

Faragó Tibor

ELTE-TTK Környezettudományi Doktori Iskola, Szt. István Egyetem | Tibor_Farago@t-online.hu

A folyékony ezüst tündöklése és bukása (Első rész)

Bevezetés

Az ókorban csodaszernek tartották, a középkorban az alkímia egyik alapanyagának tekintették, majd világszerte az arany- és ezüstabányászat fontos kelléke lett. A korai újkortól sokirányú ipari alkalmazhatóságát tárták fel, mígnem kiderült, hogy mindezen haszna mellett rendkívül kártékony az emberi egészségre.

A káros hatások egyértelműsítéséhez sokáig hiányoztak a rendszeres és rendszerezett egészségügyi adatok a higanymérgezések diagnózisáról, továbbá azok a megfigyelések, amelyekkel kimutatható lett volna, hogy a higany kibocsátási forrásától a levegőkörnyezet közvetítésével nagy távolságokra eljuthat. A higany-szennyezés és hatásainak terjedéséhez a higanyt tartalmazó anyagok és eszközök növekvő mértékű nemzetközi kereskedelme, valamint a higanyt és egyes vegyületeit alkalmazó technológiák mind több országba való eljutása és ottani alkalmazása is hozzájárult.

A higany használatának globalizálódása, a káros hatások felismerése és a nagy távolságokra terjedésének feltárása nyomán lett a higany a nemzetközi környezeti, egészségügyi, kereskedelmi, technológiai együttműködés egyik kritikus témája. Az ENSZ érintett szakosított szervezetei is egyre nagyobb figyelmet szenteltek e problémának. Fokozatosan bővültek e téren az EU-tagállamok és más fejlett országok szakpolitikai és szabályozási eszközei.

A nemzetközi együttműködési folyamatnak különös aktualitást ad, hogy 2013-ban megszületett a globális higany egyezmény, jelentősen szigorították a több mint másfél évtizede megkötött pán-európai megállapodást és ezekkel is összhangban folyamatban van a vonatkozó EU-szintű előírások felülvizsgálata, módosítása.

E kétrészes tanulmányban áttekintjük és értékeljük e különös vegyi anyag alkalmazásának, hatásainak fontosabb eseteit és a használatának jelentős korlátozását célzó nemzetközi megállapodások célkitűzését, fontosabb rendelkezéseit és hatékonyságát.

A higany felívelő világkarrierje

Az ókortól az újkorig: a gyógyító, arany- és ezüstcsináló miráculum

A higany használata legalább négy évezredes múltra tekint vissza és különféle célokra való felhasználása nagyon sokáig anélkül történt, hogy eközben súlyos egészségkárosító hatásairól tudtak volna. A görög eredetű kifejezés alapján folyékony ezüstnek, illetve hazánkban sokáig kénésőnek nevezett folyékony fémeket az ókorban egyfajta csodaszernek tekintették. Úgy vélték, hogy elősegíti az egészség megőrzését, hosszú életet biztosíthat, hasznos az alkalmazása kenőcsök, kozmetikai szerek, bizonyos orvosságok adalékanyagaként. Egészségjavító és rituális célú felhasználásáról

az ókori Kinában, Indiában, Egyiptomban, Hellaszban, a Római Birodalomban, a maja társadalomban régészeti leletek és korai feljegyzések tanúskodnak [Sloane, 2014; Czaika - Edwards, 2014]. A leggyakoribb, azaz *festékanyagként* való korai felhasználása a higanybányákból felszínre hozott cinóber ásvány (cinnabarit, higany-szulfid) vörös színéből adódott, amiből festékpigmentet (vermilion) készítettek. Magát a fémess higanyt pedig az érc pörkölésével állították elő, amelynek során a párolgó fémhigany különvált a kénből, a lehűtött higanyt felfogták, a kén pedig kén-dioxid formájában elillant a levegőbe [Földessy - Bóhm, 2012].

Mindezen felhasználás mértékét és jelentőségét azonban jóval felülmúlta, amikor a higanyt széles körben az aranymosás és az aranybányászat „kellékéeként” kezdték alkalmazni. A higany mintegy „magába szívta” a kimosott apró aranyszemeket, illetve elősegítette a kibányászott aranytartalmú rögökből az arany kinyerését, megtisztítását: ezt az eljárást foncsorozásnak vagy amalgamozásnak nevezték. E célból már a rómaiak jelentős mennyiségben szereztek be higanyt a spanyol bányákból (Almadén); ennek mennyisége elérte az évi 4-5 tonnát [Nriagu, 1994; Hoffmann, 1994; Brooks, 2011]. A higany a későbbiekben is fontos szerepet töltött be a folyók mentén végzett aranymosásban, így Magyarországon is [Uzsoki, 2004].

Órölt cinnabaritból készült piros vermilion pigment egy pompeii villa falán



Az ezen a módon világszerte kinyert arany összmenyisége évezredekken keresztül számottevően meghaladta a bányászatból származó mennyiséget.

A korai aranybányászat és a többfelé a mai napig is folytatott aranymosás intenzitása messze elmaradt a középkori dél-amerikai ezüstabányászatétól és az újkori észak-amerikai aranylázétól, s azok higanyigényétől. A spanyol hódítók, a konkvisztádorok növekvő ezüstmohóságának kielégítését nagymértékben elősegítette a 16. század közepétől bevezetett higanyos technika (patio eljárás), amihez eleinte spanyolhonból szállították a higanyt Mexikóba és Peruba, míg nem higanyt leltek e távoli gyarmatokon is [Borbély, 2011; Archibald, 1914]. Az eladdig Mexikóhoz tartozó, majd az USA tagállamává vált Kaliforniában 1848-ban fedezték fel az első aranyrögöt, amelynek híre elindította a nevezetes „kaliforniai aranyrohamot”. Az arany kinyeréséhez itt is sokan higanyt használtak, melynek legnagyobb része az e régióban folytatott higanybányászatból származott, óriási összmenyiségét pedig érzékeltetheti, hogy az ebből az eljárásból az ottani környezetbe elfolyt és jórészt még most is a felszín alatt rejtőzködő mennyiséget 6-7000 tonnára becsülik [Alpers et al., 2005; Solnit, 2006].

Az arany értéke és igézete az *alkimista tanok* és gyakorlat egyik központi eleme is volt az ókortól egészen az újkor hajnaláig. Kiindulva az ókori „kén-higany elméletből” az alkimisták a fémek átalakíthatóságát vallották (transzmutáció) és közülük többen azzal kísérleteztek, hogy higany felhasználásával aranyat és ezüstöt állítsanak elő [Tramer et al., 2007; Thankachan, 2011; Holmyard, 1931]. Az aranyhoz jutás hatékonyabb (?) módjának tekintett alkímia hazánkat, pontosabban szólva a királyi udvart (később a császári és királyi udvart) sem kerülte el [Szathmáry, 1928]. Ha az aranycsinálás nem is sikerült, mégis az alkimisták legképzettebb képviselői hozzájárultak a modern kémia tudományának kialakulásához.

A tudomány és az ipar felfedezi a higany sokoldalú alkalmazhatóságát

A 18. századtól kezdődően a különböző tudományos vizsgálatoknak és ipari-technológiai találmányoknak köszönhetően rohamosan nőtt a higany iránti igény, amelynek emiatt a bányászata és nemzetközi kereskedelme is gyorsan növekedett.

A *mérőeszközök* sorában a legismertebb higanytartalmú eszközök (1714. évi, Fahrenheit általi megalkotását követően) a higanyos hőmérők, illetve a nyomásmérők – barométerek, vérnyomásmérők, ipari manométerek – lettek. A 19. századig az *üvegűtőkrök* tükröző felülete ón-higany ötvözzel készült. *Elektrotechnikai alkalmazásai* villamos kapcsolókat, reléket, termosztátokat foglaltak magukban; külön is utalhatunk a higanyos feszültség szabályozóra, amit Bláthy Ottó szabadalmaztatott 1883-ban [Simonyi, 2001]. A higany mind a mai napig jelentős szerepet tölt be a *világítástechnikában*: a higany egyik sajátos tulajdonságán alapult a 20. század elejétől elterjedt higanygőzlámpa működése, higanyt használtak a neon és argon lámpákban, fénycsővekben, s higany van a jelenleg széles körben alkalmazott energiatakarékos kompakt világítótestekben és lineáris „vonallizzókban” (CFL, LFL). Hatékony felhasználási terület lett a *villamosenergia tárolása* a higanyoxidos szárazelemekben és az akkumulátorokban. Bizonyos *növényvédő, csávázó szerek, fákonzerváló festékek* ugyancsak higanyvegyületeket tartalmaztak. *Gyógyászati és kozmetikai alkalmazása* is sokoldalú lett: egyes vegyületei bőrbetegségek kezelésére és bőrvilágosító célra ajánlott kenőcsökbe kerültek, védőoltások tartósításához járultak hozzá (etil-higanyos thiomersal), de mindezek mellett leginkább elterjedt alkalmazása a fogászati amalgám lett. Megemlítendő még két különösen sajátos alkalmazás.



1,35 voltos
higany-oxidos



A jól ismert
higanyos lázmérő

A 19. század közepéig higanyvegyületet (higany-nitrát) használtak a *nemezkalap* készítéséhez (pl. az ebből adódó és a kalapkészítőknél jelentkező tünetekre utalhat az „Alice Csodaországban” c. regény 6. és 7. fejezetében „Kalapos” jellemzése). Egy másik vegyülete (higany-fulminát) pedig *robbanóanyagként* bizonyult hatásosnak, amit gyutacsaként már Alfred Nobel is alkalmazott 1846-ban [Lukács, 2013]; e „durranóhigany” is nevezett szert sokfelé használták egészen a 20. század első feléig.

Bár a nagyüzemi aranybányászatban általában a cianos (cianidos) technológiára tértek át, a manapság is még sok fejlődő országban üzött kézi (kézműves) és kisüzemi aranybányászat kellékeként megmaradt a higany. Emellett két jelentős ipari-technológiai folyamatban is higanyt alkalmaztak és alkalmaznak sokfelé még jelenleg is: a *klór-alkáli iparban* az elektrolízis higanykatódjaként (pl. a papírgyártásban a fehérítéshez használt klór termeléséhez), valamint a higany katalizátorként működött a 19. század közepétől megindult *PVC-gyártáshoz* szükséges alapanyag (vinil-klorid monomer, VCM) előállításában.

A súlyos egészségi és környezeti hatások miatt a higany és vegyületeinek felhasználása visszaszorult, de még jelenleg is nagymértékben alkalmazzák három területen: a kézi és kisüzemi aranybányászatban, a PVC-gyártásban, valamint a kompakt világítóeszközökben. Ez utóbbi használat különösen azt követően bővült, hogy az EU-tagállamokban elkezdtek fokozatosan megszüntetni a hagyományos izzószálas villanyégők gyártását és áttértek a higanyt tartalmazó energiatakarékos fénycsővekre. A higanyos aranybányászat pedig a becslések szerint [WHO, 2014] még napjainkban is 70 fejlődő országban mintegy 15 millió embernek a megélhetést biztosító elfoglaltsága (ami egyúttal sokuk korai és súlyos egészségkárosodását is okozza).

A fenti alkalmazások céljára jelenleg a világban mintegy négyezer tonna higanyt használnak, de ennek közel a feléhez már újrahasznosítás révén jutnak; a higanybányászatban és exportban Kína tölt be vezető szerepet [UNEP-GCO, 2013].

Környezeti kibocsátások, országhatárokon áterjedő és globális terjedés

A környezetszennyezés forrásai

A higany és bizonyos vegyületei a természeti források (pl. vulkáni tevékenység) mellett a fent említett felhasználásaik és az abból keletkező hulladék, valamint annak égetése révén is nagy mennyiségben kerültek és kerülnek a környezetbe: a légkörbe, a víztestekbe, a felszínre, a talajba.

A higanytartalmú termékekből és a higanyt felhasználó ipari folyamatokból származó légköri higanykibocsátás mértékét azonban jóval meghaladja a széntüzelésből – mindenekelőtt a széntüzelésű erőművekből – eredő kibocsátás, amihez többek között hozzáadódik a vasgyártás, a fémkohászat, a cementgyártás, az üvegipar higanyos környezetterhelése is. (Az egyértelműség

kedvéért: e légköri kibocsátások az említett eljárások „kísérőjelenségei”; a széntüzelés esetében pl. a kőszénben nyomokban meglévő higany jut ki a légkörbe. A szakirodalom ezeket „nem szándékos” kibocsátásoknak nevezi szemben azokkal, amelyek higanyt, higanyvegyületet felhasználó, ill. tartalmazó technológiákból vagy eszközökből erednek.)

A becslések szerint 2010-ben az emberi tevékenységekből összességében globális szinten közel 2000 tonna higany került a légkörbe, s ennek több, mint harmada a kézi és kisüzemi aranybányászatból származott [UNEP-GMA, 2013; UNEP-TK, 2013]. A vizekbe kerülő higanyszennyezés a légköri kiülepedést nem beleszámítva ugyanabban az évben közel 200 tonna volt.

A higanyszennyezés terjedése

A higanyszennyezés nagy távolságokra eljuthat és távol kibocsátási forrásától is kifejti károsító hatását. A légkör közvetítésével és közvetlenül a víztestekbe kerülő higany ott rendkívül mérgező szerves metil-higannyá alakul át. A levegőszennyező anyagok nagytávolságú légköri terjedésének megfigyelésére az 1970-es években létrehozott pán-európai levegőkörnyezeti megfigyelési program (EMEP) adott lehetőséget, de még ennek keretében is a nehézfémek (higany, kadmium, ólom) kibocsátásának, terjedésének és légkörből való kikerülésének *rendszeres* monitorozására, numerikus modellezésére és értékelésére csak az 1990-es évektől került sor [Tørseth et al., 2012]. A vizsgálatok alapján megállapítható volt, hogy míg a gáznemű elemi higany (elemi higanygőz) átlagosan hosszú ideig, fél- vagy akár két évig a légkörben marad és ennek betudhatóan rendkívül nagy távolságra eljuthat, addig a sokkal kisebb mennyiségben ott található gáznemű reaktív higany vegyületei és az aeroszol részecskékhez kötött higany csak pár napig tartózkodik a légkörben [Butler et al., 2007; Wängberg et al., 2001].

Az európai kontinentális léptékű légköri terjedés részletes feltárását követően felmerült, hogy e szennyezés sokkal nagyobb távolságokra is eljuthat és akár a kontinensek közötti többezer-kilométeres utat is megteheti. E tekintetben behatóan vizsgálták az ázsiai kibocsátási forrásokból származó szennyezőanyag terjedését [Weiss-Penzias, 2007; UN, 2011; LRTAP, 2012]. Mindennek ezért lett komoly nemzetközi környezetvédelmi, egészségügyi és politikai jelentősége, mert bár a különböző intézkedések hatására az európai és az észak-amerikai térségben határozottan csökken a higany-emisszió, addig néhány ázsiai országban (különösen Kínában, Dél-Koreában) számottevően növekszik a higany légköri kibocsátása a fokozódó PVC-gyártás, széntüzelés és más ipari tevékenységek következtében.

Sokféle káros hatás

Hosszú idő telt el addig, amíg kiderült, hogy a higany és vegyületei – eltérő mértékben és eltérő módon – felettébb károsak az emberi egészségre és a bioszférára. A higanytartalmú kenőcsök, gyógyszerek, kozmetikumot valóságos jótékony hatásai mellett jelentkező, esetenként már súlyos ártalmak jeleit összetéveszthették a kezelni kívánt baj tüneteivel. Sokáig más felhasználások esetében sem merült fel, hogy a higany – a higanygőz belélegzése, a higanytartalmú gyógyszer és étel elfogyasztása által – a szervezetben való fokozatos felhalmozódása, a higannyal vagy az alkalmazott higanyvegyülettel való érintkezés vezetett el mintegy észrevétlenül a romló egészségi állapothoz.

Mai szemmel nézve pedig szinte hihetetlen, hogy sokáig még ott sem készültek rendszeresebb feljegyzések, elemzések a tünetekről, ahol többé-kevésbé egyidőben sokakat érinthetett e probléma (bányászok, aranyászok, ezüst-foncsorozók, nemezkalap-készítők), amiből jóval előbb egyértelműen kitűnt volna az ok-okozati összefüggés, azaz, hogy higanymérgezésről van szó.

Tömeges higanymérgezési esetek

Két rendkívüli eset vezetett el a higany súlyos egészségkárosító szerepének felismeréséhez. E tömeges higanymérgezések alkalmával többé-kevésbé szisztematikusan rögzítették a tüneteket és azonosították a kiváltó okot, azt, hogy milyen és hozzávetőlegesen mennyi higanyvegyület került a különböző panaszokkal jelentkező egyének szervezetébe. A higany sokoldalú alkalmazásának több ezer éve tartó „világkarrierjében”, veszélyességének megértésében ezek jelentették a fordulópontot.

Japánban a tengerparti Minamata településen működő üzemben – a Chisso cég vegyigyárában – az 1950-es évektől növekvő mértékű műanyag-, kozmetikum- és gyógyszergyártáshoz szükséges vegyület (acetaldehid) előállításához katalizátorként higany-szulfátot használtak. A minamatai tengeröblbe engedett ipari szennyvízbe a higanyszennyezés már egy különösen mérgező szerves vegyületként (metil-higany) került. E vegyület a halak és más tengeri élőlények szervezetében felhalmozódott és az azokkal táplálkozó lakosoknál egyénileg is eltérő dózisszint elérését követően megjelentek a higanymérgezés tünetei. 1956-tól kezdve több ezer embernél diagnosztizáltak különböző idegrendszeri és mozgásszervi károsodást, s mintegy hatszáz halálesetet is rögzítettek. Az érintett üzemben ugyan 1968-tól technológiát változtattak, de a felelősségét elvitató cég elleni kártérítési eljárások még közel három évtizedig tartottak [MoE, 2002; Mészáros - Somlyódy, 2012; WHO, 2013].



A minamatai higanymérgezés áldozatainak emlékműve Japánban (<http://commons.wikimedia.org/>)

A „második Minamata eset” ugyancsak Japánban 1965-től vált ismertté: egy másik vegyipari cég (Showa) higanyos szennyvize a közeli folyóba került (Agano) és ebben az esetben közel hétszáz higanymérgezési esetet azonosítottak.

Az 1971-72-ben bekövetkezett iraki higanymérgezések jelentették a másik drámai fordulatot a higannyal – általában a nehézfémekkel, azok káros hatásaival – kapcsolatos nemzetközi együttműködés kialakulásában. Irakban higanyvegyületet (metil-higanyt) tartalmazó szerrel csávázott, vetésre szánt gabonamagvakat az azokhoz hozzájutó lakosság hónapokon keresztül kenyérsütésre használta fel. Emiatt sokuk szervezetébe rövid idő alatt jelentős higanydózis került. Hetezernél több kóros esetet és több mint négyszáz halálesetet regisztráltak. A betegek higanyterhelése függvényében feljegyezték a kóros tüneteket és a haláleseteket. Ez a részletesen dokumentált és elemzett eset [WHO, 1976, 1990] is hozzájárult ahhoz, hogy 1980-tól útjára induljon WHO-ILO-UNEP együttműködésben a nehézfémek – köztük a higany és vegyületei – káros hatásaival, azok megelőzésével, illetve kezelésével is foglalkozó Nemzetközi Kémiai Biztonsági Program (IPCS).

Egészség- és környezetkárosító hatások

Az említett kritikus eseményeket követően tehát sokkal nagyobb figyelem irányult a higany egészséget érintő hatásainak feltárása felé [WHO, 2003, 2007]. Behatóan elemezték a táplálkozással, mindenekelőtt a tengeri halak fogyasztásával az emberi szervezetbe kerülő higany és vegyületei idegrendszeri és emésztőszerveket károsító hatásait, a higanytartalmú gyógyszerek és kozmetikumok vesekárosító hatásait, a higanygőz belélegzésének légzőszervi megbetegedésekkel járó következményeit [WHO, 2003; WHO, 2007; Azevedo et al., 2012].

Több országban – az USA-ban, Japánban, az EU tagállamaiban is – már az 1990-es években a közfogyasztásba kerülő tengeri halakra meghatározták a kritikus szerveshigany-koncentráció szintet (0,4-1,0 mg/kg), de az újabb vizsgálati eredmények szerint ezen értékeknél alacsonyabb szintű mennyiségek is már károsak lehetnek [WHO, 2007]. Emellett részletesen tanulmányozták az elemi higany és a szervetlen higanyvegyületek egészségkárosító következményeit is, amelyek a különféle technológiai eljárások és a higanytartalmú termékek révén fejtik hatásukat. A tengeri halak nemcsak közvetítik a higanyt (metil-higany) az azokkal táplálkozó emberekhez, hanem saját maguk és más fajok is – különösen a hallal táplálkozó fajok – a higanymérgezéssel súlyosan károsodhatnak. Az érintett fajokra, illetve általában a környezetbe bocsátott higany mennyiség bioszférára – egyes állatfajokra – gyakorolt káros hatását is sokoldalúan elemezték [UNEP/GMA, 2002; COM, 2002], hiszen ennek mérséklése is fontos cél lett.

A hatásvizsgálatokkal párhuzamosan megkezdődött a higannyal kapcsolatos káros hatások csökkentését célzó megoldások, technológiák fejlesztése, alkalmazása. A legkézenfekvőbb a higanytartalmú eszközök, termékek kiváltása lett higanymentesekre (pl. a hőmérők, a szárazelemek esetében), vagy a higanyt általában nagyobb koncentrációban felhalmozó tengeri halak fogyasztásának korlátozására felhívó ajánlás. A különböző ipari tevékenységek – pl. erőművi széntüzelés, fémkohászat – esetében megfelelő technológiával azt lehetett elérni, hogy a higanyszennyezés se kerüljön ki a légkörbe. E megoldások bevezetése egy-egy országban vagy régióban azonban csak

részlegesen oldhatta meg a higanyszennyezésből fakadó problémákat a korábban részletezett szennyezőanyag-terjedési folyamatok miatt.

HIVATKOZÁSOK

- Alpers, Ch. N., M. P. Hunerlach, J. T. May, R. L. Hothem, 2005: Mercury Contamination from Historical Gold Mining in California. US Geological Survey.
- Archibald, W., 1914: A modern bányászat. Franklin T., Budapest, 448.
- Azevedo, B.F. et al, 2012: Toxic Effects of Mercury on the Cardiovascular and Central Nervous Systems. J. Biomed Biotechnol. 2012: 949048.
- Borbély A., 2011: Selmeci bányászok Minas Gerais államban, Brazília egyik legjelentősebb bányavidékén és a szakmai kapcsolatok alakulása a 18–19. század folyamán. In: Kovács F., Debreczeni A. (szerk.): Bányászat és geotechnika. Miskolci Egyetem, A/80, Miskolc, Egyetemi Kiadó, 205–228.
- Brooks, W.E., 2010: 2009 Minerals Yearbook: Mercury. US Geological Survey
- Czaika, E., B. Edwards, 2014: History of Mercury Use in Products and Processes. Mercury Science and Policy at MIT, <http://mercurypolicy.scripts.mit.edu/blog/?p=367>, letöltés ideje: 2014. szept. 2.
- Butler, T., G. Likens, M. Cohen, F. Vermeylen, 2007: Mercury in the Environment and Patterns of Mercury Deposition from the NADP/MDN Mercury Deposition Network. NOAA
- COM, 2002: Heavy Metals in Waste, Final Report. European Commission DG ENV, 86.
- Földessy J., Böhm J., 2012: Arany és cianid – lehetőségek és kockázatok. Magyar Tudomány, 2012/5, 532–540.
- Hoffmann, R., 1994: Winning gold. American Scientist, vol. 82, Jan–Febr.15–17.
- Holmyard, E.J., 1931: Makers of chemistry. Clarendon Press, Oxford, 339.
- LRTAP, 2012: Long-term changes of heavy metal transboundary pollution of the environment (1990–2010). EMEP Status Report 2/2012, MSC-E & CCC & CEIP.
- Lukács L., 2013: Bombafenyegetés – robbantószerkezetek a honi katonai robbantástechnikában. Repüléstudományi közlemények. XXV/2, 123–143.
- Mészáros E., Somlyódy L., 2012: Beszélgetés a környezet két fontos közegéről – a vízről és a levegőről. Magyar Tudomány, 2012/10, 1160–1205.
- MoE, 2002: Minamata Disease: The History and Measures. The Ministry of the Environment, Gov. of Japan. <http://www.env.go.jp/en/chemi/hs/minamata2002/>, letöltés ideje: 2014. szept. 2.
- Nriagu, J.O., 1994: Mercury pollution from the past mining of gold and silver in the Americas. Science of the total environment. 149, 167–181.
- Simonyi K., 2001: A magyarországi fizika kultúrtörténete, XIX. század. Természettudomány Világa, 2001. I. különszám
- Sloane, J., 2014: Mercury: Element of the Ancients. Dartmouth, <http://www.dartmouth.edu/~toxmetal/mercury/history.html>, letöltés ideje: 2014. szept. 2.
- Solnit, R., 2006: Winged Mercury and the Golden Calf. Orion Magazine, Sept/Oct 2006, <http://www.orionmagazine.org/index.php/articles/article/176/>, letöltés ideje: 2014. szept. 2.
- Szathmáry L., 1928: Alkemisták a magyar királyi udvarban. Természettudományi Közöny, 60. kötet, 1928. febr. 1.
- Thankachan, P. N., 2011: Evolution of chemistry, Part 1. Breakthrough, 15:2, 1–6.
- Torseth, K. et al., 2012: Introduction to the European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP), Atmos. Chem. Phys., 12, 5447–5481.
- Tramer, A., et al., 2007: What Is (Was) Alchemy? Vol. 112 (2007) ActaPhysicaPolonica A, Supplement, 5–18.
- UN, 2011: Hemispheric Transport of Air Pollution 2010. Air Pollution Studies No18: Mercury, UN, New York and Geneva, 213.
- UNEP/GMA, 2002: Global Mercury Assessment. UNEP Chemicals, UNEP, 270.
- UNEP/GMA, 2013: Global Mercury Assessment 2013: Sources, emissions, releases, and environmental transport. UNEP, 44.
- UNEP/TK, 2013: Toolkit for Identification and Quantification of Mercury Releases. UNEP, 338.
- Uzsoki A., 2004: Adalékok az aranyosás történetéhez és technikájához. Érc- és Ásványbányászati Múzeum, Rudabánya, 89.
- Wangberg, I. et al., 2001: Atmospheric mercury distribution in Northern Europe and in the Mediterranean region. Atmospheric Environment (2001) 35, 3019–3025.
- Weiss-Penzias, P. et al., 2007: Quantifying Asian and biomass burning sources of mercury using the Hg/CO ratio in pollution plumes observed at the Mount Bachelor Observatory. Atmospheric Environment, 41, 4366–4379.
- WHO, 1976: Mercury. Environmental Health Criteria, No. 1, World Health Organization (International Programme on Chemical Safety), Geneva.
- WHO, 1990: Methylmercury. Environmental Health Criteria, No. 101, World Health Organization (International Programme on Chemical Safety), Geneva.
- WHO, 2003: Elemental mercury and inorganic mercury compounds: human health aspects, Concise International Chemical Assessment Document 50, WHO, Geneva.
- WHO, 2007: „Health risks of heavy metals from long-range transboundary air pollution”, WHO, Geneva, 144.
- WHO, 2013: Mercury and health. Fact sheet N°361, WHO.
- WHO, 2014: Public health impacts of exposure to mercury and mercury compounds: the role of WHO and ministries of public health in the implementation of the Minamata Convention. WHO, 6.

A folyékony ezüst tündöklése és bukása (Második rész)

A higany, illetve különféle vegyületeinek felhasználásával, hatásával, az ezekkel kapcsolatos nemzetközi együttműködéssel foglalkozó elemző tanulmány első része (MKL, 2015. 1. szám) történeti áttekintést adott az alkalmazásokról, a higany-szennyezés terjedéséről, valamint az emberi egészségre és a környezetre gyakorolt káros következmények felismeréséről. Ebben a második részben az arra irányuló nemzetközi együttműködés fejlődésével és értékelésével foglalkozunk, amelynek nyomán belátható időn belül – néhány kivételtől, átmeneti felhasználási módtól eltekintve – megszűnhet a higany bányászata, ipari folyamatokban és különböző termékekben való alkalmazása, világszerte jelentősen csökkenhet környezeti kibocsátása és egészségkárosító hatása.

Nemzetközi együttműködés

Szervezetek és programok

Az említett tömeges higanymérgezési esetek napvilágra kerülését követően gyorsuló ütemben bontakozott ki a higannyal általában véve a mérgező vegyi anyagokkal, nehézfémekkel foglalkozó nemzetközi együttműködés. Ennek témakörei egyaránt magukban foglalták a higanytartalmú termékekkel és higanyos technológiákkal kapcsolatos egészségi és környezeti kockázatok felmérését, a környezeti kibocsátások, a légköri terjedés és kiülepedés nyomon követését, értékelését, valamint mindezek mérséklését. Már utaltunk (a tanulmány első részében) a WHO–ILO–UNEP együttműködésben 1980-ban megkezdett *Nemzetközi Kémiai Biztonsági Programra* (IPCS), valamint a nehézfém-emissziók és -szennyezés megfigyelésére, amely az 1980-as évektől már néhány helyen megkezdődött, majd az 1990-es évektől valóban *pán-európai szintű monitoring programmá* vált.

Az ENSZ keretében elfogadott átfogó fenntartható fejlődési és nemzetközi fejlesztési programokban fogalmazták meg e téren is az általános célkitűzéseket (Faragó, 2012, 2013a). Így az 1992. évi riói világtalálkozón jóváhagyott program („Feladatok a 21. századra”) külön fejezetet szentelt a mérgező vegyi anyagok témájának, és azt ajánlotta, hogy minden országban lehetőleg 2000-re alakítsák ki e vegyi anyagok környezetileg hatékony kezelésének intézményi, jogi feltételeit. E cél elérésének elősegítésére – az említett Nemzetközi Kémiai Biztonsági Programban szerzett tapasztalatokra is építve – 1994-ben létrehozták a *Kémiai Biztonsági Kormányközi Fórumot* (IFCS). Az újabb világtalálkozón

2002-ben egyetértés alakult ki arról, hogy 2020-ra el kell érni a vegyi anyagok, köztük a nehézfémek emberi egészséget és környezetet már jelentősen nem károsító termelését, illetve használatát. Ezt újfent megerősítették a 2012. évi világtalálkozón („Rió + 20”). Az ENSZ külön munkacsoportja által előkészített és a 2015 utáni időszakra vonatkozó globális fenntartható fejlődési célok között pedig feltehetően ugyancsak lesz egy, ennek a témakörnek szentelt cél, de már 2030. évi határidővel.

A fentebb hivatkozott fórumok, fenntartható fejlődési programok többnyire csak közvetve utaltak a nehézfémekre és így a higanyra vonatkozó teendőkre (beleértve azokat is a „fenntartható” vegyi anyag-kezelés feladatkörébe). Az ENSZ szakosított szervezeteinek viszont már kifejezetten a higannyal is foglalkozó programja volt vagy van jelenleg is. Ezek sorában említhetjük a FAO-t (tengeri halászat), az ILO-t és az UNIDO-t (aranybányászat, higanyt tartalmazó hulladék ártalmatlanítása), az UNEP-et (környezeti kibocsátások, Globális Higany Együttműködési Program – GMP) a WHO-t (a higany és vegyületeinek egészségkárosítása). E témakörben nem kormányzati szervezetek is aktív nemzetközi elemző és lobbitevékenységet folytatnak¹.

A sok szálon futó nemzetközi tevékenységek összehangolásához hozzájárult a Vegyi anyag-kezelés Nemzetközi Konferenciáján² 2006-ban elfogadott „*Nemzetközi Vegyi anyag-kezelés Stratégiai Megközelítése*” elnevezésű program³ és az annak részeként jóváhagyott Globális Intézkedési Terv. Ez a részletes nemzetközi stratégia és feladatterv már nemcsak az egyik prioritási területként szólt a higannyal kapcsolatos kockázatok csökkentéséről, hanem –összhangban az UNEP korábbi ajánlásaival – szorgalmazta annak megvizsgálását, hogy e célra egy globális szintű nemzetközi jogi eszköz készüljön.

A pán-európai megállapodás

Az európai térségben a 20. század közepétől gyors növekedésnek indultak azok az ágazatok is, amelyek nehézfémeket és azok vegyületeit komoly mértékben használtak és bocsátottak ki a környezetbe. Ilyen volt egyebek mellett: a növekvő ólmozott benzín-igényű közlekedés, a klórt használó papírgyártás (amihez a klór a „higanyos” klór-alkáli iparból érkezett), a higany és kadmium kibocsátásával is együtt járó, fosszilis tüzelőanyagot felhasználó villamosenergia-termelés. Az ezekkel összefüggő egészségi és környezeti ártalmakra, a nehézfémes szennyezőanyagok országhatárokat átlépő légköri terjedésére az 1970-es évek végétől derült fény. Ez utóbbi azért lett különösen fontos, mert ugyan egyes európai országok szabályozni kezdték a saját környezetterhelő tevékenységeiket, miközben továbbra is jelentős mennyiségű szennyezőanyag érkezett területükre más országokból.

¹ Pl.: Zero Mercury Working Group

² ICCM – International Conference on Chemicals Management

³ SAICM – Strategic Approach to International Chemicals Management



Archív kép a recski bányáról

Emiatt született meg a nagy távolságra, országhatárokon áterjedő levegőszennyezésről szóló 1979. évi pán-európai (EGB) egyezmény 1998. évi jegyzőkönyve a nehézfémekről. A jegyzőkönyvhöz csatlakozó állam többek között azt vállalta, hogy a megadott határidőkön belül: légköri higany-kibocsátása csökkenni fog az 1990. évi szinthez képest (vagy az 1985–1995 közötti referenciaévhez képest); megadott ipari tevékenységi körben minden új, nagyobb kapacitású üzeme (égetőmű, klór-alkáli üzem stb.) már a legjobb elérhető technikát (BAT) fogja alkalmazni, higanykibocsátása sem fogja meghaladni az előírt határértéket, és ezt lehetőleg minden már működő üzem esetében is érvényesíteni fogja; az alkáli-mangán szárazelemek gyártásánál korlátozza a higanytartalmat; lehetőleg más higanytartalmú termékek esetében is kiváltja azokat higanymentes termékekre vagy csökkenti higanytartalmukat.

A jegyzőkönyv hatálybalépésére öt évet kellett várni (ennek a 16. ratifikációs okirat letétbe helyezése volt a feltétele), ami jelzi, hogy az abban szabályozott nehézfémek kibocsátásával, használatával járó technológiák és termék-előállítási módok megváltoztatása nem egyszerű feladat. Ez lehet a fő oka annak is, hogy jelenleg – több mint másfél évtizeddel a jegyzőkönyv elfogadását követően – a pán-európai régió államainak mintegy harmada (köztük több EU-tagállam) még mindig nem részese e megállapodásnak.

Világossá vált, hogy különösen egyes kelet-európai országok sajátos gazdasági, kapacitásbeli problémái miatt csak úgy érhető el e nemzetközi jogi eszközhöz való csatlakozásuk és higany-kibocsátásaik mérséklése, ha számukra bizonyos engedményeket tesznek, illetve technikai és anyagi segítséget is biztosítanak. Ugyanakkor a higany káros hatásaira vonatkozó újabb eredmények számításba vételével az is felmerült, hogy szigorítani kellene a korábbi rendelkezéseket, így többek között a kibocsátási határértékeket. E részben egymásnak is ellentmondó elvárások tükröződtek a jegyzőkönyv 2012 végén elfogadott módosításában. Csak két példát említünk. Az újabb előírás szerint minden új klór-alkáli üzemben már higanymentes technológiát kell alkalmazni (szemben az 1998. évi előírással, amely 0,01g Hg/Mg Cl₂

határértéket engedett meg). Viszont e módosított jogi eszközhöz 2019-ig csatlakozó állam számára a nehézfém-szennyezés tekintetében lényegesen „könnyítettek” az előírásokon a már 1990 előtt meglévő üzemek vonatkozásában (pl. ha legfeljebb 2030-ig bezárják az ilyen, jelenleg is működő és nehézfémes szennyezőforrást is jelentő nagyobb erőművet, akkor ott már nem kell átállni BAT-ra és nem kell alkalmazni a jegyzőkönyvben előírt kibocsátási határértéket).

Jelenleg nyitott kérdés, hogy ez az egyidejűleg „szigorúbb” és „enyhébb”, módosított pán-európai megállapodás mikor fog hatályba lépni, valamint mikorra állhat elő az a helyzet, hogy e térség államai kivétel nélkül – de legalábbis nagyon kevés kivétellel – részt vesznek annak végrehajtásában és ezáltal legalább e térségben tovább mérséklődik többek között a higanyszennyezés.

Annak ellenére, hogy sok állam még nem részese a megállapodásnak, ezen államokban is általában csökkent a higanyemisszió elsősorban az érintett ágazatok termelés-visszaesése következtében. Így összességében a teljes régióra 1990-hez képest a kibocsátások mintegy hatvan százalékkal lettek kisebbek, miközben a felszínre érkező mennyiség – a más régiókból a légkörön át érkező higanyszennyezés miatt – csupán 30%-kal marad el a korábbi mértékétől [LRTAP, 2012].

Az EU szigorodó higanypolitikája

A higanyval kapcsolatos pán-európai megállapodás megkötésében és eddigi eredményes végrehajtásában sok múlott az Európai Közösségen. Már az 1973. évi első közösségi környezetvédelmi program [EC, 1973] azon szennyezőanyagok között sorolta fel a higanyt, amelyekre veszélyességük mértékének függvényében rövid időn belül meg kell határozni a teendőket, külön kitérve a leginkább érintett termékekre, ágazatokra és a hulladékgazdálkodásra. A rákövetkező programok aktualizálták, tovább részletezték e feladatkört. 1998-ig bezárólag – tehát a pán-európai megállapodás elkészültéig – sorra jelentek meg a higanyra érvényes vagy arra is kiterjedő közösségi szabályozási eszközök: a víztestek higanyszennyezéséről; a veszélyes hulladékokról; a higanyos katódcellákat alkalmazó klór-alkáli ipar és más iparágak által kibocsátott higanyszennyezéséről; a különböző ipari üzemekből származó légköri kibocsátásokról (beleértve a nehézfémek és vegyületeik emisszióját); külön is a veszélyes anyagokat, köztük higanyt tartalmazó szárazelemekről és akkumulátorokról.

A későbbiek során szigorították, bővítették a közösségi szakpolitikai megközelítést és szabályozási eszköztárat. Az átfogó megközelítést a 2005. évi *közösségi higanystratégia* tartalmazta, amelyet 2010-ben felülvizsgáltak [COM, 2005, 2010]. Előírták a szárazelemek és akkumulátorok higanytartalmának minimalizálását (gyakorlatilag a megszüntetését); csak a gomelemek kaptak átmeneti mentességet 2015 végéig [EC, 2006R]. Már nem gyárthatók, nem forgalmazhatók, nem használhatók a higanyos hőmérők és néhány kivételtől eltekintve más mérőműszerek sem [EC, 2006R, 2007, 2012]. Hasonlóképpen korlátozták vagy megtiltották a higany használatát az elektromos és elektronikus berendezésekben; a kevés számú kivétel között szerepelnek a kompakt és vonalas (CFL, LFL) világítóeszközök [EC, 2002, 2009, 2011]. Hasonlóképpen – kevés kivétellel – nagyon alacsony szinten határozták meg bizonyos kapcsolók, relék higanytartalmát [EU, 2011].

A környezeti kibocsátásokra 2010-ben elfogadott és az ipari tevékenységek széles körét – beleértve az engedélyezési és BAT követelményeket – tárgyaló irányelv a légkörbe és a vizekbe kerülő sokféle szennyezőanyag sorában általában a fémekre és

fémvegyületekre, s konkrétan a higanyra is kiter és szigorú kibocsátási határértékeket adott meg [EU, 2010].

Jól mutatja a higany ártalmosságának megítélésében „keményedő” szemléletváltozást, hogy az EU 2011-től megtiltotta a higany és fontosabb vegyületeinek exportját [EU, 2008]. Ugyanez a jogi eszköz azt is előírta, hogy a fémhigany hulladéknak kell tekinteni, tehát már semmilyen további felhasználása nem megengedett, valamint ártalmatlanításáig – a további egészségi és környezeti ártalmak elkerülése érdekében – biztonságos körülmények között kell tárolni. (Miótán e szabályozás körébe a cinóber ércből kivont higany is beletartozik, így ez, ha jogi értelemben nem is, de gyakorlatilag a higany bányászatának betiltását is jelentette.)

Mindezek nyomán EU-szinten jelenleg még a klór-alkáli ipar maradt messze a legnagyobb higany-felhasználó, de mivel a klórelőállítás higanyos technológiája már nem számít majd BAT-nak (2017-től), így új üzemekben már nem lesz alkalmazható, a még működők pedig belátható időn belül amortizálódnak.

A fentieknek is köszönhetően EU-szinten (EU-27) a higany légköri emissziója 1990 és 2010 között 65%-kal – ezen belül a magyarországi kibocsátás 88%-kal – csökkent [EEA, 2013]. Ugyanakkor az EU-tagállamok többségében a felszínre érkező higanyszennyezés csak a felére vagy annál is kevésbé mérséklődött a más régiókból – elsősorban ázsiai forrásokból – érkező és a légkörből kiülepedő szennyezőanyagok miatt [EMEP, 2012]. Emiatt is az EU határozottan kiállt a pán-európai megállapodás hatálybalépését követően egy globális egyezmény kidolgozása mellett.

Részvételünk a nemzetközi együttműködésben és a hazai helyzet

A higany és vegyületeinek a különböző termékekben és folyamatokban való felhasználását érintő hatályos EU-szintű szabályozási eszközök értelemszerűen hazánkra is vonatkoznak. A közvélemény számára feltehetően a legismertebb következmény a higanyos hőmérők, lázmérők forgalmazásának megszüntetése volt, de a fentiekben részletezettek alapján ennél sokkal több terméket, készítményt érintenek ezek az előírások. A még megmaradt és nálunk is elterjedt alkalmazások között olyanok szerepelnek, mint az első részben említett világítóeszközök (CFL, LFL), a gombelemek, a fogászati amalgám. Az uniós és az annak megfelelő hazai szabályozás kiterjed a higanytartalmú hulladékokra, a higanyexport tilalmát magában foglaló nemzetközi kereskedelemre is.

A nehézfémek környezeti kibocsátásával, országhatárokon áterjedő levegőszennyezésének szabályozásával foglalkozó 1998. évi pán-európai megállapodást hazánk 2005-ben ratifikálta; e nemzetközi jegyzőkönyv kihirdetése 2007-ben történt meg (2007. évi XXI. tv.). Mint arra már utaltunk, e nemzetközi előírással és a vonatkozó EU-szabályozással is összhangban a hazai higanykibocsátások jelentősen csökkentek, akárcsak az európai térség országainak döntő többségében. Ugyanakkor a légköri eredetű higanyszennyezés mérséklődése ettől lényegesen elmaradt, s ennek is betudhatóan – az EU más tagállamaihoz hasonlóan – határozottan támogattuk egy globális egyezmény kidolgozását, amely végül 2013-ban megszületett.

A higany kapcsán a legátfogóbb hazai szabályozási keretnek a többször módosított kémiai biztonsági törvény tekinthető (2000. évi XXV. tv.), de a fentiekben hivatkozott minden egyes közösségi jogi eszköz végrehajtása is komoly ellenőrzési, nyilvántartási, jelentéstételi, intézkedési feladatot jelent az érintett hazai állami intézmények és a vállalatok számára. A higannyal kapcsolatos szakmai módszertani és hatósági feladatok

számottevő része az Országos Kémiai Biztonsági Intézet hatáskörébe tartozik, a szabályozási feladatokért pedig több ágazati minisztérium felel.

A bányászattal összefüggésben mindenekelőtt a recski, illetve a lahócai ércbánya említendő, ahol az aranyérc-feldolgozáshoz korábban higanyt használtak, s bár a kitermelés 1979-ben leállt, az elmúlt években is felmerült a megmaradt ásványvagyon, közte az aranyérc kitermelésének lehetősége [Földessy-Bóhm, 2012]. E területek mellett más hazai cinnabarit-lelőhelyeket is nyilvántartanak, így a rudabányait, de a bányászati tevékenység már ott is régen abbamaradt. Viszont jelenleg is folyamatban van a lahócai környezeti kármentesítési program végrehajtása. Környezeti hatásai miatt mindezeknél lényegesen „érzékenyebb” helyzetben volt és részben maradt a hazai klór-alkáli ipar: a „higanyos” (higany katódos) technológiát alkalmazó üzemeket vagy már leállították (Nitrokémia), vagy fokozatos kiváltásuk érdekében más eljárást alkalmazó technológiát is bevezettek (Borsodchem), de mindenütt elengedhetetlen lett a korábbi felszínalatti higanyszennyezés felszámolása. Ez utóbbi más területeket is érint, ahol különféle okokból higanyt is tartalmazó környezetszennyezés történt (emlékeztethetünk a több mint egy évtizede bekövetkezett tiszai cián- és nehézfém-szennyezésre, a csepeli galvániszapból származó és a talajvízben több évvel ezelőtt kimutatott higanyra, a közelmúltban történt vörösiszap-katasztrófára).

A globális megállapodás

A 2002. évi Fenntartható Fejlődési Világtalálkozó vegyi anyagokkal kapcsolatos ajánlását és a pán-európai megállapodás 2003. évi hatálybalépését követően az UNEP fórumain évről évre felvetették, hogy globális szinten is készüljön jogi eszköz a nehézfémekről. Ekkor már három olyan multilaterális egyezmény létezett [Faragó, 2005; 2013b], amelyek módosításával is esetleg – jogi és tárgyalástechnikai szempontból talán könnyebben – többé-kevésbé elérhető lett volna a higanyszennyezés nemzetközi szabályozásának célja. Azonban az 1998. évi *Bázei Egyezmény* a veszélyes hulladékok nemzetközi szállításáról [BC, 1998] értelemszerűen nem lett volna úgy kiterjeszhető, hogy csak a higany esetében fedte volna le a hulladékproblémán túlmenően az országhatárokon áterjedő környezeti kibocsátások sokrétű vetületeit, hatásait. Az 1998. évi *Rotterdami Egyezmény* a vegyi anyagok nemzetközi kereskedelmével kapcsolatos tájékoztatási kötelezettségekről [PIC, 1998] kiterjedt már bizonyos higanytartalmú növényvédő szerekre, de a higannyal összefüggő sokrétű folyamatok szempontjából ez is „csak” egy fontos, de túl specifikus tárggyal foglalkozott. A szerves szennyezőanyagok kezeléséről szóló 2001. évi *Stockholmi Egyezménynek* [POP, 2001] legalább a szerves higanyvegyületekre való kiterjesztésével ugyancsak részben lett volna elérhető a globális higanyszabályozás, de ez a lehetőség is elfogadhatatlan lett volna azon országok számára, amelyek ki akarták zárni a higanyon túl más nehézfémekre vonatkozó nemzetközi szabályozásnak még az elvi lehetőségét is. Az eltérő gazdasági és környezeti érdekek miatt azonban ekkor még az esetleg csak a higanyra korlátozó jogi eszköz létrehozására vonatkozóan sem volt konszenzus, így 2005-ben még csak a *Globális Higany Együttműködési Programról* született döntés [UNEP-GMP, 2009].

Végül az UNEP Kormányzó Tanácsának 2009. ülésén egyetértés alakult ki egy új globális jogi eszköz kidolgozásának megkezdéséről azzal a megkötéssel, hogy a leendő egyezmény csak a higanyról fog szólni és messzemenően figyelembe fogja venni azon országok szempontjait, amelyek bizonyos

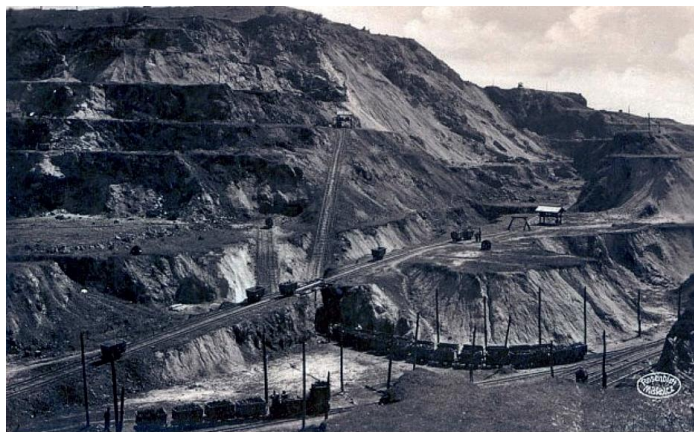
tevékenységek és termékek esetében elutasították nemzetközi jogi kötelezettségek vállalását. A globális megállapodás, azaz a *Higanyról szóló Minamata Egyezmény* szövegét 2013 januárjában 140 ország tárgyalódelegációja véglegesítette Genfben [MC, 2013], formális elfogadására pedig 2013 októberében szimbolikusan Minamatában, illetve a közeli közigazgatási székhelyen került sor. A probléma bonyolultságát, a gazdasági és környezeti érdekellentétek sokféleségét, a kompromisszumkeresés nehézségét jól jellemzi, hogy 2002-től több mint egy évtizedet vett igénybe a megegyezés elérése.

Az új nemzetközi jogi eszköz célkitűzése az emberi egészség és a környezet védelme a különféle társadalmi-gazdasági tevékenységekből kibocsátott higanytól és higanyvegyületektől. Ennek érdekében mindenekelőtt be kell szüntetni a higany *bányászatát*: az egyezménynek egy csatlakozó állam számára érvényes hatálybalépésétől számított másfél évtizeden belül be kell zárnia a még működő bányáit, újak pedig nem nyithatók. Az addigi legnagyobb, újrahásznosítható higanyforrást jelentő, *leállított klóralkáli üzemekből származó higanyt* már véglegesen hulladékként kell kezelni (tehát a továbbiakban az már semmilyen módon nem használható).

A részes felek számára jelentősen korlátozott lesz a *higany exportja és importja* (beleértve az egyezményhez nem csatlakozó országokkal való kereskedelmet is). Ugyancsak nem lesz megengedett 2020-tól – sok kivétellel – a higanyt tartalmazó *termékek* gyártása, exportja és importja. E körbe tartoznak a szárazelemek, kapcsolók, CFL és LFL fényforrások, kozmetikumok, növényvédő szerek, olyan nem elektronikus műszerek, mint például a nyomásmérők és a hőmérők. Az egyik különösen „puha” kompromisszum a *fogászati amalgámra* vonatkozik, amely nagy szabadságot biztosít a feleknek arra, hogy miként korlátozzák fokozatosan ezt a higanyhasználatot.

A higanyt alkalmazó *ipari folyamatok* között: a klór-alkáli termelés esetében 2025-ig engedélyezett e technológia; a minamatai esetben és sokáig széles körben az ecetsav készítése során alkalmazott vegyület (acetaldehid) előállításához a higany-szulfát katalizátor felhasználása pedig 2018-ig lehetséges. E téren a jelenleg is legelterjedtebb alkalmazás, a PVC-gyártáshoz szükséges vegyület (VCM) esetében egyelőre csak a higanyos technológia korlátozásában tudtak megállapodni a tárgyaló felek (2020-ra a 2010-es higanyhasználat mértékének felére csökkentése). Az ipari folyamatokkal kapcsolatos, határidőkhöz kötött előírásokat csak úgy lehetett konszenzussal elfogadni, hogy az egyezmény egyúttal lehetővé teszi bármely fél számára az egyezményhez való csatlakozásakor öt- vagy akár tízéves átmeneti mentesség igénylését. Sok fejlődő ország, illetve jelentős számú népességük számára a megélhetést biztosító *kézi és kisüzemi aranybányászat* esetében elfogadhatatlan lett volna a higany alkalmazásának bármilyen korlátozása; emiatt az egyezmény teljes egészében a csatlakozó felekre bízta, hogy az ezzel foglalkozó nemzeti programjaik keretében mit tesznek e higanyhasználat és az abból eredő káros hatások mérséklése érdekében.

Az akár nagy távolságokra eljutó *légtörő higanyszennyezés forrásaira* (pl. a széntüzelésű erőművekre) az egyezmény előírja, hogy – az adott fél csatlakozásától számított öt éven belül – az új létesítmények esetében már a legjobb elérhető technikát (BAT) és kibocsátási határértékeket kell alkalmazni, illetve ugyanezt kell elérni tíz éven belül a már működő üzemekben. Viszont a tárgyaló felek nem tudtak megegyezni sem e technikák, sem a határértékek konkrét meghatározásában, így az egyezmény csak azt rögzíti, hogy ezekről majd az egyezmény hatálybalépésekor állapodnak



Rudabánya régi képeslapon (www.rudabanya.hu)

meg. A *víztestekbe, a földfelszínre, a talajba jutó higanyszennyezés* csökkentését is fontos célként jelzi e jogi eszköz, de szabályozásának módját a csatlakozó felekre bízta azzal, hogy majd a hatálybalépést követően sor kerülhet e környezetszennyezés minimalizálására lehetővé tevő legjobb megoldások meghatározására.

A higanyt és vegyületeit tartalmazó *hulladék kezelésére* a Minamata Egyezmény a már említett 1998. évi Bázeli Egyezmény előírásait veszi mérvadónak azzal, hogy ennek részletesebb szabályozására is majd később fognak visszatérni. Mindezekben túlmenően meglehetősen általános tartalommal (azaz különösebben konkrét követelmények nélkül) az egyezmény rendelkezik még többek között: a higanyal szennyezett területekkel, a káros hatások feltárásával és mérséklésével, a fejlődő országoknak a feladataik végrehajtásának elősegítéséhez nyújtandó pénzügyi és technológiai támogatással, a kutatási, oktatási, tájékoztatási együttműködéssel, valamint a felek tervezési és beszámolási teendőivel kapcsolatos feladatokról.

E globális egyezmény létrejöttét nagy jelentőségű fejleménynek kell tekinteni a higany sokrétű és országhatárokon is áttekintendő káros egészségi és környezeti hatásainak csökkentése érdekében még akkor is, ha az egyes alkalmazásoktól függően hosszú évszázadok, illetve évtizedek után nehéz megvalni a higany és egyes vegyületeinek alkalmazásától. E „tehetetlenség”, de egyúttal a káros hatások felismerése, azok mérséklésének politikai szándéka világosan tükröződik az egyezmény számtalan kompromisszumában, illetve engedményében, átmeneti rendelkezésében. Az átfogó célkitűzés azonban egyértelműen jelzi, hogy belátható időn belül véget fog érni a „folyékony ezüst” világkarrierje.

A konkrét kötelezettségek végrehajtása azonban még azon fejlett országok többségének is gondot okozhat, amelyek már az

elmúlt néhány évtizedben jelentősen korlátozták a higany használatát és környezeti kibocsátását. Az EU-tagállamok esetében is további szabályozási, szakpolitikai, megfeleltetési intézkedésekre lesz szükség [Jarvis et al., 2014]. A fejlődők számára még nagyobb nehézséget okozhat akárcsak a kibocsátási források pontos számbavétele, a kibocsátási leltár összeállítása, a meglévő alkalmazások korlátozása, helyettesítési lehetőségeinek tisztázása. Mindennek tudható be, hogy bár 2014 novemberéig mintegy százhusz ország írta alá az egyezményt, de mindössze kilenc vált az egyezmény részesévé (csatlakozási, illetve ratifikációs okmányának letétbe helyezésével): köztük a fejlett országcsoportból csak az USA és Monaco. Az USA ratifikációja azért is figyelemreméltó, mert az USA nem részese több nemzetközi környezeti megállapodásnak és az USA több éven át ellenezte azt, a higany ügyében nemzetközi jogi eszköz szülessen. Márpedig ötven országnak kell csatlakoznia – aláírása megerősítésével vagy más módon – ahhoz, hogy a Minamata Egyezmény hatályba léphessen. Így jelenleg beláthatatlan, hogy ténylegesen mikortól kezdődhet meg az előírások közös, koordinált végrehajtása, s ennek nyomán világszerte a higanyszennyezés és káros hatásainak számottevő csökkenése. Az egyezmény szövegének a világ országai nagy többsége általi elfogadása remélhetően világosan jelzi e cél elérésére vonatkozóan a politikai elkötelezettséget. A környezetet és az egészséget érintő hatások további megfigyelése és értékelése, a „fenntarthatóság” követelményeinek megfelelő alternatív eljárások, technológiák fejlesztése és elterjesztése, az ezekre való átállásban is a nemzetközi együttműködés erősítése és a fejlődők támogatása pedig felgyorsíthatja e folyamatot.

Összefoglaló következtetések

A higanyal kapcsolatos kezdeti ismeretek – a társadalmak által különböző korszakokban megismert és felhasznált több más környezeti erőforráshoz hasonlóan – nem vagy csak nagyon korlátozottan terjedtek ki az emberi egészségre és a természeti rendszerekre gyakorolt veszélyes hatásokra. Annak felismerése, hogy a higany és ezzel káros hatásai a különböző kibocsátási forrásoktól nagy távolságokra eljuthatnak, pedig végképp nem történhetett meg a kiterjedt környezeti megfigyelő és értékelő rendszerek létrehozásáig.

Ez az anyag, illetve többféle vegyülete – rendkívül különleges kémiai és fizikai tulajdonságainak köszönhetően – több ezer éven keresztül sokféle módon hasznosult, miközben bányászata, feldolgozása, használata sokak életét rövidítette meg. Végül csak a múlt század közepétől néhány tömeges mérgezéssel járó rendkívüli eset kapcsán elvégzett rendszeres orvosi adatgyűjtés nyomán, valamint a fokozatosan kiépülő nemzetközi környezeti monitoring rendszer és a mind pontosabbá váló terjedési modellek révén derült fény a súlyosan káros és globális léptékűvé vált folyamatokra.

Ennek ellenére még újabb pár évtizednek kellett elteltelnie ahhoz, hogy előbb európai szinten, majd globálisan is nemzetközi megállapodás születhessen a higany használatának korlátozásáról. E késedelem, illetve különösen a 2013-ban elfogadott globális megállapodásban foglalt számos kompromisszum oka nyilvánvalóan az, hogy a higanyt tartalmazó bizonyos termékektől és a higanyt alkalmazó bizonyos eljárásoktól – technológiai, költséghatékonysági vagy más okokból – nem könnyű megválni. Emiatt is nehéz előrelátni, hogy közelmúltban szigorított, illetve lényegesen módosított pán-európai megállapodás rendelkezései miként jutnak érvényre földrészünk országaiiban, valamint azt, hogy mikor válik egyáltalán hatályossá a globális higanyegyezmény és azt követően mennyire lesz

hatékony a végrehajtása. Ez azt is jelenti, hogy e megállapodások elfogadását követően folytatni kell nemzetközi és nemzeti keretekben is a kutatási, szakpolitikai fejlesztési és intézkedési tevékenységet.

Ami a hazai helyzetet illeti, különféle okokból jelentősen mérséklődött a magyarországi kibocsátás, a higany-tartalmú termékek pedig az EU-előírásokból fakadóan is fokozatosan „eltűnnek”. Ugyanakkor számunkra is jelentős következményei lesznek az újabb nemzetközi és EU szintű rendelkezéseknek.

A higany, illetve felhasználásának és fokozatos nemzetközi korlátozásának története rendkívül tanulságos a gyorsan gyarapodó globális népesség és a természeti környezet kapcsolatának elemzése, a környezeti hatások terjedése, e téren az országok kölcsönös függősége, s más természeti erőforrások, környezetalkító tevékenységek értékelése szempontjából is.

HIVATKOZÁSOK

- BC, 1998: Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal
- COM, 2005: Community Strategy Concerning Mercury. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament. *European Commission*
- COM, 2010: The review of the Community Strategy Concerning Mercury. Communication from the Commission to the European Parliament and the Council. *European Commission*
- EC, 1973: Declaration of the Council of the European Communities and of the representatives of the Governments of the Member States meeting in the Council of 22 Nov. 1973 on the programme of action of the European Communities on the environment
- EC, 2002: Directive 2002/95/EC on the restriction of hazardous substances in electrical and electronic equipment
- EC, 2006: Directive 2006/66/EC on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators
- EC, 2006/R: Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council
- EC, 2007: Directive 2007/51/EC of the European Parliament and of the Council amending Council Directive 76/769/EEC relating to restrictions on the marketing of certain measuring devices containing mercury
- EC, 2008: Regulation (EC) No 1102/2008 of the European Parliament and of the Council on the banning of exports of metallic mercury and certain mercury compounds and mixtures and the safe storage of metallic mercury
- EC, 2009: Commission Regulation (EC) No 244/2009 implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for non-directional household lamps
- EU, 2010: Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council on industrial emissions (integrated pollution prevention and control, IED)
- EU, 2011: Directive 2011/65/EU of the European Parliament and of the Council on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (RoHS directive)
- EU, 2012: Commission Regulation (EU) No 847/2012 amending Annex XVII to Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council on the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) as regards mercury
- EEA, 2013: European Union emission inventory report 1990–2011 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP). EEA Technical report No 10/2013, 142 p.
- EMEP, 2012: Long-term Changes of Heavy Metal Transboundary Pollution of the Environment (1990-2010). EMEP contribution to the revision of the Heavy Metal Protocol. Status Report 2/2012, 65 p.
- Faragó T. et al., 2005: Nemzetközi környezet- és természetvédelmi egyezmények jóváhagyása és végrehajtása Magyarországon. (Faragó T.; Nagy B. (szerk.)), *KvVM - ELTE*, 180 o.
- Faragó T., 2012: A fenntartható fejlődéssel foglalkozó nemzetközi együttműködés négy évtizede. *Külgügyi Szemle*, 2012/3, 189-211 o.
- Faragó T., 2013a: A nemzetközi fejlesztési együttműködés céljai és a fenntartható fejlődési célok. *Statistikai Szemle*, 91. évf., 8-9. szám, 823-841. o.
- Faragó T., 2013b: A globálisan növekvő hulladékmennyiség és a kezelésére irányuló nemzetközi törekvések. *Ipari Ökológia*, 2/1, 43-76. o.
- Földessy J., Böhm J., 2012: Arany és cianid – lehetőségek és kockázatok. *Magyar Tudomány*, 2012/5, 532-540. o.
- Jarvis, A. et al., 2014: Study on EU Implementation of the Minamata Convention on Mercury. COWI, BiPro, ICF, Garrigues Ambiental, 268 p.
- MC, 2013: Minamata Convention on Mercury
- PIC, 1998: Rotterdam Convention on the Prior Informed Consent Procedure for Certain Hazardous Chemicals and Pesticides in International Trade
- POP, 2001: Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants
- UNEP-GMP, 2009: Overarching Framework – UNEP Global Mercury Partnership. UNEP, 20 p.