

A biokohászat múltja és esetleges jövője Magyarországon

(A mikroszkópikus „fémkohászok” nyomában)

Harminc éve, 1978-ban kezdődtek meg a recski Lahóca-hegyi rézérc bánya mélyében az úgynevezett „in situ” (lelőhelyen végzett) többéves üzemi biokohászati („baktériumos” vagy mikrobiológiai) lúgozási (biohidrometallurgiai) kísérletek az érc Cu tartalmának kioldása majd kinyerése céljából. Ilyen léptékű kísérleteket akkoriban – legalábbis Európában – csupán néhány országban végeztek, így ezzel hazánk is csatlakozott az „úttörőkhöz”.

Ennek kapcsán úgy vélem érdemes visszatekinteni nemcsak a fenti kutatási munkákra, hanem a történelmi Magyarországon az úgynevezett cementréz termelésben elért sikerekre is.

Az 1994-ben megszűnt Országos Érc- és Ásványbányákhoz (OÉÁ) tartozó recski bánya üzemi és laboratóriumi- félüzemi előkészítő kísérleteiben és részben irányításában a vállalat területi főmérnökeként jómagam is részt vettem, és azokat a külső alvállalkozókra is kiterjedően teljeskörűen koordináltam. Így írásomban saját szakmai tapasztalataimról továbbá élményeimről is beszámolhatok.

A biokohászat (biohidrometallurgia) lényege.

A mikroorganizmusok (baktériumok, gombák stb.) hasznos szerepét az ember már az ősidőkben felismerte és felhasználta pl. tejsavanyításhoz, sajtok, alkoholos italok előállításához. A XIX. század végétől a tudományos mikrobiológia kialakulásával a világon e téren elsősorban a gyógyszeriparban rohamos fejlődés indult az emberi fertőző baktériumok elleni küzdelemben. Az azóta folyó széleskörű kutatások eredményeként már eljutottak a közismert „génmódosított” baktériumok, gombák alkalmazásáig nemcsak a gyógyszeriparban hanem a mezőgazdaság (szója, kukorica stb.), környezetvédelem („olajbontó” baktériumok) területén is.

Rátérve a biokohászatra, feltételezhető, hogy az emberek már az ókorban észrevehették, pl. aranybányászat közben, hogy a fakadó savas bányavízbe mártott vasszerszámuk vörösre „változott” (vagyis cementréz vált ki rajta). Azt viszont az írások bizonyítják, hogy a biokohászat egyes módszereit – nem tudatosan – a történelmi Magyarországon és Spanyolországban is a XV-XVI. században már üzemileg alkalmazták, bányavízből cementréz előállítása céljából. A különböző (baktériumok létét, hatását segítő pl. „levegőztető”) technikával elért jobb eredményeket azidőben „ismeretlen erőknek” tulajdonították.

A kohászatban illetve annak hidrometallurgiai (nedves kohászati) szakágában a tudományos mikrobiológia alkalmazásának kezdete tulajdonképpen az 1950 körüli évekre tehető, amikor egy szénbánya vizéből majd ércbányák savas bányavizeiből izolálták a Thiobacillus nemzetségbe tartozó baktériumtörzset. Az első mikrobiológiai lúgozásnak (mikrobiological leaching) nevezett szabadalmat 1958-ban adták meg az USA-ban.

Itt kell megemlíteni, hogy a baktériumokat a szerint, hogy a testük felépítéséhez elsősorban szükséges nitrogént és szénét szerves vagy szerves alakban igénylik, az alábbi „táplálkozási” típusokban sorolják:

Az autotróf – közöttük a fenti Thiobacillus – baktériumok jellemzője, hogy valamennyi anyagcsere szükségletüket szerves forrásból biztosítják. Nitrogén forrásuk a légköri nitrogén vagy levegő, szénforrásként pedig a levegő CO₂ tartalmát hasznosítják.

Az e folyamatokhoz szükséges energiát kémiai úton nyerik. Közöttük kórokozók nincsenek, természetesen ellenőrzött körülmények mellett alkalmazzák őket.

A heterotróf baktériumok egyik fő jellemzője, hogy a testük felépítésé-

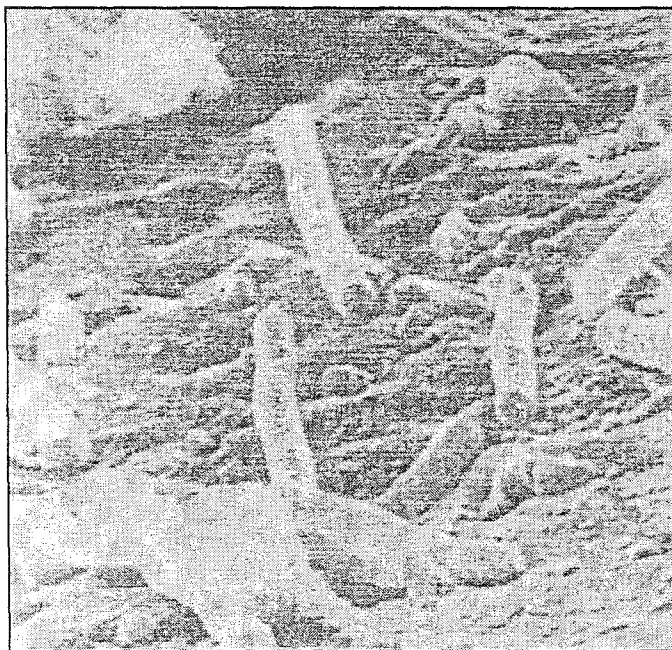
hez szükséges szénvegyületeket csak szerves kötésű vegyületekből tudják létrehozni, de gyakran nitrogénforrásként is szerves vegyületeket igényelnek. Viszont pl. a közismert coli baktérium nem ilyen „igényes”, bizonnyára ezért okoz oly gyakori megbetegedéseket.

A paratróf baktériumok csak élő szervezetekben életképesek, legalábbis a korábbi kutatások szerint. Ilyen pl. a lepra vagy a kiütéses tifusz kórokozója.

Célszerű tudnunk, hogy a mikrobiológiai lúgozásnál alkalmazott baktériumok aerobok, azaz a levegő jelenlétét igénylik, e mellett kénsavas közeg jelenlétét is. Ezért acidofil-ek. E baktériumok leírt „testfelépítési” „fő folyamata” – amelyet szervesetlen alapmolekulák felvételét és redukcióját jelentő autotróf asszimilációnak neveznek a biológusok – sematikusan az alábbi módon szemléltethető:

Szervesetlen molekula → belépés a sejtbe és redukció → redukált molekula → sejtanyag (pl. CO₂ vagy N₂)

Terjedelmi okok miatt a továbbiakban rövid példaként a többnyire kalkopiritess (CuFeS₂) szulfidásványhoz kötött Cu tartalom kioldását elősegítő Thiobacillus (Th.) nemzetségbe tartozó Th. Ferrooxidans és Th. Thiooxidans baktériumok ismertetésére térek ki. Ezek pálcika alakúak, 0,5 mikron átmérőjűek, 1-2 mikron hosszúak és a gyengén savas (pH 2-5) közeget kedvelik (ilyen a bányavíz is). A vízben és a levegőben jelenlevő CO₂-ből illetve N₂-ből nyerik a sejtheik felépítéséhez szükséges szénét illetve nitrogént, tehát autotrófok. Energiához az ércásványok vas és kénvegyületeinek oxidációja révén jutnak hozzá, amelyhez viszont a levegő oxigénjét is igénylik, vagyis aerobok, hőmérsékleti optimumuk 35°C körüli. Enzimjeik jelentősen hozzájárulnak kémiai hatásuk eredményességéhez. Így pl. a Th. Ferrooxidans levegő (oxigén) jelenlétében oxidálja a bányavíz-

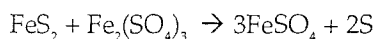


1. ábra:
„Fémoldó” Thermotrix baktériumok egy kőzetdarab felületén

ben jelenlévő Fe(II)-szulfátot Fe(III)-szulfáttá, amely az alábbi bruttóreakció szerint pl. kalkopiritből így oldja ki a Cu-t: $\text{CuFeS}_2 + 2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \rightarrow \text{CuSO}_4 + 5\text{FeSO}_4 + 2\text{S}$

Az FeSO_4 -et a Th. Ferrooxidans ismét oxidálja, a képződő S-et pedig a Th. Thioxidans kénsavvá, majd a folyamatok ismétlődnek. Ilyen oxidáció közben ugyanakkor e baktériumok kémiai úton a már említett anyagcseréjükhez (pl. CO_2 átalakítás) szükséges energiához is hozzájutnak.

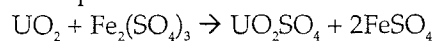
A fentiek szerint a baktériumok közvetve, „katalizátorként” vesznek részt a Cu kioldásában, de egyes adatok szerint közvetlen kioldás is lehetséges. E folyamatok a vizsgálatok szerint baktériumok nélkül is végbemennek, de sokkal lassabban, az Fe(III)-szulfát képződést biztosító oxigén (levető) jelenléte azonban mindig szükséges. Ily módon pl. a gyakori kísérő-ásvány, a pirit (természetben baktériumokkal is végbemenő) bomlásának reakciója, ahol a képződő S ismét kénsavvá oxidálódik:



Az iparilag leginkább alkalmazott Thiobacillus mellett később még számos „fémoldó” baktériumot izoláltak vizekből. Ilyen pl. a kilúgozás meggyorsítása szempontjából ígéretesnek tartott, úgynevezett termofil (meleget

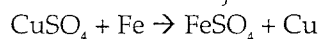
boratóriumi méretekben már sikeresen kipróbáltak bizonyos Au oldó gombákat és más mikroorganizmusokat is /2, 3/.

Uránium esetében, mint a kalkopiritnél, a Th Ferrooxidans-nak szintén oxidáló szerepe van, amelynek eredményeként vízben oldódó urán-szulfát képződik:



Az oldatból az U-t szerves oldószerekkel extrahálják majd kicsapattják.

Réz esetében az oldatba jutott Cu-t régebben (külön aprított vagy forgácsalakú) vassal ejtették ki úgynevezett cementréz formájában:



A szivacsszerű cementrézet az oldattól és vasmaradványtól elkülönítve külön kezelik, szárítják, tömbösítik majd tovább finomítják, amely már „klasszikus” módszernek számít. Napjainkban az oldatból folyadék extrakcióval vagy ioncserés eljárással koncentrált oldatból elektrolízissel fémalakban nyerik ki a rezet.

Külföldi üzemi réz-biokohászati eredmények

A biokohászat előbb vázolt alkalmazási módszereinek gazdasági és a napjainkban kiemelten fontos környezetvédelmi előnyei nyilvánvalóak

azaz magasabb hőmérsékletet „kedvelő)

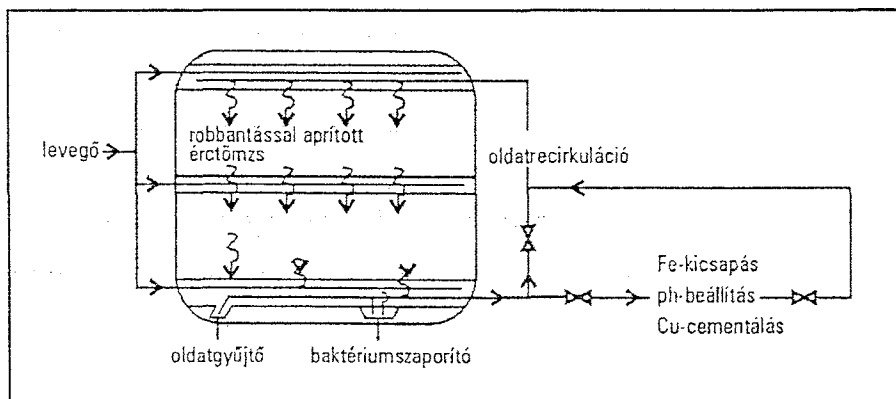
Thermotrix baktériumtörzs (1. ábrán, /1/). Nagyobb mértékben a mikrobiológiai módszereket először a réz-, majd az uránbányászatban vezették be, később pedig a cianidos Au kioldás technológiájába is beiktatták, mivel a Thiobacillus elősegíti az ásvány-szemcsékbe zárt Au feltárását, szabadbáttételét. La-

ha csupán arra gondolunk: az ércet nem kell kibányászni, őrlni, dúsítani, a dúsítványt további adalékokkal, energiával kohósítani stb. Ugyanakkor a rézkészletek továbbá fémeltartalmának csökkenése miatt is kézenfekvő volt alkalmazása, mert így akár 0,1-0,2% Cu tartalmú érc is feldolgozható, amely a kohászatban már meddőnek számít.

Megemlítendő, hogy az előbb leírt uránlúgozás, de a rézlúgozás sem alkalmazható gazdaságosan a bázikus (karbonátos) kísérőközet ércekre, mivel azoknál a kénsav/ Fe^{3+} - oldatos baktériumos redoxrendszer nem alakítható ki. Ilyen az európai U lelőhelyek többsége de a Mecsek-vidék is, ahol a korábbi kitermelésnél szódás kilúgozást végeztek. Ugyanitt eredményes kísérletek folytak az ilyen közegben is alkalmazható baktériumokkal. Rézlúgozásnál az ilyen probléma ritkább, mert a kísérőközet döntően vulkanikus eredetű, szulfidos érces Cu ásványokkal.

A réz biokohászata esetében külföldön iparilag elsősorban az érces meddő úgynevezett halom- vagy hányólúgozása, később a bányában visszamaradt nem művelhető ércből „in situ” (helyben végzett), többnyire robbantásos kőzetlazítást-aprítást követő oldási módszer terjed el. Ennek lényege, hogy a megfelelően kialakított anyagra felül rávezetik az oldatot, majd az átszivárgott (perkolált) és alul összegyűjtött oldatból a Cu időnkénti kinyerése és a baktériumok regenerálása (szaporítása) után azt ismét felülre szivattyúzzák az oldáshoz. A recski kísérleteknél is alkalmazott „in situ” módszer elvét a 2. ábra szemlélteti.

A hányólúgozást már az 1970-es években mintegy 20 országban alkalmazták (USA, Szovjetunió, Kanada, Mexikó, Spanyolország stb.). Abban az időben így nyerték ki pl. az USA-ban termelt Cu 11-15%-át, ugyanott más adatok szerint hányólúgozással 0,1 % Cu-tartalmú ércekből nap 200 tonna Cu-t termeltek. Hányólúgozással a világon évente mintegy 300000 tonna Cu-t termeltek az 1990 körüli adatok szerint, amely a világtermelés



2. ábra:
Recski bányából (in situ) baktériumos lúgozás és Cu kinyerése az oldatból cementálással

kb. 15 %-át tette ki. A többit tüzi eljárásokkal kohósították.

Az „in situ” (place-leaching) baktériumos ipari lúgozást megalapozó kísérletek a szakirodalom szerint valószínűsíthetően recski kísérletek idején, az 1970-es években lehettek, tehát hazánk is a világon első között indított ilyen kísérleti munkákat. A későbbi világverseny győztese azonban csakis azon ország lehetett, amelyik a legtöbb tőkével rendelkezett, ez pedig az USA volt. Tőle még a Szovjetunió is erősen lemaradt, amelynek egyébként jelentős mennyiségű, jó minőségű rézérc készletei voltak, az USA-nak viszont nem volt ilyen, voltak (és vannak) viszont nagy számban gyenge minőségű rézérc előfordulásai deponált meddővel. Az akkori „hidegháborús” politikai helyzetben a Cu kinyerésére irányuló biokohászati fejlesztéseik stratégiai is fontosak lehettek. (És vélhetően azok napjainkban is). Hasonló okok motiválhatták az USA-t már a II. világháborútól kezdve elektrolit-Mn gyártásuk kifejlesztésére is, amiről e lap előző számában már írtam.

A réz hidrometallurgia és a biokohászat kezdetei a történelmi Magyarországon

Előzmények

A Kárpát-medencében főleg Erdély és a Felvidék hegységeiben már az ősidőkben bányáskodtak. Szervezett és szakszerű, döntően Au bányászatot igazoló első írásos és tárgyi leleteket azonban csak a rómaiak erdélyi (dáciai) uralma idejéből (Kr. U. II-III. sz.) találtak Verespatakon (Rosia

Montana). Az egész Kárpát-medencére kiterjedő, akkor korszerűnek tekinthető bányászatot, kohászatot azonban a honfoglaló magyarok szervezték meg és virágoztatták fel. Az Au, Ag lelőhelyek, színesfém-, vas- és sóbányák fejedelmi majd királyi kézbe kerültek. Ők szervezték meg a legfontosabb bányászati központokat bánya- és pénzverő kamarákkal, (néhányuk körzetében még jelenleg is folyik kitermelés). Az utóbbiakhoz tartozik pl. a 2002. évi tiszai vízszennyezést okozó Nagybánya, a híres erdélyi arany-négyező – belüli Verespatak ahol napjainkban is próbálkoznak külföldi tőkések – hazánkban is tiltakozásokat kiváltó – újabb bányanyitásokkal és cianidos Au kinyeréssel /3/. A régi középkori bányák fontos (esetenként pénzverő) központjai voltak még az erdélyi szatmári bányavidéken Felsőbánya, Radna, a Magyar (mostani Szlovák) Érchegeységben a rézkohászatáról illetve akadémiajáról is híres Besztercebánya illetve Selmecebánya, továbbá Körmöcbánya és a cement-Cu gyártásban úttörő szerepet játszó Szomolnok. A XIII. század második felében az európai Au-termelés mintegy 80%-át (1000 kg/év), az Ag-termelésnek pedig közel 25%-át (10000 kg/év) a királyi Magyarország adta. E mellett a XIV. században ugyanitt a Cu-termelés már meghaladta a belföldi szükségletet. Így a többletet annak nemesfémtartalmával együtt, annak kivonására alkalmas hazai gazdaságos eljárás hiányában, az ilyen módszerrel rendelkező velencei kohók kereskedőinek

adták el csaknem teljes mennyiségben.

A történelmi Magyarország még az Osztrák-Magyar Monarchia idején is a birodalom legfőbb nemesfém és színesfém termelője volt. A trianoni békediktátum következtében Magyarország elvesztette ércbányászatának 98,3%-át, a korábbi működő ércbányáinkból csupán a rudabányai vasércbánya, a recski Lahóca-hegyi rézérc bánya továbbá az 1917-től termelésbe vont úrkúti magánércbánya maradt meg. A gyöngyösoroszi Pb-Zn ércbányában 1954-től termeltek.

Bányászatunk a XV. század vége felé hanyatlani kezdett. A többnyire meredek dőlésű, vulkanikus eredetű szulfidos érctelérek mentén a kitermelés egyre nagyobb mélységbe kényszerült le, növelve a vízelelési problémákat. Amerika felfedezésével a beáramló olcsóbb és nagymennyiségű fém (különösen Au, Ag) importtal Európa sem tudott versenyezni. A végső csapást 1526-ban a mohácsi csatavesztéssel az ország három részre szakadása jelentette. Szerencsére felvidéki bányavárosainkat nem érte el a török uralom, azok korábbi magyar királysági területei végül is a Habsburg-birodalomhoz kerültek.

A cement-réz gyártást bevezető időszak kiemelkedő bányászati-kohászati szakemberei

E fejezetben indokolt az alábbi, azidőben európai híru két szakember tevékenységére röviden kitérni, akiknek neve közvetlenül illetve közvetve kapcsolható az ipari (még nem tudatosan „bio”-)hidrometallurgia illetve a cement-Cu gyártás sikeres bevezetéséhez is.

Thurzó János a sikeres vállalkozó, és bányászati-kohászati szakember

A XV. századi hanyatlás idején jelent meg a felvidéki bányavidéken Mátyás király kortársa, a lőcsei születésű Thurzó János (1437-1508), aki előbb egy itáliai tanulmányút után Krakkóban telepedett le, sőt e város konzulja is volt. Ott a Jagelló családbeli II. Ulászlótól, - aki 1471-től

Csehország, 1490-től 1516-ig Magyarország királya volt – „bethlenfalva” előnévvel magyar nemesi rangot is kapott a már akkor dúsgazdag, kortársai által is elismert és magyarnak tartott vállalkozó.

A felvidéki Szepességben (és Erdélyben is) szintén sikeresek voltak vállalkozásai, amelyek elsősorban a bányatermékek értékesítésére illetve bányászati tevékenységekre terjedtek ki kezdetben, egyre több bánya- és kohóüzem tulajdonosaként mindinkább gazdagodva. E mellett kiváló műszaki érzékének köszönhetően előbb (1475-től) saját tervezésű víz-emelő szerkezeteivel, majd a velencei kohókban személyesen is megismert, az Ag „csurogtató” olvasztással a Cúttól való elválasztási technológia meghonosításával ért el jelentős sikereket (és hasznot). E módszer abban az időben teljesen újnak számított e régióban. Az előbbieket mellett Thurzó János az augsburgi Fugger-bankházzal létesített kapcsolataival anyagilag is jelentősen hozzájárult ahhoz, hogy a XVI. század első felében a magyarországi bányászat és kohászat ismét európai színvonalra emelkedjen.

A már kamaragróf Thurzó János és az augsburgi német kereskedő és bankár Fugger Jakab 1493-ban alapított közös vállalatot a királyi, II. Ulászló által adományként nyert előjogok hasznosítására. Ez arra vonatkozott, hogy a korábban nemesfém-tartalmukkal együtt külföldre – főleg Velencébe – eladott rézből üzemeikben kinyerjék az Ag-t, ugyanakkor sem ezt, sem a maradék rezet nem kellett a királyi kamaráknak beszállgatniuk, azokat szabadon értékesíthették /4/.

A fenti előjog hatalmas előnyt jelentett más ilyen vállalkozókkal szembe. A Thurzó-Fugger vállalat könyvelése szerint pl. 1526-1539 között csupán a réz- és ezüst termelés tiszta haszna 1297192 (azaz csaknem 1,3 millió magyar forintot tett ki). Egy magyar forint akkoriban 2,82 gramm Au értékének felelt meg /5/. Ismeretes volt, hogy a Fugger bankház a Habsburg uralkodók háborúhoz rendszeres hitelt nyújtott. Nyilvánva-

lónak tartották, hogy a királyi kedvezmények a hitelező Fugger bankház felé hiteltörlesztést is jelentették /4/, de így lehetett ez a korábbi Jagelló uralkodóink (II. Ulászló majd II. Lajos) idején is.

1495-1546 között volt a Thurzó-Fugger cégbirodalom fénykora. Annak mintegy 50 éves fennállása alatt üzemeiben évi átlagban 1600 tonna rezet és 2250 kg ezüstöt termeltek ki. Az alapító utódok alatti hanyatlás után a Thurzó féle felvidéki bányák, kohók és egyéb vagyonok döntő része végülis a Habsburg uralkodóink birodalmi kincstárait gazdagította.

E fél évszázados cégsiker kiemelkedő jelentőségét méginkább érzékelhetjük, ha egy kicsit beletekintünk az akkori királyi Magyarország történelmébe, amely a mohácsi csatavesztéssel végülis az ország három részre szakadásához vezetett.

Először is nézzük II. Ulászló uralkodásának idejét (1490-1516). Királlyá választása jól megfelelt a főurak önző, mindenáron vagyonszerző magatartásának, őket az ország általános érdekei aligha érdekeltették. Az viszont igen, hogy a király trónra juttatása és uralkodása (látszatszerű) fenntartásának érdekében tett szolgálataik fejében adómentességeket és más engedményeket kapjanak. Az uralkodó mindezt teljesítette, sőt a királyi birtokok nagy részét is felosztotta közöttük. Egy kimutatás szerint a jobbágyok által a nemeseknek 6 év alatt befizetett 1,6 millió arany forintból a királyi kincstárba mindössze 600 ezer arany forint folyt be, a többi „eltűnt” /6/. Hogy legalább a látszatát fenn tudja tartani a budai királyi udvar létezésének (amihez még évi 40 ezer arany forintot is kevésnek tartott) csehországi királyi jövedelmeit is felhasználta Magyarországon, ami miatt viszont a cseh főurak lázongtak.

A mindenre „dobzse” vagyis „jólván” szólása miatt Dobzse Lászlónak nevezett Ulászló uralkodását egy magyar krónikás találóan így jellemzi: „A gyenge király uralkodása alatt a féktelenség az országban annyira eláradt, hogy egyes főurak a király hatalmát semmibe sem vették és mintha

királyok volnának, az általuk lakott vidéken kényük és kedvük szerint uralkodtak, sőt annyira ment vakmerőségük, hogy Ujlaki a királyt nyilvánosak ökörnek nevezte”. Mivel a Mátyás-féle fekete sereg zsoldját nem fizették, a zsoldosok elkezdtek rabolni, hogy legyen miből megélniük. Kinizsi Pál vert le őket. Ezzel viszont tulajdonképpen az ütőképes magyar haderő is megszűnt, miközben a törökök már az al-Duna vonalán gyülekeztek.

II. Ulászló uralkodásának végén már nem csak a kincstári kassza volt üres, hanem halála után fiára, II. Lajos királyunkra 400 ezer arany forint államadósságot hagyott „örökül”, ami akkor állítólag 2 évi teljes állami bevételnek felelt meg.

Hasonló, sőt sokak szerint még rosszabb volt Magyarország helyzete a 10 évesen magyar királlyá lett II. Lajos uralkodása idején is (1516-1526). Ő még jobban befolyásolható volt a széthúzó, pártoskodó főurak által mint apja, akik közül egyre befolyásosabbá lett Szapolyai János erdélyi vajda. A mohácsi csatavesztés 1526. augusztus 29-én ezek után szinte törvényszerű volt. Míg korábban Luxemburgi Zsigmond magyar király gyorsan akár 130 ezer fős ütőképes sereget hadrendbe tudott állítani, de Mátyás is, addig Lajos királyunk 26 ezer fős sereget is alig tudott összegyűjteni és elvezetni a mohácsi csatamezőre, Tomori Pál kalocsai érsek fővezérletével. Újabb történelmi adatok szerint, leszámítva a kísérő zsákmányszerző nem fegyveres csoportokat, a török sereg létszáma mintegy kétszerese lehetett a magyarénak. Ha Szapolyai János vajda 25 ezres serege is csatlakozott volna, akkor a szembenálló legalábbis létszámailag kiegyenlíthettek volna. Ez azonban nem történt meg, a vajda seregét halogató üzenetekkel visszatartotta a Tiszánál. Később a főurak ezért nem marasztalták el, hanem hívei 1526. novemberében magyar királlyá is kiáltották az állítólag a mohácsi Csele patakba fulladt II. Lajos székesfehérvári temetése után. Hiszen János vajda már bizonyított, seregei nélkül

nem lehetett volna leverni a Dózsa-féle felkelést, ezzel megmentve a főurak és a király hatalmát.

A magyar főurak másik része viszont 1526 decemberében Pozsonyban a fiatal Habsburg Ferdinánd osztrák főherceget, II. Lajos sógorát választotta magyar királlyá. E választással teljesült a korábbi Habsburg-Jagelló családi utódlási szerződés is, amelynek feltétele volt az előbbi „sógorország” létrejötte, de az is, hogy Lajos Habsburg Máriával kötött házasságából nem született utód. Ennek folytán lett cseh király is Ferdinánd.

A mohácsi csata után a győztes Szulejmán csapatai főleg a Duna vonalán Budáig, Vácig és a Dunántúlra is eljutva, végigrabolták, pusztították e területeket, sokakat rabként elhurcoltak. A török hadak azonban a történészek szerint 1526. október 12-én kivonultak az országból, török megszállás Buda elfoglalásáig, 1541-ig nem volt. E 15 év alatt a magyar urak ha összefognak megfordíthatták volna az ország sorsát, de maradt a szétválás.

Szulejmán szultán vazallusként Szapolyait haláláig (1540) meghagyta fél királyságban.

1541-ben csellem elfoglalta Budát, és megkezdődött az ország középső részén a 150 évig tartó török uralom. Ezután az ország már 3 részre szakadva élt tovább. A magyarok politikai, gazdasági cselekvése kisebb-nagyobb mértékben csupán Erdélyben és a Habsburg birodalom részét képező „királyi Magyarországon” azaz a felvidéki (köztük a tárgyalat bányavárosok) és Nyugat-Dunántúli területeken érvényesülhetett.

Hát ilyen volt Magyarország történelme abban a fél évszázados időszakban (1495-1546), amikor a Thurzó-Fugger cégbirodalom a Felvidéken aranykorát élte, összesen 2,5 millió aranyforint nyereséggel.

Természetesen sokan mondhatják, hogy a Thurzó-Fugger vállalkozás is nagyrészt a királyi engedményeknek köszönheti hatalmas jövedelmeit. Annak Thurzót megillető részéből azonban nyomon követhetően újabb fejlesztéseket, üzemlétesítése-

ket stb. hajtottak végre a virágzó felvidéki bányavárosok vidékén.

Thurzó János bányászati, kohászati újításaival, a Fugger bankházzal együtt létrehozott vállalkozásaival Európában is hírnevet szerzett, tevékenysége jó alapot szolgáltat a felvidéki műszaki fejlődéshez, és mostmár a cement-réz gyártáshoz visszatérve annak ipari bevezetéséhez is. Odafigyelt a munkások élet- és munkakörülményeire, támogatta a bányáiparban elsőként létrehozott szociális segítő intézmény, a „körmöci társláda” létrehozását. A bányákban 7 órás műszakok voltak megszabott pihenőnapokkal (miközben a magyar földbirtokos főurak jobbágjai nagy adókkal terhelten szinte éjjel-nappal robotoltak).

Georgius Agricola a bányászati és kohászati szakirodalom megalapítója

Georgius Agricola (Georg Bauer) (1494-1555) a Thurzó-Fugger aranykorban élt, humanista, polihisztor tudósként kiemelkedő szerepét 24 kiadott műve bizonyítja. Ezekből itt e



3. ábra: Georgius Agricola (1494-1555)

cikk témájához kapcsolódóan csupán főművének, a De Re Metallica Libri XII. c. könyvének néhány részletére tértek ki, amelyekből még a mai szemmel is szakirodalmi alapossággal megismerhetjük az ezüst csurogtató

olvasztásának és a bányavízemelésnek módszereit és berendezéseit.

Georg Bauer a szászországi Glacchauban született 1494. március 24-én, későbbi tudományos tevékenysége során nevezte magát latinosan Georgius Agricolának.

Itáliai tanulmányai és nősülése után orvosként a szászországi Chemnitzbe majd az Érchegeység ezüst bányáiról híres Joachimsthalban telepedett le, mint egyik művében írta azért, hogy megismerje annak bányáit. A nyugalmasabb Chemnitzbe 1531-ben költözött vissza, ahol mint gyermektelen özvegy, 1542-ben feleségül vette gyámleányát a 16 éves Anna Schützöt, aki az elhunyt polgármester leánya volt. E házasságával tovább növekedett a bányarésztvényekből szerzett vagyona, és a bányák tanulmányozása mellett itteni idejét már művei megírásával töltötte. Szászország akkori haladószellemű uralkodója Móríc herceg kérésére a város polgármesterségét is elvállalta. A De Re Metallica szintén latin befejező Ajánlása 1550. december 1-jei keltezésű, azt a szerző Móríc választófejede-

lemnek és öccsének Ágostnak címezte. Könyv alakban azonban csak 6 év múlva jelent meg ki nyomtatva gazdag illusztrációkkal, ábrákkal. Ezt azonban Agricola nem érte meg, 1555. november 1-én elhunyt Chemnitzben.

Szomorú tény, hogy az akkori vallási és egyéb szembenállások, vakbuzgóság miatt a protestáns Chemnitz luther-

ránus lelkésze megtagadták a katolikus, humanista, mindig a megbékélést sugárzó tudóstól a városban a sírhely megadását. Holttestét Julius von Pflug, humanista lelkületű barátja, Zeitz város püspöke fogadta be és te-

mettette el a Szent Péter és Pál templomban.

Agricola eddig hivatalosan elismert képmása a nagyszombati születésű (1531) magyar Zsámboki János (Joannes Sambucus) 1574-ben Antwerpenben kiadott, hírességeket ábrázoló arcképgyűjteményéből való (3. ábra, /7/). A De Re Metallica objektív szakmai leírásai nagy hatással voltak az akkori alkimista szemlélet és a későbbi flogiszon elmélet felbomlására.

Fő művének I. könyvében név szerint is említi Thurzó Jánost. A magyarországi bányászatról illetve kohászatról szóló leírások, ábrázolások a feltételezések szerint részben Dernschwam Jánostól származhattak, aki sokáig a Thurzó-Fugger bányavállalkozások vezetője is volt. Ilyen „informátornak” tartják a Temes megyében született Rorbacher Kálmánt, Agricola orvos barátját („Colomannust”) is, aki a török betörések elől menekült Magyarországról Annabergbe, ahol gazdag bányavállalkozó lett. Miután a törökök 1529-ben Bécszet is ostromolták, 1531-ben Drezdában kiadott közleményében („Türkenrede”) összefogásra szólította fel I. Ferdinánd császárt, a német fejedelmeket, hercegeket a török ellen. Akkor már nyilvánvalóan tudta azt is, hogy a Joachimsthal, az „ezüstvárost” alapító Stephan Schlick, Passau grófja, aki II. Lajos kérésére 200 főnyi csapattal részt vett a mohácsi csatában, onnan sohasem tért vissza, vélhetően el-
esett.

Ezek után tekintsük át, mit találunk Agricola De Re Metallica című, 12 könyvből álló fő művében e cikk tárgykörére vonatkozóan. Kezdjük a bányászatban használt, fametszetes képekkel, magyarázatokkal illusztrált egyes vízemelő gépekkel, amelyeket nyilvánvalóan sikeresen alkalmaztak nem csak a rézérc kitermelésében, hanem a továbbiakban leírt, a bányavízből cement-réz előállítása során is /7/.

A De Re Metallica ábrái és betűkkel jelzett szerkezeti részei alapján ki-
deríthető e gépek működése is, a fejlődés is, a kézi hajtású kanalas, majd
vödörös vízemelőktől a dugattyús

„lőjárgány” és a vízkerék meghajtású szivattyúkig.

Az 4. ábrán lőjárgánnyal hajtott labdás vízemelő gép látható, amelyet



4. ábra:
Járgánnyal hajtott labdás vízemelő gép

akkor alkalmaztak, ha nem volt a közelben vízienergiaforrás, patak. A „labdák” lófarokszőrrel töltött bőrből készültek, a szívócsövek közepén ki-fűrt (véltetően jó víz- és korrózióálló) fatörzsből, amelyek egymásba illesztve a bányavízgyűjtő zsonpig nyúltak le az aknában, akár 240 láb mélységben. Selmezbányán három ilyen „gépet” helyeztek egymás fölé, (így 3 lépcsős vízemelés volt) a legalsó a föld felszínétől 670 láb mélyen volt. A 3 „gépet” felváltva 96 ló hajtotta, azok az aknában levő munkaszintjeikre csigavonalszerű lépcsőkön jutottak le. Egyébként a XVI. században Selmec környékén gyakran elértek 200 m-es, esetenként 300 m-es bányamélységet, (Joachimsthalban 300 m-t), ahol előfordulhatott, hogy víztele-níteni kellett.

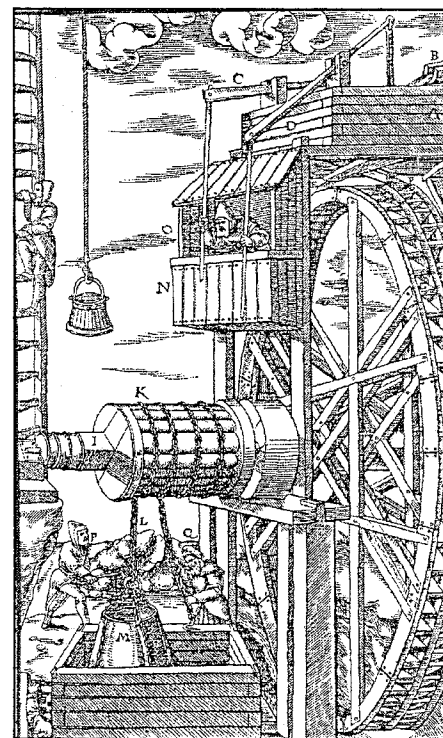
A 5. ábrán „három részleges” vízkerékhajtású szivattyú látható, amely szintén 3 lépcsős vízemelő, de lovak helyett vízkerék hajtja. Ez Agricola szerint mint „A szivattyúk-nak tíz évvel ezelőtt feltalált hetedik



5. ábra:
Háromrészleges vízkerékhajtású szivattyú

fajtája valamennyi között a legelmé-
sebb, legtartósabb és legcélszerűbb,
amellyel nagyobb költség nélkül elké-
szíthető”.

A De Re Metallica egyik (106. sz.) ábráján látható olyan „váltóvízike-
rékkel hajtott bőrszákos vízemelő-
gép” is, amelynél külön egy vízgyű-
jtőtartályból kézi „emelytűs” szelepe-



6. ábra: Váltóvízikerékkel hajtott bőrszákos
vízemelő gép

ken át kiengedett vízzel a vízikerek forgási iránya (ezzel a „bőrzsák” azaz vödör emelése illetve süllyesztése az akna vízgyűjtő zompig) változtatható. Technikai újdonságát bizonyítja, hogy az ilyen elven működő vízikerek Freiberg „Rote Grube” bányájában 1944-ig volt üzemben (6. ábra).

Térjünk át a vízemelésről az ércelőkészítésre.

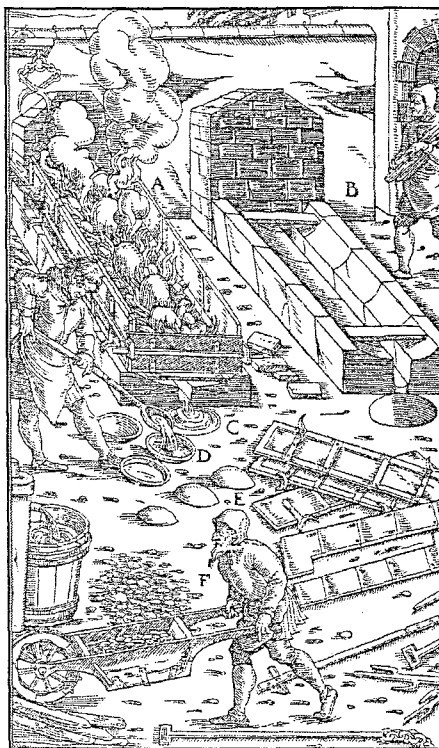
A 7. ábrán a „Besztercebányai szitator” látható. E fametszetet a közép-



7. ábra: Besztercebányai rostator

kori Thurzó-féle híres rézbányák ércfeldolgozási módját jól kifejező rajznak tartják, egyben az akkori bányászati technika egyik legértékesebb dokumentumának is. Az ábra szerint nem csak száraz, hanem azután három hordóban hidraulikus sőt gravitációs osztályozást is végeztek, az „X” jelű harmadik utolsó hordóban leülepedett maradék ércport („limus”-t) kiszedték és „megolvasztották” (nyilván valóan kohósították).

Biztosra vehető, hogy a bányavíz-ből darabos vassal cementált, szivacsos de jól szétcsúszó Cu szemcséket is hasonló megoldásokkal választották el a vastól beolvasztás előtt. Meglepő, hogy Agricola konkrétan egyik művében sem ír a cementrézről, talán egyszerűen azért, mert arról nem vol-



8. ábra: Csurgatókemenca üzemben

tak információi. A „De natura fossilium” 221. oldalán írta, hogy „Magyarországon Besztercebányán egy régi tároból zöld víz folyik ki, ami „crysocollát” hoz magával” /7/ (ez a hidroxid-karbonátos összetételű malachit vagy azurit lehetett). E hely pontosabban Úrvölgy (Herregrund, jelenleg Szlovákiában Spania Dolina) volt, annak rézbányáiból és más szászországi tárokból kifolyó vizek „vitriol” tartalma közismert volt, amely lehetett réz- vagy vasgálic egyaránt. A „vitriol” tárovizekből besűrítéssel „sóként” való kinyeréséről részletesen írt Agricola a De Re Metallica-ban annak XII. könyvében, amelyet ő latinul „atramentum sutorium”-nak nevezett. Azt valószínűleg vasgálic tartalmának „köszönhetően” bőr festésére használták, a latin szótár szerint magyar jelentése: „varga tinta” vagy „fénymáz”. Agricola jól ismerhette a festékeket azért is, mert apjának Gregor Bauernek, a jómódúnak tartott glachaui parasztembernek kis kelmefestő műhelye is volt.

Végül ismerjük meg Thurzó János a felvidéki Magyarországon is nagy sikerrel (és haszonnal) meghonosított kiemelkedő fémkohászati fejlesztésének, az ezüstnek réztől „csurogtató”

olvasztással való elválasztásának lényegét. Ezt jól szemlélteti a De Re Metallica egyik, (itt 8. sz) ábrája, annak XI. könyvében.

A 8. ábrán az üzemben lévő „A” jelű „csurgató” kemencében láthatóak a réz Ag tartalma szerint megfelelő arányban ólommal összeolvasztott „cipók”. Az Ag-ben dús könnyebben olvadó Cu-Pb-Ag ötvözet a kemence alsó csatornáján (zompján) keresztül a „C” „gödörbe” folyik, abból réz kánállal a szintén réz „D” formába öntik a fémét. Az onnan kiborított „E” csurgatott ólom „cipókat” a „leűzőkemenchébe” adagolják, ahol mivel a Pb levegőn gyorsabban oxidálódik, attól elválasztják az Ag-t. A kemencében visszamaradt réz „aszalékot” kemencében tovább finomítják vagy ismét ólommal ötvözve azokat csurogtatással tovább ezüsttelenítik. A kemence alsó csatornájából kikotort „F” „tüs-kéket” újra feldolgozzák.

Ma már tudjuk, hogy a fenti eljárás azon alapszik, hogy a Cu-Pb-Ag eutektikum olvadási hőmérséklete kisebb mint a rézé illetve az eredeti Cu-Ag ötvözeté. Ezt a sokkal korszerűbb és gazdaságosabb elektrolitikus rézraffinálás egyre inkább kiszorította, ahol a nemesfémek az anódiszapba kerülnek, viszont azidőben a „csurogtatás” volt ilyen célra a lehetséges egyetlen megoldás.

A magyar cement-réz termelés évszázadai

Közvetett írásos emlékek alapján feltételezik, hogy bányavizekből a cement-réz kinyerés módszerét üzemi méretben az Észak-magyarországi bányáknál már az 1241. évi tatárjárás előtt alkalmazták, a Kassa melletti Szomolnokon (jelenleg szlovákiai Smolník). A későbbi konkrét írásos dokumentum viszont csaknem 200 évvel régebbi, mint az európai szakirodalomban első dokumentumnak tartott spanyolországi Rio Tinto-ra vonatkozó, 1670-ből származó cement-réz gyártási leírások. Előbbi szerint a szomolnoki bánya-kamargróf Donel János szerződéssel 1497-ben a lőcsei Thurzó Jánostól vásárolta a bányászathoz és réz cementáláshoz

szükséges vasat az abban közölt (forint) áron. Véltetően Thurzó kohóban olvasztották, finomították az ott termelt cement-rezet is. A szerződés bizonyította, hogy a cement-Cu gyártás a XV. század végén jelentős mennyiségben már rutin eljárásként folyt Szomolnokon, méginkább így volt ez a XVI. században más felvidéki bányáknál is. Így ebben az időszakban megkezdődött a réz üzemi léptékű, hidrometallurgiai úton való kinyerése bányavizekből, ezzel – akkor még nem tudatosan – a biokohászat alkalmazása. Ennek egyik kezdeti módszere volt, hogy felülről (a külszínről) a szokásos fa csővel friss vizet vezettek le az aknán keresztül a régi bányavágatok medreiben („csorgáiban”) elhelyezett, kohósításra nem alkalmas érchalmokra, majd a Cu-ban feldúsult (mint CuSO₄) bányavízből a Cu-t darabos vassal kiejtették azaz cementálták. Az elválasztott szivacsos-izsapszerű cement – rezet a külszínrre vitték továbbfeldolgozás céljából. A XVII. században a bányavizet a mélyszintről a felszínre szivattyúzták és ott fa medencében cementálták.

Először Remba János, a Besztercebánya melletti Úrvölgy bányájának könyvelője írta le az ércből a réz kioldás (kilúgzás) általa feltételezett legkedvezőbb feltételeit. Szerinte a pirit jelenléte előnyös, mert segíti a kén-savképződést, ezzel a Cu kioldódását. Megállapította, hogy minél tisztább a vas cementálószer, annál hatásosabb a réz cementálás. Mindezek – legalábbis elvileg és részben – mai szemmel is elfogadhatóak, viszont úgy vélte (sokakhoz hasonlóan), hogy a kémiai folyamatok „ismeretlen erők” hatásának következményei. Itt érdemes megemlíteni, hogy az úrvölgyi bányavíz réztartalmának vassal fém-rézzé való átalakításáról és az ebből készült „titokzatos úrvölgyi edényekről” többek között a XVII. században élt Evlija Cselebi török utazó és író feljegyzései is beszámolnak /7/.

Később Delius Kristóf Traugott statisztikai adatokat is közölt egyik leírásában a szomolnoki bányavizekből nyert cement-réz termelésről,

ahol ő bányatisztként (bányamérnök-ként) dolgozott 1753-56 között. E szerint ezidőben a szomolnoki cement-réz termelés évente 200 tonna volt, miközben ugyanez az Európában frekvenciált spanyolországi Rio Tintóban még 1833-ban is csak évi 140 tonnát ért el /8/.

A korszerűbb, külszínen végzett úgynevezett halom lúgzásra (dump leaching) vonatkozó első adatok a XVIII. századból származnak szintén a felvidéki Magyarországról. Ennek lényege akkor is az volt, hogy a vízálló talajba mélyített helyen elhelyezett pirit, kalkopirit (szulfidos és gyengébb minőségű) ércre többször és hosszabb időn át rávezették a lúgzó oldatot. Az átszüremkedett (perkolált) oldat végülis Cu-ban dúsult, amelyet alulról elvezetve cementáltak vassal.

A felvidéki bányánál különösen Besztercebánya környékén még a XIX. században is termeltek cement-rezet bányavizekből, később a termelés már nem volt számottevő.

Az 1950-es évektől az előbb leírt (Thiobacillus és más) „fémoldó” baktériumok felismerésével és terepi alkalmazásával beköszöntött a tudományos biokohászat korszaka és ezzel a világon az iparág reneszánsza és rohamos fejlődése. A legkorszerűbb bányabeli (in situ) lúgzási és Cu kinyerési technikák konkrét bevezetését azonban még ezután 2-3 évtized múlva kezdhette csak meg a néhány résztvevő, mert még nem állt rendelkezésre elegendő kutatási eredmény, tapasztalat. Az „úttörő” külföldi országok között (Szovjetunió, USA, stb.) hazánkban 1978-ban került sor a recski bányában a mikrobiológiai („baktériumos”) Cu lúgzási többéves kísérletekre a rendelkezésre álló nemzetközi publikus adatok figyelembevételével.

Réz – biokohászati üzemi kísérletek a recski bányában

A recski bányáról röviden

A trianoni békediktátum következtében az osztrák-magyar monarchia-beli történelmi (nagy) Magyaror-

szág elvesztette ércbányászatának 98,3 %-át, működő ércbányaként csupán a rudabányai vasércbánya és az 1917-től termelésbe vont úrkúti magánércbánya maradt meg. A vulkáni eredetű Mátra északi oldalán a Recsk közelében lévő Lahóca-hegyben lévő nagy múltú rézércbányát az időben nem művelték, később, a két világháború között az ottani termelés évi 500-4000 kg Cu („melléktermék-ként”) 25-170 kg Au, 500-4000 kg Ag kinyerését biztosította.

Az 1950-es évektől végzett kutatások és ércdúsítási fejlesztések eredményeként a főleg enargitos (Cu₃AsS₄) rézérctermelés 60-70 ezer tonna volt évente. Abból flotálással évi 6-8 ezer tonna rézkonzentrátumot állítottak elő, majd külföldi (NDK) bérkohósításával Cu mellett évente kb. 60 kg Au-t és 500 kg Ag-t nyertek ki. Gazdaságtalan termelésre hivatkozva itt a bányászatot 1979-ben megszüntették. A recski bánya- és ércelőkészítő üzem központjában nagyrészt K+F munkákat koordináló illetve végző területi főmérnökként jómagam is dolgoztam 12 éven át. Megemlítendő, hogy egy ausztráliai tulajdonú cég 1995-96. évi próbafúrásai legkevesebb 31 tonna (Au 2-2 2g/t) aranyat valószínűsítettek e bányában.

Itt úgy gondolom, érdemes visszaidéznem, hogy mit láttam 1952-ben a recski bányában még miskolci I. éves egyetemista kohómérnök hallgató koromban dr. Pojják Tibor ásványtan professzorunk vezetésével egy tanulmányi kiránduláson. A bányászok a fával alábiztosított vágat-végi bányafalról kézi szerszámmal fejtették és gyűjtötték az ércet egy lavórszerű fogó „fülekkel” ellátott vas edénybe, majd ornan síneken lévő ló vontatású csillékbe öntötték a norma teljesítés ellenőrzésére nyilvántartott mennyiségben. Az ércet ezután az altárón keresztül a külszíni ércdúsítóba szállították. A levegő jellegzetes „kengáz” szagú volt, a vágat-falról zöldes rézgalic oldat csepegett helyenként (akkor még professzoraink sem tudták, hogy a Thiobacillusok „munkája” következtében). A váltóműszakos bá-

nyászok szerint a bányalovak nagy része szinte megvakulva húzta a csiléléket. Meglepő volt, hogy még ilyen (mondhatjuk középkori) körülmények mellett is többnyire csak „protekcióval” lehetett valaki bányamunkás. Bizonyára azért, mert ők viszonylag jobb fizetést kaptak, továbbá külön élelmiszer (zsír, szalonna stb.) juttatásokat, amelyek az időben hiánycikkek voltak. (Akkor egyetemistaként a miskolci menzán cikóriából főzött feketekávét és szalonnaszerűen vágható gyümölcsíz, kenyérrel volt a reggelink, majdnem minden nap.) természetesen akkor is voltak gépesített bányászati technikák, amelyek később sokat fejlődtek. Ilyen fejlesztés volt pl. a 9. ábrán látható ércátrolásos úgynevezett magazinfejtés.

A recski bánya és ércelőkészítőmű jelentős fejlesztése, továbbá a recski mélyebben elhelyezkedő hatalmas szubvulkánikus érctelep felfedezése 1965-75 között már arra az időszakra esik, amikor azok önálló elszámolású és irányítású Rézérc Mű néven az Országos Érc- és Ásványbányákhoz (OÉÁ) tartoztak, amelynek országos vállalati irányító központja és igazga-

mel, 21 külfejtéssel, 28 előkészítő üzemmel, 33 telephellyel. 41 üzemvezetőséggel rendelkezett. Évi 4 millió tonna kibányászott ásványból (vas- és színesfémércek, mészkő, dolomit, perlit, öntődei homok, stb.) kb. 2 milliárd Ft árbevétellel 200 féle terméket állítottak elő. E vállalat 1964-1994 közötti 30 éves fennállása alatt jelentősen hozzájárult ahhoz, hogy hazánk bányászata a trianoni és II. világháborús veszteségek után jelentősen felgyógyuljon. Utódüzemeinek nagy része jelenleg is eredményesen működik.

A recski mélyebben elhelyezkedő új érctelep a régi Lahóca bánya közepében, csaknem alatta helyezkedik el. Ott a korábbi adatok szerint /9/ mintegy 150 millió tonna – világviszonylatban is jelentős mennyiségű – mélyben rekedt kb. 1,2 % Cu tartalmú szubvulkáni andezithez kötött porfiroz (finoman szórt eloszlású) szulfidos érctelep van. Annak szegélyzónájában további több 10 millió tonna szkarnos (szilikátos közegű) Cu-Pb-Zn szulfidos ércesedést is találtak (11. ábra, /10/). Jelentős állami támogatással többek között termelés

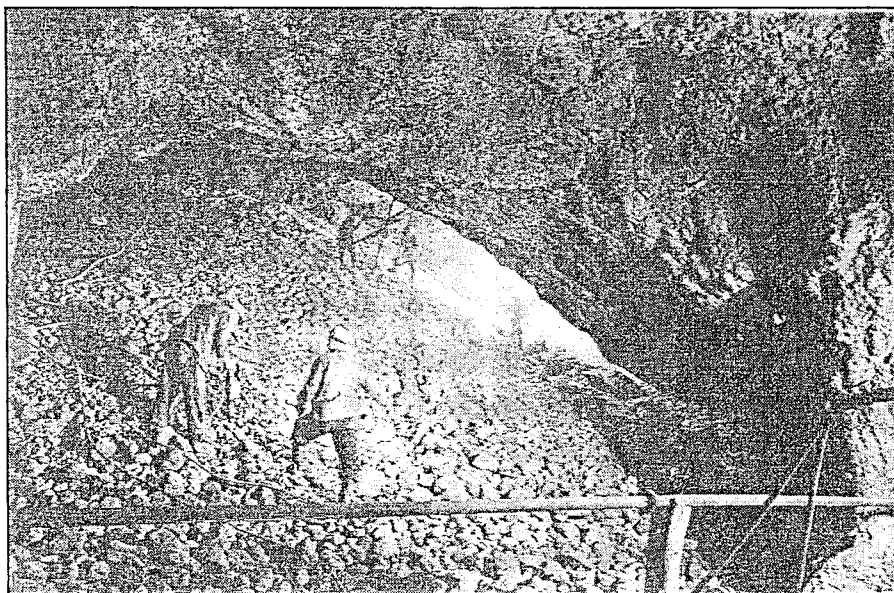
hasznosítására kiírt pályázatra 4 nemzetközi társaság jelentkezett.

Az újabb érdeklődés okának a réz világgpiaci árának 2000 USD/t-ról 7-8000 USD/t-ra történt emelkedését tartják. 3500 USD/t rézár mellett kifizetődő lenne a bányalétesítés a számítások szerint. Nagy kérdés, hogy a létesítéshez kapcsolódó környezetszennyezéseket (bizonyára ércdúsítást, kohósítást is akarnak) hogyan tűri el az érintett lakosság, de most már az Európai Unió is a Mátrában. Egy előtanulmány szerint /11/ e mellett a recski aknák felhasználásával, a bányabeli tározókban lévő víz felszínre szivattyúzásával majd csúcsidőben onnan a vizet a mélyszerint lévő turbinára ejtve szivattyús tározós villamos erőmű is gazdaságosan létesíthető illetve működtethető lenne.

A recski bányabeli „baktériumos” rézlúgzási és rézkinyerési üzemi kísérletek

A régi Lahóca hegyi bányából 1979 évi bezárásáig mintegy 200 év alatt csaknem 3 millió tonna rézércet termeltek ki. A mélyben azonban még visszamaradt több millió tonna 0,2-0,3 % Cu tartalmú gyenge minőségű nem művelhető érc, amely néhány ezer tonna nagyságrendű Cu-t jelentett. Ezenkívül az előbb leírt mélyebben elhelyezkedő szubvulkáni érctelep körzetében is találtak ilyen gazdaságosan ki nem termelhető szulfidos rézércet, a becslések szerint 100 millió tonna körüli mennyiségben. Így már az 1970-es években kedvező lehetőségként mutatkozott a fenti lelőhelyek „maradék” Cu tartalma kiaknáztatásának vizsgálatára biokohászati kísérletek elvégzése. Akkor már nem csak Recskén, hanem hazánkban minden jelentősebb ércbánya, szénbánya (Rudabánya, Gyöngyösoroszi, Tatabánya, Komló, Pádrag) térségében izoláltak a kutatók bányák és felszíni vizekben a Cu kioldást elősegítő, serkentő *Thiobacillus Ferrooxidans* mikroorganizmusokat, egyben jelezve azoknak a vas rozsdásodását okozó hatását is.

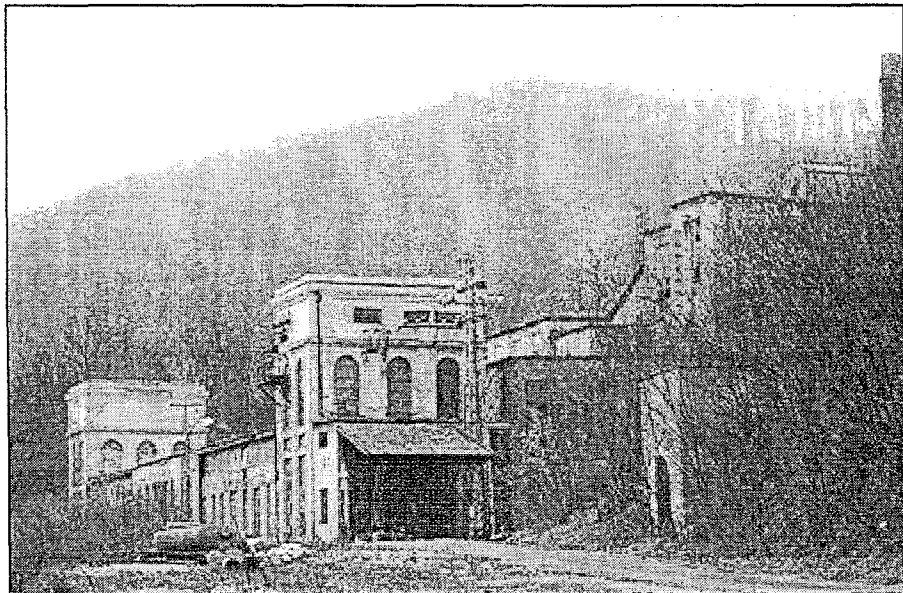
A két recski lelőhely gyengébb minőségű ércmintáiból a Cu „baktériu-



9. ábra: Ércátrolásos magazinfejtés a Lahóca-hegyi bányában

tósága a budapesti székházban volt (akkor Népköztársaság u. -, később Andrássy u. 126.). E vállalatról itt „illik” megemlíteni, hogy az pl. 1986-ban (amikor ott területi főmérnökként dolgoztam) 6000 dolgozót foglalkoztatott, 8 földalatti bányauzem-

előkészítő, 1200 m mély szállító-, illetve légakna is elkészült, összekötő vágatokkal. A vízzel elárasztott lelőhely jövőjét több sikertelen próbálkozás után 2006-ig kétségesnek tartották. Újabb hírek szerint /11/ talán újra nyitható a bánya, mivel a lelőhely



10. ábra: A recski ércelőkészítőmű

mos" (mikrobiológiai) laboratóriumi és félüzemi többéves lúgzási kísérleteket hengeres perkolátorokban az országos Érc- és Ásványbányák (OÉÁ) egri Központi Laboratóriumában kezdték meg 1973-ban. Ezek kedvező eredményei alátámasztották a recski bányabeli üzemi lúgzási kísérletek beindításának indokoltságát, a külföldi tapasztalatok szerint figyelembe véve, hogy a laboratóriumi módszerek átvitele ipari méretekre még számos nehézséggel járhat.

Ezek után a sors úgy hozta, hogy belépve a leírt fél évezredes történetbe, egyik irányítóként jómagam is résztvevője lehettem a recski kísérleteknek, melyek 1977-ben kezdődtek. Ebben az évben bízott meg az Országos Érc- és Ásványbányáknál (OÉÁ) akkori igazgatóm dr. Gagyi Pálffy András okl. bányamérnök a tervezett recski bányabeli „baktériumos” rézlúgzási és rézkinyerési kísérletek teljes körű (műszaki, pénzügyi) koordinációjával és egyes részfeladatainak irányításával. Ez külső alvállalkozókkal együtt tucatnyi résztvevő koordinációját jelentette, és egyebek mellett a szükséges központi (pl. minisztériumi) pénzügyi támogatások előteremtéséhez pályázatok, kérelmek, beszámolók elkészítését is. Szintén 1977-ben bízott meg igazgatóm (többek között) egy másik biokohászati jellegű feladattal is, amely elsődlegesen a

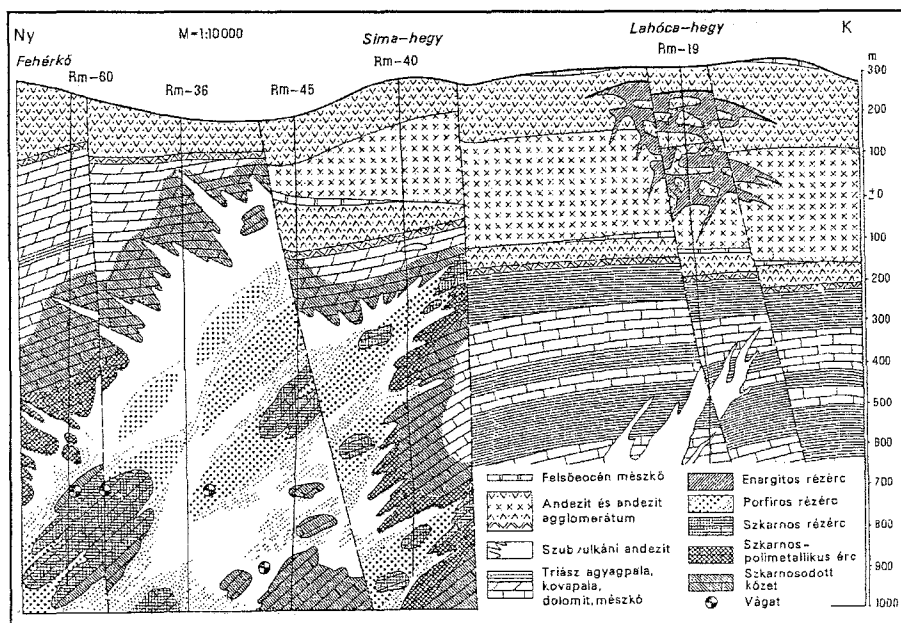
nehézfémstórtartalmú bányavíz környezetszennyező hatását megszüntető technológia kidolgozására irányult.

A kísérletek fő célja volt a régi Lahóca hegyi bányában (11. ábrán) a lelőhelyen (in situ) végzett kísérletekkel a lúgzási paraméterek meghatározása, a kísérleteket esetleg a leírt új recski mélyszerinti gyenge minőségű ércetekre is tervezték kiterjeszteni. A Lahóca hegyben (10., 11. ábrán) a vulkanikus andezit ércesedés 1 km² területen 13 ércetestből áll, amelyek átlagos vastagsága 30 m, de helyenként eléri az 50 m-t is. Fő érces ásványi: enargit, luzonit (Cu₃AsS₄) és pirit

(FeS₂) az előbbieket szerint a lelőhelyen figyelemre méltó Au koncentrációval. A kísérleti eredményektől függően került volna sor az ipari bevezetésre, a lúgzó oldatból cement-Cu végtermék előállításával, amelynek lényege a 2. ábrán látható.

A recski K+F munkákat pénzügyileg az OÉÁ mellett a Nehézipari Minisztérium (NIM) és az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság (OMFB) támogatta, amelyekben több külső szakintézmény (Központi Bányászati Kutató és Fejlesztő Intézet, Nehézevegypari Kutató Intézet, ALUTERV-FÉMKÚT, MTA Geokémiai Kutató Laboratóriumai: MTA GKL stb.) is részt vett.

Az előzetes vizsgálatok szerint a recski bányavízben eredeti természetes körülmények között 1000-10000 db/cm³ Thiobacillus Ferrooxidans baktérium mikroba volt, 0,1 g/l Cu, 5-8 g/l Fe koncentráció és 1,5-2,0 pH mellett. A baktériumok számára létfontosságú széndioxidot és oxigént (utóbbi a kémiai reakciókhoz is szükséges) a csapadékvíz és a felszíni vizek viszik magukkal az ércetekeken átszűrődve. E folyamatok meggyorsítását szolgálták e bányában az üzemi kísérletek „baktériumos in situ” lúgzási módszerek alkalmazásával, amelye elvileg jelenleg is a korszerűek közé sorolható.



11. ábra:

A recski új mélyszerinti szubvulkáni és a régi Lahóca-hegyi rézérclelőhely földtani metszete

Az első indító kísérletek színhe-lyeül az úgynevezett 9. sz. érc-tömzsöt jelölték ki, amely kb. 165 ezer tonna 0,2-0,3 % Cu tartalmú főleg enargitos ércet tartalmazott. Ott a tömzsöt elő-ször a KBFI Robbantáskutatási Cso-portja több föld alatti robbantással la-zította, aprította. A szellőző és oldalcirkulációs rendszer nagyrészt korábbi művelésből származó vága-tok felhasználásával történt kiépítése után a tömzs lúgzása 1978 decembe-rében kezdődött felülről rávezetett kb. 2000 m³ savas bányavízzel. Az ezután átszüremkedett (perkolált) majd a bányavágot gyűjtőjéből visszaszivattyúzva felül ismét ráve-zetett oldat napi mennyisége 100 m³ volt. Ilyen háromszori cirkuláció után az oldatban a Cu az eredeti 0,1 g/l koncentrációról 0,5 g/l-re nőtt, az Fe pedig 5-8 g/l-ről 15 g/l-re, miközben a Thiobacillus Ferrooxidans baktéri-umszám – külső beavatkozás nélkül – nagyságrendileg nem változott (10000 mikróba/cm³). E kísérletsoro-zat 1979 októberéig folytatódott, ez-alatt az előbbi koncentrációk már csak kisebb mértékben nőttek az egyes oldatmintákban. Éves szintre számolva a tömzs Cu tartalmának kb. 4%-a oldódott ki.

A lúgzási kísérletek 1979 októbere után 3 hónapra szüneteltek, majd újra indultak 3,5 hónap időtartamra. E szakaszban kezdetben a Cu 1 g/l-re, az Fe 20 g/l-re növekedett változatlan baktérium szám mellett, de azok ké-sőbb ismét a korábban közölt értékekre csökkentek (kb. Cu 0,5 g/l, Fe 15 g/l). (Szomolnokon a cementálandó oldatban 0,55 g/l Cu volt, ez alatti Fe)

Ezután a kísérleteket a 2. és 5. szá-mú 500 ezer tonna 0,2-0,3 % Cu tartal-mú érc-tömzsökre is kiterjesztették, és a lúgzást a korábbi nyitott helyett a 2. ábrán látható cement Cu kinyeréssel összekapcsolt zárt oldalcirkulációval végezték, a bányabeli medencében el-lenőrzött körülmények mellett a bak-tériumok szaporításával. A Thiobacil-lus Ferrooxidans mikrobák száma így elérte az 1 millió db/cm³ értéket is, ezt azonban hosszabb időre nem sikerült biztosítani, csakis a korábban (termé-szetes körülmények esetén is) elért

maximum 10000 db/cm³ mennyisé-get. E zárt rendszerben savas közegű oldatban a Cu 1-2 g/l volt, az Fe pedig általában 29-30 g/l körüli.

Az így cirkulált, időnként a külszi-ni beton medencékbe vezetett oldat-ból a Cu kinyerésére azidőben a kor-szerűek közé sorolható úgynevezett vibrációs cementálással folytak a kí-sérletek. Ezek során maximum 85-92% Cu tartalmú, akkoriban szokásos minőségű, további kohászati finomí-tásra alkalmas cement rezet sikerült előállítani.

A kiépített rendszerben az érc-töm-zsökből a Cu éves viszonylatra szá-molt 4%-os kioldódása publikus ada-tok szerint hasonló vagy alig eltérő volt az akkoriban Európában csupán néhány (p. a Szovjetunióban) indított „in situ” lúgzások ilyen jellemzőjé-hez. Megjegyzem, hogy e cikkben le-írt USA-beli kedvező tapasztalatok nyomán külső szakmai javaslatra kis-erejű nukleáris robbantás (inkább el-méleti, tájékoztató jellegű) alkalmaz-hatóságára előtanulmány is készült, bizony kedvező kilátásokkal. Ennek esetleges megvalósítása azonban ezu-tán már szóba sem került, nem csak kockázati és a szokásos egyéni „atom-félelmek” miatt, hanem azért is, mert a Lahóca bányai kőzet aprítás foko-zására és kiterjesztésére elegendőek voltak a z akkori hagyományos, de jó hatásfokú robbantási technikák. Azo-kat a Cu kioldódás gyorsítására beik-tatták a későbbi tervekbe, szintén e célból a baktériumok adaptálására és szaporítására vonatkozó további kí-sérleteket is.

Végülis 1981-ben a reménykeltő lehetőségekkel világviszonylatban is az első között indított recski „bakté-riumos” in situ üzemi kísérleteket be kellett fejezni részben pénzügyi, rész-ben műszaki okok miatt. A pénzügyi ok az volt, hogy az 1979-ben bezárt Lahóca-hegyi bánya termelésének ki-váltására még nem léphetett be a ce-ment réz termelés, csakis az ércdúsí-tómű átállítása más termékre, ami meg is történt. Így érthető, hogy a vál-lalati, főhatósági támogatások erre irányultak. Mint már írtam, a kísérle-tek kapcsolódtak a recski mélyszinti

ércelőfordulás lelőhelyeihez is, ame-lyek sorsa akkor kezdett bizonytalan-ná válni.

Műszaki, egyben pénzügyi akadá-lyokat jelentett, hogy a bányavízből a cement réz kinyerés gazdaságosságát nagymértékben rontotta a viszonylag nagy Fe koncentráció. Azidőben publikus adatok szerint a Cu, Fe-től való elválasztása világviszonylatban is nagy problémát jelentett, erre a „klasszikus” hidroxid alakban való Fe kiejtés nem volt alkalmas, mert az Fe(OH)₃ adszorbeálta a nagyságrend-ben kevesebb Cu jelentős részét. Hogy ez így lehetett, arról szakirodal-mi kutatásaimból is meggyőződhet-tem, amelyek szerint akkor ilyen (fő-leg folyadék extrakciós) kísérletekre az USA-ban dollármilliókat költöttek. Miután közreműködő intézményeink költségprognózisai sem voltak ked-vezőek, az anyavállalat Országos Érc-és Ásványbányák (OÉÁ) részéről le-vélben tájékoztattuk a célprogramot támogató Nehézipari Minisztériu-mot, amely a fentiekre tekintettel is, érthetően nem vállalta a további kuta-tások költségeit. Jelentős akadályt je-lentett, hogy az akkori „hideghábo-rús”, embargós időkben (a réz straté-giai fém volt) a technológiára vonat-kozó érdemi információkhoz, beleért-ve e KGST országokat is, nem lehetett hozzájutni, legfeljebb részeredmé-nyekhez. Jelenleg a génmanipulációs mikrobiológia korában már kész, vél-hetően jól adaptálható technológiák állnak rendelkezésre. Így figyelembe véve a rézárak növekedését és az egy-re szigorodó környezetvédelmi köve-telményeket, továbbra is kedvező le-hetőség van a világviszonylatban is jelentős recski aranyat és ritkaféme-ket is tartalmazó rézérc lelőhelyünk biokohászati módszerű hasznosításá-ra.

Mint már említettem OÉÁ igazga-tóm, néhai dr. Gagyí Pálffy András 1977-ben bízott meg a recski mellett egy másik biokohászati jellegű fel-adattal is, amely végülis (szintén a Thiobacillusok „közreműködésével”) a gyöngyösoroszi szulfidos Pb-Zn ércbányában keletkező, nehézfém-só tartalmú savas bányavíz környezet-

szennyező hatását megszüntető technológia kidolgozására irányult. Ugyanis az altárón kifolyó bányavízben nem volt gazdaságos kinyerésre elegendő fémelemkoncentráció. A szennyezők káros hatását először 1972-ben észlelték, amikor a bányadúsítómű víztározójában pusztulni kezdett a halállomány, majd a szennyezők a szomszédos Toka patakban is megjelentek. Elhárításukra a lehetőségek szerint ideiglenes víztisztító működött, 1977 őszén pedig a hasonló NSZK-beli meggeni bányasavas bányavízkezelőjének általamvezetett delegációval történt megtekintése után bebizonyosodott, hogy a gyöngyösoroszi bányavíz tisztítására közvetlenül alkalmazható eljárás nem ismeretes. A továbbiakról itt csupán annyit, hogy az általam kidolgozott alaptéchnológia és a Miskolci Egyetem Automatikai Tanszéke folyamattírányítási megoldásával 1982 évben elkészült korszerű (jelenleg is működő) évi 1,5 millió m³ bányavíz feladási kapacitású mészhidrátos semlegesítő műben sikerült a vízszennyezési problémákat kiküszöbölni /12/. A gyöngyösoroszi eset bizonyítja, hogy a „fémoldó” baktériumoknak az érványákban káros hatásuk is lehet, de ilyen pl. a rozsdásodás is.

Összefoglalás

Sors adta szakmai „Jó Szerencsét” jelentett részemre, hogy a történelmi Magyarországon 400 éven át sikeres cement réz gyártás és ezzel a „nem tudatos” biokohászat alkalmazása után Recsken részt vehettem a tudományos biokohászat hazai megvalósítására irányuló első, részben kedvező eredményű üzemi kísérletekben, amely reménykeltő választ adott egy nagy kihívásra.

Tanulságos szakmai élményeim közé tartozik hogy részt vehettem a jelenleg is működő gyöngyösoroszi bányavízisztítómű létrehozásában. Többek között e munkák során győződhettem meg arról, hogy a szabályozatlanul a környezetre káros savasodást okozó „fémoldó” *Thiobacillus*-sokat a külszínen vegyszerekkel (végülis mésszel) el lehet pusztítani, ez-

zel káros hatásukat meg lehet szüntetni. A föld mélyében azonban ez lehetetlen, ott „ők az urak”.

Bizony így volt ez a recski Lahóca hegyi bányában is. Ahol a *Thiobacillus* mikroszkópikus „fémkohászokként” az előbbieik szerint csakis akkor oldottak ki az ércből több Cu-t, ahhoz az ember többlet „ellátást” (levegő, CO₂, egyes fém- és kéntartalmú ásványok mellett természetesen elegendő víz, stb.) és még számos feltélt is biztosítani tudott részükre.

Lehetséges, hogy a történelmi Magyarországon mintegy 400 éven át sikeres cement réz gyártáshoz kapcsolódó korszerű biokohászati megoldások valamelyikének alkalmazása, figyelembe véve a recski üzemi kísérletek eredményeit is – esetleg a jövőben majd a recski bánya-régióban is megvalósulhat. Ezért úgy vélem, hogy Recsk vonatkozásában e cikkem egyfajta szerény szakmai ismeretanyagként is szolgálhat, nemcsak ipartörténeti forrásként.

Dr. Bódi Dezső

Irodalom

/1/ Dr. Bódi D.: Mikroszkópikus méretű fémkohászok. Élet és Tudomány 1991. 31. sz. 964-966. old.

/2/ Dr. Bódi D.: A recski Lahóca bányabeli mikrobiológiai Cu lúgzási kísérletek és eredményei, újabb lehetőségek az Au (Ag) és Cu kinyerésére. BKL Kohászat 1996. 4. sz. 145-151. old.

/3/ Dr. Bódi D.: A romániai verespataki aranybánya nyitási projekt kétélyekkel és tiltakozásokkal. BKL Kohászat 2006. 6. sz. 29-36. old.

/4/ Péch A.: Alsó Magyarország bányamívelésének története, I. kötet, Budapest, 1884. 49. old.

/5/ Derschwamm H.: Erdély, Besztercebánya és törökországi úti napló. Budapest, Európa kiadó 1984. 7-73. old.

/6/ Nemere I.: Magyarország története. Anno Kiadó.

/7/ Georgius Agricola: De Re Metallica Libri XII. A bányásatról és kohásatról. Fordította Becht R. szer-

kesztette Molnár L. 1985. nov., kiadta: OMBKE.

/8/ Use of Microorganisms in Hydrometallurgy. Internacional Conference, Pécs 4-6. December 1980. Idézett előadók: Podányi T., Fodor Gy., Kiss J. Fő szervezője: MTA Pécsi Bizottsága.

/9/ Dr. Bódi D.: A volt Országos Érc- és Ásványbányák 30 éves története és ércbányászata kohász szemmel. BKL Kohászat 2007. 5. sz. 25-30. old.

/10/ Fülöp J.: Ásványi nyersanyagok története Magyarországon. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1984.

/11/ BKL Kohászat 2007. 5. sz. 40. old.

/12/ Dr. Bódi D., Dr. Kiss M.: Az Országos Érc- és Ásványbányák gyöngyösoroszi automatizált technológiai eljárással létesített bányavízisztítója. BKL Kohászat 1991. 9. sz. 377-380. old.

A Magyar
Alumíniumipari
Múzeumért Alapítvány
az SZJA 1%-nak
felajánlásából
2008. évben befolyt
összeget
/185 eFt/
teljes egészében
A Mi Múzeumunk
nyomdai előállítási
költségeire fordította.

Támogatásukat
köszönjük.

Az alapítvány
kuratóriuma