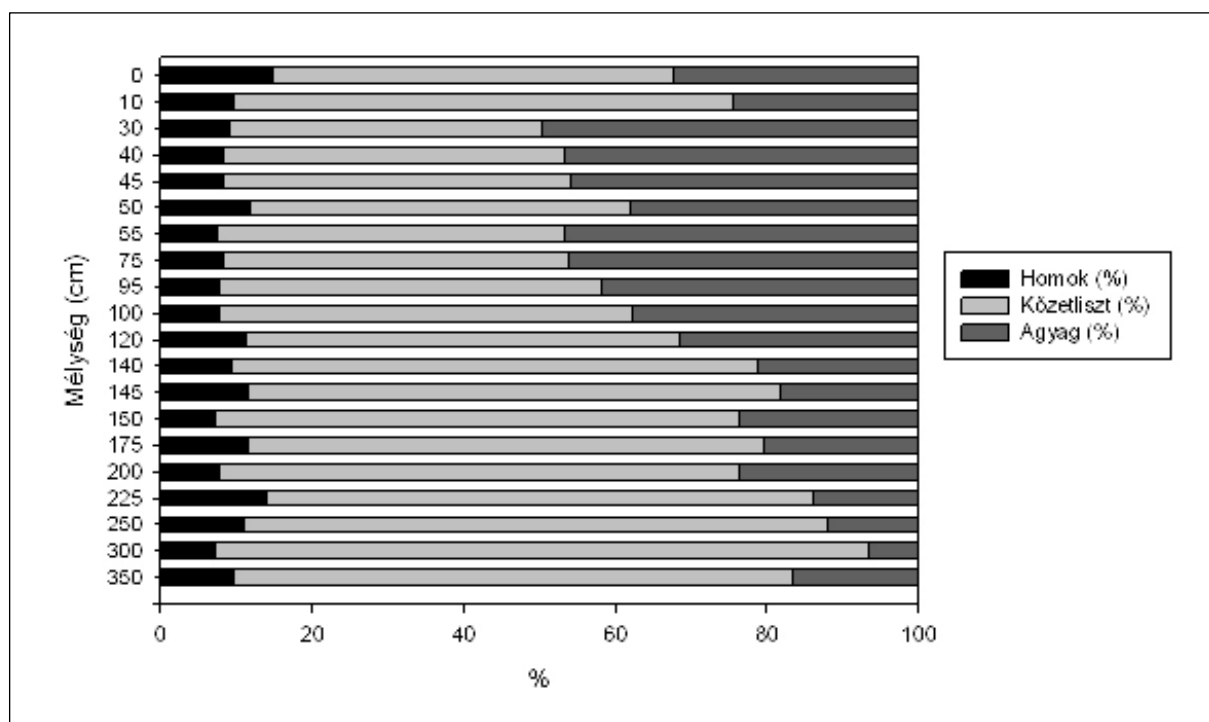
A viszonylag felszínhez közeli sófront azzal magyarázható, hogy a halnevelő 1-2 hónap kivételével folyamatosan vízzel borított, és a száraz periódusban (amikor a mintavételezés is történt) egyrészt csak ilyen mélységig húzódik le talajvíz, másrészt a minimális növényzeti borítás miatt már számottevő a párolgás, ami az oldott sókat a felszín felé mozgatja. Mint a szelvények többségénél, ebben az esetben is a két ellentétes irányú folyamat eredőjeként alakul ki a maximális sótartalmú és vezetőképességű réteg a szelvény 40-50 cm-es szakaszában.

5.3. A vizsgált szelvények szemcseösszetétele

A szelvényekben mért homok, kőzetliszt és agyag frakciók arányait a 3. táblázat ismerteti.

5.3.1. A „K” szelvény szemcseösszetétele

A „K” szelvény uralkodó szemcsefrakciója a kőzetliszt (9. ábra). A szelvényen belüli minimális aránya 30 cm mélységben található, ekkor 41%.



9. ábra A „K” szelvény szemcsefrakcióinak aránya

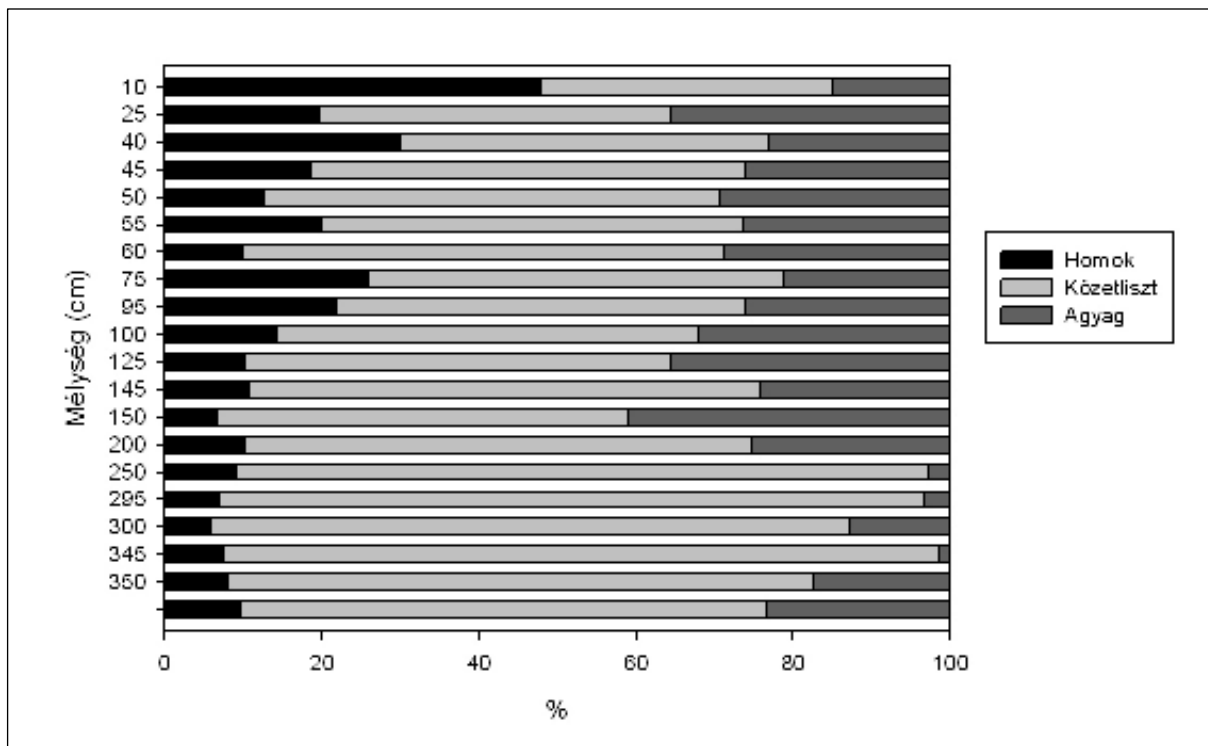
A legnagyobb százalékos részaránya a 300 cm-es szintben látható, ekkor értéke 86%. Az agyagfrakció rendelkezik a második legnagyobb részaránnyal, a legkisebb értéket (6,5%) 300

cm mélységben veszi fel, a legnagyobbat 30 cm-es mélységben (49,5%). A homokfrakció részaránya a legkisebb a szelvényben. A gyakorlatilag állandó, 10% körüli homok minimális ingadozásokat mutat a mélység változásával, minimális értékét (7,3%) a 150 és 300 cm mélységekben, míg maximális arányát (14,8%) a 0 cm-es rétegben veszi fel. Az agyagfrakció szelvényen belüli képe jellegzetes lefutást mutat. A felszíni és a 10 cm mélységű rétegben viszonylag kis, 25-30% körüli részaránya 30 cm mélységben hirtelen 50%-ra ugrik, majd folyamatosan csökken a mennyisége a 300 cm-es mélységig. A folyamatosan csökkenő tendencia az 50 cm és a 140-145 cm mélységű rétegekben törik meg, ezekben az esetekben az agyagfrakció mennyisége a csökkenő tendenciához képest is alacsonyabb értékeket mutat.

A vizsgált terület fejlődéstörténetének ismeretében (Molnár, 1996) az alluviális üledékképződés eredményeként alakult ki a nagy mennyiségű kőzetliszt frakció. Az agyag eredete szintén lehet egyrészt a lebegtetett üledékszállítás másrészt az eolikus folyamatok, azonban az autigén képződés sem kizárható (Kuti és munkatársai, 2003), ennek eldöntése a későbbiekben bemutatott ásványtani, geokémiai és geostatistikai eredmények alapján fog megtörténni a diszkusszió fejezetben.

5.3.2. Az „SZ-2” szelvény szemcseösszetétele

Az „SZ-2” szelvény szemcsefrakcióinak arányai meglehetősen változatos képet mutatnak (10. ábra).



10. ábra Az „SZ-2” szelvény szemcsefrakcióinak aránya

Uralkodóan ebben a szelvényben is a kőzetliszt frakció van jelen, a minimális értékét (37,3%) a felszíni rétegben, míg maximális arányát (91,2%) a 300 cm mélységű rétegében veszi fel. Az agyagfrakció szintén jelentős mennyiségben van jelen a felső 200 cm-es rétegben.

A minimális részaránya (1,4%) a 300 cm-es rétegben, míg a maximális mennyisége (41,1%) a 145-150 cm-es található. A homokfrakció eloszlása is változatos a szelvényen belül, a legnagyobb mennyiségét (47,8%) a felszínen, legkisebb részarányát (5,8%) a 295 cm-es mélységben mértük. Az üledék felső 200 cm-es rétegeiben mind az agyag-, mind a homokfrakció változatos eloszlású, a 200 cm alatti rétegekben a kőzetliszt frakció válik uralkodóvá.

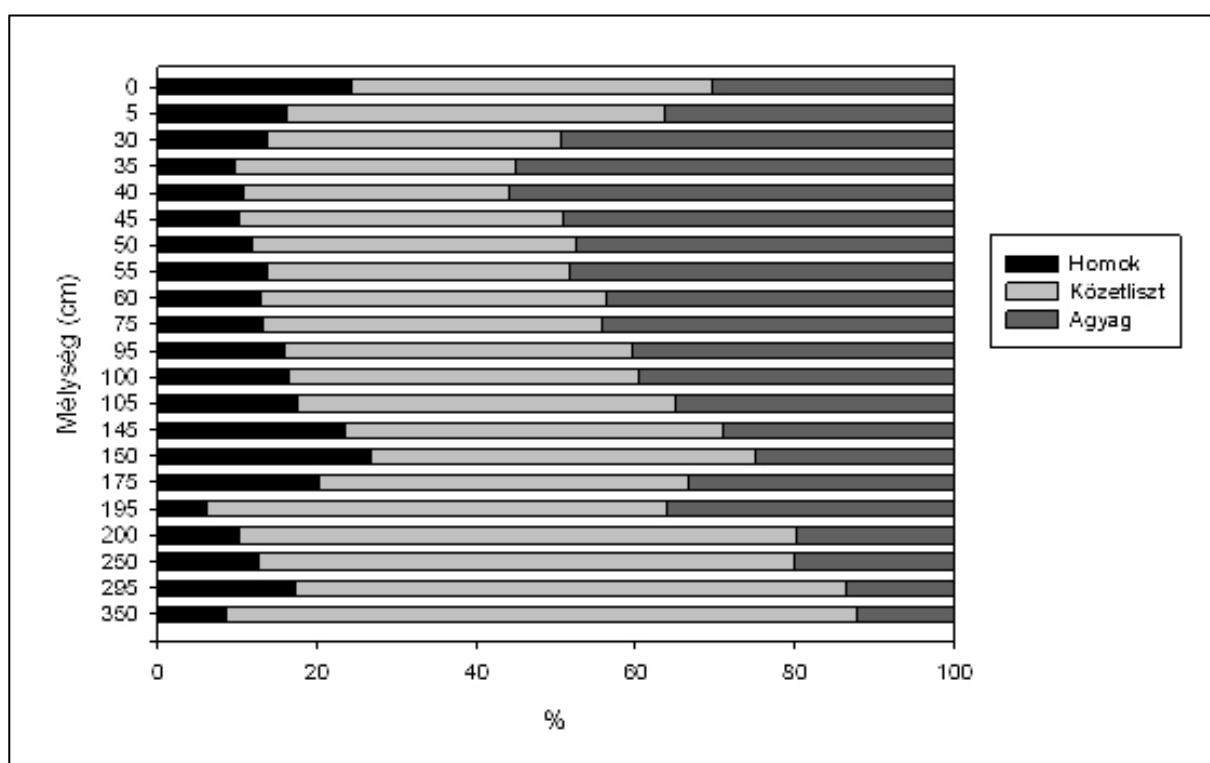
Az agyagfrakció mennyisége a 10 cm és a 145 cm mélységben tapasztalt kiugrások kivételével egyenletesnek mondható. A homokfrakció részaránya a felszíntől a mélység növekedésével alapvetően csökkenő tendenciát mutat, azonban ez a változás négy szakaszra bontható. A felszíni igen magas részarány után az 55 cm-es mélységig csökken a homokfrakció mennyisége, majd 60 cm-nél újra megugrik, majd újra csökken a részaránya 145 cm-ig. 150 cm-től ismét csökken a mennyisége 295 cm-ig, majd folyamatosan nő a szelvény aljáig.

A szemcsefrakciók mélységbeli eloszlása alapján a területen a szedimentációs folyamatok meglehetősen változatosaknak tűnnek. Az uralkodó kőzetliszt frakció a folyóvízi, illetve a vízzel borított, nyugodt üledékképződésre, míg a homokfrakció erőteljesebb megjelenése a szél általi üledékszállítási folyamatokra utal. A terület elhelyezkedéséből valószínűsíthető, hogy az árvizek üledékképző hatása mellett, az ÉNy-i irányú, a homokhátság felől érkező homokszállítás is meghatározó szerepet kapott, főleg a szárazabb és hidegebb periódusokban. Az agyagfrakció homogén eloszlása arra enged következtetni, hogy a leülepedéskor kialakuló eloszlását az intenzív vízmozgás felülírja.

5.3.3. Az „X/2” szelvény szemcseösszetétele

Az „X/2” szelvény szemcsefrakcióinak eloszlását a 11. ábra szemlélteti. Ebben a szelvényben az uralkodó arányú szemcsefrakció az agyag és a kőzetliszt, a homok az előző szelvényekben mért arányban van jelen. Az agyagfrakció részaránya a 350 cm mélységű rétegben a legalacsonyabb (12,3%), a legnagyobb mennyiségben (55,7%) pedig a 40 cm-es rétegben található.

Az egyes frakciók vertikális eloszlása jelentős változásokat mutat. Az agyagfrakció felszíni 30%-os aránya intenzíven növekszik a mélységgel 35 cm-ig, a 35-40 cm-es rétegben éri el a maximális mennyiségét, majd folyamatosan csökken az aránya 150 cm-ig. A 175 cm és 195 cm mélységű szakaszban ismét megugrik a mennyisége, majd újra csökken a mennyisége. A kőzetliszt aránya a felső 200 cm-es vastagságban állandónak mondható (~40%), a 200 cm-nél mélyebb rétegekben megnő a mennyisége 70% körüli értékre. A homokfrakció eloszlása is változatos a mélység függvényében. A felszíni 24%-os aránya folyamatosan csökken a 35 cm-es rétegig, majd a 150 cm-es mélységig ismét nő, ekkor éri el a szelvénybeli maximumát, 27%-t. A 195 cm-es mélységben ismét visszaesik az aránya 10% alá, majd 295 cm-ig újra nő a mennyisége.



11. ábra Az „X/2” szelvény szemcsefrakcióinak aránya

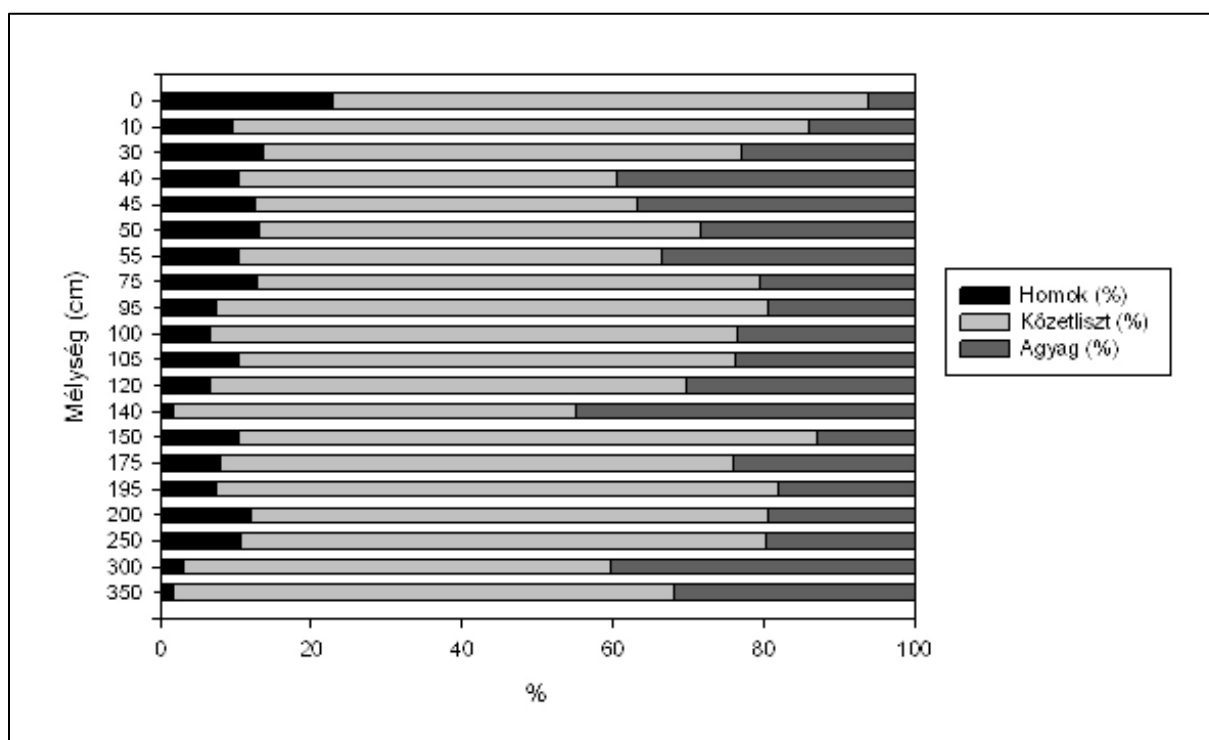
Az agyagfrakció, a szelvény felső 150 cm-es vastagságában tapasztalható, eloszlása arra enged következtetni, hogy a tó fejlődésében jelenleg a vízzel borított időszakokra jellemző finom szemcsés ülepedés zajlik. A felszíni rétegekből a folyamatos vízbepótlásnak köszönhetően a finom frakció kimosódik a mélyebb rétegekbe, ezzel relatíve nő a durvább frakciók mennyisége. Az agyag mennyisége a 175-195 cm-es rétegekben megemelkedik, ez arra utal, hogy a tó fejlődésének e szakaszát ismét a vízzel borított finomszemcsés ülepedés jellemezte. A kőzetliszt frakció aránya az üledék felső 200 cm-es szakaszában állandó, míg a 3-4 m mélységű rétegekben drasztikusan megnő a mennyisége, ami szintén megerősíti azt, hogy terület fejlődésében ekkor elsősorban a vízzel borított ülepedésre jellemző

szedimentációs folyamatok zajlottak. A homokfrakció arányának szelvényen belüli változatosságából a leülepedési folyamatokra következtethetünk. Mivel ez a terület fekszik a legközelebb a Homokhátsághoz, a klimatikus viszonyoknak megfelelően a szárazabb, hidegebb periódusokban intenzív homokmozgás történt (Keveiné és munkatársai, 2000), ez a folyamat okozhatta a homokfrakció részarányának megemelkedését a 150 cm és a 295 cm-es rétegekben. A homok felszíni rétegekben történő megnövekedése relatív dúsulásra azzal magyarázható, hogy a felszínhez közeli rétegekben az intenzív kezelés miatt az agyagfrakció kilúgozódik, így arányaiban megnő a homokfrakció mennyisége.

5.3.4. Az „S1” szelvény szemcseösszetétele

Az „S1” szelvényben mért szemcsefrakció arányok igen változatosak a mélység függvényében (12. ábra).

A mintapontban mélyített fúrás anyagának uralkodó szemcsefrakciója a kőzetliszt. A legkisebb, 50,1%-os részaránya 40 cm mélységben, a maximális, 76,5%-os mennyisége 10 cm és 150 cm mélységben találhatóak. A második legnagyobb arányú szemcsefrakció az agyag.



12. ábra Az „S1” szelvény szemcsefrakcióinak aránya

A legfinomabb szemcseméretű agyag minimális, 6,2%-os mennyiségét a felszínen, míg a legnagyobb arányát (44,7%) 140 cm-es mélységben mértük. Mint az összes vizsgált

szelvényben, az „S1” fúrásban is a legkisebb részarányú szemcsefrakció a homok. Minimális mennyiségben, 1,7-1,8%-ban van jelen a 140 cm és a 350 cm-es mélységekben, míg legnagyobb részarányát (22,9%) a felszínen éri el. A kőzetliszt frakció mélységbeli eloszlása változatos képet mutat. A felszíni rétegekben (0-40 cm) a kezdeti nagy mennyisége lecsökken a 45 cm-es mélységben, majd 75 cm-ig újra nő. A 75 cm és 140 cm közötti mélységben folyamatosan csökken a részaránya, majd 150 cm-nél hirtelen ismét megugrik. Ezután a szelvény legmélyebb pontjáig csökken a mennyisége. Az agyag frakciója a felszíntől a 40 cm-es rétegig egyre nagyobb részarányú, majd e lokális maximum után csökken a mennyisége 95 cm-ig. 95 cm-től 140 cm-ig ismét erősen nő a részaránya, majd újra hirtelen lecsökken a 150 cm-es mélységben. 150 cm és 350 cm között újra emelkedő tendenciát mutat a frakció részarányának vertikális eloszlása. A homokfrakció szelvény menti változása kevésbé jelentős. A felszíntől lefelé haladva csökkenő tendenciát mutat a mennyisége, 140 cm mélységben drasztikusan lecsökken a részaránya.

Az adatok alapján igen változatos és hirtelen változások alakíthatták a mintaterület leülepedési viszonyait. Az agyag és a kőzetliszt frakcióinak döntő túlsúlya a vízzel borított ülepedési körülményeket jelzik. A terület igen közel fekszik a Tiszához, így egyrészt a nedves térszín, másrészt a folyószabályozások előtti folyamatos elöntések alakították ki a terület üledékeit, az ÉNy-i irányból történő, eolikus homok szállítás itt már erősen érezteti a hatását.

5.4. A vizsgált szelvények karbonáttartalma

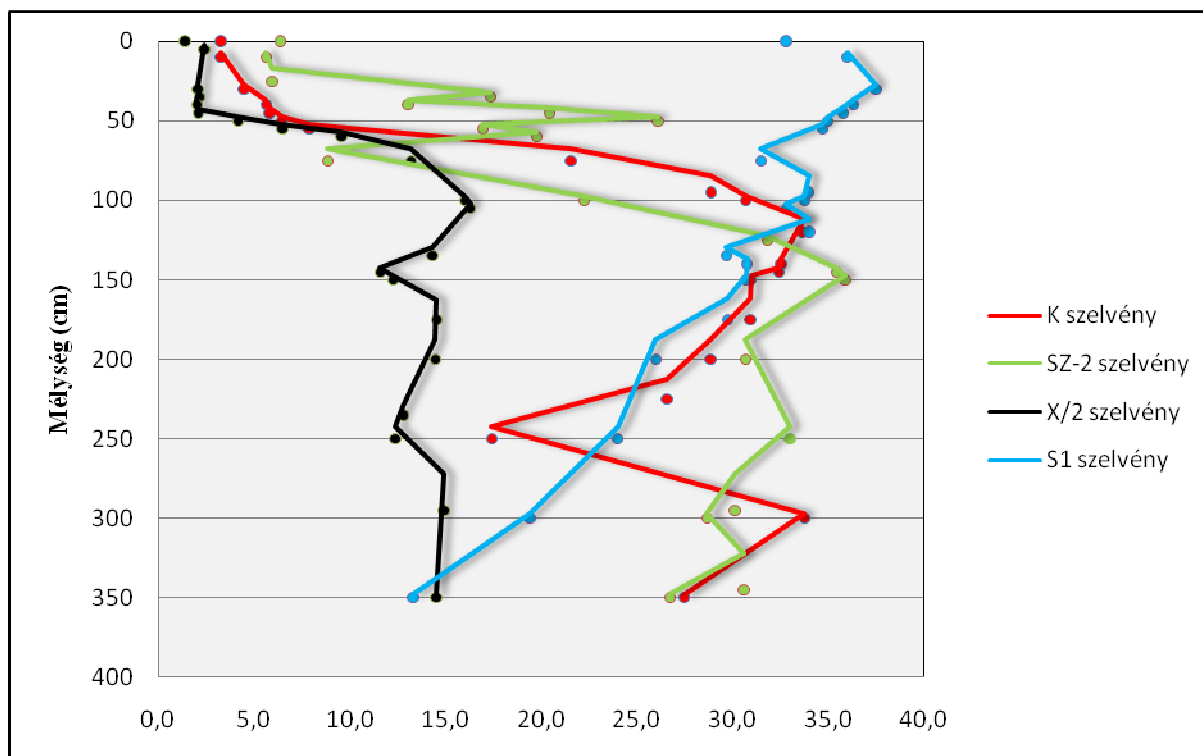
A szelvények karbonáttartalmának vizsgálati eredményeit a 4. táblázat foglalja össze, a karbonáttartalom vertikális eloszlásait a 13. ábra szemlélteti. A szelvények átlagos karbonáttartalma, illetve vertikális eloszlása meglehetősen eltérő a különböző mintaterületeken.

A „K” szelvény átlagos karbonáttartalma 20,6%, ami a vizsgált területeken mért értékek közül a harmadik legnagyobb koncentráció. A szelvényen belül a minimális karbonát mennyiség a felszíni, 0-10 cm-es rétegben jelentkezik, míg a maximális értékek (~33%) a 120-140 cm-es mélységben mutatkoznak. A karbonát vertikális eloszlása jellegzetes képet mutat (ez a szelvényben mért adatok szórásából is látszik), a felszíni nagyon alacsony értékek az 50 cm-es mélységben ugrásszerűen megnőnek, majd a 120 cm-es szintben érik el maximumot. Ezután újra csökken a karbonát mennyisége a 250 cm-es mélységig, majd ismét emelkedni kezd az értéke a szelvény legalsó szintjeiben.

Az „SZ-2” szelvényben mért adatok is jellegzetes karbonát-eloszlást mutatnak a mélység függvényében. A szelvény átlagos karbonáttartalma, a második legnagyobb érték a mért

területek közül, 22,3%. A szelvény legkisebb karbonáttartalma (~6%) a felszíni, 0-30 cm mélységben található, a maximális koncentrációja (35,9%) pedig a 150 cm-es szintben jelentkezik. A karbonát mennyiségének változása a szelvényben kétszer mutat maximumot. A kezdeti minimális karbonát koncentráció folyamatosan növekszik az 50 cm-es mélységig, ekkor éri el az első maximumát (26,1%), majd a 75 cm mélységű szintig újra lecsökken a karbonáttartalom 8,9%-ra. 75 cm és 150 cm között ismét erősen növekszik a karbonát koncentrációja, és a 150 cm-es rétegben éri el a szelvénybeli maximumát. Ezután a szelvény legalsó szintjéig kisebb megugrásokkal ugyan, de folyamatosan csökken a karbonát mennyisége.

Az „X/2” szelvényben tapasztalt karbonát-eloszlás hasonló képet mutat, mint az előző két, bemutatott szelvényben látott. Ugyanakkor e szelvényben a legkisebb a karbonát koncentrációja a vizsgált területek közül, 9,4%. A karbonát mennyisége szintén az előző két szelvényhez hasonlóan a felszínen a legkisebb, 1,4%. A karbonát koncentrációja a 100-105 cm-es szintekben éri el maximumát (~16%). A karbonát szelvény menti eloszlása meglehetősen hasonlít a „K” szelvényben tapasztalt lefutáshoz, a felszíni minimális karbonáttartalom állandó a felső 50 cm-es rétegben, majd 50 cm-től 105 cm-ig erőteljesen növekszik a mennyisége. A 105 cm-es mélységben mért maximuma után a 350 cm-es mélységű rétegig állandónak mondható a mennyisége.



13. ábra A „K”, „SZ-2”, „X/2” és „S1” szelvények karbonáttartalma (%)

Az „S1” szelvény karbonáttartalmának vertikális eloszlása teljesen eltér a másik három szelvényben tapasztalt lefutásoktól. Nemcsak ebben, hanem az átlagos karbonát koncentrációban is jelentősen különbözik ez a szelvény a fentebb bemutatottaktól, a szelvény átlagos karbonáttartalma a legmagasabb, 30,9%, a vizsgált területek közül. A karbonát mennyiségének szelvénybeli minimális értéke a 350 cm-es mélységben, míg a maximális koncentráció a 30 cm-es rétegben látható. A karbonát koncentrációja a mélység növekedésével folyamatosan csökken, nem tapasztalhatóak lényeges kiugrások, ami a szelvény szórás értékéből is látszik.

5.5. A vizsgált szelvények szerves anyagának minősége és mennyisége

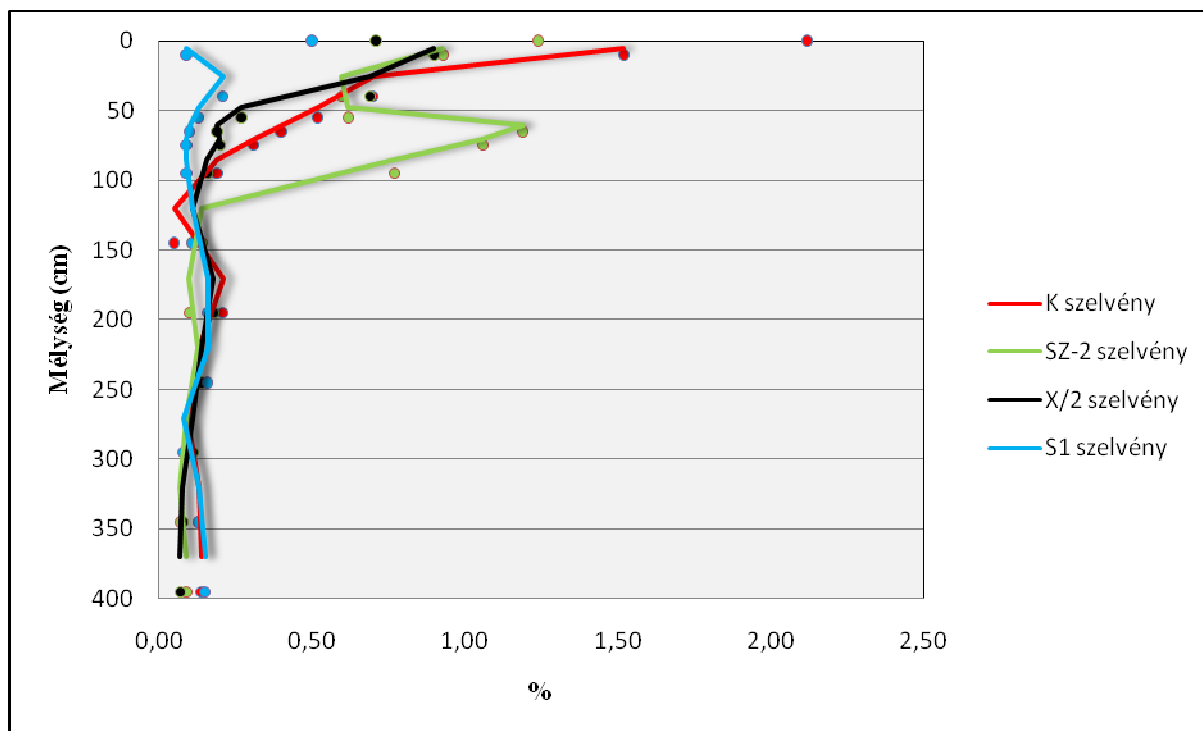
A szervesanyag-tartalom vizsgálatokor első körben azt határoztuk meg, hogy mely üledékszintekben fordul elő értékelhető mennyiségű szerves anyag. Ezen elsődleges szervesanyag-tartalom vizsgálatok után reprezentatív üledékszinteket jelöltünk, amelyekből elvégeztük a szerves anyag részletes minőségi és mennyiségi mutatóinak vizsgálatát. A részletes vizsgálatok eredményeit a Hetényi et al. (2005) és Sebag et al. (2006) által kidolgozott matematikai dekonvolúciós eljárással elemeztük. Végül a „K” és „SZ-2” szelvényekben található szén és nitrogén izotóp vizsgálatainak eredményeit használtuk fel a szerves anyag eredetének meghatározására.

5.5.1. A vizsgált szelvények szerves anyagának mennyisége

Az elsődleges összes szerves szén tartalom (Total Organic Carbon [TOC]) vizsgálatok eredményeit a 5. táblázat ismerteti, míg a szerves anyag mennyiségének vertikális eloszlásait az egyes szelvényekben a 14. ábra mutatja be.

Általában jellemző tulajdonság, hogy minden szelvény relatíve kis TOC értékekkel rendelkezik. A „K” szelvény átlagos TOC értéke 0,50%, az SZ-2 esetében ez az érték hasonló, 0,54%, míg az „X/2” szelvény 0,29%, az „S1” pedig a legkisebb, 0,15%-os TOC-val rendelkezik. Elsősorban minden szelvény esetében a felső 100 cm-es rétegben tapasztalható jelentősebb mennyiségű szerves anyag, a 100 cm alatti szintekben minimális a TOC értéke.

A „K” szelvény felső 10 cm-es szintjében a legnagyobb a TOC értéke (egyedül ebben az esetben nagyobb 2%-nál a szerves anyag mennyisége). A szelvény felső szintjeinek magas TOC értéke jelentősen csökken a 100 cm-es rétegig, majd a szelvény aljáig minimalizálódik a mennyisége.



14. ábra A „K”, „SZ-2”, „X/2” és „S1” szelvények összes szerves szén tartalma (TOC)

Az „SZ-2” szelvényben is a felső 10 cm-es réteg rendelkezik viszonylag nagyobb szervesanyag-tartalommal. A felszíni 1,24%-os érték szintén a 100 cm-es mélységig csökken minimálisra, azonban a 65-75 cm-es mélységben jelentősebb kiugrás tapasztalható. A 100 cm-es szint alatt e szelvény esetében is minimálisra (0,2%) csökken a szerves anyag mennyisége.

Az „X/2” szelvény lényegesen kevesebb szerves anyagot tartalmaz az előzőekben bemutatott szelvényeknél, átlagosan 0,29%-ot. Csak a felső 40 cm-es rétegben van némi szerves anyag, a 75 cm alatti rétegekben minimálisra (0,1%) csökken a mennyisége.

Az „S1” szelvény gyakorlatilag elhanyagolható mennyiségű szerves anyagot tartalmaz (átlagosan 0,15%), csak a felszíni rétegben található értékelhető, 0,5%-os TOC érték.

A négy szelvény szerves szén mennyisége igen kicsi a hasonló tavakban (Jellison et al., 1996; Valero-Gracés et al., 2000; Varandas da Silva et al., 2008) mért 10-20%-os értékhez, illetve az átlagos talajokban található mennyiségekhez (5-6%) képest is (Stefanovics et al., 1999). Ennek egyik oka a nagy sótartalom és a lúgos kémhatás. Rahimi et al. (2000) kimutatták, hogy szikes-szódás talajok esetében növekszik a szerves anyag degradációja. Ugyanerre a következtetésre jutott Valero-Garcés is (2000), vagyis a TOC csökken a sótartalom növekedésével.

A szinte állandóan növényzettel borított „K” és X/2” szelvények esetében a legmagasabb a mért szerves szén mennyisége, így a szerves anyag folyamatos utánpótlása és felszín közeli megemelkedett értéke jól tükrözi a növényzeti adottságokat. A TOC „K” és „X/2”

szelvényeken belüli lefutása a szikes réti talajokhoz hasonló (Herke, 1983). A szerves szén mennyiségének felszíntől való folyamatos csökkenése a mélység növekedésével, szintén azt mutatja, hogy ezek a területek tartósan a jelenlegi állapotokhoz hasonlóan fejlődtek. Az „S1” szelvény minimális TOC értékei egyértelműen azt tükrözik, hogy a szerves anyag nem őrződik meg az üledékben, hanem a rövid száraz periódusokban az oxidatív környezetben elbomlik. Hasonló körülmények között ugyanezt a folyamatot írta le Laura (1974) és Emerson (1984) is, aki megállapította, hogy a szikesedés intenzitásának növekedésével nő a talaj degradációja és csökken a szerves anyag mennyisége. A halnevelő az egykori természetes állapotában is partmenti területen feküdt, ahol a nagyrészt állandó vízborítás mellett a rövid kiszáradások idején elbomlott az előzőleg leülepedett szerves anyag. A jelenlegi halgazdasági használat pedig hasonló folyamatokat eredményez a szerves anyag felhalmozódásában. A rövid száraz periódus alatt ugyan kevesebb növényzet fejlődik a területen, ami az elárasztással a következő leeresztésig elrohad, és a partmenti növényzetből is van utánpótlás, azonban a következő leeresztéssel újra oxikus körülmények alakulnak ki, ami a szerves anyag degradációját okozza, így az nem tud megőrződni.

Az „SZ-2” szelvényben mért TOC értékek eloszlása eltér az előbb tárgyaltaktól, több maximumot is mutat. Ez a terület mind az egykori természetes, mind a jelenlegi mesterséges állapotában a klasszikus szikes területeknek megfelelő hidrodinamikával rendelkezik, azaz a tavaszi hónapok végén a nyár végéig kiszárad, majd ősszel újra feltöltődik vízzel. Mivel a zárt szikes, sekély tavak rendkívül érzékenyen megőrzik a klimatikus viszonyok változását (Meyers 2003; Das et al., 2008), ezért valószínűsíthető, hogy a szelvényben a TOC eloszlása a változó hidrológiai körülmények következménye.

5.5.2. A vizsgált szelvények szerves anyagának minősége és összetétele

Mivel a szerves anyag mennyiségi és minőségi paramétereinek meghatározásához alkalmazott Rock-Eval pirolízis módszere talajok és üledékek esetében 0,2-0,3% feletti TOC érték esetén ad megbízható információt (Hetényi és munkatársai, 2005), ezért a további, részletes szerves anyag vizsgálatokat csak a felszíni 100 cm-es rétegből végeztük a „K”, SZ-2”, és az „X/2” szelvényekben. Sajnos az „S1” szelvényben annyira kevés a TOC értéke, hogy abban a szerves anyag minőségi és mennyiségi mutatóinak vizsgálata nem volt lehetséges ezzel a módszerrel. Mivel az „X/2” szelvényben is csak a felső 40 cm-ben volt értékelhető mennyiségű szerves anyag, ezért ebben az esetben sem volt lehetséges a minőségi mutatók vizsgálata. Így a „K” és SZ-2” szelvények felső 100 cm-es rétegében végeztük el a szerves anyag részletes mennyiségi és minőségi paramétereinek meghatározását. A két szelvény

esetében először ismertetjük a felső 100 cm-es rétegben mért TOC és hidrogén index (Hydrogen Index [HI]) értékeit. Ezután bemutatjuk a különböző stabilitású szerves anyag csoportok (F1, F2, F3, F4) arányainak eloszlását a szelvények felső 100 cm-es rétegeiben.

A HI az egységnyi tömegű TOC-ből, a pirolízis során felszabaduló szénhidrogén (CH) mennyisége. Minél nagyobb az értéke a mintában, annál nagyobb a még nem szénült CH mennyisége. Mivel a szerves anyag érésekor egyre kevesebb a pirolízissel felszabadítható CH mennyisége, így a HI-ből közvetetten a minta szerves anyagának érettségére és hasonló képződési körülményeket feltételezve annak relatív korára következtethetünk.

A Rock-Eval pirogramok matematikai bontásával az üledékben felhalmozódott szerves anyag négy jellegzetes osztálya adható meg (Sebag et al., 2006). Az F1 mutató adja meg a friss növényi anyagok és az esetleges avar állapotú szerves anyag mennyiségét. Az F2 komponens az ellenállóbb biopolimerek (lignin, cellulóz) mennyiségét mutatja meg. Az F3 mutató az éretlen geo-makromolekulák, a tágabb értelemben humuszos anyagok mennyiségét adja meg. A termikusan stabil, érett geo-makromolekulák mennyiségére pedig az F4 értékéből következtethetünk.

Az F1 és F2 bio-makromolekula osztályok relatív evolúciójának kifejezésére vezették be az F1/F2 arányt mutató „R” értéket (Disnar et al., 2003), és megállapították, hogy a füves talajok globálisan nagyobb „R” értéket mutatnak, mint az erdei talajok. A füves vegetációk zömében a fűfélék labilis biopolimerjeiből álló szerves anyagot, míg a fás szárú növények alapvetően stabilabb ligno-cellulóz alapú szerves anyagot hoznak létre az üledékekben. Az F1/F2 arány nem csak a szerves anyag forrására, hanem a degradációs folyamatokra is utal. A kis mértékű degradáció az „R” érték növekedését okozza, hiszen a labilis bio-makromolekulák (F1) még nem alakultak át. A kis „R” érték pedig arra utal, hogy a labilis bio-makromolekulák (F1) már átalakultak humuszanyagokká (F3), tehát relatíve csökkentik az F1/F2 arányt. Így az „R” mutató a szerves anyag szedimentációs és humifikációs folyamatainak lokális mutatója, amely függ az adott mintaterület szerves anyagának forrásától, a konzerválódási feltételektől és a szerves alkotók szelektív bomlásától.

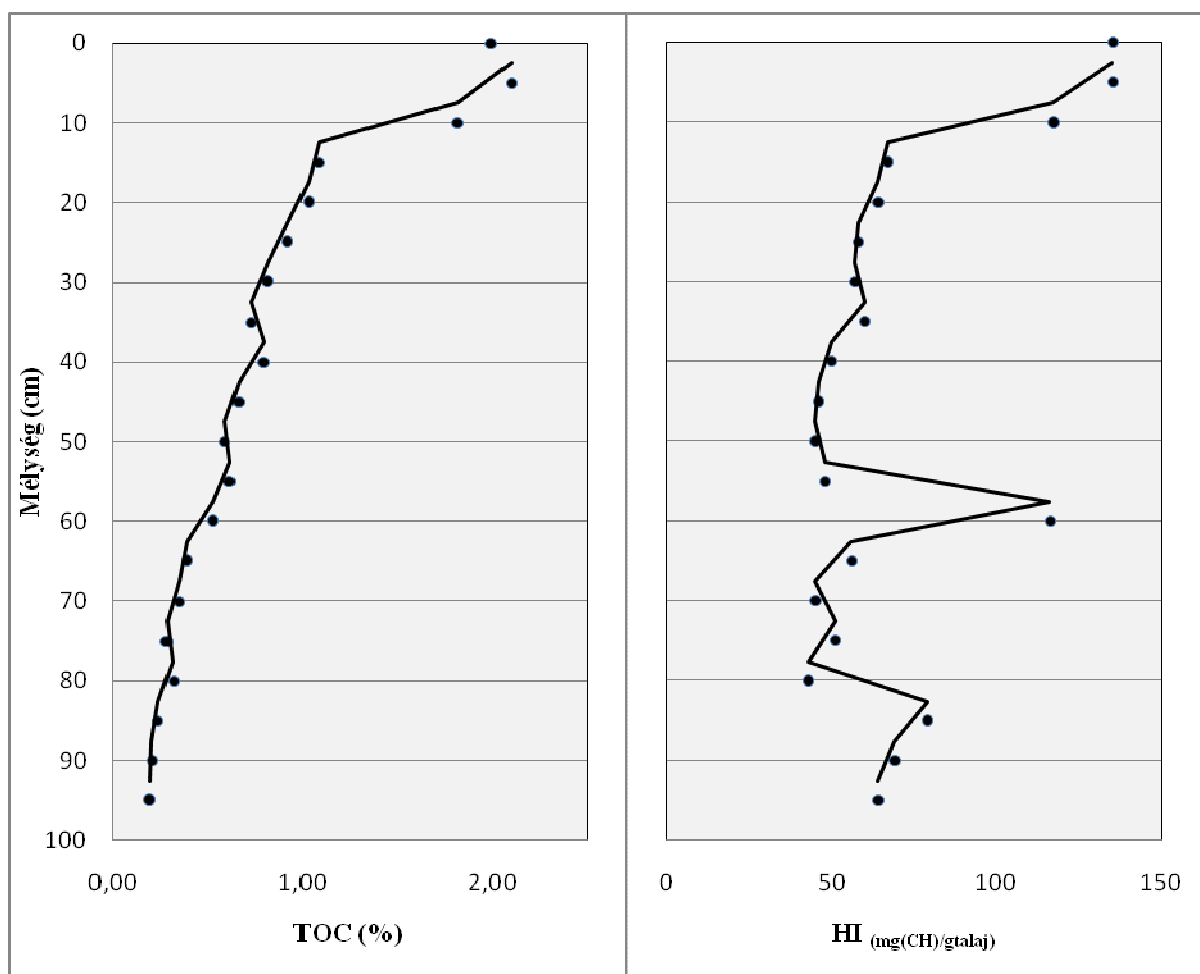
A szerves anyag degradációs folyamatainak számszerű leírására Sebag et al. (2006) bevezette az „I” index használatát, amely a $\log[(F1+F2)/F3]$ összefüggés alapján számítható. Ez a mutató tulajdonképpen a biológiai inputból származó anyag (F1 és F2) arányát adja meg az éretlen geo-makromolekulák (F3), a tágabb értelemben humusz-anyagokhoz képest. Az „I” index kiválóan illusztrálja a szerves anyag forrását jelentő növényzet és a környezeti viszonyok hatásait a humifikációs folyamatokra (Kögel-Knabner, 2000). Az „I” index értékei

kisebbség a gyér vegetáció alatt fejlődő talajokban, nagyobbak a dús növényzetű, vagy gyűjtőmedencében fejlődött területek esetében.

5.5.2.1. A „K” szelvény szerves anyagának minőségi jellemzői

A „K” szelvény felső 100 cm-es rétegében mért összes szerves szén tartalom és a HI lefutását a 6. táblázat és a 15. ábra szemlélteti.

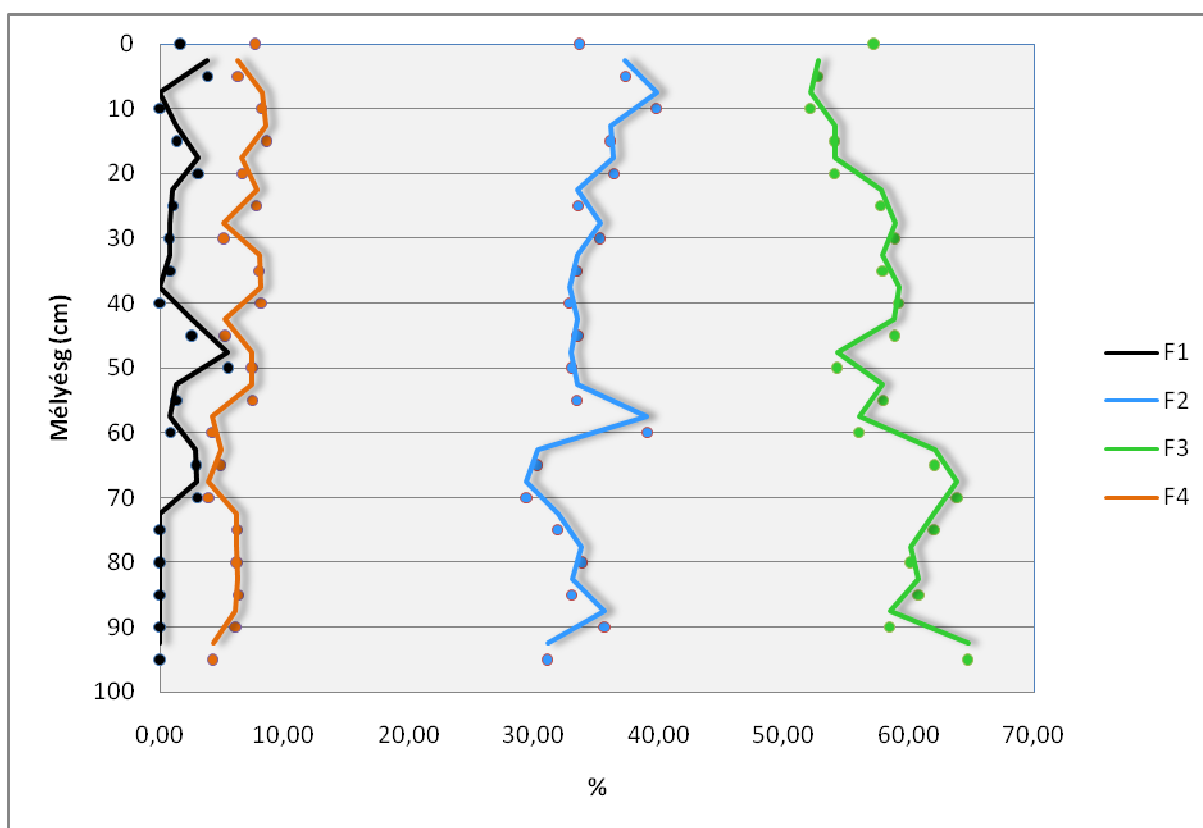
A TOC értékei a felszíni rétegekben maximálisak (~2%), a felső 15 cm-es rétegben felére csökken a mennyisége, majd a mélység növekedésével folyamatosan csökken a szerves anyag koncentrációja, amíg a 90-100 cm-es rétegekben eléri a Rock-Eval pirolízis értékelhetőségi küszöbértékét (0,2 %). A HI lefutása is hasonlít a TOC esetében mértékekhez, a felső 15 cm-es rétegben a legnagyobb az értéke, majd 15 cm-től 55 cm mélységig folyamatosan csökken a mennyisége. A 60 cm-es rétegben kiugrás tapasztalható. A 65-80 cm-es rétegben állandó a HI értéke, majd 85 cm-nél újabb kiugrás látható.



15. ábra A „K” szelvény TOC és HI értékei a mélység függvényében

Az egyes szerves anyag csoportok mélység szerinti eloszlását a 6. táblázat és a 16. ábra szemlélteti.

A F1-F4 mutatók szelvénybeli lefutása minden esetben egyenletesnek mondhatóak. Egyedül a 60 cm-es rétegben figyelhető meg jelentősebb változás, egyébként minimális ingadozás mellett mind a négy mutató eloszlása homogénnek tekinthető. A labilis bio-makromolekulák (F1) mennyisége minimális, kisebb kiugrásokat a felszíni, illetve az 50 cm-es rétegekben mutat. A stabil bio-makromolekulák igen nagy, több mint 30%-os mennyiségben vannak jelen a szelvényben, csak a felszíni, illetve a 70 cm mélységű rétegben tapasztalható kisebb csökkenés. Az éretlen geo-makromolekulák (F3) vagy humusz anyagok vannak a legnagyobb mennyiségben jelen a szelvényben. Az F3 értéke a felszíntől a mélység növekedésével emelkedik, csak az 50-60 cm-es rétegekben esik némileg vissza az értéke. A stabil, érett geo-makromolekulák értéke állandó, 7-8%-nyi a szelvényben.



16. ábra A „K” szelvény F1, F2, F3, F4 értékei a mélység függvényében

Az F1 mutató alacsony és az F2 index magas értéke alapján a terület fejlődésében általában a dús vegetáció jellemző, ezt erősítik meg a szelvény alacsony „R” értékei is (6. táblázat). Az F2 értéke a 60 cm-es mélységben mintegy 10 %-al több mint a környező rétegekben, ebből arra következtethetünk, hogy a terület fejlődésének e szakaszában hirtelen és rövid idejű változás történhetett, friss, elsősorban szárazföldi eredetű szervesanyag-felhalmozódás történt. A humusz anyagok (F3) kiemelkedő mennyiségéből, illetve az „I” index értékeiből (6. táblázat) arra következtethetünk, hogy a szelvényben állandó és erőteljes humifikációs

folyamatok zajlanak, a terület állandónak tekinthető körülmények uralkodtak a szerves anyag felhalmozódása és átalakulása során, a szerves anyag érése gyakorlatilag folyamatos. Az F3 értéke egyedül az 50-60 cm mélységű rétegekben esik vissza. Tekintve, hogy a stabil biomakromolekulák (F2) értéke ezzel párhuzamosan megnövekszik ebben a szintben, arra következtethetünk, hogy a szerves anyag felhalmozódása ebben a rétegben megváltozott, döntően szárazföldi szerves anyag utánpótlás mellett a humifikációs folyamatok visszaszorultak.

A mutatók szelvénybeli lefutásából arra következtethetünk, hogy a szelvény felső 15 cm-es rétegében intenzív változás történt az üledékképződés során. A hasonló üledékképződési feltételekkel rendelkező argentin szikes tavakban Varandas da Silva et al. (2008) 0,7 cm/év felhalmozódási sebességet állapítottak meg. Ilyen jelentős üledékképződési sebesség a zárt, sekély vízszintű tavakban normális (Jones és Deocampo, 2005). Arnason et al. (2003) az USA, New York államában, ipari területen fekvő tavakban 50 év alatt 168 cm üledékfelhalmozódást, azaz 4 cm/év üledékképződési sebességet tapasztaltak. 1 cm/év (vagy a vizsgálati területen alacsonyabb) felhalmozódási sebesség mellett a „K” szelvény 15 cm-es mélységében látható változás az értékekben 20-40 évet jelenthet, ez pedig jól egybevághat a terület halgazdasággá való átalakításának időpontjával. Ezek alapján a felső rétegekben tapasztalható TOC, HI, F1 és F3 értékek növekedése a terület antropogén átalakításának következménye, az addig part-menti, döntően gyér vegetációjú terület a tereprendezéssel szikes rétté alakult, állandó növényzeti fedettséggel, így friss szerves anyag utánpótlással, valamint megnövekedett szerves anyag humifikációval. A HI és az F2 index kiugró értéke a 60 cm mélységű rétegben arra enged következtetni, hogy az üledékképződés ebben a szintben hirtelen szárazföldi körülmények között történt, ami azonban csak viszonylag rövid ideig tartott a területen.

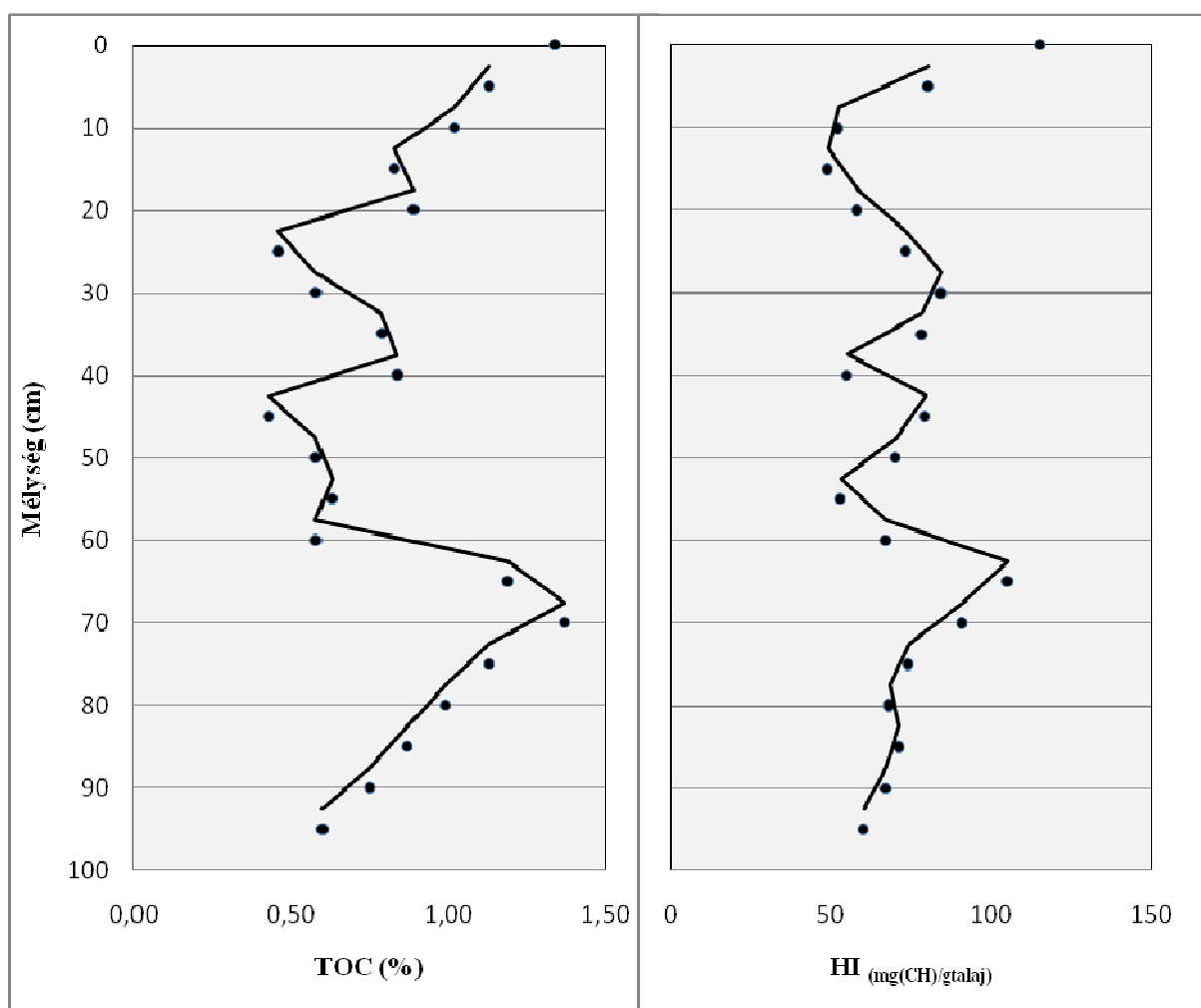
5.5.2.2. Az „SZ-2” szelvény szerves anyagának minőségi jellemzői

Az „SZ-2” szelvényben mért TOC és HI értékeit a 6. táblázat és a 17. ábra szemlélteti. A szelvényben tapasztalható TOC és HI eloszlások lényegesen eltérnek a „K” szelvényénél tapasztaltaktól.

A TOC szelvény menti eloszlása meglehetősen heterogén. A felszíni 15 cm vastagságú rétegben 1-1,5% mennyiségű szerves anyag van jelen, ami a 25 cm-es réteig 0,5% alá csökken. A 25 cm és 40 cm mélységű rétegek között ismét emelkedik a TOC értéke, majd a 45 cm-es réteig újabb csökkenés tapasztalható. A 45-60 cm mélységű rétegben állandónak tekinthető a szerves anyag mennyisége, azonban 60 cm és 70 cm között drasztikusan megnő,

és eléri a felszínen mért ~1,4%-os értéket. Ezután 70 cm-től a szelvényben folyamatosan csökken a TOC értéke.

A HI is változatos lefutást mutat az „SZ-2” szelvényben, és szintén jelentősen eltér a „K” szelvényben tapasztalt eloszlástól. A felszíni rétegben igen magas az értéke, majd csökken a 15 cm-es mélységig, ezután folyamatosan növekszik az értéke a 30 cm mélységű rétegig. 30 és 40 között ismét csökken a HI, majd 45 cm-en újabb lokális maximum tapasztalható. 45 cm-től folyamatosan csökken az érték 55 cm-ig, majd meredeken emelkedik a 65 cm-es mélységig. 65 cm-től a szelvény 100 cm-es rétegéig folyamatosan csökken a mennyisége.

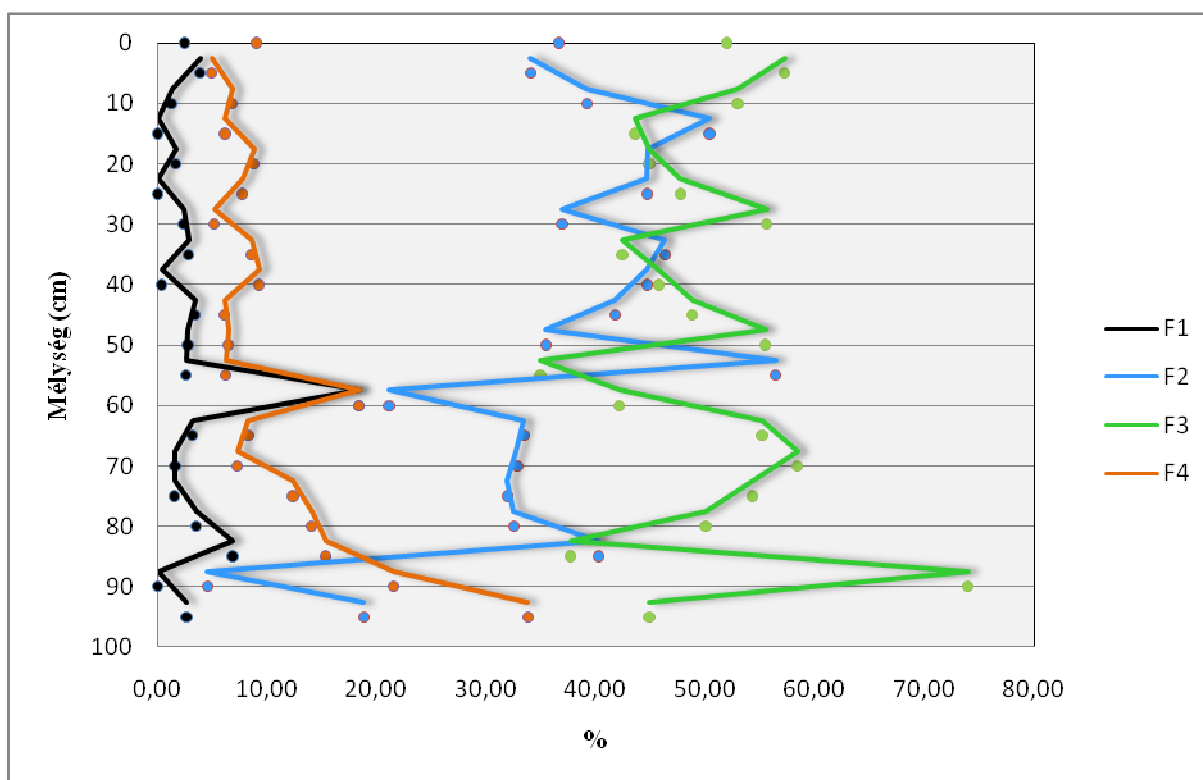


17. ábra Az „SZ-2” szelvény TOC és HI értékei a mélység függvényében

A TOC és HI értékeinek változatos eloszlása azt mutatja, hogy a területen meglehetősen változatos volt a szerves anyag felhalmozódása, mind a mennyisége mind a minősége sokszor változott a szedimentációs folyamatok során. A hasonló sekély vizű üledékgyűjtő medencék rendkívül alkalmasak a klimatikus viszonyok megváltozásának nyomon követésére (Ryves et al., 1996; Pathak és Rao, 1998; Ariztegui et al., 2000). A TOC és HI értékeiből jelen esetben is arra következtethetünk, hogy a terület sokszor változtatta meg állapotát, a klimatikus

változásoknak megfelelően a sekély vízszint folyamatosan ingadozott, a szerves anyag forrása is változott, és ezeket a változásokat a tó üledékében található szerves anyag megőrizte.

Ezek a szerves anyag felhalmozódásában történt változások jól nyomon követhetőek a szelvényben mért F1, F2, F3, F4 indexek lefutásán is (6. táblázat, 18. ábra). A szerves anyag összetételének változásai szinte kivétel nélkül ugyanazokban a rétegekben fordul elő, ahol a TOC és HI változások is láthatóak.



18. ábra Az „SZ-2” szelvény F1, F2, F3, F4 értékei a mélység függvényében

A labilis bio-makromolekulák (F1) mennyisége minimális a szelvényben, egyedül a 60 cm-es rétegben látható egy nagyobb a 85 cm-es mélységben pedig egy kisebb kiugrás. Ez azt mutatja, hogy a terület szerves anyagának forrása döntően nem lágyszárú növényekből származik.

A stabil bio-makromolekulák (F2) mennyisége erőteljesen változik a szelvényben. Az F2 értékeinek lokális minimumai az 5 cm, 30 cm, 50 cm, 60 cm és 90 cm mélységekben, míg a maximumai a 15 cm, 35 cm, 55 cm és 85 cm-es rétegekben látható. Az F2 index minimum értékei arra engednek következtetni, hogy ezekben a mélységekben a döntően cellulóz alapú növényi utánpótlás csökkent valamint megnövekedett a szerves anyag humifikációjának intenzitása. Hasonló tapasztalatokat közölt Rohling (1994) és Almquist et al. (2001), akik megállapították, hogy a vízzel borított periódusokban lényegesen nagyobb a szerves anyag humifikációjának intenzitása. A maximum értékek helyein erősödött a fás szárú vagy nagy

rosttartalmú (pl.: nád) növényi szervesanyag-utánpótlás, illetve csökkent a szerves anyag degradálódásának sebessége.

Az éretlen geo-makromolekulák (F3) mennyisége – hasonlóan a „K” szelvényben mértékhez – a legnagyobb a szelvényben. Az F3 index értéke is jelentősen ingadozik a szelvényben és gyakorlatilag komplementere a F2 index lefutásának. A humusz anyagok maximális mennyisége az 5 cm, 30 cm, 50 cm, 70 cm és 90 cm mélységű rétegekben látható, míg a minimumai a 15 cm, 35 cm, 55 cm és 85 cm-es rétegekben tapasztalhatóak. Az F3 index maximális értékei az adott szintekben az erőteljesebb humifikációra utalnak, míg a minimális értékek a szerves anyag degradálódásának visszaszorulását jelzik. Az F2 és F3 mutatók változásaiból arra következtethetünk, hogy a 15 cm, 35 cm, 50-55 cm, illetve a 85 cm-es rétegekben a klimatikus körülmények nem kedveztek a humifikációs folyamatoknak, a döntően nagy cellulóz tartalmú szerves anyag nem tudott megfelelően átalakulni. Hasonló eredményre jutott Köster et al. (2004) is, aki megállapította, hogy a döntően száraz klimatikus viszonyok nem kedveznek a humifikációs folyamatoknak. A 0 cm, 30 cm, 50 cm, és 85 cm-es rétegek esetében pedig nedvesebb időszakok valószínűsíthetőek, ahol a stabil bio-makromolekulák erőteljesebb degradáció során humusz anyagokká alakultak.

A stabil, vagy inert geo-makromolekulák mennyisége a szelvény felső rétegeiben kicsinek mondhatóak. A 60 cm-es mélységben kiugró, 20% körüli érték látható, majd kisebb csökkenés után 70 cm-től jelentősen, 30% fölé nő az F4 index értéke. Abból, hogy a 60 cm-es rétegben az F1 és F4 értéke jelentősen megugrik, míg a stabil biopolimerek mennyisége jelentősen lecsökken, arra következtethetünk, hogy a tó fejlődésének e szakaszában erőteljesen megnőtt a lágyszárú növények dominanciája a szerves anyag utánpótlásában. Az F4 index értékének relatív növekedése a legalsó rétegekben arra utal, hogy a szerves anyag degradációja gyakorlatilag teljesen végbement.

5.5.2.3. A „K” és „SZ-2” szelvények szerves anyagának eredete

A szelvények szerves anyagának eredete meghatározható a Meyers (2003) által kidolgozott módszerrel. A módszer lényege, hogy az üledék $\delta^{13}\text{C}$ és $\delta^{15}\text{N}$ izotópjainak meghatározása után meghatározzuk a C/N molekula arányt. A C/N arányt a vízszintes, míg a $\delta^{13}\text{C}$ értékét a függőleges tengelyen ábrázolva csoportosíthatóak a szerves anyag forrásai. Alacsony C/N arány (<10) és alacsony $\delta^{13}\text{C}$ (-25 és -30 között) esetén a szerves anyag forrása zömében alga eredetű (Meyers, 1997). Ha a C/N arány 20, vagy nagyobb és a $\delta^{13}\text{C}$ értéke -25 és -30 között van a szerves anyag szárazföldi, C3 típusú. Ha a C/N aránya 35, vagy nagyobb és a $\delta^{13}\text{C}$ -10 és -15 között van a a szerves anyag szárazföldi, C4 típusú. Természetesen a biokémiai,

diagenetikus, és hidrológiai folyamatok módosíthatják ezeket az arányokat (Meyers és Lallier-Vergés, 1999).

A „K” szelvény 10, 25 és 75 cm mélységű szintjeiben áll rendelkezésre a $\delta^{13}\text{C}$ és $\delta^{15}\text{N}$ mennyisége és a C/N arány (6. táblázat). Az előzőekben ismertetett osztályozási módszer alapján a szelvény 10 cm-es rétegében felhalmozódó szerves anyag eredete egyértelműen szárazföldi. A szárazföldi eredet jól korrelál a szelvény e szintjében található stabil, elsősorban fás szárú növényekből származó stabil bio-makromolekulák megnövekedett értékével (16. ábra). A szelvény 25 cm-es mélységében szintén elsősorban szárazföldi eredetű a szerves anyag, azonban itt már az alga és a szárazföldi eredet határán mozog az érték, így a szerves anyagnak e két forrásból keveredhetett. A keveredett forrásra utalhat az, hogy a humusz anyagok (F3) (16. ábra) e szint felett kisebb mennyiségben fordulnak elő, mint a szelvény mélyebb rétegeiben, tehát egy mérsékelt nedves periódus szárazodásának eseménye valószínűsíthető. Ebben az esetben a nedves térszín egyrészt kedvezett a humifikációs folyamatoknak, másrészt a cellulóz alapanyagú forrás mellett az időszakos algaforrás sem kizárható. A szelvény 75 cm-es szintjében mért adatok egyértelműen nem sorolhatóak egyik, az alfejezet elején ismertetett, csoportba sem, hiszen az alacsony $\delta^{13}\text{C}$ értékhez alacsony C/N arány párosul. Az igen magas humusz anyag arány miatt (F3) (16. ábra) azonban az valószínűsíthető, hogy a terület üledékképződésének ebben az időszakában vízborítás és algaképződés biztosította a szerves anyag forrását, amit megerősít a HI megnövekedett értéke is.

Az „SZ-2” szelvény 15, 25, 50 és 70 cm-es rétegében került sor a $\delta^{13}\text{C}$ és $\delta^{15}\text{N}$, valamint a C/N arány meghatározására (6. táblázat). A szelvény 15 cm-es mélységű rétegében a szerves anyag eredete inkább szárazföldi forrású, de némi alga eredetű hozzájárulás sem kizárható, hiszen ez az érték is a két csoport határán van. A szelvény e szintjében megnövekszik a stabil bio-makromolekulák (F2) értéke, ugyanakkor a humusz anyagoké (F3) csökken (18. ábra), ami rövid, száraz klímára utal. A 25 és 50 cm-es rétegekben mért $\delta^{13}\text{C}$ érték és C/N arány szintén a szárazföldi és az algaeredet közé sorolja a szerves anyag forrását. Tekintve, hogy ezekben a szintekben a stabil bio-polimerek (F2) és az instabil geopolimerek (F3) (18. ábra) mennyisége nagyon hasonló, a területen olyan hidrológiai körülmények uralkodhattak, amelyek a nedves térszínen rövid periódusokban kedveztek az algák elszaporodásának, ugyanakkor a szárazföldi, döntően nem lágyszárú növények is biztosították a szerves anyag utánpótlását. Az „SZ-2” szelvény 75 cm-es rétegében mért $\delta^{13}\text{C}$ és C/N alapján ebben az esetben is az alga és a szárazföldi növények vegyesen játszottak szerepet a leülepedéskor. Azonban ebben az esetben az alga-hozzájárulás nagyobb volt, egyrészt mert a C/N arány

nagyon közel van az alga forrásra megadott értékekhez, másrészt a cellulóz alapú elsősorban szárazföldi eredetű biopolimerek (F2) igen kis értékűek a szelvény e rétegeiben, valamint a humusz anyagok mennyisége folyamatosan növekszik a 85-70 cm mélységű rétegekben, ami vízborításra utal, tehát a folyamatos vízborítás során megnövekedett az algaprodukción.

5.6. A vizsgált szelvények ásványtani jellemzői

A szelvényekben mért ásványokat, illetve azok relatív mennyiségeit a 7. táblázat szemlélteti. A szilárd fázisok ásványainak röntgen diffraktometriás meghatározása a módszer fizikai korlátai miatt elsősorban minőségi elemzésre ad lehetőséget. Az ásványok mennyiségének meghatározása legtöbbször csak az egyes ásványcsoportok relatív arányainak megállapításával alkalmas, tehát a röntgen diffraktometria alapvetően fél-mennyiségi analitikai módszer. Azonban a hasonló körülmények között képződött kőzetek, talajok vagy üledékek esetében joggal feltételezhető, hogy a kialakult ásványos összetétel sem tér el lényegesen az egyes mintapontokban. Mivel a Fehér-tó fejlődéstörténetéből (Molnár, 1996) tudjuk, hogy alapvetően lösz az üledékképző kőzet, amelynek forrása az eolikus és a fluvikus folyamatokból származik, így tudjuk azt is, hogy ezek az üledékek hasonló ásványokból állnak, tehát reprezentálják a szedimentációs környezetet. Ennek alapján tehát az egyes szelvényekben mért ásványok félmennyiségi eredményei összehasonlíthatóak egymással, hiszen azonos üledékképződési környezetben találhatóak. Az egyes ásványok relatív mennyiségeinek változása pedig alkalmas a szelvénybeli eloszlás megállapítására (Bozsó et al., 2008).

A röntgen diffrakciós mérések eredményei megbízhatóan inkább kvalitatív, mint kvantitatív eredményeket szolgáltat. Így egy 5 fokozatú skálán a 7. táblázatban csak az adott ásvány előfordulását és relatív mennyiségét jelöltük a mintában.

Mind a négy vizsgált szelvény esetében a kvarc, kalcit, dolomit és a földpátok az uralkodó ásványfrakciók. A biotit és a muszkovit viszonylag elenyésző mennyiségben fordulnak elő az üledékekben. A filloszilikátok közül egyedül az illit mutatható ki nagyobb mennyiségben, a kaolinit, klorit, valamint a szmektit csoportok mennyisége elenyésző. Az üledékekben általában előforduló inert ásványok, mint a titanit, a rutill, amfibol, gránát csoportok nem mutathatóak ki. Ennek egyrészt az lehet az oka, hogy ezek a döntően magmás, illetve mezo-, és epimetamorf kőzetekből származó ásványok a folyóvízi szállítás során nem jutnak el a lehordási területről ilyen távolságra (Kuti et al., 2003). Másrészt az alapvetően lösz alapkőzet uralkodóan a finom szemcsés eolikus folyamatok által szállított ásványokból áll (Pécsi et al.,

2001), így az ellenálló, nagy szemcseméretű ásványok transzportja korlátozott a lösz képződése során.

A „K” szelvény teljes hosszában a kvarc az uralkodó ásványfrakció. A mennyisége a felszínen jelentősebb, ez fokozatosan csökken a 100 cm-es rétegig, majd a 145-195 cm mélységű rétegekben maximális. A kvarc mennyisége némileg csökken a legalsó rétegekben. A szelvényben a földpátok csak a mélyebb rétegekben fordulnak elő. Az üledék felső 100 cm-es rétegében egyáltalán nem kimutatható ez a csoport, ami döntően arra utal, hogy a felső rétegekben a földpátok intenzív mállási folyamatok eredményeként átalakultak. A kalcit mennyisége a mélységgel növekszik, a felső 40-50 cm mélységű rétegben nem kimutatható, 55 cm-nél jelenik meg, majd növekszik a mennyisége a 145 cm-es rétegig. 145 cm és 195 cm között minimális a mennyisége, majd 295 cm-től ismét jelentőssé válik a kalcit koncentrációja. A dolomit csak a szelvény 145 – 345 cm mélységű rétegeiben fordul elő, a maximális mennyisége a 195 cm-es rétegben van. Mivel a kalcit mennyisége szintén a 195 cm-es rétegben minimalizálódik, arra következtethetünk, hogy a dolomit a kalcit átalakulásából származó autigén ásvány az üledékben. Ez a recens dolomitképződési folyamat ugyan még nem teljesen tisztázott mechanizmus szerint működik, azonban tény, hogy a Duna-Tisza közti tavak nagy részében (Molnár et al., 1981), a Fertő-tóban (Molnár et al., 2000), de Ausztrália és az USA területén is nagyon sok szikes, illetve hipersalin tóban képződik dolomit (Last, 1990). A biotit csak a szelvény felső rétegeiben fordul elő minimális mennyiségben, hasonlóan a muszkovithoz. Az illit nyomnyi, vagy minimális mennyiségben a teljes szelvényben jelen van, a 195 cm és a 295 cm mélységben tapasztalható némi emelkedés a koncentrációjában. A kaolinit gyakorlatilag teljesen hiányzik a szelvényből, míg a klorit, illetve a szmektit csoport az üledék felső rétegeiben fordulnak elő minimális mennyiségben.

Az „SZ-2” szelvényben mért ásványok a „K” szelvényben mértékhez hasonló mennyiségekben vannak jelen. A domináns ásvány ebben az esetben is a kvarc, a négy szelvény közül ebben fúrásban a legnagyobb a mennyisége. Gyakorlatilag a vertikális eloszlása homogénnek mondható, egyedül a 40 cm-es rétegben csökken a mennyisége némileg. A földpátok a szelvényben, hasonlóan a „K” szelvényhez, csak a 145 cm alatti rétegekben fordulnak elő. A földpátok szelvényen belüli bimodális eloszlásának ebben az esetben is az intenzív mállás lehet az oka. A kalcit a teljes szelvényben igen nagy mennyiségben van jelen. A felső 40 cm vastagságú rétegben alacsony mennyiségben fordul elő, majd 55 cm és 145 cm között maximális a szelvényen belüli mennyisége, a szelvény mélyebb rétegeiben némileg csökken az aránya. A dolomit az előző szelvényhez hasonlóan csak a mélyebb rétegekben fordul elő. A 65 cm mélységű rétegtől folyamatosan növekszik a

menntisége 195 cm-ig, majd a szelvény 345 cm-es rétegéig némileg alacsonyabb a koncentrációja. Ebben az esetben is megfigyelhető, hogy a 195 cm-es rétegben a dolomit és a kalcit mennyisége ellentétesen változik, így ebben a rétegben a kalcit dolomittá alakul át. Molnár et al. (1980) a Duna-Tisza közti szikes tavak vizsgálatakor megfigyelték, hogy jellemzően a tófenék közelében a kalcit válik ki, majd a mélyebb rétegekben a Mg növekvő mennyisége miatt protodolomit képződik, ami a mélység növekedésével dolomittá alakul. Arribas et al. (2004) szintén arra a következtetésre jutott, hogy inorganikus kicsapódással az üledékképződés korai fázisában zajlik le. Ezt a folyamatot segítheti Owen et al. (2008) által leírt kalcit kicsapódása apró növényi törmelékeken. A járulékos ásványok közül a muszkovit fordul elő minimális mennyiségben elsősorban a felső 100 cm-es rétegben. Az illit a szelvény teljes hosszában viszonylag nagy mennyiségben jelen van. Biotit, kaolinit, klorit, és a szmektit csoport mennyisége a kimutatási határ alatt van.

Az „X/2” szelvény ásványainak mennyisége és eloszlása sem tér el lényegesen az előzőekben tárgyaltaktól. A teljes szelvény mentén előforduló kvarc a felső 50 cm-es rétegben mutatja a legmagasabb értékeket, ezután a mélység növekedésével csökken a mennyisége. A földpátok a szelvény felső rétegeiben nem, csak a 95 cm-es mélységtől kezdve jelennek meg az üledékben, ennek oka az előző két szelvényben tapasztaltaktól nem tér el, a felső szintek intenzív mállása okozza ezt az eloszlást. A kalcit csak az 55 cm mélységű rétegtől lefelé jelenik meg, hasonlóan a „K” szelvényhez a felső 40 cm-es réteg az intenzív kilúgozási folyamatoknak köszönhetően szegény kalcitban. A kalcit mennyisége 55 cm és 95 cm között a legnagyobb, az ettől mélyebb rétegekben csökken az értéke. A dolomit a 65 cm alatti rétegben jelenik meg, a maximális mennyiségét a 195 cm mélységű rétegben éri el. Ebben az esetben is megfigyelhető, hogy a kalcittal ellentétes a mennyiségük, ami szintén dolomitosodásra utal. Ebben az esetben a dolomit képződését elősegítheti a szelvény igen magas sótartalma. Sanz-Montero et al. (2002) tavi dolomitképződés vizsgálatakor kimutatták, hogy nagy ionerősség és sótartalom mellett a dolomit a karbonáttal együtt precipitációra hajlamos, azaz autigén képződést mutat, ebben az esetben a Mg/Ca arány a döntő. A biotit csak a 40 cm és 55 cm-es rétegekben jelenik meg minimális mennyiségben, a muszkovit hasonló arányban fordul elő a szelvény gyakorlatilag teljes hosszában. Az illit jelentős mennyiségben van jelen a szelvényben a felszíntől a 95 cm-es rétezig folyamatosan növekszik az aránya, majd a 145 cm és 345 cm közti rétegekben csökken a koncentrációja. Egyedül az „X/2” szelvény esetében fordul elő kaolinit, a 40 cm-től 195 cm-ig. Az (1.1) és (1.2) egyenletek alapján a kaolinit képződésére elsősorban a földpátok mállásából van lehetőség,

akkor, ha a bomlás termékeként keletkező Na^+ és K^+ ionok kilúgozódnak a rétegből, hiszen ha ez nem történik akkor a kaolinit képződése is visszaszorul.

Az „S1” szelvényben tapasztalható ásvány eloszlások eltérnek az előzőekben bemutatott szelvényekben mértéktől. A kvarc ugyan a teljes szelvényben jelen van, azonban a dominanciája visszaszorul, a felszíntől a mélységgel növekvő tendenciát mutat a mennyisége. A földpátok ebben az esetben is a mélyebb rétegekben jelennek meg, a 65 cm és 95 cm-es rétegekben minimális, majd az ettől mélyebb szintekben igen jelentős mennyiségben. Ezt az eloszlást kialakító folyamat teljesen analóg az előzőekben tárgyaltakkal. A szelvényben az uralkodó ásvány a kalcit és a dolomit. A kalcit a felszínhez közeli 0-40 cm mélységű rétegekben maximális mennyiségű, majd fokozatosan csökken a mélységgel az aránya. A 95 cm mélységű rétegben már nem mutatható ki kalcit. A dolomit már a felszínen megjelenik, folyamatosan nő a mennyisége a 65-95 cm mélységű rétegekig, majd fokozatosan minimalizálódik a koncentrációja a mélység növekedésével. Ebben az esetben is az figyelhető meg, hogy ahol a dolomit koncentrációja nagy, ott a kalcité minimálisra csökken. Tehát mind a négy szelvényben azonosítható egy autigén dolomit zóna. A dolomit felszínen való megjelenése a folyamatos vízborítás következménye, és a képződésében ebben a szelvényben szerepet játszhat a bakteriális aktivitás. A tavi dolomitképződés mechanizmusa ugyan még számtalan pontjában tisztázatlan, azonban nagyon sok kutató a bakteriális aktivitás eredményének tudja be az autigén dolomitképződést. Vasconcelos et al. (1995) laboratóriumi kísérletekben igazolták, hogy a dolomit képződéséhez alacsony hőmérsékleten szulfát-redukáló mikroorganizmusok szükségesek, A baktériumok a mikrokörnyezetükben teremtenek megfelelő feltételeket a dolomitosodásnak, így bio-katalizátorként gyorsítják a dolomit alacsony hőmérsékleten való képződését (Hartley et al., 1997). Warren (2000) is hasonló mechanizmust vázolt fel: hiperszalin körülmények között a fenékre lerakodott szerves anyag a tó kiszáradásával anoxikus körülmények között szulfát-redukáló baktériumok működését segíti elő. A magas sótartalom emeli a MgSO_4 mennyiségét, a baktériumok felhasználják a szulfátot és nagy koncentrációban a baktériumok körül elkezd a Mg dolomitként kiválni. Az „S1” szelvény esetében a kalcit és dolomit felszínhez közeli előfordulása a folyamatos vízborítás eredménye, gyakorlatilag nincs kilúgozás, a kalcit a felszíni rétegekben dúsul, amit a mélyebb rétegekben a dolomit megjelenése is követ. A szelvényben járulékos ásványok gyakorlatilag minimális mennyiségben fordulnak elő, a biotit és a muszkovit a legmélyebb rétegekben, illetve az illit a 0 cm, 145 cm, és 295 cm mélységben.

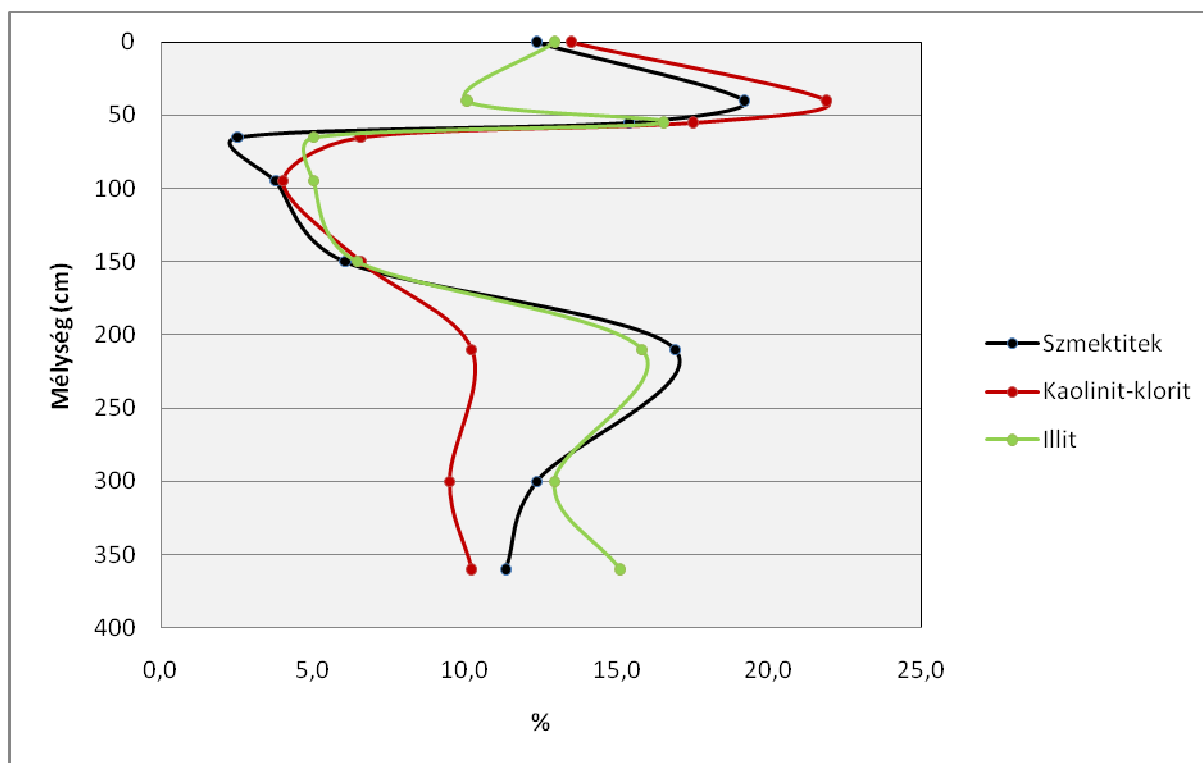
5.6.1. A vizsgált szelvények agyagásvány-tartalma

Az agyagásványok – döntően „c” tengely menti lamináltságuk miatt – röntgen-diffraktometriai módszerrel nehezen vagy egyáltalán nem mutathatóak ki dezorientált pormintákból (Pál-Molnár, 2007b). Ahogy az 5.6 fejezetben látható, a vizsgált szelvények pormintáiból elvégzett röntgen-diffraktometriai eredmények csak nyomokban mutattak ki agyagásványokat. Mivel azonban a talajok nehézfém adszorpciós képességének egyik meghatározó tényezője az agyagásvány-tartalom (Adriano, 1986; Fergusson, 1990; Bradl, 2004), ezért a 2 μm alatti, ülepitett frakcióból elvégeztük az orientált agyagminták röntgen diffrakciós analízisét. Az ülepités során az agyagásványok a „c” tengelyükkel párhuzamosan orientálódnak, így a diffrakciós csúcsok intenzitása lényegesen megnő (Nemecz, 1973).

A szelvényekben mért agyagásványok, vagy a pontos ásványtani nomenklátúra alapján a filloszilikátok csoportja, relatív arányait a 8. táblázat szemlélteti. Mivel a szakmai körökben és a környezeti tudományokban az agyagásvány kifejezés terjedt el (helytelenül) a filloszilikát megnevezés helyett, ezért jelen esetben is az agyagásvány kifejezést fogjuk használni és minden esetben a filloszilikátok csoportját értjük alatta. A röntgen diffraktometriai analízis során három fő csoportot vizsgáltunk: a szmektiteket, a kaolinit-klorit csoportot, és az illitet. A relatív arányok egy-egy ásvány szelvény menti lefutásának nyomon követésére alkalmas, nem konkrét mennyiségi viszonyokat szemléltetnek, ugyanakkor az eloszlás alapján egyértelmű képet kapunk a vizsgált szelvények agyagásványairól.

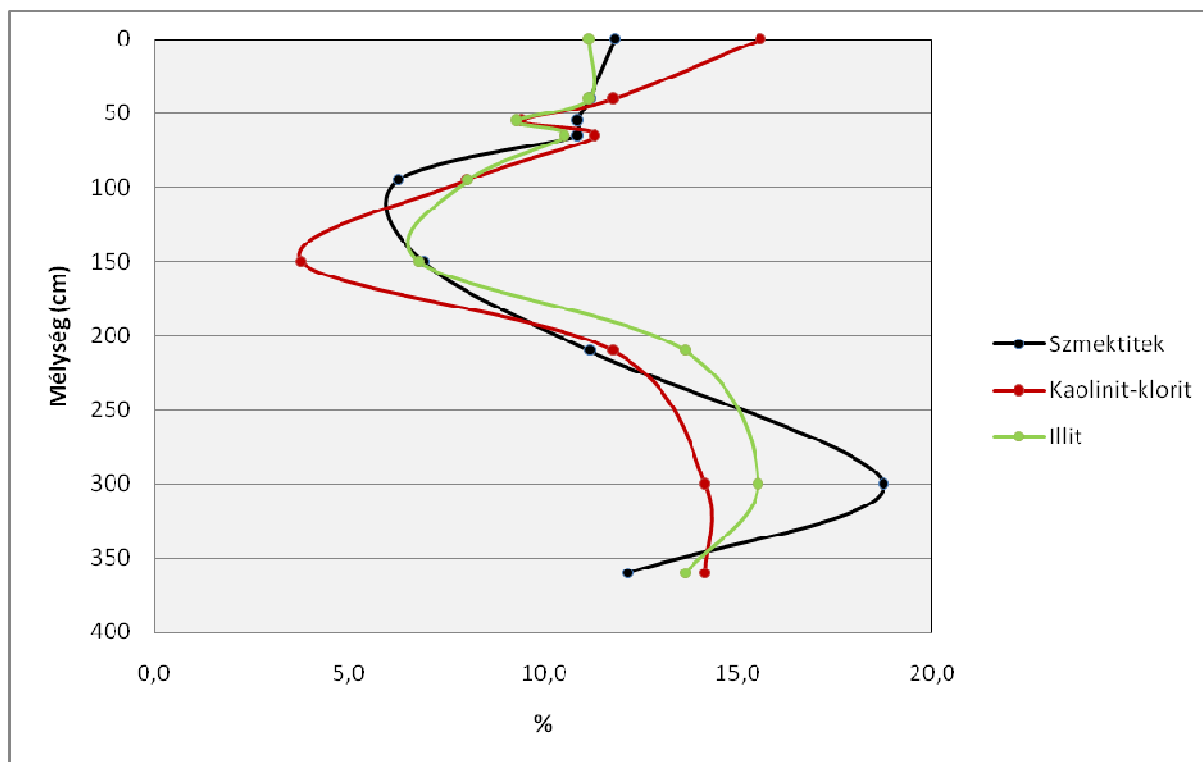
A „K” szelvényben mért agyagásvány-eloszlásokat a 19. ábra mutatja be. Mindhárom agyagásvány csoport nagyon hasonló lefutást mutat a szelvényben. A szmektitek, a kaolinit-klorit, és az illit is dúsul az 50 cm mélységű rétegek közelében, majd 100 cm mélységben mindhárom csoport relatív aránya jelentősen csökken. Ezután a 200 cm-es szintig újra nő a mennyiségük, majd a szelvény aljáig állandósul az értékük. Mivel a szelvény szemcseösszetételében az agyag frakció nem ezt az eloszlást mutatja (9. ábra), arra következtethetünk, hogy a fizikai szemcseméretétől elkülönülnek az agyagásványok. Ez elsősorban akkor lehetséges, ha a kolloid mérettartományban történik a frakcionálódás. Kuti et al. (2003) Duna-Tisza közti szikes tavak vizsgálatakor kimutatták, hogy a recens agyagásvány-képződés a magas sótartalom miatt rendezetlen kristályosodást mutat, inkább rácsfoszlányokról beszélhetünk. Savage et al. (2010) is arra a következtetésre jutott, hogy lúgos kémhatás (pH=9-10) esetén a szmektitek kolloidális méretben és meglehetősen rendezetlen rácsszerkezettel képződnek és a vízáramlással mozognak. Ezt a folyamatot erősíti meg a szelvényben mért vezetőképesség értékek eloszlása is (8. ábra). A vezetőképesség (így a könnyen oldódó sók) is a legnagyobb értékeket az 50 cm-es rétegben mutatják, tehát a

könnyen oldatba kerülő vegyületekkel együtt a kolloidális méretű agyagásványok az aktuális vízháztartás függvényében változtatják az eloszlásukat a szelvényben.



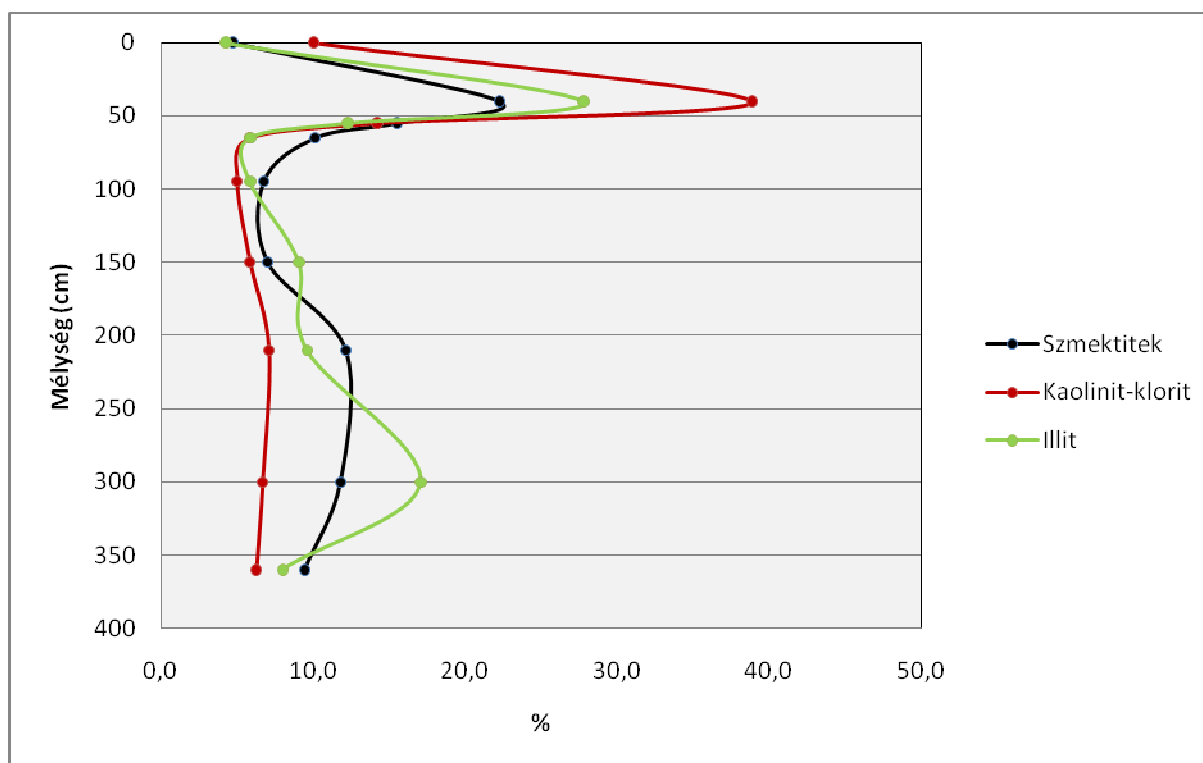
19. ábra A „K” szelvény agyagásványainak eloszlása

Az „SZ-2” szelvényben mért agyagásvány-eloszlások változatos képet mutatnak a mélység függvényében (20. ábra). Ebben az esetben is megállapítható, hogy mindhárom csoport ugyanolyan módon változik a szelvényben. A felszínhez közeli rétegekben magasabb értékek tapasztalhatóak, amelyek a 100-150 cm-es rétegekben érik el minimumaikat. Ezután a mélység növekedésével mindegyik ásvány mennyisége növekszik. Az ásvány eloszlások kaotikusabb képet mutatnak, mint a „K” szelvényben mért lefutások. Ennek az oka egyrészt a terület vízháztartásának változása: mivel ez a szelvény a nyári időszakban folyamatosan kiszárad, ezért felrepedezik és a keletkezett tömbök szélei lemorzsolódnak és bekeverednek a tömbök közötti hézagokba, és ennek következménye az agyagásványok rendezetlenebb eloszlása. Másrészt ebben az esetben is megfigyelhető, hogy a 150 cm mélységben mért minimum felett egyenletesen nő az ásványok mennyisége a felszín felé. Mivel intenzív vízmozgás és a kiszáradás miatt erős kapilláris vízemelkedés tapasztalható a nyári periódusokban, valószínűsíthető, hogy a helyben keletkezett, vagy a leülepedett finom szemcsefrakcióból, mállási termékként az agyagásványok kolloid mérettartományba kerülnek és a vízmozgást követik. Az agyagásvány-csoportok hasonló lefutásának emellett a kevert agyagásvány-szerkezetek minimális mennyiségű megjelenése is oka lehet.



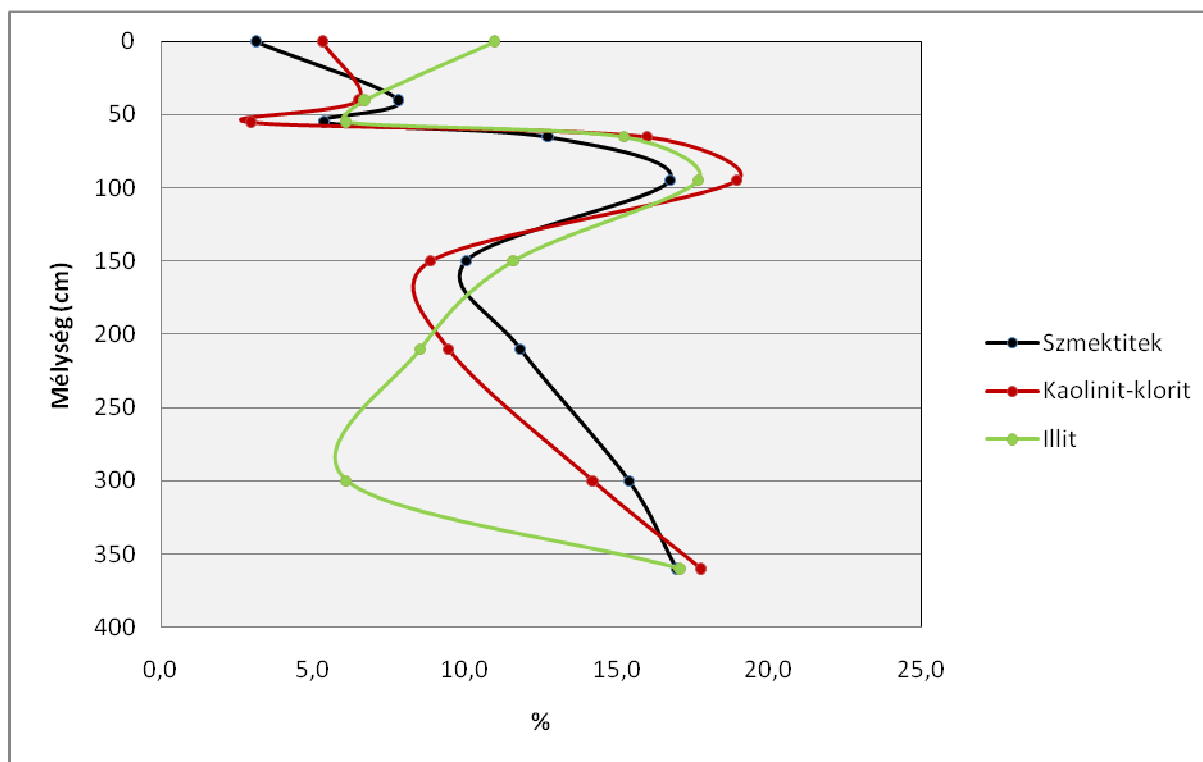
20. ábra Az „SZ-2” szelvény agyagásványainak eloszlása

Az „X/2” szelvényben mért agyagásvány-eloszlások (21. ábra) nagyon hasonlóak a „K” szelvényben tapasztaltakhoz (19. ábra). Mindhárom agyagásvány csoport lefutása hasonló, így feltételezhető, hogy azonos folyamatok alakítják ki a szelvény menti eloszlásukat. Mind a felszínen, mind a 70 cm mélységű rétegben minimálisra csökken a mennyiségük, a 45 cm-es rétegben viszont jelentős maximum érték tapasztalható a szmeztitek, a kaolinit-klorit és az illit esetében is. A 70 cm mélységű réteg alatt homogén mindhárom agyagásvány csoport eloszlása a szelvényben. Az agyagásványok feldúsulásának szintje ebben a szelvényben is egybe esik a sófelhalmozódás szintjével (8. ábra), tehát ebben az esetben is kolloidális az agyagásványok szemcsemérete és a vízmozgással együtt mozognak. Hasonló folyamatot írt le Boyle (2007), aki szilikát-mállás modellezésekor azt az eredményt kapta, hogy az agyagásvány-képződés lúgos körülmények között kolloidális rácsfoszlányok képződésével történik. Ezt erősíti meg a szelvény szemcseméret-eloszlása is (11. ábra). Ugyan a 40 cm-es rétegben található az agyag frakció maximuma és ez alapján lehetne szinszediment az agyag frakció, azonban az agyagásványok eloszlása rendkívül gyorsan lecsökken a 70 cm-es szintben, míg az agyag frakció csak fokozatosan csökken a mélységgel. Tehát a finom szemcsés frakcióból az intenzív vízmozgás elmozgatja az agyagásványokat, ez akkor lehetséges, ha nagyon finom (kolloidális) ezen ásványok szemcsemérete.



21. ábra Az „X/2” szelvény agyagásványainak eloszlása

Az „S1” szelvényben mért agyagásvány-eloszlások eltérnek az előző szelvényekben bemutatottaktól (22. ábra). Mindhárom agyagásvány eloszlása hasonló a szelvényben, tehát ebben az esetben is ugyanazok a folyamatok alakítják a szelvénybeli lefutásukat. Az üledék felső 50 cm-es rétegében alacsony mennyiségben van jelen mindhárom csoport, az eloszlásuk rendezetlen. 50 cm-től 100 cm-ig ugrásszerűen nő a szmektitek, a kaolinit-klorit és az illit mennyisége is, majd a 150 cm mélységű rétegben újra lokális minimum látható. Ezután a szmektitek és a kaolinit-klorit csoport egyenletesen csökken a mélység növekedésével, míg az illit mennyisége a 300 cm-es rétegig csökken, majd megnövekszik a legalsó rétegekben. Ebben az esetben az agyagásványok eloszlása sem a sótartalommal (8. ábra), sem a szemcseméret-eloszlással (12. ábra) nem korrelál. E szelvény esetében is valószínűsíthető az, hogy a vízmozgás mintegy „áthalmazza” a kolloidális méretű agyagásványokat az üledékben, és mivel szinte állandó a vízborítás ezért inkább a lefelé irányuló kilúgozás jellemző, a rövid száraz periódusban a kapilláris vízemelkedés nem tudja magasabb szintekbe mozgatni a vízben oldható komponenseket, hiszen rövid időn belül újra vízzel árasztják el a területet.



22. ábra Az „S1” szelvény agyagásványainak eloszlása

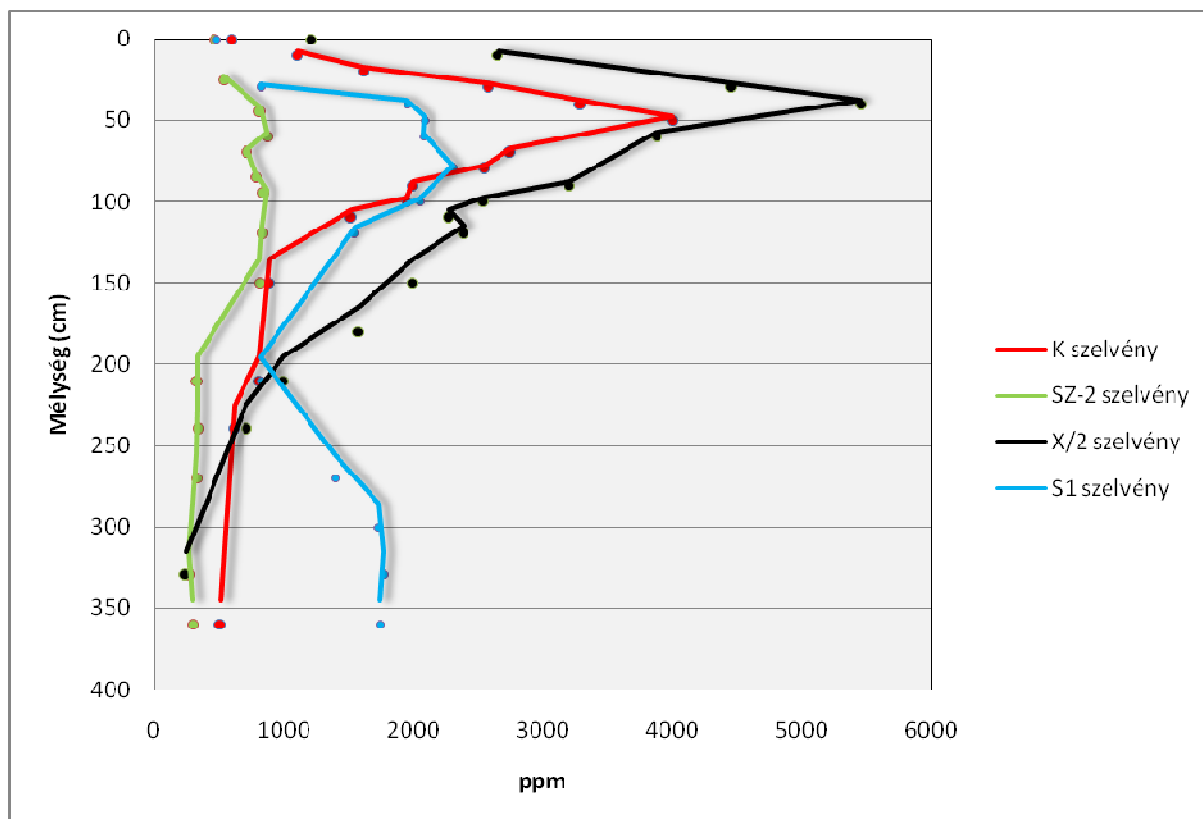
5.7 A vizsgált szelvények főelemtartalma

A vizsgált szelvényekben mért fő-, és nyomelemek koncentrációit a 9-12. táblázatok szemléltetik szelvényenként. Az egyes koncentráció értékeket megfigyelve észrevehető, hogy az egyes szelvények átlagos elem koncentrációikat tekintve nem térnek el jelentősen egymástól, tehát földtani kifejlődésüket tekintve a mintaterületek meglehetősen hasonlóak. Ugyanakkor az egyes elemek szelvényen belüli eloszlásai szinte minden esetben nagy eltéréseket mutatnak, amiből arra következtethetünk, hogy a posztszediment folyamatok jelentős geokémiai változásokat idéznek elő ezen a területek üledékeiben. A következőkben elemenként hasonlítom össze a szelvények koncentráció viszonyait.

5.7.1. A vizsgált szelvények nátriumtartalma

Mivel a legtöbb – dolgozatban ismertetett – elem meghatározására alkalmazott energia diszperzív röntgen fluoreszcens spektrometria nem alkalmas a nátrium talajokban és üledékekben előforduló mennyiségeinek megbízható detektálására (Jenkins és DeVries, 1970), ezért a 4. fejezetben ismertetett láng-atomszorpciós módszerrel határoztuk meg a növények által felvehető Na-tartalmat. A nátrium tartalom szelvényeken belüli eloszlása a 9-

12. táblázatokban és a 23. ábrán látható. A nátrium mennyisége és eloszlása jelentős eltéréseket mutat az egyes szelvényekben.



23. ábra A vizsgált szelvények nátriumtartalma

A „K” szelvény mért átlagos Na-koncentráció 1782 ppm, ez a második legmagasabb érték az „X/2” szelvény után. A nátrium eloszlásában 50 cm mélységben jelentős felhalmozódás azonosítható, a felszíntől az 50 cm-es rétegig drasztikusan nő a Na mennyisége, majd ezután 150 cm-ig folyamatosan csökken és a szelvény legalsó szintjéig egyenletes a koncentrációja. A nátrium eloszlása teljesen azonos a szelvényben mért vezetőképesség eloszlásával (8. ábra), így ebben az esetben a vezetőképességet meghatározó könnyen oldható sók szinte teljes egészében Na-vegyületek.

Az „SZ-2” szelvény átlagos nátrium koncentrációja a legkisebb a mért négy szelvény közül, 586 ppm. A szelvény-menti lefutása gyakorlatilag homogén, némi koncentrációemelkedés az 50-150 cm-es szintben tapasztalható. Ennél a szelvéynél is szinte tökéletes egyezőséget mutat a Na és a vezetőképesség eloszlása (8. ábra), ebben az esetben is a Na-sók dominálnak.

Az „X/2” szelvényben mért nátrium koncentrációk a legmagasabbak a mérték közül, a Na átlagos mennyisége 2398 ppm, de a 40 cm mélységű szintben meghaladja a 5000 ppm-et is, ez már extrém magas értéknek mondható (Vengosh, 2005). A Na szelvénybeli lefutása

nagyon hasonló a „K” szelvényhez, a felszíni 3000 ppm körüli koncentráció az 50 cm-es rétegben éri el a legmagasabb, több mint 5000 ppm értéket, majd a szelvény 330 cm-es szintjéig folyamatosan, gyakorlatilag minimálisra csökken. E szelvény esetében a Na-tartalom változása nem követi a szelvény vezetőképességének alakulását (8. ábra), amiből arra következtethetünk, hogy a Na a könnyen oldódó sóformái mellett, a felhalmozódási szintben erősebben kötött formában is jelen van (agyagásványokhoz, vagy a szerves anyagokhoz kötve).

Az „S1” szelvény átlagos nátrium koncentrációja a harmadik legmagasabb érték a mért szelvények közül, 1601 ppm. A szelvény 50 cm és 100 cm közötti rétegében figyelhető meg egy intenzív, de elnyújtott akkumulációs zóna. A Na-koncentráció a felhalmozódási zóna felett és alatt is lényegesen alacsonyabb értékeket mutat, némi koncentrációemelkedés figyelhető meg a 200-350 cm közötti rétegben. E szelvény esetében a felhalmozódási szint mélyebb rétegekben található, mint a „K”, vagy „X/2” szelvény esetében. Ez a szinte folyamatos vízborítás eredménye, az állandó kilúgozás mellett a rövid száraz időszakban a kapilláris hatások nem tudják magasabb szintekbe emelni a sófrontot.

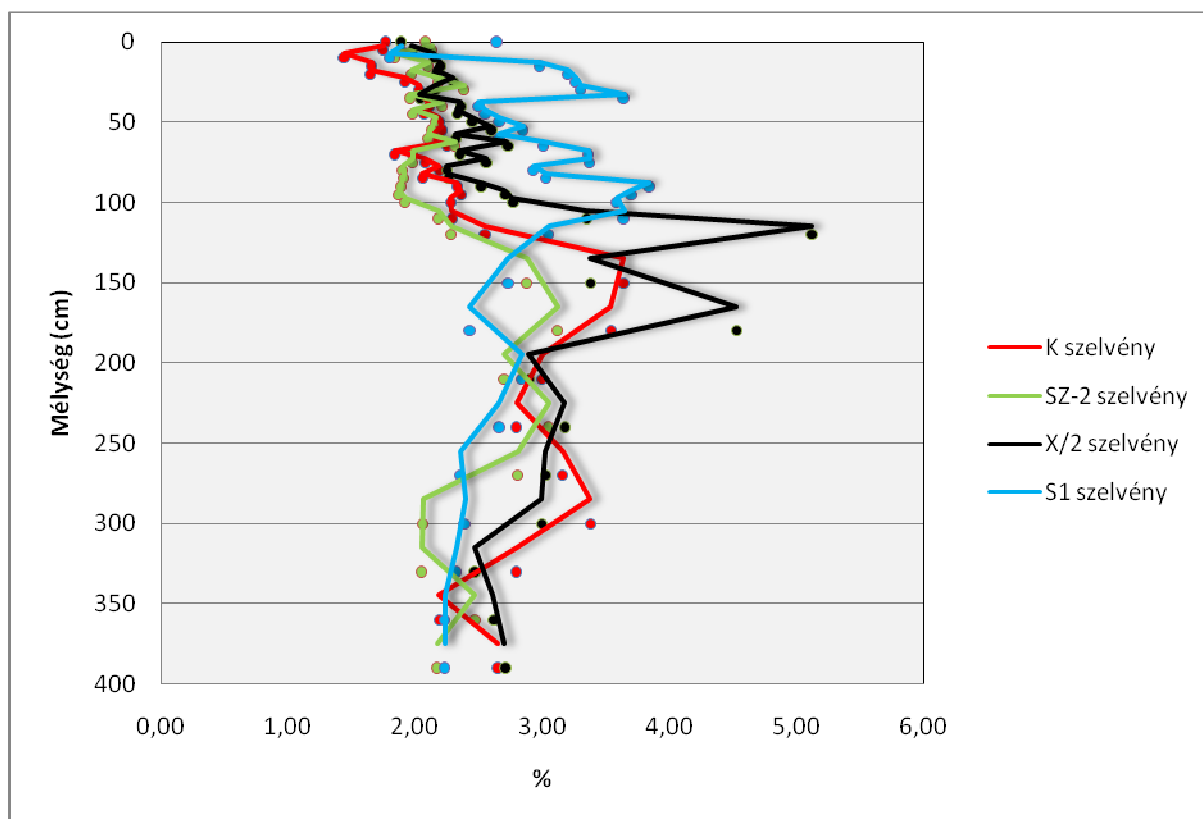
5.7.2. A vizsgált szelvények magnéziumtartalma

Az egyes szelvényekben található magnézium-koncentrációkról a 9-12. táblázatok, és a 24. ábra nyújt tájékoztatást.

A mért magnézium-koncentrációk átlag értékei nem térnek el jelentősen az egyes szelvényekben. A legalacsonyabb, 2,21%-os átlag-koncentrációt az „SZ-2”, a legmagasabb, 2,86%-os értéket pedig az „X/2” szelvényben mértük. A szelvényekben mért magnézium-eloszlások két jellegzetes részre oszthatóak. A felső 1 m-es rétegben minden szelvény esetében igen alacsonyak a magnézium-koncentrációi és az eloszlásuk is homogénnek mondható a felszíntől a 100 cm-es rétegekig. Kivételt képez ez alól az „S1” szelvény, ugyanis itt magasabb a felső rétegekben a Mg koncentrációja. A 100 cm mélységű rétegektől a „K”, „SZ-2”, „X/2” szelvényekben mintegy 1-1,5%-al megnövekszik a magnézium koncentrációja, az „X/2” szelvény esetében a 120 cm-es rétegben a mért legmagasabb, 5% feletti Mg-koncentrációt detektáltunk. Ezzel szemben az „S1” szelvényben látható lefutás ellentétes a másik három szelvényben tapasztaltakkal. A 100 cm-es réteg alatt a Mg mennyisége folyamatosan, 2% körüli értékre csökken a szelvény aljáig.

A magnézium-koncentrációk szelvényeken belüli lefutásaiból arra következtethetünk, hogy a Mg a nátriumhoz hasonlóan igen könnyen mobilizálódik és kilúgozódik az üledékek felső

rétegeiből. Ez tapasztalható a „K”, „SZ-2”, „X/2” szelvényekben, míg a folyamatos vízborítás miatt az „S1” szelvényben nem történik meg a Mg mélyebb rétegek felé történő elmozdulása.



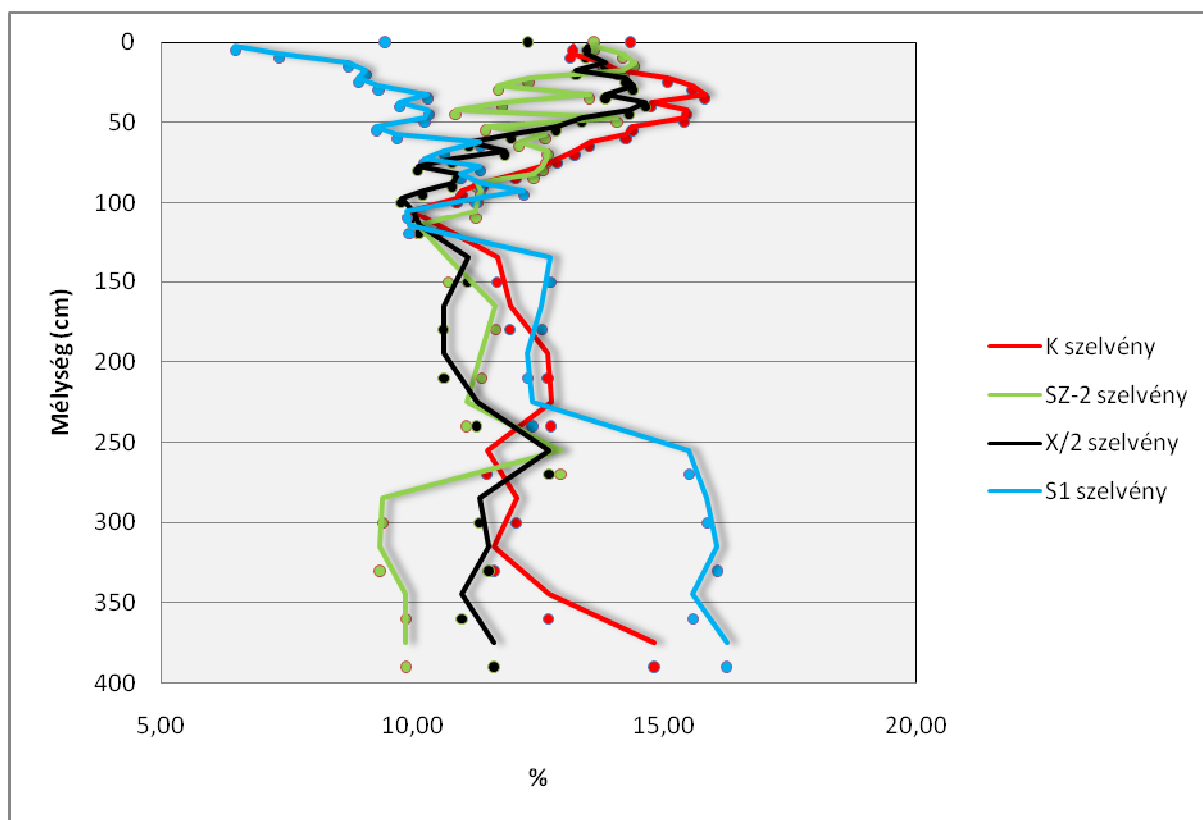
24. ábra A vizsgált szelvények magnéziumtartalma

5.7.3. A vizsgált szelvények alumíniumtartalma

A mintapontok üledékeinek alumínium-koncentrációit a 9-12. táblázatok, illetve annak vertikális eloszlását a 25. ábra szemlélteti.

A mért átlag-koncentrációk az alumínium esetében sem térnek el lényegesen egymástól. A legalacsonyabb átlagos Al-koncentrációt, 11,16%-ot az „S1”, a legmagasabb átlag értéket, 13,08%-ot a „K” szelvényben mértük. Ahogy a magnéziumnál, ebben az esetben is két csoportra osztható az alumínium-koncentrációk szelvénybeli változása. A 100 cm-es réteg közelében minden szelvényben lokális minimumot mutat az alumínium mennyisége. A „K” és az „X/2” szelvények esetében az Al-koncentráció növekszik a felszíntől az 50 cm-es rétegig, majd e maximum után egyenletesen csökken a 100 cm mélységű rétegig. Az „SZ-2” szelvényben a felszíntől 100 cm mélységig igen nagy fluktuálással, de csökkenő trendet mutat az Al mennyisége. Az „S1” szelvényben az előzőekhez képest fordított az Al koncentráció lefutása, a felszíntől egyenletesen növekszik a szelvény legalsó rétegéig. A 100 cm-es szint alatt minden esetben – több-kevesebb ingadozással – növekszik az alumínium

menyisége. Az egyes szelvények Al-koncentrációinak eloszlása arra enged következtetni, hogy a mállási folyamatok során a legfinomabb szemcsefrakcióban dúsul az alumínium, ezt erősítik meg a szelvények szemcsefrakció vizsgálatának eredményei is (9-12. ábrák).



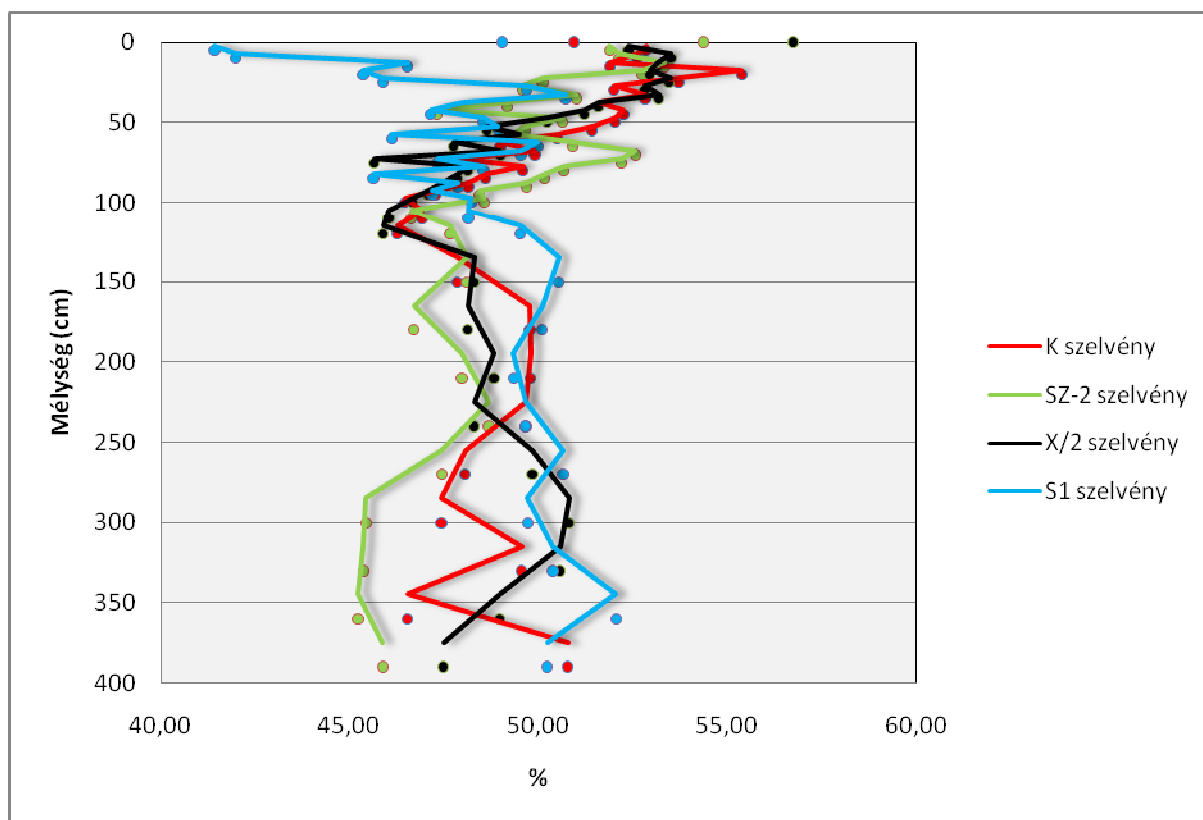
25. ábra A vizsgált szelvények alumíniumtartalma

5.7.4. A vizsgált szelvények szilíciumtartalma

A szelvényekben mért szilícium-koncentrációk a 9-12. táblázatokban, a szelvénybeli eloszlások pedig a 26. ábrán láthatóak.

A szelvényekben mért szilícium-koncentrációk átlagos értékei szinte teljesen azonosak, egyedül az „S1” szelvényben alacsonyabb 49%-nál a Si átlagos koncentrációja. Azonban az egyes szelvényekben jelentősen eltérnek a Si vertikális eloszlásai, ugyanakkor az egyes lefutások rendkívül hasonlóak az alumíniuméhoz. Szintén a 100 cm-es szint osztja két csoportra a szelvényekben mért szilícium eloszlásokat. A 100 cm-es szint felett a „K” és „X/2” szelvényekben a felszínen maximális a Si-koncentráció, majd a mélység növekedésével fokozatosan csökken a Si mennyisége 100 cm mélységig. Az „SZ-2” szelvényben is hasonló tendencia figyelhető meg a Si eloszlásában, azonban a felszíni maximum után a 70 cm-es rétegben ismét egy lokális maximumot ér el a szilícium mennyisége. Az „S1” szelvény a szilícium eloszlásában is különbözik a többitől, itt a felszínen a legkevesebb a Si mennyisége,

majd 50 cm-ig erőteljesen nő az értéke, 50 és 100 cm között nagy kilengésekkel, de állandónak mondható, a 100 cm mélységű rétegtől 150 cm-ig ismét nő, ezután pedig a szelvény legmélyebb pontjáig állandósul a Si-koncentráció.



26. ábra A vizsgált szelvények szilíciumtartalma

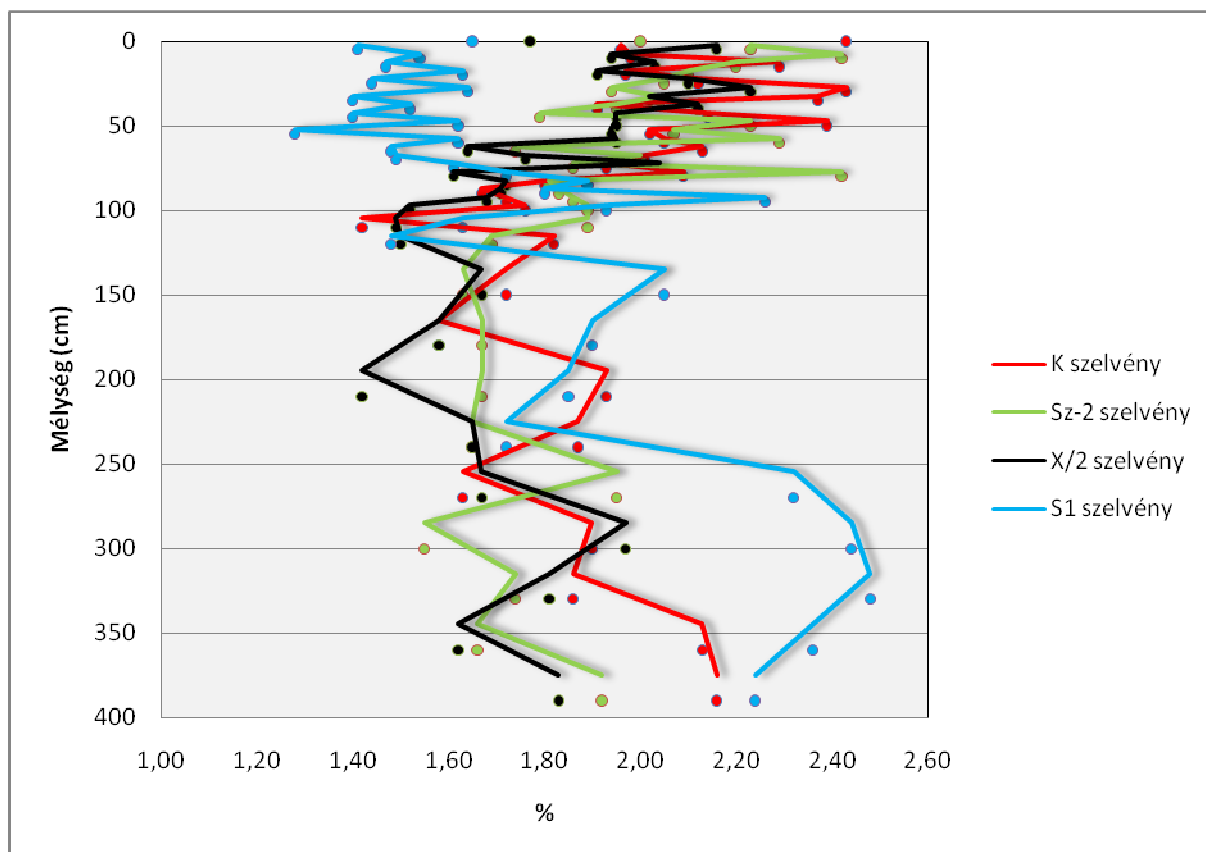
5.7.5. A vizsgált szelvények káliumtartalma

A szelvények kálium-koncentrációi a 9-12. táblázatokban, illetve a 27. ábrán láthatóak.

A kálium koncentrációjának átlagos értékei nem mutatnak nagy eltéréseket az egyes szelvények esetében. A legmagasabb átlag-koncentráció, 1,97% a „K”, míg a legkisebb, 1,76% az „S1” szelvény esetében adódott.

A kálium szelvényeken belüli lefutása a felső 100 cm-es rétegekben igen sűrű ingadozásokat mutat, ez a mért főelemek közül egyedi tulajdonság. A jelenség magyarázata az lehet, hogy a kálium leginkább oldott ionként az agyagásványok, illetve a szerves anyagok kationkötő helyein adszorbeált állapotban található, és a rendszeres vízszintingadozások folyamatosan az ad-, és deszorpcióra kényszerítik a K^+ -ionok nagy részét, ennek megfelelően nem tud egy határozott felhalmozódási zóna kialakulni. Egyébként a kálium szelvényeken belüli eloszlása is nagyon hasonló az előzőekben bemutatott főelemekhez, a „K”, „SZ-2”, „X/2” szelvények esetében a felszíni szelvényenként maximális értékek folyamatosan

csökkennek a 100 cm-es mélységig, majd a szelvények legmélyebb pontjáig állandósulnak a K-koncentrációk. Ezzel szemben az „S1” szelvényben fordított menetet mutat a kálium vertikális eloszlása. A felszínen minimális a kálium koncentrációjának szelvényen belüli értéke, majd folyamatosan nő 100 cm-ig, ezután egy erőteljes csökkenés figyelhető meg, majd a szelvény aljáig egyre növekszik a kálium-koncentráció.



27. ábra A vizsgált szelvények káliumtartalma

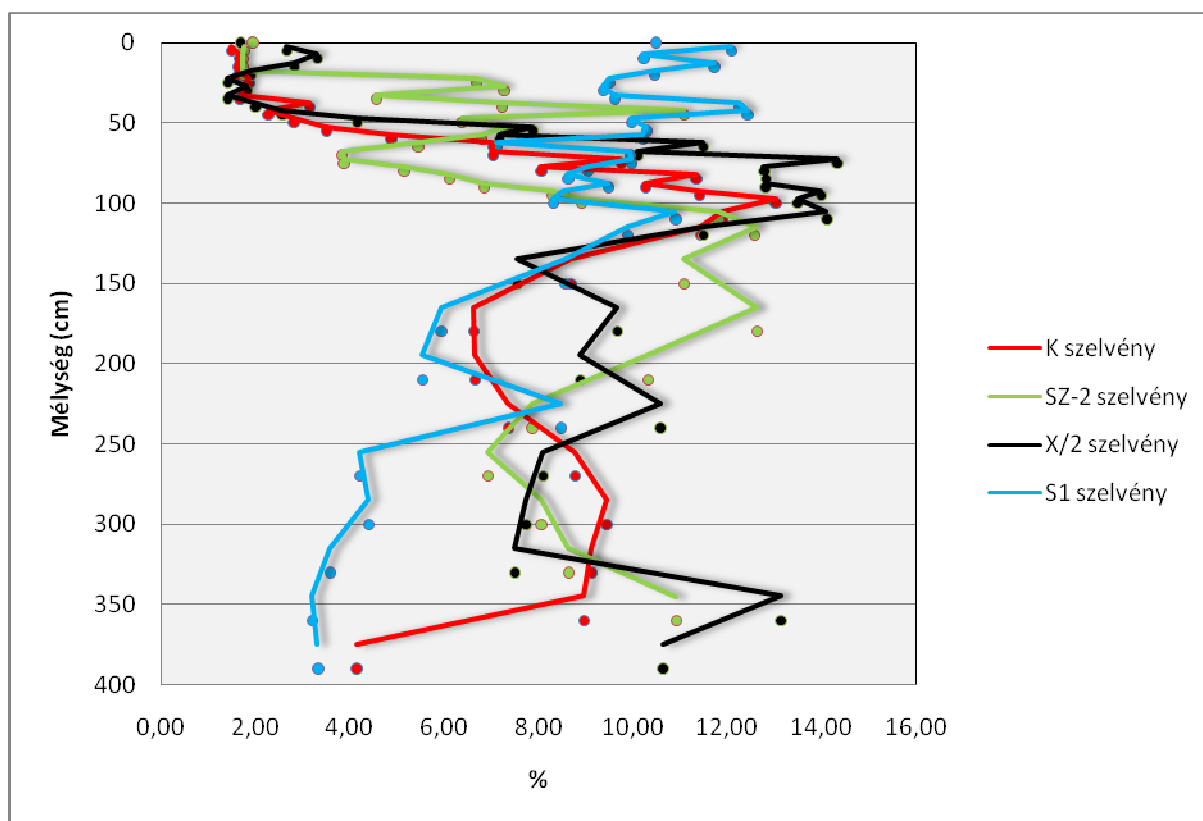
5.7.6. A vizsgált szelvények kalciumtartalma

A szelvényekben mért kalcium-koncentrációk a 9-12. táblázatokban, illetve a 28. ábrán kerül bemutatásra.

A szelvények átlagos kalcium koncentrációi nagyobb eltéréseket mutatnak, mint az előző alfejezetekben bemutatott elemek átlag mennyiségei. A legmagasabb átlagos kalciumkoncentráció, 8,68%, az „S1” szelvényben jelentkezik, a legalacsonyabb átlag érték pedig a „K” szelvényben, 6,29%.

Az egyes szelvényekben kalcium koncentrációinak vertikális eloszlása igen különböző a mintaterületeken. A kalcium esetében is megfigyelhető, hogy hasonló az eloszlás a „K”, „SZ-2” és az „X/2” szelvények esetében. Mindhárom esetben a felszínen minimális a Ca mennyisége, majd a mélység növekedésével rohamosan nő, és a 100 cm mélységű rétegben

mindhárom mintaterület esetében eléri az adott szelvényben mért maximális értéket, majd a mélység növekedésével csökken a Ca mennyisége. Ezzel szemben az „S1” szelvényben mért kalcium mennyiségének szelvénybeli lefutása jelentősen eltér a másik három fúrásban mért eloszlásoktól. A felszínen maximális a Ca-koncentrációja, majd a mélységgel folyamatosan csökken az értéke. A két eloszlás típus magyarázata ismét a vízborítás. Míg a „K”, „SZ-2” és az „X/2” szelvények esetén a száraz periódusok után az vízzel borított periódusban jelentős felszíni vízutánpótlás van, addig a folyamatosan vízzel borított „S1” szelvélynél ez a folyamat nem történik meg, tehát, míg az első három szelvény esetében a Ca a felső üledékrétegekből kilúgozódik, addig az „S1” szelvény esetében a felszíni rétegekben halmozódik fel a kalcium.



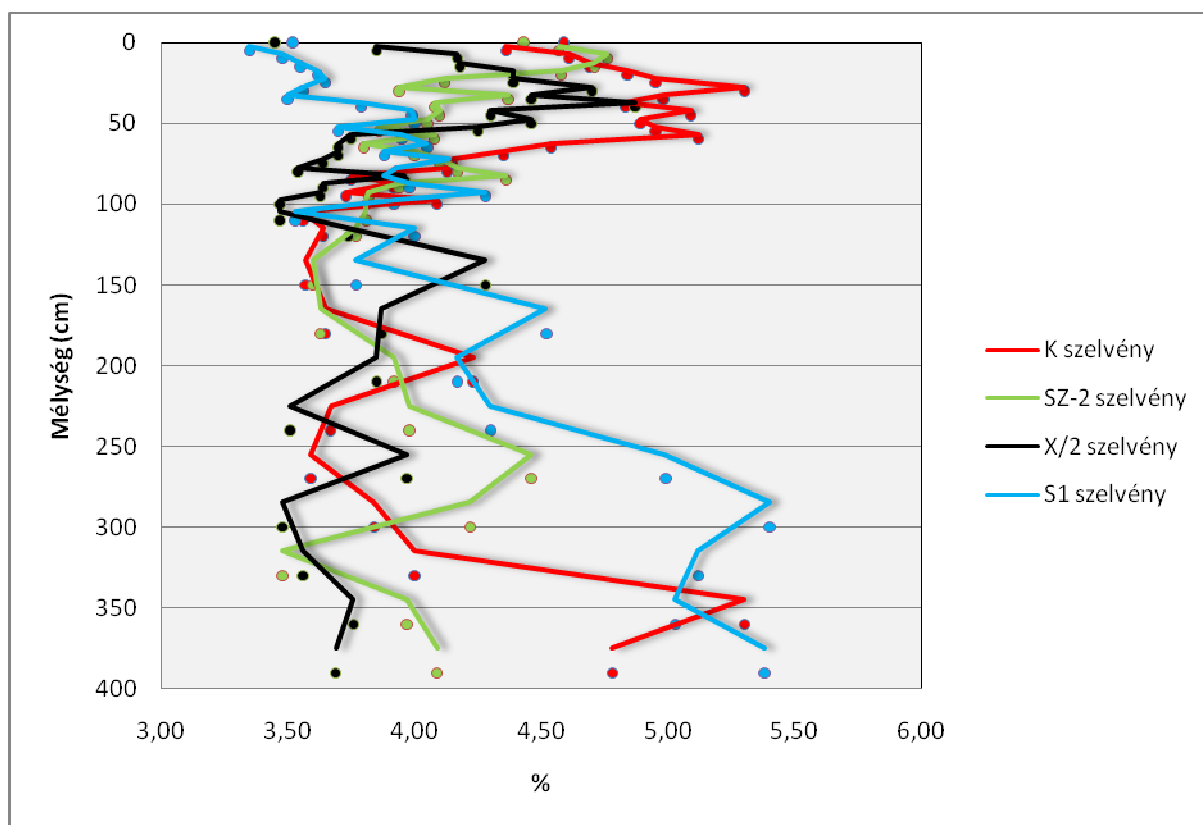
28. ábra A vizsgált szelvények kalciumtartalma

5.7.7. A vizsgált szelvények vastartalma

A vizsgált szelvényekben mért vas-koncentrációk a 9-12. táblázatokban, illetve a 29. ábrán kerülnek bemutatásra.

A szelvények átlagos vas-koncentrációi teljesen hasonlóak, minden esetben 4% körüli értéket mutatnak. Az egyes szelvényeken belüli Fe-eloszlások azonban ebben az esetben is jelentősen különböznek. A vas eloszlása esetében is ugyanarra a két csoportra oszthatóak a

vizsgálati területek, mint az előző főelemeknél. A „K”, „SZ-2” és az „X/2” szelvényekben nagyon hasonló a Fe koncentrációk szelvénybeli lefutása, a 100 cm mélységű rétegig folyamatosan csökken, míg az „S1” szelvényben a felszíni minimális vaskoncentráció folyamatosan nő a mélység növekedésével. A „K” és „X/2” szelvényekben az 50 cm-es mélységben látható intenzív felhalmozódási zóna, míg az „SZ-2” szelvényben a felszíni rétegtől folyamatosan csökken a vas mennyisége a 100 cm mélységű zónáig. A Fe eloszlása ismét a területek vízháztartásával, illetve a szelvények agyagásvány- (19-22. ábrák), és összvezetőképesség (8. ábra) eloszlásával van szoros kapcsolatban.



29. ábra A vizsgált szelvények vastartalma

5.8. A vizsgált szelvények nyomelemtartalma

A szelvényekben a röntgen-fluoreszcens technika által detektálható elemek a következők voltak: Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Zr, Pb. Mivel ezzel a technikával nem tudtuk kimutatni a mintákban a foszfor jelenlétét (ami azonban a szerves anyag felhalmozódása és a mintaterületek eutrofizációs folyamatai szempontjából fontos tápelem), ezért a növények által felvehető foszfortartalmat lángatomadszorpciós módszerrel határoztuk meg.

A szelvényekben mért nyomelemek koncentrációértékek (9-12. táblázat) esetében általában az megállapítható, hogy a Fehér-tó szikes üledékei nyomelemekben szegények.

Legtöbbször a nyomelemek szelvényekben mért átlagkoncentrációi a Magyarországra megadott geokémiai háttér értékek (Ódor et al., 1997) közelében vagy az alatt vannak.

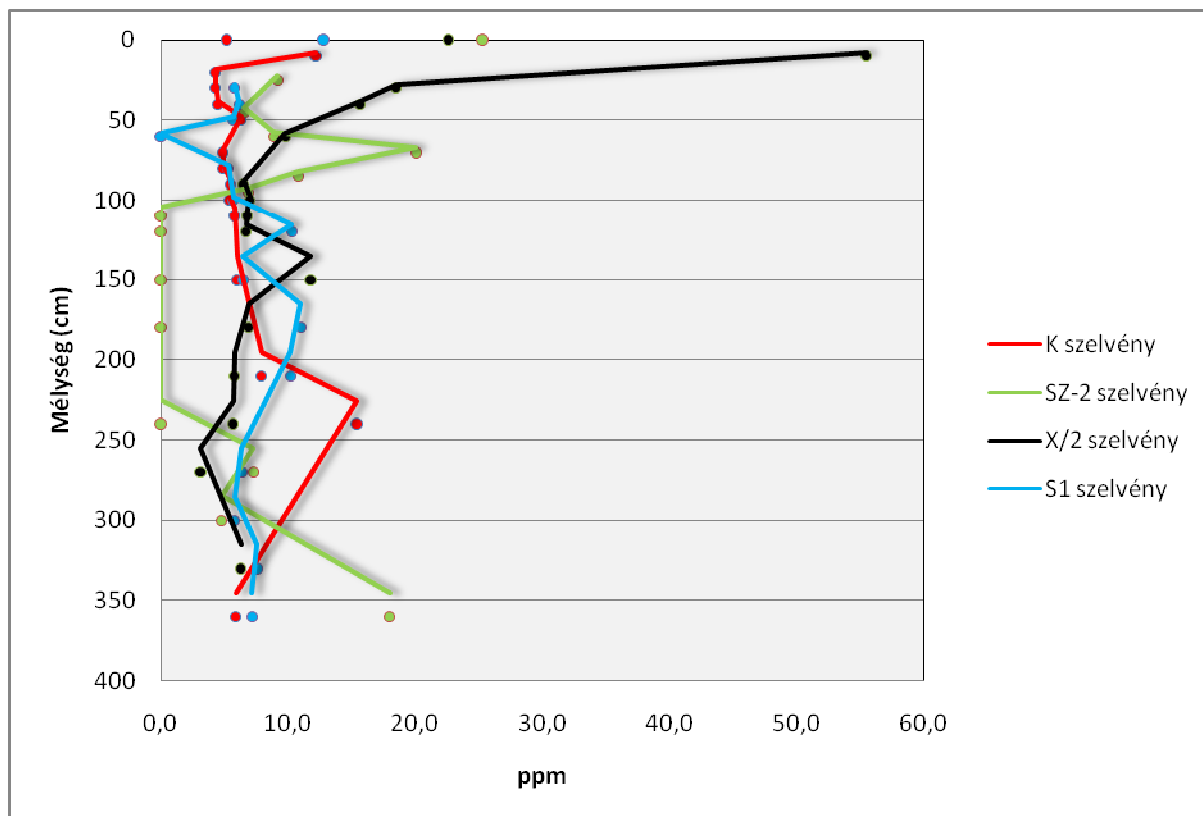
A mért elemek közül a vanádium és a króm ugyan mérhető mennyiségben volt jelen minden szelvényben, azonban ezek vertikális eloszlása minden mintaterületen homogén, így a szelvénybeli lefutásokat sem lehet összehasonlítani, ezért ezt a két elemet külön tárgyalom. A szelvényenként az átlagos vanádium tartalom 60-70 ppm (9-12. táblázatok). A vanádium átlagos koncentrációja 50-200 ppm az ultrabázikus kőzeteken fejlődött talajokban, 30-40 ppm savanyú magmás kőzetek talajaiban és igen alacsony, 20 ppm a homok és karbonát talajokban (Aubert és Pinta, 1977). A Fehér-tó területén alapvetően, homok és karbonát alapú löszön fejlődött talajok találhatók, így megállapítható, hogy a mintaterületeken mért V-tartalom magasabb, mint a hasonló tulajdonságú talajokban mért értékek. A króm átlagos koncentrációja a mért szelvényekben 50 ppm körül mozog (9-12. táblázatok). A króm átlagos talajbeli koncentrációja, elsősorban az ércdús és a szennyezett területek miatt 1-500 ppm intervallumban mozog, a glaciális területek tavi és folyami üledékeiben mért átlagos koncentráció pedig 300 ppm-nek adódik (Adriano, 1986). Így megállapítható, hogy a szakirodalomban közölt értékekhez képest a króm átlagos mennyisége igen alacsony a vizsgálati területen. Hasonlóan alacsony (15 ppm) króm koncentrációt mutatott ki Stojanovics et al. (2009) a Fehér-tóval geokémiai sok szempontból megegyező Fertő-tóban is. Ez azzal magyarázható, hogy a króm legtöbb esetben oxidált formában, $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ionként van jelen a talajokban (Adriano, 1986) és lúgos környezetben a HCO_3^- koncentráció, illetve a kémhatás miatt korlátozott az anionok adszorpciója (Jones és Deocampo, 2005). A vanádium és a króm vertikális homogenitása a vizsgált szelvényekben egyrészt a geokémiai viselkedésükkel, másrészt azzal magyarázható, hogy a röntgen-fluoreszcens módszer kimutathatósági határa közelében vannak e két elem koncentráció értékei.

5.8.1. A vizsgált szelvények foszfortartalma

A szelvényekben mért foszfor koncentrációit a 9-12. táblázatok, a koncentrációk mélységgel való változását a 30. ábra szemlélteti.

A növények által felvehető foszfor igen kis mennyiségben van jelen minden szelvényben. Magyarországon a legnagyobb összes foszforkoncentráció (400-900 ppm) a csernozjom talajokban található, közepes a réti és szikes talajok foszfortartalma (600-800 ppm), míg az erdei talajok a legszegényebbek foszforban (300-600 mg/kg) (Szendrei, 1998). Az összes foszfortartalom 3-5%-a felvehető a növények számára (Dudda, 2007), így a szikes talajokon a felvehető foszfor átlagos mennyisége 40-60 ppm-nek adódik. Az egyes mintapontokban mért

foszforkoncentrációk lényegesen elmaradnak ettől az értéktől. A legalacsonyabb átlagos foszfortartalom (6,6 ppm) a „K” szelvényben, a legmagasabb P-koncentráció (12,6 ppm) az „X/2” szelvényben van. Egyedül az „X/2” szelvény 10 cm mélységű rétegében mértünk az a magyarországi átlaggal megegyező 55 ppm P-koncentrációt. A foszfor szelvénybeli eloszlása eltérő az egyes mintapontokban. A nagyobb növényzettel rendelkező „K” és „X/2” szelvényekben a felszínen magasabb a foszfor mennyisége, majd a mélységgel folyamatosan csökken a P-koncentráció, ez az eloszlás típus figyelhető meg a réti és szikes talajok többségénél (Szendrei, 1998). Az „SZ-2” mintapont 70 cm-es mélységű rétegében a legmagasabb a foszfor szelvénybeli koncentrációja, ami a mélység növekedésével minimálisra csökken. Az „S1” szelvényben nem látható lényeges változás a P vertikális eloszlásában.



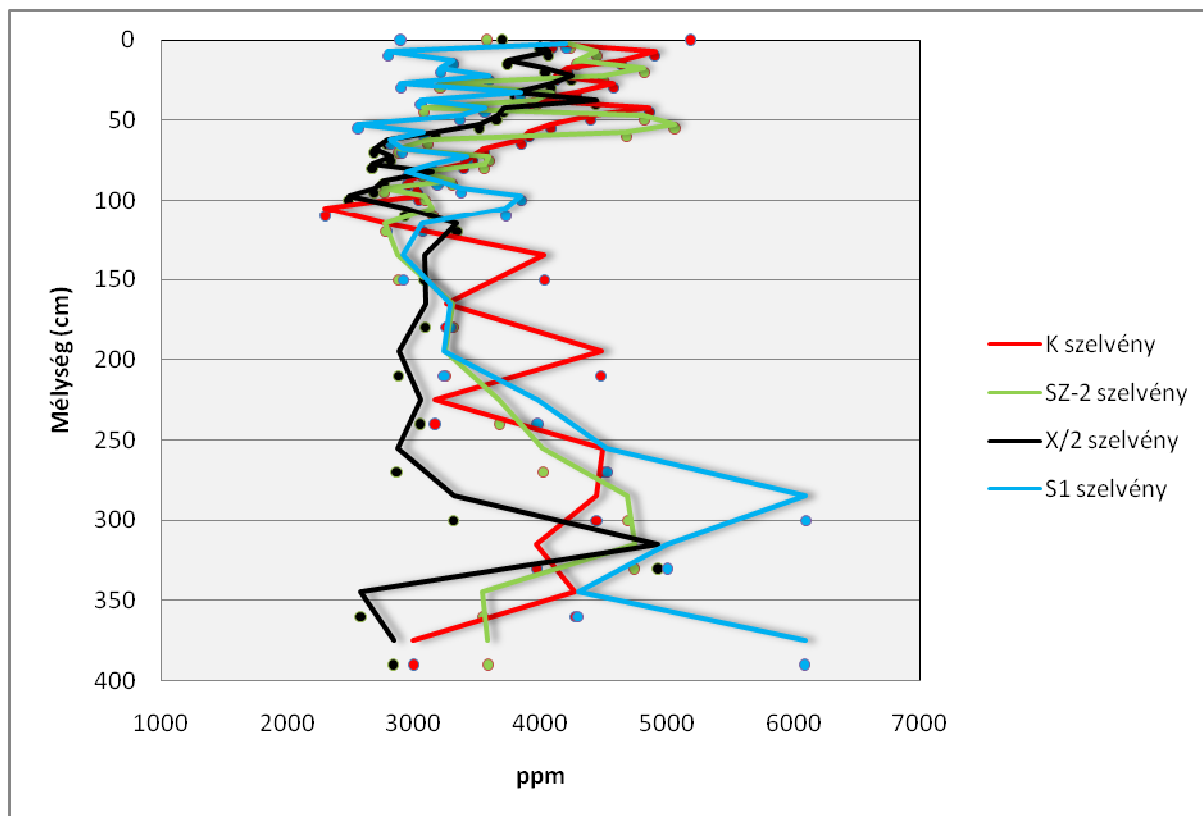
30. ábra A vizsgált szelvények növények által felvehető foszfortartalma

5.8.2. A vizsgált szelvények titántartalma

A vizsgált szelvények titántartalma a 9-12. táblázatokban, illetve a 31. ábrán látható.

A talajok titántartalma meglehetősen tág intervallumban mozog. Mivel legtöbbször néhány ezer ppm koncentrációban van jelen a talajokban és üledékekben, a titán azon ritka kivételek egyike, amely átlagos mennyisége miatt még nem főelem, viszont a nyomelemeknél sokkal

nagyobb mennyiségben van jelen, mind a földkéregben (3600 ppm), mind a talajokban (1000-10000 ppm) (Trudinger et al., 1979). A száraz, illetve sivatagi égvőben kifejlődött szikes talajok átlagos titántartalma 1000 ppm és 6000 ppm között mozog (Aubert és Pinta, 1977). A vizsgálati területek szelvényeinek átlagos titánkoncentrációja 3346 és 3870 ppm között mozog, de a „K” és „S1” szelvényeken belül előfordulnak kiugrónak számító 5-6000 ppm körüli értékek is. Ennek alapján megállapítható, hogy a Fehér-tó üledékeinek titántartalma a hasonló területeken mért átlag értékek alsó tartományában helyezkedik el. A titán szelvényeken belüli eloszlásán két jellegzetes tulajdonság figyelhető meg. A felső 100 cm-es rétegben magas a Ti-koncentráció, ez minden szelvény esetében lecsökken a 100 cm mélységű szintben. 100 cm-től 400 cm-ig minden szelvény esetén enyhén növekszik a titán mennyisége a mélység növekedésével.

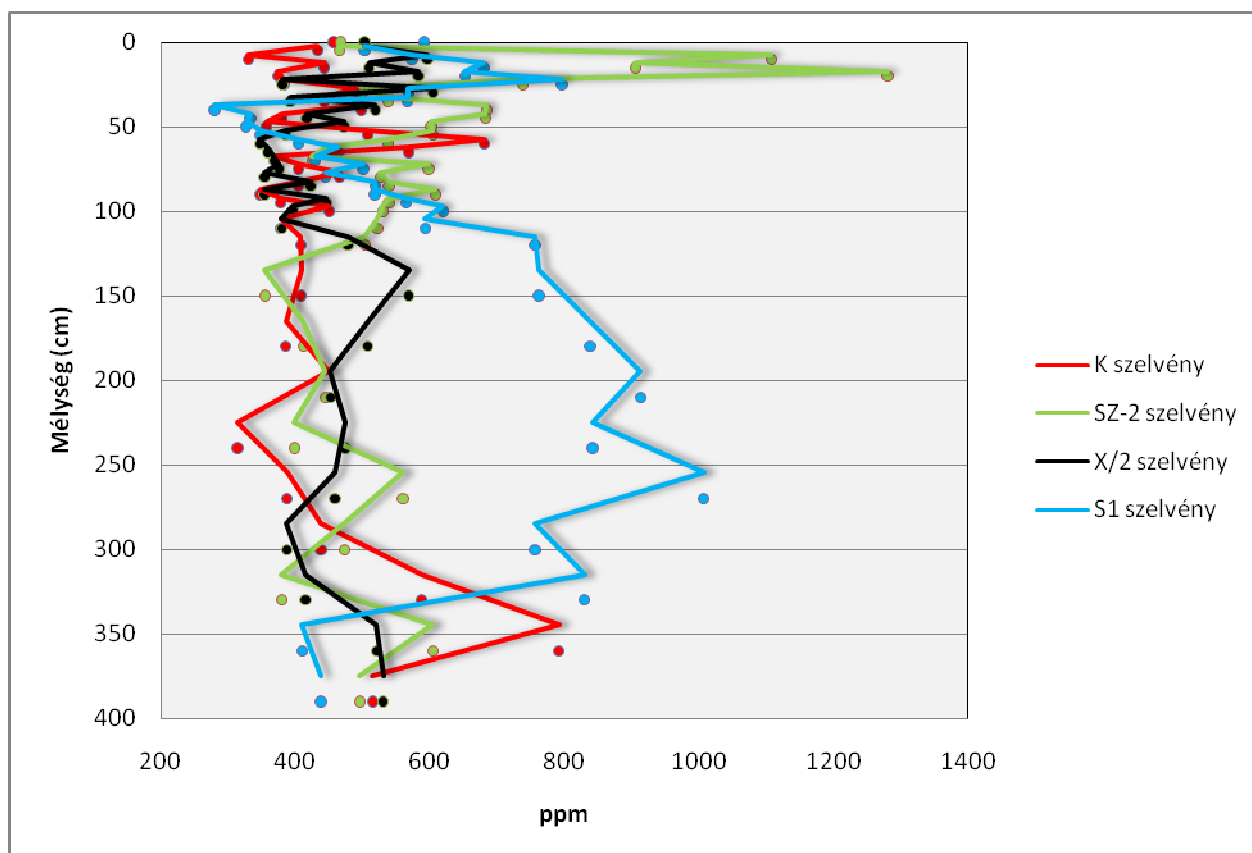


31. ábra A vizsgált szelvények titántartalma

5.8.3. A vizsgált szelvények mangántartalma

A szelvényekben mért Mn-koncentrációkat a 9-12. táblázatok és a 32. ábra mutatja be. A mangán mind a kőzetekben mind a talajokban nagyobb koncentrációban fordul elő, mint a nyomelemek többsége. A talajok túlnyomó többségében az összes mangán átlagos koncentrációja 1000 ppm, és nem haladja meg az 5000 ppm-t (Bowen, 1979), de kilúgozatlan

szikes talajok egyes felhalmozódási szintjeiben 10000 ppm összes mangántartalmat is mértek (Aubert és Pinta, 1977). A Fehér-tó üledékeinek mangán tartalma a talajokban mért világátlag alatt van, jellemzően a 400-500 ppm körüli tartományban mozog.



32. ábra A vizsgált szelvények mangántartalma

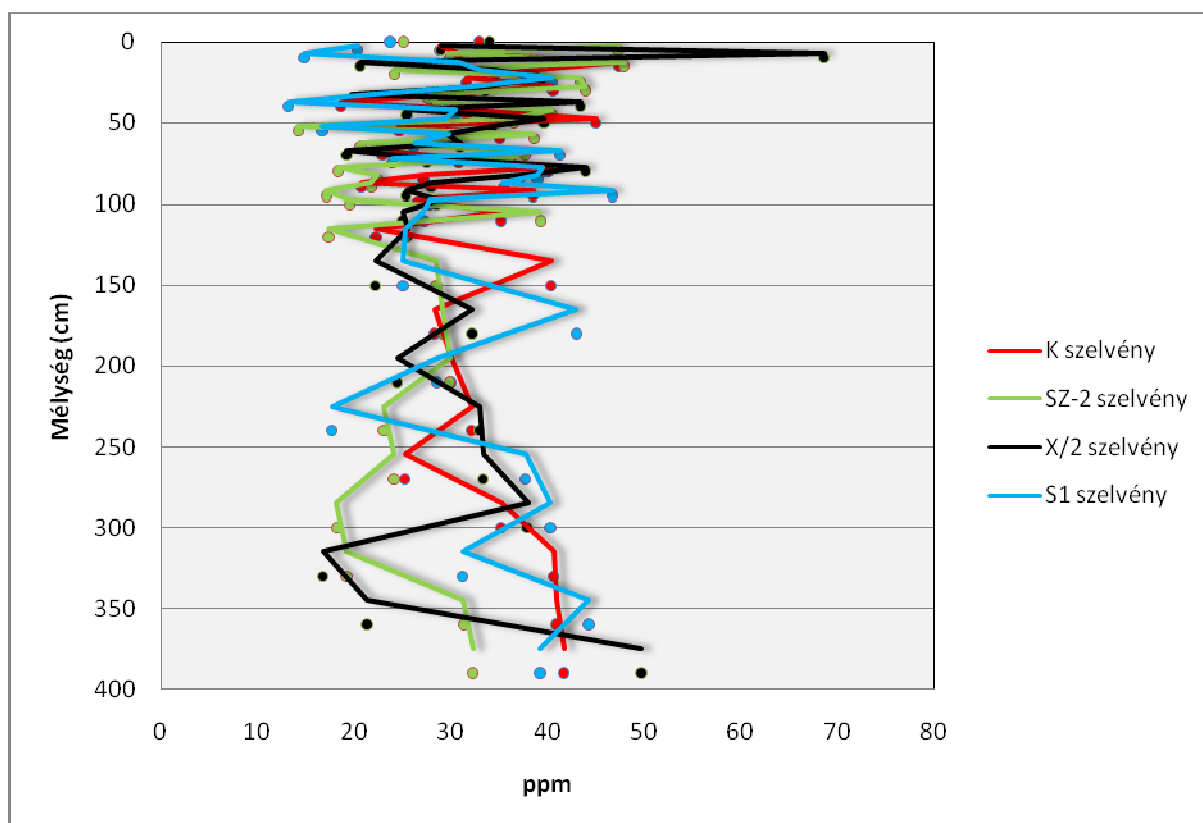
A legalacsonyabb átlagos Mn-koncentrációk a „K” (445 ppm) és az „X/2” (452 ppm) szelvényekben találhatóak, míg az „SZ-2” (578 ppm) és az „S1” (588 ppm) szelvények mangántartalma valamivel magasabb. Az egyes szelvények mangántartalmának vertikális eloszlásai jelentősen különböznek, minden szelvény felső rétegében található Mn akkumulációs szint. A „K” szelvény mangán eloszlása gyakorlatilag homogén, egyedül a 60 cm-es és a 350 cm-es szintekben látható némi kiugrás. Az „SZ-2” szelvény mangántartalmának mélységbeli eloszlása is homogénnek tekinthető, egyedül a 10 cm és 20 cm közötti rétegében nő meg jelentősen a mangán koncentrációja, a vizsgált mintapontok közül csak ebben az esetben tapasztalható 1000 ppm feletti Mn-koncentráció. Az „X/2” szelvény 20-40 cm-es szintjeiben illetve 150 cm mélységben emelkedik meg némileg a mangán koncentrációja, egyébként ebben a szelvényben sem változatos a Mn eloszlása. Az „S1” szelvényben mért Mn-koncentrációk lefutása jelentősen eltér az előző mintapontokban mértektől. A 30 cm mélységű szintben jelentős felhalmozódás tapasztalható, majd a mangán

koncentrációja 50 cm mélységben minimálisra csökken. Ezután a mangán mennyisége 270 cm-ig jelentősen megnövekszik, majd a szelvény aljáig csökken a Mn-koncentráció.

5.8.4. A vizsgált szelvények nikkeltartalma

Az egyes szelvényekben mért nikkelkoncentrációkról, illetve a mélységbeli eloszlásokról a 9-12. táblázatok és a 33. ábra ad felvilágosítást. A nikkel koncentrációja széles tartományban mozog az egyes talajtípusokban, az átlagos nikkelkoncentráció 20-30 ppm Adriano (1986) szerint, Berrow és Reaves a világ különböző tájainak talajaiban mért nikkelkoncentrációk alapján 25 ppm-ben határozza meg az átlagos nikkeltartalmat. A szikes területeken az üledékek, és talajok átlagos nikkel koncentrációja 1-20 ppm, de szoloncsák talajokban, magasabb, 50-100 ppm is lehet a Ni mennyisége (Aubert és Pinta, 1977).

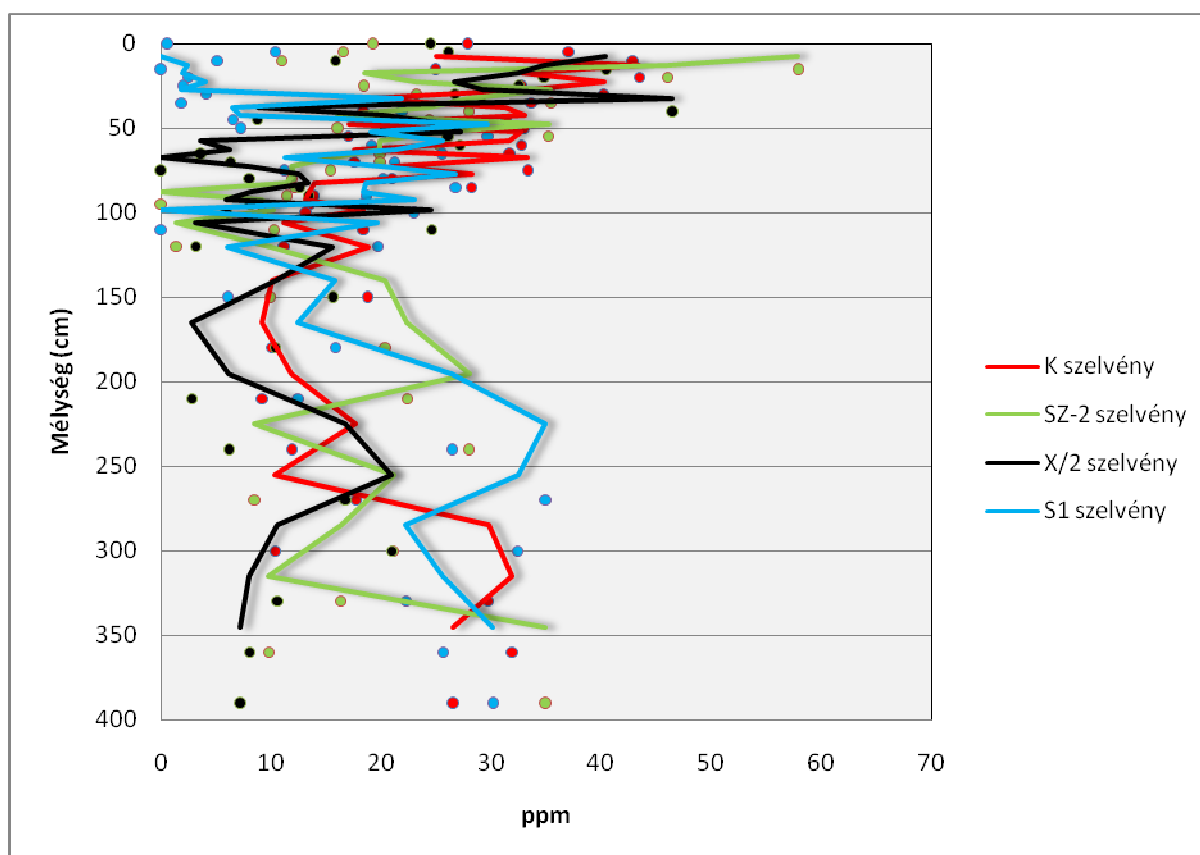
A vizsgált szelvények átlagos nikkeltartalma minden esetben 30 ppm körüli, tehát a hasonló üledékekre jellemző mennyiségben van jelen a nikkel a Fehér-tó területén is. A vizsgált szelvényekben a nikkel eloszlása egyenletes, nem mutat változatosságot a mélység változásával, ugyanakkor minden esetben a koncentráció értékek szórása nagy.



33. ábra A vizsgált szelvények nikkeltartalma

5.8.5. A vizsgált szelvények réztartalma

A szelvényekben mért rézkoncentrációk a 9-12. táblázatokban és a 34. ábrán láthatóak. A világ talajainak átlagos összes réztartalma 30 ppm, a váztalajokban többnyire nyomokban fordul elő, míg az ércterületek és az intenzív mezőgazdasági művelés alatt álló területek esetében a réz mennyisége meghaladhatja a 300 ppm-et is (Adriano, 1986). A Föld szikes talajaiban mért rézkoncentrációk átlagos értéke (60-70 ppm) magasabb a többi talajban mértnél, az erősen szikes területeken a réz mennyisége elérheti a 150 ppm koncentrációt is (Aubert és Pinta, 1977). A réz Magyarországon meghatározott geokémiai, várható háttér koncentrációja a vizsgálati területen 15 ppm (Ódor et al., 1997).



34. ábra A vizsgált szelvények réztartalma

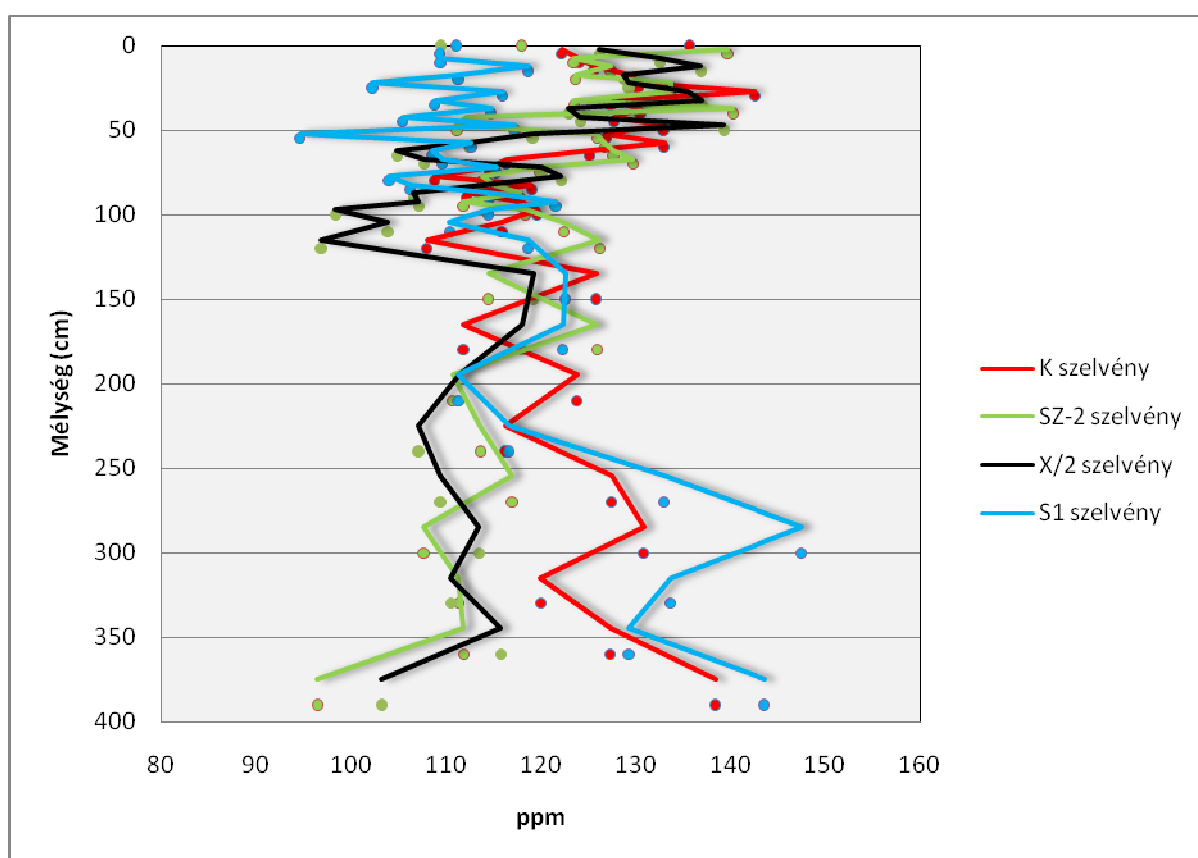
A Fehér-tó területén vizsgált mintapontok üledékeinek átlagos rézkoncentrációja 16-24 ppm. Ezek az értékek megegyeznek a várható geokémiai átlaggal, és a Duna-Tisza köze déli részén felállított TIM pontokban mért 25 ppm alatti átlagkoncentrációkkal (Juhász, 2008). és alatta maradnak a hatályos rendelkezésben meghatározott (10/2000. (VI. 2.) KöM-EüM-FVM-KHVM) 30 ppm háttér koncentrációnak.

Bár a szelvényekben mért rézkoncentrációk lefutása nagy szórással rendelkezik, minden esetben határozott trend figyelhető meg a réz mélységbeli eloszlásában. A „K”, „SZ-2”, „X/2” szelvények esetében a felszíni rétegekben maximális a Cu-koncentráció (40-50 ppm), ami

flyamatosan csökken a 100 cm-es mélységig, majd kisebb ingadozásokkal állandósul a szelvények aljáig. Ezzel szemben az „S1” szelvényben a felszínen minimális a réztartalom, majd az 50-60 cm mélységű rétegekben megnövekszik a réz mennyisége (ez azonban elmarad a másik három szelvények hasonló mélységű szintjeiben mért értékektől). A 100 cm mélységű rétegben újra lecsökken a réz mennyisége, ezután egyenletesen növekszik a szelvény legmélyebb pontjáig.

5.8.6. A vizsgált szelvények cinktartalma

A szelvényekben mért cink mennyiségeit és eloszlásait a 9-12. táblázatok és a 35. ábra szemlélteti.



35. ábra A vizsgált szelvények cinktartalma

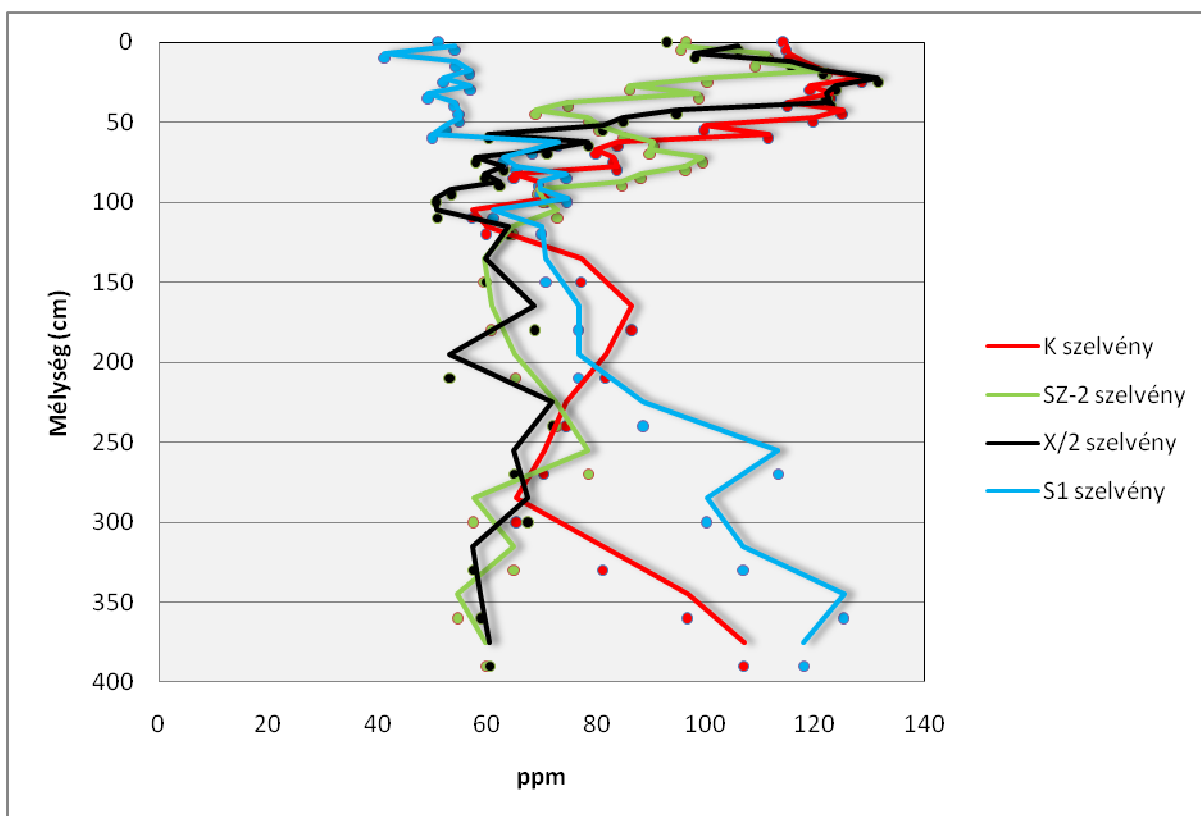
A talajok átlagos, összes cinktartalma igen széles tartományban mozog (1-900 ppm), a világ talajainak átlagos cinktartalma 50-100 ppm (Adriano, 1986). A szikes területek üledékeiben igen változatos a cink koncentrációja, a gránitokon fejlődött szikes talajok átlagos cink tartalma Ausztráliában és Bulgáriában 40-50 ppm, 100-200 ppm Zn mennyiséget mutattak ki Izraelben, illetve Türkmenisztánban extrém magas, 900 ppm cink koncentrációt detektáltak (Aubert és Pinta, 1977). A Duna-Tisza közti, löszön képződött, magas karbonáttartalmú, Ca-ban Mg-ban és Sr-ban gazdag 2. geokémiai nagytájon Ódor et al. (1997)

a zink koncentráció várható értékét 46 ppm-ben határozta meg. A Fehér-tó környezetében elhelyezkedő TIM pontokban mindenütt 100 ppm alatti a cink koncentrációja (Juhász, 2008). A vizsgálati terület mintapontjaiban az összes cink átlagos koncentrációi (116-124 ppm) valamivel meghaladják ezeket a háttér értékeket, valamint a törvényileg meghatározott 100 ppm-es határértéket.

A cinkkoncentrációk szelvényekbeli lefutásai eltérőek. A „K”, „SZ-2”, „X/2” szelvényekben a felszínen, illetve a felszín közelében mértük a legmagasabb értékeket, amik a 100 cm-es mélységig folyamatosan csökkennek, majd közel állandóak maradnak a szelvények aljáig. Az „S1” szelvényben a felszínen minimális a Zn-koncentráció és a mélység növekedésével folyamatosan nő.

5.8.7. A vizsgált szelvények rubídiumtartalma

A szelvények rubídium koncentrációit a 9-12. táblázatok, a koncentrációk vertikális eloszlását pedig a 36. ábra mutatják be.



36. ábra A vizsgált szelvények rubídiumtartalma

A rubídium koncentrációja relatíve magas, 200 ppm körüli, a savanyú kőzeteken fejlődött talajokban (Aubert és Pinta, 1977). A szikes talajok rubídium tartalma lényegesen eltér az egyes területeken. Míg az orosz szoloncsák talajok átlagos rubídium tartalma 19 ppm és 67

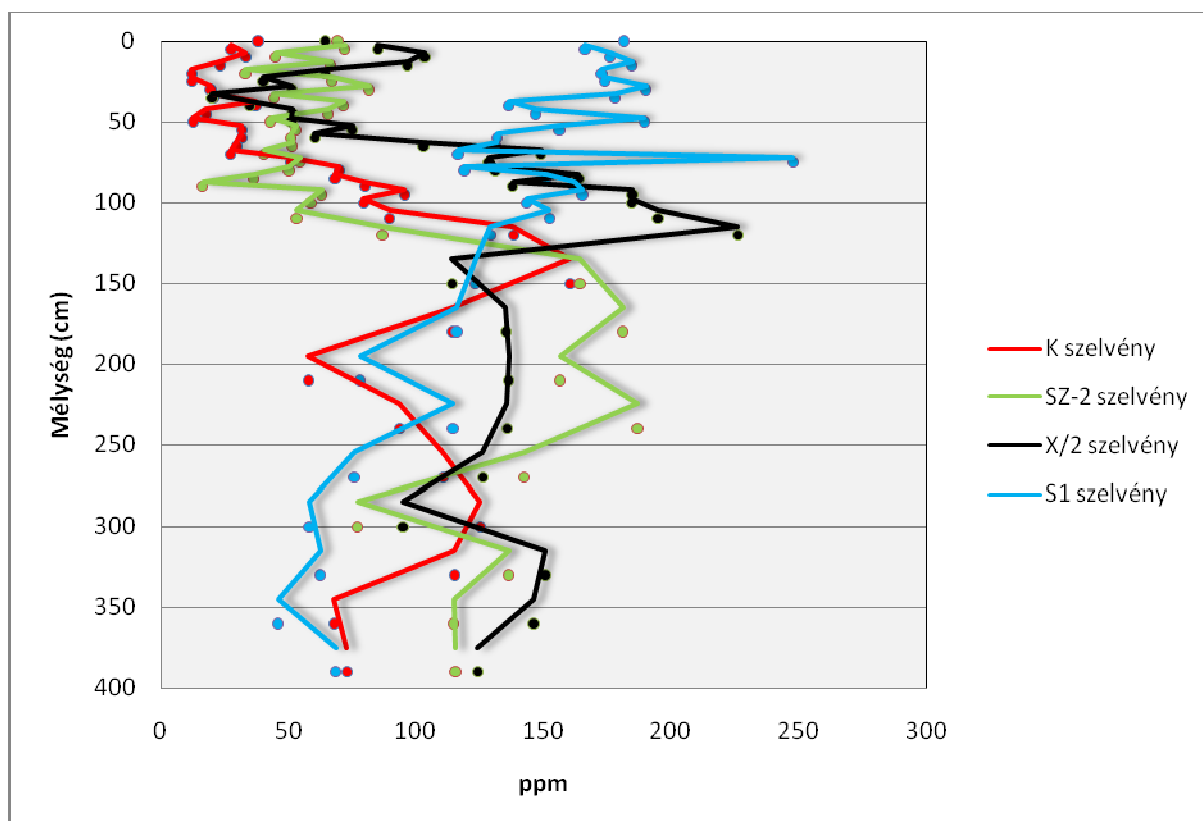
ppm tartományban van, addig a madagaszkári szikes üledékeiben 440 ppm rubídiumkoncentrációt mutattak ki (Vinogradov, 1959).

A vizsgálati területeken mért rubídiumkoncentrációk átlagértékei (70-93 ppm) elmaradnak a Föld talajaiban mért átlagos értékektől, ugyanakkor magasabbak, mint egyes szikes talajokban mért Rb-mennyiségek.

A vizsgált szelvények rubídiumtartalmának vertikális eloszlásai jelentősen eltérnek. A „K”, „SZ-2”, „X/2” szelvényekben a felszínhez közel, a 30-40 cm mélységű rétegekben felhalmozódási zóna figyelhető meg (a rubídium koncentrációja 120 ppm feletti). A rubídium koncentrációja a 100 cm-es mélységig folyamatosan csökken, majd közel állandó a szelvények aljáig. Az „S1” szelvényben a felszínen a legkisebb a Rb koncentrációja (40 ppm), majd a mélység növekedésével folyamatosan nő a mennyisége.

5.8.8. A vizsgált szelvények stronciumtartalma

A szelvényekben mért stronciumkoncentrációkról a 9-12. táblázatok és a 37. ábra nyújt tájékoztatást.



37. ábra A vizsgált szelvények stronciumtartalma

A stroncium átlagos talajbeli koncentrációja 500 ppm, koncentráció intervalluma 50-1000 ppm, általában a savanyú, többnyire grániton képződött talajok magasabb, míg a bázikus

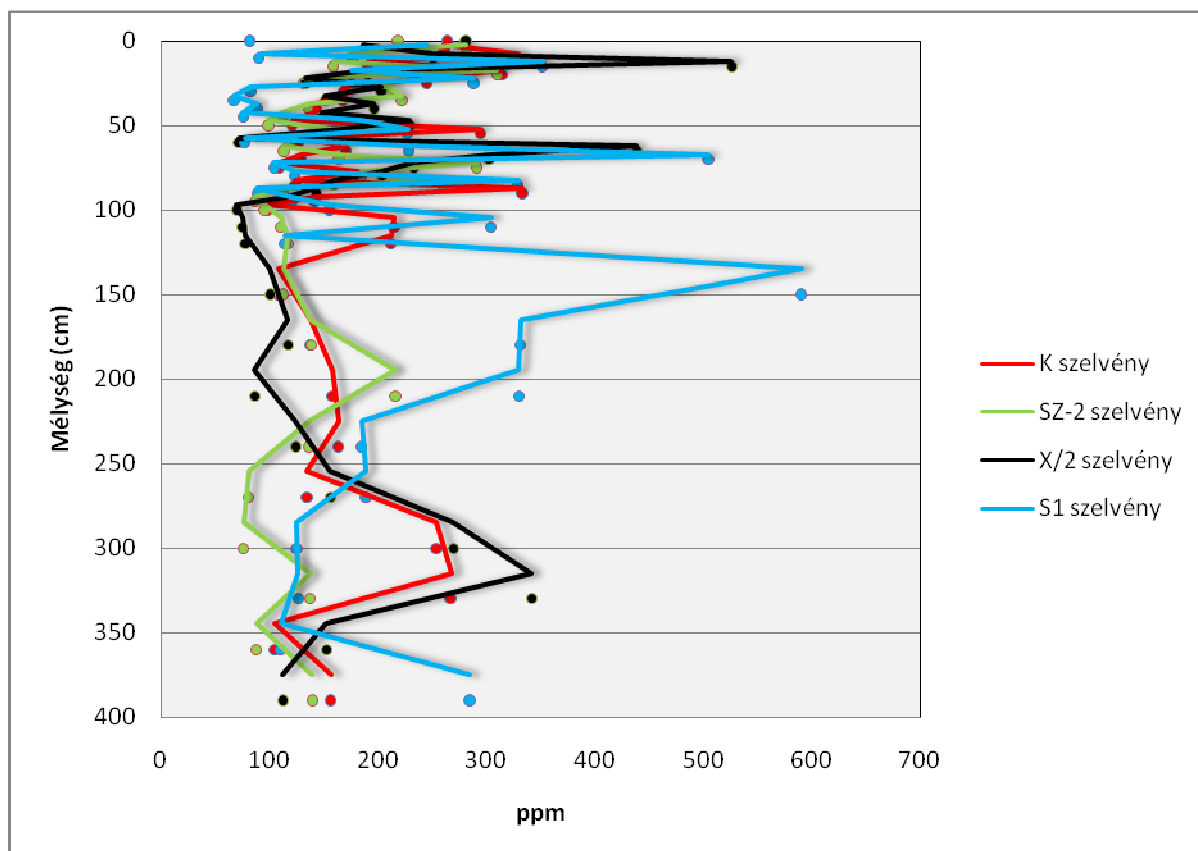
ultrabázikus kőzetek alacsonyabb stronciumtartalommal rendelkeznek (Aubert és Pinta, 1977). A szikes talajokban magasabb az átlagos Sr-koncentráció, mint az egyéb talajokban, 700 ppm és 3000 ppm koncentrációkról számol be Grazhdan (1959).

A vizsgált szelvények átlagos stronciumtartalma igen alacsony. A legkisebb átlagos stronciumkoncentráció (61 ppm) a „K” szelvényben, míg a legmagasabb érték (139 ppm) az „S1” szelvényben adódott.

A szelvényekben mért stronciumkoncentrációk vertikális eloszlása változatos képet mutat. A „K”, „SZ-2”, „X/2” szelvényekben a felszínen minimális a stronciumkoncentráció, majd a 150 cm-es mélységig erőteljesen növekszik a Sr mennyisége, ezután a szelvény mélyebb rétegeiben nem változik lényegesen a stronciumkoncentráció. Az „S1” szelvényben a felszíni magas stronciumkoncentráció egyenletesen csökken a mélység növekedésével, a 75 cm mélységű szintben tapasztalható kiugrás a Sr eloszlásában.

5.8.9. A vizsgált szelvények cirkóniumtartalma

A szelvényekben mért cirkónium mennyiségeiről és eloszlásáról a 9-12. táblázatok, illetve a 38. ábra ad információt.



38. ábra A vizsgált szelvények cirkóniumtartalma

A cirkónium a titán mellett az egyik legimmobilisabb elem a talajokban és üledékekben. Mivel a cirkónium túlnyomó többsége a mállásnak rendkívül ellenálló cirkon ásványban található (ZrSiO_4) ezért a cirkónium nagy része a talajok durva szemcsefrakciójában található (Peterson et al., 2007). A cirkon igen nagy (Mohs-féle skálán 7,5-8) keménysége miatt ellenáll a fizikai és kémiai mállási folyamatok nagy részének, így az üledékbeli koncentrációja a szinszediment és áthalmazódási folyamatokra utal. Az átlagos földkérgi koncentrációja 130 ppm, a talajokban elsősorban a taljképző kőzet fajtájától függően 1-1000 ppm lehet a cirkónium koncentrációja (Vinogradov, 1959).

A vizsgált szelvények átlagos cirkóniumtartalma alacsony, 200 ppm körüli. Ez a területet felépítő, lösz üledék alapvetően kis szemcseméretével magyarázható, a döntően lebegtetett és eolikus szállítás útján lerakódó üledék a cirkont csak minimális mennyiségben tartalmaz, annak nagy fajsúlya miatt.

A cirkónium szelvényeken belüli koncentrációjának lefutása zavart, határozott tendencia nem állapítható meg a vertikális eloszlásokban. Ez az időszakos, szél általi, durvább homokfrakció szállításának és leülepedésének eredménye. A rapszodikus leülepedett durvább szemcsefrakcióhoz kötött cirkon ásvány is hasonlóképpen rakódott le, és mivel a cirkónium immobilis, a másodlagos taljképző folyamatok nem változtatták meg a leülepedéssel kialakított eloszlásokat.

5.8.10. A vizsgált szelvények ólomtartalma

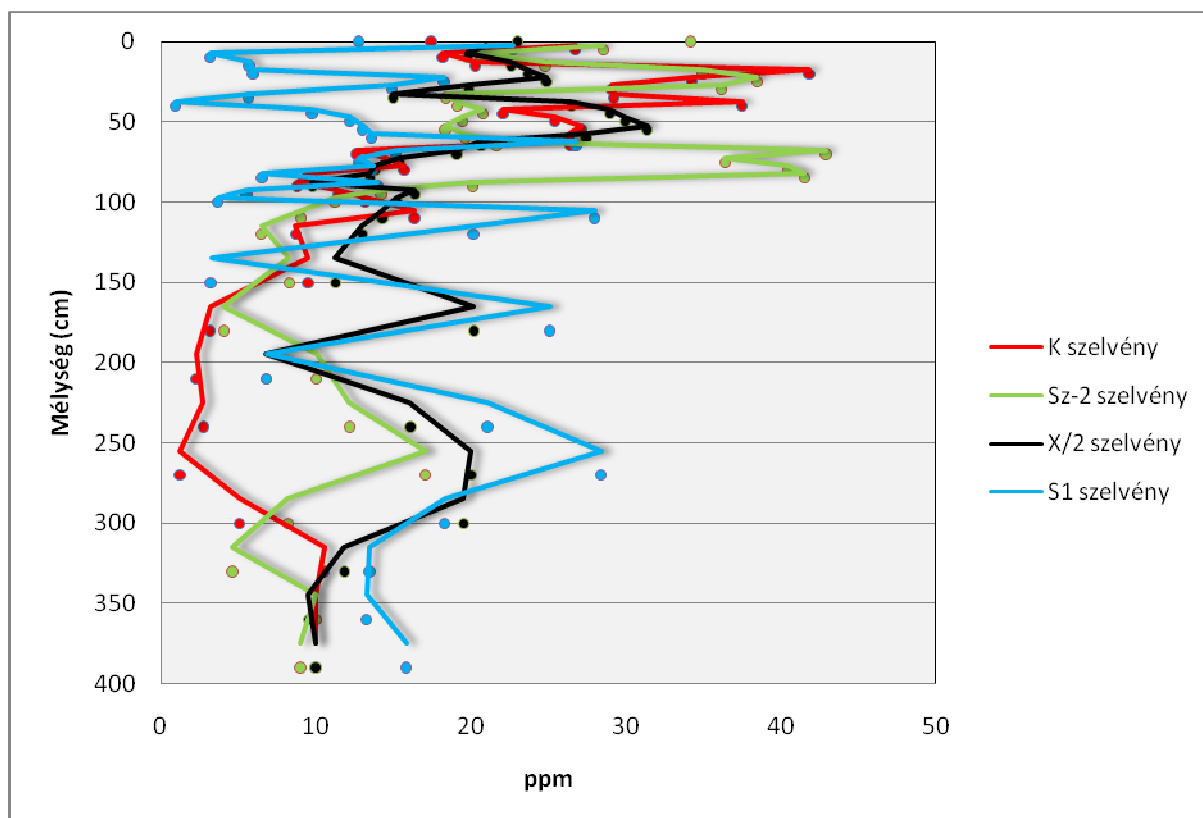
A szelvényekben mért ólomkoncentrációkról a 9-12. táblázatok, a szelvényeken belüli eloszlásokról pedig a 39. ábra nyújt tájékoztatást.

Az ólom az egyik legszélesebb körben tanulmányozott elem a környezeti-geokémiában, elsősorban az évtizedekig benzin adalékanyagként használt ólom-tetraetil ipari mennyiségű felhasználása és környezeti hatásai miatt (Fergusson, 1990). Az ólom átlagos litoszférabeli koncentrációja meglehetősen alacsony, 16 ppm (Vinogradov, 1959), a bázikus eruptív kőzetekben, és a mész-, valamint homokkövekben minimális, 8-10 ppm az ólom koncentrációja (Aubert és Pinta, 1977). A talajok átlagos Pb-koncentrációja 15-20 ppm (Adriano, 1986), azonban a magas szerves anyag, illetve agyagásvány-tartalmú üledékekben nagyságrendekkel magasabb lehet az ólom mennyisége. A tavi üledékek általában a talajoknál nagyobb mennyiségben adszorbeálják az ólmot, Ren-Ying et al. (2007) a kínai Yunnan tartomány ipari vidékén az üledékben 42-592 ppm ólomkoncentrációkat mértek, de a Balatonban is, az átlaghoz képest lényegesen magasabb, 20-160 ppm ólom mennyiségeket mért Nguyen et al. (2005). A Magyarországon mért átlag Pb-koncentrációk a talajban 0 és 30

ppm között mozognak, ritka kivételek csak az ipari központok környékén jelentkeznek (Ódor et al, 1997).

A Fehér-tó mintaterületein mért átlagos ólomkoncentrációk 13-21 ppm között vannak, tehát mind a világátlagtól, mind a magyarországi átlagos értékektől elmaradnak.

Általában megfigyelhető, hogy minden vizsgált szelvény esetében a felső rétegekben nagyobb az ólom mennyisége, ami a mélység növekedésével csökken, ez az ólom atmoszférikus eredetére, illetve az erősen immobilis tulajdonságára (Hartyán et al., 2000) utal. Hasonló tavakban Rippey et al. (2007) szintén az ólom atmoszférikus eredetére vezette vissza felszínközeli üledék magas ólomtartalmát.



39. ábra A vizsgált szelvények ólomtartalma

5.9. A vizsgált üledékszelvek geostatistikai jellemzése

Az 5.1. - 5.8. fejezetekben bemutatott relatíve nagy számú vizsgálati adat indokoltá tette, hogy a vizsgált üledékekben ható geokémiai háttér folyamatok, illetve a mért paraméterek közötti mélyebb összefüggések meghatározása érdekében geostatistikai vizsgálatokat végezzünk.

Az alap, egyváltozós geostatistikai vizsgálatokkal minden szelvényben és minden mért paraméter esetében meghatároztuk a mediánt, módust, minimum, maximum értékeket, szórást, valamint a változók eloszlásának típusát. Mivel ezen paraméterek táblázatszerű ismertetése is

legalább harminc oldalt igényelne – amit az értekezés terjedelmi korlátja nem tesz lehetővé –, ezért e vizsgálatok eredményeinek részletes bemutatásától itt eltekintek. Egyrészt azért, mert elsősorban a többváltozós geostatisztika korrekt elvégzéséhez volt szükség ezekre a döntésegítő alapvizsgálatokra, másrészt önmagukban e paraméterekből még érdemi konklúziók nem vonhatóak le. Azokban az esetekben, amikor a többváltozós statisztika értelmezéséhez szükség volt néhány alapstatisztikai megfigyelés bemutatására, ismertetem a lényegesebb összefüggéseket.

5.9.1. A vizsgált szelvényekben mért paraméterek korrelációs viszonyai

A korrelációs táblázatokban (13-16. táblázatok) kiemelésre kerültek a 0,7, vagy annál nagyobb korrelációs értékek. A 0,7 feletti korrelációs értékek 20 vagy annál nagyobb mintaszám esetében már megbízhatóan jellemzik az adott változók közötti kapcsolatokat (Sváb, 1981).

5.9.1.1. A „K” szelvényben mért paraméterek korrelációs tulajdonságai

A „K” szelvényben mért változók korrelációs együtthatóit a 13. táblázat szemlélteti.

A szelvénybeli mélységgel összesen öt változó mutat szorosabb összefüggést. A TOC (-0,91) és az agyagfrakció (-0,78) erős negatív korrelációt mutat a mélységgel, mint ahogy az a 14. ábrán és a 19. ábrán látszik a szerves anyag és az agyagfrakció döntően a szelvény felső rétegeiben dúsul. A kőzetliszt (0,82), a karbonáttartalom (0,69) és a Mg (0,68) elsősorban a mélyebb rétegekben uralkodó.

A kémhatás erős pozitív korrelációt mutat a karbonát- (0,67) és Ca- (0,70) tartalommal (természetesen a karbonáttartalom és a Ca mindig pozitívan fog függeni egymástól, hiszen döntően CaCO_3 van jelen az üledékekben), nyilvánvalóan az erősen lúgos környezetben történik meg a karbonát kicsapódása. A pH valamint a TOC (-0,99) erős, míg a Rb (-0,65) mennyisége gyengébb fordított arányosságot mutat. A TOC a felszíni rétegekben a legnagyobb, ugyanekkor ebben a szintben a legalacsonyabb a pH (7. ábra). A Rb a legfelső szintekben dúsul, míg a pH a mélyebb rétegekben, tehát elsősorban a mélységbeli elkülönülés miatt negatív a korreláció.

A vezetőképesség 99%-os egyezést mutat a Na-mal, tehát a terület sóinak teljes mennyisége Na-só. A sók szoros összefüggést mutatnak az agyag frakcióval (0,76), elsősorban a finom, kolloidális mérettartománnyal együtt mozognak a könnyen oldható sók.

Mivel az a jelenség az üledék felső részében játszódik le, a kőzetliszt frakció pedig a mélyebb rétegekben dúsul, az EC és a kőzetliszt frakció negatív korrelációt (-0,74) mutat.

A TOC a pH mellett a mélységbeli elkülönülés miatt erősebb korrelációt mutat a Mg-mal (-0,77), illetve a Ca-mal (-0,72). A kevés mintaszám miatt nem lehet messzemenő következtetéseket levonni, de a TOC elsősorban ott több ahol, kisebb a vezetőképesség (-0,58), illetve a Na (-0,71), valamint az agyagfrakció (-0,76), míg a homokfrakcióval (0,69) és a jellegzetesen a durva frakcióhoz kötődő titánnal pozitív (0,72) a mennyiségi kapcsolata. Ezek alapján a szerves anyag inkább a durva frakcióban van jelen, míg a finom frakcióban gyakorlatilag elenyésző a mennyisége.

Az agyagásványok korrelációs analízise a kevés mintaszám miatt nem szolgáltat értékelhető információkat. Ami azonban a kevés mintaszám ellenére is megfigyelhető, az, hogy az illit mennyisége erősen kötött az Al- (0,85), Si- (0,79), valamint Rb- (0,80) koncentrációkhoz, amiből az üledék felső szintjeiben zajló intenzív mállási folyamatokra következtethetünk. Az illit negatív korrelációt mutat a karbonáttartalommal (-0,82), illetve a Ca-mal (-0,82), azért, mert agyagásványok elsősorban a felső szintekben (19. ábra), a karbonát pedig a mélyebb rétegekben dúsul (13. ábra).

A szelvény karbonáttartalma csak a Ca (0,90), Mg (0,72) és Sr (0,85) mennyiségével mutat pozitív korrelációt. Ez egyértelműen annak a következménye, hogy a karbonáttartalom a mélyebb rétegekben dúsul, ezzel együtt a mélyebb szintekben tapasztalt dolomitizáció eredménye a Mg-mal való szoros korreláció. A stroncium pedig ahogy, nagyon sok esetben (Fergusson, 1990), itt is helyettesíti a Ca-ot a kalcit kristályrácsában. A karbonáttartalom minden esetben erős negatív korrelációt mutat az Al-mal (-0,88), a Si-mal (-0,89), a K-mal (-0,72), a Fe-sal (-0,72), valamint a Rb-mal (-0,90). Ezek az elemek erős felhalmozódást mutatnak a szelvény felső szintjeiben, míg a karbonát a mélyebb rétegekben van jelen, így itt is a térbeli differenciáció a kiváltó ok.

A Mg csak a Sr-mal mutat szorosabb pozitív összefüggést (0,81), ami annak következménye, hogy mindkét elem elsősorban a CaCO_3 -ban dúsul.

Az Al, Si, K, Fe, és Rb minden esetben 0,80 feletti, pozitív korrelációt mutatnak egymással. Mint ahogy az az 5.7. és 5.8. fejezetben is bemutatásra került, ezek az elemek a szelvény felső 100 cm-es rétegében mutatnak intenzív felhalmozódást, és minden esetben hasonló a szelvénybeli lefutásuk, így az egymással való korrelációjuk is. Az Al, Si, K, Fe, és Rb nem csak egymással, mutatnak erős korrelációt, hanem minden esetben a Cu-zal, Zn-kel, és Pb-mal is. Ez a szoros összefüggés az üledék felszíni rétegeiben bekövetkező intenzív

mállási folyamat eredményeképp jött létre, a lösz alapkőzet mállásából, és az agyagásványok képződéséből, az erősen lúgos körülmények miatt a finom szemcsefrakcióban.

A korrelációs eredmények alapján a vizsgált változók alapvetően két csoportra különülnek. Az egyik csoportban a döntően a felszín közelében dúsuló agyagfrakció, TOC, agyagásványok, valamint az Al, Si, K, Fe, Ti, Cu, Zn, Rb, és Pb van jelen, míg a másik csoportot a mélyebb rétegekben előforduló magasabb pH, a karbonáttartalom, a Ca, Mg és Sr alkotják. Ezek alapján megállapítható, hogy az üledékben legalább két ellentétes, szelektív elem dúsulást, illetve az ehhez köthető geokémiai alapparaméterek (pH, EC) elkülönülését okozó folyamat hat. A felszíni rétegekben a váltakozó vízjárás igen intenzív mállást idéz elő, és a döntően kolloidális formájú agyagásvány mállási termékekhez köthetőek a felszínen dúsuló elemek. Ezzel párhuzamosan a kalcium kilúgzódása, és a mélyebb szintekben a pH hatására történő kicsapódása figyelhető meg.

5.9.1.2. Az „SZ-2” szelvényben mért paraméterek korrelációs tulajdonságai

Az „SZ-2” szelvényben mért változók korrelációs együtthatóit a 14. táblázat szemlélteti. A szelvényben mért korrelációs koefficiensek nagyok sok szempontból hasonlóak a „K” szelvényben mértékekhez.

A mélység növekedésével a kőzetlisztfrakció (0,79), a karbonáttartalom (0,69), valamint a Sr (0,65) mutat jelentősebb növekedést. A kis mélységekben a vezetőképesség (-0,70), a Na (-0,70), az Al (-0,72), a Si (-0,80), a Zn (-0,67), valamint a Rb (-0,72) mutat relatív dúsulást. Már ezekből az értékekből is látszik, hogy hasonlóan a „K” szelvényhez, ebben az esetben is egy felső 100 cm-es, illetve az alatta levő szintekben elkülönül az egyes elemek felhalmozódása.

Mivel a pH jórészt kiegyenlített a szelvény mentén (7. ábra), ezért a karbonát mélyebb rétegekben való felhalmozódása okozza az erős pozitív korrelációt (0,74) a két paraméter között. A pH negatív korrelációt mutat az Al-mal (-0,79), a Si-mal (-0,81), a Fe-sal (-0,74), valamint a Rb-mal (-0,81). Ezek alapján a kalcit kiválása – ahogy az egyébként el is várható – a magasabb pH-val rendelkező rétegekben történik meg, míg az enyhén lúgos környezetben az üledék felső rétegeiben a mállási termékek dúsulnak.

Érdekes megfigyelni, hogy ebben a szelvényben a vezetőképesség gyakorlatilag csak a Na-mal mutat egyenes arányosságot (0,80). Ez alapján, feltételezhető, hogy – szemben a „K” szelvénnel – a könnyen oldódó sók külön mozognak minden más üledékalkotótól.

A szerves anyag mennyisége elsősorban az agyagásványokkal mutat szorosabb pozitív összefüggést, annak ellenére is, hogy az összehasonlításra felhasznált minták száma

viszonylag kevés. A szerves anyag és a Ca-tartalom közti fordított arányosság (-0,71) a szintekbeli elkülönülésükkel magyarázható, a szerves anyag döntően a felső rétegekben van jelen (5.5.2.2. fejezet), míg a Ca, karbonát formában a mélyebb rétegekben dúsul (5.7.6. fejezet).

Bár az összehasonlítások mintaszáma kevés, azonban az agyagásványok esetében egyértelműen megfigyelhető, hogy mindhárom agyagásvány csoport egymással szoros pozitív összefüggést mutat, valamint az elvárthoz képest, egyik sem az agyagfrakcióban van döntően jelen. Ez az agyagásványok mélyebb, kőzetliszt frakció uralta rétegeiben történő megnövekedése, valamint az üledék felső részének keveredésére vezethető vissza. Mivel az üledék felső része a hosszabb száraz periódusokban felrepedezik és fizikai keveredés játszódik le, nem tud a kolloidális, vagy finom szemcseméretű agyagfrakció olyan módon felhalmozódni, mint az a „K” (19. ábra) és „X/2” szelvények (21. ábra) esetén tapasztalható.

A homokfrakció pozitív korrelációt mutat az Al-mal (0,70), a Si-mal (0,80), a Rb-mal (0,70), valamint az ólommal (0,73), valamint fordítottan arányos a kőzetliszt frakcióval (-0,74), a karbonát- (-0,73), valamint a Ca-tartalommal (-0,70). Ezeknek az összefüggéseknek a magyarázata szintén a vertikális elkülönülés. Amíg a homokfrakció valamint az Al, Si, Rb, és az ólom a felső rétegekben van jelen (5.7. fejezet), addig a kőzetlisztfrakció (5.3.2. fejezet) valamint a karbonát (5.4. fejezet) (ezzel együtt természetesen a Ca is) a mélyebb rétegekben van jelen.

Szoros összefüggés mutatható ki az Al, Si, K, Fe, Rb és Pb szelvénybeli koncentrációja között. Ezek az elemek minden esetben egymással 0,8 – 0,9 feletti korrelációs együtthatókkal rendelkeznek. Ennek magyarázata az, hogy az üledék felső részében az intenzív mállási folyamatok hozták létre ezeket az elem eloszlásokat. Az ólom elsősorban az atmoszférikus kiülepedése miatt magasabb az üledék felső rétegeiben.

Fontos megemlíteni, hogy a Mg a Sr-mal nagyon szoros, pozitív korrelációt (0,88) mutat. Mivel a „K” szelvényben is hasonló a két elem koncentrációjának lefutása, valamint ezek a koncentráció növekedések a dolomittal együtt jelennek meg szelvényekben, feltételezhető, hogy a Mg és a Sr is a dolomit képződésével párhuzamosan épül be a kalcitrácsba.

5.9.1.3. Az „X/2” szelvényben mért paraméterek korrelációs tulajdonságai

Az „X/2” szelvényben mért változók korrelációs együtthatóit a 15. táblázat szemlélteti. A szelvényben mért paraméterek összefüggései sok hasonlóságot mutatnak az előzőekben bemutatott „K” és „SZ-2” szelvénynél látottakkal.

A mélységgel erős pozitív korrelációt mutat a kőzetlisztfrakció (0,90), valamint a karbonáttartalom (0,74). A mélységgel fordított arányosságban áll a vezetőképesség (-0,86), a TOC (-0,85), az agyagfrakció (-0,84), valamint a Na (-0,70). Ezek alapján az eddigi szelvények közül leginkább itt jelennek meg az üledék felső szintjében a könnyen oldódó sók, valamint a finom frakció és a szerves anyag egyszerre. Ez arra enged következtetni, hogy ebben az esetben az előbbi komponensek döntően kolloid formában a könnyen oldódó sókkal együtt mozognak az üledékben.

A pH pozitív korrelációt mutat a vezetőképességgel (0,81), valamint az agyagfrakcióval (0,69), ez is megerősíti, hogy a könnyen oldódó Na-sók a finom frakcióval együtt vannak jelen az üledékben. A pH negatív korrelációt (-0,72) mutat a szervesanyag-tartalommal, ugyanúgy, mint a „K” és az „SZ-2” szelvények esetében, tehát ezek alapján a szerves anyag az alacsonyabb pH-val rendelkező üledékszintekben képes megőrizni.

A vezetőképesség erősen pozitív korrelációt mutat az agyagfrakcióval (0,95), valamint a Na-tartalommal (0,96). Ez is az előzőekben megállapítottakat erősíti meg, miszerint a döntően Na-sók a finom szemcsefrakcióval együtt találhatóak az üledékben. Mivel a könnyen oldódó sók a felső, a kőzetliszt frakció pedig a mélyebb szintekben halmozódik fel, a két paraméter között erős negatív korreláció (-0,89) áll fent.

A TOC mennyiségének eloszlása egyenesen arányos a szelvényben az Al (0,80), a Si (0,81), a Ti (0,87), a Cu (0,70), valamint a Rb (0,83) koncentrációjával, míg a karbonáttartalommal (-0,96), a Ca-al (-0,89), valamint a Sr-mal (-0,74) negatív a korreláció. Ennek magyarázata az, hogy a szerves anyag az Al, Si, Ti, Cu, Rb elemekhez hasonlóan a felső szintekben dúsul, míg a CaCO_3 , a kísérő Sr-al együtt a mélyebb rétegekben halmozódik fel.

Az agyagásványok mennyisége ebben a szelvényben lényegesen több paraméterrel mutat összefüggést, mint az előzőekben bemutatottak esetében. Mindhárom anyagásványcsoport gyakorlatilag teljesen együtt van jelen az üledékben. A csekély mennyiségű adatpár ellenére világosan látszik, hogy az agyagásványok a Na, az Al, a K, a Fe, a Ti, a Cu, a Rb, valamint a Ni eloszlásával mutatnak az esetek többségében 0,8 – 0,9 feletti pozitív korrelációt. Ebben az esetben arra következtethetünk, hogy az intenzív mállás során döntően a földpátokból recens agyagásvány-képződés játszódik le, ami döntően kolloidális méretű és a könnyen oldódó sókkal együtt mozog. Jelen esetben egyik agyagásvány csoport képződése sem kitüntetett, mivel minden szükséges ion jelentős mennyiségben van jelen az üledékben. A Cu, illetve a Ni nagy valószínűséggel szennyezőként az agyagásvány, valamint a szerves csoportokhoz kötötten van jelen a szelvényben. Az összes agyagásvány negatív korelációt mutat a Cr-al,

ami azzal magyarázható, hogy a Cr legtöbbször kromát anionként van jelen az felszínközeli üledékekben, és az agyagásványok anionkötő képessége meglehetősen alacsony, tehát nem tudják adszorbeálni a krómot.

Az Al, Si, K, Fe, Ti, Cu, Zn, Rb egymással minden esetben szoros 0,8 körüli pozitív korrelációt mutat, míg ezek az elemek a karbonáttartalommal, a Ca-mal, valamint a Sr-mal erősen negatív korrelációban vannak. A magyarázat a szelvénybeli elkülönülésükben keresendő. A Ca a Sr-mal a szelvény mélyebb rétegeiben található, míg az Al, Si, K, Fe, Ti, Cu, Zn, Rb mállási termékként a felső 100 cm-es rétegben helyezkedik el.

5.9.1.4. Az „S1” szelvényben mért paraméterek korrelációs tulajdonságai

Az „S1” szelvényben mért változók korrelációs együtthatóit a 16. táblázat szemlélteti. A szelvényben tapasztalt korrelációs viszonyok jelentősen eltérnek az előző három szelvénytől tapasztaltaktól.

A mélységgel pozitív korrelációt mutat a montmorillonit (0,73), az Al (0,93), a K (0,83), a Fe (0,92), a Ti (0,75), a Zn (0,80), valamint a Rb (0,95), míg a karbonáttartalom (-0,95), a Ca (-0,90), valamint a Sr (-0,85) fordítottan arányos a mélységgel. Ennek alapján az látható, hogy az előző szelvényekben tapasztalt tendencia gyakorlatilag megfordul, a karbonát a felszín közelében dúsul, míg a döntően agyagásványokhoz és a mállás folyamatához kapcsolható elemek a mélyebb szintekben jelennek meg.

A pH csak a vezetőképességgel (0,91), illetve a Na-mal mutat (0,70) pozitív korrelációt, tehát ebben a szelvényben a könnyen oldódó Na-sók határozzák meg a pH nagyságát.

A szerves anyag mennyisége a kis mintaszám ellenére is a homokfrakcióval mutat pozitív korrelációt (0,85).

Az agyagásványok mennyisége egyenesen arányos az Al, K, Fe, valamint a nikkeltartalommal, a korreláció minden esetben 0,8 körüli. Az előző szelvényekkel ellentétben az agyagásványok csak kis mértékben mutatnak pozitív korrelációt a Rb-mal, ami arra enged következtetni, hogy ebben a szelvényben a mállás kisebb mértékű, mint a másik három mintaterületen.

Az Al, Si, K, Fe, Ti, Zn, Rb – mint ahogy az előző szelvények esetében is – 0,8 - 0,9 közötti korrelációs együtthatóval rendelkeznek, míg ezek az elemek a karbonáttartalommal, a Ca, és Sr koncentrációjával fordított arányosságban állnak. Tehát ismét két csoport különül el, egyrészt a karbonát, illetve a feltételezhetően mállási folyamatok termékeként létrejött elemcsoport. E szelvény esetében azonban az előzőekben tapasztalt tendencia megfordul. Míg a karbonát közvetlenül a felszín közelében jelentős mennyiségű, addig a Al, Si, K, Fe, Ti, Zn,

Rb a mélyebb rétegekben nagyobb arányú. Ennek magyarázata a szinte állandó vízborítás lehet. Egyrészt a kalcium kilúgzásának mértéke az állandó vízszint miatt szinte minimális, tehát a mederfenék felső szintjében történik a karbonát kiválása, másrészt a döntően az alapkőzet lösz mállásából származó, kolloidális mérettartományú elemek nem tudnak a felszín közelében dúsulni, mivel a rövid száraz periódusokban nem elegendő az idő a kapillaris traszport folyamatokra.

5.9.2. A vizsgált minta szelvények főkomponens-analízisének eredményei

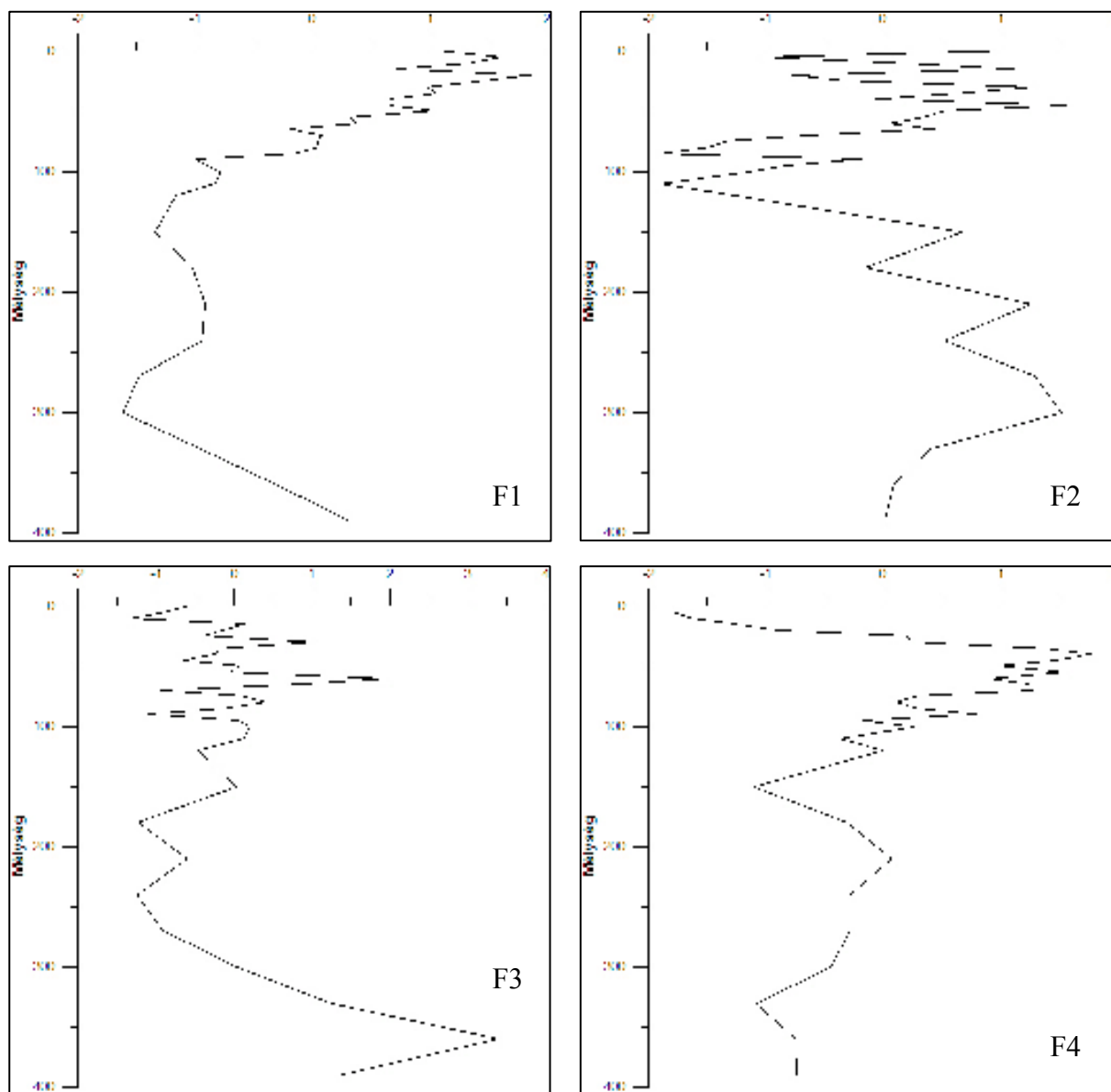
A sok változóval és nagy mintaszámmal rendelkező geológiai, geokémiai, talajtani vizsgálatok során az egyik legfontosabb kérdés, hogy a mért értékeket, mely háttértényezők, folyamatok alakították ki. Ezen háttérfolyamatok felderítésének egyik legjobb módszere a főkomponens-analízis. Az eljárás során azt vizsgáljuk, hogy az adott komponensek a minták varianciájának (változékonyságának) mekkora hányadát magyarázzák. Ha egy adott geológiai folyamat 100%-ban magyarázza például egy mintaszelvényben a mért elemeloszlási adatokat, akkor az elem koncentrációkat kialakító mechanizmusok determinisztikusak, azaz semmiféle véletlenszerűség nincs az adatokban. Ha a mért paraméterek véletlenszerűen oszlanak el a mintaszelvényben, akkor nem találunk olyan folyamatot, amely magyarázná a kialakult, például elem eloszlásokat. A természetes geológiai, talajtani folyamatok esetén e két szélsőséges eset nagyon ritkán fordul elő (Baksa et al., 1983). Általában a mintapopulációban kialakuló paraméterek eloszlását több, és legtöbbször bonyolult interakciók révén ható folyamat alakítja ki, vagyis az elemeloszlások varianciájának csak egy részéért felelős egy-egy mechanizmus. Azonban az egyes főkomponensek alkotói geokémiai, geológiai, talajtani tulajdonságának ismeretében visszakövetkeztethetünk a háttérfolyamatra.

Mivel a főkomponens-analízis egy szelvényben csak az azonos mintapontokban mért paraméterekre alkalmazható, csak a fő-, és nyomelemeket, valamint a pH és EC értékeket tudtuk elemzés alá vetni. Mind az elemek eredeti eloszlásával, mind a logaritmikusan normált eloszlásaikkal elvégeztük a főkomponens-analízist. Azt állapítottuk meg, hogy csak ritka esetben tért el a két elemzés végeredménye. Azokban az esetekben, ahol egy-egy eredeti paraméter-eloszlás felhasználásakor nem volt értelmezhető az adott főkomponensbe való besorolása, a normált eloszlást alkalmazó eredményeket használtuk fel.

Összességében minden szelvény esetében négy főkomponenst tartottuk relevánsnak. E négy komponens az adatok varianciájának ~80%-át magyarázták, ami meglehetősen kielégítő értéknek mutatkozik. Az alábbiakban szelvényenként mutatjuk be az egyes főkomponenseket, a főkomponensek elemeit, illetve a főkomponensek szelvénybeli eloszlását.

5.9.2.1. A „K” szelvény főkomponens-analízisének eredményei

A főkomponens-analízis eredményeit a 17. táblázat, a mélységbeli eloszlásukat pedig a 18. táblázat, illetve a 40. ábra szemlélteti.



40. ábra A „K” szelvényben meghatározott főkomponensek mélységbeli eloszlása

Az 1. főkomponens (továbbiakban F1) a mérési adatok variáciájának több, mint felét, 52,7%-át magyarázza, tehát a legerősebb háttérfolyamatra utal. Az F1-be az alábbi paraméterek tartoznak: -pH, -Mg, Al, Si, K, -Ca, Fe, Cu, Rb, -Sr, Pb. Minden esetben az F1 magyarázni tudja a felsorolt változók eloszlásának 80-90%-át a szelvényben. Az F1 háttérfolyamata csökkenti a pH, Mg, Ca, Sr mennyiségét, míg az Al, Si, K, Fe, Cu, Rb, Pb mennyiségeit növeli. Ez a főkomponens az üledék felső 100 cm-es rétegében érezhetően a legnagyobb hatással van a kialakult elem eloszlásokra, a mélyebb szintekben minimálisra

csökken ez a hatás. Ez a háttér folyamat minden valószínűség szerint a lösz alapkőzet mállása, illetve a Ca szelektív kilúgozódása, valamint a kalcium kicsapódásakor Mg, illetve Sr beépülése a kalcit rácsba.

A 2. főkomponens (továbbiakban F2) a mérési adatok varianciájának közel 11%-át magyarázza. Az F2 paraméterei: Ti, -Cr. Ez a főkomponens a 100-120 cm-es rétegekben minimális, egyébként állandónak mondható. Az F2 háttér folyamata a Ti mennyiségét növeli, míg a krómet csökkenti a szelvényben. Mivel mind a titán mind a króm relatíve immobilis a talajokban (Adriano, 1986), ezért valószínűsíthető, hogy mindkét elem főként az alapkőzet mállásából származik, azonban a csökkent mozgékonyság miatt válnak el az első főkomponens elemeitől.

A 3. főkomponens (továbbiakban F3) a mérési adatok varianciájának több mint 9%-át magyarázza. Az F3 egy taggal rendelkezik, a mangán mennyiségét növeli. A harmadik főkomponens állandó a felső üledékrétegekben, 300 cm alatt nő meg jelentősen a hatása. Mivel a mangán a red-ox viszonyok érzékeny jelzője a talajokban és üledékekben (Bohn et al., 1985; Adriano, 1986), ezért jelen esetben is a redukált Mn(IV) mélyebb talajszintekben történő felhalmozódása valószínűsíthető.

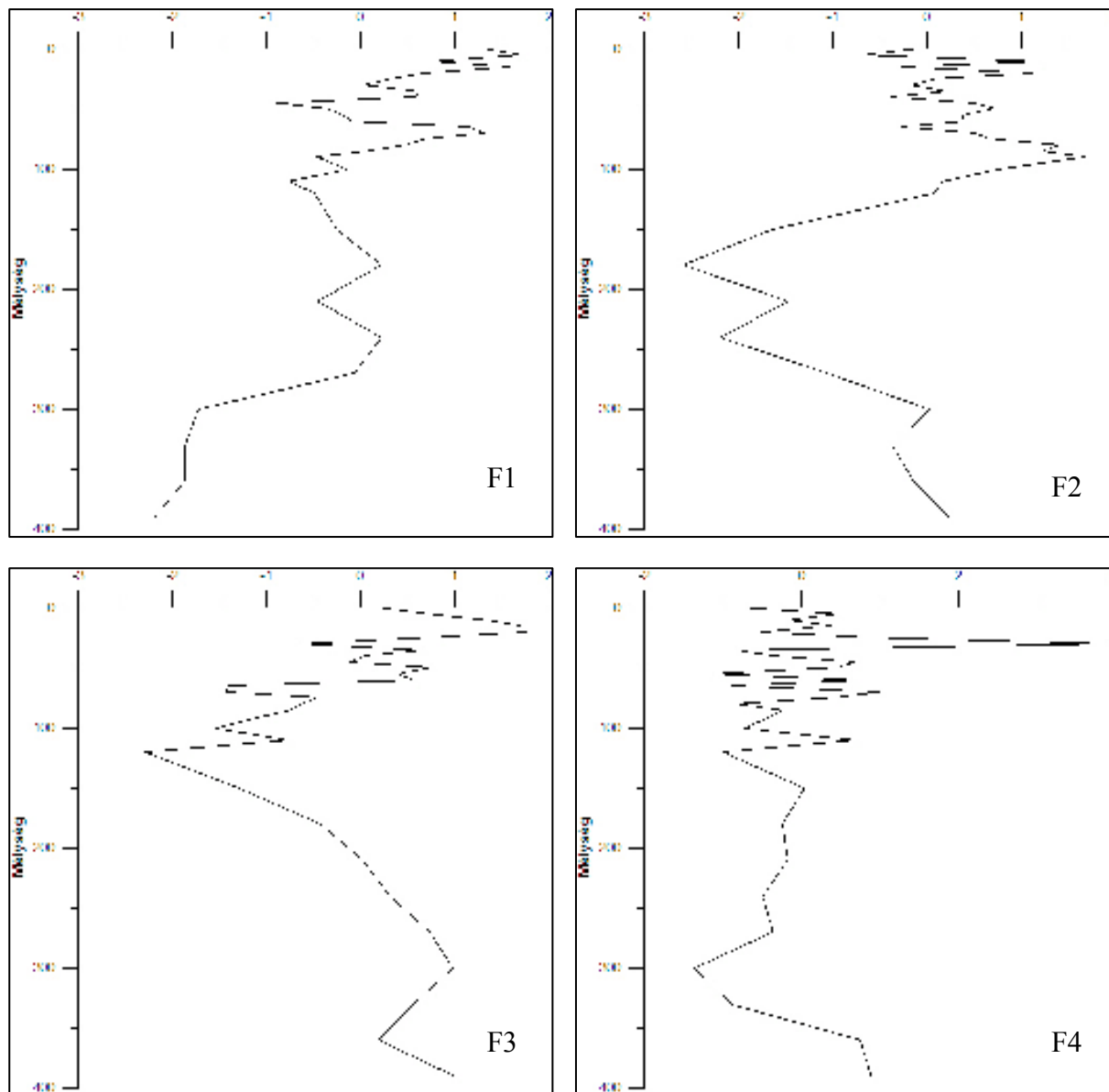
A 4. főkomponens (továbbiakban F4) a mérési adatok varianciájának több mint 6%-át magyarázza. Szintén csak egy taggal rendelkezik. Az F4 szelvénybeli profilja gyakorlatilag teljesen megegyezik a könnyen oldódó sók szelvénybeli lefutásával (8. ábra), az 50 cm-es rétegben a legintenzívebb a hatás, e szint alatt és felett drasztikusan lecsökken. Az EC a könnyen oldódó sók mennyiségére utal. Ebben az esetben egyértelműen a könnyen oldódó sók felszínközeli felhalmozódása a kialakító folyamat.

5.9.2.2. Az „Sz-2” szelvény főkomponens-analízisének eredményei

A főkomponens-analízis eredményeit a 17. táblázat, a mélységbeli eloszlásokat pedig a 18. táblázat, illetve a 41. ábra mutatja be.

A főkomponensek, illetve az egyes paraméterek főkomponenseken belüli arányából egyértelműen az látszik, hogy a „K” szelvényhez képest kevésbé határozottak a kialakító háttér folyamatok. Például a pH eloszlásának kialakításában az F1 erőteljesen részt vesz, ugyanakkor az F2 is még magyarázza a pH eloszlásának 40%-át. Ugyanez figyelhető meg az EC, K, Ca, Fe, Rb esetén is, az F1, F2, F3 főkomponensekben is nagy aránnyal vesznek részt ezek a paraméterek. Ebből arra következtethetünk, hogy van egy olyan háttér folyamat, amely erőteljesen növeli az adatok eloszlásának véletlenszerűségét. Ismerve a szelvény tulajdonságait, ez a jelenség a fizikai keveredéssel magyarázható. A hosszabb száraz

periódusokban az üledék felső 20-30 cm-es rétege felrepedezik és a keletkezett tömbök szélein bepereg a résekben a rögök széleinek anyag. Így az egyébként ténylegesen ható folyamatok által kialakított eloszlások összezavarodnak, ez látszik a szelvény főkomponens-analízisének eredményein is.



41. ábra Az „SZ-2” szelvényben meghatározott főkomponensek mélységbeli eloszlása

Az F1 a mérési adatok variáciájának közel felét, 46%-át magyarázza, tehát a legerősebb háttérfolyamatra utal. Az F1-be az alábbi paraméterek tartoznak: -pH, Al, Si, -Ca, Zn, Rb. Minden esetben az F1 magyarázni tudja a felsorolt változók eloszlásának 70-90%-át a szelvényben. Az F1 háttérfolyamata csökkenti a pH, Ca mennyiségét, míg az Al, Si, Zn, Rb mennyiségeit növeli. A főkomponens hatása a legerősebb a felszínhez közeli rétegekben, és egyenletesen csökken a mélység növekedésével. Ez a háttérfolyamat minden valószínűség szerint a lösz alapkőzet mállása, illetve a Ca szelektív kilúgozódása, azonban pontosan az

előbb említett keveredési folyamat miatt csak a kevésbé mozgékony elemek tartoznak ebbe a folyamatba.

Az F2 a mérési adatok varianciájának 12%-át magyarázza. Az F2 paraméterei: Fe, Ti, Mn. Az F2 háttérfolyamata mindhárom elem mennyiségét relatíve növeli a szelvényben. A főkomponens hatása a felső rétegekben erős, a 200 cm alatti szintekben erőteljesen visszaesik ez a hatás. Ez a hatás a felszíni rétegek oxidáltsági fokának növekedésével függ össze. Mivel a mintavétel már a tómeder száraz periódusában történt, a Fe és Mn az addig vízzel borított redukzív körülmények között mozgékonyak voltak, valószínűleg Fe(II) és Mn(II) formában. A kiszáradással folyamatosan betöményedett és oxidálódott a talajoldat, amiben mind a vas, mind a mangán kivált, így dúsult ebben a szintben.

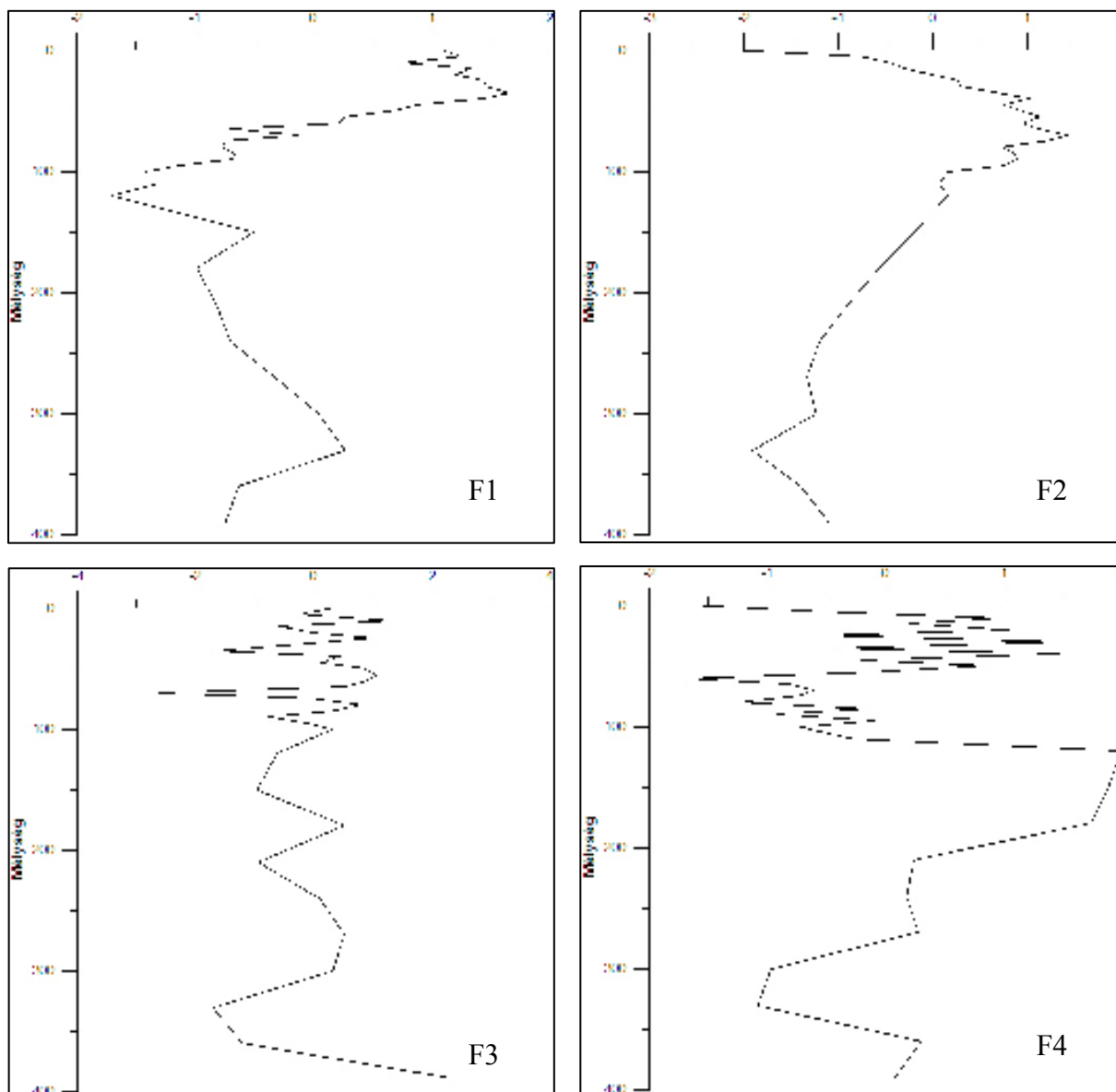
Az F3 a mérési adatok varianciájának 10%-át magyarázza. Az F3 két taggal rendelkezik, a magnézium és a stroncium mennyiségét csökkenti erőteljesen. A hatás a legfelső, illetve a legalsó szintekben szintekben erős, a 120 cm-es rétegben csökken minimálisra. Ez a hatás a két elem kilúgzásával, illetve a dolomit képződésével függ össze. Az intenzív vízmozgás hatására a felszíni, illetve a mélyebb üledékszintekből a talajoldatba kerül a Mg és a Sr nagy része, majd a 120 cm-es rétegben, tulajdonképpen a vízingadozással felhalmozódik, majd a magas Ca, Mg és Sr koncentráció a dolomit képződése felé tolja el az egyensúlyi folyamatot.

Az F4 a mérési adatok varianciájának több mint 7%-át magyarázza. Szintén két taggal, a Cr-al és Ni-el rendelkezik. Ez a hatás nem mutat semmilyen egyértelmű tendenciát, valószínűleg a fizikai keveredés miatt.

5.9.2.3. Az „X/2” szelvény főkomponens-analízisének eredményei

A főkomponens-analízis eredményeit a 17. táblázat, a mélységbeli eloszlásokat pedig a 18. táblázat, illetve a 42. ábra ismerteti.

Az „X/2” szelvényben meghatározott első főkomponens a mérési adatok több mint 50%-át magyarázza, és igen hasonló az előző szelvényekben bemutatott első főkomponensekhez. Az F1-be az alábbi paraméterek tartoznak: -Mg, Al, Si, K, -Ca, Fe, Ti, Cu, Zn, Rb, -Sr. Az F1 növeli az Al, Si, K, Fe, Ti, Cu, Zn, és Rb mennyiségét, míg a Mg, Ca és Sr koncentrációját csökkenti. Az első főkomponens hatása az üledék felső 100 cm-es rétegében a legerőteljesebb, a mélységgel mérséklődik. Ahogyan az előző két bemutatott szelvényben, ebben az esetben is a konszolidálatlan lösz alapkőzet mállási folyamatáról van szó. Míg a döntően földpát mállási termékek közül az agyagásványok képződéséhez szükségesek a felszínközeli rétegekben maradnak, addig az intenzív vízhatás miatt a Ca, Mg, valamint a Ca-mal szorosan együtt mozgó Sr a mélyebb rétegekben dúsul.



42. ábra Az „X/2” szelvényben meghatározott főkomponensek mélységbeli eloszlása

A második főkomponens a mérési adatok varianciájának 15%-át magyarázza. Mind a pH-t, mind a sótartalmat erőteljesen növeli. A szelvény 60-70 cm-es rétegében a legerősebb a hatás, mind a felszíni, mind a legmélyebb rétegekben minimalizálódik ez a behatás. Mivel az F2 szelvénybeli lefutása rendkívül hasonlatos a pH és az EC lefutására, ebben az esetben is a sófelhalmozódás, valamint a könnyen oldható sók talajoldattal történő kilúgzási, illetve kapilláris vízemelkedési folyamatai igen erősen hatnak az üledékre.

Az F3 a mérési adatok változékonyságának csupán 8,2%-át magyarázza, egyedül a Ni mennyiségét növeli. Mivel a mélység változásával nem mutat semmilyen tendenciát a harmadik főkomponens értéke, ezért messzemenő következtetéseket nem lehet levonni.

Az F4 a mérési adatok varianciájának 6,4%-át magyarázza. Az egyetlen elem, aminek a mennyiségét növeli, a mangán. Ennek a hatásnak az eloszlása két maximumot mutat, az elsőt

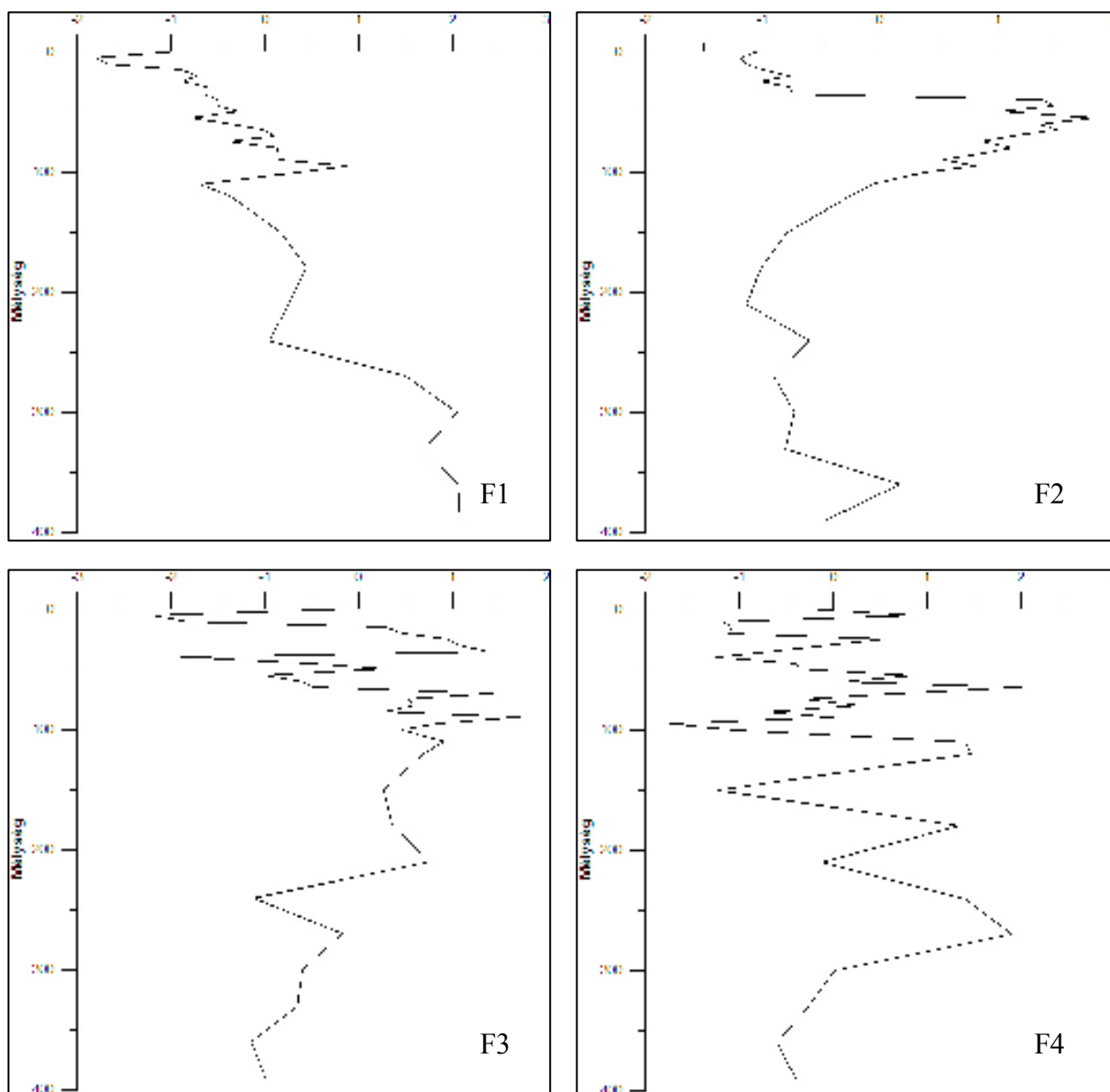
a 10-50 cm-es szintben, a másodikat 120 cm alatt. A mangán eloszlását ebben az esetben a szelvény red-ox viszonyai szabályozzák. A talajvízszint alatt felhalmozódó mangán miatt jelentkezik az F4 lefutásában az alsó maximum, míg a folyamatos oxidációs és redukciós váltakozások miatt a mangán az időszakos vízállásnak megfelelően egy felszínhez közeli felhalmozódást is mutat.

5.9.2.4. Az „S1” szelvény főkomponens-analízisének eredményei

A főkomponens-analízis eredményeit a 17. táblázat, a mélységbeli eloszlásokat pedig a 18. táblázat, illetve a 43. ábra mutatja be.

Ahogy az előző szelvényeknél, az „S1” mintaterület esetében is az első főkomponens magyarázza a vizsgált adatok változékonyságának közel 50%-át. Mint ahogyan az előzőekben bemutatott szelvények esetében, az „S1” mintaterület esetén is az F1 paraméterei: Al, Si, K, Ca, Fe, Ti, Cu, Zn, Rb, Sr. A főkomponens az Al, Si, K, Fe, Ti, Cu, Zn, Rb mennyiségét növeli, míg negatív az összefüggés a Ca és Sr esetében. Az F1 lefutása azonban az előzőekben tapasztaltakkal ellentétben fordított lefutás mutat a mélység növekedésével, a felszíntől folyamatosan erősödik a hatás. A főkomponensbe tartozó elemek alapján ebben az esetben is a lösz alapkőzet mállási folyamatáról van szó, azonban a folyamatos vízborítás miatt ez a mélyebb üledékszintekben történik meg. Mivel a mállási termékek nagy része kolloidális méretű agyagásvány, ami a folyamatos felszíni vizek leszivárgása miatt a mélyebb rétegekben koncentrálnak, ezért a mállási termékek elemei is ezt a tendenciát mutatják. A Ca, Mg, Sr pedig az állandó vízborítású területen egyrészt az üledékből, másrészt a felszíni vízbepótlásból, folyamatosan, valamint a nagyon rövid áprilisi száraz periódusban a talajoldat betöményedésével erőteljesen kicsapódik és a felszíni rétegekben dúsul.

Az F2 főkomponens a vizsgálatba bevont paraméterek változékonyságának közel 25%-át magyarázza. A második főkomponens mind a pH, mind a vezetőképesség értékeit erőteljesen növeli. Ebben az esetben a két paraméter eloszlását szabályozó háttérfolyamat a vízszintingadozás. A hatás az 50 cm mélységű rétegben a legerősebb, mind a felszíni, mind a mélyebb rétegekben erőteljesen gyengül. Bár a terület szinte folyamatosan vízzel fedett, ami nem indokolná ezt az eloszlást, azonban már a nagyon rövidnek mondható, egy hónapos száraz periódusban annyira erős a kapilláris vízemelkedés, hogy a felszíni vízutánpótlással folyamatosan kilúgozódó, könnyen oldódó sókat a felszín közelébe tudja szállítani, ahol azok a talajoldat betöményedésével kiválnak.



43. ábra Az „S1” szelvényben meghatározott főkomponensek mélységbeli eloszlása

Az F3 a vizsgált adatok varianciájának közel 9%-át magyarázza, egy paramétert tartalmaz, a Mg mennyiségét növeli az üledék felső szintjeiben. Az ásványtani vizsgálatok alapján (7. táblázat) ez a folyamat a dolomitosodás, vagyis a folyamatosan vízzel borított tómeder közelében megkezdődik a dolomit kiválása.

Az F4 a vizsgált adatok változékonyságának 6,3%-át magyarázzák. A negyedik főkomponensbe az ólom tartozik. A folyamat erőteljesen növeli az ólom mennyiségét. Mivel az F4 szelvénybeli lefutása nem mutat jelentősebb tendenciát, viszont a vizsgált szelvények esetében csak itt látszódik erőteljes hatás az ólom esetében, feltételezhető, hogy a tiszai vízbepótláshoz legközelebb fekvő „S1” halnevelőben a Tisza vízminősége növeli az ólomkoncentrációt.

5.9.3. A vizsgált szelvényeken elvégzett klaszteranalízis eredményei

A klaszteranalízis eredményeit a 19. táblázat és a mellékletek 1 - 2. ábrái szemléltetik. A vizsgálatot kétféle módon végeztük el. Első körben a minták csoportosítását azon paraméterek alapján végeztük el, amelyek azonos mélységű szintekben mérésre kerültek (pH, EC, fő-, és nyomelemek), a második esetben pedig az 5.10. fejezetben bemutatott főkomponensek alapján végeztük el a minták csoportosítását. Így a klaszteranalízis alapvetően azt a célt hivatott elérni, hogy az elem-koncentrációk alapján kijelöljük azokat a rétegeket a szelvényekben, amelyek az elemeloszlásokat kialakító háttér folyamatok eredményeként hasonlóak. A szelvények klaszteranalízisekor négy főcsoportba soroltuk a mintákat, ugyanis a további, kisebb csoportokra való osztás már kaotikus és értelmezhetetlen alcsoportokat eredményezett.

A „K” szelvényben ható folyamatok, illetve az azok által kialakított elemeloszlások határozott, és egymástól jól elkülönülő klasztereket alkotnak. Gyakorlatilag a mélység növekedésével jól definiált határvonalakkal elválaszthatóak az egyes csoportok. Az első mintacsoport mind a mért paraméterek, mind a főkomponensek alapján elvégzett klaszteranalízis esetén 0 és 25 cm között található. Mivel mind a pH (7. ábra), mind az EC (8. ábra), valamint a főelemek eloszlása is (23-29. ábra) intenzív koncentráció csökkenést mutat ebben a felszínközeli szintben a csoportosító hatás a kilúgozás folyamata. Sem a mállási termékek, sem a könnyen oldódó sók nem tudnak ebben a szintben jelentősebb koncentrációban felhalmozódni, hiszen a felszíni vízbepótlás lefelé irányuló vertikális hatása nagyobb, mint a kapilláris vízemelkedés ereje. Az állandó növényzeti borítás jelentősen csökkent a száraz periódusokban domináló kapilláris vízemelkedést, így az a könnyen oldódó, valamint a kolloidális anyagokat sem képes a felszínre szállítani, vagyis a szelvény felső rétege kilúgozódik. A második mintacsoport a 30 cm és a 65 cm-es rétegben található. Ebben az esetben már némi differencia mutatkozik a mért paraméterek, illetve a főkomponensek alapján meghatározott mintaklaszterekben. Amíg az elem-koncentrációk alapján készült klaszter folyamatos ebben a rétegben, addig a főkomponensek alapján meghatározott klaszter esetében a 60-65 cm-es rétegben újra megjelenik az egyes mintacsoport. A második mintacsoportot kialakító hatás minden bizonnyal a felhalmozódási folyamatok eredménye. Az előbb tárgyalt felszíni, illetve a felszín felé ható kapilláris vízemelkedés eredőjeként ebben a szintben halmozódik fel az elemek többsége. A harmadik mintacsoport mind a mért paraméterek, mind a főkomponensek alapján a 70-120 cm közötti rétegben található. Az elemeloszlások alapján az látható, hogy a vízmozgás határozza meg elsősorban a kialakult koncentrációkat, vagyis a 120 cm alatti, talajvízzel állandóan telített

zónában teljesen más az elemösszetétel, mint felette. Tehát a harmadik csoport a vízmozgás hatására kialakuló elemelmozdulást mutatja, ebben a szintben a lösz alapkőzetből az időszakosan igen magas vízszint elmozgatja a felső rétegekbe az üledékalkotók nagy részét. A negyedik mintacsoport mind a kétféle klaszterezés esetében a 120 cm alatti rétegekben található. Az előző gondolatmenet alapján ez a szint őrzi a vízmozgás hiányában a szinszedimentációs körülményeket.

Az „SZ-2” szelvény klaszteranalíziseinek eredményei a „K” szelvényhez képest igen zavart képet mutatnak, az egyes csoportok nem szegregálódnak el határozottan a szelvényben, sokszor változtatják egymást. A mért paraméterek alapján elkészített klaszterezés során az első mintacsoport elsősorban a felszín közelében jelenik meg, de megtalálható a 85 cm-es mélységben is, ez a csoport a főkomponensek alapján elvégzett klaszterezés eredményei esetében is hasonló tulajdonságokat mutat. A „K” szelvélynél tapasztaltakhoz hasonlóan, jelen esetben is az első klasztert kialakító folyamat a kilúgzás jelensége, azonban a terület hidrológiai viszonyai magyarázzák, hogy miért keverednek az egyes mintaklaszterek. A tó medre a száraz periódusokban erőteljesen felrepedezik és az összeszáradt tömbök széleinek anyaga bepörög a repedésekbe, vagyis fizikai keveredés történik, így érthető, hogy az esetlegesen kialakult elemeloszlások „összekavarodnak”. Fontos jelenség, hogy az egyes csoport a 70-85 cm-es rétegben megjelenik. A TOC (14. ábra) is mutat ebben a szintben egy jelentősebb növekedést, tehát valószínűsíthető, hogy a tó fejlődésének e szakaszában egy hirtelen eltemetődés következett be, vagyis az akkori állapotok rögzültek az üledékben egyféle paleo-réteggént. A szelvény klaszteranalízisének második mintacsoportja mind a mért paraméterek, mind a főkomponensek esetében, elsősorban a felső rétegekben jelenik meg, de az eloszlásának heterogenitása nem engedi meg a komolyabb értelmezést. A klaszteranalízis 3. és 4. csoportja is hasonlóan zavart képet mutat, itt már nem feleltethetőek meg egymással az elemeloszlások, illetve a főkomponensek alapján meghatározott mintacsoportok, ami tovább erősíti a szelvény üledékében történő fizikai keveredés jelenségét.

Az „X/2” szelvény fő-, és nyomelemei, valamint az 5.9.2.3. fejezetben meghatározott főkomponensek alapján elvégzett klaszteranalízisek eredményei a „K” szelvényhez hasonlóak, igen határozottan elkülönülnek az egyes mintacsoportok. A mért paraméterek alapján elvégzett klaszteranalízis első mintacsoportja a 0-55 cm-es rétegben látható, míg a főkomponensek alapján meghatározott első mintaklaszter az üledék felső 10 cm-es szintjében, valamint a legmélyebb rétegekben mutatkozik. Mivel az „X/2” szelvény a pH és EC értékei (5.1.2. és 5.2. fejezet), valamint a Na-tartalma alapján (23. ábra) a legszikesebb terület a vizsgáltak közül, az üledékszelvény geokémiai tulajdonságaiban is kiemelkedő szerepet

játszik a könnyen oldódó sótartalom. Ahogy azt a szelvényben mért pH és EC, valamint Na értékek lefutásán látható, az üledék felső 50 cm-es rétegében csekélyek ezek az értékek, vagyis - ahogy az a „K” szelvény esetében is történt - egy kilúgozási zóna látható, ez a folyamat hozta létre az első mintacsoportot. A második mintacsoport az elem-alapú klaszterezés eredményei alapján az üledék 60 cm és 110 cm közötti rétegében jelölhető ki. Ez a mintaklaszter is szoros összefüggésben áll a könnyen oldódó sótartalommal. Ahogy az a pH, EC és Na értékeken látható, ebben a zónában a legnagyobb a vezetőképesség, tehát ez a szelvény vízmozgása által indukált akkumulációs zóna, ami azt mutatja, hogy az üledékben a száraz és nedves periódusokban ingadozó talajvíz, illetve a kapilláris vízemelkedés együttes hatásaként ebben a szintben halmozódik fel a szikesedést okozó talajsók többsége. A mért paraméterek alapján elvégzett klaszteranalízis eredményeként a harmadik mintacsoport a 120-240 cm-es zónában jelölhető ki. Szintén a pH, EC értékei és Na-koncentráció eloszlása alapján magyarázható ez a mintacsoport is. Jól látható, hogy az üledék felső 100 cm-es rétegéhez képest lényegesen kisebb sókoncentráció uralkodik, ebben a rétegben csökken minimálisra a felszíni sókoncentráció. Mivel a terület egy évig száraz, és egy évig vízzel fedett állapotban van, a száraz periódus kellően hosszú ahhoz, hogy ebben a szintben is meginduljon a só akkumulációja, tehát a hosszú száraz és nedves periódusok eredményeként, csak ebben a szelvényben tapasztalható, ilyen elnyújtott sófront. A mért paraméterek alapján elkészített klaszteranalízis negyedik csoportja a 270-390 cm-es rétegben található, itt minimálisra csökkennek a poszt-szediment, elsősorban hidrológiai behatások, ezért az ülepedéskori körülményeket reprezentálja ez a csoport. A mért paraméterek alapján elvégzett klaszterezéssel szemben más csoportosítás adódott a főkomponensek alapján meghatározott klaszterezésekor, ez valószínűleg azért jelentkezett, mert a főkomponensek elsősorban a mállási körülményekre utaltak, ugyanakkor nem jelentkezik olyan hangsúlyosan bennük a könnyen oldódó sók hatása, mint az elem-alapú klaszterek esetében.

Az „S1” szelvény esetében is az elemkoncentrációk alapján készült klaszterek lényegesen konzekvensebb képet mutatnak, mint a főkomponensek alapján elvégzett klaszteranalízis csoportjai. Az elem-alapú klaszterezés első csoportja 0-35 cm-es rétegben helyezkedik el. Mind a pH (7. ábra), az EC (8. ábra), valamint a fő-, és nyomelemek (9-12. táblázat) többségének koncentrációja igen alacsony ebben a szintben. Ebben az esetben is az üledék legfelső szintje a kilúgozás folyamata miatt rendelkezik csökkent elem-koncentrációkkal. Az igen rövid száraz periódusban az erős evaporáció megfelelően nagy sebességű ahhoz, hogy a felszín közelébe mozgassa a könnyen oldható Na-sókat, ugyanakkor a többi, kevésbé mozgékony elem a mélyebb szintekben helyezkedik el, tehát az első csoport a gyors

sótranszport folyamatokat mutatja. A második elem-alapú mintaklaszter 40 cm-től 90 cm-ig található, ez az akkumulációs folyamatok eredménye. A harmadik és negyedik elem-alapú mintaklaszter a 95 cm-es mélységtől lefelé helyezkedik el, és sok esetben váltják egymást. Mivel a terület – az „SZ-2” halnevelőhöz hasonlóan – természetes szikes tóból átalakított halastó, ezért feltételezhető, hogy a 95 cm-es szint alatti keveredés a tó eredeti állapotára utal. A terület természetes állapotában mindig is az tőrendszer partmenti részén helyezkedett el, vagyis – hasonlóan az „SZ-2” halnevelőhöz – a nyári időszakokban kiszáradhatott, és fizikai keveredés játszódhatott le, erre utal a 3. és 4. mintacsoport. A főkomponensek alapján készült klaszterezés eredménye némileg eltér az elem-koncentrációk alapján készült klaszteranalízis mintacsoportjainak eloszlásaitól. Ahogyan az „X/2” szelvényénél, ebben az esetben is az valószínűsíthető, hogy míg a főkomponensek a mállási és só-akkumulációs folyamatok hatását tükrözik, addig az elem-alapú klaszterezés eredménye inkább a könnyen oldódó sók felhalmozódása alapján csoportosított.

5.9.4. A vizsgált szelvények diszkriminancia-analízisének eredményei

Az 5.11. fejezetben bemutatott elem- illetve főkomponens-alapú mintaklaszterek vizsgálatából megállapíthattuk, hogy a vizsgált szelvényekben az különböző kémiai elemek eloszlását kialakító háttérfolyamatok eredményeként jól elhatárolható szintekre, klaszterekre osztható mind a négy vizsgált üledéktípus. A jelen fejezetben bemutatott diszkriminancia-analízis segítségével megadható, hogy az adott klasztereket mely háttérfolyamatok differenciálják (Sajtos és Mitev, 2007).

A diszkriminancia-analízis során szintén csak azokat a geokémiai tényezőket lehetett elemezni, amelyek azonos mintapontokban kerültek meghatározásra, így a fő-, és nyomelemeket, valamint a pH és EC értékeit használtuk fel. Az csoportosító hatások felderítésekor mind az elem-alapú mintaklaszterek, mind a főkomponensek alapján meghatározott mintacsoportok diszkriminancia-analízisét elvégeztük.

5.9.4.1. A „K” szelvény diszkriminancia-analízisének eredményei

A „K” szelvény esetében három diszkriminancia függvényrel (sztenderdizált, egyszerűsített csoportosító hatás koefficiens) (továbbiakban DF) az elem-alapú mintaklaszterek eltéréseinek 100%-a magyarázható. A DF1 az mintacsoportok változékonyságának 44,5%-át magyarázza, a diszkrimináló elemek: Mg, Al, K, Ca, Fe, Cu, Rb, Sr, Pb. A DF2 az mintacsoportok varianciájának 32,8%-át magyarázza, a diszkrimináló

paraméterek: pH, EC, Si, Ti, Ni. A DF3 a mért értékek változékonyságának 2,8%-át magyarázza, a diszkrimináló elemek: Cr, Mn, Zn. A „K” szelvény elem-alapú mintaklasztereit (19. táblázat) tehát e három diszkrimináló hatás hozza létre. Az első klasztert leginkább a DF2 határozza meg, ami összhangban van a klaszter analízis (5.11. fejezet) során megállapítottakkal, vagyis ezt a kilúgozott réteget elsősorban a vízingadozás, és az azzal együtt járó könnyen oldható sók koncentrációja hozza létre. A kilúgozás során a könnyen oldható sók vannak elsősorban jelen ebben a 0-25 cm-es szintben, illetve az immobilis elemek (Si, Ti, Ni) a felszínközeli rétegben rekednek meg. A második mintaklasztert elsősorban a DF3 hozza létre. A második klaszter a „K” szelvény 30-65 cm-es szintjében van, ahol szintén a vízingadozás határozza meg elsősorban a kialakult elem eloszlásokat. Mivel a DF3-at meghatározó Cr, Mn, Zn elemek koncentrációja a talajban legtöbbször a red-ox állapottól függ (Bohn et al., 1985), ezért e klaszter kialakulása elsősorban az aktuális red-ox állapottól, vagyis ebben az esetben a talaj vízszinttől függ. Tehát ez az eredmény is azt erősíti meg, hogy a kezdeti elem-koncentrációkat az intenzíven mozgó talajvíz megváltoztatja az egyes szintekben és ennek köszönhetően a talajvíz süllyedéskor a felszín felől, míg a talajvíz emelkedésekor a mélyebb rétegekből mobilizálódik a legtöbb elem. A harmadik és negyedik mintaklaszter elkülönülésében a DF1 játszik fő szerepet. A DF1 diszkrimináló elemei az alapközet, lösz elemeivel gyakorlatilag teljesen azonosak, ez megerősíti a klaszteranalízisnél tapasztaltakat, azaz a „K” szelvényben a 70 cm-es mélységtől kezdve egyre inkább az alapközet hatása érvényesül, azaz az üledékszelvénynek csak a vízszíntingadozással érintett részében történik átalakulás, a mélyebb rétegek szinszediment tulajdonságokat mutatnak.

A „K” szelvény főkomponens-alapú mintacsoportjait (19. táblázat) kialakító diszkrimináló hatásokat is három függvény írja le. E három függvény szintén 100%-ban jellemzi a mintacsoportok varianciáját. A „K” szelvény főkomponens-alapú mintaklaszterei esetén a DF1 a variancia 46,9%-át magyarázza, az alábbi képlet szerint [fact: diszkrimináló faktor]:

$$DF1=0,894*fact1 - 0,023*fact2 + 0,968*fact3 - 0,630*fact4 \quad (5.1.)$$

Az 5.1. egyenlet alapján jól látható, hogy a fő diszkrimináló, pozitív hatás az első (mállás) és harmadik (kilúgozás) faktor, míg negatívan hat a negyedik (felhalmozódás) faktor.

A „K” szelvény főkomponens-alapú mintaklasztereinek második diszkrimináló függvénye az adatok változékonyságának 28,8%-át magyarázza, és az alábbi egyenlet szerint alakul:

$$DF2=0,155*fact1 + 1,013*fact2 - 0,230*fact3 - 0,022*fact4 \quad (5.2.)$$

Az 5.2. egyenlet szerint a főkomponens-alapú mintaklasztereket kialakító második diszkrimináló hatást a második (alapközet) faktor jelenti.

A „K” szelvény főkomponens-alapú mintaklasztereinek harmadik diszkrimináló függvénye az adatok változékonyságának 24,3%-át magyarázza, és az alábbi egyenlet szerint alakul:

$$DF3=0,616*fact1 - 0,072*fact2 - 0,049*fact3 + 0,850*fact4 \quad (5.3)$$

Az 5.3 egyenlet alapján a „K” szelvény főkomponens-alapú mintaklasztereit kialakító harmadik fontos diszkrimináló hatást az első (mállás) és a negyedik (felhalmozódás) faktor jelenti.

Az első főkomponens-alapú mintaklasztert (19. táblázat) leginkább a DF1 befolyásolja, vagyis hasonlóan az elem-alapú mintaklaszterek diszkriminancia-elemzésben kapottakhoz, ez a vizsgálati eredmény is azt erősíti meg, hogy az üledék felső részében az intenzív mállás, illetve a könnyen oldódó sók kilúgzódása (hiszen az fact4 negatív előjelű) alakítja az elem-eloszlásokat. A második főkomponens-alapú mintaklasztert (19. táblázat) döntően a DF3 alakítja (fact1 és fact3), vagyis a mállási folyamatok mellett ebben a szintben történik a könnyen oldódó sók felhalmozódása (az fact4 pozitív előjelű). A harmadik főkomponens-alapú mintaklasztert lényegében egyik diszkrimináló hatás sem befolyásolja lényegesen. A negyedik főkomponens-alapú mintaklasztert a DF2, vagyis döntően a fact2 (alapkőzet) alakítja, amiből szintén az alapkőzet erőteljes hatására következtethetünk.

A „K” szelvény üledékében a kialakult mintaklaszterekre elsősorban az első és negyedik faktor van hatással, ezt a 3. és 4. faktor követi, vagyis az $fact1 \sim fact4 > fact3 > fact2$ sorrend állítható fel.

5.9.4.2. Az „SZ-2” szelvény diszkriminancia-analízisének eredményei

Az „SZ-2” szelvény esetében is három diszkriminancia függvénnyel (sztenderdizált, egyszerűsített csoportosító hatás koefficiens) az elem-alapú mintacsoportok varianciájának 100%-a magyarázható. A DF1 a mintaklaszterek változékonyságának 72,1%-át magyarázza, a diszkrimináló paraméterek: pH, Al, Si, K, Ca, Mn, Zn. A DF2 a csoportok varianciájának 23,7%-át magyarázza, a diszkrimináló elemek: Ti, Cr. A DF3 a meghatározott csoportok változékonyságának mindössze 4,2%-át magyarázza, a diszkrimináló paraméterek: EC, Mg, Fe, Ni, Cu, Sr, Pb. Az „SZ-2” szelvény elem-alapú mintaklasztereit (19. táblázat), tehát e három diszkrimináló hatás hozza létre. Az első elem-klasztart döntően a DF1, a másodikat a DF2, a harmadikat a DF3, a negyediket döntően egyik diszkrimináló hatás sem befolyásolja. Az eredmények megerősítik a főkomponens-, illetve a klaszteranalízis során kapott eredményeket, vagyis ebben az esetben is az látható, hogy jellegzetes, az elemeloszlásokat határozottan alakító, geokémiai folyamat nincs a szelvényben, ugyanis a diszkrimináló

paraméterekből nem következtethetünk egy ilyenre sem. Tehát a kiszáradási periódusokban lejátszódó fizikai keveredés felülírja az üledékben ható geokémiai folyamatok hatását.

Az „SZ-2” szelvény főkomponens-alapú mintaklasztereit (19. táblázat) kialakító diszkrimináló hatásokat szintén három függvény írja le. E három függvény szintén 100%-ban jellemzi a mintacsoportok varianciáját. Az „SZ-2” szelvény főkomponens-alapú mintaklaszterei esetén a DF1 a variancia 66,4%-át magyarázza, az alábbi képlet szerint [fact: diszkrimináló faktor]:

$$DF1=0,897*fact1 + 0,965*fact2 - 0,833*fact3 - 0,667*fact4 \quad (5.4.)$$

Az 5.4. egyenlet alapján jól látható, hogy gyakorlatilag minden főkomponens részt vesz az első csoportosító hatásban, az első kettő pozitívan a második kettő negatívan.

Az „SZ-2” szelvény főkomponens-alapú mintaklasztereinek második diszkrimináló függvénye az adatok változékonyságának 23,5%-át magyarázza, és az alábbi egyenlet szerint alakul:

$$DF2=-0,855*fact1 + 0,465*fact2 - 0,286*fact3 + 0,723*fact4 \quad (5.5.)$$

Az 5.5. egyenlet szerint a főkomponens-alapú mintaklasztereket kialakító második diszkrimináló hatást elsősorban az fact1 és fact4 jelenti, de erős az fact2 hatása is.

A szelvény főkomponens-alapú mintaklasztereinek harmadik diszkrimináló függvénye az adatok változékonyságának 12,1%-át magyarázza, és az alábbi egyenlet szerint alakul:

$$DF3=0,167*fact1 + 0,432*fact2 + 0,738*fact3 + 0,170*fact4 \quad (5.6.)$$

Az 5.6. egyenlet alapján a főkomponens-alapú mintaklaszterek kialakításában a harmadik diszkrimináló függvényt elsősorban a fact3 határozza meg.

Az első főkomponens-alapú mintaklasztert (19. táblázat) a DF3 alakítja ki, míg a második főkomponens-alapú mintaklasztert a DF2 határozza meg elsősorban, a harmadikat pedig a DF1. A negyedik főkomponens-alapú mintaklaszter kialakításában egyik diszkrimináló függvény sem vesz részt. Mivel a főkomponens-alapú mintaklaszterek szelvénymenti eloszlása igen zavart és kaotikus, a diszkrimináló faktorok értelmezése sem lehetséges, illetve az állapítható meg, hogy a többi szelvénnel szemben az „SZ-2” mintaterületen az üledék fizikai keveredése olyan jelentős, hogy az esetlegesen kialakuló elem-eloszlások nagyrészt felülíródnak és nem mutathatóak ki a geokémiai háttérfolyamatok.

5.9.4.3. Az „X/2” szelvény diszkriminancia-analízisének eredményei

Az „X/2” szelvény esetében is három diszkriminancia függvénnyel (sztenderdizált, egyszerűsített csoportosító hatás koefficiens) az elem-alapú mintaklaszterek eltéréseinek 100%-a magyarázható. A DF1 az elemek változékonyságának 62,9%-át magyarázza, a diszkrimináló hatást egyedül a pH jelenti, tehát ebben az esetben az elem-koncentrációk egyes szintekben történő elkülönülésében kizárólagos és döntő hatású a kémhatás. A DF2 az adatok varianciájának 31,7%-át magyarázza, a diszkrimináló elemek: Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Cu, Zn, Rb, Sr, Pb. A DF3 a mért értékek változékonyságának mindössze 5,4%-át magyarázza, a diszkrimináló paraméterek: EC, Cr, Mn, Fe, Ni. Az „X/2” szelvény elem-alapú mintaklasztereit (19. táblázat), tehát e három diszkrimináló hatás különíti el.

Az „X/2” szelvény első elem-alapú mintaklaszterének (19. táblázat) kialakításában leginkább a DF2 vesz részt. Az első elem-alapú mintacsoport kialakításában a kilúgzási folyamatok erősek, ezt erősíti meg a diszkriminancia-analízis is, hiszen főleg a mállási termékek, illetve az alapkőzetből származó elemek diszkriminálják az üledék felső 50 cm-es rétegének csoportját az alatta levőktől. A második elem-alapú mintaklasztert a DF1, vagyis a pH befolyásolja, különíti el a többi rétegtől a szelvényben. Ez a 60-110 cm-es mélységben helyezkedik el, ahol a könnyen oldódó sók felhalmozódása tapasztalható, és ez azt erősíti meg, hogy a nagy sótartalom gyakorlatilag minden más elem hatását elnyomja ebben a zónában. A harmadik elem-alapú mintacsoportot (120-240 cm) egyik diszkrimináló hatás sem befolyásolja érdemben. A negyedik mintaklasztert (240-400 cm) a DF3 alakítja leginkább, ebből is az látszik, hogy a sóhatás megszűnése miatt ebben a szintben az eredeti szedimentációs körülményeknek, illetve a red-ox hatásoknak (Mn, Fe, Cr) megfelelő állapotot látjuk.

Az „X/2” szelvény főkomponens-alapú mintaklasztereit (19. táblázat) kialakító diszkrimináló hatásokat is három függvény írja le. E három függvény szintén 100%-ban jellemzi a főkomponensek alapján meghatározott mintacsoportok varianciáját. Az „X/2” szelvény főkomponens-alapú mintaklasztereit esetén a DF1 a variancia 53,2%-át magyarázza, az alábbi képlet szerint [fact: diszkrimináló faktor]:

$$DF1=0,737*fact1 - 0,878*fact2 + 0,327*fact3 + 0,941*fact4 \quad (5.7.)$$

Az 5.7. egyenlet alapján jól látható, hogy döntően az 1. (mállás), 2. (só-akkumuláció), 4. (alapkőzet) faktor vesz részt az első diszkrimináló hatásban, az 1. és 4. pozitívan a 2. negatívan.

Az „X/2” szelvény főkomponens-alapú mintaklasztereinek második diszkrimináló függvénye az adatok változékonyságának 39,1%-át magyarázza, és az alábbi egyenlet szerint alakul:

$$DF2=0,869*fact1 + 0,749*fact2 + 0,291*fact3 - 0,154*fact4 \quad (5.8.)$$

Az 5.8. egyenlet szerint az egyes mintacsoportokat elkülönítő, második diszkrimináló hatást elsősorban az fact1 (mállás) és fact2 (só-akkumuláció) határozza meg.

A szelvény főkomponens-alapú mintaklasztereinek harmadik diszkrimináló függvénye az adatok változékonyságának 7,8%-át magyarázza, és az alábbi egyenlet szerint alakul:

$$DF3=0,004*fact1 + 0,195*fact2 - 0,837*fact3 + 0,638*fact4 \quad (5.9.)$$

Az 5.9. egyenlet alapján a mintacsoportokat elkülönítő, harmadik diszkrimináló függvényt elsősorban a 3 (kapilláris vízemelkedés). és 4. (alapkőzet) faktor határozza meg.

Az első főkomponens-alapú mintaklasztert (19. táblázat) döntően a DF1, a másodikat a DF2, a harmadikat egyik diszkriminancia függvény sem határozza meg, míg a negyedik főkomponens-alapú klaszter kialakításáért a DF3 felelős. Az első mintacsoport (0-10 cm) kialakításáért tehát elsősorban a már az előzőekben bemutatott szelvényekhez hasonlóan a lösz alapkőzet mállási termékei a felelősek, jól látható, hogy az fact2 (kémhatás és könnyen oldódó sótartalom akkumulációja) negatív, tehát a jelenlétének hiánya, vagyis a kilúgzás erőteljesen befolyásolja a diszkrimináló hatást. A második főkomponens-alapú mintaklasztert a DF2 különíti el a többitől, vagyis a mállás, illetve a sófelhalmozódás, és az erősen negatív pH diszkriminálja, ami megerősíti, hogy ebben a szintben megrekednek a könnyen oldódó és kolloidális anyagok. A harmadik és negyedik főkomponensek alapján meghatározott mintaklaszter esetében nem figyelhető meg lényeges diszkrimináló folyamat.

Az „X/2” szelvény üledékében a kialakult klaszterekre elsősorban az első és második faktor van hatással, amit a 4. és 3. faktorok követnek, vagyis az fact1~fact2>fact3>fact4 sorrend állítható fel.

5.9.4.4. Az „S1” szelvény diszkriminancia-analízisének eredményei

Az „S1” szelvény esetében is három diszkriminancia függvénnyel (sztenderdizált, egyszerűsített csoportosító hatás koefficiens) az elem-alapú mintaklaszterek varianciájának 100%-a magyarázható. A DF1 a csoportok változékonyságának 59,6%-át magyarázza, a diszkrimináló paraméterek: pH, EC, Ti, Zn, tehát ebben az esetben az egyes csoportok elkülönülésében elsődleges hatású a sótartalom és a kémhatás. A DF2 a csoportok

varianciájának 35,3%-át magyarázza, a diszkrimináló elemek: Al, Si, Cr, Fe, Cu, Rb, Sr. A DF3 a csoportok változékonyságának mindössze 5,1%-át magyarázza, a diszkrimináló elemek: Mg, K, Ca, Mn, Ni, Pb. Az „S1” szelvény elem-alapú mintaklasztereit (19. táblázat), tehát e három diszkrimináló hatás különíti el egymástól. Az „S1” szelvény első elem-alapú mintaklaszterének (0-35 cm) elkülönülésében elsősorban a DF1, tehát a felszíni sók mélyebb szintbe történő kilúgzási folyamata a felelős. A második elem-alapú mintaklasztert a DF2 határozza meg, ebben az esetben a 40-90 cm mélységű rétegekben döntően a löszből származó elemek dúsulása figyelhető meg, ez is megerősíti azt a megfigyelést, hogy a folyamatos és hirtelen felszíni vízbepótlás miatt a kapilláris vízemelkedés, így a kolloidális méretű mállási anyagok nem tudnak a többi szelvényben tapasztaltakkal ellentétben a felszínközeli rétegekben felhalmozódni, hanem a mélyebb szintekben találhatóak meg. A harmadik elem-alapú mintaklasztert egyik diszkriminancia függvény sem magyarázza, a negyediket pedig a DF1. A 3. és 4. csoport keveredik az üledékszelvény alsó szintjeiben, ráadásul a legalsó rétegekben újra dominánssá válik a sótartalom, ami megerősíti azt a megállapítást, hogy egy erős (akár antropogén) behatás miatt egy „paleo-szint” megőrződött az üledékben.

Az „S1” szelvény főkomponens-alapú mintacsoportjait (19. táblázat) elkülönítő diszkrimináló hatásokat szintén három függvény írja le. E három függvény 100%-ban jellemzi a csoportok varianciáját. Az „S1” szelvény főkomponens-alapú mintaklasztereinek esetén a DF1 a variancia 49,5%-át magyarázza, az alábbi képlet szerint [fact: diszkrimináló faktor]:

$$DF1=0,865*fact1 - 0,106*fact2 - 0,650*fact3 + 1,130*fact4 \quad (5.10.)$$

Az 5.10. egyenlet alapján jól látható, hogy döntően az 1 (mállás), 3. (kalcit-dolomit kicsapódás), 4. (alapkőzet) faktor vesz részt az első diszkrimináló hatásban, az 1. és 4. pozitívan a 3. negatívan.

Az „S1” szelvény főkomponens-alapú mintaklasztereinek második diszkrimináló függvénye az adatok változékonyságának 39,5%-át magyarázza, és az alábbi egyenlet szerint alakul:

$$DF2=0,677*fact1 - 0,648*fact2 + 0,869*fact3 - 0,149*fact4 \quad (5.11.)$$

Az 5.11. egyenlet szerint a főkomponens-alapú mintacsoportokat elkülönítő második diszkrimináló hatást elsősorban az fact1 (mállás), fact2 (só-felhalmozódás) és fact3 (kalcit-dolomit kicsapódás) jelenti, az első és harmadik pozitívan a második pedig negatívan befolyásolja a diszkrimináló függvényt.

A szelvény főkomponens-alapú mintaklasztereinek harmadik diszkrimináló függvénye az adatok változékonyságának 11,1%-át magyarázza, és az alábbi egyenlet szerint alakul:

$$DF3=0,372*fact1 + 0,823*fact2 + 0,243*fact3 - 0,016*fact4 \quad (5.12.)$$

Az 5.12. egyenlet alapján a főkomponens-alapú mintaklaszterek kialakításában a harmadik diszkrimináló függvényt elsősorban a 2. (só-felhalmozódás) faktor határozza meg.

Az „S1” szelvény első főkomponens-alapú mintacsoportjának (19. táblázat) (0-35 cm) elkülönüléseért a DF2, azaz az első és harmadik faktorok pozitívan a második negatívan felelős. Mivel az első és harmadik faktor a kalcit és a dolomit kiválásával azonosítható a második faktor pedig a sófelhalmozódás folyamata, ezért az „S1” szelvény felső rétegeiben elsősorban a kalcit túlsúlya, illetve a könnyen oldódó sók és mállási termékek mélyebb rétegek felé történő elmozdulása a diszkrimináló hatás. Ez az eredmény szintén erősíti az előzőekben már felvázolt elem-mobilizálódási folyamatot: a folyamatosan vízzel borított terület mederszintjében válik ki a vízben oldott kalcium a rövid száraz periódusokban, ekkor a kolloidális méretű, könnyen mozgó üledékalkotók a felszín felé mozognak a kapilláris vízemelkedés miatt, azonban az ismételt gyors elárasztás megakadályozza a felszín felé történő mozgást, előlről indul a folyamat. Ennek az ismételt ciklusnak az eredménye, hogy csak a kalcium dúsul felszíni rétegekben, minden más elem a mesterséges kilúgozás eredményeként a mélyebb szintekben található. A második főkomponens-alapú mintaklasztert egyik diszkrimináló faktor sem befolyásolja jelentősen. A harmadik főkomponens-alapú mintacsoportot (70-100 cm) a DF3, míg a negyediket (110-390 cm) ismételten a DF1 alakítja ki. E két utolsó klaszter eloszlása meglehetősen zavart, valamint a szelvény legalsó rétegeiben visszatér a felszíni hatás, ez is azt erősíti meg, hogy a valaha partmenti területen az „SZ-2” szelvényhez hasonló körülmények, tehát intenzív fizikai keveredés, uralkodtak, ezek a szintek egy hirtelen üledék-ráhalmozódás miatt megőrződtek a területen.

6. A GEOKÉMIAI ÉS ÁSVÁNYTANI VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEINEK ÉRTÉKELÉSE

6.1. Az üledékek sótartalma és kémhatásai, valamint az azokat kialakító természetes és antropogén folyamatok

A vizsgált szelvények kémhatásainak és összes vezetőképesség adatainak elemzéséből egyértelműen látszik, hogy az egyes területek eltérő vízháztartása és halgazdasági kezelése lényeges eltéréseket okoz a könnyen oldódó sók és az üledék kémhatásának vertikális eloszlásában. Mind a kémhatás mind az összes sótartalom egyértelműen a nátrium eloszlásához köthető, tehát a nagy karbonáttartalmú területeken elsősorban a Na_2CO_3 és a NaHCO_3 okozza a szikesedést. A szelvények eltérő kémhatását és sótartalmát a vízháztartáson kívül a növényzeti borítottság is erőteljesen befolyásolja. A legnagyobb, és az átlagoshoz képest extrémnek mondható sófelhalmozódásokat a két folyamatos növényborítással rendelkező „K” és „X/2” szelvényekben mértük. E két szelvény esetében is érzékletes hogy az eltérő kémhatásokat és az eltérő só-felhalmozódást a vízszintingadozás és növényi fedettség okozza. Míg a nyugodt vízmozgással és állandó növényi fedettséggel rendelkező „K” jelű szikes réti szelvényben egy nagyon intenzív só akkumulációs zóna azonosítható, addig a nagyobb vízingadozású, de hasonló növényi borítottságú „X/2” szelvényben ez a felhalmozódási zóna 50-60 cm vastagságban széthúzódik. A „K” szelvény esetében a felszíni dús növényzet által kibocsátott gyökérsavaknak köszönhetően - a vizsgált szelvények közül egyedüli módon - a felső 30-40 cm vastagságú zónában savanyú a kémhatás. Az igen magas sótartalom a zárt vízgyűjtő jelleg miatt alakul ki a „K” és „X/2” szelvényekben, de a terület só-toleráns növényei is nagy mennyiségű Na-sót adszorbeálhatnak (Li et al., 2010), ami bomlásukkor visszakerül az üledékbe, ezzel gyakorlatilag egy geokémiai csapda alakul ki, nincs semmilyen mód a felhalmozódó sók eltávozására, így egy erős betöményedés tapasztalható.

Az „SZ-2” és „S1” szelvények átlagos kémhatása és sótartalma messze elmarad a „K” és „X/2” szelvényekben mértektől. Ennek oka a terület halgazdasági kezelése. Mivel minden évben leeresztik, majd új, alacsony sótartalmú vízzel töltik fel a területet, a száraz periódusokban bekövetkező kapilláris vízemelkedés által felszínre mozgatott sók a vízbe oldódnak. Tehát gyakorlatilag e két terület mesterségesen kilúgozódik, hiszen a vízzel borított periódusban az oldatba kerülő sók a tavak éves leeresztéseivel eltávoznak (Bozsó et al., 2008). Az „S1” szelvényben a felszínhez közel sófelhalmozódás jelentkezik. Ez a rövid száraz

periódus eredménye, ekkor a párolgás a felszín felé mozgatja az üledék sótartalmát, azonban az új vízborítás, új kémiai egyensúlyt teremt és az üledék felső rétegéből folyamatosan csökken a könnyen oldódó sók mennyisége.

Ezek alapján nagyon jól látszik az, hogy az alapvetően hasonló földtani és ásványtani felépítéssel rendelkező területeken az antropogén hatás erőteljesen megváltoztatja az üledékek sótartalmát és kémhatását és ezzel gyakorlatilag teljesen megváltoznak az egyes tavak geokémiai tulajdonságai is.

6.2. A szikes üledékek szemcseösszetételének és karbonáttartalmának tulajdonságai

A szemcseösszetétel vizsgálati eredményei alapján megállapítható, hogy az egyes szelvényekben jelentős eltérések tapasztalhatóak az egyes szemcsefrakciók arányaiban. Az egyes szelvények szemcseösszetételei két felhalmozódási folyamatra utalnak. Minden mintaterületen a közetliszt az uralkodó frakció, ami az alapkőzet lösz jellemző tulajdonsága (Pécsi et al., 2001; Kuti et al., 2003). A Fehér-tó nyugati és dél-nyugati területein fekvő „X/2” és „SZ-2” szelvényekben a homokfrakció lényegesen nagyobb arányban van jelen, mint a keleti területen fekvő „S1” és „K” szelvényekben. Ez a terület fejlődéstörténetével van összhangban (Molnár, 1996). A nyugati területekre a Kiskunságról az intenzív erózió terméke – a durva homokfrakció – a szél általi szállítás útján felhalmozódott a területen. Ezzel szemben a keleti területeken a Tisza kiöntései inkább finomszemcsés, elsősorban agyagfrakciójú üledéket raktak le. A „K” és „X/2” szelvényben az agyagfrakció rendkívül jellegzetes akkumulációt mutat az 50-70 cm mélységű zónákban. Mivel ezeken a területeken mind a sótartalom, mind az agyagásványok, mind az Al, Si, K, Fe eloszlása teljesen azonos képet mutat, kijelenthető, hogy az agyagásványok elsősorban kolloidális méretűek és a talajoldat könnyen oldható sóival azonos módon mozognak a szelvényekben. Hasonló egyezés fedezhető fel az „S1” szelvény esetén is a sótartalom, az agyagásványok és a főelemek eloszlásának tekintetében, a szelvényben az agyagfrakció az üledék felső 30-40 cm-es szintjében kilúgozódik. Ez a terület rövid száraz periódusok utáni hirtelen elárasztásának következménye, ugyanis a kiszáradt üledékbe felülről gyorsan beszivárgó víz a felső rétegekből elmozdítja a finomszemcsés agyag frakciót. Az „SZ-2” szelvény szemcseösszetételében nem láthatóak olyan jelentős eltérések, mint a másik három szelvényben. Ebben az esetben is a már a kémhatás és a sótartalom elemzésekor tapasztaltak jelentkeznek, vagyis az intenzív vízmozgás és a hosszú kiszáradási periódusban az üledék felrepedezik, majd fizikai keveredés tapasztalható.

A szelvényekben mért karbonáttartalom is jelentős eltéréseket mutat az egyes mintaterületeken. A karbonáttartalom is – hasonlóan az összes sótartalomhoz – igen jól érzékelteti az egyes területek talajvíz-mozgásában jelentkező eltéréseket. Az alapvetően löszön képződött Fehér-tó területén a magas karbonáttartalom a Dunántúl észak-nyugati karbonátos területeinek szél általi eróziójából származik döntően (Fügedi et al., 2008), azonban az eredeti felhalmozódási körülmények jelentősen módosultak. Az alapvetően évszakos vízszint-ingadozással és kiszáradási periódusokkal rendelkező „K”, „SZ-2”, „X/2” területeken a karbonát intenzív kilúgozódása figyelhető meg, amit a mért kalcium, magnézium és stroncium eloszlások is alátámasztanak. Mindhárom esetben a karbonátok mennyisége intenzíven növekszik a felszíntől a 100-150 cm mélységű rétegekig. A legnagyobb vízmozgással rendelkező „SZ-2” szelvény esetében 50 cm-en is megfigyelhető egy akkumulációs zóna, amiből megállapítható, hogy míg az alapvetően nyugodt vízmozgással rendelkező „K” és „SZ-2” területeken a karbonáttartalom egyenletes kilúgozása történik, addig az „SZ-2” szelvényben olyan intenzív vízszint-ingadozás figyelhető meg, ami a felszín közelében képes egy felhalmozódási frontot kialakítani. Az „S1” halnevelőben ezzel szemben ellentétesen alakul a karbonát eloszlása, a felszínen maximális. Ez az eloszlás a folyamatos vízborítás eredménye, a kilúgozási folyamatok nem elég erősek, a rövid száraz periódusban azonnal a felszín közelében kicsapódik a karbonát, majd az újbóli elárasztással teljesülnek a kalcit tőfenéken történő felhalmozódásához szükséges feltételek (Molnár, 1980; Kuti, 2003; Roy et al., 2008).

6.3. A szerves anyag felhalmozódásának körülményei

A vizsgált üledékszelvek szerves anyagának minőségi és mennyiségi mutatói érzékenyen jelzik a törendszér üledék-felhalmozódásában történt változásokat. Összességében megállapítható, hogy a szegedi Fehér-tó üledékeinek szervesanyag-tartalma igen alacsony, a legnagyobb is csak alig haladja meg a 2%-ot, ez messze elmarad a hasonló tavakban tapasztalt 10-15%-os értékektől (Valero-Garcés et al; 2000; Varandas da Silva et al., 2008). Minden esetben csak az üledék felső 100 cm-es szintjében volt értékelhető mennyiségű szervesanyag-tartalom. Ez egyrészt a szegényes és gyér növényzettel magyarázható, hiszen így eleve nincs forrás a szerves anyag megőrződéséhez, azonban a dús növényzettel rendelkező „K” és „X/2” szelvények esetében sem nagy mennyiségű, 1-2% a szerves anyag mennyisége. Ez annak a következménye, hogy a szikes talaj tulajdonságai, így a nagy sótartalom és a lúgos kémhatás, valamint a kiszáradási periódusokban az oxikus körülmények intenzifikálják a szerves anyag

degradációs folyamatait. Ezt a folyamatot erősíti meg az „S1” szelvényben tapasztalt extrém alacsonynak mondható szervesanyag-tartalom. A tó vízborításával összefüggésben minimális a szerves anyag mennyisége, ugyanis a rövid száraz periódusban az oxikus körülmények között a rövid felhalmozódási periódus szerves anyagai azonnal elbomlanak és nem őrződnek meg az üledékben.

A „K” és „SZ-2” szelvények felső 100 cm-es rétegei elegendő szerves anyagot tartalmaztak a felhalmozódási körülmények meghatározásához. Az elvégzett, a szerves anyag minőségi paramétereinek meghatározását célzó kísérletek eredményei azt mutatják, hogy a tórendszer keleti része több kiszáradási és vízzel borított üledékképződési cikluson esett keresztül, ezek a váltakozó periódusok jól kimutathatóak a szerves anyag minőségi paramétereinek vizsgálati eredményeinek segítségével (Bozsó et al., 2010). A terület fejlődéstörténetéből ismert, hogy e két terület valaha egy nagy tórendszerhez tartozott (Keveiné et al., 2000). A szerves anyag minőségi paramétereinek vizsgálati eredményeiből az állapítható meg, hogy a „K” szelvény elsősorban part menti területen helyezkedett el, mivel a szárazföldi szerves anyag utánpótlása volt az uralkodó. Ezzel szemben az „SZ-2” terület a tórendszer központi részéhez tartozott, mivel itt alga eredetű szerves anyag felhalmozódást is diagnosztizáltunk. Ugyanakkor mindkét szelvény esetében hasonló szintekben figyelhető meg a szerves anyag minőségi paramétereinek változása, ami azt mutatja, hogy az üledék szerves anyaga érzékenyen megőrizte a megváltozott klimatikus körülményeket. A vízzel borított periódusokban általában nőtt a humifikáció mértéke és az alga produkció, míg a száraz periódusokban kevésbé őrződött meg a szerves anyag. Megállapítható, hogy a tavak üledékeiben döntően szárazföldi eredetű szerves anyag felhalmozódás tapasztalható, ami alapján kijelenthető, hogy a tórendszer a mai körülményekhez hasonlóan fejlődött, azaz minden évben voltak száraz és nedves periódusok és nem fordultak elő túl hosszú vízzel borított periódusok (hiszen ilyenkor nagyobb algaeredetű szerves anyagot kellett volna megőriznie az üledéknek), viszont többször kiszáradt a tómeder vagy minimálisra csökkent a vízborítás. Ezzel magyarázható az is, hogy döntően a szikes környezetben a sűrű kiszáradások miatt nem történt meg jelentősebb mennyiségű szerves anyag humifikációja és az üledékek ezen folyamatok miatt szegények szerves anyagban. Mind a „K”, mind az „SZ-2” szelvény esetében az üledékek felső 15 cm-es rétegében jelentősen megváltozik a szerves anyag minősége és mennyisége is. A TOC jelentősen megemelkedik, növekszik a H-index értéke, ami a tórendszer 1970-es évekbeli átalakításának eredménye. A „K” szelvényben a szikes rét kialakulásával elindult a nagyobb mennyiségű, éretlen szerves anyag felhalmozódása, míg az „SZ-2” halnevelő folyamatos halgazdasági célú trágyázása vezetett a TOC és a HI

megnövekedéséhez. Tehát megállapítható, hogy a szegedi Fehér-tó állapotváltozásai jól nyomon követhetők a szerves anyag mennyiségi és minőségi mutatóin keresztül. Elmondható az is, hogy az üledék felső rétegeiben jól kimutatható a terület antropogén hasznosításának jelenléte is.

6.4. Az üledékek ásványtani tulajdonságai és mállási folyamatai

Az elvégzett ásványtani vizsgálatok eredményei alapján minden szelvény esetében az üledékalkotó fő ásványok: kvarc, kalcit, dolomit, földpátok, kaolinit-klorit, muszkovit-illit, szmektitiek. Az üledékekben a kvarc eloszlása kiegyenlített. A kalcit minden esetben nagy mennyiségben van jelen és a lösz alapkőzet miatt a karbonát, valamint a kalcium-tartalommal pozitívan korrelál a mennyisége. A „K” és „X/2” szelvényekben a kilúgozási folyamatok eredményeként csak a 100 cm alatti rétegekben, míg az „SZ-2” szelvényben a felszínen is megjelenik. Ez utóbbi a hosszú párolgási időszakban bekövetkező kalcit felszín közeli kicsapódásának eredménye. Az állandó vízborítású „S1” szelvény legfelső szintjeiben a legnagyobb a kalcit mennyisége. A szelvényben mért karbonáttartalomhoz hasonlóan a kalcium mennyisége folyamatosan a fenékszínten halmozódik, majd a rövid száraz periódusban kicsapódik. Mindegyik vizsgált szelvényben megfigyelhető a recens tavi dolomitképződés. A „K”, „SZ-2”, és „X/2” szelvényekben jellemzően a 100 cm alatti rétegekben kezd el nőni a dolomit mennyisége, a felszíni rétegekben egyáltalán nem mutatható ki, a dolomit képződése ezekben az esetekben a talajvízszint alatt történik. A folyamatosan vízzel borított „S1” szelvényben már a felszínen megjelenik a dolomit, majd 50-60 cm mélységben éri el mennyiségének maximumát. Ez alapján arra következtethetünk, hogy a dolomit képződéséhez mindenképpen a vízborítás az egyik szükséges feltétel. A dolomit képződése minden esetben az adott szelvény maximális magnézium koncentrációjának szintjében történik, tehát a következő fontos feltétel a dolomit képződésében a megnövekedett Mg-mennyiség. Mivel minden esetben a dolomit mennyisége abban a szintben nő, ahol a kalcit lecsökken, ugyanakkor a kalcium vertikális eloszlásaiban semmiféle kiugrás nem tapasztalható a dolomitképződés szintjében, valamint a magnézium koncentrációja ott nő meg, ahol a dolomit, egyértelműen autigén dolomit-képződés történik, a detritális eredet kizárható. Megállapítható az is, hogy a dolomit képződése a só-felhalmozódási zónák alatt alakul ki, tehát a képződésben nem játszik szerepet a magas ionerősség. A dolomit kialakulása jelen szelvények esetében az inorganikus kicsapódás folyamatával történhet, vagyis a vízszint süllyedésekor a talajoldatban betöményedő kalcium

kicsapódik és a Mg beépül a kalcit kristályrácsába. Ugyanakkor a Warren (2000) által vázolt mikrobiális aktivitás nem igazán feltételezhető folyamat a dolomitosodás magyarázatára ez esetben, mivel sem a magas szerves anyag mennyiség, sem a SO_4^{2-} jelenléte nem mutatható ki. Ezek alapján a dolomit képződésének pontosabb megértéséhez további vizsgálatokra lesz szükség.

A vizsgált szelvények agyagásvány-eloszlásai is változatos képet mutatnak. Minden esetben az agyagásványok összes csoportja (Kaolinit-klorit, illit, szmektit) szinte teljesen hasonló eloszlásokat mutatnak. Ez alapján az is megállapítható, hogy egyik csoport képződése sem kedvezményezett a másik javára, ez annak az eredménye, hogy az üledék felső szintjeiben a Mg, K, Na mennyisége is elegendő bármelyik csoport képződéséhez. A „K” és „X/2” szelvényekben hasonlóan alakul minden agyagásvány csoport az 50 cm-es mélységben intenzív akkumulációt mutat. Mivel ez a szint egybeesik a könnyen oldható sók felhalmozódási szintjével, igazoltnak látszik, hogy az agyagásványok döntően kolloidális méretben vannak jelen az üledékben és a vízszint mozgásával függ össze az eloszlásuk. Az „S1” szelvényben hasonló mértékű és jellegű az agyagásványok felhalmozódása, csak a mélyebb, 100 cm-es zónában található. Ez a terület vízháztartásával kapcsolatos, a folyamatos vízborítás eredményeként a többi szelvényhez hasonlóan történik, de a folyamatos vízborítás és az állandó felülről érkező vízutánpótlás a mélyebb rétegek felé mozgatja el a kolloidális méretű agyagásványokat, a rövid száraz periódusban pedig a kapilláris vízemelkedés nem tudja olyan magasra emelni azokat, mint ahogy azt a „K” és „X/2” szelvények esetében tapasztalható.

Az agyagásványok recens képződéssel az üledék mállásának eredményeként jönnek létre. Ennek egyik bizonyítéka, hogy az Al, Si, K, Fe, Cu eloszlásával minden szelvényben tökéletesen megegyezik az agyagásványok eloszlása, ami Jin et al. (2006), és Das et al. (2006) szerint is a recens agyagásvány-képződés bizonyítéka. További érv az agyagásványok autigén kialakulási folyamataira, hogy a röntgen-diffraktogramok minden esetben kevert, illetve rossz kristályosodással rendelkező agyagásvány csoportokat mutattak ki, ami arra enged következtetni, hogy a lúgos körülmények között az agyagásványok képződésekor inkább rácsfoszlányok keletkeznek. Hasonló körülmények között Kuti et al. (2003) is erre a következtetésre jutott. Az agyagásványok kolloidális mérettartományát igazolja az a tény is, hogy az agyagásványok felhalmozódási zónája minden esetben a fizikai agyagfrakció maximuma alatt helyezkedik el, vagyis az intenzív vízmozgás elszeparálja a kolloidális méretű agyagásványokat. Az „SZ-2” szelvény agyagásványainak eloszlása nem mutat olyan jelentős akkumulációs zónát, mint a „K”, „X/2” és „S1” szelvények esetében, ami megerősíti

a szelvény száraz periódusokban történő kiszáradásából következő fizikai keveredést. Az intenzív mállásra utal az is, hogy a földpátok csak a mélyebb, 100 cm alatti rétegekben fordulnak elő, vagyis a felső rétegekben már átalakultak, elmállottak. Erre utal a szelvényekben mért Rb-tartalom is, ami az egyik fontos jelzője a földpátok mállásának (Jin et al., 2006; Roy et al., 2008). A rubídium minden esetben azonos eloszlást mutat az agyagásványok, illetve az Al, Si, K, Fe, Cu eloszlásaival, ez azt bizonyítja, hogy egyrészt a földpátok mállása megtörtént és a mállási termékek az agyagásványok. Ilyen esetekben a Rb a képződő agyagásványokhoz nagyon erős adszorpcióval kötődik (Volkova et. al, 1998, Roy et al., 2008), ami minden vizsgált szelvény esetében megfigyelhető. A területen tehát intenzív mállási folyamatok eredményeként a földpátok nagy része a felső rétegekben elbomlik, ami a vízzel borított periódusokban a sótartalom mélyebb rétegekbe történő vándorlás miatt következhet be, ugyanis ekkor a Na^+ és K^+ hiányában a földpát mállása és az agyagásvány-képződés a kedvezményezett folyamat.

6.5. Az üledékek fő-, és nyomelem-tartalma

A vizsgált területek főelemeinek mennyiségi átlagai az egyéb hasonló földtani tulajdonságú területeken mértékhez hasonló (Roy et al., 2008; Stojanovics et al., 2009). Az Al, Si, K, Fe mennyiségeinek vertikális eloszlása minden szelvényben teljesen hasonló lefutású, ez az agyagásványok eloszlásához köthető. Ugyanakkor ezek az elemek erősen negatív korrelációt mutatnak a Ca, Mg mennyiségeivel. Ez szintén a lösz alapkőzet mállásának tudható be. a Ca és Mg könnyen mozgó elemként kilúgozódnak és a mélyebb üledékszintekben halmozódnak fel.

A vizsgált nyomelemek mindegyike igen minimális mennyiségben van jelen az üledékekben, legtöbbször a magyarországi átlagos háttér koncentráció, vagy az alatt van a mennyiségük. Ez több okra vezethető vissza.

Egyrészt maga a lösz, illetve az eredetileg gránit alapkőzet eleve szegény nyomelemekben, tehát nem várható, hogy a felszíni mállás során felszabaduljanak nagy mennyiségben ezek. Másrészt a szegedi Fehér-tó a nagy ipari szennyezőktől távol van, és nem folytatnak olyan antropogén tevékenységet a közelben ami lényegesen szennyezné a terület üledékeit, annak ellenére sem, hogy igen nagy vízgyűjtővel rendelkezik a térség. Harmadrészt maga a halgazdaság működése is csökkentheti a nyomelem-tartalmat, egyfelől a folyamatos vízcserékkel a sótartalomnál már tárgyalt kioldás következhet be, a megnövekedett elem-tartalmú vizet pedig minden évben elvezetik, másfelől a nagy mennyiségű megtermelt és

kihalászott hal szervezetében is jelentős mennyiségű nyomelem távozhat. Negyedrészt a legfontosabb környezet-geokémiai ok, hogy hiányoznak a nyomelemek immobilizációjához szükséges feltételek is. Egyfelől az elemek adszorpciójának fő csoportjaként megnevezett szerves anyag mennyisége minimális az üledékekben. Így fordulhat az elő, hogy az egyébként köztudottan magasabb dél-alföldi arzén koncentráció egyáltalán nem mutatható ki a tavakban, míg más kiskunsági tavakban a magasabb szervesanyag-tartalom jelentős mennyiségű, akár 200 ppm arzén koncentrációt is megkötött (Bozsó és Pál-Molnár, 2009). (Ennek másik oka a lúgos kémhatás, ugyanis az arzén döntően arzenát formájában van jelen, az anionok adszorpciója pedig drasztikusan csökken a pH növekedésével). Másfelől az igen jó adszorpciós kapacitással rendelkező agyagásványok sincsenek nagy mennyiségben jelen az üledékben, ráadásul a lúgos közegben történt mállási folyamatok eredményeként ezek nagy része rossz kristály struktúrával rendelkező, ásvány-foszlányokként vannak jelen, ami csökkent adszorpciós képességeket eredményez. Az üledékek csökkent adszorpciós kapacitásának eredménye az is, hogy a döntően agyagásványokhoz és szerves anyaghoz nagy adszorpciós affinitással rendelkező V, Cr, Cu, Zn, Ni, Pb esetében semmilyen pozitív korreláció nem volt kimutatható ezen adszorbeáló csoportok felé. Úgy tűnik, hogy a harmadik nagy adszorpciós kapacitással rendelkező amorf Fe-, és Mn-hidroxidok nem játszanak jelentős szerepet a Fehér-tó üledékeinek elem immobilizációs folyamataiban, azonban ezt a kérdés a későbbiekben részletesen meg kell vizsgálni.

6.6. Az elem-eloszlásokat kialakító háttér-folyamatok

A geostatistikai vizsgálatok közül a korrelációs elemzések eredményei megerősítik az üledékekben működő mállási és elemvándorlási folyamatokat. Minden esetben pozitív a korreláció az agyagásványok és az Al, Si, K, Fe, Zn, Rb koncentrációi között, ugyanakkor ezek az elemek negatívan korrelálnak a Ca, Mg, Sr mennyiségeivel. Ez egyértelműen megerősíti az ásványtani vizsgálatok eredményeit, vagyis az üledékekben intenzív, elsősorban földpát-mállás és autigén agyagásvány-képződés folyik, ahol a mobilis Ca, Mg, Sr (a kalcit rácsba épülve) kilúgozódik és elszeparálódik az eredeti elemösszetételtől. Hasonló eredményekre jutott Jin et al. (2006) is mongóliai tavak mállási folyamatainak vizsgálatakor.

A nagy só-tartalmú „K” és „SZ-2” szelvényekben a nátrium erős pozitív korrelációt mutat az agyagásványokkal, ami azt igazolja, hogy az agyagásványok adszorpciós helyeit a Na^+ tölti be, ezért lényegesen kisebb a nyomelem-megkötő képessége. Mind a „K”, mind az „SZ-2” szelvényben erős negatív korreláció mutatható ki, szerves anyag esetében a kémhatás és a

sótartalom felé, vagyis a szerves anyag inkább a savanyúbb pH- és alacsony só-tartalom mellett képes megőrződni, ellenkező esetben erősen degradálódik, vagy kolloidális formában a vízmozgással elvándorol a sók felhalmozódási szintjéből. Hasonló mechanizmust írt le Guo és Chorover (2003) nehézfémekkel szennyezett erősen lúgos kémhatású talajokban.

A főkomponens-analízis eredményei alapvetően négy jellemző, az elemeloszlásokat és a kémiai paramétereket kialakító folyamatot tárt fel: a lösz mállása, só-felhalmozódás, dolomit-képződés, valamint red-ox viszonyok változása. A legerősebb folyamat minden szelvény esetén a mállás volt, ami a „K”, „SZ-2”, és „X/2” szelvények esetén az üledék felső 100 cm-es zónájában a legintenzívebb. Ez megerősíti a mállási folyamatokra tett megállapításokat. Az „S1” szelvény esetében a mállás a mélyebb rétegekben történik, ami a folyamatos vízborítottság eredménye, ugyanis míg a kolloidális méretű mállási termékek a másik három szelvény esetében az intenzív kiszáradási, illetve vízzel borított periódusban a felszín felé mozognak, addig az „S1” halnevelőben a folyamatos felszíni vízutánpótlás leszivárgása a mélyebb szintekben mozgatja a mállási anyagokat. A második legerősebb háttér-folyamat a só felhalmozódása a „K”, „X/2” és „S1” szelvényekben. Minden esetben az össz-vezetőképesség és a Na-tartalommal függ össze és a felszíni rétegekben a legerősebb. Az „SZ-2” szelvény esetében a már többször tárgyalt fizikai keveredés a főkomponens-analízis során is jól nyomon követhető volt, ugyanis ebben a szelvényben voltak a legkevésbé határozottak a folyamatok, ami csak akkor lehetséges, ha az alap paramétereket egy egyéb külső hatás, ez esetben a fizikai keveredés összezavarta. A dolomit-képződés az „S1” és „SZ-2” szelvények mélyebb rétegeiben mutatkozik. A mangán mélyebb rétegekben – nagy valószínűséggel a red-ox viszonyok hatására – történő felhalmozódási folyamatát elsősorban az „X/2” szelvényben lehetett jól nyomon követni.

7. A VIZSGÁLT ÜLEDÉKEK NEHÉZFÉM-ADSZORPCIÓS TULAJDONSÁGAI

A szegedi Fehér-tó üledékeiben a nehézfém-megkötő képesség vizsgálatát környezet-geokémiai szempontból igen fontos feladatként tűztük ki, hiszen a talajok és üledékek gyakorlati szempontú kutatásában az egyik legaktuálisabb problémakört jelenti. Az antropogén hatások robbanásszerű erősödésével egyre több azon kutatások száma is, amely az egyes üledék-, és talajtípusok nehézfém-szennyezéssel szemben mutatott pufferkapacitásának vizsgálatára irányul (Batjes és Bridges, 1993; Lee et al., 1998; Fontes és Gomes, 2003). Az egyes talajok adszorpciós tulajdonságaival számos nemzetközi kutatás foglalkozik, vizsgálják a talaj szerves anyagának, valamint agyagásványainak adszorpciós készségeit (Bradl, 2004), a savanyú talajok nehézfém-megkötő képességeit (Covelo et al., 2007), valamint az öntözött talajok adszorbeált nehézfém-tartalmának változásait (Wahla és Kirkham, 2008). Emellett egyre több kutatás foglalkozik a szennyezett vizek természetes talajokkal való tisztításának vizsgálatával (Nassem és Tahir, 2001; Tang et al., 2008; Yan et al., 2009). Magyarországon elsősorban a talajok agyagásványos összetételének nehézfém adszorpciós tulajdonságait (Németh et al., 2005, Németh és Sipos, 2008), a barna erdőtalajok nehézfém-megkötő képességét (Sipos et al., 2005; Sipos, 2007), valamint a mezőgazdasági növények nyomelem mobilizáló képességeit (Kádár, 1995) vizsgálják.

7.1. Az adszorpciós kísérletekhez felhasznált minták rövid jellemzése

A vizsgált négy mintaszelvényből öt olyan mintaszintet jelöltünk ki, amelyekben eltérő az elemadszorpció szempontjából fontos agyagásvány-, szervesanyag-, karbonát-, vas-, valamint össz-sótartalom mennyisége. Az öt mintát az adott szelvény azonosítójával, illetve a minta mélységének értékével jelöltük.

K-0: Ebben a mintában a legmagasabb a vizsgált területek közül a szerves anyag mennyisége. A mintában az össz-só tartalomra utaló vezetőképesség értéke közepes, 10 mS/cm körüli, az agyagásványok is átlagos, 15%-nyi mennyiségben, valamint a vas szintén közepes, 4%-nyi koncentrációban van jelen a mintában. A mintában igen alacsony, 3% körüli a karbonáttartalom. Az összes vizsgált szelvényben ebben a szintben mértük a legalacsonyabb kémhatást, pH=6,5-t.

K-210: A minta igen alacsony (1,5 mS/cm) össz-vezetőképességgel, relatíve magas (27%) karbonáttartalommal rendelkezik. A mintában nincs szerves anyag, az agyagásványok közepes (10-15%) mennyiségben, a Fe szintén átlagos (4%) koncentrációban van jelen. A kémhatás lúgos, pH=8 körüli.

SZ-2-150: A mintában alacsony az össz-vezetőképesség (1 mS/cm), az agyagásvány-tartalom (~5%), valamint a vas koncentrációja (3,5%). A mintában szintén nincs szerves anyag, viszont itt a legmagasabb a karbonát mennyisége (35%). A kémhatás lúgos, pH=7,8.

X/2-40: A minta igen magas (13 mS/cm) össz-vezetőképességgel, alacsony (1%) karbonáttartalommal rendelkezik. A mintában a szerves anyag mennyisége 0,5%, az agyagásványok igen nagy (~30%) mennyiségben, a Fe szintén nagy (>5%) koncentrációban van jelen. A kémhatás erősen lúgos, pH=8,7.

S1-95: A mintában közepes nagyságú az össz-vezetőképesség (5 mS/cm), a kémhatás (pH=8) az agyagásvány-tartalom (~15%), valamint a vas koncentrációja (~4%). A mintában szintén nincs szerves anyag, viszont itt is nagy a karbonát mennyisége (33%).

7.2. A szegedi Fehér-tó üledékeinek nehézfém-adszorpciós tulajdonságai

A kiválasztott öt üledékminta egyelemes nikkell, réz, cink, kadmium és ólom adszorpcióját vizsgáltuk. Minden vizsgált elem esetében rendre 2000, 1000, 500, 200, 100, és 50 mg/l töménységű oldatokkal végeztük el az adszorpciót. A nagyobb oldatkonzentrációk (2000 és 1000 ppm) vizsgálata azért volt fontos, mert ugyan a természetben már nem, de antropogén szennyezés esetén, különösen iparvidékek területén előfordulhatnak ilyen elemkoncentrációk (Ren-Ying et al., 2007; Tang et al., 2008; Wahla és Kirkham, 2008). Minden esetben az adott elem 20 ml-nyi nitrát-oldatában szuszpendáltunk fel 200 mg üledékmintát. A talajszuszpenziók töménysége 10 g/l, ami a természetben is előfordul, másrészt a nehézfémek adszorpciója ilyen töménységű szuszpenzióban már maximális, Naseem és Tahir (2001) bentoniton elvégzett ólomadszorpciós kísérletei bebizonyították, hogy a megkötődés már 5 g/l töménységű szuszpenzióban is teljes. Wang et al. (2009) kimutatták, hogy a Cd(II) és Cu(II) adszorpció lösz minták esetében 10 g/l koncentrációjú talajszuszpenziók esetében maximális, nagyobb töménységű szuszpenziókban elsősorban a kolloid részecskék kölcsönhatásai miatt csökken az adszorpciós képesség. Az adszorpciós kísérleteket 48 órán keresztül végeztük, az első 12 órában, intenzív rázás mellett, amit a 24. és 48. órában 30-30 percre megismételtük. Covelo et al. (2007) kísérletei alapján ennyi idő alatt már a savanyú talajokban is teljes, a kationcserélő képességgel közel megegyező a legtöbb kation adszorpciója. Minden adszorpciós kísérlet esetében az első 6 órában óránként, majd a 24. és 48. órában is feljegyeztük a szuszpenziók pH-ját. Az adszorbeált fém mennyiségeket mol/kg-ban kifejezve a visszamaradó oldat mmol/l koncentrációban megadott egyensúlyi koncentrációjának függvényében kifejezve minden esetben meghatároztuk az adszorpciós izotermákat. A

különböző talajok adszorpciós tulajdonságainak leírására, illetve a maximális adszorpciós kapacitás leírására széles körben alkalmazhatók a Langmuir-, és Freundlich-féle adszorpciós izotermák (Giles et al., 1974; Hinz, 2001; Bradl, 2004; Jalali és Moharrami, 2007). A Langmuir-féle adszorpciós izoterma alkalmazásának feltételei (a, az adszorpció sík felületen megy végbe; b, az adszorpciós helyek száma kötött; c, a kötőhelyek egymással egyenértékűek és csak egy molekulát kötnek meg; d, csak monomolekuláris borítottság megengedett; e, az adszorpció reverzibilis; f, minden kötőhelyen azonos az adszorpciós energia és nincs kölcsönhatás az adszorptívum molekulái között) csak korlátozottan teljesülnek a talajokban, azonban a nehézfémek fő adszorpciós tulajdonságainak megállapítására ennek ellenére is sokan alkalmazzák (Murali és Aylmore, 1983; Lee et al., 1998; Fontes és Gomes, 2003). A Langmuir-féle adszorpciós egyenlet az alábbi módon fejezhető ki:

$$q = kC_e Q / (1 + kC_e) \quad (7.1)$$

ahol q az adszorbeált mennyiség (mol/kg), k az adszorpciós energiával összefüggő konstans, C_e az adszorptívum oldatbeli egyensúlyi koncentrációja (mmol/l), Q az adott koncentráció tartományban a maximális adszorpció. Gyakorlati szempontok miatt az egyenlet lineáris változata használatos:

$$C_e / q = 1 / kQ + C_e / Q \quad (7.2)$$

A C_e / q hányadost C_e függvényében ábrázolva, az illesztő egyenes meredeksége $1 / Q$, a metszéspontja az y tengelyen pedig $1 / kQ$. Így tehát grafikus úton az egyenes meredekségéből meghatározható a maximális adszorpciós kapacitás, az illesztő egyenes y tengellyel való metszéspontjából pedig az adszorpciós kölcsönhatás erőssége. A maximális adszorpció meghatározásakor a mmol/kg értékeket a talajtanban és a geokémiában gyakrabban használt és érzékletesebb mg/kg (ppm) értékekre váltottuk át.

A kutatásunk során vizsgált minták esetében a Langmuir-féle közelítés tökéletesen leírja az egyes nehézfémek adszorpciós tulajdonságait. A Langmuir-izoterma linearizált változatában használt illesztő egyenesek szórásnégyzete (r^2) az egyelemes adszorpciók esetében 0,95 és 0,99, míg a kompetitív adszorpciós kísérleteknél, 0,92 és 0,99 között volt, tehát az adszorpciós kölcsönhatásokat jól leírja ez a közelítés.

A fajlagos adszorpció megadásakor minden esetben elosztottuk az egyes mintákon adszorbeált fémmennyiségeket a kiindulási koncentrációkkal (22. táblázat). Mivel a kis kiindulási koncentrációk esetén (50-200 ppm) a fajlagos adszorpció szinte minden esetben a 100%-hoz közelít, ezért a három legnagyobb kiindulási koncentráció (500-2000 ppm)

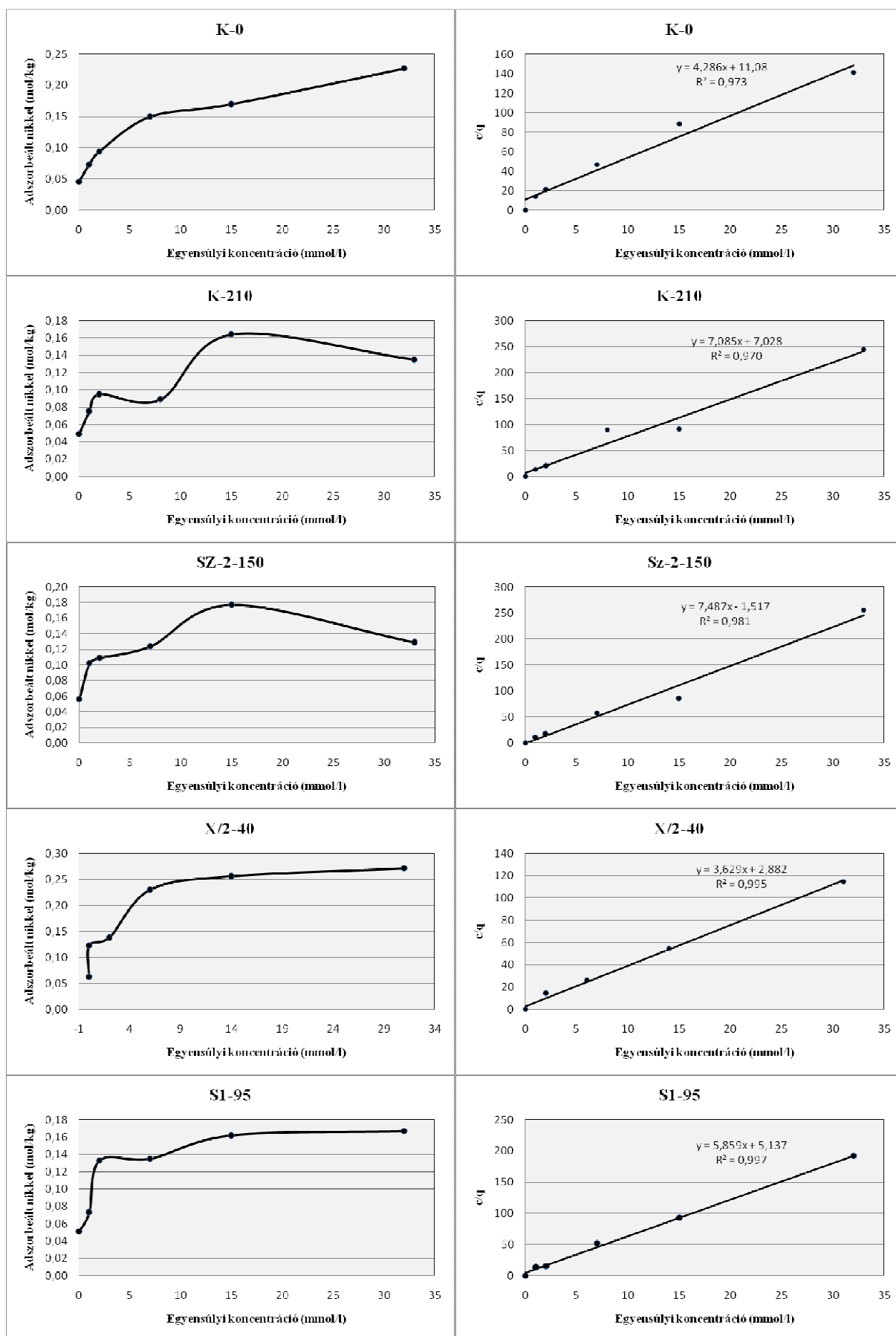
esetében kapott fajlagos adszorpciók átlagát használtam fel az egyes fémek átlagos mintánkénti adszorpciójának bemutatására (22. táblázatok).

A réz és ólom esetében a K-0 minták kivételével mindenütt, a cink esetében az SZ-2-150 mintánál a fő elem-immobilizáló folyamat a karbonáttal történő koprecipitáció volt. E jelenség bekövetkeztének ellenőrzésére megvizsgáltuk az adszorpció után a szilárd fázis összetételét. Mivel minden esetben ugyanazt az eredményt, vagyis az adott fém karbonátként való megjelenését diagnosztizáltuk, csak a legjellegzetesebb esetben, az ólom-karbonát kicsapódásakor felvett röntgen-spektrumot mutatom be illusztrálásként.

7.2.1. A nikkel egyelemes adszorpciója

Az egyes üledékmintákon adszorbeált nikkel mennyiségeit, az egyensúlyi oldatkoncentrációk, valamint a maximális-, és fajlagos adszorpció értékeit a 20. táblázat, az adszorpció-, valamint a linearizált Langmuir-izotermákat a 44. ábra szemlélteti.

A nikkel adszorpció tulajdonságai az egyes mintákban jelentősen eltérnek. A K-0 jelű minta esetében az adszorpció izoterma alakja igen nagy megkötődési affinitásra utal (Hinz, 2001). Mivel ebben a mintában volt a legmagasabb a szerves anyag mennyisége, ezért a nikkel megkötődéséért elsősorban a szerves anyag felelős. A nikkel ilyen jellegű viselkedése általában magas szervesanyag-tartalmú talajok esetében következik be (Covelo et al, 2007b). Ezt erősítik meg Gupta és Bhattacharyya (2006) megfigyelései is, akik megállapították, hogy a nikkel pH=8 alatt elsősorban a talaj szerves anyagához kötődik, mivel az agyagásványokon a negatív kötőhelyek száma a semleges, és savanyú talaj kémhatás esetében minimális, és kicsapódási reakció sem figyelhető meg ebben a tartományban. Young et al. (1992) is azt tapasztalták tavi üledékek vizsgálatakor, hogy a Ni, Zn és Cd elsősorban semleges, enyhén lúgos kémhatás esetében, Fe-humin komplexekkel koprecipitálnak. A K-0 minta esetében az egyik legnagyobb (13677 mg/kg) a nikkel maximális adszorpciója, ugyanakkor ez az érték messze elmarad a többi elemnél tapasztaltaktól, a fajlagos adszorpció is minimális, 11%. A nikkel ilyen jellegű viselkedése a legtöbb adszorpció kísérletben hasonló, Usman (2008) 6 különböző agyagtartalmú talajon elvégzett kísérleteiben a nikkel mutatta a legkisebb affinitás a talaj felé, Jalali és Moharrami (2007) 10 kalcitos talaj adszorpció vizsgálatakor is azt találták, hogy a Ni kötődik meg a legkisebb mértékben a talajon. Ennek a tulajdonságnak a magyarázata abban keresendő, hogy a nikkel viszonylag nagy elektronegativitása miatt ugyan relatíve nagy adszorpció hajlammal rendelkezik (McBride, 1994), azonban kompetitív helyzetben drasztikusa lecsökken a megkötődésének aránya még lúgos közegben is (Gomes et al., 2001).



44. ábra A nikkel egyelemes adszorpciós görbéi és linearizált Langmuir-izotermái

A K-210 mintában még kisebb a nikkelt maximális (8277 mg/kg) és fajlagos (8%) adszorpciója. Az adszorpció izoterma S alakja kompetitív megkötődésre utal (Giles et al., 1974), tehát a nikkelt a nagyobb koncentrációjú tartományokban újra immobilizálódik. Ezt erősíti meg az is, hogy az adszorpció előrehaladtával némileg csökkent a kezdetkor is semleges, enyhén savanyú pH (23. táblázat), azaz az oldatba jutó H^+ -ionok újra leszorították a már adszorbeált nikkelt a kötőhelyek egy részéről. Mivel a mintában nincs szerves anyag ezért a kis mennyiségben jelen lévő agyagásványok kötik meg a nikkelt.

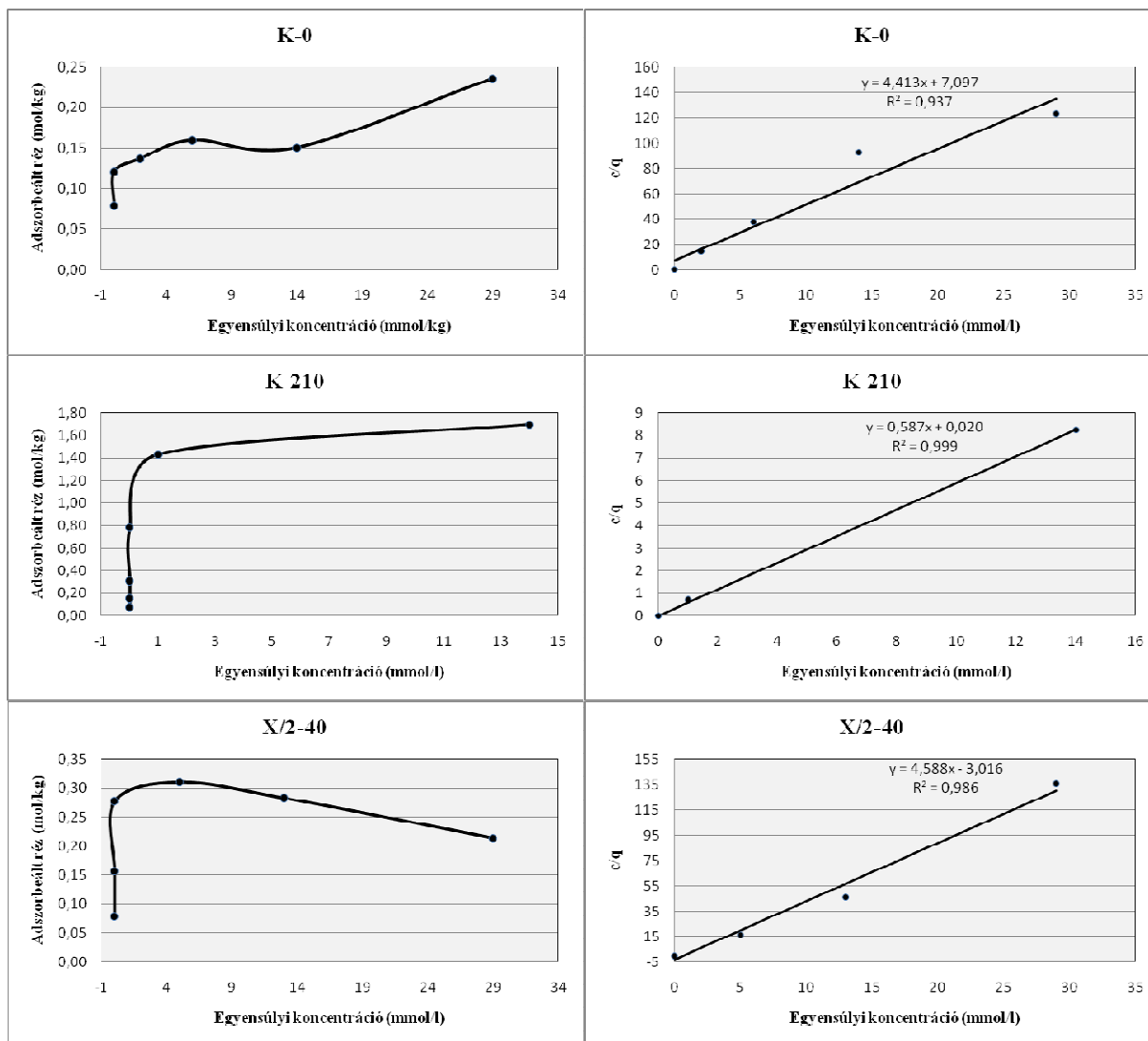
Az SZ-2-150 jelű mintában a legkisebb a nikkelt maximális (7866 mg/kg) adszorpciója, a fajlagos adszorpció is alacsony, 10%. Az adszorpció izoterma ismét S alakú, valamint az oldat kémhatása savasodik, azaz a nikkelt K-210 mintában való viselkedéséhez hasonlóan kötődik meg a mintán. Az adszorpció alacsony értéke arra vezethető vissza, hogy a mintában sem szerves anyag, sem agyagásványok nincsenek jelen, valamint a lúgos kémhatás és a nagy karbonáttartalom ellenére sem következik be kicsapódási reakció, amit az ellenőrző röntgen-diffraktometria mérések is bizonyítottak.

Az X/2-40 mintán a legnagyobb a nikkelt maximális (16201 mg/kg) és fajlagos (17%) adszorpciója is. Az adszorpció görbe L alakja egyértelműen a nikkelt erős affinitását mutatja az üledék felé. A kis kiindulási oldatkoncentrációk esetén erősen lúgos (pH=8), majd a nagyobb koncentrációtartományokban enyhén lúgos kémhatás és a nagy agyagásvány-tartalom eredményezi azt, hogy a nikkelt a vizsgált minták közül az X/2-40-ben mutatja a legnagyobb adszorpciót. Sipos (2004) cserhádi erdőtalajok vizsgálatakor szintén arra a következtetésre jutott, hogy a nikkelt megkötődéséért elsősorban az agyagásványok felelősek a talajban. A mért kémhatások alapján (23. táblázat) az X/2-40 mintában a nikkelt adszorpció 3. órájában beáll a pH, és a 48. óráig nem változik, tehát a megkötődés igen gyorsan lezajszódik. Ezt a folyamatot erősítik meg Gupta és Bhattacharyya (2006) mérései is, amely szerint pH=7 felett drasztikusan növekszik az agyagásványok negatív kötőhelyeinek száma, és a nikkelt nagyon gyorsan, 3 óra alatt teljesen adszorbeálódik a mintán.

Az S1-95 jelű mintában alacsony-közepesnek mondható a nikkelt maximális (10038 mg/kg) és fajlagos (10%) adszorpciója is. Az adszorpció görbe alapján szintén a nikkelt erős megkötődésre következtethetünk, a mechanizmus gyakorlatilag ugyanaz, mint az X/2-40 minta esetében, a csökkent adszorbeált nikkelt mennyiségeket az agyagásványok mérsékeltebb mennyisége eredményezi.

7.2.2. A réz egyelemes adszorpciója

Az egyes üledékmintákon adszorbeált réz mennyiségeit, az egyensúlyi oldatkonzentrációk, valamint a maximális-, és fajlagos adszorpció értékeit a 20. táblázat, az adszorpció-, valamint a linearizált Langmuir-izotermákat a 45. ábra mutatja be.



45. ábra A réz egyelemes adszorpció görbéi és linearizált Langmuir-izotermái

A réz esetében határoztuk meg – az ólom után – a második legmagasabb maximális és fajlagos adszorpció értékeket. Azonban, ahogy az a nikkel esetében is tapasztalható volt, a réz megkötődése is lényegesen eltért az egyes mintákban.

A K-0 mintában volt a legkisebb a réz maximális (14437 mg/kg) és fajlagos (13%) megkötődése is, amelyek alacsonyak ugyan, de kétszer nagyobb értékek, mint a nikkel esetében. Ez elsősorban a szelvény relatíve magas szervesanyag-tartalmával, és az egyensúlyi adszorpció oldatok alacsony kémhatásával (pH~5), valamint az alacsony agyagásvány-, és karbonáttartalommal magyarázható. A réz az egyik legnagyobb adszorpció affinitást mutatja

a talajok felé, és igen immobilis, ami elsősorban a nagy elektronegativitásával magyarázható (McBride, 1994). Wahla és Kirkham (2008), valamint Kinniburgh et al. (1993) is kimutatta, hogy a réz elsősorban szerves anyagokhoz kötődik, Covelo et al. (2007a) úgy találták, hogy az erősen savanyú talajokban is a legnagyobb adszorpciót a réz mutatja. Bradl (2004) megállapította, hogy a réz affinitása csökken a talajalkotókon a következő sorrend szerint: $\text{MnO(OH)} > \text{Szerves anyag} > \text{FeO(OH)} > \text{Agyagásványok}$. Jelen esetben a kisebb kiindulási koncentrációk esetében (50-500 ppm) az enyhén savanyú pH-n, és a CaCO_3 hiányában nem játszódik le a réz kicsapódása, az adszorpció a szerves anyagon következik be. Az adszorpciós görbe S/L alakja a réz nagy adszorpciós affinitása mellett (Hinz, 2001) a nagy koncentrációk esetében újra magasabb megkötődést mutat, ami a nehézfémek nagy oldat-koncentrációja esetén a felületi kicsapódásra utal (Shashkova et al., 1999; Sastre et al., 2006).

A K-210 minta esetében az adszorpciós görbe H típusú (Hinz, 2001), ami intenzív megkötődési reakcióra utal. A rendkívül magas maximális (108374 mg/kg) és fajlagos (82%) adszorpciós kapacitása a minta erősen lúgos kémhatása (pH=8) és a magas karbonáttartalom (27%) miatt kicsapódásra utal, amit az ellenőrző röntgen-diffrakciós mérések is igazoltak. A réz már enyhén lúgos kémhatás esetén is gyakorlatilag 100%-ban adszorbeálódik a talajokban, a kémhatás növekedésével a felületi kicsapódás pedig egyre kedvezményezettebb (Bradl, 2004). Az adszorpciós és a felületi kicsapódási reakciók sok esetben csak nagyon nehezen különíthetők el, mivel nanométeres mérettartományban következnek be (Sparks, 1995). Jalali és Moharrami (2007) kalcitos talajokban kimutatták, hogy egyedül a réz adszorpciója növekszik a pH-val, a korreláció a megkötött réz és a pH között pozitív, gyakorlatilag 100%.

Az SZ-2-150 jelű mintában 100%-os a fajlagos adszorpció, azaz még a 2000 mg/l koncentrációjú oldat esetében is a réz teljes mennyisége megkötődik, emiatt az adszorpciós görbéket és az abból számított maximális adszorpciót sem tudtuk meghatározni. Ez a megfigyelés jól összecseng Tang et al. (2008) által tapasztaltakkal, akik a réz löszön történő adszorpciójakor kimutatták, hogy a CuCO_3 képződése az egyik fő folyamat. Mivel az SZ-2-150 szelvény gyakorlatilag csak a karbonáttartalmában különbözik a K-210-től, megerősítést nyer a K-210 minta esetében megállapított kicsapódási reakció, a magasabb (35%) CaCO_3 mennyiség már a legtöményebb oldatból is a teljes réz mennyiséget immobilizálta.

Az X/2-40 minta maximális (13865 mg/kg) és fajlagos (21%) rézadszorpciója a K-0 mintához hasonló. A mintában gyakorlatilag nincs karbonát, így nem a kicsapódás folyamata immobilizálja a réztartalmat. A mintában a réz megkötésében ez esetben az agyagásványok játszanak fő szerepet. Az agyagásványok adszorpciós kapacitása erőteljesen függ a pH-tól, a

lúgos közegben erősen növekszik a szmektitiek és vermikulit permanens negatív töltése (Evans, 1989), ami a réz felvételének kedvez. Az L-típusú adszorpciós görbe az erős megkötődésre utal (Hinz, 2001), ugyanakkor a nagy koncentrációk tartományában visszaesés figyelhető meg, ami a réz remobilizálódását jelenti. Ez két ok miatt következhet be, egyrészt Németh (2003) kimutatta, hogy a réz megkötődése nem áll összefüggésben a montmorillonit rétegtöltéseivel, tehát a réz adszorpciója döntően a felületi negatív töltésű kötőhelyeken valósul meg. Másrészt a nagy só-tartalom eredményeként a nagy kiindulási réz koncentrációk esetében az alapvetően Na-mal telített agyagásványokról leszoruló ionok olyan mennyiségben kerülnek az oldatba, hogy az adszorbeált rezet a kötőhelyek egy részéről újra leszorítják, azaz versengés indul meg a réz és nátrium ionok között a kötőhelyekért. Hasonló jelenséget figyelt meg Wahla és Kirkham (2008) nagy NaCl-tartalmú öntözővízzel kezelt talajok esetén, a kezdeti nagy mennyiségben adszorbeált rezet a növekvő nátrium-tartalom fokozatosan deszorbeálta a kötőhelyekről. Ugyanerre a következtetésre jutott Stojanovic et al. (2009) ausztriai sekély szikes tavak vizsgálatokor, a nyomelem döntő részének adszorpciója csökkent a só-tartalom és az ionerősség növekedésével. Ezt a jelenséget erősíti meg az is, hogy az adszorpciós kísérletek során a növekvő réz-ion megkötődéssel nem változott a pH (23. táblázat), tehát H^+ nem, vagy csak elenyésző mennyiségben került az oldatba, ami csak akkor következhet be, ha másik – ez esetben Na^+ – volt adszorbálva a kötőhelyeken.

Az S1-95 mintában gyakorlatilag az SZ-2-150 jelű mintához hasonlóan a legnagyobb koncentrációjú oldatból is immobilizálódott a réz teljes mennyisége az üledék karbonáttal történő koprecipitációjával.

7.2.3. A cink egyelemes adszorpciója

Az egyes üledékmintákon adszorbeált cink mennyiségeit, az egyensúlyi oldatkoncentrációk, valamint a maximális-, és fajlagos adszorpció értékeit a 20. táblázat, az adszorpciós-, valamint a linearizált Langmuir-izotermákat a 46. ábra ismerteti.

A cink esetében is lényeges különbségek figyelhetők meg az egyes minták adszorpciós tulajdonságainak vizsgálatakor. A maximális és fajlagos adszorpció értékek alapján megfigyelhető, hogy a cink adszorpciója nagyrészt erősebb, mint a nikkelé, ugyanakkor a réz megkötődésétől alacsonyabb. Azonban a K-0 és X/2 minták esetében a legalacsonyabb a cink maximális és fajlagos adszorpciója.

A K-0 szelvényben a cink maximális (3270 mg/kg) és fajlagos (7%) adszorpciója is a legkisebb a vizsgált elemek közül. Ez elsősorban a savanyú kémhatásnak (pH=6), valamint a cink igen kis elektronegativitásának (Covelo et al., 2007a) tudható be. Bradl (2004)

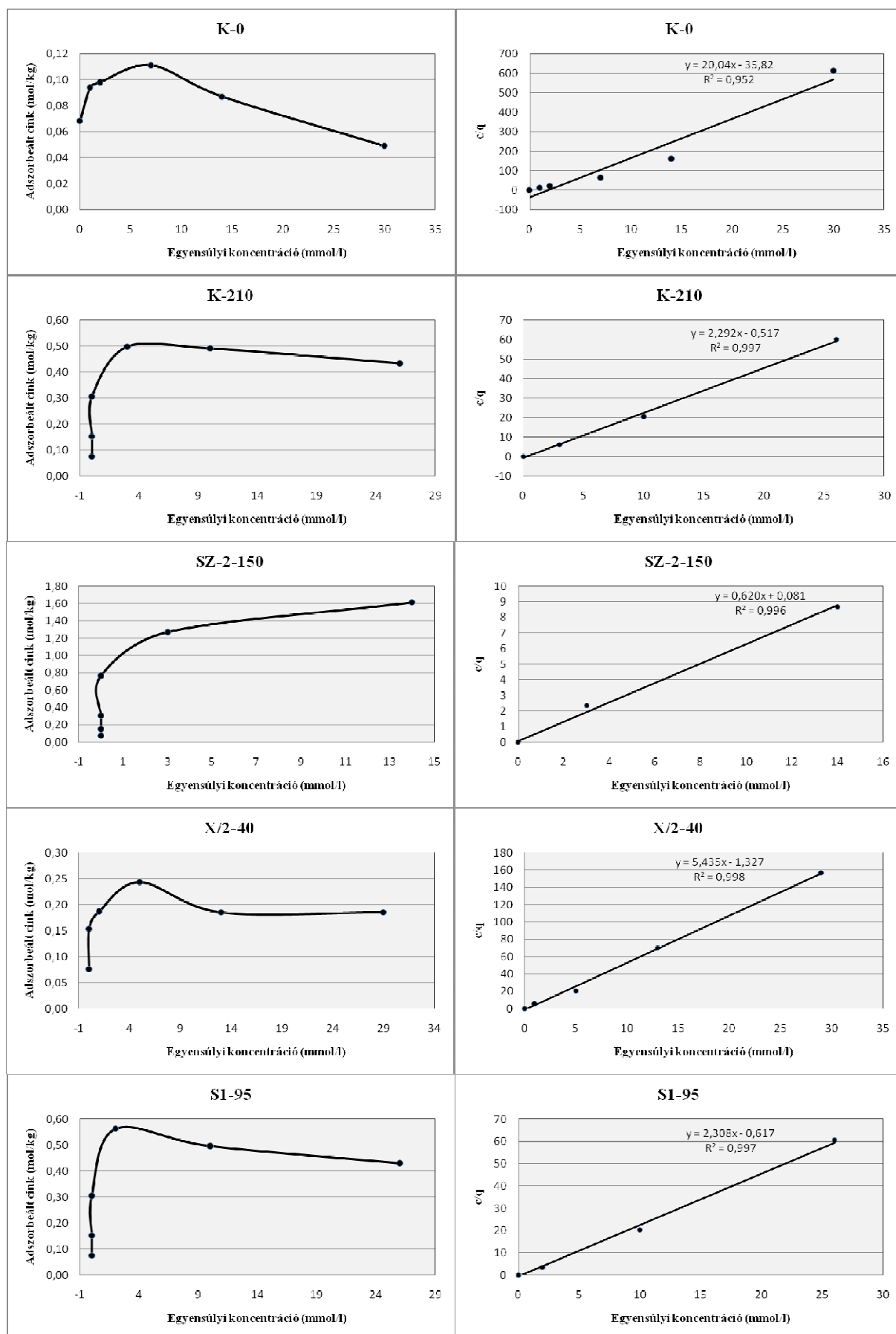
vizsgálatai szerint a Zn, Cd, és Cu adszorpciója is döntően pH=7-től növekszik meg, azonban a cinknek még ekkor is csak a nikkeltől nagyobb az adszorpció affinitása (Gomes et al, 2001). Tokalioglu et al. (2000) pedig négy-lépcsős szekvenciális kísérletekben kimutatta, hogy a cink jelentős mennyiségben már desztillált vízzel is mobilizálható.

A cink 500, 1000, 2000 mg/l egyensúlyi oldatainak savas kémhatása (pH~5-5,5) (24. táblázat) miatt a gyenge adszorpció affinitással rendelkező cink a nagyobb koncentrációkban remobilizálódik a kötőhelyekről.

A K-210 jelű mintában a cink maximális (28514 mg/kg) és fajlagos adszorpciója (37%) lényegesen magasabb mint a K-0 mintában mértek. Ez a viszonylag nagy megkötött mennyiség a lúgos kémhatásnak (pH=7-8), valamint a viszonylag nagy agyagásvány-, és karbonáttartalomnak köszönhető. Tang et al. (2008) hasonló ásványi összetételű löszökön lúgos kémhatás esetén a cink relatíve erős adszorpcióját és karbonáttal való kicsapódását írta le. Ebben az esetben tehát az adszorpció mellett a cink-karbonát kicsapódása is eredményezheti a relatíve magas maximális adszorpciót, azonban az adszorpció görbe határozottan L-típusú (Hinz, 2001), ami erős megkötődésre utal, ráadásul a magasabb koncentrációk esetén némi visszaesés tapasztalható az adszorbeált cink mennyiségében, tehát elsősorban az agyagásványokon történő adszorpció valószínűsíthető, ugyanakkor a karbonát-képződés sem kizárható, annak ellenére, hogy a röntgen-diffrakciós vizsgálatok sem mutattak ki cink-karbonát fázist.

Az SZ-2-150 minta esetében a nagy kiindulási koncentrációk esetén meredeken emelkedő, alapvetően L típusú izoterma jellemzi a cink adszorpcióját. A maximális adszorpció (105490 mg/kg), valamint a fajlagos adszorpció (79%) is arra enged következtetni, hogy a minta magas karbonáttartalma immobilizálja a cinket még nagy kiindulási oldatkonzentrációk esetén is. Mivel sem szerves anyag, sem jelentős mennyiségű agyagásvány nincs a mintában, csak a karbonáttartalom lehet felelős a cink megkötéséért. Ezt a folyamatot erősíti meg Tang et al. (2008a) megfigyelései is, akik kimutatták, hogy löszös talajokon a cink elsősorban karbonáttal való kicsapódás révén immobilizálódik.

Az X/2-40 mintában is relatíve alacsony a cink maximális (12034 mg/kg) és fajlagos (17%) adszorpciója. Ezek az értékek azonban lényegesen magasabbak a K-0 minta esetében tapasztaltaknál, ami a lúgos kémhatásnak (pH=7-8) és a nagy agyagásvány-tartalomnak köszönhető. Ez esetben is a K-0 mintánál látottakhoz hasonló lefutás figyelhető meg a cink adszorpció izotermáján, itt a nagy Na-tartalomnak köszönhetően a magas cink koncentrációjú oldatok esetén a kötőhelyekről leszorított Na^+ ionok versenyezni kezdenek a cinkkel az adszorpció helyekért, ami a cink részleges remobilizációjához vezet.



46. ábra A cink egyeletes adszorpciós görbéi és linearizált Langmuir-izotermái

Az S1-95 minta esetében a cink maximális (28318 mg/kg) adszorpciója nagyon hasonló mértékű a K-210 mintában mértékhez, ugyanakkor a fajlagos adszorpció kisebb, 40%. A cink adszorpciója a K-210 mintánál tapasztalt, hasonló mechanizmus szerint következhet be. Az agyagásványokon történő adszorpció mellett kicsapódás is lejátszódhat.

7.2.4. A kadmium egyelemes adszorpciója

Az egyes üledékmintákon adszorbeált kadmium mennyiségeit, az egyensúlyi oldatkoncentrációk, valamint a maximális-, és fajlagos adszorpció értékeit a 20. táblázat, az adszorpciós-, valamint a linearizált Langmuir-izotermákat a 47. ábra szemlélteti.

A kadmium maximális adszorpciós értékeit tekintve nagyobb adszorpciós affinitást mutat a vizsgált üledékek felé, mint a nikkel és a réz, a cinkkel közel megegyező értékei vannak, míg az ólomtól alacsonyabb megkötődési hajlam jellemzi. A fajlagos adszorpció szempontjából azonban már csak a nikkelt előzi meg. Természetesen az egyes minták esetében a kadmium esetén is eltérések mutatkoznak mind a maximális-, mind a fajlagos adszorpció, valamint az adszorpciós görbék alakját tekintve is. Azonban az egyes minták kadmium adszorpciós értékei – ellentétben a többi vizsgált nehézfémnél tapasztaltakkal – minden minta esetében hasonlóak.

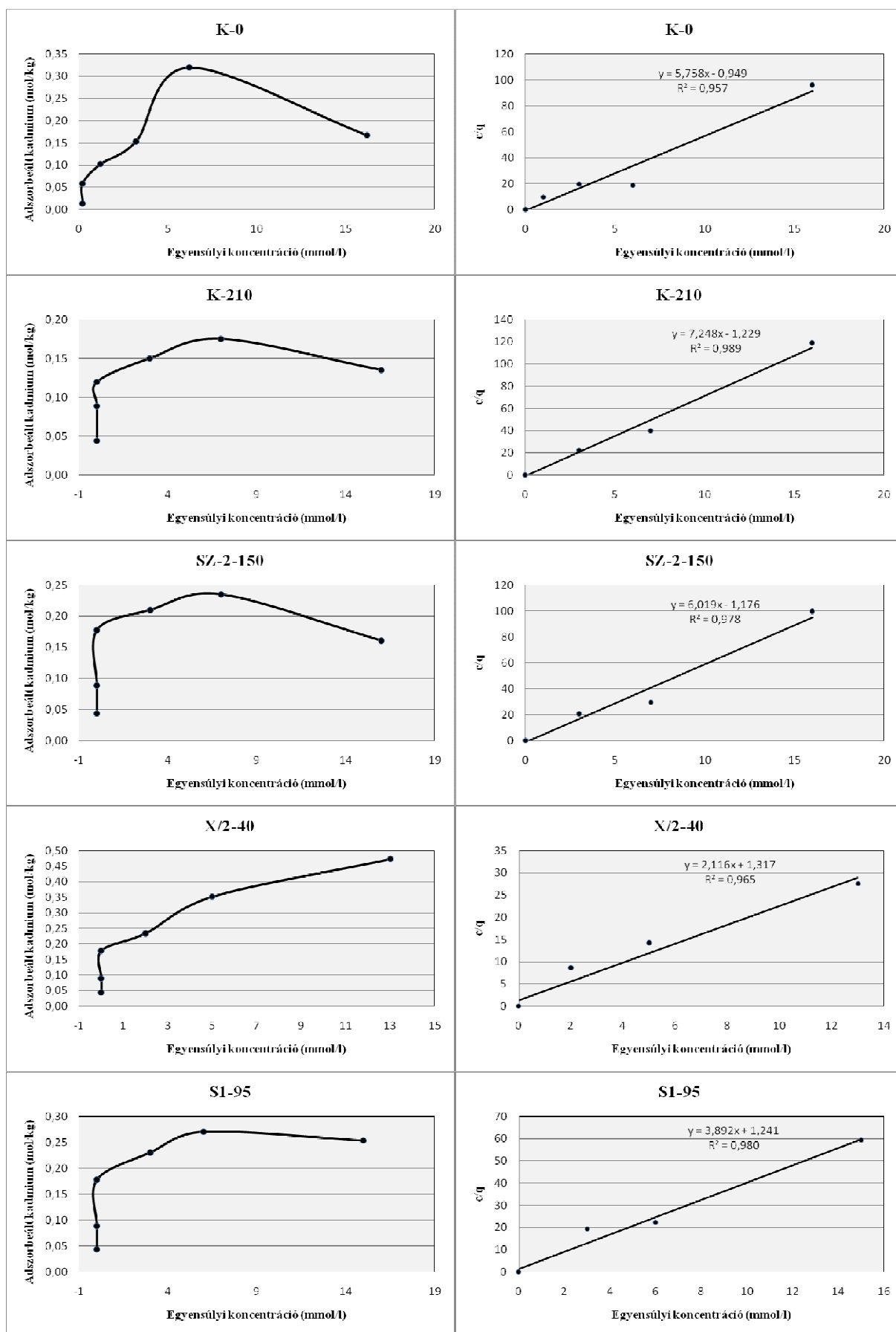
A K-0 minta esetében a vizsgált elemekhez képest igen magas a kadmium maximális adszorpciója (19558 mg/kg), azonban ez az érték lényegesen elmarad a Wang et al. (2009) által löszökön mért 93700 mg/kg maximális adszorpciós értéktől. A kadmium talajon való megkötődését meglehetősen sok folyamat befolyásolja. Covelo et al. (2007b) megállapították, hogy szerves anyag jelenlétében a kadmium adszorpciója a legnagyobb pozitív korrelációt az huminsavak mennyiségével mutatja. Asci et al. (2008) különböző agyagásvány-tartalmú minták Cd(II) adszorpcióját vizsgálva kimutatták, hogy elsősorban a szmektiteken nagy a kadmium megkötődése. Azonban a megkötődés menete nem lineáris, és a kadmium maximális adszorpciója is alacsony, 3400 mg/kg. Ez összefüggésben állhat a kadmium alacsony, a cinkét alig meghaladó, elektronegativitási értékével (McBride, 1994). Wang et al. (2009) továbbá kimutatták, hogy a kadmium igen nagy mennyiségben CdSiO₃-ot képez spontán kicsapódás révén. A talajok amorf fázisán történő megkötődés igen jellemző a kadmiumra, az agyagásványok mellett az amorf fázis hidroxil-csoportjain is jelentős a kadmium adszorpciója (Asci et al., 2008). A K-0 minta esetében tehát a kadmium megkötéséért a szerves anyag és az agyagásványok együtt felelnek, a hasonló talajokon mért maximális adszorpciós értéktől azonban azért marad el a mintában mért maximális kadmium adszorpció, mert a savas kémhatás (pH=5-6) (24. táblázat) nem kedvez a megkötődésnek

(Bradl, 2004). Wang et al. (2009) kimutatta, hogy az enyhén savas, semleges kémhatású tartományban a kadmium adszorpciójáért a szerves anyag és az agyagásványok együtt felelősek a pH=4,2-7,5 tartományban.

A kadmium adszorpciós görbéje L/S típusú (Hinz, 2001), ami az erős megkötődési mechanizmus mellett a magasabb kiindulási kadmium koncentrációk esetén már az egyensúlyi oldat egyéb ionjaival a kötőhelyekért folytatott versengésre utal. A kadmium alacsony elektronegativitása és immobilizációs képessége, a nagy kiindulási koncentrációk (1000, 2000 mg/l) esetén az egyensúlyi oldatok savanyú kémhatása, tehát a magas H^+ -koncentráció, valamint a magas Na-tartalom okozza a cinkhez hasonló (46. ábra) mechanizmust, azaz a nagyobb koncentráció-tartományokban az adszorbeált kadmium – az eleve savanyú kémhatású oldatban – jelentős mennyiségű Na^+ , és H^+ -iot deszorbál az oldatba, amik ezután olyan mennyiségben lesznek jelen, hogy a kadmiumot remobilizálják a kötőhelyekről, ezt igazolja az adszorpciós kísérletek során változatlan pH is (24. táblázat). Hasonló mechanizmust figyelt meg Wahla és Kirkham (2008) magas Na-tartalmú öntözővízzel kezelt talajok esetében, vagyis az oldatban növekvő koncentrációjú Na^+ deszorbeálja a Cd-ot a kötőhelyekről.

A K-210 jelű mintában a kadmium maximális (15511 mg/kg) és fajlagos adszorpciója (19%) is a K-0 mintában mértékhez hasonló. A nagy karbonáttartalom (27%) ellenére nem tapasztalható precipitációs folyamat, és az adszorpciós görbe alakja is a K-0 mintánál tapasztaltakkal megegyező, a szerves anyag hiányában kadmium adszorpciója az agyagásványokhoz köthető. Ilyen semleges, enyhén lúgos kémhatású üledékben megnő a Cd(II) agyagásványokon történő adszorpciója (Asci et al., 2008).

Az SZ-2-150 mintában a jelentős karbonáttartalom ellenére sem változik lényegesen a kadmium maximális (18658 mg/kg) és fajlagos (23%) adszorpciója. Az adszorpciós görbe alapján a mechanizmus hasonló az előző minták esetében tapasztaltakkal, azonban az agyagásványok itt relatíve alacsony mennyiségben vannak jelen, ami a K-210 minta esetében látottak alapján nem indokolná az ilyen mértékű adszorpciót, ezért valószínűsíthető, hogy a röntgen diffraktometriás módszerrel nem kimutatható amorf szilícium fázison, vagy a karbonát fázison történt felületi adszorpció (Wang et al., 2009). Ezt a folyamatot erősíti meg Bradl (2004) megfigyelése is, aki leírta, hogy a Cd $CaCO_3$ jelenlétében nagyon gyors, néhány perc alatt bekövetkező kemisorpcióra képes, ugyanakkor a $CdCO_3$ képződése nagyon lassú folyamat.



47. ábra A kadmium egyeletes adszorpció s görbéi és linearizált Langmuir-izotermái

Mivel a mintában alacsony a sótartalom, az adszorpció görbe letörése annak az eredménye lehet, hogy a Ca^{2+} erősen verseng a kadmiummal a kötőhelyekért, ez a hatás azonban csak nagy kadmium koncentrációknál jelentkezik, ugyanis az alacsony kadmium mennyiség esetén, annak agyagásványokon történő adszorpciója kedvezményezett a kalciummal szemben (Bradl, 2004).

Az X/2-40 mintában a legmagasabb a kadmium maximális (53165 mg/kg) és fajlagos (40%) adszorpciója is. Mivel sem szerves anyag, sem karbonát nincs jelen, ezért ezek az értékek a minta magas agyagásvány-tartalmával (30%) magyarázhatóak. Az L-típusú adszorpció görbe erős adszorpció affinitásra utal (Hinz, 2001), a magasabb koncentráció tartományokban jelentősen nő a kadmium adszorpciója, ami felületi kicsapódásra utal (Wang et al., 2009).

Az S1-95 mintában is relatíve magas a kadmium maximális (28887 mg/kg) és fajlagos adszorpciója is. Ez az agyagásvány-tartalommal magyarázható.

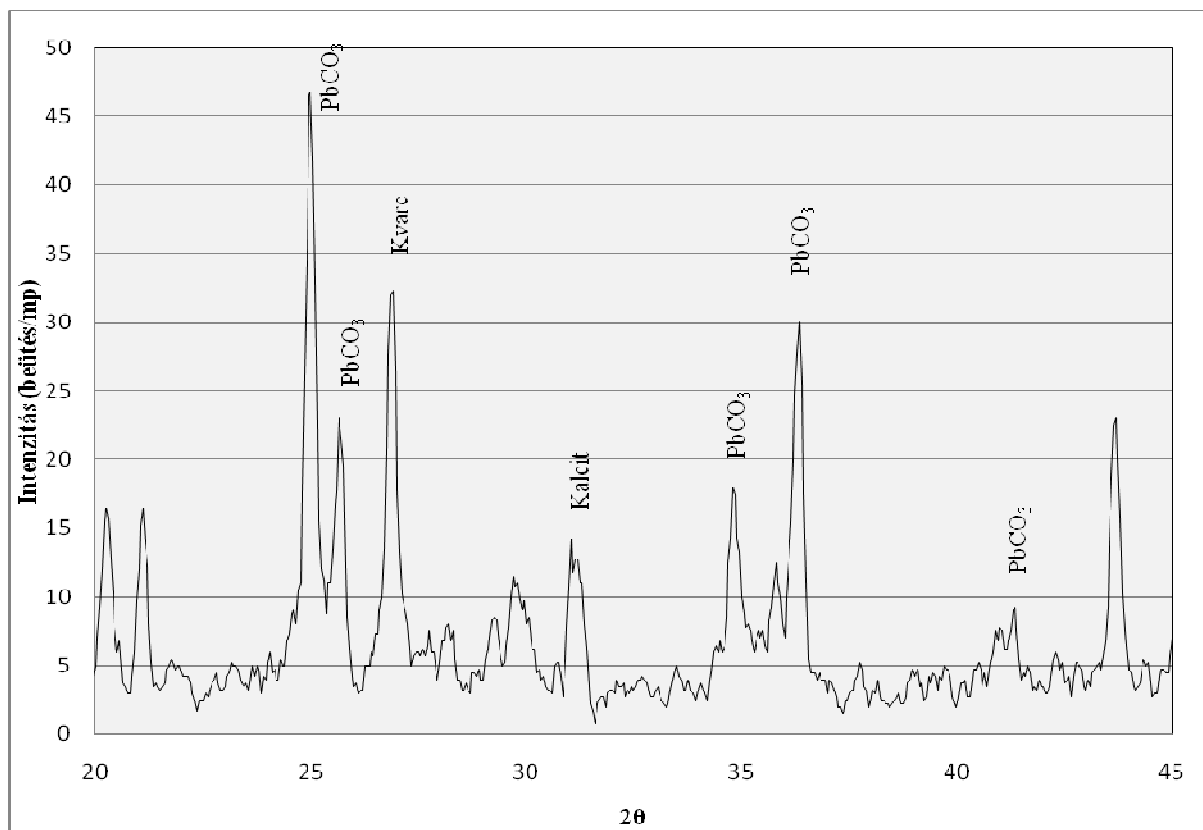
7.2.5. Az ólom egyelemes adszorpciója

Az egyes üledékmintákon adszorbeált ólom mennyiségeit, az egyensúlyi oldatkonzentrációk, valamint a maximális-, és fajlagos adszorpció értékeit a 20. táblázat mutatja be.

Az ólom adszorpció kísérleteiben a K-0 mintán kívül minden esetben, még a legtöményebb 2000 mg/l kiindulási Pb-koncentrációk is immobilizálódtak az üledékekben, a fajlagos adszorpció 100% a két legmagasabb karbonáttartalmú, SZ-2-150 és S1-95 mintákban, míg a némileg alacsonyabb karbonát koncentrációval rendelkező K-210 esetén ez az érték 84%, az X/2-40 esetén 59%. A röntgen diffrakciós ellenőrzések ezekben az esetekben cerusszitot, azaz PbCO_3 -ot mutattak ki (48. ábra). Bradl (2004) szerint a pH=6-12 tartományban az ólom-karbonát keletkezése a kedvezményezett, ettől savasabb tartományokban az ólom többnyire hidroxid-, és foszfátképzéssel immobilizálódik. Román-Ross et al. (2006) modelkísérletekkel bizonyították, hogy a legtöbb nehézfém képes a kalcittal való koprecipitációra. Lee et al. (1998) is hasonló megállapításra jutott, az ólom adszorpciója pH=3 és pH=8,5 között nagy mennyiségű (>10%) szervesanyag-tartalom felett elsősorban a huminanyagokon történik, abban az esetben viszont, ha nincs szerves anyag az elsődleges ólom-immobilizáló folyamat a Fe-, és Mn-hidroxid képződése.

Az 1000 mg/l és 2000 mg/l kiindulási koncentrációk esetén az egyensúlyi talajoldat már meglehetősen savanyú, pH=5 körüli (25. táblázat), tehát ebben az esetekben a cerusszit képződése mellett különböző ólom-hidroxidok kicsapódása is feltételezhető.

Az adszorpciós kísérletek kémhatásának változásain (25. táblázat) jól megfigyelhető, hogy a kisebb kiindulási ólom-koncentrációk esetében (500 mg/l vagy az alatt, az SZ-2-150 minta esetében még 1000 mg/l koncentrációnál is) a kezdeti savanyú kémhatás - amit az ólom erős hidrolizációs képessége okoz (Adriano, 1986) – a 2.- 3. óra után lúgossá válik, ami a jelenlevő karbonátok erős puffer hatását mutatják.

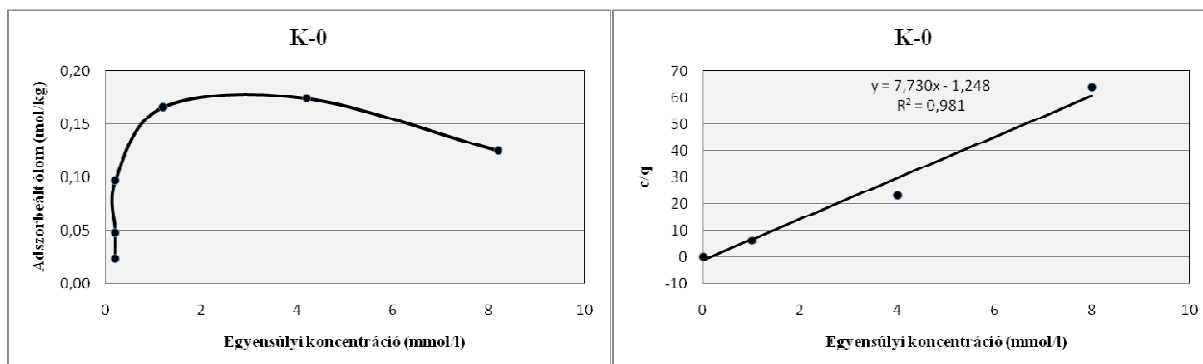


48. ábra Az ólom adszorpció utáni szilárd reziduum röntgen-diffraktogrammjá

Az X/2-40 minta esetében a legalacsonyabb kiindulási ólomkoncentrációk esetén az egyensúlyi oldatból nem ülepedett ki a szuszpenzió egy része, ez csak ebben a mintában, csak az ólom esetében és csak kis koncentrációknál (50, 100 mg/l) fordult elő. A jelenség magyarázata az erősen lúgos (pH=10) kémhatásban keresendő. A minta magas agyagásvány-tartalmának egy része az extrémnek mondható kémhatás és az ólom jelenlétének hatására kolloidális méretű destrukciót szenvedhetett. Ennek bizonyítása későbbi mikroszkópos vizsgálatok elvégzését szükségelteti.

A vizsgált minták közül egyedül a K-0 jelűben tudtunk meghatározni az ólom maximális (26805 mg/kg) adszorpcióját. Az ólom fajlagos adszorpciója (39%) ebben a mintában a legkisebb. Mivel ez a minta tartalmaz csak szerves anyagot (~2%) és a karbonát mennyisége minimális, az ólom a szerves anyagon kötődik meg. Az egyensúlyi oldatok a minta eredeti savanyú kémhatásának eredményeként erősen savanyúak (~pH=5) (25. táblázat). Az ólom

ebben a pH tartományban a talajok szerves anyagán adszorbeálódik (Lee et al., 1998; Kinniburgh et al., 1999; Zhang et al., 2005), így jelen esetben is az ólom megkötődéséért az üledék szervesanyag-tartalma a felelős. Az adszorpciós görbe L-típusú (49. ábra), ami erős megkötődési reakcióra utal (Hinz, 2001), a magasabb koncentráció tartományokban az egyre savanyúbb kémhatás következtében az ólom remobilizálódhat a szerves anyag kötőhelyeiről.



49. ábra Az ólom egyelemes adszorpciós görbéje és linearizált Langmuir-izotermája

Az X/2-40 minta esetében csak az 1000 és 2000 mg/l kiindulási oldatkonzentrációk esetén nem volt 100%-os az adszorpció. Mivel az 50-200 mg/l kiindulási oldatkonzentrációk esetén az egyensúlyi talajoldatok lúgosak voltak (25. táblázat) – ami a minta magas sótartalmát jelentő NaHCO_3 -nak köszönhető –, ezekben az esetekben kicsapódási reakciók immobilizálhatták az ólmot, majd a magasabb kiindulási oldatkonzentrációk esetén az egyensúlyi oldat már kellően alacsony kémhatású volt (pH=5) a minta magas agyagásvány-tartalmán való megkötődéshez. Hasonló folyamatot írt le Covelo et al. (2007a), akik azt figyelték meg, hogy az ólom adszorpció az agyagásványokon pH=4,5-6 között megy végbe akkor, ha nincs a rendszerben szerves anyag és karbonát.

7.2.6. A nikkel, réz, cink, kadmium és ólom kompetitív adszorpciója

Az egyes üledékmintákon adszorbeált nikkel, réz, cink, kadmium, ólom mennyiségeit, az egyensúlyi oldatkonzentrációk, valamint a maximális-, és fajlagos adszorpció értékeit a 21. táblázat mutatja be.

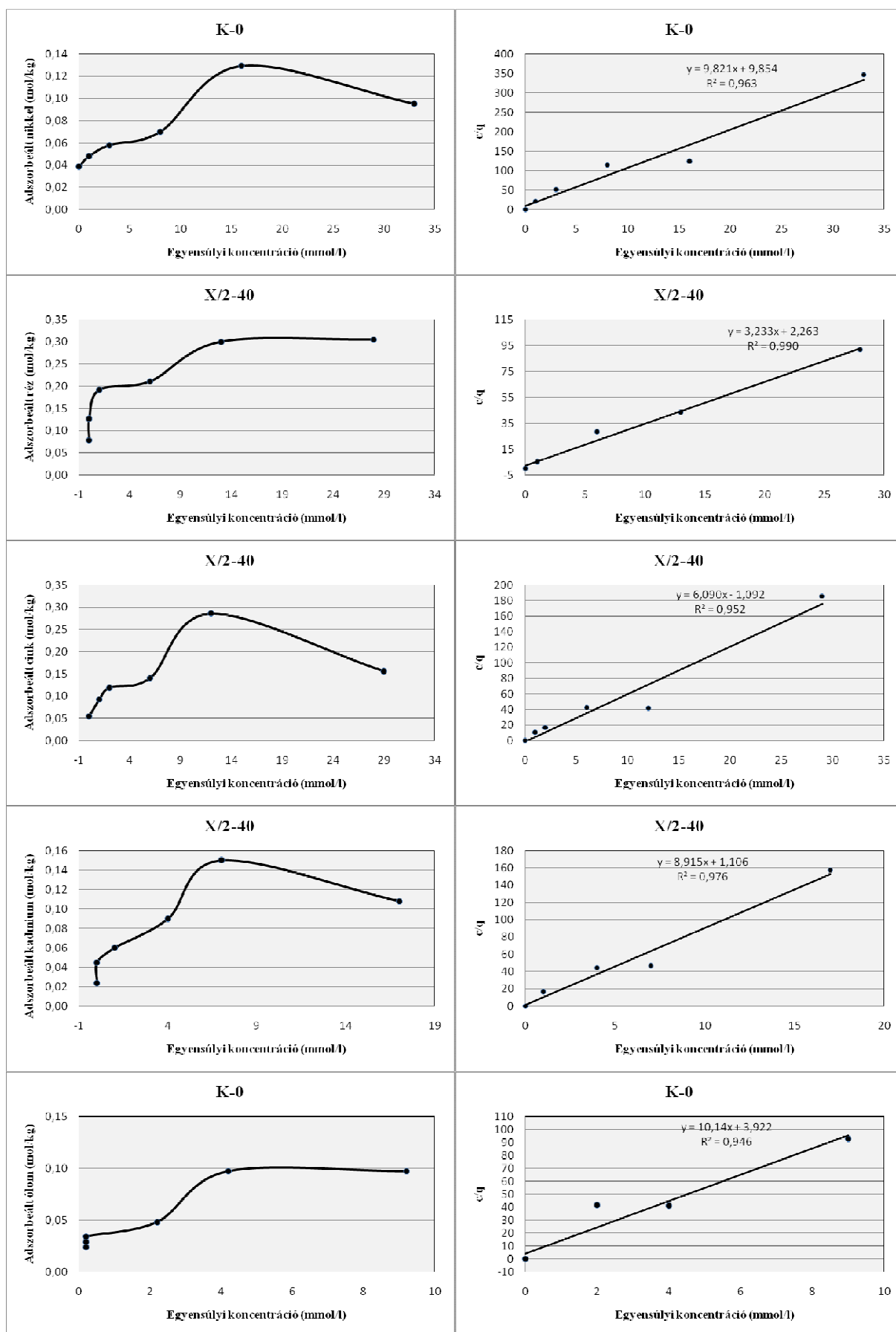
Az öt nehézfém kompetitív adszorpciójának általános összegzéseként elmondható, hogy minden elem esetében, minden mintánál alacsonyabbak a maximális és fajlagos adszorpciós értékek, mint az egyelemes megkötődési kísérleteknél mérték. Ez egyértelműen a nehézfémek adszorpciós helyekért való versengésére utal. A legtöbb kompetitív adszorpciós vizsgálat eredménye az, hogy több elem együttes adszorpciójakor általában nem specifikus a megkötődés (Mosquita és Vieira e Silva, 2002; Sipos, 2004; Usman, 2008). A vizsgált elemek adszorpciója minden esetben S-típusú izotermával jellemezhető, ami szintén az erős

versengésre utal (Giles et al., 1974; Hinz, 2001). Mivel minden elem hasonló jellegű adszorpciós görbékkel rendelkezik, ezért csak egy-egy reprezentatív adszorpciós görbét és annak linearizált Langmuir-féle izotermáját mutatom be (50. ábra).

Természetesen minden minta esetében minden nehézfém adszorpciós izotermáját és abból a maximális adszorpciós kapacitását is meghatároztuk (21. táblázat).

Az egyes elemek maximális adszorpciós kapacitása alapján a $Pb > Cu > Zn > Cd > Ni$ sorrend állítható fel. A fajlagos adszorpciókat megvizsgálva ugyanez a sorrend állítható fel. Az adszorpciós sorrendet elsősorban nehézfémek elektronegativitása határozza meg (Covelo et al, 2007a) azonban az adszorpciós helyekért való versengésben ez a sorrend megváltozik. Hasonló sorrendet állapított meg lúgos (pH=8) talajok vizsgálatakor Gomes et al. (2001), Usman (2008) különböző agyagokon fejlődött talajok adszorpciós kísérleteiben a $Pb > Cu > Zn > Ni > Cd$ affinitási sorrendet tapasztalta. Gomes et al. (2003) szervesanyag-mentesített ásványi talajfázisokon talajtípustól függetlenül a $Pb \gg Cu \gg Ni > Cd \sim Zn$ sorrendet állította fel. Németh és Sipos (2008) agyagbemosódásos barna erdőtalajok háromelemes kompetitív kísérletében a $Cu > Pb > Zn$ sorrendet tapasztalták. Zhang et al. (2005) megfigyelték, hogy a kolloid diszperz talajalkotókon (szerves anyag, agyagásványok) az ólom kötődik meg a legerősebben, de a réz is igen jó adszorpciós képességeket mutatott, míg a cink bizonyult a lekevésbé immobilis elemnek. Bradl (2004) Cd, Cr, Pb, Cu, Mn, Zn és Co kompetitív adszorpciójának vizsgálatakor 3 fő adszorpciós mechanizmust határozott meg: adszorpciót, felületi kicsapódást és fixációt (főleg az agyagásványok interlamináris rétegeiben történő bevándorlás). E példák alapján és az egyelemes adszorpciós kísérletek eredményeiből is jól látszódik, hogy a nehézfémek kompetitív adszorpciója igen bonyolult mechanizmusok által szabályozott és mindig az adott talaj, vagy üledék típusától függ az egyes elemek adszorpciós sorrendje. Az azonban minden esetben megfigyelhető, hogy az ólom és a réz a leginkább immobilizációra hajlamos elem.

A szegedi Fehér-tó üledékeinek kompetitív adszorpciós kísérleteiben a fent ismertetett talajtípusokhoz hasonló a vizsgált nehézfémek adszorpciós affinitásának sorrendje. Az egyes nehézfémek maximális és fajlagos adszorpciós értékei a kompetitív helyzet mellett a savas kémhatás miatt maradnak el az egyelemes kísérletek értékeitől. A savas pH a legtöbb fém esetében jelentősen növeli a mobilizációs folyamatokat (Gomes et al., 2001). Összességében megfigyelhető az is, hogy az egyelemes adszorpciós kísérletekben megállapított értékek arányaiban nagy összhangban vannak a kompetitív adszorpciós kísérletekben kapottakkal, azaz az egyes elemek kompetitív helyzetben is hasonlóan viselkednek, mint akkor, amikor csak egy nehézfém adszorpciója történik.



50. ábra A kompetitív adszorpciós kísérletek nehézfémekre jellemző adszorpciós görbéi

Ez egyrészt magyarázható a vizsgált minták nagy karbonáttartalmával, ugyanis a legtöbbször a kicsapódás immobilizálja főleg az Pb, Cu, Zn elemeket. Mivel a karbonát nehézfémekkel történő koprecipitációs folyamatai igen széles pH tartományban bekövetkezhetnek (Bradl, 2004), ezért a többelemes adszorpciós kísérletekben tapasztalt alacsony pH ellenére is a kicsapódás az egyik fő nehézfém-immobilizáló folyamat.

A nikkel többelemes adszorpciós kísérletében tapasztalt maximális adszorpciós értékek (5-7000 mg/kg), valamint a fajlagos adszorpció nagysága (7-10%) is hasonló minden vizsgált minta esetében. Az egyelemes adszorpciónál az egyes minták között tapasztalt adszorpciós különbségek (20. táblázat) alapvetően az alacsony pH miatt tűnnek el. A vizsgált nehézfémek közül a nikkel kompetitív helyzetben igen alacsony adszorpciós értékeket mutat (Gomes et al., 2001). Emellett az egyensúlyi oldatok magas H^+ koncentrációja miatt főleg a nagy kiindulási koncentrációk esetén a megkötött nikkelt a H^+ -ionok deszorbálják minden kötőhelyről (50. ábra). Ezek alapján már nem állapítható meg, hogy alapvetően mely üledékalkotó csoport felelős a nikkel adszorpciójáért, azonban mivel az agyagásványok nikkel-adszorpciós készsége lecsökken a savas pH tartományban (Gupta és Bhattachrya, 2006), ezért valószínűsíthető, hogy döntően a szerves anyag, és csak másodsorban az agyagásványok felelnek ebben az esetben a nikkel megkötődéséért.

A réz kompetitív adszorpcióban megfigyelt tulajdonságai hasonlítanak az egyelemes kísérletekben tapasztaltakhoz. Az adszorpciós izoterma ugyan minden esetben S-típusú (Hinz, 2001), ami a kötőhelyekért való versengésre utal, azonban csak a réz és az ólom esetében látható telítési görbe, ami arra utal, hogy a megkötött réz az adszorpció nagyobb kiindulási koncentrációi esetében sem deszorbeálódik a kötőhelyekről a nagy H^+ koncentráció hatására. Ez egyrészt azzal magyarázható, hogy a nagy karbonáttartalmú minták esetében (K-210, SZ-2-150, S1-95) ismét a karbonáttal való kicsapódás a döntő immobilizációs folyamat, másrészt a réz nagy elektronegativitása miatt (McBride, 1994) igen nagy adszorpciós affinitással rendelkezik mind az agyagásványokon (Fontes et al., 2003), mind a szerves anyagokon (Covelo et al., 2007a) még alacsony pH esetén is (Covelo et al., 2007b). Megfigyelhető, hogy a nagy agyagásvány-tartalmú X/2-40 mintában lényegesen magasabb a réz maximális adszorpciója (19652 mg/kg), mint a K-0 minta esetében (9922 mg/kg), amiből arra következtethetünk, hogy savas kémhatás esetén a döntően H^+ -ionokat adszorbeáló agyagásványok a nagy réz koncentráció miatt jól kötik a réz-ionokat is.

A cink a K-0 mintában tapasztaltak kivételével hasonló nagyságrendű maximális adszorpciót mutat minden minta esetében. Ezek az értékek is elmaradnak az egyelemes cink adszorpció maximális adszorpciós értékeitől a már tárgyalt kompetitív helyzet és a savas pH

miatt. A cink a K-0 mintában minimálisan adszorbeálódik. Ennek az az oka, hogy az egyébként is savas kémhatású üledékben az adszorpció egyensúlyi oldatokban mért erősen savanyú kémhatás már nem teszi lehetővé a cink immobilizációját. Erre utal az adszorpció görbe nagy koncentrációknál való „letörése” is (50. ábra). A nikkelhez, és a kadmiumhoz hasonlóan a cink is deszorbeálódik a nagyobb kiindulási koncentrációk esetén, hiszen a megkötött Zn(II) növeli az egyensúlyi oldat H^+ koncentrációját, ami nagy mennyiségben való jelenlétekor újra megkötődik deszorbeálva a cink egy részét.

A kadmium maximális és fajlagos adszorpció értékei is lényegesen elmaradnak az egyelemes kadmium adszorpció (20. táblázat) során tapasztalt értékektől. Ebben az esetben is a cinkhez, illetve nikkelhez hasonló tendencia figyelhető meg, vagyis a nagy kiindulási koncentrációk esetén ismét a megnövekedett H^+ mennyisége deszorbeálja a megkötött kadmium egy részét (50. ábra). Továbbá megfigyelhető, hogy a kadmium adszorpciója elsősorban a minták agyagásvány-tartalmával, illetve a minták kémhatásával függ össze. Az alacsony agyagásvány-tartalmú mintákban (K-210, S1-95) a legkisebb a maximális és a fajlagos adszorpció, míg a legtöbb agyagásványt tartalmazó X/2-40 minta köti meg a legtöbb kadmiumot. Wang et al. (2009) kimutatták, hogy pH=4,2 alatt az adszorpcióért elsősorban a szerves anyag felelős. Azonban a K-0 minta adszorpció egyensúlyi oldatainak erősen savas kémhatás miatt már a szerves anyag sem tudja megkötni a kadmiumot, így a legalacsonyabb a kadmium adszorpciója ebben a mintában.

Az ólom immobilizációs folyamata a kompetitív adszorpció feltételek közt is a karbonáttal való kicsapódás. Ezt bizonyítja, hogy az egyelemes adszorpció kísérletekkel teljesen megegyező módon alakul az ólom fajlagos adszorpciója az egyes mintákban, természetesen ezek az értékek némileg elmaradnak az egyelemes kísérletekben meghatározottaktól. Egyedül a K-0 minta esetében tudtuk meghatározni az ólom maximális adszorpcióját (20433 mg/kg), ami valamelyest elmarad attól az értéktől, amit az ólom önálló adszorpciójakor állapítottunk meg. Ez az érték azonban még mindig magas, tekintve azt, hogy az adszorpció oldatok egyensúlyi pH-ja lényegesen savasabb kémhatású, mint az egyelemes adszorpció során. Ez a savanyú kémhatás természetesen a nehézfémek erős hidrolizációs folyamatai miatt alakul ki (Fergusson, 1990)

A szegedi Fehér-tó üledékeinek kompetitív adszorpció kísérleteiben a fent ismertetett talajtípusokhoz hasonló a vizsgált nehézfémek adszorpció affinitásának sorrendje. Az egyes nehézfémek maximális és fajlagos adszorpció értékei a kompetitív helyzet mellett a savas kémhatás miatt maradnak el az egyelemes kísérletek értékeitől. A savas pH a legtöbb fém esetében jelentősen növeli a mobilizációs folyamatokat (Gomes et al., 2001). Összességében

megfigyelhető az is, hogy az egyelemes adszorpciós kísérletekben megállapított értékek arányaiban nagy összhangban vannak a kompetitív adszorpciós kísérletekben kapottakkal, azaz az egyes elemek kompetitív helyzetben is hasonlóan viselkednek, mint akkor, amikor csak egy nehézfém adszorpciója történik. Ez egyrészt magyarázható a vizsgált minták nagy karbonáttartalmával, ugyanis nagy kalcium-tartalmú talajok esetében legtöbbször a kicsapódás immobilizálja főleg az Pb, Cu, Zn elemeket (Usman, 2008). Mivel a karbonát nehézfémekkel történő koprecipitációs folyamatai igen széles pH tartományban bekövetkezhetnek (Bradl, 2004), ezért a többelemes adszorpciós kísérletekben tapasztalt alacsony pH ellenére is a kicsapódás az egyik fő nehézfém-immobilizáló folyamat.

7.3. A nehézfém-adszorpciós kísérletek eredményeinek értékelése

A szegedi Fehér-tó üledékeiben összesen öt, eltérő kémhatású, szervesanyag-, agyagásvány-, és karbonáttartalmú mintán vizsgáltuk meg a nikkel, réz, cink, kadmium és ólom egyelemes és multielemes adszorpcióját.

A nehézfémek egyelemes, illetve kompetitív adszorpciós reakciói is jól jellemezhetőek a Langmuir-féle izotermával. Az adszorpciós görbék több, elemenként és mintánként eltérő immobilizációs folyamatokra utalnak, legtöbbször a kicsapódás, felületi kicsapódás, adszorpció, valamint a nagyobb kiindulási koncentrációk esetében a már megkötött nehézfémek deszorpciós jelenségei a fő folyamatok. A többelemes adszorpciós reakciók szintén jól leírhatóak a Langmuir izotermával. Megfigyelhető, hogy az ólom és réz esetében jobb, a nikkel, cink és kadmium esetében némileg rosszabb az illeszkedés. Ez az egyes elemek adszorpciós tulajdonságainak következménye. Míg az ólom és réz az immobilizálódásra erősen hajlamos, addig a nikkel, cink és kadmium a kompetitív helyzetekben csökkent immobilizációs képességeket mutat.

A maximális és fajlagos adszorpciós értékek minden minta és minden nehézfém esetében összhangban vannak, és mind az egyelemes, mind a multielemes megkötődési vizsgálatok során hasonlóak voltak, ez alapján megállapítható, hogy a vizsgált nehézfémek egyelemes kísérletek során tapasztalt adszorpciós tulajdonságai lényegesen nem térnek el a kompetitív kísérletekben tapasztaltakkal. Az egyelemes adszorpciós kísérletekben az egyes mintákban megállapított maximális és fajlagos adszorpciós értékeket összegezve a $Pb > Cu > Zn > Cd > Ni$ sorrendben csökken az adszorpció mértéke. Ez a sorrend elsősorban az egyes nehézfémek hidrolizációs képességeinek, másodsorban a vizsgált minták adszorbensei tulajdonságainak és mennyiségének, harmadrészt az adszorpciós egyensúlyi oldatok és a kiindulási talajoldatok

kémhatásainak eredménye. Összességében az is megállapítható, hogy a vizsgált nehézfémek az 500 mg/l kiindulási oldatkonzentrációkig gyakorlatilag 100%-ban adszorbeálódnak az üledékekben. A nagy kiindulási oldatkonzentrációk esetében azonban egyrészt a pH csökkenés, azaz a H^+ -ionok oldatbeli növekedése miatt, másrészt a nagy sótartalmú területeken a Na^+ -ionok miatt kompetitív helyzetbe kerül az adszorpciós kötőhelyekért és legtöbbször remobilizáció figyelhető meg.

Az általános adszorpciós elem-sorrend az egyes minták esetében eltéréseket mutat. A K-0 minta adszorpciós tulajdonságai minden nehézfém esetén lényegesen eltérnek a többi mintánál tapasztaltaktól. Ez elsősorban annak a következménye, hogy egyedül ebben a mintában van nagyobb mennyiségű szerves anyag, illetve ez a minta rendelkezik az egyik legkisebb karbonáttartalommal. Szinte minden vizsgált elem esetében ebben a mintában tapasztaltuk a legkisebb mértékű adszorpciót, ami a minimális karbonáttartalom és a vizsgált minták közül a legalacsonyabb, egyedüli módon a kiindulási talajoldat enyhén savas kémhatásnak az eredménye. A K-0 mintában a maximális és fajlagos adszorpció értékei alapján a $Pb > Cd > Cu \sim Ni \gg Zn$ sorrend állítható fel. Az átlagos sorrendtől való eltérést a cink adszorpciós sor végére kerülése, valamint a kadmium és a réz cseréje jelenti. Ez a sorrend az egyes nehézfémek szerves anyagon való megkötődési tulajdonságainak eredménye. Az ólom és a kadmium szerves anyaghoz történő adszorpciós affinitása jelentős savanyú közegben is, míg a réz, nikkel és cink megkötődése mérséklődik a szerves anyagon a pH csökkenésével. Fontos tényező a nehézfémek adszorpciójában jelen minta esetében a kémhatás. A hasonló összetétellel rendelkező S1-95 mintában lényegesen nagyobb minden elem adszorpciója, a két minta közötti különbség egyedül a kémhatásban és a szervesanyag-tartalomban van. Ezek alapján megállapítható, hogy minden vizsgált nehézfém adszorpciója az enyhén savanyú pH-n csökkenni kezd és az adszorpció főleg a szerves anyaghoz kötött, hiszen kémhatásnál az agyagásványok nehézfém-adszorpciója csökken (Bradl, 2004), míg a szerves anyagon való megkötődés nő (Wang et al., 2009).

Azokban a mintákban, amelyekben nagy a karbonáttartalom (K-210, SZ-2-150, S1-95), az ólom és a réz karbonáttal történő kicsapódása figyelhető meg. A legmagasabb karbonát koncentrációjú SZ-2-150 mintában az ólom és a réz mellett a cink nagy része is a karbonáttal együtt kicsapódik, amit az adszorpciós izotermák mellett az elvégzett röntgen-diffrakciós eredmények is igazolnak. Az ólom és a réz esetében ezekben a mintákban még a legtöményebb 2000 mg/l kiindulási koncentrációval rendelkező oldatokból is 100%-os az adszorpció, az ólom és réz immobilizációja a nagy karbonáttartalmú üledékekben kicsapódással történik. A kadmium és a nikkel adszorpciója a magas karbonáttartalmú

üledékekben lényegesen mérsékeltebb, mint az ólom, réz és cink esetében, tehát e két elem immobilizálódásában nem a karbonátok játsszák a fő szerepet. A nagy karbonáttartalmú mintákon elvégzett adszorpciós kísérletek eredményei azt sugallják, hogy egy esetleges ólom, réz, vagy cink szennyezés esetén ezek az üledékek hatékonyan tudják immobilizálni a szennyeződést, azonban pontosan ezekben a kísérletekben látszódik, hogy a karbonát mennyire érzékeny egyensúlyban van a mindenkori talajoldattal. Ez alapján feltételezhető, hogy a vizsgálati terület korábban ismertett nagy vízingadozásai, illetve az ahhoz kötött geokémiai ingadozások is gyorsan módosítani tudják a karbonátok szelvénybeli elhelyezkedését és oldatba kerülését, így a karbonátokkal megkötött nehézfémek akár minimális változásra is oldatba kerülhetnek, remobilizálódnak.

A nagy só-, és a legnagyobb agyagásvány-tartalmú X/2-40 mintában az előzőektől eltérően alakulnak a vizsgált nehézfémek adszorpciós tulajdonságai. A nagy agyagásvány-tartalomnak köszönhetően ebben a mintában a legmagasabb a nikkel és a kadmium és az ólom adszorpciója. A kadmium és az ólom fajlagos adszorpciója igen magas ebben a mintában, ami egyértelműen az agyagásványok nagy mennyisége miatt tapasztalható. A lúgos közeg, az alacsony szervesanyag-, és karbonáttartalom mind a kadmium (Wang et al., 2009), mind az ólom (Lee et al., 1998; Fontes és Gomes, 2003) agyagásványokon történő adszorpciójának kedvez. A nikkel agyagásványokon történő adszorpciója szintén jelentős. A réz és a cink viszonylag alacsony adszorpciós affinitást mutat ebben a mintában, ami az üledék nagy só-, és Na-tartalmára vezethető vissza. Mivel ebben a mintában potenciális adszorbensként csak az agyagásványok jönnek szóba, és lúgos pH-n mind a réz (Bradl, 2004), mind a cink (Zhang et al, 2005) adszorpciója kedvezményezett az agyagásványokon, csak a sótartalom miatt lehet mérsékelt mindkét elem adszorpciója. Ezt bizonyítja a réz és a cink adszorpciós görbéje, illetve az adszorpciós egyensúlyi oldatok változatlan lúgos kémhatása is. Az X/2-40 mintában a nagy Na-tartalom egy része telíti az agyagásványok, elsősorban a szmektitek adszorpciós kötőhelyeit. A réz és cink adszorpciójakor a nagyobb elektronegativitás miatt ioncsere következik be, a réz és cink ionok adszorbeálódnak, míg a Na^+ az oldatba kerül. A folyamat során nem változik jelentősen a kémhatás, mivel a nátrium döntően NaHCO_3 és Na_2CO_3 formában van jelen és pufferozza az oldatot az 1.3 és 1.4 egyenletek szerint. Magasabb kiindulási nehézfém-koncentrációk esetén azonban már annyi Na^+ kerül az oldatba, hogy elkezdődik a versengés a kötőhelyekért és már adszorbálódott réz és cink ionok remobilizálódnak. Li et al. (2010) valamint Fotovat és Naidu (1998) szikes területeken végzett vizsgálatai alapján szintén hasonló megállapításra jutottak, vagyis a szalinitás növekedésével $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ sorrendben nő adszorbeált nehézfémek remobilizációja. Ezek alapján

megállapítható, hogy a szikes talajok a lúgos kémhatás és megfelelő agyagásvány-, vagy szervesanyag-tartalom mellett a vizsgált nehézfémeket könnyedén adszorbeálják a 200 – 500 mg/l-es kiindulási oldatkonzentrációkig, azonban a kevésbé immobilis elemek nagyobb koncentrációban történő szennyezésekor a nagy – elsősorban az ilyen típusú területeken előforduló – nátrium koncentráció megakadályozza a réz és a cink további adszorpcióját és növelheti a növények által felvehető nehézfém-konzentrációkat.

A vizsgált nehézfémek kompetitív adszorpciójakor minden esetben az egyelemes adszorpciós kísérletekben tapasztaltakhoz képest alacsonyabb maximális és fajlagos adszorpciókat mértünk, ami egyrészt a kötőhelyekért való versengés, másrészt a nehézfémek hidrolizációs tulajdonságaiból következő alacsony egyensúlyi oldat-kémhatásoknak tulajdonítható. Összességében az egyelemes adszorpciós kísérletekben meghatározott $Pb > Cu > Zn > Cd > Ni$ elemsorrend jellemző a többelemes megkötődési reakciók esetén is. A kompetitív reakciókban minden esetben a kötőhelyekért folytatott versengésre lehet következtetni az adszorpciós izotermák alakjából. Az ólom és a réz erősebben, míg a nikkel, cink kadmium gyengébben, egymással versenyezve immobilizálódik a mintákon. A savanyú kémhatás ellenére a réz és ólom esetében is a karbonáttal való csapadékképződés a jellemző reakció. A nikkel a savanyú kémhatás miatt elsősorban a szerves anyagokon és az agyagásványokon kötődik meg, de az adszorpciója ilyen körülmények között már nem kedvezményezett. A cink kompetitív adszorpció esetén is viszonylag nagy maximális adszorpciós értékeket mutat, azonban a savanyú kémhatás ebben az esetben is lényegesen csökkent a megkötődés mértékét. A kadmium kompetitív helyzetben, alacsony pH is az agyagásványokon adszorbeálódik.

Mind az egyelemes, mind a többelemes reakciók során felvett kémhatás változások azt mutatják, hogy minden vizsgált nehézfém minden mintában nagyon gyorsan megkötődött, ugyanis legtöbbször az adszorpció 3. órájától kezdve stabilizálódik az egyensúlyi oldatok pH-ja. Ez egyrészt a sok esetben előforduló precipitációs folyamatok, illetve a lúgos pH eredménye, ilyen körülmények között jelentősen növekszik a vizsgált elemek adszorpciója.

A nehézfémek megkötődésének szelektivitását vizsgálva elmondható, hogy a nikkel egy esetben sem mutat karbonáttal történő kicsapódást, általában az agyagásványokhoz köthető a mennyisége mind egyelemes, mind többelemes adszorpciók esetén. A réz a nagyobb karbonáttartalom jelenlétében egyértelműen precipitációs folyamatok révén immobilizálódik, míg a karbonát-mentes mintákban nem megkülönböztethetően az agyagásványokon, illetve a szerves anyagon is adszorbeálódik. A cink magas karbonáttartalom esetén mutat kicsapódási folyamatokat, karbonát-mentes esetekben pedig inkább az agyagásványokon történő

adszorpciója figyelhető meg. A kadmium nem hajlamos a karbonátokkal való kicsapódásra, adszorpciója erősen az agyagásványokhoz kötött, de nagyobb szervesanyag-tartalom esetén is jó adszorpciós készségeket mutat. Az ólom minden esetben kicsapódik, ha nagyobb mennyiségű karbonát van jelen, míg nagy adszorpciós affinitással bír a szerves anyagok és az agyagásványok felé is.

A szegedi Fehér-tó üledékei tehát nehézfém-adszorpciós kapacitás szempontjából közepesnek értékelhetőek. A nagy karbonáttartalom ugyan hatékonyan immobilizálja az ólomot, a rezet és biozonyos esetekben a cinket, azonban a karbonátok igen gyors oldatba kerülhetnek, amivel remobilizálódnak a megkötött nehézfémek. Az réz és a cink a nagy só-tartalom mellett és karbonát-mentes körülmények között az alacsonyabb kiindulási oldatkonzentrációk esetében hatékonyan immobilizálódik, a nagy koncentráció tartományokban viszont az egyensúlyi oldatba kerülő nátrium ionok deszorpcióra kényszerítik a már megkötött nehézfémeket. Azokban a mintákban, ahol magas a karbonáttartalom, elsősorban kicsapódási reakció, míg a karbonát-mentes esetekben az agyagásványokon és a szerves anyagokon történő adszorpció a fő nehézfém-immobilizációs folyamat. Abban az esetben, ha jelentősebb szervesanyag-tartalom van jelen, a nehézfémek adszorpciója elsősorban ezeken az anyagokon kedvezményezett.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A doktori értekezés kutatási témájának elsődleges célkitűzése annak vizsgálata volt, hogy hasonló földtani kifejlődésű, de különböző hidrológiájú, és eltérő antropogén hatás alatt álló szikes üledékekben hogyan alakul a környezeti szempontból fontos kémiai elemek eloszlása, valamint mely geokémiai és ásványtani tulajdonságok befolyásolják ezeket a koncentrációkat. További célul tűztük ki a szikes tavi üledékek nehézfém adszorpciós tulajdonságainak meghatározását.

A kutatási célkitűzésnek megfelelően a szegedi Fehér-tó természetvédelmi, valamint halgazdasági területein jelöltünk ki és mintáztunk meg négy, eltérő hidrológiájú, növényzeti borítottságú és antropogén hasznosítású területet.

A vizsgálatok során meghatároztuk az üledékszelvények kémhatását, összehúzóerő-képességét, szemcseösszetételét, karbonáttartalmát, a felhalmozódott szerves anyag mennyiségi-, és minőségi paramétereit, az ásványos összetételt, az agyagásvány-tartalmát, fő-, és nyomelem-összetételét. A szikes üledékek geokémiai folyamatainak, illetve mennyiségi és minőségi összefüggéseinek felderítésére korrelációs-, főkomponens-, klaszter-, valamint diszkriminációs analízist végeztünk el. Meghatároztuk a nikkel, réz, cink, kadmium és ólom egy-, és többelemes adszorpcióját öt reprezentatív kiválasztott üledékmintán. Minden adszorpciós kísérlet során nyomon követtük a megkötődési folyamatok kémhatás-változását.

Megállapítottuk, hogy a szelvények eltérő kémhatását és só-tartalmát a vízháztartáson és a növényzeti borítottságon kívül az antropogén hatások is erőteljesen befolyásolják. A nagy növényi borítással rendelkező nyugodt talajvíz-mozgással bíró területeken jelentős a só-tartalom és igen lúgos a kémhatás. Azokon a területeken, ahol intenzív vízcserét végeznek, a só-tartalom jelentősen csökken az üledékekben, egyfajta mesterséges kilúgozása történik a területeknek.

A szegedi Fehér-tó szikes üledékeinek szervesanyag-tartalma igen csekély, legtöbbször csak a szelvények felső 100 cm-es rétegében volt értékelhető mennyiségű szerves anyag. A szerves anyag minőségi paramétereinek vizsgálatai kimutatták, hogy a tórendszer keleti részén folyamatosan változtak a felhalmozódási körülmények és száraz, valamint vízzel borított ciklusok váltakoztak a tó fejlődéstörténetének során. Az üledékek legfelső szintjében az antropogén halgazdasági tevékenység egyértelműen kimutatható volt.

A vizsgált területeken intenzív mállási folyamatok és recens agyagásvány-képződés figyelhető meg. Az agyagásványok a lúgos kémhatás miatt a földpát mállási termékeiként kolloidális méretű, rosszul kristályosodott, csökkent adszorpciós kapacitással rendelkező rác-

töredékeként vannak jelen. A kolloidális mérettartomány eredményeként az agyagásványok együtt mozognak a talajvíz szintjével és a könnyen oldható sókkal. Minden vizsgált szelvény esetében autigén dolomit-képződés figyelhető meg. A dolomit jellemzően a folyamatos vízfedettségű szint alatt halmozódik fel, és a legvalószínűbb képződési folyamata a kalcittal történő inorganikus koprecipitáció, de egyes területeken a bakteriális képződés sem kizárható.

A vizsgált szelvények nyomelemben szegények, legtöbbször az átlagos elemkoncentrációk a magyarországi geokémiai határértékek közelében vagy az alatt vannak. A csökkent nyomelemtartalom az alapkőzet összetételének, a viszonylagos antropogén szennyezés-mentességnek, a jelenetős adszorpciós kapacitással rendelkező szerves anyag, valamint agyagásványok csekély mennyiségének tudható be.

A szegedi Fehér-tó szikes üledékeinek elem-eloszlásait két jelentős háttérfolyamat alakítja ki elsősorban. Az alapkőzet lösz mállása a legmeghatározóbb folyamat az elemeloszlások kialakításában. Ez a folyamat az üledékek felső 100 cm-es, intenzív vízmozgással és erőteljes kémhatás változásokkal rendelkező szintjeiben a legmeghatározóbb. A második háttérfolyamat szorosan összefügg az elsővel, az üledékek sófelhalmozódását okozza szintén a legfelső szintekben.

A nehézfém-adszorpciós kísérletek kimutatták, hogy mind az egy-, mind a többelemes megkötődési folyamatokban a maximális és fajlagos adszorpció értéke az alacsony szervesanyag-, valamint agyagásvány-tartalom miatt általában alacsony és csökken a $Pb > Cu > Zn > Cd > Ni$ sorrendben. Természetesen a különböző összetételű mintákban bizonyos esetekben eltérő volt ez a sorrend. Az ólom és réz, valamint a cink a nagy karbonáttartalmú mintákban a karbonáttal való kicsapódással immobilizálódott, a kadmium és a nikkel legtöbbször az agyagásványokon adszorbeálódott. Magas szervesanyag-tartalom esetén minden nehézfém a döntően a szerves anyagon kötődött meg. Nagy só-tartalom esetén a réz és a nikkel, valamint bizonyos esetekben a cink nagyobb kiindulási oldatkonzentrációk esetén remobilizálódott a felületről. Megállapítható, hogy bár az üledékek mindegyike hatékonyan immobilizálta az összes nehézfémet 200 mg/l kiindulási oldatkonzentrációig, egy nagyobb töménységű szennyezés esetén nem lennének képesek a nagy Na-tartalom miatt a hatékony megkötésre. További veszélynek minősül, hogy a karbonáttal való kicsapódási reakciók ugyan a legtöményebb nehézfém koncentrációkat is hatékonyan immobilizálták, azonban a geokémiai körülmények kis mértékű megváltozása esetén a karbonátok, és ezzel együtt az immobilizálódott nehézfémek is remobilizálódhatnak.

9. SUMMARY

The primary goal of the present PhD research was to shed light on the distribution of chemical elements important from an environmental perspective in saline lake sediments, characterised by similar geology but different hydrology and anthropogenic influence. The research aimed also at determining those geochemical and mineralogical factors which may affect prevailing concentration patterns. In relation to the above a further scope of the study was to investigate the heavy-metal adsorption potential of saline lake sediments.

In harmony with the identified goals four sampling sites were selected at Lake Fehér near Szeged, representing areas under natural protection as well as areas used for fish breeding, thus having different hydrology, vegetation cover, and anthropogenic influence.

During laboratory analyses the following parameters were determined for the evaluation of sediment profiles: pH, total electric conductivity, grain size distribution, carbonate content, qualitative and quantitative parameters of the accumulated organic matter, mineralogical composition, clay mineral content, major and trace element composition. In order to identify geochemical processes and their quantitative and qualitative interdependence in saline sediments correlation, principal component, cluster and discriminant function analyses were performed. The single and multi-element adsorption of nickel, copper, zinc, cadmium and lead were determined in case of five representative sediment samples. During each adsorption experiment the variation in pH was recorded.

It was established that beside hydrological effects and vegetation cover, anthropogenic factors can also greatly determine the differences observed in pH and salt content. On areas with dense vegetation cover and moderate ground water fluctuation salt content is significant and pH is highly alkaline. Whereas at sites with intensive anthropogenic water exchange salt content is greatly reduced, thus a kind of artificial leaching can be observed in the sediments.

The organic content of the Szeged Fehér Lake sediments is not significant, usually only the top 100 cm of profiles contained a considerable amount of organic matter. Investigations on the qualitative parameters of organic matter proved that the conditions of sediment accumulation were changing continuously on the Eastern part of the lake system, i.e. dry and inundational periods were alternating throughout the history of lake development. In the uppermost levels of profiles the effects of fish breeding could unambiguously be detected.

Intensive chemical weathering and clay mineral formation can be observed on the studied sites. However, as a consequence of alkalinity, clay minerals, being the products primarily of feldspar weathering, are present in the form of colloidal, poorly crystallised lattice fragments

with decreased adsorption capacity. Due to their colloidal size, clay minerals move together with the ground water table and easily soluble salts. In case of each profile autigene dolomite formation can be observed. Dolomite enriches usually below strata of continuous inundation. Most probably it forms during inorganic co-precipitation along with calcite, but at certain areas bacterial formation cannot be excluded either.

The studied profiles are poor in trace elements, and mean concentrations are mostly close to or below the Hungarian geochemical thresholds. The low trace element content is a result of the geological background, the relatively low level of anthropogenic contamination, the high adsorption capacity of organic matter and the low quantity of clay minerals.

The element distribution in the alkaline sediments of Lake Fehér is primarily determined by two background processes. The weathering of loess, forming the base rock of sediments, is the most significant factor in this respect. This process is the most relevant in the upper 100 cm zone of the sediment sequence where water table and pH fluctuation is the most intensive. The second background process is in close relation with the previous one, and causes salt enrichment also in the upper zone.

Heavy metal adsorption experiments have shown that both in single and multi element binding processes the value of maximum and specific adsorption is low and decreases following the $Pb > Cu > Zn > Cd > Ni$ order, which is due to the low organic matter and clay mineral content of the studied samples. Naturally, in certain cases the element order defined above was slightly different due to compositional variations. In samples of high carbonate content lead, copper and zinc immobilised due to the precipitation of carbonate, while cadmium and nickel was mostly adsorbed by clay minerals. In case of a high organic content all heavy metals were primarily bound by the organic matter. When there was an increased salt content copper, nickel and in certain cases zinc remobilised from adsorption surfaces if their initial solution concentration was high. It was proved that however the investigated sediment samples effectively immobilised the total heavy metal content up till a 200 mg/L initial concentration, in case of a more intensive contamination adsorption would be highly limited by the relatively high Na content of the sediments. In relation with carbonate a further risk can be identified. Although its precipitation immobilised effectively even the highest concentrations of heavy metals, a slight change in geochemical conditions may result in the remobilisation of carbonates and thus that of heavy metals as well.

10. GYAKORLATI EREDMÉNYEK, TOVÁBBI CÉLOK

A dolgozat eredményei több területen is hasznos információkat jelenthetnek. Egyrészt elkészült egy komplex geokémiai adatbázis a nagy vízhatású szikes üledékek széleskörű vizsgálatának eredményeként, ezzel együtt egy modern szemléletű megközelítésben új információkat nyertünk a szikes területek környezet-geokémiai tulajdonságainak kérdéskörében. A közölt eredmények hatékonyan járulhatnak hozzá a szikesedő termőterületek agrokémiai-, és környezet-geokémiai problémáinak értelmezésében és a megoldási lehetőségek kidolgozásában is. A dolgozat eredményei továbbá igen jó alapot szolgáltathatnak a recens környezetvédelmi problémának tartott felszíni vízbefogadókba történő termálvíz elvezetésének kérdésében. Az évtizedes probléma - a nagy só-tartalmú termálvizek felszíni elhelyezésével kapcsolatban - felfogható egyfajta mesterséges szikesítési kísérletnek. A termálvíz felszíni vízbefogadókba történő elhelyezésének környezet-geokémiai vonatkozásait azonban egyáltalán nem ismerjük, és jelenleg Magyarországon ez a probléma az egyik legnagyobb gátja a geotermikus energiahasználat elterjedésének. A dolgozat eredményei hatékony alapot nyújthatnak e problémakör későbbi környezetvédelmi kutatásaihoz. A disszertáció harmadik fontos gyakorlati felhasználási területe a hulladéklerakók hatásainak kutatása. A hulladéklerakók tervezésekor az egyik legfontosabb kérdés, hogy a talajtani adottságok megengedik e a telepítést egy adott területen. A dolgozat eredményei hatékonyan hozzájárulhatnak a szikes területekre tervezett hulladéklerakók elemmobilizációs folyamatainak megismeréséhez, illetve az esetleges telepítés lehetőségének eldöntéséhez.

A disszertációban igen sok információt kaptunk a szikes területek környezet-geokémiai tulajdonságait, illetve a nehézfém-adszorpciós képességüket illetően. Ezzel együtt számos új kérdés is felmerült. További kutatást igényel annak eldöntése, hogy a dolomitosodás, illetve a sófelhalmozódás milyen mechanizmusok által történik. A ritka elemek vizsgálatával további értékes információkat nyerhetünk a szikesek geokémiai viselkedését illetően. A közeljövő feladata az üledékképződés sebességének meghatározása, valamint az egyes rétegek korának becslése. Újabb adszorpciós kísérletekben további környezetvédelmileg veszélyesnek tartott elemek vizsgálata indokolt. Részletesebb szekvenciális kioldási vizsgálatokkal szükséges meghatározni, hogy az egyes elemek mely üledékalkotókhoz kötődnek. A távolabbi jövő feladata lehet a felhalmozott eredmények geokémiai adatbázisban történő összegyűjtése és a szikesedés geokémiai modelljének felállítása.

11. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Hálásan köszönöm témavezetőmnek, Dr. Pál-Molnár Elemérnek a hosszú évek során nyújtott szakmai és kutatás-finanszírozási segítségét, baráti támogatását.

Köszönettel tartozom a Szegedi Tudományegyetem Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszékének a kutatási témám kidolgozásához szükséges mérési lehetőségeket biztosításáért, az infrastrukturális és szellemi háttéréért.

Köszönöm Dr. M.Tóth Tivadarnak az Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék tanszékvezetőjének a geostatistikai vizsgálatokban nyújtott segítségét, valamint a dolgozatom kidolgozásában nyújtott hasznos szakmai tanácsait.

Köszönöm Dr. Hetényi Magdolna akadémikusnak a szerves anyag vizsgálatokban nyújtott segítségét, értékes hozzászólásait.

Hálásan köszönöm Dr. Varsányi Zoltánnának az értekezés részletes átolvasását, „házi” bírálatát, és a hasznos szakmai észrevételeit.

Köszönöm Dr. Nyilas Tündének a szerves anyag vizsgálatokban, nyújtott segítségét, a karbonáttartalom vizsgálatok elvégzését.

Köszönöm Bíró Lórántnak a geostatistikai elemzésekben végzett alapos munkáját.

Köszönöm hallgatóimnak, Gódor Alexandrának, Halmos Lászlónak, és Ódri Ágnesnek, a rengeteg labormunkát és a baráti hangulatú együttműködésüket.

Köszönöm Imre Mariannak a szemcseméret-összetétel vizsgálatok elvégzését.

Köszönöm Fekete Istvánnak a nátrium-, és foszfortartalom meghatározását.

Hálásan köszönöm az MTA Geokémiai Kutató Laboratórium kutatóinak, Dr. Sipos Péternek, Dr. Németh Tibornak és Tóth Máriának a nyomelem-adszorpciós és az agyagásványtani vizsgálatokban nyújtott értékes szakmai segítségüket.

Köszönöm Jánosi-Mózes Tibornak és Fintor Krisztiánnak a dolgozatom ábraanyagának elkészítésben nyújtott segítségét, Nagy Sárának a dolgozat nyelvi lektorálását.

Köszönöm Dr. Sípos Györgynek a dolgozat angol nyelvű összefoglalójának elkészítésében nyújtott segítségét.

Köszönöm a Szegedfish Kft.-nek, hogy lehetővé tették a mintavételezésre és segítséget nyújtottak a terepi munkában.

Köszönöm munkatársaimnak, Dr. Kóbor Balázsnak, Dr. Medgyes Tamásnak, Dr. Schubert Félixnek, Dr. Batki Anikónak, Csanádi Attilának, Bencsik Attilának, Vass Istvánnak a baráti munkakapcsolatot, az értékes szakmai észrevételeket és önzetlen segítségüket.

Köszönöm Bertalan Ákosnak, hogy megismertette velem a röntgen-diffraktometria rejtelmét.

Köszönöm az Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék valamennyi dolgozójának, hogy mindenben segítettek dolgozatom elkészülését.

Köszönöm szüleimnek, öcsémnek, hogy rendületlenül támogattak, bíztattak álmaim megvalósításában, és mindvégig biztosították a nyugodt, szeretetteljes családi háttérrel ezen a hosszú úton.

Köszönöm barátaimnak, Balogh Zoltánnak, Dávid Tamásnak, Horváth Lászlónak, hogy mindvégig mellettem álltak és segítettek a nehéz időszakokban.

12. IRODALOMJEGYZÉK

- 10/2000. (VI. 2.) KöM-EüM-FVM-KHVM együttes rendelet a felszín alatti víz és a földtani közeg minőségi védelméhez szükséges határértékekről. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Budapest.
- Abrol, I.P., Yadav, J.S.P., Massoud, F.i. (eds.) (1988): Salt-affected soils and their management. FAO Soils Bulletin **39**, Rome, 154p.
- Adriano, D.C. (1986): Trace elements in the terrestrial environment. Springer-Verlag, New York, 533p.
- Almquist, H., Dieffenbacher-Krall, A.C., Flanagan-Brown, R., Sanger, D. (2001): The Holocene record of lake levels of Mansell Pond, central Maine, USA. The Holocene **11**, 189-201.
- Arany, S. (1934): A hortobágyi szikes talajok. In: Sajó, E., Trummer, Á. (eds.) (1934): A magyar szikesek. Pátria, Budapest, 98-108.
- Arany, S. (1956): A szikes talaj és javítása. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 407p.
- Ariztegui, D., Asioli, A., Lowe, J.J., Trincardi, F., Vigliotti, L., Tamburini, F., Chondriogianni, C., Accorsi, C.A., Bandini Mazzanti, M., Mercuri, A.M., Van der Kaar, S., Mckenzie, J.A., Oldfield, F. (2000): Paleoclimate and the formation of sapropel S1: inference from Late Quaternary lacustrine and marine sequence in the central Mediterranean region. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology **158**, 215-240.
- Arnason, J.G., Fletcher, B.A. (2003): A 40+ year record of Cd, Hg, Pb, and U deposition in sediments of Patroon Reservoir, Albany County, NY, USA. Environmental Pollution **123**, 383-391.
- Arribas, M.E., Bustillo, A., Tsige, M. (2004): Lacustrine chalky carbonates: origin, physical properties and diagenesis (Paleogene of the Madrid Basin, Spain). Sedimentary Geology **166**, 335-351.
- Asci, Y., Nurbas, M., Acikel, Y.S. (2008): A comparative study for the sorption of Cd(II) by soils with different clay contents and mineralogy and the recovery of Cd(II) using rhamnolipid biosurfactant. Journal of Hazardous Materials **154**, 663-673.
- Aubert, H., Pinta, M. (1977): Trace elements in soils. Developments in soil science 7. Elsevier, Amsterdam – New York, 395p.
- Baksa, Cs., Bárdossy, A., Bárdossy, Gy., Fodor, B., Lengyel, V., Virágh, K., Zsiday-Galgóczy, B. (1983): A geostatistika alapfogalmai. Geostatistikai Munkabizottság, Budapest, 41p.
- Balogh, J. (1840): A magyarországi szikes vidékek természettudományi tekintetben. Magyar Tudományos Társaság, Buda, 1-22.
- Batjes, N.H., Bridges, E.M. (1993): Soil vulnerability to pollution in Europe, Soil Use and Management **9**, 25-29.
- Beretzky, P. (1956): A fehér-tói rezervátum biológiai jelentősége. Móra Ferenc Múzeum Évkönyve, Szeged, 147-154.
- Berrow, M.L., Reaves, G.A. (1984): Background levels of trace elements in soils. Proceedings of the First International Conference on Environmental Contamination. CEP Consultants, Edinburgh, Scotland, 333-340.
- Bohn, H.L., McNeal, B.L., O'Connor, G.A. (1985): Talajkémia. Mezőgazdasági Kiadó – Gondolat Kiadó, Budapest, 363p.
- Borhidi, A. (2003): Magyarország növénytársulásai. Akadémiai Kiadó, Budapest, 610p.
- Bowen, B.B., Benison, K.C. (2009): Geochemical characteristics of naturally acid and alkaline saline lakes in southern Western Australia. Applied Geochemistry **24**, 268-284.

- Bowen, H.J.M. (1979): Environmental geochemistry of the elements. Academic Press, New York, 333p.
- Boyle, J.F. (2007): Simulating loss of primary silicate minerals from soil due to long-term weathering using Allogen: Comparison with soil chronosequence, lake sediment and river solute flux data. *Geomorphology* **83**, 121-135.
- Bozsó, G., Pál-Molnár, E. (2009): The distribution of arsenic in the sediments of southern hungarian saline lakes. Working Committee on Trace Elements of the complex Committee Hungarian Academy of Sciences special Publication 3 – Deficiency or Excess of Trace Elements in the Environment as a Risk of Health, 197-201.
- Bozsó, G., Pál-Molnár, E., Hetényi, M. (2008): Relations of pH and mineral composition in salt-affected lacustrine profiles. *Cereal Research Communications* **36**, 1463-1466.
- Bozsó, G., Pál-Molnár, E., Nyilas, T., Hetényi, M. (2010): Accumulation and distribution of organic matter in sediments of salt-affected shallow lakes at Szeged, Hungary. *Proceedings Book of the XIX. Congress of Carpathian Balkan Geological Association*. In press.
- Bradl, H.B. (2004): Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. *Journal of Colloid and Interface Science* **277**, 1-18.
- Bustillo, M.A., Arribas, M.E., Bustillo, M. (2002): Dolomitization and silification in low-energy lacustrine carbonates (Paleogene, Madrid Basin, Spain). *Sedimentary Geology* **151**, 107-126.
- Calmano, W., Förstner, U. (eds.) (1996): Sediments and toxic substances – Environmental effects and ecotoxicity. Springer-Verlag, Hamburg, 335p.
- Covelo, E.F., Vega, F.A., Andrade, M.L. (2007a): Simultaneous sorption and desorption of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn in acid soils. I. Selectivity sequences. *Journal of Hazardous Materials* **147**, 852-861.
- Covelo, E.F., Vega, F.A., Andrade, M.L. (2007b): Simultaneous sorption and desorption of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn in acid soils. II. Soil ranking and influence of soil characteristics. *Journal of Hazardous Materials* **147**, 862-870.
- Crounse, R.G., Pories, W.J., Bray, J.T., Mauger, R.L. (1983): Geochemistry and man: Health and disease I. Essential elements. In: Thornton, I. (ed.) (1983): *Applied environmental geochemistry*. Academic Press, London, New-York, 267-308.
- Csizmazia, Gy. (1989): Szeged, Fehér-tó – Pusztaszeri Tájvédelmi Körzet. Kartográfiai Vállalat, Budapest, 18p.
- Das, B., Nordin, R., Mazumder, A. (2008): An alternative approach to reconstructing organic matter accumulation with contrasting watershed disturbance histories from lake sediments. *Environmental Pollution* **155**, 117-124.
- Das, B.K., Al-Nikhlaifi, A.S., Kaur, P. (2006): Geochemistry of Mansar Lake sediments, Jammu, India: Implication for source-area weathering, provenance, and tectonic setting. *Journal of Asian Earth Sciences* **26**, 649-668.
- Dean, W.E. (1974): Determination of the carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignitions: comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Petrology* **44**, 242-248.
- Di Gleria, J. (1934): A szikes talajok keletkezése és javítása kolloidikai nézőpontból. In: Sajó, E., Trummer, Á. (eds.) (1934): *A magyar szikesek*. Pátria, Budapest, 166-176.
- Disnar, J.R., Guillet, B., Keravis, D., Di Giovanni, C., Sebag, D. (2003): Soil organic matter (SOM) characterization by Rock-Eval pyrolysis: main possibilities and limitations. *Organic geochemistry* **34**, 327-343.
- Dudda, R. (2007): A tavaszi foszfortrágyázás indokai. *Agronapló* XI/3, 18-21.
- Emerson, W.W. (1984): Soil structure in saline and sodic soils. In: Shainberg, I., Shalhevet, J. (eds.) (1984): *Soil Salinity Under Irrigation*. Springer-Verlag, Berlin, 65-76.

- Espitalié, J., Deroo, G., Marquis, F. (1985): Rock-Eval pyrolysis and its applications. *Revue de l'Institut Français du Pétrole* **40**, 1-72.
- Espitalié, J., Senga Makadi, K., Trichet, J. (1984): Role of the mineral matrix during kerogen pyrolysis. *Organic Geochemistry* **6**, 365-382.
- Evans, L.J. (1989): Chemistry of metal retention by soils. *Environmental Science Technology* **23**, 1046-1056.
- Farrah, H., Piking, W.F. (1977): The sorption of lead and cadmium species by clay minerals. *Australian Journal of Chemistry* **30**, 1417-1422.
- Fergusson, J.E. (1990): The heavy elements: Chemistry, environmental impact and health effects. Pergamon Press, Oxford, 614p.
- Filep, Gy. (1988): Talajkémia. Akadémiai Kiadó, Budapest, 292p.
- Fontes, M.P.F., Gomes, P.C. (2003): Simultaneous competitive adsorption of heavy metals by the mineral matrix of tropical soils. *Applied Geochemistry* **18**, 795-804.
- Fotovat, A., Naidu, R. (1998): Changes in composition of soil aqueous phase influence chemistry of indigenous heavy metals in alkaline sodic and acidic soils. *Geoderma* **84**, 213-234.
- Fórizs, I., Tóth, T., Kuti, L. (2006): A szikesedés izotóp-hidrokeokémiai vizsgálata a hortobágyi Nyírő-lapson. In: Szendrei, G. (ed.) (2006): Magyarország környezetgeokémiai állapota. Az MTA Földtudományok Osztálya kiadványa, Budapest, 83-90.
- Fügedi, U., Pocsai, T., Kuti, L., Horváth, I., Vatai, J. (2008): A mészfelhalmozódás földtani okai Közép-Magyarország talajaiban. *Agrokémia és Talajtan* **57**, 239-260.
- Giles, C.H., Smith, D., Huitson, A. (1974): A general treatment and classification of the solute adsorption isotherm. *Theoretical Journal Colloid Interface Science* **47**, 755-765.
- Gomes, P.C., Fontes, M.P., da Silva, A.G., Mendoca, E.S., Netto, A.R. (2001): Selectivity sequence and competitive adsorption of heavy metal by Brazilian soils. *Soil Science Society of America Journal* **65**, 1115-1121.
- Gough, L.P., Schacklette, H.T., Case, A.A. (1982): Element Concentrations Toxic to Plants, Animals and Man. U.S. Geological Survey, Alexandria, 79p.
- Grazhdan, P.E. (1959): Trace elements in takyr soils of the Tedzhen delta. *Izv. Akad. Nauk. Turkmen* **1**, 58-65.
- Guo, M., Chorover, J. (2003): Transport and fractionation of dissolved organic matter in soil columns. *Soil Science* **168**, 108-118.
- Gupta, S.S., Bhattacharyya, K.G. (2006): Adsorption of Ni(II) on clays. *Journal of Colloid and Interface Science* **295**, 21-32.
- Han, F.X., Banin, A., Kingery, W.L., Triplett, G.B., Zhou, L.X., Zheng, S.J., Ding, W.X. (2003): New approach to studies of heavy metal redistribution in soil. *Advances in Environmental Research* **8**, 113-120.
- Hartley, A.M., House, W.A., Callow, M.E., Leadbeater, B.S.C. (1997): Coprecipitation of phosphate with calcite in the presence of photosynthesizing green algae. *Water Research* **31**, 2261-2268.
- Hartyán, Z., Dávi, E., Szabó, S., Szilágy, V., Horváth, T., Hargitai-Tóth, A. (2000): Determination of the trace elements distribution of polluted soils in Hungary by X-ray method. *Microchemical Journal* **67**, 195-200.
- Herke, S. (1983): Szikes talajok javítása és hasznosítása a Duna völgyében. Akadémiai Kiadó, Budapest, 189p.
- Herke, S. (1934): Szeged-Kiskunhalas környéke talajviszonyai. In: Sajó, E., Trummer, Á. (eds.) (1934): A magyar szikesek. Pátria, Budapest, 35-97.

- Hetényi, M., Nyilas, T., M.Tóth, T. (2005): Stepwise Rock-Eval pyrolysis as a tool for typing heterogeneous organic matter in soils. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* **73**, 153-162.
- Hinz, C. (2001): Description of sorption data with isotherm equations. *Geoderma* **99**, 225-243.
- Irmédi-Molnár, L. (1929): A szegedi Fehér-tó. A Szegedi Alföldkutató Bizottság Könyvtára III. szakosztály Közleményei **6**, 3-24.
- Jalali, M., Moharrami, S. (2007): Competitive adsorption of trace elements in calcareous soils of western Iran. *Geoderma* **140**, 156-163.
- Jellison, R., Anderson, R.F., Melack, J., Heil, D. (1996): Organic matter accumulation in sediments of hypersaline Mono Lake during a period of change salinity. *Limnology and Oceanography* **41**, 1539-1544.
- Jenkins, R., DeVries, J.L. (1970): *Practical X-ray Spectrometry*. Macmillan, London, 189p.
- Jin, Z., Li, F., Cao, J., Wang, S., Yu, J. (2006): Geochemistry of Daihai Lake sediments, Inner Mongolia, north China: Implications for provenance, sedimentary sorting, and catchment weathering. *Geomorphology* **80**, 147-163.
- Johansson, K., Andersson, A., Andersson, T. (1995): Regional accumulation pattern of heavy metals in lake sediments and forest soils in Sweden. *The Science of the Total Environment* **160/161**, 373-380.
- Jones, B.F., Deocampo, D.M. (2005): Geochemistry of saline lakes. In: Drever, J.I. (ed.) (2005): *Surface and ground water, weathering, and soils*. Elsevier-Pergamon, Oxford, 393-424.
- Juhász, I. (ed.) (2008): Magyarország talajainak állapota a Talajvédelmi és Információs Monitoring rendszer (TIM) adatai alapján. *Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium, Budapest*, 92p.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H. (2001): *Trace elements in soils and plants*. Boca Raton, Florida, 331p.
- Kádár, I. (1995): A talaj-növény-állat-ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. Környezet- és természetvédelmi kutatások. A Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium és az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézete kiadványa, Budapest, 388p.
- Kádár, I. (1999): A tápláléklánc szennyeződése nehézfémekkel. *Agrokémia és Talajtan* **48**, 561-581.
- Keveiné, B.I., Mucsi, L., Tímár, B. (2000): A szegedi Fehér-tó állapotváltozásai. In: Frisnyák, S. (ed.): *Az Alföld történeti földrajza*. Nyíregyháza, 53-66.
- Kinniburgh, D.G., Van Riemsdijk, W.H., Koopal, L.K., Borkovec, M., Benedetti, M.F., Avena, M.J. (1999): Ion binding to natural organic matter: Competition, heterogeneity, stoichiometry and thermodynamic consistency. *Colloids Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects* **151**, 147-166.
- Kovács, D., Tóth, T., Marth, P. (2006): A talajsófelhalmozódás jelenlegi tendenciái Magyarországon. III. Magyar Földrajzi Konferencia Tudományos Közleményei, 36-39.
- Kovács, J., Tóth, A. (1988): Mikroklíma mérések a hortobágyi gyepjárásokban. *Tudományos Kutatások a Hortobágyi Nemzeti parkban*, Budapest, 287-294.
- Kögel-Knabner, I. (2000): Analytical approaches for characterizing soil organic matter. *Organic Geochemistry* **31**, 609-625.
- Köster, D., Pienitz, R., Wolfe, B.B., Barry, S., Foster, D.R., Dixit, S.S. (2004): Paleolimnological assessment of human-induced impacts on Walden Pond (Massachusetts, USA) using diatoms and stable isotopes. *Aquatic Ecosystem Health and Management* **8**, 117-131.
- Kreybig, L., Endrédy, A. (1935): Über die Abhängigkeit des Vorkommens von Alkaliböden im Oberen Tisza-Gebiete Ungarns von der absoluten Höhenlage. *Transactions III. of International Congress of Soil Science*, Oxford, 357-360.

- Krolopp, E., Sümegi, P., Kuti, L., Hertelendi, E., Kordos, L. (1996): Szeged-Óthalom környéki löszképződmények keletkezésének paleoökológiai rekonstrukciója. *Földtani Közlöny* **124**, 309-361.
- Kuti, L., Tóth, T., Kalmár, J., Kovács-Pálffy, P. (2003): Szikes talajok ásványi összetétele és recens ásványképződés Apajpusztán és Zabszék térségében. *Agrokémia és Talajtan* **52/3-4**, 275-292.
- Last, W.M. (1990): Lacustrine dolomite – an overview of modern, Holocene, and Pleistocene occurrences. *Earth Science Review* **27**, 221-263.
- Laura, R.D. (1974): Effects of neutral salts on carbon and nitrogen mineralization of organic matter in soil. *Plant and Soil* **41**, 113-127.
- Lee, S.Z., Chang, L., Yang, H.H., Chen, C.M., Liu, M.C. (1998): Adsorption of lead onto soils. *Journal of Hazardous Materials A* **63**, 37-49.
- Li, Q.S., Cai, S.S., Mo, C.H., Chu, B., Peng, L.H., Yang, F.B. (2010): Toxic effects of heavy metals and their accumulation in vegetables grown in a saline soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **73**, 84-88.
- Ma, Y.B., Uren, N.C. (1998): Transformations of heavy metals added to soil – application of a new sequential extraction procedure. *Geoderma* **84**, 157-168.
- Mádlné Szőnyi J., Tóth J., Simon Sz., Pogácsás Gy. (2005): Felszíni és felszínalatti vizek kapcsolatának eredménye a Duna-Tisza közén. *Általános Földtani Szemle* **30**, 93-100.
- McBride, M.C. (1994): *Environmental chemistry of soils*. Oxford University Press, New York, 406p.
- Mesquita, M.E., Vieira e Silva, J.M. (2002): Preliminary study of pH effect in the application of Langmuir and Freundlich isotherms to Cu-Zn competitive adsorption. *Geoderma* **106**, 219-234.
- Meyers, P.A. (2003): Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes. *Organic Geochemistry* **34**, 261-289.
- Meyers, P.A. (1997): Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic, and paleoclimatic processes. *Organic Geochemistry* **27**, 213-250.
- Meyers, P.A., Lallier-Vergés, E. (1999): Lacustrine sedimentary organic matter records of Late Quaternary paleoclimates. *Journal of Paleolimnology* **21**, 345-372.
- Miháltz, I. (1966): A Tisza-völgy déli részének vízföldtana. *Hidrológiai Közlöny* **2**, 74-90.
- Molnár, B., Reiner, B., Dinka, M. (2002): A Fertő tó karbonátjainak röntgen és stabil izotóp vizsgálata. *Hidrológiai Közlöny* **82/6**, 359-362.
- Molnár, B. (1980): Hipersalin dolomitképződés a Duna-Tisza közén. *Földtani Közlöny* **110/1**, 45-64.
- Molnár, B. (1980): Geokémiai és üledékképződési folyamatok a Duna-Tisza közti szikes tavakban. *Hidrológiai Tájékoztató* **24**, 32-35.
- Molnár, B. (1996): A szegedi Fehér-tó keletkezése és vízföldtana. *Hidrológiai Közlöny* **76/5**, 263-271.
- Molnár, B. (2000): Az 1999. évi belvíz okai a Duna-Tisza köz DK-i részén. *Hidrológiai Közlöny* **80**, 129-137.
- Molnár, B., Szónoky, M., Kovács, S. (1980): Diagenetic and lithification processes of Recent hypersaline dolomites of the Duna-Tisza Interfluvium. *Acta Mineralogica-Petrographica* **24**, 315-338.
- Molnár, B., Szónoky, M., Kovács, S. (1981): Recens hipersalin dolomitok diagenetikus és litifikációs folyamatai a Duna-Tisza közén. *Földtani Közlöny* **111**, 119-144.
- MSZ (Magyar Szabvány) 21470/2-81. (1982): Környezetvédelmi talajvizsgálatok. Talajminta előkészítése, nedvességtartalom, elektromos vezetés és pH meghatározása. Magyar Szabványügyi Hivatal, Budapest. p. 4.
- Murali, V., Aylmore, L.A.G. (1983): Competitive adsorption during solute transport in soils: 1. Mathematical models. *Soil Science* **135**, 143-150.

- Naseem, R., Tahir, S.S. (2001): Removal of Pb(II) from aqueous/acidic solutions by using bentonite as adsorbent. *Water Research* **35**, 3982-3986.
- Nádor, J., Kemény, G. (1936): Tessedik Sámuel élete és munkája. Merkantil Könyvkiadó, Budapest, 186p.
- Nemecz, E. (1973): Agyagásványok. Akadémiai Kiadó, Budapest. 412p.
- Nemecz, E., Pécsi, M., Hartyáni, Zs., Horváth, T. (2000): The origin of the silt size quartz grains and minerals in loess. *Quaternary International* **68-72**, 199-208.
- Németh, T. (2003): Montmorillonitok fémion-adszorpciójának kristályszerkezeti, kristálykémiái és ásványtani vonatkozásai. Doktori értekezés, Budapest, 95p.
- Németh, T., Mohai, I., Tóth, M. (2005): Adsorption of copper and zinc ions on various montmorillonites: an XRD study. *Acta Mineralogica-Petrographica* **46**, 29-36.
- Németh, T., Sipos, P. (2008): Ásványos összetétel és agyagásványos karakter jelentősége talajok komplex környezetgeokémiai vizsgálatában. *Talajtani Vándorgyűlés Kiadványa, Nyíregyháza*, 301-310.
- Nguyen, H.L., Leermakers, M., Osán, J., Török, S., Baeyens, W. (2005): Heavy metals in Lake Balaton: water column, suspended matter, sediments and biota. *Science of the Total Environment* **340**, 213-230.
- Ódor, L., Horváth, I., Fügedi, U. (1997): Low-density geochemical mapping in Hungary. *Journal of Geochemical Exploration* **60**, 55-66.
- Owen, R.A., Owen, R.B., Renaut, R.W., Scott, J.J., Jones, B., Ashley, G.M. (2008): Mineralogy and origin of rhizoliths on the margins of saline, alkaline Lake Bogoria, Kenya Rift Valley. *Sedimentary Geology* **203**, 143-163.
- Pais, I. (1989): A mikroelemek fontossága az életben. Irodalmi értékelés. Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem, Budapest, 292p.
- Pathak, H., Rao, D.L.N. (1998): Carbon and nitrogen mineralization from added organic matter in saline and alkali soils. *Soil Biology, Biochemistry* **30/6**, 695-702.
- Pál-Molnár, E., Bozsó, G. (2007): Complex environmental geochemistry of saline lake sediments. *Cereal Research Communications* **35**, 889-892.
- Pál-Molnár, E., Bozsó, G. (2007): Szikes tavi üledékek komplex környezet-geokémiai vizsgálata. IX. Bányászati, Kohászati, Földtani Konferencia Összefoglaló Kötete, 262-266.
- Peterson, J., MacDonell, M., Lynne, H., Fred, M. (2007): Radiological and Chemical Fact Sheets to Support Health Risk Analyses for Contaminated Areas. Argonne National Laboratory, USA, Chicago, 64-66.
- Pécsi, M., Nemecz, E., Hartyáni, Zs., Horváth, T. (2001): Az ásványok képződése és átalakulása a talajban és a löszben. A Magyar Földrajzi Konferencia kiadványa, Szeged, 1-22.
- Póka, T., Sipos, P., Tóth, M. (2006): Ásványtani és geokémiai inhomogenitások néhány elterjedt hazai talajtípusban: okok és következmények. In: Szendrei, G. (ed.) (2006): Magyarország környezetgeokémiai állapota. Az MTA Földtudományok Osztálya kiadványa, Budapest, 45-50.
- Prudencio, M.I., Gonzalez, M.I., Dias, M.I., Galan, E., Ruiz, F. (2007): Geochemistry of sediments from El Melah lagoon (NE Tunisia): A contribution for evaluation of anthropogenic inputs. *Journal of Arid Environments* **69**, 285-298.
- Rahimi, H., Pazira, E., Tajik, F. (2000): Effect of soil organic matter, electrical conductivity and sodium adsorption ratio on tensile strength of aggregates. *Soil & Tillage Research* **54**, 145-153.
- Rakonczai, J., Bozsó, G., Margóczy, K., Barna, Gy., Pál-Molnár, E. (2008): Modification of salt-affected soils and their vegetation under the influence of climate change at the steppe of Szabadkígyó (Hungary). *Cereal Research Communications* **36**, 2047-2050.

- Rakonczai, J., Kovács, F. (2005): A szárazodási folyamat értékelése és néhány gyakorlati következménye. In: Csorba P. (ed.) (2005): *Disputatio Geographica Debrecina*, 73-83.
- Ren-Ying, L., Hao, Y., Zhi-Gao, Z., Jun-Jie, L., Xiao-Hua, S., Feng, J. (2007): Fractionation of Heavy Metals in Sediments from Dianchi Lake, China. *Pedosphere* **17**, 265-272.
- Richards, L.A. (ed.) (1954): *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. United States Department of Agriculture, Washington, 160p.
- Rippey, B., Rose, N., Yang, H., Harrad, S., Robson, M., Travers, S. (2007): An assessment of toxicity in profundal lake sediments due to deposition of heavy metals and persistent organic pollutants from the atmosphere. *Environmental International* **34**, 345-356.
- Rodriguez, L., Reuter, H.I., Hengl, T. (2008): A framework to estimate the distribution of heavy metals in European soils. In: Tóth, G., Montanarella, L., Rusco, E. (eds.) (2008): *Threats to soil quality in Europe*. Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg, 79-86.
- Rohling, E.J. (1994): Review and new aspects concerning the formation of eastern Mediterranean sapropels. *Marine Geology* **122**, 1-28.
- Román-Ross, G., Cuello, G.J., Turrillas, X., Fernández-Martínez, A., Charlet, L. (2006): Arsenite sorption and co-precipitation with calcite. *Chemical Geology* **233**, 328-336.
- Roy, P.D., Caballero, M., Lozano, R., Smykatz-Kloss, W. (2008): Geochemistry of late quaternary sediments from Tecocomulco lake, central Mexico: Implication to chemical weathering and provenance. *Chemie der Erde* **68**, 383-393.
- Rónai, A. (2005): *Az Alföld negyedidőszaki földtana*. Geologica Hungarica Series 21, Budapest, 446p.
- Ryves, D., Jones, V., Guilizzoni, P., Lami, A., Marchetto, A., Battarbee, R.W., Bettinetti, R., Devoy, E.C. (1996): Late Pleistocene and Holocene environmental changes at Lake Albano and Lake Nemi (central Italy) as indicated by algal remains. In: Oldfield, F., Guilizzoni, P. (eds.) (1996): *Palaeoenvironmental Analysis of Italian Crater Lake and Adriatic Sediments*. *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia* **55**, 119-148.
- Sajtos, L., Mitev, A. (2007): *SPSS Kutatási és adatelemzési kézikönyv*. Alinea Kiadó, Budapest, 404p.
- Sanz-Montero, M.E., Rodríguez-Aranda, J.P., Calvo, J.P. (2003): Microbial precipitation of dolomite in methanogenic groundwater. *Journal of Sedimentary Research*, **73**, 485-490.
- Sastre, J., Rauret, G., Vedral, M. (2006): Effect of the cationic composition of sorption solution on the quantification of sorption-desorption parameters of heavy metals in soils. *Environmental Pollution* **140**, 322-339.
- Savage, D., Benbow, S., Watson, C., Takase, h., Ono, K., Oda, C., Honda, A. (2010): Natural systems evidence for the alteration of clay under alkaline conditions: An example from Searles Lake, California. *Applied Clay Science* **47**, 72-81.
- Savenije, H.H.G. (2005): *Salinity and tides in alluvial estuaries*. Elsevier, Amsterdam, 194p.
- Scherf, E. (1929): Alföldünk pleisztocén és holocén rétegeinek geológiai és morfológiai viszonyai és ezeknek összefüggése a talajalakulással, különösen a szikképződéssel. In: *Földtani Intézet Évi Jelentése 1925 - 1928-ról*. Földtani Intézet, Budapest, 88-96.
- Sebag, D., Disnar, J.R., Guillet, B., Digiovanni, C., Verrecchia, E.P., Durand, A. (2006): Monitoring organic matter dynamics in soil profiles by 'Rock-Eval pyrolysis': bulk characterization and quantification of degradation. *European Journal of Soil Science*, **57**, 344-355.

- Shashkova, I.L., Rat'ko, A.I., Kitikova, N.V. (1999): Removal of heavy metal ions from aqueous solutions by alkaline-earth metal phosphates. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* **160**, 207-215.
- Siegel, F.R. (2002): *Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals*. Springer-Verlag, Berlin, 218p.
- Sigmond, E. (1934): A Magyar Alföld szikeseinek jellemzése. In: Sajó, E., Trummer, Á. (eds.) (1934): *A magyar szikések*. Pátria, Budapest, 1-20.
- Silveira, M.L.A., Alleoni, L.R.F., Guilherme, L.R.G. (2003): Review: biosolids and heavy metals in soils. *Science of Agriculture* **60**, 793-806.
- Sipos, P. (2004): Nehézfémek mozgását és megkötődését meghatározó geokémiai tényezők vizsgálata cserhádi talajszelvények példáján. Doktori értekezés, Budapest, 131p.
- Sipos, P. (2007): Mobilization conditions of lead in forest soils from the Cserhát Mts, NE Hungary. *Acta Mineralogica-Petrographica* **47**, 53-59.
- Sipos, P., Németh, T. (2006): Talajok komplex környezetgeokémiai vizsgálata: nehézfém-adszorpciós kísérletek és szekvenciális kioldás. In: Szendrei, G. (ed.) (2006): *Magyarország környezetgeokémiai állapota*. Az MTA Földtudományok Osztálya kiadványa, Budapest, 61-72.
- Sipos, P., Németh, T., Mohai, I., Dódon, I. (2005): Effect of soil composition on adsorption of lead as reflected by a study on a natural forest soil profile. *Geoderma* **124**, 363-374.
- Smoot, J., Lowenstein, T. (1991): Depositional environments of non-marine evaporites. In: Melvin, J. (ed.) (1991): *Evaporites, Petroleum, and mineral Resources: Developments in Sedimentology*. Elsevier, New York, 189-384.
- Sparks, D.L. (1995): *Environmental soil chemistry*. Academic Press, San Diego – London, 265p.
- Sposito, G. (1983): The chemical forms of trace metals in soils. In: Thornton (ed.) (1983): *Applied environmental geochemistry*. Academic Press, London-New York, 123-170.
- Stefanovics, P., Filep, Gy., Fülek, Gy. (1999): *Talajtan*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 469p.
- Stigliani, W.M. (1991): Chemical time bombs: Definition, concepts and examples. Executive Report No. 16. International Institute for Applied Systems Analysis. Laxenburg, Austria, 23p.
- Stirzaker, R., Vertessy, R., Sarre, A. (eds.) (2002): *Trees, Water and salt – An Australian guide to using trees for healthy catchments and productive farms*. Rural Industries Research and Development Corporation, Kingston, Australia, 172p.
- Stojanovic, A., Kogelnig, D., Mitteregger, B., Mader, D., Jirsa, F., Krachler, R., Krachler, R. (2009): Major and trace element geochemistry of superficial sediments and suspended particulate matter of shallow saline lakes in Eastern Austria. *Chemie der Erde* **69**, 223-234.
- Stolbovoy, V., Montanarella, L. (2008): Application of Soil Organic Carbon Status Indicators for policy-decision making in the EU. In: Tóth, G., Montanarella, L., Rusco, E. (eds.) (2008): *Threats to soil quality in Europe*. Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg, 87-100.
- Sümegehy, J. (1937): Az „5065/2 Kunmadaras” térképlapra eső terület felszíni képződményei. In: *Magyarázatok Magyarország geológiai és talajismereti térképeire*. Magyar Királyi Földtani Intézet, Budapest, 6-27.
- Sváb, J. (1981): *Biometria módszerek a kutatásban*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 557p.
- Szabolcs, I. (1974): *Salt affected soils in Europe*. Martinus Nijhoff, The Hague, 63p.
- Szakáll, S., Kovács-Pálffy, P., Sajó, I., Kovács, Á. (2006): Magyarországi sókivirágzások ásványtani vizsgálata. In: Szendrei, G., Tóth, T. (eds.) (2006): *A magyarországi szikes talajok felszíni sóásványai*. *Topographia Mineralogica Hungariae IX.*, Miskolc, 47-60.

- Székyné Fux, V., Szepesi, K. (1959): Az „alföldi” lösz szerepe a szikes talajképződésben. *Földtani Közlöny*, **89**, 53-64.
- Szendrei, G. (2006): A talajfelszíni kivirágzások sóásványairól világszerte publikált adatok összegzése és értékelése. In: Szendrei, G., Tóth, T. (eds.) (2006): A magyarországi szikes talajok felszíni sóásványai. *Topographia Mineralogica Hungariae IX.*, Miskolc, 21-32.
- Szendrei, G., Szakáll, S. (2006): A talajfelszínen előforduló sókivirágzásokkal kapcsolatos ismeretek Magyarországon 1998-ig. In: Szendrei, G., Tóth, T. (eds.) (2008): A magyarországi szikes talajok felszíni sóásványai. *Topographia Mineralogica Hungariae IX.*, Miskolc, 33-46.
- Szendrei, G. (1998): Talajtan. Egyetemi jegyzet, ELTE-TTK, Budapest, 218p.
- Tang, X.W., Li, Z.Z., Chen, Y.M. (2008a): Behaviour and mechanism of Zn(II) adsorption on Chinese loess at dilute slurry concentrations. *Chemical Technology and Biotechnology* **83**, 673-682.
- Tang, X.W., Li, Z.Z., Chen, Y.M., Wang, Y. (2008b): Removal of Cu(II) from aqueous solution by adsorption on Chinese quaternary loess: kinetics and equilibrium studies. *Environmental Science and Health* **43**, 779-791.
- Tasnádi, R. (1997): A szegedi Fehér-tó halgazdasága a régmúlttól 1990-ig. Szegedi Mezőgazdasági és Szolgáltató Kft, Szeged, 146p.
- Tokalioglu, S., Kartal, S., Elci, L. (2000): Determination of heavy metals and their speciation in lake sediments by flame atomic adsorption spectrometry after four-stage sequential extraction procedure. *Analytica Chimica Acta* **413**, 33-40.
- Tóth, G., Adhikari, K., Várallyay, Gy., Tóth, T., Bódis, K., Stolbovoy, V. (2008): Updated map of salt-affected soils in the European Union. In: Tóth, G., Montanarella, L., Rusco, E. (2008): Threats to soil quality in Europe. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 65-77.
- Tóth, T. (2002): Szikes talajok tér- és időbeli változatossága. MTA doktori értekezés. Budapest, 187p.
- Tóth, T. (2005): Dynamics of salt accumulation in the Danube Valley. *International Salinity Forum Abstract Book*, 449-452.
- Tóth, T., Jozefaciuk, G. (2002): Physicochemical properties of a solonchic toposequence. *Geoderma* **106**, 137-159.
- Tóth, T., Kovács-Pálffy, P., Sajó, I., Szakáll, S., Kovács, Á. (2006): A talajfelszíni sókivirágzások elterjedése. In: Szendrei, G., Tóth, T. (eds.) (2006): A magyarországi szikes talajok felszíni sóásványai. *Topographia Mineralogica Hungariae IX.*, Miskolc, 61-78.
- Tóth, T., Kutí, L., Fügedi, U. (2003): Havonkénti vizsgálatok a Zab-szék mellett. A tóvíz, talajvíz, talaj, növényzet időbeli változásai. *Természetvédelmi Közlemények* **10**, 93-107.
- Tóth, T., Szendrei, G. (2006a): A hazai szikes talajok és a szikesedés, valamint a sófelhalmozódási folyamatok rövid jellemzése. In: Szendrei, G., Tóth, T. (eds.) (2008): A magyarországi szikes talajok felszíni sóásványai. *Topographia Mineralogica Hungariae IX.*, Miskolc, 7-20.
- Tóth, T., Szendrei, G. (2006b): A sókivirágzások elterjedésének és képződésének összefüggése a környezeti, ezen belül a talajtani tényezőkkel. In: Szendrei, G., Tóth, T. (eds.) (2006): A magyarországi szikes talajok felszíni sóásványai. *Topographia Mineralogica Hungariae IX.*, Miskolc, 79-90.
- Treitz, P. (1934): Csonka Magyarország sós és szikes taljai. In: Sajó, E., Trummer, Á. (eds.) (1934): A magyar szikesek. Pátria, Budapest, 178-206.
- Trudinger, P.A., Swaine, D.J., Skyring, G.W. (1979): Biogeochemical cycling of elements – General considerations. In: Trudinger, P.A., Swaine, D.J. (eds.): Biogeochemical cycling of mineral-forming elements. Elsevier, Amsterdam, 1-27.

- Tyagi, N.K., Minhas, P.S. (eds.) (1998): *Agricultural Salinity Management in India*. Central Soil Salinity Research Center, Karnal, India, 386p.
- Usman, A.R.A. (2008): The relative adsorption selectivities of Pb, Cu, Zn, Cd and Ni by soils developed on Shale in New Valley, Egypt. *Geoderma* **144**, 334-343.
- Valero-Garcés, B., Delgado-Huertas, A., Ratto, A., Navas, A., Edwards, L. (2000): Palaeohidrology of Andean saline lakes from sedimentological and isotopical records, Northwestern Argentina. *Journal of Palaeolimnology* **24**, 343-359.
- Varandas da Silva, L.S., Piovano, E.L., Azevedo, D.A., Neto, F.R.A. (2008): Quantitative evaluation of sedimentary organic matter from Laguna Mar Chiquita, Argentina. *Organic Geochemistry* **39**, 450-464.
- Vasconcelos, C., Mackenzie, J.A., Bernasconi, S., Grujic, D., Tien, A.J. (1995): Microbial mediation as a possible mechanism for natural dolomite formation at low temperatures. *Nature* **377**, 220-222.
- Várallyay, Gy. (1967): A Duna-völgyi talajok sófelhalmozódási folyamatai. *Agrokémia és Talajtan* **16**, 327-356.
- Várallyay, Gy. (1999): Szikesedési folyamatok a Kárpát-medencében. *Agrokémia és Talajtan* **48**, 399-418.
- Vengosh, A. (2005): Salinization and Saline Environments. In: Lollar, B.S. (ed.) (2005): *Environmental Geochemistry*. Elsevier-Pergamon, Oxford, 333-366.
- Vinogradov, A.P. (1959): *The geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soils*. Consultant Bureau, New York, 209p.
- Volkova, N.I. (1998): Geochemistry of rare elements in waters and sediments of alkaline lakes in the Sasykul depression, East Pamirs. *Chemical Geology* **147**, 265-277.
- Vörös, L., V.-Balogh, K., Boros, E. (2005): Pikoplankton dominancia szikes tavakban. *Hidrológiai Közlöny* **85**, 166-168.
- Wahla, I.H., Kirkham, M.B. (2008): Heavy metal displacement in salt-water-irrigated soil during phytoremediation. *Environmental Pollution* **155**, 271-283.
- Warren, J. (2000): Dolomite: occurrence, evolution and economically important associations. *Earth-Science Reviews* **52**, 1-81.
- Wilson, A.M., Sanford, W., Whitaker, F., Smart, P. (2000): Geothermal convection: a mechanism for dolomitization at Enewetak Atoll? *Journal of Geochemical Exploration* **69-70**, 41-45.
- www.met.hu/eghajlat/eghajlati_adatsorok/sz/Navig/105.htm; letöltve: 2010-05-29.
- Yan, W., Xiaowu, T., Yunmin, C., Liangtong, Z., Zhenze, L., Qiang, T. (2009): Adsorption behaviour and mechanism of Cd(II) on loess soil from China. *Journal of Hazardous Material* **172**, 30-37.
- Young, L.B., Harvey, H.H. (1992): The relative importance of manganese and iron oxides and organic matter in the sorption of trace metals by surficial lake sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **56**, 1175-1186.
- Zhang, M., Li, W., Yang, Y., Chen, B., Song, F. (2005): Effects of readily dispersible colloid on adsorption and transport of Zn, Cu, and Pb in soils. *Environmental International* **31**, 840-844.

MELLÉKLETEK

1. táblázat A K, SZ-2, X/2, S1 szelvényekben mért pH értékek

Mélység	K szelvény		SZ-2 szelvény		X/2 szelvény		S1 szelvény	
(cm)	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	pH (H ₂ O)	pH (KCl)
0	7,82	6,33	8,48	7,59	9,48	7,90	9,03	7,76
5	7,74	6,52	8,44	7,52	9,73	8,30	9,27	8,04
10	8,17	6,78	8,47	7,46	9,82	8,40	9,44	8,12
15	8,68	7,23	8,39	7,46	9,77	8,49	9,61	8,10
20	8,74	7,29	8,53	7,59	9,93	8,54	9,73	8,12
25	8,77	7,48	8,75	7,76	9,89	8,65	9,82	8,06
30	8,77	7,50	8,82	7,81	9,83	8,55	9,87	8,00
35	8,60	7,54	8,76	7,69	9,85	8,70	9,80	8,02
40	8,65	7,62	8,75	7,71	9,90	8,70	10,01	8,46
45	8,62	7,61	8,83	7,78	10,10	8,80	10,05	8,70
50	8,58	7,60	8,93	7,82	10,17	8,82	10,08	8,68
55	8,98	7,70	8,91	7,79	10,22	8,93	10,10	8,71
60	9,00	7,88	8,88	7,84	10,32	9,00	10,09	8,80
65	9,04	7,92	8,65	7,69	10,32	9,11	10,19	8,68
70	9,10	7,90	8,62	7,69	10,32	9,03	10,16	8,60
75	9,15	7,93	8,73	7,71	10,30	9,06	10,13	8,57
80	9,14	7,91	8,64	7,72	10,32	9,00	10,07	8,57
85	9,20	8,00	8,88	7,78	10,21	9,02	10,06	8,51
90	9,42	7,90	8,74	7,79	10,34	9,00	10,10	8,50
95	9,36	7,94	8,79	7,88	10,29	9,00	10,03	8,41
100	9,45	7,78	8,75	7,76	10,37	8,84	10,02	8,32
105	9,51	7,91	8,90	7,84	10,35	8,82	10,08	8,30
110	9,60	8,00	9,13	7,91	10,37	8,80	10,02	8,34
115	9,63	8,06	9,00	7,87	10,30	8,77	10,05	8,06
120	9,54	7,90	9,04	7,92	10,21	8,76	9,98	8,31
125	9,53	8,00	9,13	7,94	10,10	8,48	9,94	8,24
130	9,62	8,00	9,21	7,96	10,23	8,67	10,01	8,14
135	9,75	8,00	9,20	7,93	10,22	8,61	9,98	8,14
140	9,65	7,95	9,11	7,98	10,20	8,53	9,89	8,04
145	9,55	7,96	9,01	7,92	10,04	8,55	9,87	8,08
150	9,67	7,80	9,11	7,92	10,01	8,55	9,80	8,01
155	9,58	7,96	9,12	7,91	10,01	8,45	9,84	8,02
160	9,62	7,92	9,18	7,99	10,04	8,41	9,78	7,94
165	9,71	7,94	9,11	7,95	9,91	8,34	9,71	7,90
170	9,66	7,92	9,09	7,88	9,81	8,30	9,78	8,01
175	9,50	7,90	9,02	7,88	9,85	8,27	9,75	7,87
180	9,37	7,83	8,33	7,77	9,86	8,32	9,64	7,92
185	9,32	7,72	8,97	7,80	9,87	8,30	9,71	8,00
190	9,44	7,70	8,98	7,84	9,97	8,41	9,73	7,97
195	9,53	7,80	8,90	7,82	10,09	8,46	9,70	7,91
200	9,39	8,06	8,73	7,92	9,98	8,50	9,60	8,02

Mélység	K szelvény		SZ-2 szelvény		X/2 szelvény		S1 szelvény	
(cm)	pH _(H2O)	pH _(KCl)	pH _(H2O)	pH _(KCl)	pH _(H2O)	pH _(KCl)	pH _(H2O)	pH _(KCl)
205	9,43	7,96	8,76	7,88	9,72	8,35	9,56	8,00
210	9,38	7,86	8,75	7,85	9,87	8,41	9,52	7,95
215	9,35	7,93	8,84	7,92	9,67	8,29	9,52	7,96
220	9,50	7,91	8,75	7,89	9,77	8,29	9,38	7,98
225	9,58	7,85	8,65	7,75	9,57	8,23	9,74	7,96
230	9,50	7,83	8,70	7,85	9,65	8,12	9,81	8,00
235	9,54	7,85	8,75	7,87	9,69	8,13	9,82	7,96
240	9,25	7,80	8,65	7,77	9,72	8,17	9,62	7,91
245	9,03	7,79	8,50	7,86	9,83	8,16	9,59	7,85
250	9,23	7,87	8,73	7,87	9,46	8,08	9,54	7,90
255	9,40	7,87	8,75	7,77	9,49	8,08	9,72	7,98
260	9,50	7,94	8,82	7,83	9,45	8,11	9,66	7,96
265	9,41	7,97	8,78	7,80	9,42	8,02	9,76	7,90
270	9,45	7,98	8,77	7,80	9,50	8,05	9,63	7,94
275	9,28	8,07	8,69	7,82	9,32	8,01	9,55	7,88
280	9,33	8,11	8,71	7,84	9,38	8,04	9,57	7,86
285	9,20	8,02	8,66	7,96	9,23	8,13	9,51	7,91
290	9,34	8,14	8,68	7,92	9,35	8,08	9,53	7,93
295	9,37	7,93	8,83	7,93	9,29	8,03	9,72	7,90
300	9,10	7,94	8,65	7,77	9,21	8,18	9,56	7,89
305	9,08	7,98	8,71	7,99	9,15	8,10	9,51	7,93
310	9,13	7,98	8,61	7,79	9,33	8,13	9,49	7,80
315	9,10	7,99	8,71	7,85	9,22	8,06	9,39	7,85
320	9,04	8,04	8,86	7,88	9,25	8,08	9,49	7,87
325	9,03	7,89	9,01	7,91	9,28	8,12	9,65	7,90
330	9,13	7,98	9,11	7,93	9,42	8,16	9,54	7,95
335	8,63	7,82	8,90	7,91	9,24	8,12	9,50	7,97
340	8,94	7,71	9,02	7,87	9,12	8,11	9,41	7,84
345	8,85	7,86	8,78	7,95	9,17	8,13	9,46	7,86
350	8,89	7,82	9,04	7,98	9,39	8,05	9,53	7,78
355	8,81	7,71	8,88	8,01	9,25	8,11	9,57	7,80
360	8,91	7,78	9,00	8,01	9,27	8,15	9,37	7,83
365	9,03	7,76	9,08	7,95	9,20	8,14	9,53	7,87
370	9,10	7,88	9,17	8,03	9,38	8,17	9,54	7,91
375	8,94	7,82	9,00	7,98	9,19	8,09	9,53	7,88
380	8,82	7,68	9,01	8,01	9,15	8,05	9,44	7,86
385	8,87	7,60	9,05	8,03	9,18	8,06	9,57	7,84
390	8,91	7,66	8,93	7,99	9,34	8,16	9,46	7,81
395	8,83	7,61	9,05	7,93	9,31	8,14	9,53	7,80
Átlag	9,17	7,80	8,84	7,85	9,74	8,39	9,72	8,06
Szórás	0,40	0,30	0,20	0,12	0,40	0,33	0,24	0,26

2. táblázat A K, SZ-2, X/2, S1 szelvények vezetőképesség adatai

Mélység					EC (mS/cm)				
(cm)	K	SZ-2	X/2	S1	(cm)	K	SZ-2	X/2	S1
0	2,85	1,89	6,14	3,20	200	3,39	1,35	4,82	4,18
5	2,43	1,89	8,00	2,20	205	3,27	1,26	4,18	2,93
10	3,49	2,04	9,00	2,70	210	3,92	1,25	4,74	3,34
15	3,87	2,32	9,30	2,63	215	3,19	1,29	3,61	3,63
20	6,73	1,93	10,00	2,96	220	2,89	1,46	3,82	3,36
25	9,10	1,69	10,50	2,80	225	2,92	1,41	3,89	3,17
30	11,90	1,82	10,90	2,85	230	3,14	1,24	3,27	2,88
35	17,20	2,01	13,00	3,18	235	2,90	1,33	3,58	2,73
40	15,20	2,33	12,80	6,34	240	3,28	1,62	3,37	3,23
45	18,30	2,17	12,00	7,77	245	3,81	1,39	3,66	3,52
50	20,30	2,11	9,90	6,97	250	3,52	1,28	3,93	3,48
55	14,40	2,35	10,60	6,43	255	2,67	1,35	3,03	3,24
60	13,40	2,30	12,20	6,62	260	2,57	1,27	2,58	3,25
65	11,20	2,95	11,50	5,92	265	2,80	1,15	2,38	2,99
70	12,00	3,12	11,30	6,14	270	2,88	1,17	2,53	3,19
75	9,60	2,80	11,00	6,65	275	2,76	1,28	2,22	3,74
80	11,30	3,20	9,86	6,35	280	2,73	1,33	2,30	3,88
85	9,67	2,33	10,90	5,28	285	2,84	1,33	1,89	3,45
90	8,15	2,42	10,60	5,07	290	2,69	1,35	2,29	3,63
95	8,28	2,20	11,40	5,04	295	2,38	1,12	2,03	2,87
100	7,41	3,17	8,47	4,73	300	3,16	1,05	2,13	3,60
105	6,67	2,60	7,34	4,49	305	2,40	1,10	2,13	3,88
110	6,36	1,91	7,20	4,76	310	2,38	1,03	2,18	3,75
115	5,76	2,32	7,90	4,04	315	2,12	0,83	1,85	4,70
120	4,67	2,16	7,86	4,35	320	2,16	0,80	1,83	3,82
125	5,61	1,61	7,34	4,19	325	1,97	0,70	1,34	3,29
130	4,99	1,70	7,99	3,90	330	2,28	0,64	2,67	3,38
135	3,86	1,61	7,75	3,80	335	2,09	0,74	1,99	3,89
140	4,82	1,76	7,19	4,74	340	2,23	0,71	1,48	3,61
145	4,10	1,98	6,81	4,66	345	2,12	1,12	1,68	4,48
150	4,28	1,77	7,11	3,53	350	2,19	0,88	2,61	3,79
155	4,44	1,88	6,65	4,40	355	1,99	0,83	2,30	3,65
160	3,91	1,66	6,26	3,08	360	1,83	0,85	1,90	3,30
165	3,34	1,57	5,98	3,05	365	1,84	0,70	1,74	3,43
170	3,33	1,47	6,05	2,75	370	1,90	0,71	2,30	3,44
175	3,39	1,46	5,76	2,69	375	1,77	0,83	1,93	3,75
180	3,72	1,32	5,61	2,68	380	1,90	0,86	2,01	3,74
185	3,32	1,26	5,01	2,80	385	1,75	0,74	1,51	3,49
190	3,40	1,19	5,23	2,97	390	1,77	0,93	2,05	3,13
195	2,70	1,33	4,61	2,88	395	1,88	1,32	1,49	3,08
Átlag						5,02	1,56	5,60	3,89
Szórás						4,19	0,63	3,53	1,16

3. táblázat A K, SZ-2, X/2, S1 szelvények szemcseméret frakcióinak arányai

Mélység (cm)	Homok (%)	Kőzetliszt (%)	Agyag (%)	Mélység (cm)	Homok (%)	Kőzetliszt (%)	Agyag (%)
K szelvény				X/2 szelvény			
0	14,8	52,8	32,4	0	24,3	45,4	30,3
10	9,7	65,9	24,4	5	16,3	47,3	36,4
30	9,1	41,4	49,5	30	13,7	37,1	49,2
40	8,2	45,0	46,8	35	9,8	35,2	55,0
45	8,2	45,9	45,9	40	10,9	33,4	55,7
50	11,8	50,3	37,9	45	10,2	40,9	48,9
55	7,6	45,7	46,7	50	12,0	40,5	47,5
75	8,4	45,3	46,2	55	14,0	37,9	48,2
95	7,9	50,2	41,9	60	13,0	43,5	43,5
100	7,7	54,5	37,9	75	13,3	42,5	44,2
120	11,2	57,3	31,5	95	15,9	43,7	40,3
140	9,4	69,3	21,3	100	16,6	43,8	39,6
145	11,5	70,3	18,1	105	17,6	47,4	35,0
150	7,3	69,1	23,6	145	23,6	47,4	29,0
175	11,7	68,0	20,3	150	27,0	48,2	24,8
200	7,7	68,8	23,5	175	20,4	46,2	33,4
225	13,9	72,3	13,8	200	10,2	70,0	19,8
250	11,0	77,0	12,0	250	12,8	67,1	20,0
300	7,3	86,2	6,5	295	17,3	69,0	13,6
350	9,8	73,5	16,7	350	8,8	78,9	12,3
SZ-2 szelvény				S1 szelvény			
0	47,8	37,3	14,9	0	22,9	71,0	6,2
10	19,8	44,5	35,7	10	9,5	76,4	14,0
25	29,9	47,0	23,1	30	13,6	63,5	22,9
40	18,7	55,3	26,0	40	10,6	50,1	39,4
45	12,6	58,1	29,3	45	12,6	50,7	36,7
50	20,1	53,5	26,4	50	13,1	58,7	28,2
55	10,1	61,2	28,8	55	10,5	56,0	33,6
60	25,9	53,0	21,1	75	12,9	66,6	20,5
75	21,8	52,0	26,2	95	7,6	73,0	19,4
95	14,3	53,5	32,1	100	6,8	69,9	23,3
100	10,3	54,3	35,4	105	10,5	65,8	23,7
125	10,9	65,1	24,1	120	6,8	62,9	30,3
145	6,6	52,3	41,1	140	1,7	53,6	44,7
150	10,2	64,7	25,1	150	10,5	76,5	13,0
200	9,1	88,2	2,7	175	8,1	68,0	23,9
250	7,1	89,6	3,3	195	7,4	74,6	18,1
295	5,8	81,5	12,7	200	12,1	68,6	19,3
300	7,5	91,2	1,4	250	10,8	69,6	19,6
345	8,1	74,4	17,5	300	3,1	56,7	40,2
350	9,7	66,8	23,5	350	1,8	66,3	31,9

4. táblázat A K, SZ-2, X/2, S1 szelvények karbonáttartalma

K szelvény		SZ-2 szelvény		X/2 szelvény		S1 szelvény	
Mélység (cm)	Karbonát- tartalom (%)	Mélység (cm)	Karbonát- tartalom (%)	Mélység (cm)	Karbonát- tartalom (%)	Mélység (cm)	Karbonát- tartalom (%)
0	3,2	0	6,4	0	1,4	0	32,8
10	3,2	10	5,6	5	2,4	10	36,0
30	4,4	25	5,9	30	2,0	30	37,5
40	5,6	35	17,3	35	2,1	40	36,3
45	5,8	40	13,0	40	2,0	45	35,8
50	6,4	45	20,4	45	2,1	50	35,0
55	7,9	50	26,1	50	4,2	55	34,7
75	21,5	55	17,0	55	6,5	75	31,5
95	28,9	60	19,8	60	9,5	95	34,0
100	30,7	75	8,9	75	13,2	100	33,8
120	33,7	100	22,3	100	16,0	105	32,8
140	32,5	125	31,8	105	16,3	120	34,0
145	32,4	145	35,5	135	14,3	135	29,7
150	31,0	150	35,9	150	12,3	140	30,8
175	30,9	200	30,7	175	14,5	150	30,7
200	28,8	250	33,0	200	14,5	175	29,7
225	26,6	295	30,1	235	12,8	200	26,0
250	17,4	300	28,7	250	12,4	250	24,0
300	33,8	345	30,6	295	14,9	300	19,4
350	27,5	350	26,8	350	14,5	350	13,3
Átlag	20,6		22,3		9,4		30,9
Szórás	11,9		9,9		5,6		5,9

5. táblázat A K, SZ-2, X/2, S1 szelvények összes szerves szén tartalma (TOC)

Mélység	K szelvény	SZ-2 szelvény	X/2 szelvény	S1 szelvény
(cm)	TOC (%)			
0	2,12	1,24	0,71	0,50
10	1,52	0,93	0,90	0,09
40	0,70	0,60	0,69	0,21
55	0,52	0,62	0,27	0,13
65	0,40	1,19	0,19	0,10
75	0,31	1,06	0,20	0,09
95	0,19	0,77	0,16	0,09
145	0,05	0,14	0,11	0,11
195	0,21	0,10	0,18	0,16
245	0,13	0,13	0,14	0,16
295	0,09	0,09	0,11	0,08
345	0,13	0,07	0,08	0,13
395	0,14	0,09	0,07	0,15
Átlag	0,50	0,54	0,29	0,15
Szórás	0,60	0,44	0,27	0,11

6. táblázat A K és SZ-2 szelvények szerves anyagának minőségi és mennyiségi mutatói

Mélység	TOC	F1	F2	F1+F2	F3	F4	HI	R	I	C/N	δ ¹³ C
(cm)		%					mg _(CH) /g _{TOC}				
K szelvény											
0	2,00	1,64	33,61	39,10	57,14	7,61	135	0,05	-0,21		
5	2,10	3,84	37,25	37,88	52,66	6,25	135	0,10	-0,11		
10	1,82	0,00	39,74	40,37	52,08	8,17	117	0,00	-0,12	19,3	-26,3
15	1,09	1,38	36,06	50,35	54,03	8,53	67	0,04	-0,16		
20	1,03	3,08	36,35	46,42	53,98	6,60	64	0,08	-0,14		
25	0,92	1,07	33,48	44,66	57,71	7,75	58	0,03	-0,22	15,3	-25,4
30	0,82	0,78	35,25	39,26	58,84	5,13	57	0,02	-0,21		
35	0,73	0,80	33,40	49,07	57,83	7,96	60	0,02	-0,23		
40	0,80	0,00	32,77	45,04	59,13	8,09	50	0,00	-0,26		
45	0,67	2,56	33,44	45,12	58,79	5,21	46	0,08	-0,21		
50	0,59	5,45	32,96	38,12	54,23	7,36	45	0,17	-0,15		
55	0,62	1,32	33,40	58,92	57,86	7,42	48	0,04	-0,22		
60	0,53	0,85	39,01	39,48	55,95	4,19	116	0,02	-0,15		
65	0,39	2,92	30,23	36,62	61,99	4,87	56	0,10	-0,27		
70	0,35	3,00	29,33	34,35	63,78	3,89	45	0,10	-0,30		
75	0,29	0,00	31,87	33,43	61,96	6,17	51	0,00	-0,29	8,8	-8,6
80	0,32	0,00	33,78	35,96	60,06	6,16	43	0,00	-0,25		
85	0,24	0,00	32,99	47,05	60,71	6,30	79	0,00	-0,26		
90	0,21	0,00	35,57	4,54	58,40	6,03	69	0,00	-0,22		
95	0,20	0,00	31,05	21,41	64,68	4,27	64	0,00	-0,32		
SZ-2 szelvény											
0	1,34	2,47	36,63	35,25	51,89	9,01	115	0,07	-0,12		
5	1,13	3,85	34,03	41,09	57,21	4,91	80	0,11	-0,18		
10	1,02	1,23	39,14	39,74	52,90	6,73	52	0,03	-0,12		
15	0,83	0,00	50,35	37,44	43,54	6,11	49	0,00	0,06	16,1	-24,8
20	0,89	1,59	44,83	39,43	44,83	8,75	58	0,04	0,02		
25	0,46	0,00	44,66	34,55	47,68	7,67	73	0,00	-0,03	10,7	-11,2
30	0,58	2,36	36,90	36,03	55,58	5,16	84	0,06	-0,15		
35	0,79	2,79	46,28	34,20	42,38	8,56	78	0,06	0,06		
40	0,84	0,35	44,69	32,77	45,70	9,25	55	0,01	-0,01		
45	0,43	3,40	41,72	36,00	48,79	6,09	79	0,08	-0,03		
50	0,58	2,73	35,39	38,41	55,44	6,44	70	0,08	-0,16	16,9	-10,4
55	0,63	2,53	56,39	34,72	34,89	6,19	53	0,04	0,23		
60	0,58	18,38	21,10	39,86	42,13	18,38	67	0,87	-0,03		
65	1,19	3,15	33,47	33,15	55,15	8,23	105	0,09	-0,18		
70	1,37	1,57	32,78	32,33	58,39	7,26	91	0,05	-0,23	13,3	-19,7
75	1,13	1,54	31,89	31,87	54,27	12,31	74	0,05	-0,21		
80	0,99	3,46	32,50	33,78	50,00	14,04	68	0,11	-0,14		
85	0,87	6,81	40,24	32,99	37,66	15,30	71	0,17	0,10		
90	0,75	0,00	4,54	35,57	73,95	21,51	67	0,00	-1,21		
95	0,60	2,63	18,78	31,05	44,84	33,76	60	0,14	-0,32		

7 .táblázat A K, SZ-2, X/2, S1 szelvények üledékalkotó ásványai

Mélység (cm)	Főásványok				Járolékos ásványok					
	Földpátok	Dolomit	Kalcit	Kvarc	Biotit	Muszkovit	Illit	Kaolinit	Klorit	Szmeektitek
K szelvény										
0	-	-	-	+++	+	-	+	-	-	.
40	-	-	-	+++	+	+	+	-	-	+
55	-	-	++	++	.	-	+	-	+	+
65	-	-	++	++	+	-	+	-	+	.
95	-	-	+++	+	.	.	.	-	+	-
145	+++	+++	+	++++	+	+	.	-	-	-
195	+++	++++	-	++++	-	+	++	-	-	-
295	+++	+++	+++	+++	-	-	++	-	-	-
345	+++	+++	++	+++	-	-	.	+	-	-
SZ-2 szelvény										
0	-	.	++	++++	-	+	++	-	-	-
40	-	.	+++	++	-	-	+	-	-	-
55	-	.	++++	+++	-	-	+	-	-	-
65	-	+	++++	+++	-	+	++	-	-	-
95	-	++	++++	+++	-	+	++	-	-	-
145	++	++	++++	+++	-	-	++	-	-	-
195	++	++++	++	++++	-	-	++	-	-	-
295	+++	+++	++	++++	-	-	++	-	.	-
345	+++	++	+++	++++	-	+	.	-	+	-
X/2 szelvény										
0	-	-	.	+++	.	.	+	.	-	-
40	-	-	.	++++	++	++	+	++	-	-
55	-	-	++++	++++	+	+	++	+	-	-
65	.	+	++++	+++	.	+	++	+	-	-
95	++	++	++++	+++	-	.	+++	+	-	-
145	++	+	++	++	-	+	+	++	-	-
195	++	++++	++	++	-	+	.	+	-	-
295	+++	++	++	+++	-	+	++	.	-	-
345	++	++	+++	++	-	-	++	-	-	-
S1 szelvény										
0	-	++	++++	++	-	-	++	-	-	-
40	-	+	++++	+	-	-	.	-	-	-
55	-	++	++	++	-	-	.	-	-	-
65	+	+++	++	+++	-	-	-	-	-	-
95	+	+++	-	++	-	-	-	-	-	-
145	+++	++	++	+++	-	-	++	-	+	-
195	+++	++	++	++++	+	+	.	-	-	-
295	+++	+	++	++	+	+	++	-	-	-
345	+++	-	+	+++	+	.	-	-	-	-

Jelmagyarázat

- Nem mutatható ki
- . Nyomokban
- + Minimális mennyiség
- ++ Kis mennyiség
- +++ Jelentős mennyiség
- ++++ A szelvénybeli maximális mennyiség

8 .táblázat A K, SZ-2, X/2, S1 szelvények agyagásványainak relatív arányai

Mélység (cm)	K szelvény			SZ-2 szelvény		
	Szmektitek	Kaolinit-klorit	Illit	Szmektitek	Kaolinit-klorit	Illit
	%			%		
0	12,4	13,5	13,0	11,8	15,6	11,2
40	19,2	21,9	10,1	11,2	11,8	11,2
55	15,4	17,5	16,6	10,9	9,4	9,3
65	2,5	6,6	5,0	10,9	11,3	10,6
95	3,8	4,0	5,0	6,3	8,0	8,1
150	6,1	6,6	6,5	6,9	3,8	6,8
210	16,9	10,2	15,8	11,2	11,8	13,7
300	12,4	9,5	13,0	18,8	14,2	15,5
360	11,4	10,2	15,1	12,2	14,2	13,7
	X/2 szelvény			S1 szelvény		
	Szmektitek	Kaolinit-klorit	Illit	Szmektitek	Kaolinit-klorit	Illit
0	4,7	10,0	4,3	3,1	5,3	11,0
40	22,3	38,9	27,8	7,8	6,5	6,7
55	15,5	14,2	12,3	5,4	3,0	6,1
65	10,1	5,9	5,9	12,7	16,0	15,2
95	6,8	5,0	5,9	16,7	18,9	17,7
150	7,0	5,9	9,1	10,0	8,9	11,6
210	12,2	7,1	9,6	11,8	9,5	8,5
300	11,8	6,7	17,1	15,4	14,2	6,1
360	9,5	6,3	8,0	17,0	17,8	17,1

9. táblázat A K szelvény fő-, és nyomelemeinek mennyisége

Mélység	Na	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	TiO ₂	V	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Pb
cm	ppm	%						ppm											
0	595	1,77	14,32	50,93	2,43	1,94	4,59	5,2	5188	67	50	457	33	28	136	114	38	264	17
5		1,75	13,17	52,83	1,96	1,50	4,36		4088	64	52	433	29	37	122	115	28	261	27
10	1099	1,44	13,12	52,61	1,98	1,67	4,61	12,2	4906	68	49	330	31	43	124	115	33	328	18
15		1,66	13,76	51,89	2,29	1,64	4,69		4643	68	47	443	47	25	126	118	23	190	20
20	1610	1,65	14,06	55,37	1,97	1,64	4,84	4,3	4211	67	51	374	39	43	129	122	12	314	42
25		1,92	15,06	53,69	2,12	1,87	4,95		4125	68	52	383	32	33	130	128	12	245	34
30	2572	2,03	15,55	51,98	2,43	1,78	5,30	4,3	4581	70	49	490	41	40	143	119	20	168	29
35		2,04	15,80	52,81	2,37	1,68	4,98		4284	67	50	443	29	34	127	123	21	168	29
40	3292	2,11	14,73	51,57	1,91	3,15	4,83	4,5	3937	66	51	498	19	18	130	115	37	143	38
45		2,07	15,44	52,24	2,14	2,28	5,09		4862	68	47	380	32	31	128	125	18	141	22
50	3999	2,19	15,39	52,02	2,39	2,82	4,89	6,3	4400	65	51	357	45	33	133	120	13	121	25
55		2,21	14,36	51,40	2,02	3,51	4,95		4080	67	50	508	25	17	127	100	32	294	27
60		2,15	14,23	50,50	2,05	4,88	5,12		3908	69	50	681	35	33	133	111	32	127	26
65		2,25	13,50	48,98	2,13	7,03	4,54		3850	70	47	568	24	32	125	84	30	170	26
70	2749	1,84	13,21	49,90	2,01	7,03	4,35	4,9	3555	66	51	369	23	18	116	80	27	128	13
75		2,08	12,87	47,93	1,93	9,74	4,15		3467	65	52	404	31	33	115	83	51	109	15
80	2548	2,19	12,55	49,57	2,09	8,05	4,13	4,9	3394	63	53	466	40	21	109	84	70	182	16
85		2,06	12,04	48,60	1,80	11,34	3,75		3133	66	54	405	27	28	119	65	68	124	9
90	1992	2,33	11,38	48,13	1,67	10,26	3,92	5,5	2953	63	47	348	21	14	112	69	80	333	9
95		2,36	10,97	47,28	1,72	11,40	3,73		3024	65	50	378	39	14	118	69	96	142	11
100	1946	2,28	10,87	46,46	1,76	13,02	4,09	5,4	3037	65	51	450	26	13	120	71	79	99	13
110	1521	2,29	9,95	46,91	1,42	11,90	3,56	5,8	2298	64	50	378	35	18	116	57	90	215	16
120		2,55	10,51	46,26	1,82	11,43	3,64		2787	63	51	408	22	11	108	60	138	212	9
150	879	3,64	11,67	47,85	1,72	8,68	3,57	6,0	4033	63	51	409	40	19	126	77	160	108	10
180		3,54	11,93	49,76	1,58	6,63	3,65		3256	67	52	386	28	10	112	86	114	138	3
210	804	3,00	12,68	49,79	1,93	6,65	4,23	7,9	4481	65	50	450	30	9	124	82	58	157	2
240	611	2,80	12,74	49,66	1,87	7,36	3,67	15,4	3166	67	48	314	32	12	116	74	93	164	3
270		3,16	11,47	48,06	1,63	8,78	3,59		4496	67	49	388	25	18	127	70	110	134	1
300		3,38	12,06	47,42	1,90	9,44	3,84		4444	68	50	438	35	10	131	65	125	254	5
330		2,80	11,61	49,55	1,86	9,12	4,00		3974	68	48	588	41	30	120	81	115	267	11
360	511	2,19	12,69	46,52	2,13	8,97	5,30	5,9	4273	67	49	792	41	32	127	97	68	105	10
390		2,65	14,79	50,77	2,16	4,15	4,78		3000	67	51	515	42	27	138	107	73	156	10
Átlag	1782	2,32	13,08	49,98	1,97	6,29	4,37	6,57	3870	66	50	445	32	24	124	93	61	186	17
Szórás	1074	0,54	1,58	2,30	0,25	3,73	0,56	3,13	695	2	2	99	7	10	8	22	41	69	11

10. táblázat Az SZ-2 szelvény fő-, és nyomelemeinek mennyisége

Mélység	Na	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	TiO ₂	V	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Pb
cm	ppm	%						ppm											
0	460	2,08	13,59	54,35	2,00	1,95	4,43	25,3	3577	64	52	468	25	19	118	96	69	218	34
5		2,13	13,59	51,88	2,23	1,76	4,57		4234	65	52	465	47	17	140	95	72	281	29
10		1,84	14,16	52,14	2,42	1,74	4,76		4446	64	48	1108	30	11	123	111	45	176	21
15		2,10	14,40	53,32	2,20	1,75	4,71		4291	69	52	906	48	58	127	109	66	159	25
20		1,97	14,18	52,74	2,10	1,74	4,58		4823	66	52	1280	24	46	124	122	33	310	35
25	533	2,18	12,30	50,10	2,05	6,69	4,12	9,2	4495	67	52	738	43	18	134	100	67	132	39
30		2,38	11,70	49,57	1,94	7,27	3,94		3207	65	29	500	44	23	134	86	82	210	36
35		1,96	13,51	51,00	2,04	4,56	4,37		4094	66	54	538	28	35	124	99	44	222	18
40		2,21	11,78	49,17	1,95	7,23	4,08		3968	63	52	685	28	28	140	75	71	137	19
45	816	1,98	10,85	47,31	1,79	11,08	4,10	6,6	3081	66	49	683	41	24	112	69	65	112	21
50		2,16	14,05	50,63	2,23	6,37	4,05		4821	72	47	602	37	16	111	79	43	99	19
55		2,13	11,45	49,63	2,07	7,30	3,86		5060	65	52	605	14	35	126	80	53	159	18
60	869	2,10	12,63	49,31	2,29	6,79	4,08	8,9	4677	68	48	538	39	25	127	85	51	118	20
65		2,31	12,11	50,90	1,74	5,45	3,80		3109	64	51	448	21	20	128	90	51	113	22
70	710	1,98	12,68	52,55	2,00	3,83	4,00	20,1	2882	64	46	426	38	20	130	90	40	164	43
75		1,98	12,65	52,19	1,86	3,88	4,10		3596	66	48	598	36	15	120	99	55	291	36
80		1,90	12,58	50,67	2,42	5,15	4,17		3559	64	53	527	18	12	114	96	50	185	41
85	781	1,91	12,40	50,16	1,81	6,12	4,36	10,8	3067	65	50	539	22	12	115	88	36	260	42
90		1,89	11,28	49,67	1,83	6,84	3,94		3306	64	48	608	22	11	118	85	16	112	20
95	844	1,87	11,35	48,43	1,86	8,30	3,82	6,9	2763	64	47	539	17	0	112	69	63	87	14
100		1,92	11,28	48,55	1,89	8,90	3,81		3088	64	48	531	20	9	118	70	59	96	11
110		2,18	11,25	46,63	1,89	11,80	3,81	0,0	3152	65	48	522	39	10	122	73	53	111	9
120	832	2,28	10,11	47,66	1,69	12,57	3,77	0,0	2778	65	51	504	17	1	126	65	87	117	7
150	809	2,88	10,70	48,10	1,63	11,07	3,60	0,0	2876	63	48	355	28	10	114	59	164	112	8
180		3,12	11,65	46,70	1,67	12,62	3,63	0,0	3309	65	51	412	29	20	126	61	181	138	4
210	331	2,70	11,36	47,96	1,67	10,32	3,92		3253	66	51	444	30	22	111	65	156	216	10
240	337	3,05	11,07	48,68	1,65	7,86	3,98	0,0	3675	66	50	399	23	28	114	73	187	137	12
270	325	2,81	12,93	47,44	1,95	6,93	4,46	7,3	4019	67	50	560	24	8	117	78	142	81	17
300		2,06	9,41	45,43	1,55	8,05	4,22	4,8	4692	67	53	473	18	21	108	58	77	76	8
330	266	2,05	9,35	45,37	1,74	8,64	3,48		4744	67	51	380	19	16	111	65	136	138	5
360	295	2,47	9,86	45,22	1,66	10,91	3,97	18,0	3545	65	48	605	31	10	112	55	115	88	10
390		2,17	9,87	45,87	1,92	8,52	4,09		3587	63	47	496	32	35	96	60	115	139	9
Átlag	586	2,21	11,94	49,35	1,93	7,00	4,08	7,86	3743	65	49	578	29	20	120	81	80	156	21
Szórás	242	0,34	1,40	2,41	0,23	3,19	0,31	7,97	689	2	4	194	9	12	9	17	45	63	12

11. táblázat Az X/2 szelvény fő-, és nyomelemeinek mennyisége

Mélység	Na	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	TiO ₂	V	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Pb
cm	ppm	%						ppm											
0	1216	1,89	12,28	56,74	1,77	1,70	3,45	22,6	3695	67	52	503	34	25	109	93	64	281	23
5		1,98	13,46	52,37	2,16	2,66	3,85		3990	65	50	504	29	26	126	106	85	187	21
10	2653	2,15	13,42	53,49	1,94	3,32	4,17	55,5	4060	66	51	596	69	16	133	98	103	251	20
15		2,20	13,81	53,13	2,03	2,84	4,18		3738	65	52	510	21	40	137	116	97	525	23
20		2,16	13,24	52,94	1,91	1,91	4,39		4036	68	48	583	35	35	129	121	65	191	24
25		2,30	14,21	53,44	2,10	1,43	4,39		4248	68	54	381	39	33	129	131	40	133	25
30	4463	2,16	14,37	52,80	2,23	1,83	4,70	18,5	4085	65	48	605	34	27	136	124	51	203	20
35		2,04	13,82	53,18	2,02	1,42	4,46		3799	65	47	392	20	29	137	122	20	152	15
40	5457	2,36	14,62	51,57	2,12	2,00	4,87	15,7	4438	68	46	519	43	46	123	123	35	196	27
45		2,33	14,29	51,21	1,95	2,57	4,30		3706	66	50	417	25	9	124	95	52	149	29
50		2,45	13,35	50,22	1,95	4,17	4,46		3653	70	48	472	40	20	139	85	51	229	30
55		2,60	12,85	48,62	1,94	7,88	4,25		3519	67	50	386	34	26	119	81	75	167	31
60	3876	2,32	11,96	49,49	1,95	7,18	3,75	9,8	3173	63	52	347	30	27	112	60	60	72	27
65		2,73	11,12	47,75	1,64	11,49	3,70		2789	62	51	359	31	4	105	79	103	438	21
70		2,35	11,83	48,98	1,76	10,10	3,70		2686	63	33	368	19	6	108	71	149	302	19
75		2,56	10,78	45,65	2,04	14,32	3,64		2818	65	50	376	28	0	120	58	129	233	15
80		2,25	10,10	48,11	1,61	12,77	3,54		2670	69	52	354	44	8	122	63	131	204	14
85		2,26	10,88	47,85	1,72	12,81	3,96		3140	64	51	423	37	13	114	60	164	159	14
90	3204	2,52	10,79	47,46	1,71	12,80	3,64	6,5	2760	65	47	354	28	13	107	62	138	143	10
95		2,71	10,19	47,08	1,68	13,98	3,63		2685	68	51	447	25	8	107	53	185	116	16
100	2537	2,77	9,77	46,67	1,52	13,48	3,47	7,0	2483	64	53	397	29	6	98	51	184	70	15
110	2269	3,35	10,00	46,03	1,49	14,10	3,47	6,8	2931	65	52	380	25	25	104	51	195	75	14
120	2383	5,12	10,12	45,88	1,50	11,48	3,74	6,7	3338	65	49	478	25	3	97	64	226	78	13
150	1994	3,38	11,09	48,29	1,67	7,56	4,28	11,8	3079	65	50	569	22	16	119	60	114	101	11
180	1577	4,53	10,60	48,12	1,58	9,67	3,87	6,9	3092	64	52	508	32	10	118	69	135	117	20
210	992	2,90	10,62	48,81	1,42	8,88	3,85	5,8	2877	63	51	452	24	3	111	53	136	86	7
240	705	3,18	11,26	48,28	1,65	10,58	3,51	5,7	3053	64	50	474	33	6	107	72	136	125	16
270		3,03	12,70	49,83	1,67	8,10	3,97	3,1	2864	69	52	459	33	17	109	65	126	157	20
300		3,00	11,32	50,79	1,97	7,73	3,48		3313	66	48	387	38	21	114	67	95	269	20
330	244	2,47	11,51	50,56	1,81	7,50	3,56	6,3	4929	64	51	415	17	11	111	58	151	342	12
360		2,62	10,97	48,96	1,62	13,13	3,76		2579	64	49	521	21	8	116	59	146	153	10
390		2,71	11,61	47,47	1,83	10,63	3,69		2835	66	53	531	50	7	103	60	124	112	10
Átlag	2398	2,67	11,97	49,74	1,81	7,88	3,93	12,6	3346	66	50	452	32	17	117	79	111	188	18
Szórás	1475	0,67	1,47	2,66	0,21	4,48	0,39	13,1	612	2	4	76	10	12	12	25	50	103	6

12. táblázat Az S1 szelvény fő-, és nyomelemeinek mennyisége

Mélység	Na	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	TiO ₂	V	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Pb
cm	ppm	%						ppm											
0	482	2,64	9,45	49,03	1,65	10,49	3,52	12,8	2892	64	51	591	24	1	111	51	182	82	13
5		1,89	6,48	41,42	1,41	12,08	3,35		4202	65	51	503	20	10	109	54	166	244	23
10		1,80	7,35	41,99	1,54	10,22	3,48		2795	65	52	573	15	5	109	41	176	90	3
15		2,98	8,72	46,53	1,47	11,72	3,55		3310	65	51	680	31	0	119	54	185	351	6
20		3,20	9,07	45,35	1,63	10,46	3,62		3210	67	51	652	33	2	111	57	173	175	6
25		3,26	8,92	45,87	1,44	9,51	3,65		3590	68	51	796	40	2	102	52	174	288	18
30	822	3,30	9,32	49,67	1,64	9,37	3,56	5,8	2899	64	52	568	32	4	116	57	190	82	15
35		3,64	10,30	50,71	1,40	9,62	3,50		3842	63	54	567	22	2	109	49	178	67	6
40	1958	2,50	9,74	48,00	1,52	12,24	3,79	6,2	3056	64	47	280	13	22	115	54	136	88	1
45		2,55	10,32	47,14	1,40	12,42	3,99		3562	65	50	333	31	7	105	55	147	76	10
50	2086	2,66	10,24	48,53	1,62	9,97	4,00	5,7	3366	67	53	327	29	7	117	55	189	185	12
55		2,85	9,28	48,92	1,28	10,30	3,70		2560	62	48	348	17	30	95	52	156	227	13
60	2082	2,66	9,69	46,11	1,62	10,21	3,95	0,0	3077	66	50	405	30	19	113	50	132	78	14
65		3,01	11,34	49,96	1,48	7,11	4,05		2815	67	47	463	26	26	109	73	131	229	27
70		3,36	10,63	49,52	1,49	9,93	3,88		2910	63	54	430	41	21	110	68	116	504	15
75		3,37	10,24	47,31	1,61	9,97	4,14		3420	66	51	501	24	11	115	63	248	104	13
80	2306	2,93	11,34	48,54	1,72	9,04	3,93	5,3	3143	69	52	445	40	20	104	65	119	123	14
85		3,03	10,96	45,62	1,89	8,62	3,88		2947	76	51	519	39	27	106	74	151	329	7
90		3,84	11,35	47,86	1,80	9,47	3,98		3186	66	54	518	35	19	115	70	162	89	14
95		3,70	12,21	47,18	2,26	8,54	4,28		3376	62	47	565	47	18	122	70	165	120	6
100	2052	3,58	11,25	48,21	1,93	8,32	3,92	5,7	3851	65	50	620	28	23	114	75	143	155	4
110		3,64	9,89	48,13	1,63	10,90	3,53		3727	65	51	593	27	0	110	61	152	304	28
120	1551	3,05	9,93	49,51	1,48	9,88	4,00	10,3	3070	69	54	756	25	20	119	70	129	114	20
150		2,73	12,73	50,53	2,05	8,57	3,77	6,5	2916	65	51	762	25	6	123	71	123	591	3
180		2,43	12,57	50,09	1,90	5,94	4,52	11,0	3288	66	51	838	43	16	122	77	116	331	25
210	821	2,84	12,28	49,33	1,85	5,54	4,17	10,2	3236	64	54	913	29	12	111	77	78	329	7
240		2,66	12,37	49,65	1,72	8,47	4,30		3975	64	48	842	18	26	117	88	114	185	21
270	1392	2,35	15,48	50,64	2,32	4,22	4,99	6,4	4529	67	51	1007	38	35	133	113	76	189	28
300	1740	2,39	15,84	49,70	2,44	4,41	5,40	5,8	6098	71	51	756	40	32	148	100	58	125	18
330	1776	2,32	16,05	50,37	2,48	3,59	5,12	7,6	5005	68	50	830	31	22	134	107	62	126	13
360	1744	2,23	15,57	52,05	2,36	3,21	5,03	7,2	4298	66	46	410	44	26	129	125	46	111	13
390		2,23	16,23	50,22	2,24	3,33	5,38		6085	70	51	438	39	30	144	118	69	284	16
Átlag	1601	2,86	11,16	48,24	1,76	8,68	4,06	7,1	3570	66	51	588	31	16	116	70	139	199	13
Szórás	569	0,52	2,44	2,34	0,33	2,61	0,55	3,1	846	3	2	183	9	11	11	21	45	126	8

13. táblázat A K szelvényben mért paraméterek közötti korrelációs értékek

		Mélység (cm)	pH	EC	TOC	Mont- morillo- nit	Kaoli- nit- klorit	Musz- kovit- illit	Homok	Kőzet- liszt	Agyag	Karbonát- tartalom	Na	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	Ti	V	Cr	Mn	Cu	Zn	Rb	Sr	Ni	Zr	Pb
Mélység (cm)	Pear. C.	1																												
	N	32																												
pH	Pear. C.	.47(**)	1																											
	N	32	32																											
EC	Pear. C.	-.54(**)	0,167	1																										
	N	32	32	32																										
TOC	Pear. C.	-.91(**)	-.99(**)	-.58(**)	1																									
	N	20	20	20	20																									
Montmo- rillonit	Pear. C.	0,04	-0,22	0,15	0,42	1																								
	N	9	9	9	5	9																								
Kaolinit- klorit	Pear. C.	0,34	-0,22	-0,20	0,52	.78(*)	1																							
	N	9	9	9	5	9	9																							
Muszko- vit-illit	Pear. C.	-0,33	-0,34	0,52	0,37	.84(**)	0,52	1																						
	N	9	9	9	5	9	9	9																						
Homok	Pear. C.	-0,17	-.59(*)	-0,17	.69(*)	0,04	0,18	0,16	1																					
	N	17	17	17	9	8	8	8	17																					
Kőzetliszt	Pear. C.	.82(**)	0,17	-.74(**)	0,65	-0,16	0,17	-0,51	0,00	1																				
	N	17	17	17	9	8	8	8	17	17																				
Agyag	Pear. C.	-.78(**)	-0,08	.76(**)	-.76(*)	0,16	-0,21	0,49	-0,15	-.99(**)	1																			
	N	17	17	17	9	8	8	8	17	17	17																			
Karbonát- tartalom	Pear. C.	.69(**)	.67(**)	-.56(*)	-0,67	-0,53	-0,25	-.82(*)	-0,29	.56(*)	-.51(*)	1																		
	N	17	17	17	9	8	8	8	17	17	17	17																		
Na	Pear. C.	-0,51	0,24	.99(**)	-.71(*)	0,63	-0,36	0,86	-0,07	-.77(**)	.79(**)	-0,44	1																	
	N	15	15	15	9	5	5	5	10	10	10	10	15																	
MgO	Pear. C.	.68(**)	.54(**)	-0,34	-.77(**)	-0,13	-0,11	-0,43	-0,23	.61(**)	-.57(*)	.72(**)	-0,27	1																
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	17	15	32																
Al ₂ O ₃	Pear. C.	-.35(*)	-.42(*)	.59(**)	0,26	0,58	0,39	.85(**)	0,17	-.49(*)	0,46	-.88(**)	0,42	-.45(*)	1															
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	15	32	32	32															
SiO ₂	Pear. C.	-.49(**)	-.61(**)	0,32	.60(**)	0,60	0,29	.79(*)	0,21	-0,39	0,36	-.89(**)	0,29	-.52(**)	.80(**)	1														
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	15	32	32	32	32														
K ₂ O	Pear. C.	-0,29	-.48(**)	.37(*)	0,34	0,17	0,39	0,29	0,40	-0,38	0,31	-.72(**)	0,23	-.50(**)	.84(**)	.57(**)	1													
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	17	15	32	32	32	32													
CaO	Pear. C.	.44(*)	.70(**)	-0,27	-.72(**)	-0,61	-0,40	-.82(**)	-0,31	0,34	-0,29	.90(**)	-0,20	.48(**)	-.87(**)	-.93(**)	-.71(**)	1												
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	15	32	32	32	32	32	32												
Fe ₂ O ₃	Pear. C.	-0,30	-.39(*)	.46(**)	0,29	0,45	0,53	0,62	0,04	-0,47	0,46	-.72(**)	0,28	-.59(**)	.86(**)	.64(**)	.80(**)	-.74(**)	1											
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	15	32	32	32	32	32	32	32											
Ti	Pear. C.	-0,20	-.57(**)	0,09	.72(**)	0,48	0,63	0,33	0,13	-0,03	0,01	-.62(**)	-0,12	-0,22	.60(**)	.55(**)	.63(**)	-.69(**)	.56(**)	1										
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	15	32	32	32	32	32	32	32	32										
V	Pear. C.	-0,03	-0,19	0,11	0,20	-0,14	0,05	0,09	0,17	-0,03	0,00	-.58(*)	-0,12	-0,19	.55(**)	.42(*)	.48(**)	-.50(**)	.55(**)	.54(**)	1									
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	15	32	32	32	32	32	32	32	32	32									
Cr	Pear. C.	-0,12	0,04	0,09	-0,07	0,50	0,13	0,45	0,07	-0,16	0,14	0,36	0,43	0,03	-0,08	0,01	-0,17	0,13	-0,20	-.36(*)	-.43(*)	1								
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	15	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32								
Mn	Pear. C.	0,34	0,11	-0,05	-0,08	0,08	0,34	0,14	-0,10	0,05	-0,04	0,10	-0,19	-0,01	0,14	-0,16	0,28	0,01	.46(**)	0,15	0,34	-0,16	1							
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	15	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32							
Cu	Pear. C.	-.37(*)	-.51(**)	0,22	.49(*)	-0,33	-0,15	-0,01	0,19	-0,39	0,36	-.68(**)	0,09	-.65(**)	.59(**)	.63(**)	.57(**)	-.60(**)	.66(**)	.47(**)	.47(**)	-0,07	0,20	1						
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	15	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32						
Zn	Pear. C.	-0,02	-.38(*)	0,16	0,41	0,48	0,41	0,58	0,01	-0,22	0,22	-.61(**)	0,09	-0,16	.71(**)	.49(**)	.62(**)	-.63(**)	.69(**)	.64(**)	.60(**)	-0,20	0,32	.48(**)	1					
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	15	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32					
Rb	Pear. C.	-.44(*)	-.65(**)	.36(*)	.61(**)	0,55	0,35	.80(**)	0,27	-.50(*)	0,46	-.90(**)	0,27	-.56(**)	.89(**)	.88(**)	.75(**)	-.94(**)	.86(**)	.66(**)	.49(**)	-0,09	0,14	.71(**)	.66(**)	1				
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	15	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32				
Sr	Pear. C.	.63(**)	.48(**)	-.55(**)	-0,42	-0,36	-0,31	-0,55	-0,13	.61(**)	-.58(*)	.85(**)	-0,47	.81(**)	-.79(**)	-.75(**)	-.69(**)	.74(**)	-.81(**)	-.45(**)	-.43(*)	0,08	-0,06	-.65(**)	-.45(*)	-.78(**)	1			
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	15	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32			
Ni	Pear. C.	0,20	-0,11	-0,15	0,11	-0,45	-0,08	-.69(*)	0,09	0,17	-0,18	0,00	-0,08	0,00	0,17	0,15	.36(*)	-0,19	0,22	0,23	0,13	-0,10	0,20	0,33	0,34	0,27	-0,02	1		
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	15	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32		
Zr	Pear. C.	-0,21	-.45(**)	-0,24	.53(*)	0,29	0,45	0,36	0,19	0,11	-0,14	-0,36	-0,21	-0,28	0,00	.37(*)	0,00	-0,29	0,04	0,18	0,06	-0,22	-0,21	0,19	-0,01	0,16	-0,13	-0,09	1	
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	15	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	
Pb	Pear. C.	-.43(*)	-.39(*)	.44(*)	0,29	0,20	-0,02	0,63	-0,03	-.64(**)	.64(**)	-.70(**)	0,41	-.64(**)	.71(**)	.67(**)	.56(**)	-.66(**)	.82(**)	0,28	0,34	0,05	0,32	.69(**)	.56(**)	.78(**)	-.73(**)	0,15	0,16	1
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	15	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32

**.. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). *. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed). Pear. C.: Pearson Correlation

14. táblázat Az SZ-2 szelvényben mért paraméterek közötti korrelációs értékek

		Mélység (cm)	pH	EC	TOC	Mont- morillo- nit	Kaoli- nit-klorit	Musz- kovit- illit	Homok	Kőzet- liszt	Agyag	Karbonát- tartalom	Na	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	Ti	V	Cr	Mn	Cu	Zn	Rb	Sr	Ni	Zr	Pb
Mélység (cm)	Pear. C.	1																												
	N	32																												
pH	Pear. C.	.66(**)	1																											
	N	32	32																											
EC	Pear. C.	-.70(**)	-0.40(*)	1																										
	N	32	32	32																										
TOC	Pear. C.	-0,11	-.58(**)	.45(*)	1																									
	N	20	20	20	20																									
Montmo- rillonit	Pear. C.	0,44	-0,28	-0,45	0,62	1																								
	N	9	9	9	5	9																								
Kaolinit- klorit	Pear. C.	0,61	-0,06	-0,63	0,76(**)	.87(**)	1																							
	N	9	9	9	5	9	9																							
Muszko- vit-illit	Pear. C.	0,19	-0,41	-0,32	.88(*)	.74(*)	.82(**)	1																						
	N	9	9	9	5	9	9	9																						
Homok	Pear. C.	-.62(**)	-.51(*)	0,16	0,57	-0,04	-0,10	0,42	1																					
	N	17	17	17	10	8	8	8	17																					
Kőzetliszt	Pear. C.	.79(**)	0,37	-.54(*)	-.66(*)	0,60	.71(*)	0,21	-.69(**)	1																				
	N	17	17	17	10	8	8	8	17	17																				
Agyag	Pear. C.	-.50(*)	-0,02	.58(*)	-0,29	-.79(*)	-.89(**)	-.74(*)	0,03	-.74(**)	1																			
	N	17	17	17	10	8	8	8	17	17	17																			
Karbonát- tartalom	Pear. C.	.69(**)	.74(**)	-0,36	-0,60	-0,07	0,05	-0,51	-.73(**)	.69(**)	-0,25	1																		
	N	17	17	17	10	7	7	7	16	16	16	17																		
Na	Pear. C.	-.70(**)	-0,04	.80(**)	-0,45	-.97(**)	-.98(**)	-0,82	-0,01	-0,48	.72(*)	0,04	1																	
	N	14	14	14	7	5	5	5	10	10	10	9	14																	
MgO	Pear. C.	.43(*)	0,30	-.47(**)	-0,13	-0,23	-0,07	-0,38	-0,36	.54(*)	-0,37	.68(**)	-0,47	1																
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	17	14	32																
Al ₂ O ₃	Pear. C.	-.72(**)	-.79(**)	.42(*)	0,39	-0,35	-0,36	0,13	.70(**)	-.64(**)	0,23	-.65(**)	0,14	-0,24	1															
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	17	14	32	32															
SiO ₂	Pear. C.	-.80(**)	-.81(**)	.61(**)	.76(**)	-0,27	-0,39	0,11	.79(**)	-.66(**)	0,18	-.72(**)	0,25	-.38(*)	.86(**)	1														
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	17	14	32	32	32														
K ₂ O	Pear. C.	-.58(**)	-.56(**)	.40(*)	0,04	-0,29	-0,40	0,06	.54(*)	-.66(**)	0,38	-.66(**)	0,27	-.49(**)	.75(**)	.62(**)	1													
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	17	14	32	32	32	32													
CaO	Pear. C.	.53(**)	.83(**)	-.35(*)	-.71(**)	-0,17	0,03	-0,47	-.70(**)	.48(*)	0,00	.78(**)	0,09	.48(**)	-.79(**)	-.86(**)	-.67(**)	1												
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	17	14	32	32	32	32	32												
Fe ₂ O ₃	Pear. C.	-.37(*)	-.74(**)	0,08	0,29	0,65	0,60	.86(**)	.54(*)	-0,26	-0,16	-.69(**)	-0,06	-0,34	.72(**)	.60(**)	.60(**)	-.77(**)	1											
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	17	14	32	32	32	32	32	32											
Ti	Pear. C.	-0,05	-0,30	-0,26	-0,25	.67(*)	0,40	0,37	0,21	-0,02	-0,19	-0,38	-0,46	-0,18	0,31	0,15	.47(**)	-.43(*)	.40(*)	1										
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	17	14	32	32	32	32	32	32	32										
V	Pear. C.	-0,01	-0,06	-0,18	-0,41	.81(**)	.81(**)	0,51	0,08	0,17	-0,32	0,12	-0,29	0,00	0,28	0,05	0,21	-0,13	0,21	.59(**)	1									
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	17	14	32	32	32	32	32	32	32	32									
Cr	Pear. C.	0,04	-0,23	-0,01	0,23	.72(*)	0,51	0,61	0,18	0,29	-.56(*)	-0,17	-0,47	-0,07	0,10	0,07	0,01	-0,12	0,20	0,29	0,12	1								
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	17	14	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32							
Mn	Pear. C.	-.40(*)	-.53(**)	0,12	-0,15	0,10	0,15	0,31	0,20	-0,44	0,39	-.66(**)	0,15	-.39(*)	.52(**)	.42(*)	.50(**)	-.48(**)	.63(**)	.43(*)	0,15	0,10	1							
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	17	14	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32							
Cu	Pear. C.	-0,08	-.37(*)	-0,07	-0,09	0,45	0,26	0,28	-0,07	0,42	-.52(*)	0,01	-0,30	0,12	0,25	0,27	0,14	-0,34	0,34	.43(*)	0,25	0,14	0,31	1						
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	17	14	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32						
Zn	Pear. C.	-.67(**)	-.50(**)	.38(*)	0,15	-0,15	-0,27	-0,02	0,35	-0,44	0,27	-.56(*)	0,33	-0,04	.44(*)	.47(**)	0,34	-0,32	0,18	0,11	-0,10	-0,08	0,20	0,10	1					
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	17	14	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32					
Rb	Pear. C.	-.72(**)	-.81(**)	.47(**)	0,41	-0,13	-0,26	0,23	.70(**)	-.61(**)	0,18	-.85(**)	0,13	-.46(**)	.85(**)	.88(**)	.71(**)	-.87(**)	.71(**)	0,34	0,12	0,08	.65(**)	0,32	.48(**)	1				
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	17	14	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32				
Sr	Pear. C.	.65(**)	.39(*)	-.65(**)	-0,12	-0,20	0,03	-0,34	-0,43	.60(*)	-0,40	.67(**)	-.61(*)	.88(**)	-.45(*)	-.54(**)	-.55(**)	.52(**)	-.38(*)	-0,15	-0,05	0,00	-.44(*)	0,08	-0,28	-.59(**)	1			
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	17	14	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32			
Ni	Pear. C.	-0,30	-0,24	-0,03	-0,13	-0,09	0,21	0,11	0,38	-0,32	0,09	-0,33	0,14	0,02	.36(*)	0,25	0,32	-0,20	0,30	0,07	0,30	-0,32	0,15	0,23	.38(*)	0,26	-0,07	1		
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	17	14	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	
Zr	Pear. C.	-.41(*)	-.51(**)	0,17	.45(*)	-0,07	0,04	0,24	0,42	-0,18	-0,15	-.50(*)	-0,05	-0,23	.52(**)	.62(**)	0,31	-.59(**)	.47(**)	0,13	-0,10	0,02	0,29	0,28	0,28	.64(**)	-0,23	0,21	1	
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	17	14	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	
Pb	Pear. C.	-.46(**)	-.40(*)	.42(*)	0,41	0,02	0,05	0,58	.73(**)	-.57(*)	0,09	-.79(**)	0,12	-.42(*)	.51(**)	.65(**)	.48(**)	-.64(**)	.50(**)	0,02	-0,07	-0,18	0,30	0,09	0,28	.66(**)	-.52(**)	0,33	.57(**)	1
	N	32	32	32	20	9	9	9	17	17	17	17	14	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32

**.. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). *. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed). Pear. C.: Pearson Correlation

15. táblázat Az X/2 szelvényben mért paraméterek közötti korrelációs értékek

		Mélység (cm)	pH	EC	TOC	Mont- morillo- nit	Kaoli- nit-klorit	Musz- kovit- illit	Homok	Kőzet- liszt	Agyag	Karbonát- tartalom	Na	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	Ti	V	Cr	Mn	Cu	Zn	Rb	Sr	Ni	Zr	Pb
Mélység (cm)	Pear. C.	1																												
	N	32																												
pH	Pear. C.	-.52(**)	1																											
	N	32	32																											
EC	Pear. C.	-.86(**)	.81(**)	1																										
	N	32	32	32																										
TOC	Pear. C.	-.85(**)	-.72(**)	-0,27	1																									
	N	20	20	20	20																									
Montmo- rillonit	Pear. C.	-0,10	0,29	0,37	0,43	1																								
	N	9	9	9	5	9																								
Kaolinit- klorit	Pear. C.	0,00	0,05	0,20	0,55	.89(**)	1																							
	N	9	9	9	5	9	9																							
Muszko- vit-illit	Pear. C.	-0,40	0,12	0,49	0,69	.84(**)	.85(**)	1																						
	N	9	9	9	5	9	9	9																						
Homok	Pear. C.	-0,08	-0,28	-0,25	0,00	-0,60	-0,36	-0,31	1																					
	N	19	19	19	11	8	8	8	19																					
Kőzetliszt	Pear. C.	.90(**)	-.60(**)	-.89(**)	-0,26	-0,29	-0,27	-0,57	-0,09	1																				
	N	19	19	19	11	8	8	8	19	19																				
Agyag	Pear. C.	-.84(**)	.69(**)	.95(**)	0,15	0,55	0,44	.73(*)	-0,27	-.93(**)	1																			
	N	19	19	19	11	8	8	8	19	19	19																			
Karbonát- tartalom	Pear. C.	.74(**)	-0,03	-.62(**)	-.96(**)	-0,27	-0,25	-0,68	0,16	.61(**)	-.65(**)	1																		
	N	18	18	18	10	7	7	7	18	18	18	18																		
Na	Pear. C.	-.70(**)	.64(*)	.96(**)	-0,03	0,86(**)	.96(*)	.96(*)	-0,37	-.80(**)	.95(**)	-0,55	1																	
	N	14	14	14	6	4	4	4	10	10	10	10	14																	
MgO	Pear. C.	.38(*)	-0,06	-.35(*)	-.60(**)	-0,08	0,00	-0,40	0,36	0,30	-0,42	.72(**)	-0,25	1																
	N	32	32	32	20	9	9	9	19	19	19	18	14	32																
Al ₂ O ₃	Pear. C.	-.43(*)	-0,17	0,34	.80(**)	.75(*)	.74(*)	.92(**)	-0,34	-.50(*)	.61(**)	-.94(**)	.59(*)	-.54(**)	1															
	N	32	32	32	20	9	9	9	19	19	19	18	14	32	32															
SiO ₂	Pear. C.	-.38(*)	-.46(**)	0,09	.81(**)	-0,07	0,11	0,30	0,04	-0,19	0,17	-.80(**)	0,11	-.58(**)	.79(**)	1														
	N	32	32	32	20	9	9	9	19	19	19	18	14	32	32	32														
K ₂ O	Pear. C.	-.41(*)	-0,01	.39(*)	.58(**)	0,61	.76(*)	.71(*)	-0,25	-.51(*)	.58(**)	-.74(**)	.66(*)	-.59(**)	.83(**)	.62(**)	1													
	N	32	32	32	20	9	9	9	19	19	19	18	14	32	32	32	32													
CaO	Pear. C.	.44(*)	0,33	-0,22	-.89(**)	-0,34	-0,49	-0,64	0,05	0,42	-0,42	.92(**)	-0,33	.44(*)	-.91(**)	-.91(**)	-.71(**)	1												
	N	32	32	32	20	9	9	9	19	19	19	18	14	32	32	32	32	32												
Fe ₂ O ₃	Pear. C.	-.42(*)	0,08	.46(**)	.62(**)	.76(*)	.71(*)	.80(*)	-0,30	-.53(*)	.62(**)	-.65(**)	.69(**)	-0,26	.80(**)	.47(**)	.61(**)	-.71(**)	1											
	N	32	32	32	20	9	9	9	19	19	19	18	14	32	32	32	32	32	32											
Ti	Pear. C.	-0,29	-0,28	0,15	.87(**)	0,63	.74(*)	.87(**)	-0,11	-.52(*)	.55(*)	-.90(**)	0,14	-0,32	.74(**)	.72(**)	.67(**)	-.81(**)	.58(**)	1										
	N	32	32	32	20	9	9	9	19	19	19	18	14	32	32	32	32	32	32	32										
V	Pear. C.	-0,18	-0,08	0,08	0,38	0,21	0,40	0,49	0,03	-0,44	0,41	-.56(*)	0,42	-0,19	.36(*)	0,29	0,28	-0,32	.36(*)	0,25	1									
	N	32	32	32	20	9	9	9	19	19	19	18	14	32	32	32	32	32	32	32	32									
Cr	Pear. C.	0,13	-0,24	-0,26	0,09	-.78(*)	-.93(**)	-.72(*)	0,44	0,11	-0,26	.47(*)	-.57(*)	0,11	-0,14	-0,02	-0,14	0,05	-0,14	0,03	0,14	1								
	N	32	32	32	20	9	9	9	19	19	19	18	14	32	32	32	32	32	32	32	32	32								
Mn	Pear. C.	0,03	-.55(**)	-0,25	.67(**)	-0,13	0,09	0,23	0,27	0,06	-0,15	-0,27	0,13	0,04	0,35	.40(*)	0,19	-.43(*)	.44(*)	0,35	0,17	0,07	1							
	N	32	32	32	20	9	9	9	19	19	19	18	14	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32							
Cu	Pear. C.	-.45(*)	-0,12	0,30	.70(**)	0,64	.78(*)	.87(**)	0,01	-.49(*)	.47(*)	-.61(**)	.73(**)	-.40(*)	.71(**)	.66(**)	.64(**)	-.72(**)	.62(**)	.63(**)	.38(*)	0,01	0,25	1						
	N	32	32	32	20	9	9	9	19	19	19	18	14	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32						
Zn	Pear. C.	-.47(**)	-0,02	.37(*)	.63(**)	0,64	.72(*)	0,64	-0,31	-0,41	.51(*)	-.69(**)	0,41	-.49(**)	.76(**)	.63(**)	.72(**)	-.72(**)	.75(**)	.58(**)	.38(*)	-0,04	.35(*)	.58(**)	1					
	N	32	32	32	20	9	9	9	19	19	19	18	14	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32					
Rb	Pear. C.	-.57(**)	-0,11	.42(*)	.83(**)	0,62	0,63	.87(**)	-0,23	-.50(*)	.57(*)	-.90(**)	.59(*)	-.45(**)	.89(**)	.80(**)	.75(**)	-.87(**)	.75(**)	.72(**)	0,32	-0,11	.37(*)	.75(**)	.75(**)	1				
	N	32	32	32	20	9	9	9	19	19	19	18	14	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32				
Sr	Pear. C.	.41(*)	0,09	-.36(*)	-.74(**)	-0,56	-0,59	-.71(*)	0,24	0,44	-.51(*)	.88(**)	-0,50	.59(**)	-.85(**)	-.74(**)	-.77(**)	.84(**)	-.69(**)	-.58(**)	-0,32	0,05	-0,15	-.66(**)	-.73(**)	-.78(**)	1			
	N	32	32	32	20	9	9	9	19	19	19	18	14	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32			
Ni	Pear. C.	-0,10	-0,12	0,00	0,22	0,64	.71(*)	.72(*)	0,02	-0,21	0,20	-0,29	0,36	-0,17	0,24	0,22	0,23	-0,20	0,19	0,16	.43(*)	0,23	0,30	0,14	0,22	0,22	-0,24	1		
	N	32	32	32	20	9	9	9	19	19	19	18	14	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32		
Zr	Pear. C.	-0,18	-0,05	0,08	0,01	-0,03	-0,08	-0,01	0,05	-0,08	0,06	-.48(*)	-0,14	-.37(*)	0,29	.39(*)	0,32	-0,26	0,04	0,29	-0,06	-0,18	0,01	0,19	0,30	0,32	-0,22	-0,03	1	
	N	32	32	32	20	9	9	9	19	19	19	18	14	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	
Pb	Pear. C.	-0,21	-0,02	0,20	.54(*)	0,45	0,38	0,54	-0,09	-.58(**)	.59(**)	-.61(**)	.55(*)	-0,26	.59(**)	0,33	.55(**)	-.48(**)	.38(*)	0,31	.40(*)	0,06	0,12	.42(*)	0,29	.43(*)	-.58(**)	.43(*)	0,13	1
	N	32	32	32	20	9	9	9	19	19	19	18	14	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). * . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed). Pear. C.: Pearson Correlation

16. táblázat Az S1 szelvényben mért paraméterek közötti korrelációs értékek

		Mélység (cm)	pH	EC	TOC	Mont- morillo- nit	Kaoli- nit- klorit	Musz- kovit- illit	Homok	Kőzet- liszt	Agyag	Karbonát- tartalom	Na	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	Ti	V	Cr	Mn	Cu	Zn	Rb	Sr	Ni	Zr	Pb
Mélység (cm)	Pear. C.	1																												
	N	32																												
pH	Pear. C.	-.49(**)	1																											
	N	32	32																											
EC	Pear. C.	-0,27	.91(**)	1																										
	N	32	32	32																										
TOC	Pear. C.	-0,41	-.46(*)	-0,21	1																									
	N	20	20	20	20																									
Montmo- rillonit	Pear. C.	.73(*)	-0,12	-0,22	-0,65	1																								
	N	9	9	9	5	9																								
Kaolinit- klorit	Pear. C.	0,13	-0,03	-0,16	-0,10	0,54	1																							
	N	9	9	9	5	9	9																							
Muszko- vit-illit	Pear. C.	0,53	-0,08	-0,19	-0,42	.93(**)	.75(*)	1																						
	N	9	9	9	5	9	9	9																						
Homok	Pear. C.	-.68(**)	0,06	0,13	.85(**)	-.83(*)	-0,20	-0,68	1																					
	N	18	18	18	9	8	8	8	18																					
Kőzetliszt	Pear. C.	0,09	-.52(*)	-.65(**)	0,32	0,17	0,67	0,31	0,05	1																				
	N	18	18	18	9	8	8	8	18	18																				
Agyag	Pear. C.	0,25	0,41	.49(*)	-0,62	0,29	-0,40	0,12	-.53(*)	-.87(**)	1																			
	N	18	18	18	9	8	8	8	18	18	18																			
Karbonát- tartalom	Pear. C.	-.95(**)	.59(*)	0,40	-0,39	-0,65	-0,25	-0,59	.53(*)	-0,11	-0,16	1																		
	N	18	18	18	9	8	8	8	18	18	18	18																		
Na	Pear. C.	0,08	.70(**)	.74(**)	-0,72	0,58	-0,07	0,50	-0,66	-0,53	.75(*)	-0,09	1																	
	N	13	13	13	6	5	5	5	9	9	9	9	13																	
MgO	Pear. C.	-.36(*)	.36(*)	0,26	-0,21	0,14	0,40	0,25	0,09	0,11	-0,14	0,32	-0,07	1																
	N	32	32	32	20	9	9	9	18	18	18	18	13	32																
Al ₂ O ₃	Pear. C.	.93(**)	-.38(*)	-0,12	-0,12	.83(**)	0,27	.70(*)	-.61(**)	0,04	0,26	-.87(**)	0,12	-0,20	1															
	N	32	32	32	20	9	9	9	18	18	18	13	32	32	32															
SiO ₂	Pear. C.	.60(**)	-0,23	0,02	0,12	0,26	0,22	0,21	-0,18	-0,13	0,20	-.56(*)	-0,31	0,13	.71(**)	1														
	N	32	32	32	20	9	9	9	18	18	18	18	13	32	32	32														
K ₂ O	Pear. C.	.83(**)	-.47(**)	-0,29	0,05	.78(*)	0,36	.69(*)	-.57(*)	0,34	-0,01	-.71(**)	0,07	-0,23	.88(**)	.43(*)	1													
	N	32	32	32	20	9	9	9	18	18	18	18	13	32	32	32	32													
CaO	Pear. C.	-.90(**)	.51(**)	0,34	0,12	-.77(*)	-0,31	-.67(*)	.59(*)	-0,28	-0,05	.85(**)	0,06	0,29	-.90(**)	-.59(**)	-.84(**)	1												
	N	32	32	32	20	9	9	9	18	18	18	13	32	32	32	32	32	32												
Fe ₂ O ₃	Pear. C.	.92(**)	-0,33	-0,10	-0,27	.81(**)	0,13	.68(*)	-.67(**)	-0,14	0,45	-.83(**)	0,21	-.36(*)	.93(**)	.54(**)	.83(**)	-.88(**)	1											
	N	32	32	32	20	9	9	9	18	18	18	18	13	32	32	32	32	32	32											
Ti	Pear. C.	.75(**)	-.51(**)	-0,33	-0,22	0,60	-0,12	0,47	-.56(*)	-0,19	0,44	-.70(**)	0,21	-0,34	.69(**)	0,25	.65(**)	-.64(**)	.77(**)	1										
	N	32	32	32	20	9	9	9	18	18	18	18	13	32	32	32	32	32	32	32										
V	Pear. C.	0,31	-0,03	-0,01	-0,19	0,41	-0,13	0,37	-0,41	-0,20	0,38	-0,38	0,48	-0,18	0,32	-0,05	0,34	-.35(*)	.38(*)	.35(*)	1									
	N	32	32	32	20	9	9	9	18	18	18	13	32	32	32	32	32,00	32	32	32	32									
Cr	Pear. C.	-0,19	-0,05	-0,13	-0,04	-0,24	-0,47	-0,37	0,29	0,14	-0,27	0,27	-0,30	0,22	-0,20	-0,08	-0,21	0,14	-0,23	-0,07	0,13	1								
	N	32	32	32	20	9	9	9	18	18	18	18	13	32	32	32	32	32	32	32	32	32								
Mn	Pear. C.	.37(*)	-.64(**)	-.66(**)	0,11	0,21	-0,10	0,10	-0,12	.57(*)	-0,42	-0,33	-0,45	-0,04	0,33	0,20	.39(*)	-.44(*)	0,26	0,25	0,11	0,23	1							
	N	32	32	32	20	9	9	9	18	18	18	18	13	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32							
Cu	Pear. C.	.62(**)	0,09	0,20	-0,27	0,44	-0,14	0,32	-.67(**)	-0,29	.57(*)	-.51(*)	0,51	-0,23	.64(**)	.37(*)	.50(**)	-.59(**)	.70(**)	.40(*)	0,34	-.36(*)	0,01	1						
	N	32	32	32	20	9	9	9	18	18	18	18	13	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32						
Zn	Pear. C.	.80(**)	-.54(**)	-.36(*)	-0,01	0,66	0,10	0,57	-.55(*)	0,08	0,21	-.64(**)	0,05	-0,35	.79(**)	.43(*)	.83(**)	-.73(**)	.84(**)	.80(**)	0,30	-0,08	0,35	.41(*)	1					
	N	32	32	32	20	9	9	9	18	18	18	18	13	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32					
Rb	Pear. C.	.95(**)	-.45(**)	-0,25	-0,26	.79(*)	0,37	.70(*)	-.68(**)	0,09	0,26	-.93(**)	0,07	-0,29	.93(**)	.59(**)	.84(**)	-.90(**)	.91(**)	.71(**)	.37(*)	-0,25	0,34	.69(**)	.78(**)	1				
	N	32	32	32	20	9	9	9	18	18	18	18	13	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32				
Sr	Pear. C.	-.85(**)	.37(*)	0,20	0,13	-0,63	0,03	-0,42	.62(**)	0,07	-0,36	.76(**)	-0,16	.44(*)	-.80(**)	-.53(**)	-.68(**)	.78(**)	-.77(**)	-.58(**)	-0,27	0,19	-0,31	-.65(**)	-.60(**)	-.81(**)	1			
	N	32	32	32	20	9	9	9	18	18	18	18	13	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32			
Ni	Pear. C.	.39(*)	-0,11	-0,07	-0,22	.86(**)	0,61	.87(**)	-0,44	0,10	0,14	-0,44	0,15	0,17	.51(**)	0,25	.55(**)	-.50(**)	.50(**)	0,31	.38(*)	0,05	0,15	0,24	.38(*)	.48(**)	-.36(*)	1		
	N	32	32	32	20	9	9	9	18	18	18	18	13	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32		
Zr	Pear. C.	0,09	-0,09	-0,16	-0,22	-0,06	-0,06	-0,19	-0,04	0,37	-0,29	-0,11	-0,19	0,03	0,06	0,08	0,01	-0,07	-0,07	-0,10	0,05	0,16	0,24	-0,05	-0,02	0,08	-0,16	0,17	1	
	N	32	32	32	20	9	9	9	18	18	18,00	18	13	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	
Pb	Pear. C.	0,28	-0,10	-0,11	-0,02	0,16	0,16	0,31	-0,08	-0,09	0,12	-0,26	-0,15	-0,12	0,20	0,22	0,05	-0,27	0,28	0,27	0,16	-0,01	0,27	0,26	0,17	0,32	-0,25	0,19	0,07	1
	N	32	32	32	20	9	9	9	18	18	18	18	13	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32

**.. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). *. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed). Pear. C.: Pearson Correlation

17. táblázat A K, SZ-2, X/2, S1 szelvények főkomponens analízisének eredményei

K szelvény					SZ-2 szelvény				
Variancia%	Főkomponens				Variancia%	Főkomponens			
	1	2	3	4		1	2	3	4
	52,7	10,9	9,1	6,4		46,0	12,1	10,0	7,2
pH	-0,730	-0,162	0,215	0,481	pH	-0,816	-0,412	-0,117	0,107
EC	0,362	-0,012	0,034	0,840	EC	0,639	-0,400	0,504	-0,112
MgO	-0,788	0,265	-0,004	-0,100	MgO	-0,097	-0,146	-0,923	0,071
Al ₂ O ₃	0,794	0,384	0,188	0,310	Al ₂ O ₃	0,795	0,400	0,194	0,095
SiO ₂	0,885	0,212	-0,146	0,018	SiO ₂	0,886	0,194	0,295	0,021
K ₂ O	0,691	0,381	0,348	0,098	K ₂ O	0,477	0,455	0,468	0,180
CaO	-0,870	-0,405	0,042	0,022	CaO	-0,687	-0,497	-0,354	0,006
Fe ₂ O ₃	0,758	0,275	0,462	0,270	Fe ₂ O ₃	0,468	0,683	0,240	0,051
Ti	0,508	0,722	0,056	-0,156	Ti	-0,018	0,835	0,059	-0,113
Cr	0,087	-0,690	-0,071	0,001	Cr	0,106	0,273	-0,078	-0,813
LnMn	-0,023	0,092	0,873	0,054	Mn	0,249	0,644	0,354	0,038
Cu	0,785	-0,020	0,298	-0,139	Cu	0,267	0,580	-0,336	0,002
Zn	0,496	0,537	0,431	-0,033	Zn	0,684	-0,050	-0,060	0,234
Rb	0,903	0,300	0,150	0,031	Rb	0,760	0,428	0,376	0,068
Sr	-0,873	-0,069	-0,048	-0,329	Sr	-0,332	-0,071	-0,877	-0,017
Ni	0,165	0,127	0,521	-0,491	Ni	0,278	0,230	-0,116	0,772
Pb	0,797	-0,097	0,389	0,211	Pb	0,513	0,105	0,461	0,370
X/2 szelvény					S1 szelvény				
Variancia%	Főkomponens				Variancia%	Főkomponens			
	1	2	3	4		1	2	3	4
	50,4	14,7	8,2	6,1		48,5	14,7	8,9	6,3
pH	-0,209	0,946	-0,067	-0,154	pH	-0,296	0,894	0,137	0,044
EC	0,331	0,879	-0,044	-0,086	EC	-0,065	0,943	0,079	0,002
MgO	-0,615	-0,102	-0,067	0,566	MgO	-0,143	0,266	0,837	-0,069
Al ₂ O ₃	0,946	0,080	0,125	0,081	Al ₂ O ₃	0,975	-0,088	-0,030	0,061
SiO ₂	0,887	-0,315	0,028	-0,090	SiO ₂	0,658	0,048	0,265	0,225
K ₂ O	0,838	0,187	0,163	-0,109	K ₂ O	0,893	-0,246	-0,063	-0,169
CaO	-0,947	0,126	-0,063	-0,109	CaO	-0,887	0,271	0,068	-0,144
Fe ₂ O ₃	0,742	0,341	0,062	0,474	Fe ₂ O ₃	0,938	-0,065	-0,199	0,117
Ti	0,796	-0,152	0,019	0,133	Ti	0,677	-0,336	-0,268	0,038
Cr	-0,148	-0,334	0,581	-0,047	Cr	-0,220	-0,326	0,564	0,060
Mn	0,349	-0,387	0,141	0,717	Mn	0,234	-0,745	0,210	0,267
Cu	0,787	0,045	0,079	0,039	Cu	0,682	0,340	-0,310	0,295
Zn	0,804	0,177	0,067	0,170	Zn	0,794	-0,358	-0,168	-0,078
Rb	0,914	0,112	0,052	0,150	Rb	0,921	-0,167	-0,161	0,173
Sr	-0,876	-0,116	-0,200	0,139	Sr	-0,782	0,130	0,270	-0,218
Ni	0,154	0,001	0,824	0,154	Ni	0,615	-0,006	0,426	-0,013
Pb	0,458	0,164	0,627	-0,074	Pb	0,158	-0,107	-0,019	0,919

18. táblázat A K, SZ-2, X/2, S1 szelvényekben meghatározott főkomponensek mélységbeli változása

Mélység (cm)	K szelvény				SZ-2 szelvény				X/2 szelvény				S1 szelvény			
	Főkomponens				Főkomponens				Főkomponens				Főkomponens			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
0	1,09	1,09	-0,57	-1,74	1,30	-0,10	0,19	-0,76	1,09	-2,13	0,34	-1,65	-0,95	-1,04	-0,08	-0,27
5	1,60	-1,03	-0,89	-1,79	1,70	-0,69	0,72	0,47	1,25	-0,77	-0,23	-0,52	-1,81	-1,20	-2,19	0,87
10	1,33	0,21	-1,32	-1,63	0,77	1,18	1,35	-0,15	0,76	-0,45	1,33	0,96	-1,66	-1,14	-1,83	-1,18
15	0,71	1,11	0,15	-1,27	1,59	-0,26	1,70	0,37	1,34	-0,31	-0,61	0,21	-0,90	-1,00	0,28	-1,08
20	1,86	-0,78	-0,14	-0,90	0,68	1,13	1,77	-0,52	1,21	-0,01	-0,02	1,04	-0,73	-0,77	0,46	-1,11
25	1,47	-0,33	-0,38	0,20	0,33	0,09	0,75	0,86	1,44	0,27	1,00	-0,52	-0,89	-1,02	0,93	0,56
30	0,98	1,28	1,03	0,26	0,04	-0,16	-0,63	3,92	1,47	0,30	-0,28	1,49	-0,57	-0,74	1,07	-0,07
35	1,06	0,62	-0,19	1,39	0,63	0,21	0,66	-0,82	1,66	0,71	-1,64	-0,41	-0,64	-0,76	1,38	-0,69
40	0,66	-0,07	-0,24	1,77	0,58	-0,39	0,04	-0,37	1,44	1,03	0,44	1,47	-0,51	1,38	-1,90	-1,24
45	0,66	1,56	-0,66	1,48	-0,89	0,51	-0,11	0,69	0,87	0,76	0,13	-0,21	-0,49	1,48	-0,51	-0,39
50	1,04	0,53	0,07	0,98	-0,35	0,72	0,75	0,46	0,69	0,93	0,84	0,86	-0,29	1,04	0,27	-0,36
55	0,32	0,35	-0,06	1,55	-0,19	0,38	0,40	-1,12	0,27	1,14	1,07	-0,11	-0,78	1,83	-1,01	0,85
60	0,37	0,05	1,95	0,91	-0,08	0,39	0,56	0,74	0,22	0,94	0,88	-1,68	-0,36	1,36	-0,60	0,10
65	-0,19	0,44	0,89	1,23	1,17	-0,28	-1,41	-0,88	-0,70	1,11	0,53	-0,82	-0,03	1,51	-0,49	2,01
70	0,08	-0,65	-0,93	1,28	1,32	0,52	-1,42	1,00	-0,13	1,43	-2,62	-0,62	0,10	1,12	1,43	0,65
75	0,04	-1,32	0,10	0,29	0,70	0,66	-0,45	0,45	-0,74	1,22	-0,02	-0,74	-0,38	0,87	0,53	-0,30
80	0,05	-1,48	0,42	0,11	0,49	1,40	-0,62	-0,84	-0,77	0,73	0,81	-1,23	0,14	1,14	0,60	0,28
85	-0,17	-1,89	-0,15	0,30	0,04	1,23	-0,74	-0,23	-0,67	0,87	0,28	-0,15	0,14	0,83	0,28	-0,71
90	-1,00	-0,18	-1,10	0,79	-0,47	1,69	-1,00	-0,38	-0,68	0,90	-0,76	-0,92	0,14	0,54	1,71	0,00
95	-0,90	-0,83	0,05	-0,17	-0,32	1,25	-1,23	-0,62	-1,13	0,77	-0,13	-0,09	0,88	0,82	0,86	-1,75
100	-0,78	-1,14	0,20	0,27	-0,15	0,75	-1,53	-0,73	-1,42	0,16	0,31	-0,73	0,35	0,38	0,45	-1,05
110	-0,84	-1,90	0,14	-0,37	-0,76	0,17	-0,76	0,68	-1,32	0,07	-0,16	-0,26	-0,69	-0,07	0,92	1,42
120	-1,17	-1,26	-0,46	0,00	-0,48	0,08	-2,30	-1,01	-1,71	0,16	-0,63	2,00	-0,37	-0,26	0,69	1,47
150	-1,35	0,67	0,03	-1,10	-0,26	-1,65	-1,29	0,04	-0,51	-0,20	-0,96	1,89	0,17	-0,79	0,27	-1,24
180	-1,02	-0,15	-1,23	-0,31	0,22	-2,59	-0,44	-0,25	-0,99	-0,57	0,53	1,73	0,45	-1,01	0,36	1,34
210	-0,92	1,26	-0,60	0,07	-0,45	-1,48	0,03	-0,17	-0,82	-0,90	-0,95	0,24	0,26	-1,14	0,76	-0,13
240	-0,94	0,52	-1,24	-0,28	0,23	-2,20	0,31	-0,50	-0,71	-1,20	0,12	0,18	0,04	-0,61	-1,12	1,40
270	-1,48	1,29	-0,91	-0,28	-0,06	-1,06	0,73	-0,36	-0,33	-1,34	0,52	0,27	1,51	-0,91	-0,17	1,90
300	-1,62	1,52	0,04	-0,44	-1,73	0,03	0,98	-1,36	0,04	-1,23	0,32	-0,97	2,04	-0,73	-0,60	0,01
330	-0,95	0,40	1,25	-1,08	-1,87	-0,36	0,56	-0,88	0,27	-1,91	-1,71	-1,09	1,70	-0,81	-0,65	-0,27
360	-0,31	0,09	3,40	-0,75	-1,87	-0,14	0,19	0,75	-0,63	-1,40	-1,21	0,30	2,05	0,17	-1,14	-0,61
390	0,31	0,01	1,36	-0,74	-2,19	0,24	0,99	0,90	-0,75	-1,10	2,49	0,08	2,08	-0,47	-0,99	-0,41

19. táblázat A K, SZ-2, X/2 és S1 szelvények klaszter analízisének eredményei

Mélység	Sorszám	K szelvény		SZ-2 szelvény		X/2 szelvény		S1 szelvény	
		CLU_elem	CLU_fact	CLU_elem	CLU_fact	CLU_elem	CLU_fact	CLU_elem	CLU_fact
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	2	1	1	1	1	1	2	1	2
10	3	1	1	1	1	1	1	1	2
15	4	1	1	1	1	1	2	1	1
20	5	1	1	1	1	1	2	1	1
25	6	1	1	2	2	1	2	1	1
30	7	2	1	1	2	1	2	1	1
35	8	2	2	1	1	1	2	1	1
40	9	2	2	2	1	1	2	2	2
45	10	2	2	3	2	1	2	2	2
50	11	2	2	2	2	1	2	2	3
55	12	2	2	2	1	1	2	2	2
60	13	2	1	2	2	2	3	2	2
65	14	2	1	4	3	2	3	2	4
70	15	3	2	1	3	2	3	2	3
75	16	3	3	1	3	2	3	2	3
80	17	3	3	1	3	2	3	2	3
85	18	3	3	1	3	2	3	2	3
90	19	3	2	4	3	2	3	2	3
95	20	3	3	4	3	2	3	3	3
100	21	3	3	4	3	2	3	3	3
110	22	3	3	3	2	2	3	2	4
120	23	3	3	3	3	3	4	2	4
150	24	4	4	3	4	3	4	3	1
180	25	4	4	3	4	3	4	4	4
210	26	4	4	3	4	3	4	3	1
240	27	4	4	3	4	3	1	4	4
270	28	4	4	3	4	4	1	4	4
300	29	4	4	3	2	4	1	4	4
330	30	4	1	3	2	4	4	4	4
360	31	2	1	3	2	3	4	4	4
390	32	2	1	3	2	4	1	4	4

CLU_elem: Az elemösszetétel alapján készült klaszter analízis eredményei

CLU_fact: A főkomponensek alapján készült klaszter analízis eredményei

20. táblázat Az egyeleemes adszorpciós kísérletek eredményei

Mintaszám		Kiindulási koncentráció (mg/l)																
		2000		1000		500		200		100		50						
	c	q	c	q	c	q	c	q	c	q	c	q	Q		Fajl. adszorpció	Izoterma típus	Illeszkedés	
	mmol/l	mol/kg	mmol/l	mol/kg	mmol/l	mol/kg	mmol/l	mol/kg	mmol/l	mol/kg	mmol/l	mol/kg	mmol/kg	mg/kg	%	**	r ²	
Ni																		
K-0	32	0,23	15	0,17	7	0,15	2	0,09	1	0,07	0	0,05	233	13677	11	H	0,973	
K-210	33	0,14	15	0,16	8	0,09	2	0,10	1	0,08	0	0,05	141	8277	8	S	0,970	
SZ-2-150	33	0,13	15	0,18	7	0,12	2	0,11	1	0,10	0	0,06	134	7866	10	L/S	0,981	
X/2-40	31	0,27	14	0,26	6	0,23	2	0,14	0	0,12	0	0,06	276	16201	17	L	0,995	
S1-95	32	0,17	15	0,16	7	0,14	2	0,13	1	0,07	0	0,05	171	10038	10	L	0,997	
Cu																		
K-0	29	0,24	14	0,15	6	0,16	2	0,14	0	0,12	0	0,08	227	14437	13	S/L	0,937	
K-210	14	1,70	1	1,43	0	0,79	0	0,31	0	0,16	0	0,08	1704*	108374*	82	H	0,999	
SZ-2-150	0	3,42	0	1,57	0	0,79	0	0,31	0	0,16	0	0,08	*	*	100	*	*	
X/2-40	29	0,21	13	0,28	5	0,31	0	0,28	0	0,16	0	0,08	218	13865	21	L	0,986	
S1-95	3	2,81	0	1,57	0	0,79	0	0,31	0	0,16	0	0,08	*	*	96	*	*	
Zn																		
K-0	30	0,05	14	0,09	7	0,11	2	0,10	1	0,09	0	0,07	50	3270	7	L	0,952	
K-210	26	0,43	10	0,49	3	0,50	0	0,31	0	0,15	0	0,08	436	28514	37	H	0,997	
SZ-2-150	14	1,61	3	1,27	0	0,77	0	0,31	0	0,15	0	0,08	1613*	105490*	79	L	0,996	
X/2-40	29	0,19	13	0,19	5	0,24	1	0,19	0	0,15	0	0,08	184	12034	17	L	0,998	
S1-95	26	0,43	10	0,50	2	0,56	0	0,31	0	0,15	0	0,08	433	28318	40	L	0,997	
Cd																		
K-0	16	0,17	6	0,32	3	0,15	1	0,10	0	0,06	0	0,01	174	19558	27	L/S	0,957	
K-210	16	0,14	7	0,18	3	0,13	0	0,18	0	0,09	0	0,04	138	15511	19	H	0,989	
SZ-2-150	16	0,16	7	0,24	3	0,15	0	0,18	0	0,09	0	0,04	166	18658	23	L	0,978	
X/2-40	13	0,47	5	0,35	2	0,23	0	0,18	0	0,09	0	0,04	473	53165	40	L	0,965	
S1-95	15	0,25	6	0,27	3	0,16	0	0,18	0	0,09	0	0,04	257	28887	26	S	0,980	
Pb																		
K-0	8	0,13	4	0,17	1	0,17	0	0,10	0	0,05	0	0,02	129	26805	39	L	0,981	
K-210	4	0,54	0	0,48	0	0,24	0	0,10	0	0,05	0	0,02	*	*	84	*	*	
SZ-2-150	0	0,97	0	0,48	0	0,24	0	0,10	0	0,05	0	0,02	*	*	100	*	*	
X/2-40	7	0,25	2	0,24	0	0,24	0	0,10	0	0,05	0	0,02	*	*	59	*	*	
S1-95	1	0,91	0	0,48	0	0,24	0	0,10	0	0,05	0	0,02	*	*	98	*	*	

q: Adszorbeált mennyiség

c: Egyensúlyi koncentráció

Q: Maximális adszorpció

* A kicsapódási folyamatok miatt nem értelmezhető; ** Hinz, 2001 alapján

21. táblázat A kompetitív adszorpciós kísérletek eredményei

Mintaszám		Kiindulási koncentráció (mg/l)																
		2000		1000		500		200		100		50						
	c	q	c	q	c	q	c	q	c	q	c	q	Q		Fajl. adszorpció		Izoterma típus	Illeszkedés
	mmol/l	mol/kg	mmol/l	mol/kg	mmol/l	mol/kg	mmol/l	mol/kg	mmol/l	mol/kg	mmol/l	mol/kg	mmol/kg	mg/kg	%	**	r ²	
Ni																		
K-0	33	0,10	16	0,13	8	0,07	3	0,06	1	0,05	0	0,04	101	5929	6		S	0,963
K-210	33	0,12	16	0,14	8	0,07	3	0,06	1	0,05	0	0,04	128	7514	7		S	0,942
SZ-2-150	33	0,12	15	0,16	8	0,07	3	0,08	1	0,06	0	0,04	124	7279	7		S	0,946
X/2-40	31	0,14	15	0,17	7	0,13	2	0,11	1	0,08	0	0,04	143	8394	10		S	0,989
S1-95	33	0,10	15	0,19	7	0,13	2	0,11	1	0,09	0	0,04	105	6164	10		S	0,952
Cu																		
K-0	29	0,24	14	0,15	6	0,16	2	0,14	0	0,12	0	0,08	156	9922	10		S/L	0,998
K-210	14	1,70	1	1,43	0	0,79	0	0,31	0	0,16	0	0,08	1587*	100933*	65		S/L	0,881
SZ-2-150	0	3,42	0	1,57	0	0,79	0	0,31	0	0,16	0	0,08	*	*	95		*	*
X/2-40	29	0,21	13	0,28	5	0,31	0	0,28	0	0,16	0	0,08	309	19652	19		S	0,990
S1-95	3	2,81	0	1,57	0	0,79	0	0,31	0	0,16	0	0,08	*	*	92		*	*
Zn																		
K-0	30	0,04	14	0,10	7	0,06	3	0,05	1	0,05	0	0,03	45	2943	5		S	0,93
K-210	28	0,28	12	0,34	4	0,32	1	0,16	1	0,09	0	0,06	293	19162	25		S	0,985
SZ-2-150	25	0,55	9	0,65	4	0,40	2	0,15	1	0,09	0	0,06	636	41594	38		S	0,913
X/2-40	29	0,16	12	0,29	6	0,14	2	0,12	1	0,09	0	0,06	164	10726	14		S	0,952
S1-95	28	0,27	12	0,34	4	0,32	2	0,15	1	0,09	0	0,06	287	18770	24		S	0,979
Cd																		
K-0	17	0,04	8	0,07	4	0,04	1	0,03	1	0,02	0	0,01	39	4384	6		S	0,927
K-210	17	0,06	8	0,09	4	0,06	1	0,06	0	0,02	0	0,01	65	7306	9		S	0,973
SZ-2-150	17	0,07	8	0,11	4	0,07	1	0,06	0	0,04	0	0,02	76	8542	11		S	0,973
X/2-40	17	0,11	7	0,15	4	0,09	1	0,06	0	0,05	0	0,02	112	12589	14		S	0,976
S1-95	17	0,06	8	0,10	4	0,07	1	0,07	0	0,04	0	0,02	61	6856	10		S	0,964
Pb																		
K-0	8	0,13	4	0,17	1	0,17	0	0,10	0	0,05	0	0,02	99	20433	17		S	0,946
K-210	4	0,54	0	0,48	0	0,24	0	0,10	0	0,05	0	0,02	*	*	69		*	*
SZ-2-150	0	0,97	0	0,48	0	0,24	0	0,10	0	0,05	0	0,02	*	*	100		*	*
X/2-40	7	0,25	2	0,24	0	0,24	0	0,10	0	0,05	0	0,02	*	*	55		*	*
S1-95	1	0,91	0	0,48	0	0,24	0	0,10	0	0,05	0	0,02	*	*	74		*	*

q: Adszorbeált mennyiség

c: Egyensúlyi koncentráció

Q: Maximális adszorpció

* A kicsapódási folyamatok miatt nem értelmezhető; ** Hinz, 2001 alapján

22. táblázat Az egyelemes és a kompetitív kísérletek fajlagos adszorpció értékei

Mintaszám	Egyelemes adszorpció							Kompetitív adszorpció						
	Kiindulási koncentráció							Kiindulási koncentráció						
	2000 ppm	1000 ppm	500 ppm	200 ppm	100 ppm	50 ppm		2000 ppm	1000 ppm	500 ppm	200 ppm	100 ppm	50 ppm	
	Fajlagos adszorpció (%)						Átl. ad. (%)	Fajlagos adszorpció (%)						Átl. ad. (%)
	Ni													
K-0	7	10	18	28	43	54	11	3	8	8	17	28	46	6
K-210	4	10	10	28	44	58	8	3	8	8	18	28	48	7
SZ-2-150	4	10	15	32	60	66	10	3	10	9	23	34	44	7
X/2-40	8	15	27	41	72	74	17	4	10	15	31	48	52	10
S1-95	5	10	16	39	43	60	10	3	11	16	32	51	50	10
	Cu													
K-0	8	10	20	44	77	100	13	5	10	17	42	71	100	10
K-210	54	91	100	100	100	100	82	45	71	78	68	100	100	65
SZ-2-150	100	100	100	100	100	100	100	95	92	98	100	100	100	95
X/2-40	7	18	39	89	100	100	21	10	19	27	61	81	100	19
S1-95	89	100	100	100	100	100	96	90	90	97	100	100	100	92
	Zn													
K-0	2	6	14	32	61	89	7	1	6	8	18	30	40	5
K-210	14	32	65	100	100	100	37	9	22	42	51	60	82	25
SZ-2-150	53	83	100	100	100	100	79	18	43	53	49	59	76	38
X/2-40	6	12	32	61	100	100	17	5	19	18	39	61	72	14
S1-95	14	33	74	100	100	100	40	9	22	41	48	58	78	24
	Cd													
K-0	9	36	34	58	66	32	27	2	8	9	16	24	30	6
K-210	8	20	30	100	100	100	19	4	11	14	34	47	56	9
SZ-2-150	9	26	33	100	100	100	23	4	12	16	36	49	52	11
X/2-40	27	40	53	100	100	100	40	6	17	20	34	51	54	14
S1-95	14	30	35	100	100	100	26	3	11	16	38	44	50	10
	Pb													
K-0	13	36	69	100	100	100	39	10	20	20	37	61	100	17
K-210	56	96	100	100	100	100	84	39	75	92	87	85	100	69
SZ-2-150	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
X/2-40	26	50	100	100	100	100	59	25	49	90	85	61	100	55
S1-95	95	100	100	100	100	100	98	47	91	84	97	72	100	74

23. táblázat A nikkel és réz egyelemes adszorpciójának oldat kémhatás változása az időben

Elem	Koncentráció	Minta	pH							
			1h	2h	3 h	4 h	5 h	6 h	24 h	48 h
Ni	2000	K-0	5,43	5,50	5,49	5,50	5,50	5,51	5,52	5,85
		K-210	6,91	6,97	6,87	6,89	6,88	6,83	6,88	6,72
		SZ-2-150	7,08	7,06	6,97	6,98	6,97	6,90	6,93	6,72
		X/2-40	6,86	6,82	6,74	6,73	6,75	6,74	6,71	6,68
		S1-95	6,96	6,88	6,89	6,89	6,88	6,83	6,85	6,62
Ni	1000	K-0	5,48	5,56	5,54	5,58	5,61	5,62	5,60	5,82
		K-210	7,05	7,11	7,05	7,02	7,03	6,80	7,16	6,75
		SZ-2-150	7,19	7,15	7,10	7,15	7,13	7,08	7,19	6,73
		X/2-40	7,02	6,92	6,84	6,89	6,91	6,73	6,95	6,67
		S1-95	7,11	7,05	7,01	7,03	7,02	6,99	7,05	6,68
Ni	500	K-0	5,70	5,77	5,74	5,71	5,78	5,80	5,82	6,03
		K-210	7,29	7,21	7,23	7,13	7,14	7,09	7,23	7,22
		SZ-2-150	7,38	7,27	7,30	7,22	7,29	7,24	7,33	7,51
		X/2-40	7,14	7,05	7,14	7,05	7,06	7,40	7,19	7,20
		S1-95	7,19	7,11	7,12	7,12	7,12	7,10	7,26	6,84
Ni	200	K-0	5,90	6,03	5,96	6,01	5,98	5,97	6,06	6,08
		K-210	7,38	7,41	7,40	7,35	7,38	7,31	7,36	7,75
		SZ-2-150	7,56	7,52	7,56	7,48	7,45	7,42	7,49	7,62
		X/2-40	7,38	7,38	7,45	7,33	7,36	7,31	7,44	7,65
		S1-95	7,35	7,44	7,34	7,41	7,40	7,38	7,47	7,64
Ni	100	K-0	6,19	6,27	6,24	6,27	6,28	6,28	6,30	6,40
		K-210	7,55	7,58	7,38	7,47	7,51	7,52	7,62	7,74
		SZ-2-150	7,73	7,75	7,75	7,75	7,63	7,61	7,73	7,88
		X/2-40	7,48	7,62	7,58	7,60	7,60	7,61	7,67	7,74
		S1-95	7,53	7,42	7,48	7,56	7,51	7,49	7,60	7,75
Ni	50	K-0	6,23	6,35	6,24	6,32	6,37	6,35	6,37	6,40
		K-210	7,71	8,41	7,73	7,76	7,71	7,70	7,79	7,91
		SZ-2-150	8,00	8,02	7,84	7,89	7,86	7,87	7,88	8,09
		X/2-40	7,91	8,52	8,34	8,36	8,25	8,23	8,13	8,33
		S1-95	7,65	7,72	7,73	7,79	7,78	7,74	7,84	8,02
Cu	2000	K-0	3,95	4,21	4,17	4,10	4,18	4,12	4,04	4,08
		K-210	6,92	6,86	6,76	6,89	6,88	6,82	6,79	6,76
		SZ-2-150	7,03	7,08	7,15	7,20	7,15	7,12	7,15	7,11
		X/2-40	6,95	7,00	7,02	7,01	7,03	7,05	7,10	7,05
		S1-95	7,04	7,06	7,12	7,15	7,08	7,10	7,18	7,20
Cu	1000	K-0	4,15	4,28	4,30	4,30	4,32	4,30	4,38	4,23
		K-210	7,23	7,26	7,32	7,35	7,32	7,33	7,40	7,42
		SZ-2-150	7,41	7,35	7,32	7,35	7,32	7,33	7,38	7,40
		X/2-40	7,24	7,25	7,28	7,30	7,34	7,31	7,38	7,42
		S1-95	7,35	7,31	7,36	7,32	7,38	7,40	7,42	7,45
Cu	500	K-0	4,40	4,49	4,44	4,45	4,40	4,50	4,47	4,45
		K-210	7,42	7,32	7,31	7,32	7,35	7,34	7,40	7,42
		SZ-2-150	7,52	7,50	7,53	7,55	7,55	7,51	7,52	7,53
		X/2-40	7,31	7,35	7,38	7,40	7,41	7,42	7,45	7,42
		S1-95	7,28	7,30	7,31	7,35	7,36	7,36	7,40	7,40
Cu	200	K-0	4,65	4,84	4,80	4,80	4,76	4,74	4,85	4,82
		K-210	7,48	7,42	7,46	7,48	7,45	7,46	7,50	7,51
		SZ-2-150	7,58	7,54	7,56	7,57	7,58	7,60	7,58	7,56
		X/2-40	7,31	7,35	7,35	7,32	7,40	7,41	7,42	7,50
		S1-95	7,28	7,32	7,31	7,32	7,40	7,42	7,40	7,38
Cu	100	K-0	4,96	5,06	5,12	4,93	5,04	5,05	5,25	5,10
		K-210	7,64	7,65	7,68	7,69	7,70	7,64	7,72	7,75
		SZ-2-150	7,74	7,80	7,72	7,71	7,75	7,78	7,71	7,74
		X/2-40	7,55	7,58	7,49	7,50	7,51	7,56	7,58	7,61
		S1-95	7,49	7,45	7,41	7,56	7,55	7,51	7,52	7,51
Cu	50	K-0	5,43	5,60	5,50	5,48	5,60	5,50	5,62	5,58
		K-210	7,81	7,85	7,88	7,86	7,84	7,86	7,81	7,82
		SZ-2-150	8,01	8,05	7,95	7,98	8,00	8,02	8,05	8,11
		X/2-40	7,71	7,75	7,80	7,79	7,81	7,75	7,72	7,78
		S1-95	7,69	7,65	7,61	7,64	7,65	7,64	7,55	7,61

24. táblázat A cink és kadmium egyelemes adszorpciójának oldat-kémhatás változása az időben

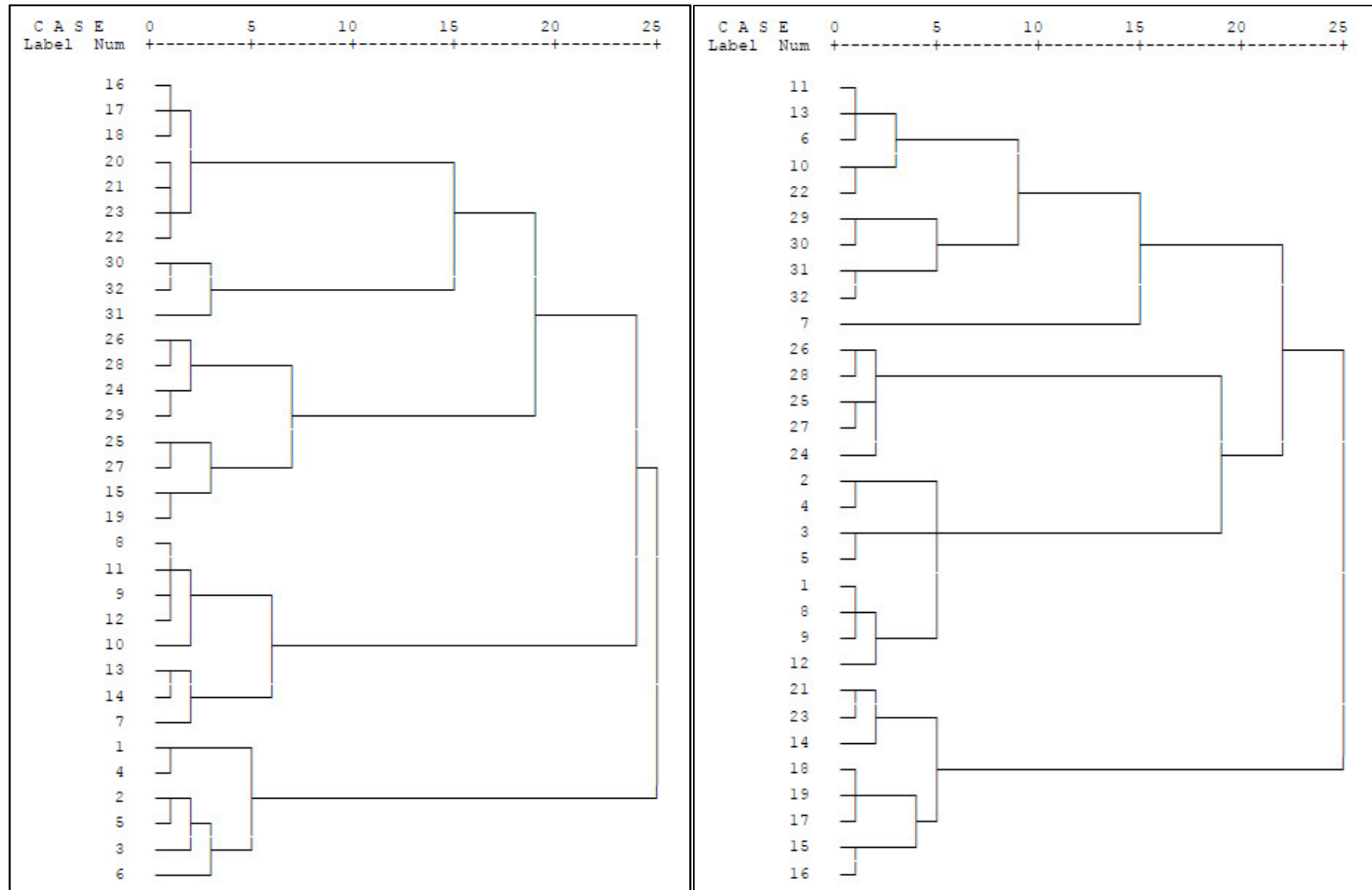
Elem	Koncentráció	Minta	pH							
			1h	2h	3 h	4 h	5 h	6 h	24 h	48 h
Zn	2000	K-0	5,23	5,24	5,26	5,28	5,26	5,28	5,30	5,37
		K-210	6,68	6,58	6,42	6,30	6,41	6,43	6,45	6,42
		SZ-2-150	6,83	6,59	6,25	6,19	6,25	6,32	6,28	6,35
		X/2-40	6,17	6,32	6,52	6,71	6,80	6,82	6,79	6,83
		S1-95	6,92	6,72	6,41	6,09	6,40	6,41	6,38	6,42
Zn	1000	K-0	5,36	5,38	5,38	5,39	5,41	5,42	5,44	5,74
		K-210	6,60	6,75	6,62	6,09	6,52	6,53	6,48	6,54
		SZ-2-150	6,60	6,60	6,52	6,30	6,41	6,48	6,39	6,43
		X/2-40	6,36	6,47	6,71	6,94	6,95	6,97	6,92	6,94
		S1-95	6,60	6,80	6,57	6,43	6,58	6,61	6,59	6,52
Zn	500	K-0	5,54	5,67	5,66	5,72	5,72	5,76	5,79	6,01
		K-210	6,97	6,95	6,73	6,80	6,84	6,83	6,82	6,86
		SZ-2-150	7,05	6,91	6,65	6,70	6,75	6,76	6,72	6,74
		X/2-40	6,65	6,73	6,81	7,08	7,12	7,16	7,10	7,05
		S1-95	6,70	6,86	6,76	6,79	6,80	6,81	6,85	6,80
Zn	200	K-0	5,70	5,73	5,75	5,74	5,73	5,74	5,78	6,05
		K-210	7,01	7,15	6,94	7,70	7,08	7,08	7,16	7,09
		SZ-2-150	7,30	7,20	6,98	7,16	7,18	7,20	7,16	7,11
		X/2-40	7,05	7,07	7,08	7,36	7,28	7,30	7,26	7,24
		S1-95	7,16	7,18	6,95	7,07	7,09	7,10	7,08	7,10
Zn	100	K-0	5,88	5,90	5,97	6,06	5,94	5,98	6,02	6,07
		K-210	7,77	7,43	7,22	7,28	7,30	7,29	7,32	7,30
		SZ-2-150	7,52	7,60	7,33	7,59	7,65	7,66	7,68	7,64
		X/2-40	7,49	7,49	7,52	7,54	7,51	7,53	7,50	7,52
		S1-95	7,53	7,41	7,15	7,31	7,31	7,31	7,35	7,31
Zn	50	K-0	6,15	6,14	6,18	6,18	6,19	6,18	6,21	6,30
		K-210	7,54	7,53	7,85	7,68	7,62	7,62	7,66	7,69
		SZ-2-150	7,93	8,01	8,05	8,07	8,13	8,13	8,11	8,09
		X/2-40	8,25	8,54	8,60	8,62	8,64	8,65	8,62	8,66
		S1-95	7,62	7,57	7,20	7,68	7,64	7,66	7,61	7,68
Cd	2000	K-0	5,31	5,34	5,32	5,32	5,33	5,33	5,42	5,40
		K-210	5,53	5,80	5,81	5,80	5,73	5,93	5,79	5,81
		SZ-2-150	5,35	5,71	5,82	5,81	5,77	5,85	5,83	5,84
		X/2-40	5,75	5,90	5,73	5,94	5,92	6,04	5,83	5,85
		S1-95	5,58	5,76	5,90	5,86	5,80	5,92	5,87	5,86
Cd	1000	K-0	5,53	5,48	5,53	5,51	5,50	5,51	5,60	5,61
		K-210	5,60	5,86	6,01	5,98	5,93	5,93	6,01	6,03
		SZ-2-150	5,64	5,85	5,96	5,94	5,82	5,06	5,82	5,84
		X/2-40	5,89	5,98	6,09	6,09	5,98	6,03	6,22	6,23
		S1-95	5,72	5,92	5,99	5,98	5,94	6,02	6,00	6,01
Cd	500	K-0	5,75	5,76	5,80	5,79	5,79	5,80	5,84	6,00
		K-210	5,94	6,10	6,08	6,22	6,10	6,13	6,14	6,15
		SZ-2-150	5,91	6,13	6,08	6,10	6,03	6,19	6,04	6,10
		X/2-40	6,00	6,25	6,24	6,35	6,30	6,43	6,33	6,35
		S1-95	5,95	6,15	6,16	6,15	6,07	6,15	6,16	6,15
Cd	200	K-0	6,03	6,06	6,14	6,08	6,13	6,12	6,23	6,40
		K-210	6,08	6,30	6,35	6,35	6,47	6,37	6,31	6,32
		SZ-2-150	6,05	6,35	6,30	6,29	6,36	6,32	6,27	6,25
		X/2-40	6,36	6,70	6,90	6,90	6,86	6,77	6,70	6,68
		S1-95	6,25	6,41	6,41	6,45	6,52	6,45	6,28	6,30
Cd	100	K-0	6,26	6,24	6,30	6,32	6,30	6,31	6,33	6,40
		K-210	6,38	6,60	6,60	6,46	6,59	6,53	6,39	6,41
		SZ-2-150	6,40	6,62	6,62	6,58	6,60	6,58	6,40	6,42
		X/2-40	7,96	8,13	8,20	8,21	8,22	8,17	7,67	7,68
		S1-95	6,54	6,60	6,68	6,54	6,72	6,66	6,44	6,40
Cd	50	K-0	6,41	6,52	6,57	6,61	6,60	6,62	6,60	6,45
		K-210	6,74	6,80	6,81	6,80	7,04	6,81	6,58	6,59
		SZ-2-150	6,71	6,78	7,01	7,05	7,01	6,90	6,60	6,62
		X/2-40	9,44	9,50	9,47	9,45	9,32	9,26	9,07	9,08
		S1-95	7,89	7,74	7,72	7,70	7,72	7,61	7,22	7,25

25. táblázat Az ólom, valamint az elem-keverék adszorpciójának oldat-kémhatás változása az időben

Elem	Koncentráció	Minta	pH							
			1h	2h	3 h	4 h	5 h	6 h	24 h	48 h
Pb	2000	K-0	4,43	4,43	4,48	4,44	4,47	4,48	4,60	4,58
		K-210	5,05	4,90	5,09	5,09	5,19	5,16	4,71	5,07
		SZ-2-150	5,20	5,15	5,31	5,54	5,63	6,17	7,11	7,63
		X/2-40	5,02	4,82	4,89	4,97	4,97	5,03	4,75	5,18
		S1-95	5,10	4,93	5,14	5,20	5,19	5,23	5,08	5,60
Pb	1000	K-0	4,63	4,69	4,68	4,66	4,68	4,70	4,74	4,78
		K-210	5,28	5,10	5,28	5,34	5,28	5,34	5,22	5,68
		SZ-2-150	5,50	6,27	7,67	7,83	7,72	7,73	7,39	7,80
		X/2-40	5,34	5,11	5,20	5,23	5,27	5,25	5,14	5,50
		S1-95	5,29	5,17	5,33	5,42	5,33	5,40	5,73	7,48
Pb	500	K-0	4,90	5,13	5,00	5,01	5,04	5,12	5,30	5,17
		K-210	5,61	5,56	8,82	6,07	6,28	6,64	7,30	7,80
		SZ-2-150	7,86	7,97	8,10	8,27	8,18	8,17	6,26	7,84
		X/2-40	5,92	5,75	5,94	6,02	6,04	6,14	7,63	6,74
		S1-95	5,61	5,55	5,92	6,37	6,96	7,54	7,33	8,00
Pb	200	K-0	5,36	5,43	5,44	5,47	5,48	5,46	5,61	5,86
		K-210	5,90	6,23	7,05	7,73	8,17	8,14	8,03	8,10
		SZ-2-150	8,57	8,47	8,54	8,50	8,47	8,47	8,21	8,22
		X/2-40	7,45	7,36	7,53	7,71	7,65	7,72	7,83	8,10
		S1-95	6,17	6,59	7,18	8,33	8,48	8,64	8,36	8,40
Pb	100	K-0	6,05	6,16	6,16	6,23	6,24	6,22	6,34	6,50
		K-210	6,92	8,37	8,48	8,58	8,57	8,87	8,55	8,30
		SZ-2-150	8,86	8,72	8,67	8,73	8,72	8,74	8,51	8,44
		X/2-40	9,89*	9,67*	9,65*	9,74*	9,72*	9,65*	9,54*	9,32*
		S1-95	8,72	8,93	9,01	9,06	9,00	9,02	9,00	8,85
Pb	50	K-0	6,67	6,67	6,63	6,72	6,74	6,76	6,75	6,70
		K-210	8,93	8,81	8,85	9,10	8,87	8,91	8,83	8,62
		SZ-2-150	9,21	9,10	9,11	9,14	9,12	9,07	9,10	8,82
		X/2-40	10,21*	10,16*	10,11*	10,13*	10,07*	10,81*	9,80*	9,63*
		S1-95	9,51	9,62	9,63	9,70	9,55	9,52	9,47	9,01
Ni, Cu, Zn, Cd, Pb	2000	K-0	2,37	2,48	2,53	2,46	2,47	2,50	2,43	2,63
		K-210	2,68	2,72	2,75	2,74	2,70	7,72	2,62	2,69
		SZ-2-150	3,30	3,50	3,53	3,53	3,40	3,43	3,25	3,08
		X/2-40	2,61	2,68	2,70	2,64	2,58	2,51	2,55	2,61
		S1-95	2,86	2,88	2,94	2,99	3,05	3,11	2,95	2,99
Ni, Cu, Zn, Cd, Pb	1000	K-0	2,73	2,82	2,87	2,88	2,88	2,85	2,79	2,81
		K-210	2,71	2,76	2,81	2,80	2,85	2,82	2,80	2,86
		SZ-2-150	3,05	3,09	3,15	3,28	3,18	3,20	3,25	3,22
		X/2-40	2,65	2,66	2,74	2,84	2,85	2,75	2,70	2,75
		S1-95	3,02	3,06	3,08	3,18	3,21	3,32	3,20	3,25
Ni, Cu, Zn, Cd, Pb	500	K-0	3,04	3,06	3,10	3,11	3,05	3,07	3,06	3,09
		K-210	3,33	3,25	3,35	3,39	3,40	3,38	3,35	3,39
		SZ-2-150	4,02	4,08	4,12	4,08	4,15	4,22	4,16	4,18
		X/2-40	3,11	3,15	3,12	3,18	3,28	3,22	3,22	3,25
		S1-95	3,66	3,59	3,54	3,61	3,66	3,69	3,74	3,76
Ni, Cu, Zn, Cd, Pb	200	K-0	3,57	3,64	3,64	3,64	3,60	3,59	3,41	3,54
		K-210	4,22	4,32	4,31	4,28	4,31	4,25	4,12	4,08
		SZ-2-150	4,66	4,68	4,72	4,61	4,62	4,60	4,52	4,55
		X/2-40	3,88	3,91	3,95	3,88	3,81	3,74	3,64	3,69
		S1-95	4,58	4,66	4,68	4,70	4,68	4,55	4,42	4,48
Ni, Cu, Zn, Cd, Pb	100	K-0	4,07	4,18	4,15	4,14	4,06	4,06	3,94	3,95
		K-210	4,88	4,94	4,99	4,83	4,81	4,77	4,61	4,63
		SZ-2-150	5,22	5,28	5,33	5,29	5,31	5,22	5,06	5,10
		X/2-40	4,01	4,11	4,21	4,18	4,15	4,08	3,86	3,91
		S1-95	5,22	5,18	5,31	5,35	5,28	5,19	4,96	4,99
Ni, Cu, Zn, Cd, Pb	50	K-0	3,96	3,96	3,96	3,96	3,85	3,88	3,80	3,78
		K-210	5,55	5,56	5,59	5,54	5,55	5,41	5,28	5,32
		SZ-2-150	5,99	6,11	6,08	6,01	6,10	6,05	6,01	6,04
		X/2-40	5,33	5,38	5,32	5,29	5,25	5,25	5,20	5,22
		S1-95	5,50	5,45	5,56	5,59	5,45	5,51	5,45	5,52

* nem ülepszik

1. ábra A „K” és „SZ-2” szelvények dendrogramjai



2. ábra Az „X/2” és „S1” szelvények dendrogramjai

