



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 ezüstművelés fontos kelléke lett. A korai újkortól sokirányú ipari alkalmazhatóságát tárták fel, míg nem kiderült, hogy mindezen haszna mellett rendkívül kártékony az emberi egészségre.

A káros hatások egyértelműsítéséhez sokáig hiányoztak a rendszeres és rendszerezett egészségügyi adatok a higanymérgezés diagnózisáról, továbbá azok a megfigyelések, amelyekkel kimutatható lett volna, hogy a higany kibocsátási forrásától a levegő-környezet 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 terjedése, mind több országban való alkalmazása is hozzájárult.

A higany használatának globalizálódása, a káros hatások felismerése és 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 a 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 higanyegyezmény, jelentősen szigorították a több mint másfél évtizede megkötött pán-európai megállapodást, és ezekkel is összhangban folyamatban van a vonatkozó EU-szintű előírások felülvizsgálata, módosítása.

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

## A higany felívelő világkarrierje

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

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 kénesőnek 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 Kínában, 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-Böhm, 2012].

Mindezen felhasználás mértékét és jelentőségét azonban jóval felülmúlta, amikor a higanyt széles körben az *aranymosás* és az *aranybányászat* „kellékeként” kezdték alkalmazni. A higany mintegy „magába szívta” a kimosott apró arany szemeket, 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

Őrölt cinnabaritból készült piros vermilion pigment egy pompeii villa falán





Magyarországon is [Uzsoki, 2004]. Az ezen a módon világszerte kinyert arany összmenyisége évezredekken keresztül számottevően meghaladta a bányászatból származó mennyiséget.

A korai aranybányászat és a mai napig is többféle 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, mígnem higanyt leltek e távoli gyarmatokon is [Borbély, 2011; Archibald, 1914]. Az eladdig Mexikóhoz tartozó, majd az Egyesült Államok tagállamává vált Kaliforniában 1848-ban fedezték fel az első aranyrögöt, aminek híre elindította a nevezetes „kaliforniai aranyrohamot”. Az arany kinyeréséhez itt is sokan higanyt használtak, melynek legnagyobb része a 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 alkímisták 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, az alkímisták legképzettebb képviselői mégis hozzájárultak a modern kémia tudományának kialakulásához.

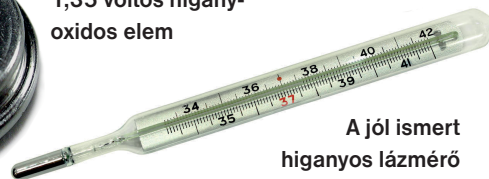
### A tudomány és az ipar felfedezi a higany sokoldalú alkalmazhatóságát

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 *üveg-tükrök* tükröző felülete ón-higany ötvözetrel 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 higanygőz-lámpa működése, higanyt használtak a neon- és argonlámpákban, fénycsövekben, s higany van a jelenleg széles körben alkalmazott energiatakarékos kompakt világítótestekben és lineáris „vonallizzókban” (CFL, LFL). Hatékony felhasználási terület lett a *villamos energia tárolása* a higany-oxidos szárazelemekben és az akkumulátorokban. Bizonyos *növényvédő, csávázószerek, fakonzerváló festékek* ugyancsak higanyvegyületet tartalmaztak. *Gyógyászati és kozmetikai alkalmazása* is sokoldalú lett: egyes vegyületei bőrbetegségek kezelésére és bőrvilágosító célra ajánlott kenőcsökhöz kerültek, védőoltások tartósításához járultak hozzá (etil-higanyos



1,35 voltos higany-oxidos elem



A jól ismert higanyos lázmérő

thiomersal), de mindezek mellett leginkább elterjedt alkalmazása a fogászati amalgám lett. Megemlítendő még két különösen sajátos alkalmazás. 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 űzött kézi (kézműves) és kisüzemi aranybányászat keltekeként 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 villanygökök gyártását és átérték a higanyt tartalmazó energiatakarékos fénycsövekre. 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–GMA, 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 felhasználásai 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 ked-



véért: e légköri kibocsátások az említett eljárások „kísérőjelen-ségei”; a széntüzelés esetében például a kőszénben nyomokban meglévő higany jut ki a légkörbe. A szakirodalom ezeket „nem szándékos” kibocsátásoknak nevezi szemben azokkal, amelyek higyant, higyanyvegyületet felhasználó, illetve 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 vízbe kerülő higyanszennyezés a légköri kiülepedést nem beleszámítva ugyanabban az évben közel 200 tonna volt.

### A higyanszennyezés terjedése

A higyanszennyezés nagy távolságokra eljuthat és kibocsátási forrásától távol is kifejti károsító hatását. A légkör közvetítésével és közvetlenül a víztestekbe kerülő higany rendkívül mérgező szer-vezetű metil-higyanná alakul át. A levegőszennyező anyagok nagy távolságú 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 [Törseth et al., 2012]. A vizsgálatok alapján megállapítható volt, hogy míg a gáznemű elemi higany (elemi higyanygőz) 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 higyanyvegyületei 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 fel-tárását követően felmerült, hogy e szennyezés sokkal nagyobb tá-volságokra is eljuthat, és akár a kontinensek közötti több ezer ki-lométeres utat is megteheti. E tekintetben behatóan vizsgálták az ázsiai kibocsátási forrásokból származó szennyezőanyag terje-dését [Weiss–Penzias, 2007; UN, 2011; LRTAP, 2012]. Mindennek ezért lett komoly nemzetközi környezetvédelmi, egészségügyi és politikai jelentősége, mert bár a különböző intézkedések hatásá-ra az európai és az észak-amerikai térségben határozottan csök-ken a higyanyemisszió, addig néhány ázsiai országban (különösen Kínában, Dél-Koreában) számottevően növekszik a higany lég-

köri kibocsátása a fokozódó PVC-gyártás, a széntüzelés és más ipari tevékenységek következtében.

### Sokféle káros hatás

Hosszú idő telt el addig, amíg kiderült, hogy a higany és vegyü-letei – eltérő mértékben és eltérő módon – felettebb károsak az emberi egészségre és a bioszférára. A higyantartalmú kenőcsök, gyógyszerek, kozmetikumot valóságos jótékony hatásai mellett jelentkező, esetenként már súlyos ártalmak jeleit összetéveszt-hették a kezelni kívánt baj tüneteivel. Sokáig más felhasználások esetében sem merült fel, hogy a higany fokozatos felhalmozódá-sa a szervezetben – a higyanygőz belélegzése, a higyantartalmú gyógyszer és étel elfogyasztása által – a higyannal vagy az alkalmazott higyanyvegyülettel való érintkezés vezetett el mintegy ész-revetlenül a romló egészségi állapothoz.

Mai szemmel nézve pedig szinte hihetetlen, hogy sokáig még ott sem készülték rendszeresebb feljegyzések, elemzések a tüne-tekről, ahol többé-kevésbé egy időben sokakat érinthetett e probléma (bányászok, aranyászok, ezüstfoncsorozók, nemezkalap-készítők), amiből jóval előbb egyértelműen kitűnt volna az ok-okozati összefüggés, azaz hogy higyanymérgezésről van szó.

### Tömeges higyanymérgezési esetek

Két rendkívüli eset vezetett el a higany súlyos egészségkárosító szerepének felismeréséhez. E tömeges higyanymérgezések alkalmával többé-kevésbé szisztematikusan rögzítették a tüneteket és azonosították a kiváltó okot, azt, hogy milyen és hozzávetőlege-sen mennyi higyanyvegyület került a különböző panaszokkal je-lentkező egyének szervezetébe. A higany sokoldalú alkalmazásá-nak több ezer éve tartó „világkariyerében”, veszélyességének megértésében ezek jelentették a fordulópontot.

Japánban, a tengerparti Minamata településen működő üzem-ben – a Chisso cég vegyi gyárában – az 1950-es évektől növekvő mértékű műanyag-, kozmetikum- és gyógyszergyártáshoz szük-séges vegyület (acetaldehid) előállításához katalizátorként higyany-szulfátot használtak. A minamatai tengeröbölbe engedett ipari szennyvízbe a higyanszennyezés már különösen mérgező szerves vegyületként (metil-higany) került. Ez a vegyület a halak és más tengeri élőlények szervezetében felhalmozódott, és az azokkal táplálkozó lakosoknál – az egyénileg eltérő dózisszint elérését kö-vetően – megjelentek a higyanymérgezés tünetei. 1956-tól kezdve több ezer embernél diagnosztizáltak különböző idegrendszeri és

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





mozgásszervi károsodást, s mintegy hatszáz halálesetet is rögzítettek. Az érintett üzemből 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 „második Minamata-eset” ugyan csak Japánban 1965-től vált ismertté: egy másik vegyipari cég (Showa) higanyos szennyvize a közeli folyóba került (Agano), és ebben az esetben közel kétszáz 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 a higanyvegyületet (metil-higanyt) tartalmazó szerrel csávázott, vetésre szánt gabonamagvakat a lakosság hónapokon keresztül kenyérsütésre használta fel. Emiatt sokuk szervezetébe rövid idő alatt jelentős higanydózis került. Hatezernél több kóros esetet és több mint negyszáz halálesetet regisztráltak. A betegek higanyterhelése függvényében feljegyezték a kóros tüneteket és a halálozásokat. Ez a részletesen dokumentált és elemzett eset [WHO, 1976, 1990] is hozzájárult ahhoz, hogy 1980-tól újtárra 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).

## Égészség- 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 Egyesült Államokban, Japánban, az EU tagállamaiban is – már az 1990-es években a közfogyasztásba kerülő tengeri halakra meghatározták a kritikus szerveshiganykoncentrációt (0,4–1,0 mg/kg), de az újabb vizsgálati eredmények szerint ezen értékeknel 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 – súlyosan károsodhatnak a higanymérgezéstől. 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 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 higanyszenny-

yezés ne 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. ●●●

## IRODALOM

- 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 Á. (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., Bóhm 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: Bombafenyvetés – robbantószerkezetek a honi katonai robbantástechnikában. Repüléstudományi közlemények. XXV/2, 123–143.
- Mészáros E., Somlyódy L., 2012: Beszélgetés a környezet két fontos közegéről – a vízzel és a levegővel. *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. *Természet Világa*, 2001. I. különszám
- Sloane, J., 2014: Mercury: Element of the Ancients. Dartmouth, <http://www.dartmouth.edu/~toxicmetal/mercury/history.html>, letöltés ideje: 2014. szept. 2.
- Solnit, R., 2006: Winged Mercury and the Golden Calif. *Orion Magazine*, Sept/Oct 2006, <http://www.orionmagazine.org/index.php/articles/article/176/>, letöltés ideje: 2014. szept. 2.
- Szathmáry L., 1928: *Alkémisták a magyar királyi udvarban*. Természettudományi Közlemény, 60. kötet, 1928. febr. 1.
- Thankachan, P. N., 2011: Evolution of chemistry, Part 1. *Breakthrough*, 15:2, 1–6.
- Tørseth, 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) Acta Physica Polonica 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 aranymosás történetéhez és technikájához. *Érc- és Ásványbányászati Múzeum, Rudabánya*, 89.
- Wängberg, 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.