

## GEOCHEMICKÁ CHARAKTERISTIKA ORTUTI (VÝSKYT, ŤAŽBA, VÝROBA, TOXICITA)

### GEOCHEMICAL CHARACTERISTIC OF MERCURY (OCCURRENCE, EXPLOITATION, PRODUCTION, TOXICITY)

*Jana Dadová*

**jana.ruskova72@gmail.com**

**Abstrakt:** Ortuť patrí medzi kovy, ktoré človek spoznal už v staroveku. Je to jediný kov, ktorý sa v prírodných podmienkach vyskytuje v tekutom stave. Z chemického hľadiska ide o mimoriadne stabilný prvok. Vystupuje v oxidačných stupňoch ako  $\text{Hg}^0$ ,  $\text{Hg}_2^{2+}$  a  $\text{Hg}^{2+}$ . Má tendenciu tvoriť s inými kovmi amalgámy. Hlavným minerálom ortuti je cinabarit –  $\text{HgS}$ . Na Slovensku sa cinabarit ťažil hlavne v Malachove. Okrem anorganickej formy sa ortuť v prírode vyskytuje aj vo forme organických metylovaných zlúčenín, z ktorých je najdôležitejšia metylortuť  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ . V prírodnom prostredí nie je veľmi pohyblivá. Z rúd sa ortuť získava pražením. Využíva sa nielen v lekárstve ale aj v elektrotechnike, strojárstve, pri výrobe pigmentov a v rôznych iných odvetviach priemyslu. Ortuť patrí medzi najtoxickéjšie kovy pre rastliny, živočíchy i človeka. Škodlivé sú najmä jej pary a organické zlúčeniny.

**Kľúčové slová:** ortuť, chemické vlastnosti, výskyt, produkcia, cinabarit, toxicita, zvieratá, rastliny, človek

**Abstract:** Mercury has been known for thousands of years. It is the only metal which is present in the nature in liquid form. Mercury exists in three oxidation states:  $\text{Hg}^0$ ,  $\text{Hg}_2^{2+}$  and  $\text{Hg}^{2+}$ . From chemical point of view it is a very stable element. Almost all metals can *form amalgams* with *mercury*. Its most important ore is the cinnabar -  $\text{HgS}$ . In Slovakia was cinnabar exploited predominantly at Malachov. Among organic forms of mercury is the most important the methylmercury  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ . The mercury is in natural conditions not very mobile. From ores is mercury produced by pyrometallurgy. It is used in medicine, in electrotechnic, engineering, for production of various pigments and in several next industrial branches. Mercury belongs to the most toxic metals for plants, animals and human. Most toxic are the Hg-vapour and the organic forms of Hg.

**Key words:** mercury, chemical characteristic, occurrence, production, cinnabarite, toxicity, animal, plants, human

## Úvod

Ortuť patrí k najdlhšie známym kovom. Poznali ju už 500 rokov pr. Kr. Feničania, Gréci, Kartáginci i Rimania. Je to striebrolesklá kvapalina, ktorá sa vyparuje už pri laboratórnej teplote vo forme jedovatých pár. Bod tavenia je  $-39,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , teplota varu je  $357\text{ }^{\circ}\text{C}$ , teplota sublimácie je  $580\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ortuť má vysoké povrchové napätie a vysoký tlak pár. Na vzduchu za normálnych podmienok neoxiduje, k jej oxidácii dochádza až pri zahriatí na vysoké teploty. V HCl a v zriedenej  $\text{H}_2\text{SO}_4$  je nerozpustná. Má sklon vytvárať silné väzby so sírou a vytvárať organické zlúčeniny, ktoré sú pomerne stabilné vo vode (Polański a Smulikowski, 1978).

## Výskyt v prírode

Ortuť vystupuje v prírodnom prostredí v oxidačných stupňoch  $\text{Hg}^0$ ,  $\text{Hg}_2^{2+}$  a  $\text{Hg}^{2+}$ , pričom dominantnou formou je  $\text{Hg}^{2+}$  (Kabata-Pendias a Pendias, 1992). Jej hlavným minerálom je sulfid  $\text{HgS}$  – cinabarit. V nepatrnom množstve je ortuť v cinabarite prítomná aj v elementárnej forme, rozptýlená ako drobné kvapky  $\text{Hg}^0$ . Okrem toho sa hojne vyskytuje v tetradrite, predovšetkým v jeho Hg-odrode schwartzite  $3(\text{Cu}_2\text{HgS})\cdot\text{Sb}_2\text{S}_3$ . Ďalšími Hg-obsahujúcimi minerálmi sú coloradit  $\text{HgTe}$ , kalomel  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$  a coccinit  $\text{Hg}_2\text{J}_2$ . Najvyššie koncentrácie Hg sú v oblastiach Hg-baní. Vo vzorkách pôd a hornín z okolia baní Red Devil a Cinnabar Creek na Aljaške sa zistilo až  $3,250\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  Hg a  $114\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$   $\text{Hg}^{2+}$  a  $40,9\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$  MeHg (Bailey et al., 2001). Viac než 50 % celosvetovej produkcie Hg pochádza z európskych ložísk Almaden (Španielsko) – 280 tisíc ton, Idria (Slovinsko) – 150 tisíc ton a Mt. Amiata (Taliansko) – 100 tisíc ton (Gray, 2001). Čierne uhlie obsahuje  $0,8 - 1,2\cdot 10^{-6}\%$  Hg (Saukov, 1966).

V životnom prostredí nie je kovová ortuť veľmi pohyblivá a má tendenciu usadzovať sa na dne riek a jazier. Jej pohyblivosť ovplyvňuje typ sedimentov, najmä veľkosť ich častíc a fyzikálno-chemické parametre ako pH a Eh. Oxidácia kovovej ortute nastáva približne pri Eh  $>390\text{ mV}$  a to postupne na  $\text{Hg}_2^{2+}$  a  $\text{Hg}^{2+}$  ión (Greenwood a Earnshaw, 1990). Hg ióny sú slabo adsorbovateľné na ílové minerály. V pôde vystupuje najmä vo forme slabo mobilných organokomplexov. Prítomnosť nadbytku iónu  $\text{Cl}^-$  spôsobuje tvorbu veľmi stabilných Hg-Cl komplexov, čím sa znižuje jej sorpcia na minerálne častice a organickú hmotu (Kabata-Pendias a Pendias, 1992).

Potenciálne najproblematickejším aspektom je metylácia elementárnej  $\text{Hg}^0$  alebo sulfidu  $\text{HgS}$  (abiotická aj ovplyvnená mikroorganizmami) z banskej ťažby na organické zlúčeniny, pretože Hg sa veľmi dobre viaže na organickú hmotu. Táto forma ortuti môže byť potom biologicky metanogénnymi baktériami transformovaná na jednu z najrozpustnejších a najtoxických zlúčenín Hg – metylortuť  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$  (Virčíková a Pálfy, 1997; Kafka a Punčochářová, 2002), preniká do vodných systémov, intoxikuje vodné organizmy a ich prostredníctvom následne celý okolitý ekosystém.

V sladkých vodách je hlavnou metylovanou formou  $\text{CH}_3\text{HgOH}$  a v slanej vode je to  $\text{CH}_3\text{HgCl}$  (Moore a Ramamoorthy, 1984). Metylortuť je ľahko mobilná a kontaminuje rastliny. Mikroorganizmy môžu spôsobiť redukciu  $\text{Hg}^{2+}$  na  $\text{Hg}^0$ , čo spôsobuje prechod Hg z pôdy (Kabata-Pendias a Pendias, 1992). Dominantný anorganický druh ortuti v sladkých vodách je  $\text{Hg}(\text{OH})_2$  (Moore a Ramamoorthy, 1984). Speciáciu Hg vo vodných systémoch obzvlášť ovplyvňujú chloridy a sulfidy. V acidnom a oxidačnom prostredí prevládajú chloridy, v alkalickom oxidačnom prostredí sú to najmä oxidy a hydroxidy a v redukčnom prostredí sú dominantné sulfidy. V alkalickom prostredí sa rozpustnosť  $\text{HgS}$  zvyšuje tvorbou komplexného aniónu  $[\text{HgS}_2]^{2-}$  (Fergusson, 1990). Ortuť vytvára stabilné komplexy s rôznymi organickými ligandami, najmä s tými, ktoré obsahujú ligandy ako cisteín, aminokyseliny a hydroxylovo-karboxylové kyseliny.

Vyššie koncentrácie metylortuti boli zistené v humidných oblastiach (Gray, 2001). Schopnosť viazať ortutnatý ión majú aj hydratované oxidy železité. Najmä hydratované oxidy Fe a Mn sú schopné viazať na seba veľké množstvá ťažkých kovov (Virčíková a Pálfy, 1997).

Obsahy Hg v pôdach kolíšu od 0,02 do 0,2 mg.kg<sup>-1</sup> (Beneš a Pabianová, 1987) a prednostne závisia od materskej horniny, na ktorej pôdy vznikli (Kolář, 1988). Priemerný obsah je 0,098 mg.kg<sup>-1</sup> (Kabata-Pendias, 1993, 2000). Limitná prípustná kontaminácia pôdy je v Nemecku stanovená na 2 mg.kg<sup>-1</sup>, kým vo Švajčiarsku je to len 1 mg.kg<sup>-1</sup> pôdy (Cibulka a kol., 1991).

Ortuť je v pôde zastúpená ako: a) elementárna - Hg<sup>0</sup> (prechavá s nízkou vodorozpustnosťou), b) ako Hg<sup>2+</sup>, ktorá tvorí CH<sub>3</sub> a H<sup>+</sup> zlúčeniny a vo forme katiónov, ktoré sú ľahko sorbované pôdou (Hg<sup>2+</sup> sa viaže na organickú hmotu ako aj na anorganické súčasti, na ílové minerály na hydratované oxidy Fe a Mn). Ortuť sa z pôdy uvoľňuje hlavne sublimáciou (Kolář, 1988); z atmosféry sa potom však často dostáva späť do pôdy zrážkami. Čistiarenské kaly zvyšujú mobilitu ortuti (Hg tvorí komplexy s rozpustnými organickými zlúčeninami).

Degradácia metylortuti vo vodnom prostredí sa uskutočňuje vďaka mikrobiologickej aktivite a oxidačnými pochodmi. Pri degradácii metylortuti mikróbmi dochádza k produkcii Hg<sup>2+</sup> a CH<sub>4</sub>, kým pri oxidačnej degradácii dochádza k vzniku konečných produktov CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> a Hg<sup>2+</sup> (Bailey et al., 2001).

Primárnou formou atmosférickej ortuti sú výpary kovovej ortuti. Tá je oxidovaná ozónom na iné formy (napr. Hg<sup>2+</sup>) a tie sa odstraňujú z ovzdušia precipitáciou. Hlavným zdrojom Hg imisií je praženie rúd a spaľovanie uhlia (Kafka a Punčochářová, 2002). Mnoho Hg sa do životného prostredia uvoľňuje v zlievárňach kovov a cez ventiláciu banských priestorov. Vysoké obsahy ortuti boli zaznamenané aj v okolí činných sopiek, kde sa vyskytuje predovšetkým vo forme minerálu cinabaritu - HgS (Polański a Smulikowski, 1978). Významné sú aj emanácie pozdĺž tektonických línií v zemskej kôre a hnojivá s fosfátmi ako aj hnojivá pripravované z niektorých uhličitanov. V neposlednej miere je pôda zaťažovaná ortuťou hnojením čistiarenskými kalmi (Ferrara et al., 2001).

Zdrojom znečistenia vôd sú odpadové vody po ťažbe a spracovaní rúd, kožiarskeho, textilného a fotografického priemyslu, chemický priemysel, poľnohospodárstvo ako aj atmosférické zrážky znečistené exhalátmi (Melicherčík a Melicherčíková, 2010).

## Výroba a využitie

Prevažná časť ortuti sa získava z cinabaritu, len podstatne menšie množstvá zo schwazitu – tetraedritu a ďalej z rúd, obsahujúcich rýdzu ortuť. Surová ruda obsahuje okolo 0,15 až 0,5 % Hg. Ortuť sa dá dobre flotovať, v praxi sa však pri jej výrobe používa hlavne prchavé praženie, ktoré sa realizuje s 99 % účinnosťou. Podstata pyrometalurgickej úpravy rúd spočíva v destilačnom pražení ortuťovej suroviny, kondenzácii a zachytávaní ortuti z plynov, odchádzajúcich z pražiaceho agregátu. Poznáme praženie prchavé a praženie oxidačné (Molnár a Havlík, 1984).

Použitie ortuti je pomerne rozmanité. Najviac sa spotrebúva na lekárske účely (napr. na výrobu zubných plomb, na liečivé masti proti kožným chorobám a ekzémom), v pyrotechnike na výrobu rozbušiek, ďalej na výrobu farieb, v elektrotechnike a strojárstve, na plnenie manometrov, vývev (v minulosti aj teplomerov) a pod. Používa sa pri elektrolytickej výrobe NaOH, Cl a kaustickej sódy (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), na amalgamáciu pri výrobe drahých kovov (najmä zlata), HgCN sa používa v galvanických kúpeľoch na pokovovanie, Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> sa používa na výrobu kalomelových elektród a HgCl<sub>2</sub> na impregnáciu dreva (Greenwood a Earnshaw, 1993; Reimann a de Caritat, 1998).

## **Toxicita ortuti**

### **Kontaminácia rastlín**

Spomedzi chorôb, ktoré spôsobujú zvýšené obsahy ortuti treba spomenúť aspoň chlorózu listov, obmedzenie rastu koreňov a spomalený rast rastlínstva. V dospelosti má vysoký obsah ortuti na rastliny defoliačný účinok.

Vysokým obsahom ortuti sa môžu vyznačovať aj huby, rastúce na kontaminovaných územiach (u čirovky májovej bola opísaná až koncentrácia  $270 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Prevažná časť Hg v ich pletivách je však v anorganickej forme (Banášová et al., 1993). Významným indikátorom kontaminácie krajiny ortuťou sú niektoré cereálie (pšenica, žito), orgány a mäso jatočných zvierat, vajcia, ryby a zelenina (Molnár a Havlík, 1984).

### **Kontaminácia živočíchov**

Ortuť obsiahnutá v morských sedimentoch má schopnosť sa koncentrovať v morských živočíchoch. Poradie jednotlivých zložiek podľa obsahu Hg je nasledujúce: voda, zooplanktón, zoobentos, ryby. Najväčší význam v procese kumulovania obsahu Hg má prijímanie tohto prvku v potrave. U živočíchov sa najviac Hg kumuluje v obličkách a pečeni. Najmenej Hg sa ukladá vo svalovine. Ryby ako konečný článok potravného reťazca vo vodnom prostredí obsahujú najvyššie koncentrácie ortuti. Vulterin a Vasileská (1996) opísali z Japonska hromadné otravy obyvateľstva kontaminovanými rybami, takzvanú Minamatskú chorobu.

Ako sa zistilo na pokusných zvieratách, toxické účinky ortuti znižuje príjem selénu. Ortuť sa viaže na selén za vzniku komplexu selenidu ortuti s bielkovinou, čím sa Hg detoxikuje (Kafka a Punčochářová, 2002). Ak sú interakcie medzi Se a Hg a ich molárne pomery v morských produktoch významným faktorom pri odhade rizika spojeného s expozíciou ortuti, hodnotenie obsahu Hg samostatne je neadekvátne. V blízkosti Havaja sa hodnotili koncentrácie Hg a Se v 15 druhoch rýb. Selén sa molárne vyskytoval takmer vo všetkých rybách vo väčšom množstve, ako ortuť. Hodnotenie zdravotných výhod Se založené na absolútnych množstvách a relatívnych pomeroch selénu a Hg v morských produktoch sa považuje za úplnejšie kritérium hodnotenia bezpečnosti týchto produktov (Kaneko a Ralston, 2007).

### **Kontaminácia ľudského organizmu**

Ľudský organizmus nemá mechanizmus na reguláciu ortuti v tkanivách a preto má Hg schopnosť kumulovať sa v tele človeka. Všetky formy ortuti sú vysoko toxické a každá z nich spôsobuje rôzne zdravotné problémy, preto jej zlúčeniny, najmä rozpustné vo vode ( $\text{HgCl}_2$ ) sú známe účinné látky travičov (Melicherčík a Melicherčíková, 2010). Elementárna  $\text{Hg}^0$  je po požití často vylúčená z organizmov bez toxického dopadu, kým pary Hg sú po vdýchnutí rýchle adsorbované do krvného obehu. Anorganické Hg zlúčeniny sú mierne toxické, pričom zlúčeniny  $\text{Hg}^+$  sú menej škodlivé ako ortutnaté zlúčeniny  $\text{Hg}^{2+}$ , pretože ortutné zlúčeniny sú vo vode i v kyselinách menej rozpustné ako ortutnané zlúčeniny (Kafka a Punčochářová, 2002). Pre človeka je vysoko toxická metylovaná ortuť (metylortuť -  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ , dimetylortuť -  $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$  a metylhydrargyriumhydroxid -  $\text{CH}_3\text{HgOH}$ ). Intoxikáciu organizmu môže spôsobovať využívanie amalgámových výplní zubov v stomatológii.

Toxický účinok Hg a jej zlúčenín je prevažne daný reakciou Hg iónu s SH-skupinami biomolekúl s následnou zmenou permeability bunkových membrán a s poškodením bunkových enzýmov. Vedie k toxickým prejavom s poškodením mozgu a periférnych nervov (Poulin a Gibb, 2008). Akútna, ako aj chronická expozícia vysokou hladinou elementárnej Hg a metylovanej Hg výrazne postihuje centrálny nervový systém.

Prejavuje sa halucináciami až delíriom (elementárna Hg), resp. slepotou, hluchotou a zníženou vnímavosťou. Nižšie dávky vedú k poškodeniu nervového systému a pľúc, môžu vyvolávať únavu, podráždenosť, nespavosť, tras končatín a poruchy pamäti. Známe sú škodlivé efekty na gastrointestinálny trakt a respiračný systém u ľudí. Pri chronickej expozícii anorganickou ortuťou sú najviac poškodené obličky (Poulin a Gibb, 2008). Kovová Hg rozpustená v tuku a ortuťnaté ióny  $Hg^{2+}$  sa v organizme vstrebávajú značne rýchlo. Pomalšie sa vstrebávajú ortuťné ióny  $Hg^+$  a organické zlúčeniny Hg. Ortuť je nešpecifický jed, poškodzuje rôzne enzýmové systémy a tkanivá. Viaže sa na albumín a hemoglobín a tým poškodzuje krvné bunky (Kafka a Punčochárová, 2002). Spôsobuje aj rozpad bielych krviniek a tým dochádza k úplnému oslabeniu imunitného systému, čo býva príčinou smrti. Pri otrave sú pozorované bolesti hlavy, závraty, zápal dŕasien a vypadávanie vlasov. Psychické a emočné poruchy sú charakterizované stratou vedomia, bojzivosťou, poruchami koncentrácie, podráždenosťou. Až neskôr dochádza k nejasnej koktavej reči, k poruchám videnia, počutia, nervozite a nakoniec k ochrnutiu (Melicherčík a Melicherčíková, 1997, 2010).

Ako uvádzajú Melicherčík a Melicherčíková (1997, 2010), zlúčeniny ortuti sa ukladajú vo svaloch, obličkách, nervovom systéme a mozgu. Najčastejšie útočia na plod. Koncentrácia Hg býva v krvi novorodencov až o 28 % vyššia ako v tele matky. Zvlášť citlivé na Hg-zlúčeniny sú deti. Práve intoxikácia detí ortuťou spôsobuje vznik „ružovej choroby“, ktorá spôsobuje zvýšenú sekréciu potných žliaz, svetloplachosť a vznik charakteristickej ružovej vyrážky ako aj zdurenú slezinných uzlín a odlupovanie vrchných vrstiev pokožky (Kafka a Prachárová (2002). US EPA zaradila anorganickú ortuť a metylortuť do Skupiny C – možné ľudské karcinogény – a elementárnu ortuť do Skupiny D – neklasifikované z hľadiska ľudskej karcinogenity.

## Literatúra

- BAILEY, E. A. – GRAY, J. E. – HINES, M. E. 2001. Mercury transformations in soils near mercury mines in Alaska, USA. *RMZ-Materials and geoenvironment*. Vol. 48, No. 1, Ljubljana, 212-218.
- BANÁSOVÁ, V. – PIŠŮT, I. – HOLUB, Z. 1993. Kontaminácia pôd a vegetácie ortuťou a inými prvkami z exhalátov huty v Rudňanoch. *Čistota ovzdušia*, 23, 6, ISSN 0231- 6757, 267-271.
- BENEŠ, S. – PABIANO VÁ, J. 1987. Přírozené obsahy distribuce prvků v půdách. VŠZ Praha, 123-149.
- CIBULKA J. a kol., 1991. Pohyb olova, kadmia a rtuti v biosféře. Academia, Praha 427 p.
- FERGUSON, J. E. 1990. The heavy metals, chemistry. Environmental impact and health effect. Pergamon Press, New Zealand, ISBN 3-936028-05-2, 614 p.
- FERRARA, R. – MASERTI, B. E. – CECCARINI, C. – LANZILLOTTA, E. 2001. Atmospheric mercury concentrations and emissions in mining regions. *RMZ-Materials and geoenvironment*. Vol. 48, No. 1, Ljubljana, 18-22.
- GRAY, J. E. 2001. An overview of mercury transport, cycling, and environmental effects of mercury mining. *RMZ-Materials and geoenvironment*. Vol. 48, No. 1, Ljubljana, 2-7.
- GREENWOOD, N. N. – EARNSHAW, A. 1990. Chemie der Elemente. Würzburg, ISBN 3-527-26169-9, 1707 p.
- KABATA-PENDIAS, A. – PENDIAS, H. 1992. Trace elements in Soils and Plants. CRC Press, Boca Raton, FL, ISBN 0849366437, 365 p.
- KAFKA, Z. – PUNČOCHÁŘOVÁ, J. 2002. Těžké kovy v přírodě a jejich toxicita. *Chemické listy*, ISSN 1213-7103, 96, 611-617.
- KANEKO, J. J. – RALSTON, N. V. C. 2007. Selenium and mercury in pelagic fish in the central north pacific near Hawaii, *Biological Trace Elements Research*, 119, ISSN 1559-0720, 242-254.
- KOLÁŘ, L. 1988. Cesty k omezení vstupu těžkých kovů do zemědělské produkce. Seminář CSVTS Cizorodé látky v půdě a v rostlině, Tábor, 44-49.
- MELICHERČÍK, M. – MELICHERČÍKOVÁ, D. 1997. Bioanorganická chémie – Chemické prvky a lidský organizmus. Příroda, Bratislava, 188 p.

- MELICHERČÍK, M. – MELICHERČÍKOVÁ, D. 2010. Vplyv prostredia a účinky látok na ľudský organizmus. UMB v Banskej Bystrici, 978-80-557-0005-2, 345 p.
- MOLNÁR F. – HAVLÍK, T. 1984. Rudy neželezných kovov a ich úprava. Edičné stredisko VŠT v Košiciach, 165 p.
- MOORE, J. W. – RAMAMOORTHY, S. 1984. Heavy metals in natural waters – Applied monitoring and impact assesment, New York, Springer, ISBN-10: 1461297397, 268 p.
- POLAŇSKI, A. – SMULIKOWSKI, K. 1978. Geochémia. Slovenské pedagogické nakladateľstvo, Bratislava, 607 p.
- POULIN, J. – GIBB, H. 2008. Mercury, Assessing the environmental burden of disease at national and local levels. Environmental Burden of Disease Series, No. 16, *Public Health and the Environment*, Geneva 2008, 60 p.
- REIMANN, C. – DE CARITAT, P. 1998. Chemical elements in the environment. Fact sheets for the geochemist and environmental scientist, Springer, Berlin, ISBN 3 540 63670 6, 314 p.
- SAUKOV, A. A. 1966. Geochimija, Nauka, Moskva, 486 p.
- VIRČÍKOVÁ, E. – PÁLFY, P. 1997. Prehľad technológií zneškodňovania nebezpečných odpadov s obsahom arzénu, kadmia a ortuti. Aktuálne ekologické otázky E 97, Nebezpečné odpady. BIJO Slovensko, Košice 25. 3. 1997. 87-103.
- VULTERIN, J. – VASILESKÁ, M. 1996. Toxické látky, hygiena a bezpečnosť práce v chémii. Praha, Karolinum, ISBN 80-7184-090-4, 128 p.