

## Limnogeológiai vizsgálatok alkalmazása környezeti állapot jellemzésére, a gyöngyösoroszi ipari-víztározó példáján

Cserny Tibor

Magyar Állami Földtani Intézet, 1143 Budapest, Stefánia út 14., cserny@mafi.hu

Prónay Zsolt

Magyar Állami Eötvös Lóránd Geofizikai Intézet, 1145 Budapest, Columbus utca 17-23., pronay@elgi.hu

**ÖSSZEFOGLALÁS:** A limnogeológiai vizsgálatokat hazai nagy tavainkon kívül számos kisebb taven, lápon és mocsári területen végeztünk el. A kutatások célja általában az elmúlt néhány ezer év paleokörnyezetének (éghajlat, vegetáció, hidrológiai viszonyok) rekonstrukciója volt, de mellette esetenként más kérdésekre is (pl. régészet, eutrofizáció, környezetszennyezés) is kerestük a választ. Az alkalmazott környezetföldtani feladatmegoldások egyik szép példája a Gyöngyösoroszi Ipari-víztározón elvégzett munka. Itt, egy környezetvédelmi feladat megoldása során eredményesen tudtuk alkalmazni a különböző földtani, geokémiai és geofizikai módszereket. Az elvégzett komplex kutatás célja a tározóban felhalmozódott üledék fontosabb tulajdonságainak megismerése, az iszap vastagságának meghatározása, továbbá a tározó feliszapolódási sebességének becslése volt. A legfontosabb eredmények az alábbiak szerint foglalhatók össze:

- A mintegy 4 hektárnyi víztározó legnagyobb mélysége (>15 méter) annak alsó harmadának közepén található. A vízszint 329,1 m-es Btszf. magassága mellett a tározóban lévő vízmennyiség 186.200 m<sup>3</sup>.
- Az Ipari-víztározóban megismert legnagyobb iszapvastagság három méter, mely értéket a tározó felső felében mértük. A tározóban felhalmozódott és ott jelenleg is megtalálható iszap mennyisége legalább 32.600 m<sup>3</sup>. A tározó üzemeltetési idejének (45 év) ismeretében kiszámított maximális feliszapolódási sebesség 6-7 cm/év. Ez az érték a tározó különböző pontján lényegesen eltérő, annak függvényében, hogy a mérési pont milyen távolságra van a tápláló patakok torkolatától, a túlfolyótól, továbbá a tározó medrének morfológiájától. A bányászati tevékenység szüneteltetése óta a feliszapolódás sebessége 1 cm/év értékre mérseklődött.
- Az Ipari-víztározóban lerakódott üledékeke felső, mintegy 60-70 cm vastag szakasza három rétegből áll: a víztesttel közvetlenül érintkező felső réteg, mely folyóvízi-tavi genetikájú; az alatta elhelyezkedő középső, mely tavi, kémiai üledék; és az alsó, ami szintén folyóvízi-tavi. A vizuálisan szétválasztott rétegcsoportok genetikai különbözősége ásványtani és kémiai tulajdonságaikban is tükröződik.

A mátrai vulkáni kőzetek átlagánál egy-két nagyságrenddel (tízszer, százszor) több arzén található a felső és alsó rétegcsoport üledékeiben, illetve kadmium, réz, ólom és szelén a középső rétegcsoport üledékeiben. A bór esetében a teljes rétegsorban, míg a cinknél a középső rétegcsoport üledékeiben három nagyságrenddel (ezerszeres mértékben!) magasabb értékeket lehetett kimutatni, mint a mátrai földtani háttéren. Az Ipari-víztározóban felhalmozódott üledék veszélyességét, elsősorban, a nagy mennyiségben jelen lévő arzén, kadmium, ólom, cink, réz és szelén jelenti.

**Kulcsszavak:** mederüledék mintázás, szonár mérések, földtani vizsgálatok, nehézfém szennyezés, iszapvastagság meghatározás, feliszapolódási sebesség

## 1 BEVEZETÉS

A Magyar Állami Földtani Intézetben a múlt század kilencvenes éveinek közepén indultak meg limnogeológiai vizsgálatok, elsősorban a balatoni komplex földtani kutatások módszertani és tudományos eredményeire épülve (Cserny 1999, 2002a). Az öt évig önállóan működő projekt vizsgálatait a Velencei-tavon, a Kis-Balatonon, továbbá néhány kisebb természetes eredetű lápon (Zsombói, Szőcei, Szalafői), tavakon (tihanyi tavak, Garancsi-tó) és mocsári területeken (Csesztreg, Szentgyörgyvölgy, Tapolcai-medence, Sárrét, Vörös-mocsár) végezte (Cserny 2002b). A kutatások elsődleges célja az elmúlt néhány ezer év paleokörnyezetének (éghajlat, vegetáció, hidrológiai viszonyok) rekonstrukciója volt, de mellette esetenként más kérdésekre is (pl. régészet, eutrofizáció, környezetszennyezés) kereste a választ. Később, a limnogeológiai kutatások súlypontja az alkalmazott feladatok irányába tevődött át. Ennek egyike a Gyöngyösoroszi Ipari-víztározón elvégzett vizsgálat sorozat, mely egyben a földtani, geokémiai és geofizikai módszerek közös alkalmazásának eredményességét is bemutatja a környezetvédelmi feladatok megoldása során (Cserny, Prónay 2003).

## 2 A KUTATÁS ELŐZMÉNYEI: A KÖRNYEZETI PROBLÉMA KIALAKULÁSA

A Nyugat-Mátrában előforduló színesfém teléreket már a középkorban ismerték, sőt kisipari módszerekkel, több alkalommal művelték is. A zöldkövesedett miocén kori andezitben szulfidos érctelérek húzódnak, melyek uralkodó ércásványai: a galenit (PbS), a szfalerit (ZnS), a pirit (FeS<sub>2</sub>) és alárendelten a kalkopirit (FeCuS<sub>2</sub>), de megemlíthető a telérek arany- és ezüsttartalma is. A területen 1949-ben indultak meg az újabb kutatások, amelynek eredményeire alapozva 1952-ben megalapították a Gyöngyösi Ércbánya Vállalatot. A gyöngyösoroszi bányában kitermelt ércet helyben törték és flotációs eljárással dúsították, majd a leválasztott színport külföldön kohósították (Kun 1988). A technológiai folyamatba 1962-ben, az üzem rekonstrukciója során a törés és flotálás közé nehéz-szuszpenziós elődúsítást iktattak. A négyféle (ólom, rezes ólom, cink és pirit) színpor leválasztása után a visszamaradt meddőt csővezetéken nyomatták fel a Szárazvölgyi flotációs meddőhányóra (Fügedi, Kuti 2005). A bánya működését, gazdaságossági okok miatt 1986-ban felfüggesztették (Fügedi et al. 2000).

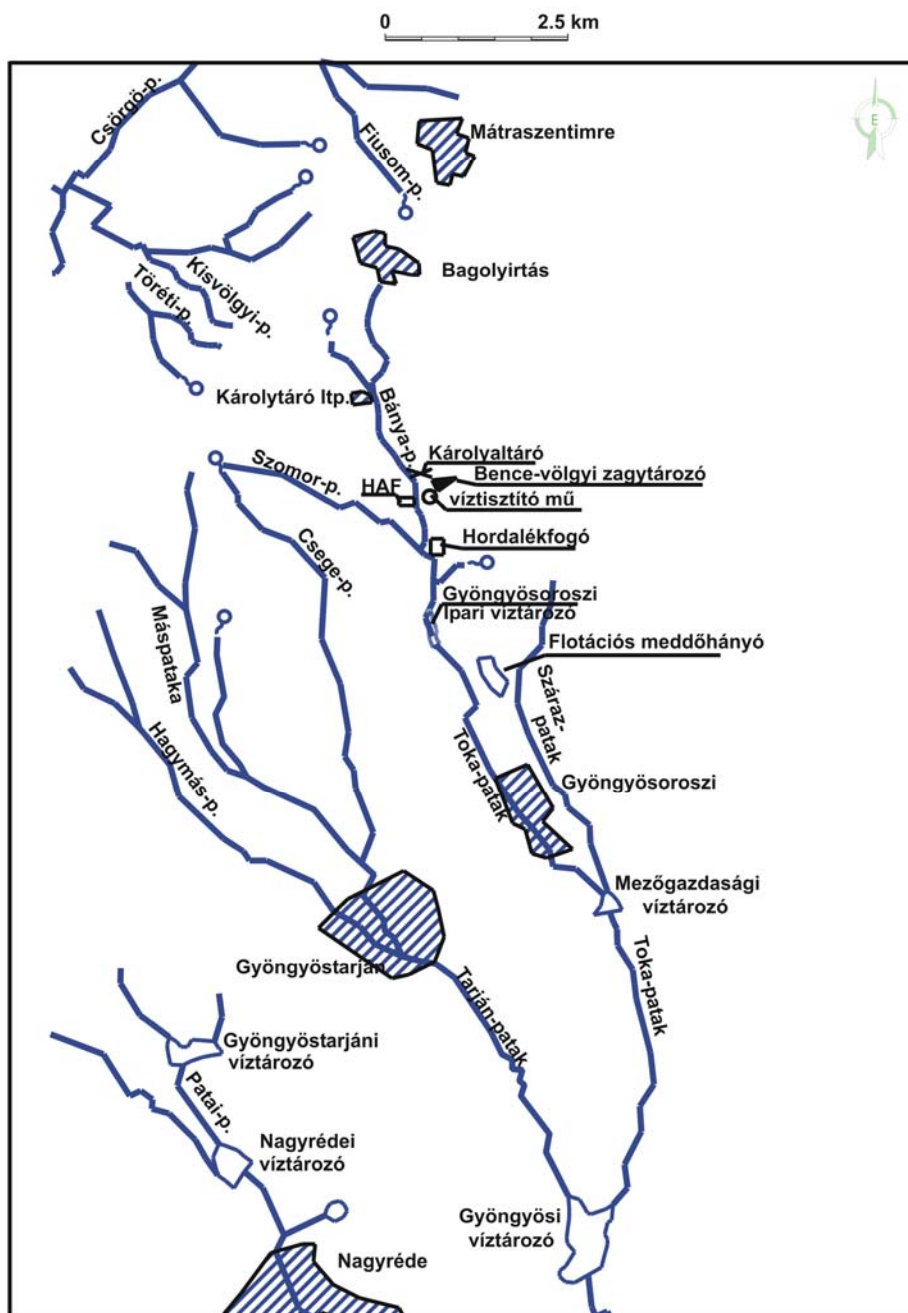
A bányászat és az ércelőkészítés során jelentős szerepet kapott a felszíni és felszín alatti víz. Az érctelérek lefejtése során folyamatosan csökkent a felszín alatti víz szintje. E miatt a munkaterületek szárazzá váltak, de az oxidatív körülmények következtében megindult a szulfidok mállása, ami a bányavíz jelentős mértékű elsavanyodásához (szélső esetekben 2,5–3,0 pH) vezetett. A bányából felszínre kerülő savas víz oldatban tartotta a vas, mangán, cink és egyéb toxikus fémeket. A bányavíz savas kémhatását több módon és helyen mészhidráttal hozzáadásával közömbösítették, a toxikus fémek jelentős részét csapadék (üledék) formájában kicsapatták. Ezt a műveletet 1983. óta pontos mérésekre alapozva, teljesen automatizált technológiával, a bányavíz felszínre jutásának közelében végzik (Hidrotech Kft, Mecsek-öko).

Az ércdúsító mű technológiája nagy mennyiségű ipari vizet igényelt. Ennek kielégítése érdekében a Toka-patak vizét visszaduzzasztották és felszíni víztározókat alakítottak ki. Először, a ma már üledékkel teljes mértékben feltöltődött ún. „hordalékfogó műtárgy” helyén lévő mesterségesen kialakított tóból nyerték a vizet, majd az 1952–1955 között megépült, és kb. 2 év alatt vízzel feltöltődött Ipari-víztározóból. Az utóbbi állandóan megfelelő mennyiségű vizet biztosított az ércdúsítónak, sőt évente 2-3 alkalommal sor került a víz leeresztésére is. Utóbbi beavatkozás a feles vízmennyiségek elvezetése mellett, elsősorban a mesterségesen kialakított tóban kiülededett iszap eltávolítását szolgálta.

Az ötvenes évektől az Altáróból kifolyó savas bányavíz előzetes kezelés nélkül közvetlenül a víztározóba ömlött, így állandósította a tó 4–4,5-ös pH értékét. Utóbbi közömbösítésére adagolt mésztej és az állandó levegőztetés (oxidáció) tekintélyes mennyiségű gipsz és vörös-iszap kiválását okozta, elsősorban a leürítő torony közelében, ahol az említett beavatkozás történt. 1983 óta a bányavizet az Altáró közelében megfelelő kezeléssel közömbösítik, majd a felszíni vízzel keveredve a Toka-patak medrében vezetik, ahonnan először a ma már teljesen feltöltődött „hordalékfogóba” kerül a víz. A mesterségesen kialakított üledékfogóban a patak hordalékának jelentős része kiülededik. Innen, a fenék és lebegő üledékektől mentes víz rövid, természetes pa-

takmederben az Ipari-víztározóba kerül. A tározó túlfolyóján átbukó, általában lebegő üledéktől mentes víz hosszabb utat megtéve a Toka-patak természetes úton kialakult medrében először az ún. Mezőgazdasági-tározóba, onnan pedig Gyöngyösroszi községen át a Gyöngyös–Rédei-víztározóba jut (1. ábra).

## ÁTTEKINTŐ HELYSZÍNRAJZ



1. ábra. Gyöngyösroszi környékének és a Toka-patak völgyének áttekintő térképe

A Toka-patak medrének és a patakon létesített víztározók üledékeinek környezetállapot felmérését Gyöngyösroszi község Önkormányzatának megrendelésére az Észak-Magyarországi Környezetvédelmi Felügyelőség végezte el. A kutatás a Toka-patak völgyének teljes szakaszára kiterjedt, sőt a Száraz-ér völgyére is. Az egyes műtárgyak iszapjának felszínéről begyűjtött minták laboratóriumi méréseinek átlagértékeit és mediánját az 1. táblázat szemlélteti.

1. táblázat

| Mintavétel helye | min-ta db | pH    |        | Pb (mg/kg) |        | Zn (mg/kg) |        | Cd (mg/kg) |        | Fe (mg/kg) |        |
|------------------|-----------|-------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
|                  |           | átlag | medián | átlag      | medián | átlag      | medián | átlag      | medián | átlag      | medián |
| H.F.M            | 16        | 7,60  | 7,84   | 659,15     | 261,50 | 16980      | 15650  | 171,45     | 64,45  | 84075      | 69950  |
| I.V.             | 30        | 7,04  | 7,13   | 273,00     | 257,00 | 17500      | 11950  | 186,10     | 150,00 | 81613      | 82650  |
| M.V.             | 15        | 6,93  | 6,90   | 739,93     | 755,00 | 2957       | 2850   | 14,56      | 14,30  | 54213      | 54500  |
| Gy.R.V           | 30        | 7,31  | 7,18   | 31,40      | 40,40  | 895        | 850    | 3,39       | 2,52   | 35600      | 41600  |
| Mintavétel helye | min-ta db | pH    |        | Cr (mg/kg) |        | Mn (mg/kg) |        | As (mg/kg) |        | Cu (mg/kg) |        |
|                  |           | átlag | medián | átlag      | medián | átlag      | medián | átlag      | medián | átlag      | medián |
| H.F.M            | 16        | 7,60  | 7,84   | 9,47       | 8,15   | 3422       | 1715   | 832,61     | 338,00 | 284,34     | 186    |
| I.V.             | 30        | 7,04  | 7,13   | 11,98      | 12,20  | 5205       | 3670   | 475,91     | 478,50 | 223,83     | 138,5  |
| M.V.             | 15        | 6,93  | 6,90   | 26,58      | 26,40  | 901        | 870    | 97,67      | 94,30  | 162,47     | 163    |
| Gy.R.V           | 30        | 7,31  | 7,18   | 19,35      | 23,10  | 430        | 440    | 40,59      | 25,60  | 53,2       | 71     |

Megjegyzés: H.F.M. = hordalékfogó műtárgy, I.V. = Ipari-víztározó, M.V. Mezőgazdasági-tározó, Gy.R.V. = Gyöngyös-nagyrédei tározó

A Környezetvédelmi Felügyelőség vizsgálatainak eredményeiből világossá vált, hogy egyrészt a Toka-patak teljes medre és ártere nehézfémekkel szennyezett, másrészt az ipari és a mezőgazdasági víztározó vizsgált üledékének nehézfém szennyezettsége kritikusnak minősíthető. Az iszap felszíni mintáiban előforduló ólom, cink, kadmium és arzén, többszörösen, sőt esetenként nagyságrendekkel is meghaladja a 10/2000. VI. 2. rendeletben megadott határértékeket (ÉMO KÖFE 1996).

### 3 A LIMNOGEOLÓGIAI KUTATÁS CÉLJA ÉS MÓDSZEREI

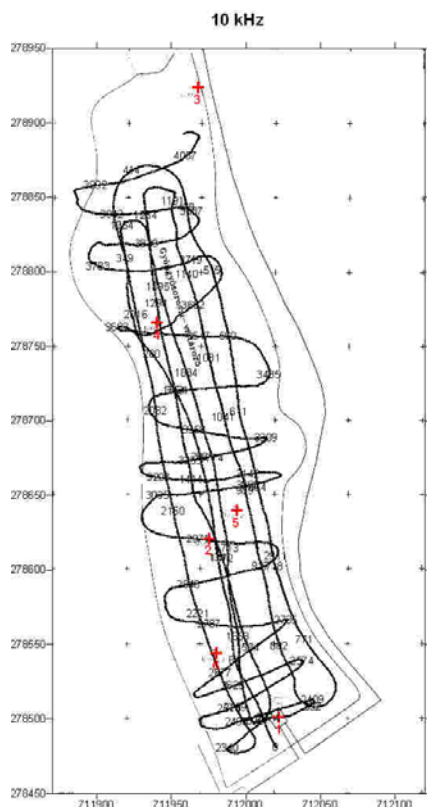
Az elvégzett komplex földtani kutatás célja az Ipari-víztározóban felhalmozódott üledék fontosabb tulajdonságainak megismerése, az iszap vastagságának meghatározása, továbbá a víztározó feliszapolódási sebességének becslése volt.

A kitűzött cél érdekében a hat ponton megmintáztuk a víztározó üledékeit, kilenc kilométer hosszúságú szonár mérést végeztünk a vízen (2. ábra) és a mintákon több tucatnyi laboratóriumi elemzést végeztünk el.

A mintavételezés 5 cm átmérőjű, 65–75 cm hosszú, átlátszó, tefloncsővel, vákuummódszerrel történt, csónakból kézi erővel, 12–15 méter vízmélység alól. A kiszűrt üledékoszlop hossza 25–70 cm között változott. A helyszínen a rétegsorokat dokumentáltuk, majd a vizuálisan szétválasztott rétegeket 3-5 cm-es szakaszonként folyamatosan megmintáztuk. A szedimentológiai, ásványtani és geokémiai laborvizsgálatokat rétegtípusonként végeztük el, míg a fizikai állapotjellemzőket, izotóp és pH méréseket egyenlő mélységközönként. A szedimentológiai és az ásványtani vizsgálatok a Magyar Állami Földtani Intézetben, a geokémiai elemzések a Bálint Analitika Kft-ben, az izotóp meghatározások az Országos Élelmiszervizsgáló Radiológiai Laboratóriumában készültek el.

A vízi geofizikai szelvényezés szonár módszerrel, folyamatos digitális regisztrátumok készítésével történt, átlagosan fél méter csatornaközzel. A módszer mesterségesen keltett rugalmas hullámok visszaverődéseinek elemzésével határozta meg a vizsgált üledékösszlet vastagságát és szerkezetét. A rutinszerűen alkalmazottaknál egy nagyságrenddel magasabb frekvenciák használata lehetővé tette a sebesség és sűrűség inhomogenitások kimutatását akár 1 cm alatti felbontással is. A méréseket a módszer szempontjából kedvező külső körülmények között végeztük,

ugyanis a vízmélység a várt iszapvastagságnál nagyobb volt, így a többszörösök (a fenék és a vízfelszín között ide-oda verődő, alig csillapodó hullámok) sok problémát jelentő eltávolításával nem kellett foglalkozni (Prónay, Törös 2001a, Prónay et al. 2002).



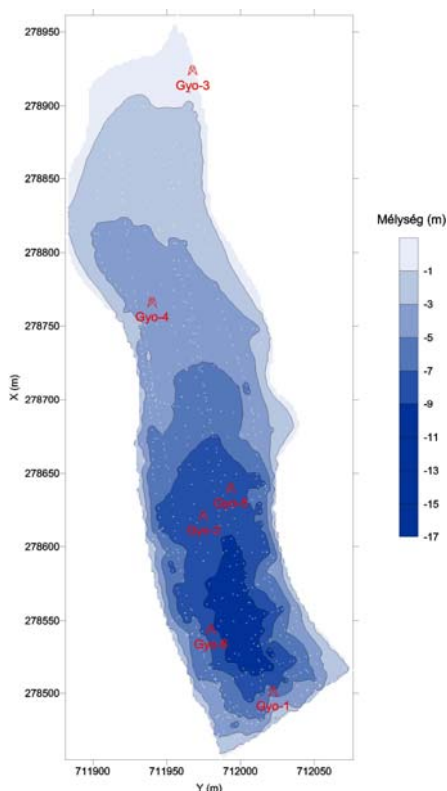
2. ábra. A geofizikai mérések és mederfúrások (mintavételezések) helyszínrajza

#### 4 LIMNOGEOLÓGIAI VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI

##### 4.1 Az Ipari-víztározó hidrológiai tulajdonsága

Jelenleg a víztározó kb. 430 m hosszú és 100-120 m széles, azaz mintegy 4 hektárnyi területű. A maximális vízmélység meghaladja a 15 métert. A vízszint Balti tengerszint feletti magassága a gátnál: 329,1 m.

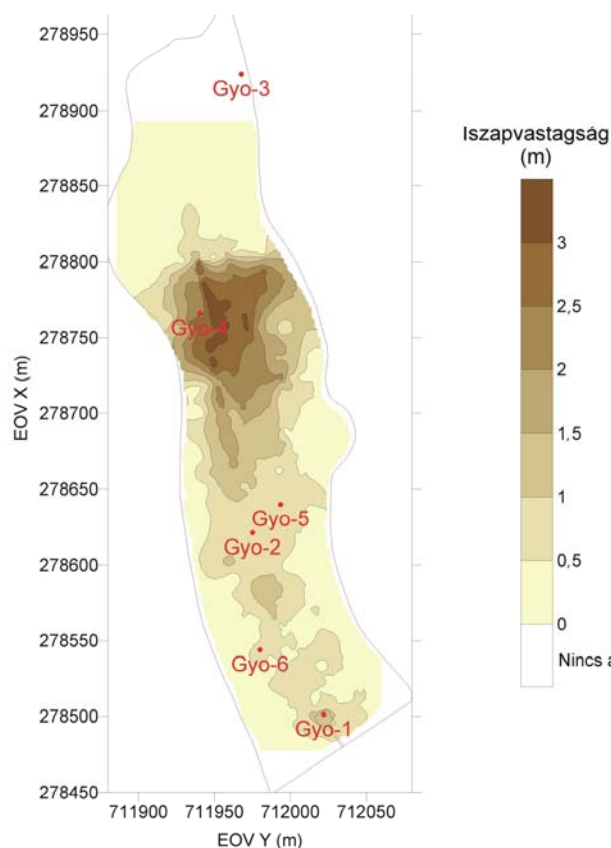
A szonár mérések eredményeként elkészült a víztározó vízmélység térképe (3. ábra). A térképen látható, hogy a maximális vízmélység a tározó alsó harmadának közepén található. A vízmennyiség kiszámításánál először interpolációval egyenközű rácsba transzformáltuk a mért adatokat, azzal a határfeltétellel, hogy a tó szélén a vízmélység nulla. A következő lépésben a Simpson-szabály felhasználásával számítottuk ki a tó térfogatát. A víztározó geometriai méreteinek ismeretében, a mért geofizikai szelvények sűrűségének megfelelő pontossággal a tározó vízmennyisége 186.200 m<sup>3</sup>.



3. ábra. A Gyöngyösoroszi Ipari-víztározó vízmélység térképe

#### 4.2 Az Ipari-víztározóban mért iszapvastagság

A geofizikai szelvényezés lehetővé tette az iszapréteg vastagságviszonyainak (4. ábra) megismerését, továbbá az üledékben tapasztalt szerkezetek meghatározását is. A mintavételezés eredménye és a rétegek laboratóriumban meghatározott állapotjellemzőinek ismerete közvetlenül hozzájárult az egyes szerkezetekhez tartozó üledéktípusok azonosításához és térbeli kiterjesztéséhez. A víztározóban megismert maximális iszapvastagság 3 méter körüli, mely értéket a tározó északi felében mértük, ugyanakkor a minimális 1,0 méter körüli üledék a déli, mélyebb vízzel borított részen található.



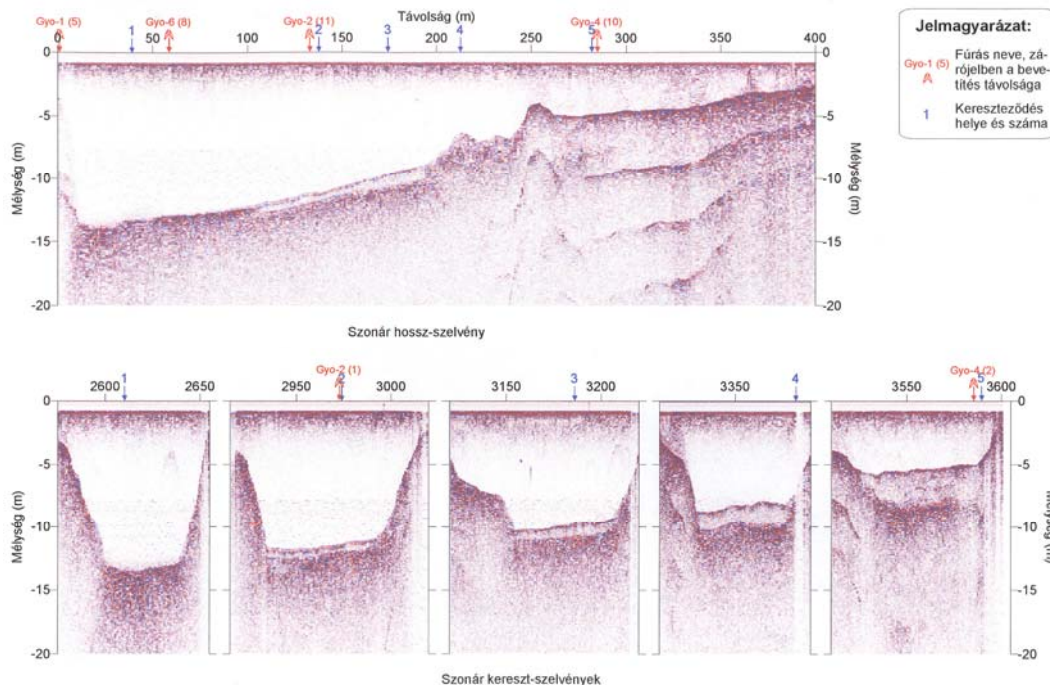
4. ábra. A Gyöngyösorszi Ipari-víztározóban felhalmozódott iszap vastagsági térképe

Az iszap fenti eloszlásának oka két dologgal magyarázható: először, a víztározóba bejutó patak folyási sebességének hirtelen csökkenése miatt a torkolat környezetében rakódik ki a szállított üledék nagy része. E folyamat hatását erősíti annak a víz alatti iszapfogó gátnak a megléte, mely az 5. ábra hosszanti szelvényének 250-es pontjában látszik.

A víz alatti gát meglétéről a szonár szelvényen kívül egy korábbi terv szöveges része tesz említést, mely a tározó feletti „hordalékfogó” mellett egy másik ilyen műtárgy megépítését is dokumentálja. E gát előtt tapasztalható a víztározóban mért maximális vastagság, míg a gát másik oldalától délre, a folyási iránnyal megegyező rész felé eső mederrészen a finomszemcsés üledék jóval nagyobb területen lényegesen vékonyabb vastagságban terül szét. Ez jól látható a keresztirányú szonár szelvényeken (5. ábra). Másodszor, a víztározó déli, gáthoz közelebb eső térségében a vártnál vékonyabb iszapvastagság kialakulása azon hidraulikai folyamat következménye, mely a bányatevékenység felfüggesztéséig, azaz az 1980-as évek elejéig működött. Eszerint a víztározó leürítő tornyában lévő fenéktolózárát évente néhány alkalommal kinyitották, mely alkalmakkor a leeresztett víz nagy mennyiségű üledéket is magával vitt. A tolózárán át kizúduló víz szívóhatásának következtében elsősorban a torony közelében korábban keletkezett koloidszerű vegyi üledékek távoztak a mederből. A mederüledékek megoszlását szabályzó, fentebb említett két folyamat miatt a víztározóban képződött üledék felhalmozódási sebességét pontosan meghatározni nem lehet. Amennyiben a mért legnagyobb üledékvastagság 3 m és a



víztározó üzemeltetésének kezdete óta eltelt 45 év alapján számolunk, akkor a *feliszapolódás maximális sebessége* 6-7 cm/év, a leeresztő tolózár körzetében *minimálisan* 2 cm/év. Ez az érték a víztározó többi pontján e két érték között mozog, annak függvényében, hogy a mérési pont milyen távolságra van a tápláló patakok torkolatától, a vegyi üledéket termelő beadagolás helyétől, valamint a tározó medrének morfológiájától (pl. kisebb mélyedések, dombok, eredeti lejtő stb.).

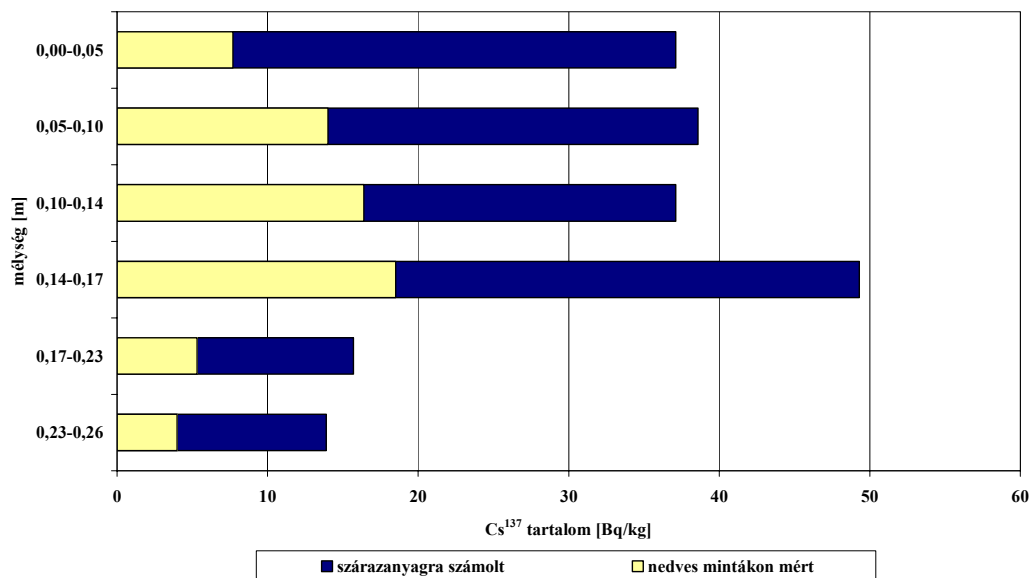


5. ábra. A GyöngyöSOROSZI Ipari-víztározón mért hosszanti és néhány keresztirányú szonár szelvény

A feliszapolódás sebessége az eltelt idő alatt többször is változhatott, a Toka-patakon levő nagyobb árvizek, valamint a bányászatot kísérő és a víztározó limnológiai rezsimjét meghatározó emberi beavatkozások miatt. A feliszapolódás jelenlegi (azaz a bányászati tevékenység szüneteltetésétől számított) sebességének meghatározására legalkalmasabb helynek a víztározó közepe tűnt, míg módszerének a Balatonon és más kisebb tavakon már jól bevált „cézium-módszer” (Cserny, Tarján 1995). Utóbbi lényege, hogy a tavi képződmények felső rétegeiben megtalálhatóak azok a radioaktív izotópok (cézium, ólom, kálium stb.), amely csak a légköri atomrobbantások óta kísérhetők nyomon a légkörben. A kiülepedett céziumnak a rétegekben általában két maximum értéke mutatható ki: az 1964-es atomcsend egyezmény előtti év és az 1986-os csernobili baleset maximumai. Utóbbiak alapján becsülhető a tó feliszapolódásának sebessége. Az Ipari-víztározó esetében, mely csupán 1955 óta „termeli” az üledéket, csak a „csernobili marker” kimutatásának volt értelme. A Gyo-2 mederfúrás rétegoszlopát használtuk fel az említett mérés elvégzésére, mivel ez megfelelő távolságra volt a víztározót tápláló és „többlet üledéket produkáló” patakok torkolatától, illetve a túlfolyó esetleges „iszapelszívó” hatásától. A mederfúrás cézium szelvényén (6. ábra) a 14-17 cm-es mélységben szépen kirajzolódik a csernobili maximum.

Ez azt jelenti, hogy a *feliszapolódás napjainkban mérhető sebessége 1 cm/év körüli*. Ez a sebesség csak látszólag mond ellent a fentebb meghatározott értékeknek, mivel a korábbi években a tározóban folytatott bányavíz kezelésekor a vegyi üledékek kicsapódása jóval intenzívebb volt, mint napjaink üledékképződése. A „cézium markerrel” meghatározott érték átlagos helyen és nyugodt körülmények között lerakódó, elsősorban tavi genetikájú üledékre vonatkozik, mely napjainkra jellemző. A 6. ábráról az is leolvasható, hogy a nukleáris balesetet megelőzően nagyon alacsony volt a területre hulló cézium értéke, melynek több mint duplája mérhető napjainkban (35 Bq/kg szárazanyagra [sz.a.] vonatkoztatva). Mivel az üledékképződés sebessége hasonló más, kisebb-nagyobb méretű tavakban mért értékekkel, az Ipari-víztározó egységnyi

szárazanyag tömegére vonatkoztatott cézium mennyisége összehasonlítható a Balatonból (100–150 Bq/kg sza.), a Velencei-tóból (70–80 Bq/kg sza.), vagy a Garancsi-tóból (140 Bq/kg sza.) származó mérési eredményekkel. Az összevetés alapján elmondható, hogy a jelenleg vizsgált víztározó iszapjának cézium mennyisége csupán fele vagy harmada a Dunántúlon mért értékeknek.



6. ábra. A Gyo-2 fúrás Cs<sup>137</sup> szelvénye

A bemutatott szonár szelvényeken jól látszanak a víztározó fenekének és az iszap aljzatának egyenetlenségei, továbbá a keményebb fenék miatt jelentkező ún. „többszörösök” is. A kereszt-szelvényeken balról jobbra haladva nyomon követhető az iszap vastagságának növekedése és — különösen a jobb szélsőn — az üledéken belüli rétegzettség is. A mintavételi pontokon kiszúrt maximum 70 cm-es rétegsorok és annak fizikai paraméterei segítettek ugyan a geofizikai szelvények értelmezését, de természetesen nem jellemzik a mintegy 3 m vastagságú teljes tavi üledéksort. Ez azt jelenti, hogy a szemléletes geofizikai képhez nem köthető direkt földtani értelmezés.

A szonár mérések alapján meghatározható, a kutatási helyszínrajzon látható szelvénytűsűrűség megbízhatóságával, a víztározóban felhalmozódott iszap mennyisége is, mely eléri a 32.600 m<sup>3</sup> értéket. A számításai alapját képező szelvényeken a legnagyobb sűrűségváltozást mutató réteghatárt vettük aljzatnak, azaz a volt völgytalpnak. Mivel a helyszíni mintavételek adatai alapján a sűrűség növekedése a mélységgel nem monoton, kisebb sűrűségű betelepülések fedezhetők fel, a legnagyobb sűrűségkontraszt, bár nagy valószínűséggel, de nem feltétlenül az aljzatot jelenti. Mindezek alapján a lerakódott hordalék vastagsága bizonyos helyeken nagyobb is lehet, mint az értelmezett, ezért a kiszámított iszapmennyiség a szóba jöhető minimális érték. A számítást az előző fejezetben ismertetett algoritmussal végeztük.

#### 4.3 Az Ipari-víztározóban felhalmozódott üledék tulajdonsága

##### 4.3.1 A mederfúrások elvi rétegsora

A víztározóban geofizikai módszerrel meghatározott maximálisan 3 m vastag iszaprétegnek csupán a felső, maximum 70 cm-es szakasza lett megmintázva (1. fénykép).





1. fénykép

A megismert rétegek látható külső jegyei (színe, szerkezete), fizikai állapotjellemzői és ásványtani összetétele alapján elvégzett rétegcsoportosítás alapján az alábbi összevont elvi rétegoszlop felállítására volt lehetőség:

**Felső rétegcsoport:** *agyagos kőzetliszt*, több-kevesebb szervesanyag-tartalommal. Színe alapján további két részre osztható: feketére és sötétszürkére. A rétegcsoport tetején 1-2 cm vastag, fekete vagy maximum 5 cm vörösbarna kolloid üledék van. A fekete 5-13 cm, a sötétszürke 4-31 cm vastag. A rétegcsoponton belül a két üledéktípus kaotikusan keveredhet, köztük éles réteghatár nem jellemző. Genetikáját tekintve *fluvio-lakusztikus* (folyóvízi, tavi) üledék. Alsó réteghatára általában éles. A rétegcsoport vastagsága 13–31 cm között változik.

**Középső rétegcsoport:** *kőzetliszt*, általában világos vagy vörösbarna színű, de a Gyo-6 fúrásban fekete, vörösbarna, zöldeskék és drapp, illetve e színek keveredése. A rétegcsoport vastagsága 21–46 cm között változik. *Tavi eredetű, vegyi üledék*, melynek színe a kiülepedés alatti és utáni redox viszonyok függvényében válik igazán szélsőségessé. Az alsó réteghatár éles, jól kijelölhető.

**Alsó rétegcsoport:** *kőzetliszt*, agyagos (sok szempontból hasonlít a „felső rétegcsoport”-hoz). Színe fekete, majd sötétszürke, esetenként azok váltakozása, maximum 2–5 cm vastagságban. Rétegcsoponton belül a rétegek határa elmosódik, kaotikus pettyek és foltok is jellemzőek. *Fluvio-lakusztikus* üledék, melyet teljes vastagságában átfúrni nem tudtunk.

#### 4.3.2 Az üledékek néhány fizikai paramétere és állapotjellemzője

A szemcseeloszlást illetően a víztározó teljes területén és az általunk vizsgált mélységtartományban egyveretű kőzetlisztet találtunk, mely minimális agyagot (5–8%) és homokot (6–9%) tartalmaz. A kumulatív görbék lefutása meredek, az egyenlőtlenségi együttható (U) 2 és 6 között mozog.

Négy rétegszelvény mintáinak pH értékét mértük meg laboratóriumban (desztillált vizes oldás): a Gyo–3 (a víztározó északi végén, a patakok befolyása környékén), a Gyo–4 (a víztározó közepén), a Gyo–6 (a túlfolyó közelében) és a Gyo–1 (a torony lábánál) pontokét. A mért pH értékek 6,5–7,5 között váltakoztak, de egyértelmű trendek sem horizontálisan, sem vertikálisan nem tapasztalhatóak. Általában, a fiatalabb üledékek gyengén savasak voltak (6,6–6,9 pH), míg a mélyebb helyzetben lévők gyengén lúgosak (7,0–7,3 pH).

Nagyon érdekes és értékes információt adtak a mederfúrások nedvességtartalom és térfogatsúly szelvényei (7. a–d ábra).

A természetes trendek a hosszabb fúrásokon (Gyo–1, –5 és –6) jól látszódnak, de egyes részletek a rövidebb (Gyo–4) rétegsoron is kivehetőek. Az említett állapotjellemző paramétereket ábrázoló grafikonokon általában három szakasz jól elkülöníthető:

- A felső rétegek, melyek az igen lágy ( $\gamma = 1,1 \text{ g/cm}^3$ ,  $W = 90\%$ ) állapottól kezdődően fokozatosan tömörödnek ( $\gamma = 1,5 \text{ g/cm}^3$ ,  $W = 65\text{–}70\%$ ).
- Alatta, éles váltással következnek a középső rétegek, melyek  $\gamma = 1,2\text{–}1,3 \text{ g/cm}^3$  és  $W = 90\%$  értékekről a mélység felé  $\gamma = 1,4 \text{ g/cm}^3$  és  $W = 70\text{–}80\%$ -ra változnak.
- Szintén nagyon karakterisztikus eltéréssel következnek az alsó rétegek, melyeknek térfogatsúlya a mélység felé  $1,5 \text{ g/cm}^3$  értékről akár  $2,0 \text{ g/cm}^3$ -re nő, illetve nedvességtartalma  $W = 60\%$ -ról  $45\%$ -ra csökken.

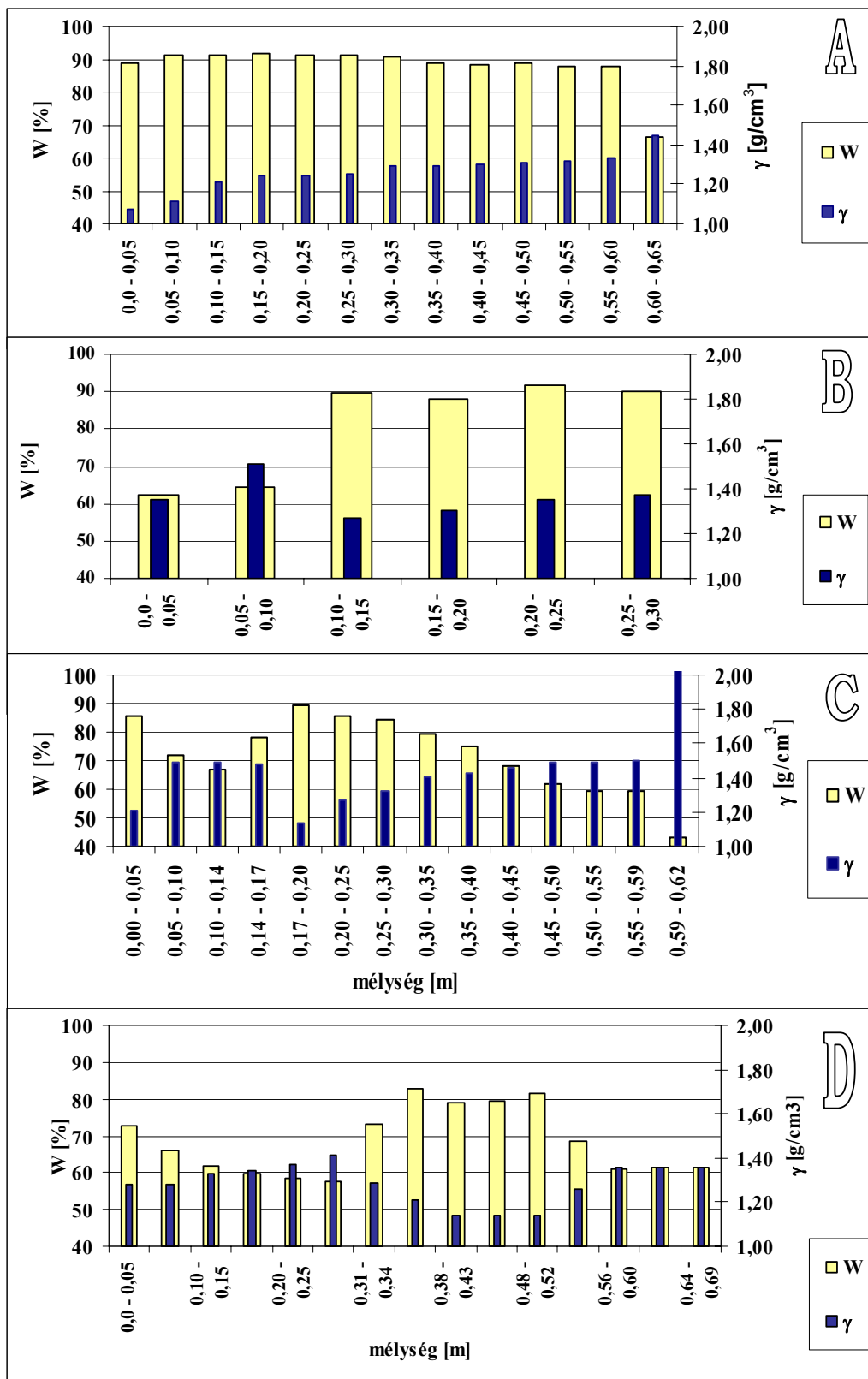
Az állapotjellemzőkben tapasztalt éles váltások, melyeket a makroszkópos rétegleírásoknál is észlelni lehetett és az ásványtani összetétel is igazolt, a víztározó hidrológiai rezsimében bekövetkezett egyértelmű és jelentős mértékű változásokat igazolja.

#### 4.3.3 Az üledékek ásványtani összetétele

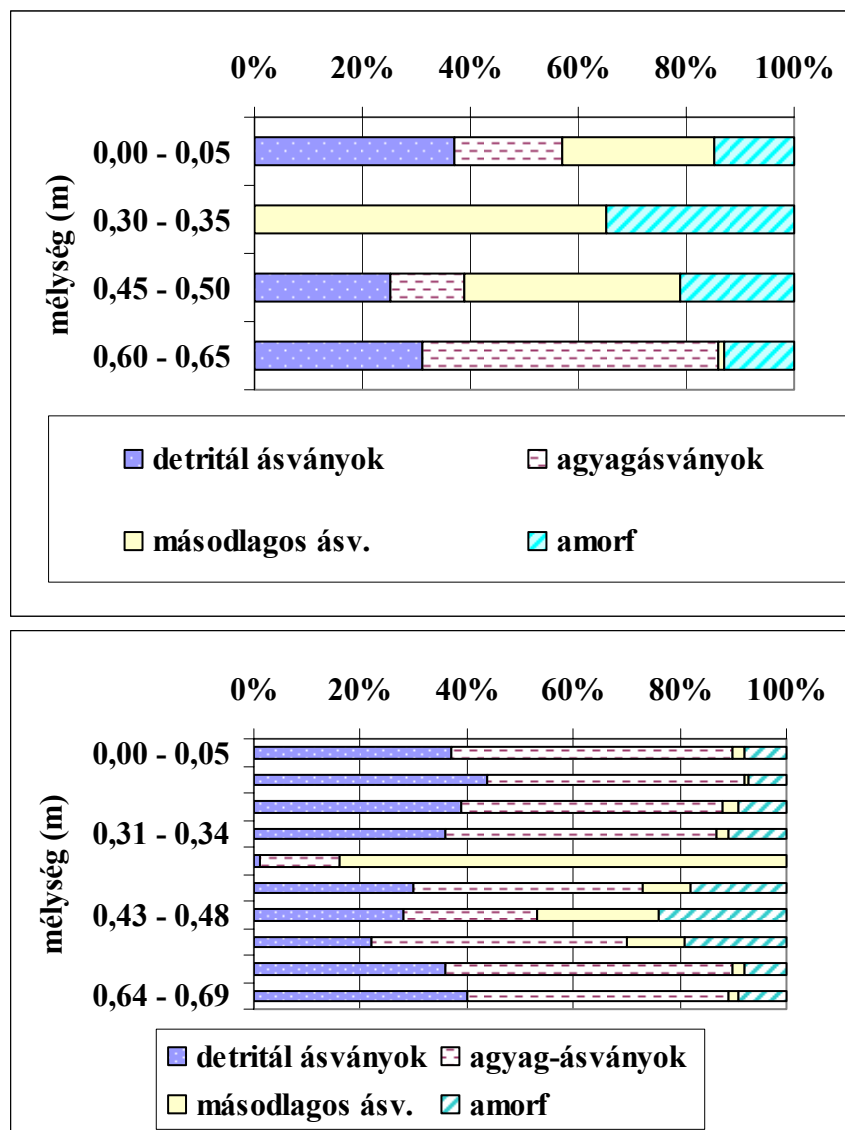
A két leghosszabb fúrás (Gyo–1 és Gyo–6) rétegsorában azonosítható volt mindazon rétegtípus, melyet a többi mederfúrásban megtaláltunk. Ezért, utóbbi két rétegsorból gyűjtöttük ki azt a 14 mintát, melyek közül legalább 3–4 minta reprezentálja az előző fejezetben szétválasztott mindhárom rétegcsoporthoz, illetve az azokon belül kiválasztható kisebb rétegeket. Az eredmények jobb áttekinthetősége érdekében az ásványokat genetikájuk szerint csoportosítottuk, és értékeik változását a mélység függvényében a 8. ábrán mutatjuk be.

Az eredmények helyes értelmezése érdekében meg kell jegyezni, hogy a minták vizsgálat előtti kiszáritása  $80^\circ\text{C}$  körül, szárítószekrényben történt. Ez eredményezhetett bizonyos, bár nem túl jelentős vízvesztést néhány víztartalmú ásvány esetében. Ugyanakkor a nagy mennyiségben mért amorf mellett kis mennyiségben megjelenő ásványok léte meglehetősen bizonytalan. Erre utal az is, hogy ezek nagy része igen ritka és nagyon labilis ásvány (pl. otavit, huntit, karminit, despujolsit, mannaseit, hidrotalkit stb.).

Az ábrán szereplő első ásvány csoportba a kőzetalkotó törmelékes ásványokat soroltuk be, úgy, mint a kvarcot, földpátokat és a piroxént. Ezek az ásványok a környezetet alkotó kőzetekből származnak, azok erodálásának termékei. A második csoportban a kőzetalkotó ásványok mállásából keletkezett agyagásványok szerepelnek, mint pl: szmektit, illit, kaolinit, klorit. A harmadik csoport olyan átalakult és területidegen ásványokat tartalmaz, mely a savas bányavizek és a közömbösítésére a víztározóba adagolt mészhidrátt hatására jött létre, vagy abból származik (pl: gipsz, anglezit, goethit, kalcit, rodokrozit, otavit, huntit, karminit, despujolsit, mannaseit, hidrotalkit).



7. ábra. A Gyo-1 (A), Gyo-4 (B), Gyo-5 (C) és Gyo-6 (D) fúrások rétegsorának térfogatsúly és nedvességtartalom változása



8. ábra. Gyo-1 és a Gyo-6 fúrás rétegsorának ásványtani összetétele

A negyedik csoportban amorf fázisú anyagok szerepelnek, melyek lehetnek szerves anyagok vagy kolloid vegyi csapadék. Környezetföldtani jelentősége az utóbbi három csoportba tartozó ásványoknak és anyagoknak van, jelentős fajlagos felülettel rendelkeznek (kolloidképződésre hajlamosak), melynek nagy szerepe van a határfelületi jelenségek (adszorpció, ioncsere) kialakulásában, elsősorban a rendszerbe jutó nehézfémek megkötésében. Néhány irodalmi adat (Filep 1988) a fontosabb kolloid fajlagos felületére ( $\text{m}^2/\text{g}$ ): kaolin 10–30, illit 80–120, szmektitek 60–600, klorit 10–40, Fe- és Al-hidroxidok 0,5–1,0 és humusz (amorf anyag) 150–300. A határfelületi jelenségek elsősorban az oldatban (az adott esetben a víztározó vizében) lévő anyagkoncentrációtól, a pH-tól, hőmérséklettől és a redox viszonyoktól, továbbá az üledék szemcsenagyságától, illetve ásványos összetételétől függenek. Utóbb említett paraméterek értékeikben bekövetkező változások tükröződnek a minták toxikus elemtartalmában, változásaik trendjében. Természetesen, az összefüggés nagyon bonyolult, hiszen több paraméter ismeretlen, mint pl. a korábbi években befolyó bányavíz paraméterei, a víztározó hidrológiai rezsimébe történő emberi beavatkozás mértéke.

Az ásványtani összetétel vizsgálatának eredményei alátámasztják a makroszkóposan és az állapotjellemző tulajdonságok segítségével elvégzett rétegcsoportosítás helyességét. Az ún. **felső** és **alsó rétegcsoport** egymáshoz igen hasonló és nagyon élesen elválnak a **középső** csoportba sorolt rétegektől. Az első és harmadik csoportra 35–45% törmelékes, 45–55% agyagásvány tartalom és alig 10%-nyi átalakult ásvány és amorf anyag jellemző. Ezek az üledékek természetes

eredetűek, vagyis a víztározó közvetlen környezetéből származnak, areális és lineáris erózió, illetve defláció útján kerültek a vízbe, majd ülepedtek ott ki. A második rétegcsoporthoz tartozó összetételében az előzőekkel összehasonlíthatatlanul nagyobb szerepet kapnak a másodlagosan képződött ásványok és amorf anyagok. A rétegcsoporthoz tartozó apró rétegecskék között jelentős különbségek is előfordulnak. A törmelékes ásványok aránya 0–35%, míg az agyagásványok is csupán 25–45% között mozognak. Olyan rétegek is vannak, melyek másodlagos ásványi és amorf része 85–100% között van. Ásványtani összetétele alapján a második rétegcsoporthoz tartozó üledék, mely minden valószínűség szerint mesterséges, emberi beavatkozás hatására (a savas bányavíz mézhidrátos kezelésekor) helyben keletkezett.

#### 4.3.4 Az üledékek toxikus elem tartalma

Környezeti állapotfelmérések során elsődleges fontosságú a földtani háttér ismerete. A háttér és az anomália szétválasztása - különösen a geokémiai mérési eredmények helyes értelmezése érdekében - rendkívül fontos (Csathó 1994, Filep 1988, Kádár 1998, Takács 1992). A vulkanikus kőzetekből felépített területeken, mint pl. a Mátrában, néhány toxikus elem tartalma (azaz a földtani háttér értéke) meghaladhatja a más területeken mért anomália értékeket (Ódor et al, 1998a,b). A Mátva vulkáni eredetű kőzeteire vonatkozóan Fügedi et al. (2000) munkájából ismeretes toxikus elem értékek (mg/kg) az alábbiak (vastagabb számmal kiemelve az átlagértékeket) (2. táblázat):

2. táblázat

|    |                        |
|----|------------------------|
| Ag | < <b>0,4</b> –0,4      |
| As | 1,7– <b>6</b> –23      |
| Ba | 41– <b>130</b> –270    |
| Cd | < <b>1</b> –3,5        |
| Co | 5– <b>12</b> –26       |
| Cr | 3– <b>11</b> –20       |
| Cu | 2– <b>15</b> –28       |
| Mn | 270– <b>1000</b> –3300 |
| Mo | < <b>1</b> –1          |
| Ni | 3– <b>11</b> –28       |
| Pb | 6– <b>20</b> –45       |
| Zn | 37– <b>65</b> –170     |

GyöngyöSOROSZI térségében, ahol a vízgyűjtőn polimetallikus ércesedés fejlődött ki, a színes és ritkafémek helyi határértékei a fentiektől eltérőek is lehetnek (Fügedi et al. 2000) (3. táblázat):

3. táblázat

| Elem\ \mg/kg | Ártéri háttér <sup>1*</sup> | Tarján-p. ártere | Pannóniai üledék 1 | Pannóniai üledék 2 | Toka-p. vízgyűjtő |
|--------------|-----------------------------|------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| Ólom         | 38,7                        | 32,0             | 26,2               | 55,3               | 75,0              |
| Cink         | 76,0                        | 107,0            | 87,0               | 110,0              | 210,0             |
| Réz          | 42,0                        | 44,0             | 61,0               | 67,0               | 75,0              |
| Arzén        | 37,0                        | 23,0             | 23,0               | 16,0               | 80,0              |
| Kadmium      | Nincs adat                  | Nincs adat       | 0,3                | 0,3                | 2,5               |

<sup>1\*</sup> – a patakok felső folyásairól gyűjtött, ártéri minták alapján becsült háttérértékek

Toxikus elemeket tartalmazó talajok és üledékek jellemzése esetében a szennyezettségi határértékek (mg/kg) ismerete nélkülözhetetlen. A 10/2000 számú közös miniszteri rendelet (2000) eredményeképpen meghatározott szennyezettségi határértékek (B érték) bizonyos elemek esetében nagyon közel esnek a talajokban tapasztalható átlagos mennyiség felső határához (4. táblázat). Emellett természetes folyamatok révén is létrejöhetnek a talajokban olyan elemeldúsulások, amelyek a B értéket akár nagyságrendekkel is meghaladhatják, de nem tekinthetők szennyezés-

nek. A talaj összes elemtartalma nem elérhető a növények számára, azaz nem jut be az élővilágba, azonban mint potenciális mennyiséget, ismernünk kell (Sipos, Póka 2001).

4. táblázat

|    | Átlagos mennyiség talajban (a, b) | B érték (szennyezettségi határérték) (d) | Természetes eredetű szélsőséges érték (a, b, c) | Maximálisan felvehető mennyiség az összes tartalom %-ában (d) |
|----|-----------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Cr | 50-200                            | 75                                       | 3500                                            | 5                                                             |
| Co | 10-15                             | 30                                       | 300                                             | 30                                                            |
| Ni | 15-30                             | 40                                       | 5000                                            | 20                                                            |
| Cu | 15-40                             | 75                                       | 250                                             | 20                                                            |
| Zn | 50-100                            | 200                                      | 900                                             | 20                                                            |
| As | 0,1-15                            | 15                                       | n.a.                                            | 38                                                            |
| Se | 0,1-3                             | 1                                        | 120                                             | 7                                                             |
| Mo | 1-2                               | 7                                        | 101                                             | 27                                                            |
| Cd | 0,01-2                            | 1                                        | n.a.                                            | 20                                                            |
| Sn | 1-5                               | 30                                       | 50                                              | n.a.                                                          |
| Ba | 100-500                           | 250                                      | 3000                                            | n.a.                                                          |
| Hg | 0,01-5                            | 0,5                                      | n.a.                                            | 11                                                            |
| Pb | 15-30                             | 100                                      | 1200                                            | 12                                                            |
| Ag | 1-2                               | 2                                        | 30                                              | n.a.                                                          |

Amennyiben a határérték rendszert alkalmazzuk a Mátrát felépítő vulkáni eredetű kőzetek esetében, akkor a földtani háttér maximális arzén, bárium és kadmium tartalma meghaladja a szennyezettségi (B kategória) értékét, a kobalt, nikkel, ólom és cink maximális mennyisége pedig a B-kategórián belülre esik. A Gyöngyösoroszi és környékét magába foglaló vízgyűjtő területén még a vulkáni kőzetekhez képest is magasabb értékekkel lehet számolni, a polimetallikus ércesedésnek köszönhetően, elsősorban arzén, cink, ólom és réz vonatkozásában. Mindezeket a tényeket feltétlenül figyelembe kell venni a területen elvégzett saját méréseink eredményének értelmezésekor.

Fentieket kiegészítve, meg kell jegyezni, hogy egyelőre vitatott a felszíni vizek (patakok, folyók, tavak, víztározók stb.) üledékében akkumulálódott szennyeződés megítélése. Több országban erre külön határértékrendszert dolgoztak ki.

A Gyöngyösoroszi Ipari-víztározóban mélyült Gyo-1 és Gyo-6 mederfúrások gondosan kiválogatott rétegeinek toxikus elemtartalom vizsgálatát a hazai környezetvédelmi gyakorlatban már elfogadott, kétféle feltárást követő módon a Bálint Analitika Kft végezte el. A porminták toxikus fém vizsgálata először 1:10-es acetátpufferes kivonatból készült, ennek eredménye az „élőlények által felvehető” értékére utal. Ezt követően királyvizes feltárással az „összes tartalom” meghatározását végezték el. Az adott esetben a királyvizes kioldással meghatározott értékeknek van nagyobb informatív tartalma, hiszen az acetátpufferes kivonatu értékek csak az adott körülmények (pH, redox-viszonyok, hőmérséklet) között lévő, víz alól származó üledékekre vonatkoznak. Ezek a mérési eredmények az üledék felszínre kerülésével megváltozhatnak.

A könyvtárat kitevő szakirodalom a környezetünkben (és szervezetünkben) előforduló és általunk is vizsgált toxikus elemeket (*Ag, As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Se, Sn, Zn*) többféleképpen definiálja, mint pl:



Tömegük szerint nyom- (mikro) elemeknek, melyek a szervezetben 100 mg/kg-nál kisebb koncentrációban vannak jelen.

Funkciójuk (hatásirányuk) szerint feloszthatóak úgy, mint:

- Esszenciális nyomelemek, bizonyítottan esszenciális funkciókkal: pl. Zn, Cr, Cu, Se.
- Nyomelemek, melyek hiánytünete csak állatoknál ismert: pl. Co, Ni, Mo.
- Nyomelemek feltételezett esszenciális funkciókkal, de a hatásmechanizmus ismeretlen: pl. As, Sn.
- Esszenciális funkciók nélküli elemek: pl. B, Pb, Cd.

A továbbiakban a KöM-EüM-FVM-KHVM együttes rendeletében (2000) szereplő értékekkel hasonlítjuk össze mért eredményeinket. A kiértékelésnél szereplő határértékek, és azok definíciója a következő:

**A** = háttér-koncentráció, átlagos magyarországi viszonyokra. Ez az érték nem tartalmaz sem természetes, sem mesterséges anyagdúsulásokat, szennyeződéseket. **B** = szennyezettségi (valódi) határérték, amely koncentrációig a környezeti elem terhelése nem jár nagy kockázattal. **C<sub>i</sub>** = intézkedési érték, amelynél nagyobb koncentráció esetén a kockázat elviselhetetlenül nagy, a környezeti elem károsodott, azaz beavatkozás nélkül helyreállíthatatlannak tekinthető. Az „i” index azt jelöli, hogy a terület érzékenységtől függően a határérték változhat (**C<sub>1</sub>**-fokozottan érzékeny; **C<sub>2</sub>**-érzékeny; **C<sub>3</sub>**-kevésbé érzékeny terület).

Az Ipari-víztározóból származó minták toxikus elemtartalmát pH = 6,62–7,38 közötti közegre vonatkozóan adjuk meg.

1. Az **ezüst (Ag)**: A mátrai vulkáni kőzetek átlagához (<0,4 mg/kg) képest a felső és alsó rétegcsoport üledékeinek ezüst tartalma (max. 0,42–0,88 mg/kg) kissé magasabb, de a 10/2000-es rendeletben meghatározott alsó értéket alig meghaladó mértékben.

2. Az **arzén (As)**: A mátrai vulkanitok átlagánál (6 mg/kg) egy-két nagyságrenddel több arzént (max. 266–3.490 mg/kg) tartalmaznak az üledékek. Még a növények által felvehető maximális érték is (12,4 mg/kg) eléri a „B” szennyezettségi kategóriát (10–15 mg/kg), 4%-os oldhatósági arány mellett. A felső és az alsó rétegcsoport üledékeinek arzéntartalma magasabb, mint a középőé (9. d ábra).

3. A mátrai kőzetek **bór (B)** tartalmára vonatkozó összehasonlító paraméterekkel nem rendelkezünk. Irodalmi adatok szerint talajban általában 20 mg/kg, élőlényekben 0,5–50 mg/kg közötti értékek fordulnak elő. A fűrészek üledékei az említetteknek akár 3 nagyságrenddel több bór tartalmaznak (max. 11.100–13.000 mg/kg), kiegyensúlyozottan magas értékek mellett. Említésre méltó, hogy a minták bór tartalmának oldhatósági aránya közel állandó értéket mutat (0,02–0,03 %), azaz a növények által felvehető bór átlagosan 3 mg/kg körül mozog. A bór tartalmának ilyen magas értékét magyarázni nem tudjuk, nem kizárható a vizsgálatok szisztematikus hibája sem, minden esetre a minták más laborban történő újra mérése folyamatban van.

4. Az üledék teljes **bárium (Ba)** tartalma a felső és alsó rétegcsoportok esetében (max. 113–187 mg/kg) a mátrai vulkanitok átlagánál (130 mg/kg) kissé magasabb értékeket mutat, és az idézett rendeletben szereplő „B” szennyezettségi kategóriába (150–250 mg/kg) esik.

5. A **kadmium (Cd)** királyvízzel kioldható maximális értékeit (322–384 mg/kg) a középő rétegcsoportba sorolt üledékekben találtuk, ami a hegységre jellemző átlagnál (1 mg/kg) két nagyságrenddel magasabb, és még az acetátpufferes kioldású („felvehető”) mennyiség is (max. 14–190 mg/kg) a „C” szennyezettségi kategóriába (>50 mg/kg) esik (9. c ábra).

6. A **kobalt (Co)** összes koncentrációja (11,9–87,9 mg/kg) a Mátrában előforduló átlag értékeknél (12 mg/kg) magasabb, és a rendelet szerinti „B” szennyezettségi (15–30 mg/kg) kategóriába tartozik. A középő rétegcsoport üledékeinek kobalt tartalma (max. 63,5–87,9 mg/kg) még azon belül is kiemelkedő (**C<sub>1</sub>** kategória), sőt a könnyen kioldható maximális érték (15,6–22 mg/kg) is a „B” szennyezettségi kategóriában található.

7. A rétegek összes **króm (Cr)** tartalma a mátrai kőzetek átlaga (11 mg/kg) körüli, habár az alsó rétegcsoporthoz kissé magasabb (max. 16,2 mg/kg), de még az is a földtani háttérértékeken belülre esik.

8. Az üledékek teljes **réz (Cu)** tartalma minden esetben magasabb, mint a mátrai vulkáni kőzetek átlaga (15 mg/kg); sőt a középső rétegcsoporthoz akár egy nagyságrenddel is (32–910 mg/kg). A felső és az alsó rétegcsoporthoz üledékeinek réztartalma a „B” (30–100 mg/kg), míg a középső rétegcsoporthoz maximuma a „C<sub>3</sub>” szennyezettségi kategóriába (>400 mg/kg) sorolható (9. a ábra).

9. Az üledékek „teljes” **molibdén (Mo)** tartalma általában a földtani háttér értékhatárain (<3 mg/kg) belül, a mátrai vulkanitokra jellemző átlag (<1 mg/kg) körüli értéket mutatja.

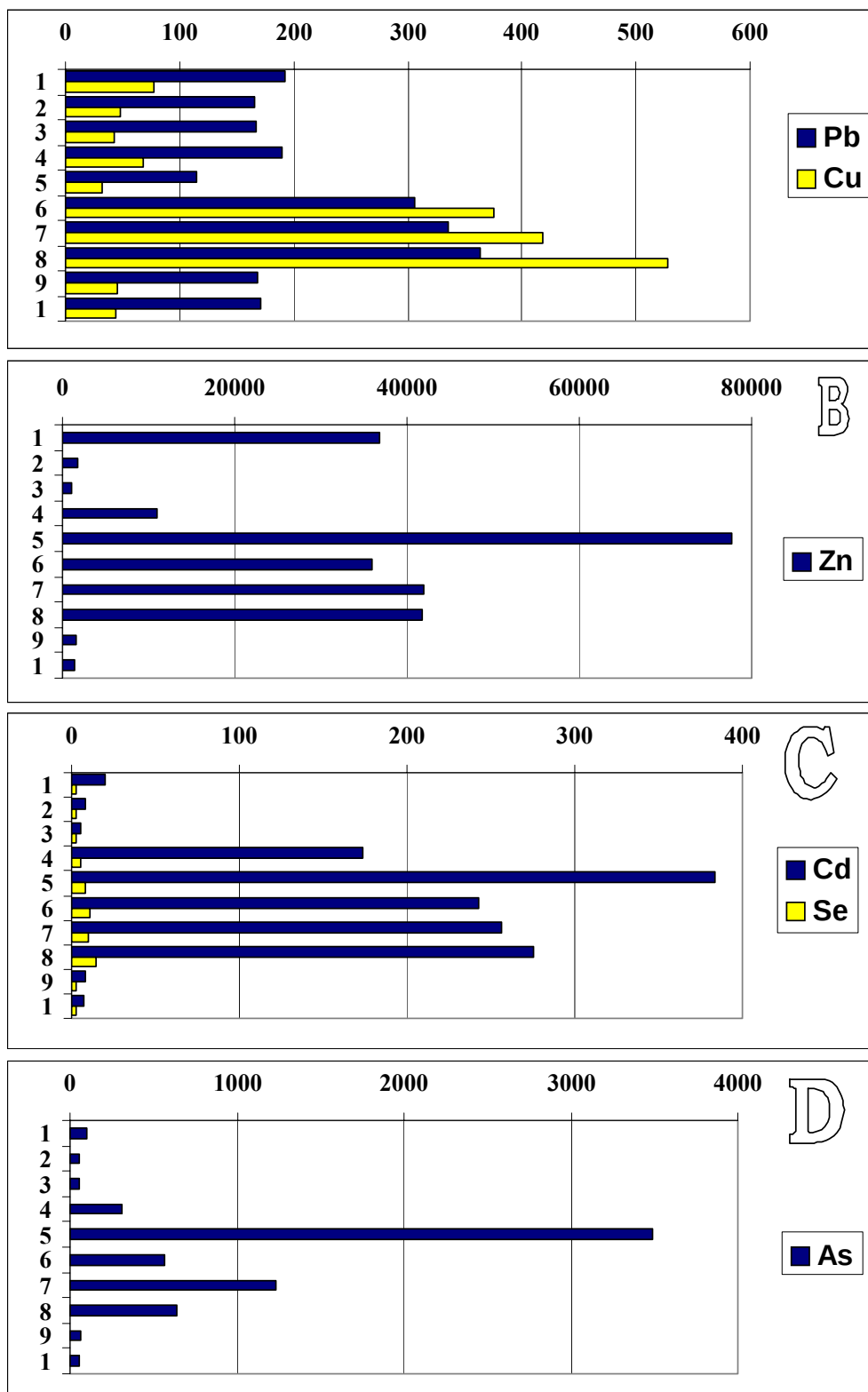
10. A vizsgált minták **nikkel (Ni)** tartalma a Mátra kőzeteinek átlagánál (11 mg/kg) magasabb, de még a „B” szennyezettségi kategórián (25–40 mg/kg) belül található meg. Az üledékek maximális nikkel tartalma (32,3–73,4 mg/kg) a középső rétegcsoporthoz jellemző, és értéke kb. a kétszerese a felső és alsó rétegcsoporthoz, elérve a „C” szennyezettségi szintet.

11. Az üledékek összes **ólom (Pb)** tartalma minden esetben egyenletesen magas (115–720 mg/kg) és „C” kategóriába tartozik. A hegység vulkáni kőzeteinek átlagánál (20 mg/kg) egy nagyságrenddel magasabb értékek közül a középső rétegcsoporthoz és az alsó rétegcsoporthoz felső rétegeinek maximális koncentrációi (360–720 mg/kg) kiemelkednek (9. a ábra).

12. A **szelén (Se)** tartalomra helyi összehasonlító paraméterekkel nem rendelkezünk. Irodalmi adatok szerint, általában a talajban 1 mg/kg, az élőlényekben 0,2–1,7 mg/kg közötti értékek fordulnak elő. Az Ipari-víztározó üledékei hasonló nagyságrendben tartalmazzák szelént (0,6–5,0 mg/kg), maximum értékei (13,0–14,6 mg/kg) a középső rétegcsoporthoz képződményeihez tartoznak. Szinte valamennyi mért érték a szennyezettségi határértéket meghaladja, és érzékeny területre vonatkoztatott beavatkozást igénylő szinten van (9. c ábra).

13. Az üledék királyvízzel kioldható **ón (Sn)** tartalma nem haladja meg az ismert földtani háttér-koncentráció értékét (<5 mg/kg), sőt a növények által felvehető ón mennyisége néha a laboratóriumi mérések kimutathatósági határa alatt van.

14. A víztározó üledékeinek **cink (Zn)** tartalma a Mátra vulkáni kőzeteinek átlagos koncentrációjánál (65 mg/kg) akár három nagyságrenddel magasabb is lehet (1.010 – 89.000 mg/kg), de még a minimum is a „C<sub>3</sub>” szennyezettségi kategóriába (>250 mg/kg) esik. Maximális cinktartalom a középső rétegcsoporthoz ismert (77.700 – 89.000 mg/kg), melynél egy nagyságrenddel alacsonyabb cink van a felső és alsó csoport rétegeiben (9. b ábra).



9. ábra. A Gyo-6 fúrásrétegek királyvizes kivonatának ólom és réz tartalma (A); cink tartalma (B); kadmium és szelén tartalma (C); és arzén tartalma (D)

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A Gyöngyösoroszi Ipari-víztározóban elvégzett limnogeológiai kutatás célja a felhalmozódott üledék mennyiségének és minőségi paramétereinek (fizikai és geokémiai tulajdonságainak) meghatározása volt. Az elvégzett kutatás legfontosabb eredményei az alábbiak szerint foglalható össze:

- A mintegy 4 hektárnyi víztározó legnagyobb mélysége (>15 méter) annak alsó harmadának közepén található. A vízszint 329,1 m-es Btszf. magassága mellett a tározóban lévő vízmennyiség 186.200 m<sup>3</sup>.
- Az Ipari-víztározóban megismert legnagyobb iszapvastagság három méter, mely értéket a tározó felső felében mértük. A víztározóban felhalmozódott és ott jelenleg is megtalálható iszap mennyisége legalább a 32.600 m<sup>3</sup>.
- A víztározóban mért maximális iszapvastagság (3 m) és a tározó üzemeltetési idejének (45 év) ismeretében kiszámított maximális feliszapolódási sebesség 6–7 cm/év. Ez az érték a víztározó különböző pontján lényegesen eltérő, annak függvényében, hogy a mérési pont milyen távolságra van a tápláló patakok torkolatától, a túlfolyótól, továbbá a meder morfológiájától. A bányászati tevékenység szüneteltetésével (mely majdnem egybeesik a csernobili reaktorbaleset idejével) megváltoztak a víztározó limnológiai körülményei, mely változás után a feliszapolódás sebessége 1 cm/év körüli értékre csökkent.
- A víztározónak és vízgyűjtőjének a csernobili reaktorbalesetből származó céziumizotópterhelése a dunántúli területekhez viszonyítva annak mindössze 30–50%-a.
- A víztározóban megismert rétegeket három csoportba lehet beosztani: a víztesttel érintkező felső rétegcsoporthoz, mely folyóvízi-tavi genetikájú; az alatta elhelyezkedő középsőbe, mely tavi, kémiai üledék; és az alsóba, ami szintén folyóvízi-tavi. A fizikai ismérvek alapján szétválasztott rétegcsoporthoz genetikai különbözősége az ásványtani és kémiai vizsgálatok eredményeiben is meglátszik.
- A felső és alsó rétegcsoporthoz alkotó ásványasszociációk hasonlóak egymáshoz, míg a középső lényegesen eltér azoktól. Előbbieket főképpen törmelékes és agyagásványok alkotják, utóbbit másodlagos ásványok és amorf anyagok építik fel.
- A Gyöngyösoroszi Ipari-víztározó üledékeinek pH-ja 6,62–7,38 között változik.
- Az üledékek króm, molibdén és ón tartalma a földtani háttér határain belüli mozgog. A felső és az alsó rétegcsoporthoz képződményeinek ezüst- és a báriumtartalma, továbbá a középső rétegcsoporthoz rétegeinek kobalt és nikkel-tartalma magasabb a mátrai vulkáni kőzetekben mért átlag értékeknél.
- A mátrai vulkáni kőzetek átlagánál egy–két nagyságrenddel (tízszor, százszor) több arzén található a felső és alsó rétegcsoporthoz üledékeiben, illetve kadmium, réz, ólom és szelén a középső rétegcsoporthoz üledékeiben. A bór esetében a teljes rétegsorban, míg a cinknél a középső rétegcsoporthoz üledékeiben három nagyságrenddel (ezerszeres mértékben!) magasabb értékeket lehetett kimutatni, mint amit a mátrai földtani háttér indokol.
- Az Ipari-víztározóban felhalmozódott üledékből vett 14 db minta toxikus elemtartalmának megoszlását a veszélyességi kategóriák szerint a 6. táblázat szemlélteti. A táblázatból jól látszik, hogy az üledékek veszélyességét elsősorban a nagy mennyiségben jelen lévő kadmium, továbbá arzén, ólom, cink, réz és szelén jelenti. A Környezetvédelmi Minisztérium utasítása szerint a *kadmium* mérgezőképessége, hosszú élettartama, a szervezetben való feldúsulása alapján az anyagcsaládok I. jegyzékébe (legveszélyesebb) tartozik. Az arzén, ólom, cink réz és szelén az anyagcsaládok II. jegyzékében (a környezetre veszélyes) szerepel.

*Kérdés, hogy az adott helyzetben mennyire veszélyes a fentiekben jellemzett üledék?* Jelenleg az üledék 3–15 méter víz alatt, reduktív körülmények között (esetenként H<sub>2</sub>S képződik) található. Innen, ha emberi beavatkozás (pl. víz leürítés a tolózárón keresztül) vagy természeti katasztrófa (pl. gátszakadás) nem történik, még a legnagyobb árvíz idején sem történhet meg a már felhalmozódott üledék eltávozása. A „cézium-markerrel” meghatározott feliszapolódási sebesség (1 cm/év) mellett a víztározó még hosszú ideig betöltheti környezetvédelmi puffer-terület szerepét. Utóbbi azt jelenti, hogy bizonyos fokú biztonságot nyújt a Toka-patak felsőbb folyásánál a kifo-

lyó szennyezett bányavíz ellenőrzött körülmények között folytatott kezelése során esetleg bekövetkező környezeti baleset esetén. A felhalmozódott iszap megbolygatásának és eltávolításának alapos átgondolása célszerű, hiszen a nyolcvanas évek közepén az üledékképződés körülményeiben bekövetkezett változás mindenképpen jó irányba mutat. A tömöttebb, inert ásványokat és közetmálladékot tartalmazó, tavi és részben folyóvízi üledék egyre nagyobb vastagságban kezd betakarni a korábban kirakódott, különösen veszélyes kémiai üledékeket. Figyelembe kell venni azt is, hogy az iszap toxikuselem-tartalma nem veszélyezteti a felszín alatti vizek (talajvíz, rétegvíz, hasadékvíz) minőségét sem, hiszen a víztározó a felszín alatti vizek feláramlási zónájában helyezkedik el, továbbá a korábban kiüledett iszap igen finomszemcsés, jó vízzáró agyagos közetliszt.

6. táblázat

|    | Ag |    | As |    | Ba |    | Cd |    | Co |    | Cr |    | Cu |    | Mo |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|    | KV | AP | KV | AP | KV | AP | KV | AP | KV | AP | KV | AP | KV | AP | KV | AP |
| A  | 14 | 14 |    | 14 | 14 | 14 |    | 6  | 5  | 14 | 14 | 14 | 6  | 12 | 14 | 14 |
| B  |    |    |    |    |    |    |    | 3  | 9  |    |    |    | 2  |    |    |    |
| C1 |    |    |    |    |    |    |    | 1  |    |    |    |    |    | 2  |    |    |
| C2 |    |    | 3  |    |    |    | 4  | 1  |    |    |    |    | 2  |    |    |    |
| C3 |    |    | 11 |    |    |    | 10 | 3  |    |    |    |    | 4  |    |    |    |

|    | Ni |    | Pb |    | Se |    | Sn |    | Zn |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|    | KV | AP | KV | AP | KV | AP | KV | AP | KV | AP |
| A  | 12 | 14 |    | 13 |    | 5  | 14 | 14 |    |    |
| B  | 2  |    | 1  | 1  | 6  | 9  |    |    |    | 1  |
| C1 |    |    | 11 |    | 4  |    |    |    |    | 3  |
| C2 |    |    | 1  |    | 4  |    |    |    | 4  | 1  |
| C3 |    |    | 1  |    |    |    |    |    | 10 | 9  |

|                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------|
| A - háttérkoncentráció                                                               |
| B - szennyezettségi határértéket meghaladó koncentráció                              |
| C1 - intézkedési határértéket meghaladó koncentráció fokozottan érzékeny területeken |
| C2 - intézkedési határértéket meghaladó koncentráció érzékeny területeken            |
| C3 - intézkedési határértéket meghaladó koncentráció kevésbé érzékeny területeken    |

Megjegyzés: KV= királyvízes kivonatban mért érték; AP=1:10 acetát pufferes oldatban mért érték

Ugyanakkor tény, hogy a szennyezett üledék eltávolítását, valamint a fenékleürítő műtárgy és az árapasztó csatorna rekonstrukcióját követően – a jelenleginél alacsonyabb üzemi vízszint mellett – a víztározó hasznosítása előtt több lehetőség, így jóléti hasznosítás is kínálkozik, de mindenekelőtt alkalmassá válik árvízcsúcs-csökkentő funkció betöltésére.

## 5 UTÓSZÓ

A 2000-ben általunk elvégzett vizsgálatokat követően 2003. és 2005. között a Repét Kft., a MECSEK-ÖKO Zrt. és az Enviroinvest Kft. végzett mintavételezéseket, illetve mederfúrásokat az Ipari-víztározón. A mederüledékeken elvégzett geokémiai vizsgálataik eredményeit a 16/2001 (VII.18.) KöM és a 44/2000 (XII.27.) EüM rendeletek figyelembevételével minősítették. Megállapították, hogy hasonló anyagok, üledékek a fenti rendeletekben rögzített veszélyes hulladékok jegyzékében nem szerepelnek. Az iszap átlagos nehézfém tartalma egyetlen nehézfém esetében sem éri el a H3-H11 veszélyességi jellemzőkhöz tartozó koncentráció értékeket.

Az iszapot azonban a benne található magasabb arzén és cink tartalom miatt előzetesen öko-toxikológiai vizsgálatnak vetették alá az Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálat Környezetbiológiai Laboratóriumában. A 98/2001 (VI. 15.) Kormányrendelet 1 melléklete, E) 2.13. pontja alapján az iszapot H14 veszélyességi jellemző szempontjából nem tekintették környezetre veszélyes anyagnak. (H14–Környezetre veszélyes: anyagok és készítmények, amelyek a környezetbe jutva a környezet egy vagy több elemét azonnal vagy meghatározott idő elteltével károsítják, illetve a környezet állapotát, természetes ökológiai egyensúlyát, biológiai sokféleségét megváltoztatják). A 16/2001. (VII. 18.) KöM rendeletben szereplő EWC (Európai Hulladék Katalógus) kódjául a „17 05 06 Kotrási meddő, amely különbözik a 17 05 05-től” minősítést javasolták. („17 05 05 – veszélyes anyagokat tartalmazó kotrási meddő”). Fentiek alapján a tározóban felhalmozódott képződmény nem minősül veszélyes hulladéknak, csupán kotrási meddőnek tekinthető.

Ezek alapján a hatósági engedélyek birtokában (MECSEK-ÖKO Zrt. 2007), a MECSEK-ÖKO Zrt. – a gyöngyösoroszi ércbányászat teljes körű felhagyásának beruházási programja keretében – 2007-ben a víztározóból a vizet leereszti a Toka-patakba, majd tervezi a szikkasztott és kitermelt iszapot a Szárazvölgyi-zagytározón elhelyezni, mészhidráttal történő kémiai stabilizálást követően.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Munkánkat az Ipari-víztározó jelenlegi kezelői teendőivel megbízott MECSEK-ÖKO Zrt. és elődje a Hidrotech Kft. engedélyével, ill. az Envirokomplex Kft. finanszírozása mellett végeztük el. A terepi mérések, a laboratóriumi vizsgálatok és az eredmények kiértékelése során a MÁFI, az ELGI és a Bálint Analitika munkatársai voltak segítségünkre. Ez úton is köszönjük a munkában részt vevő szakemberek önzetlen segítségét. Hálásak vagyunk Horváth István és Földing Gábor kollegáknak a cikk lelkiismeretes szakmai lektorálásáért és tanácsaiért.

## IRODALOMJEGYZÉK

- Adriano D.C. 1986. *Trace elements in the terrestrial environment*. Springer-Verlag, New York
- Aubert H., Pinta M. 1977. *Trace elements in soils*, Developments in soil science 7. Elsevier, Amsterdam
- Csathó P. 1994: *A környezet nehézfém szennyezettsége és az agrártermelés*. — Magyar Tudományos Akadémia Talajtani Kutató Intézete, Budapest
- Cserny T., Tarján S. 1995: Cézium izotóp vizsgálatok a Balatonon. — *Természet Világa* 126(3): 133–134.
- Cserny T. 1999: *A Balaton üledékeinek környezetföldtani célú vizsgálata*. — A "Víz alatti talajok szerepe a tavak környezetvédelmében" tudományos konferencia kötete (szerk. Anda A.), a Környezetgazdálkodási Intézet, a Veszprémi Akadémiai Bizottság és a Pannon Agrártudományi Egyetem közös kiadványa, Keszthely, pp. 47–72.
- Cserny T. 2002a: A balatoni negyedidőszaki üledékek kutatási eredményei. — *Földtani Közlöny* 132/különszám, Budapest, pp. 193–213.
- Cserny T. 2002b: *Tavak és lápok üledékének komplex földtani vizsgálata paleokörnyezet rekonstrukció céljából*. — MÁFI Évi Jelentés 1997–98/I–II., pp. 135–150.
- Cserny T., Prónay Zs. 2003: *Limnogeológiai vizsgálatok a Gyöngyösoroszi Ipari-víztározón*, MÁFI Évi Jel. 2000–2001-ről, pp. 189–205
- Észak-Magyarországi Környezetvédelmi Felügyelőség, 1996: Szakvélemény, a Toka patakon 1996. májusában kialakult, árvíz okozta környezetszennyezésről. Gyöngyösoroszi, Polgármesteri Hivatal
- Filep Gy. 1988: *Talajkémia*. — Akadémia kiadó, Budapest, p. 293.
- Fügedi U., Horváth I., Ódor L. 2000: *A gyöngyösoroszi környezetszennyezés*. — MÁFI, Intranet.
- Fügedi U., Kuti L. 2005: Mit célszerű tenni a gyöngyösoroszi flotációs meddőhányóval? Jog, erkölcs, „nemzeti vizsgálatok”. *Földtani Közlöny* 135(1):. 77–89.

- Kabata-Pendias A., Pendias H. 1984. *Trace elements in soils and plants*. CRC Press, Boca Raton
- Kádár I. 1998: *Kármentesítési kézikönyv 2. A szennyezett talajok vizsgálatáról*. — Környezetvédelmi Minisztérium, Budapest.
- Kun B. (szerk.) 1988: *GyöngyöSOROSZI és környéke ércbányászata I–IV*. — Országos Érc- és Ásványbánya Vállalat Zárójelentése, GyöngyöSOROSZI, Országos Földtani és Geofizikai Adattár, T 14929, Budapest.
- MECSEK-ÖKO Zrt. 2007: Az Ipari-víztározó iszapjának elhelyezése, hulladék kezelési engedély kérelem
- Ódor L., Gy. Csirik, É. Vető-Ákos 1998a: *Geology, ore mineralization, and some aspects of environmental impacts (Mátra Mountains, Hungary)*. — Field trip guide prepared for the NATO Advanced Study Institute course, Mátraháza, pp. 24–37.
- Ódor L., R. B. Wanty, I. Horváth, U. Fügedi 1998b: Mobilization and attenuation of metals downstream from a base-metal mining site in the Mátra Mountains, northeastern Hungary. — *Journal of Geochemical Exploration* **65**:. 47–60.
- Ötvös K. 1998: Határértékek, határértékrendszerek az Országos Környezeti Kármentesítési Programban. — Kármentesítési füzetek 4., Környezetvédelmi Minisztérium, Budapest.
- Prónay Zs., Törös E. 2001a: *Szonár mérések hidrogeológiai alkalmazásai*. — Magyar Hidrológiai Társaság XIX. Vándorgyűlése, abstract kötet, pp. 725–734.
- Prónay, Zs., Cserny T., Törös E., 2002: *Environmental seismic measurements on inland waters*. In: Proceedings of the VIIIth Conference of the Engineering and Environmental Geophysical Society – European Section, Aveiro, Portugália, 2002. IX. 9-12., CD
- Sipos P., Póka T. 2001: *A szennyezettségi határértékek a geokémiai tényezők tér- és időbeli változásának függvényében*. [www.chemonet.hu/hun/olvaso/geokem/mtn2001.html](http://www.chemonet.hu/hun/olvaso/geokem/mtn2001.html) - 19k
- Takács S. 1992: *Környezet, ember, mikroelemek*. — TRIORG Kft., Budapest.
- 10/2000. (VI. 2.) KöM-EüM-FVM-KHVM együttes rendelet a felszín alatti víz és a földtani közeg minőségi védelméhez szükséges határértékekről.
- 16/2001. (VII. 18.) KöM rendelet a hulladékok jegyzékéről
- 98/2001. (VI. 15.) Korm. rendelet a veszélyes hulladékkal kapcsolatos tevékenységek végzésének feltételeiről
2000. évi XLIII. Törvény a hulladékgazdálkodásról
- 8004/2000. (EÜK. 22.) EÜM tájékoztató az Európai Unióban osztályozott veszélyes anyagok jegyzékéről.



