

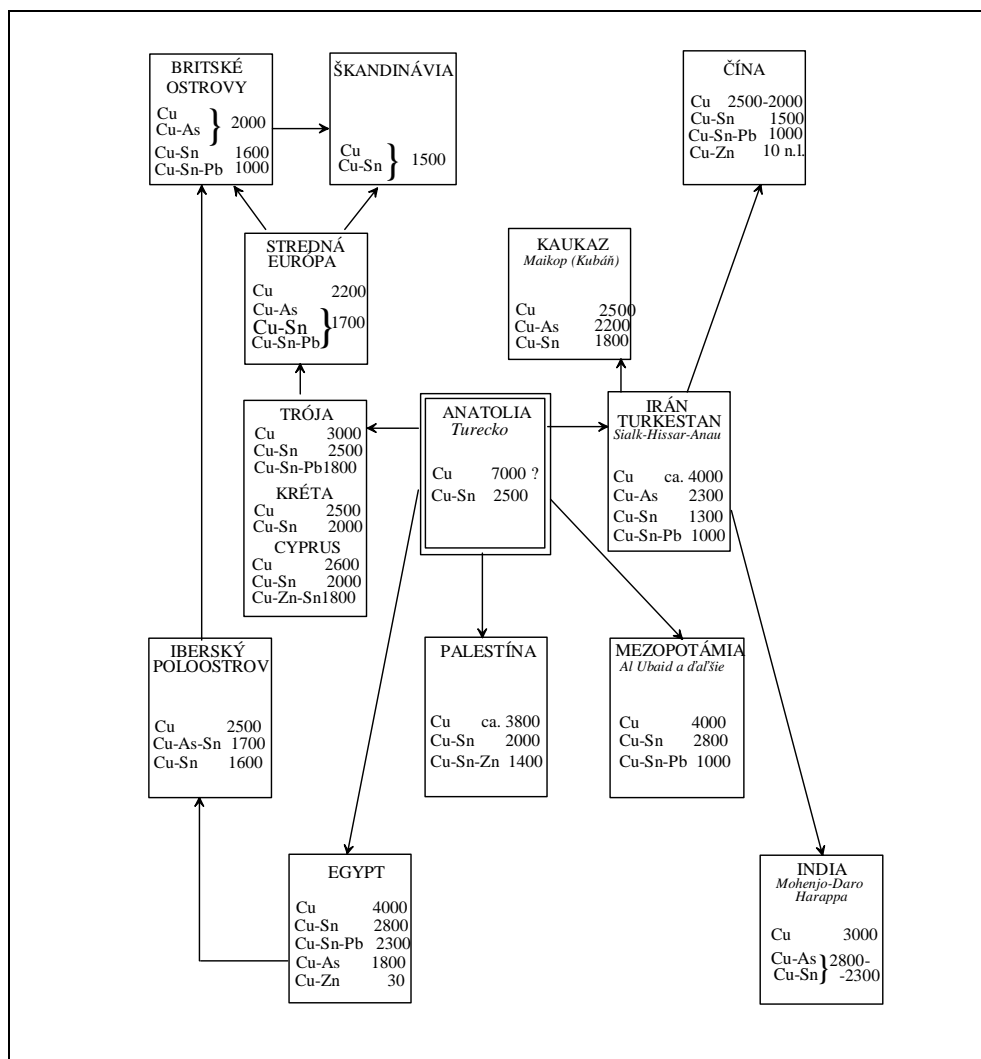
SÚČASNÝ STAV VO VÝROBE MEDI

Meď hrala odjakživa v histórii ľudstva významnú rolu a posunula vývoj takým významným spôsobom, že jedna celá epocha vývoja ľudstva bola pomenovaná dobou bronzovou.

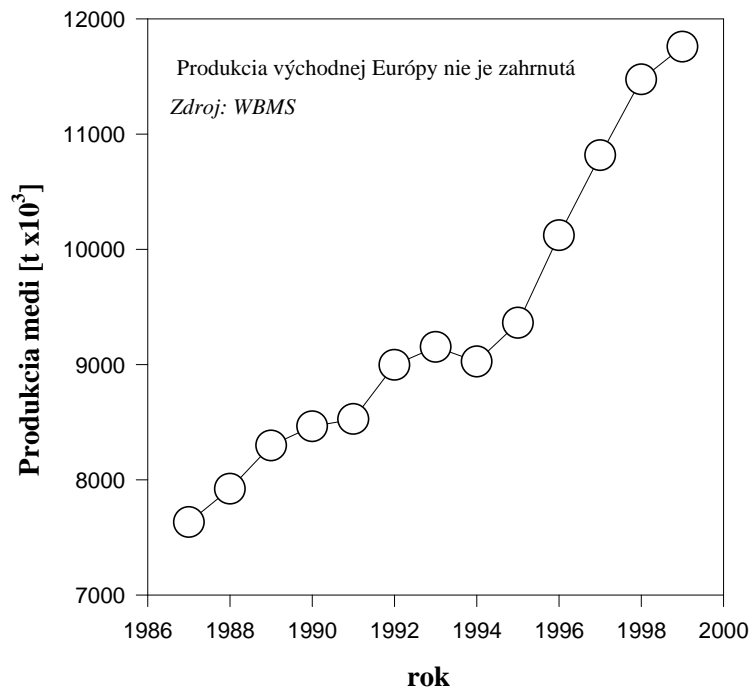
Obr. I.1 zobrazuje históriu používania media a jej zliatin v období pred našim letopočtom.

Množstvo vyrobenej medi v súčasnosti sa pohybuje okolo 11 000 kt ročne a toto množstvo sa neustále zvyšuje. Obr. I.2 sumarizuje trend nárastu produkcie rafinovanej medi v celosvetovom meradle, do ktorého však nie je započítaná produkcia medi z bývalých východoeurópskych krajín [*MacMillan, Norton, 1998*]

Súčasná produkcia medi sa vo veľkej prevahe koncentruje do spracovania sulfidických, poväčšine chalkopyritových, prípadne zmesných koncentrátov pyrometalurgickým spôsobom. Tento sa skladá v podstate z dvoch operácií: z tavenia, zahŕňajúceho získanie surovej medi a z rafinácie, zabezpečujúcej rafinovaný kov o čistote aspoň 99.9 % Cu.



Obr. I.1. Historický prehľad používania media a jej zliatin v staroveku

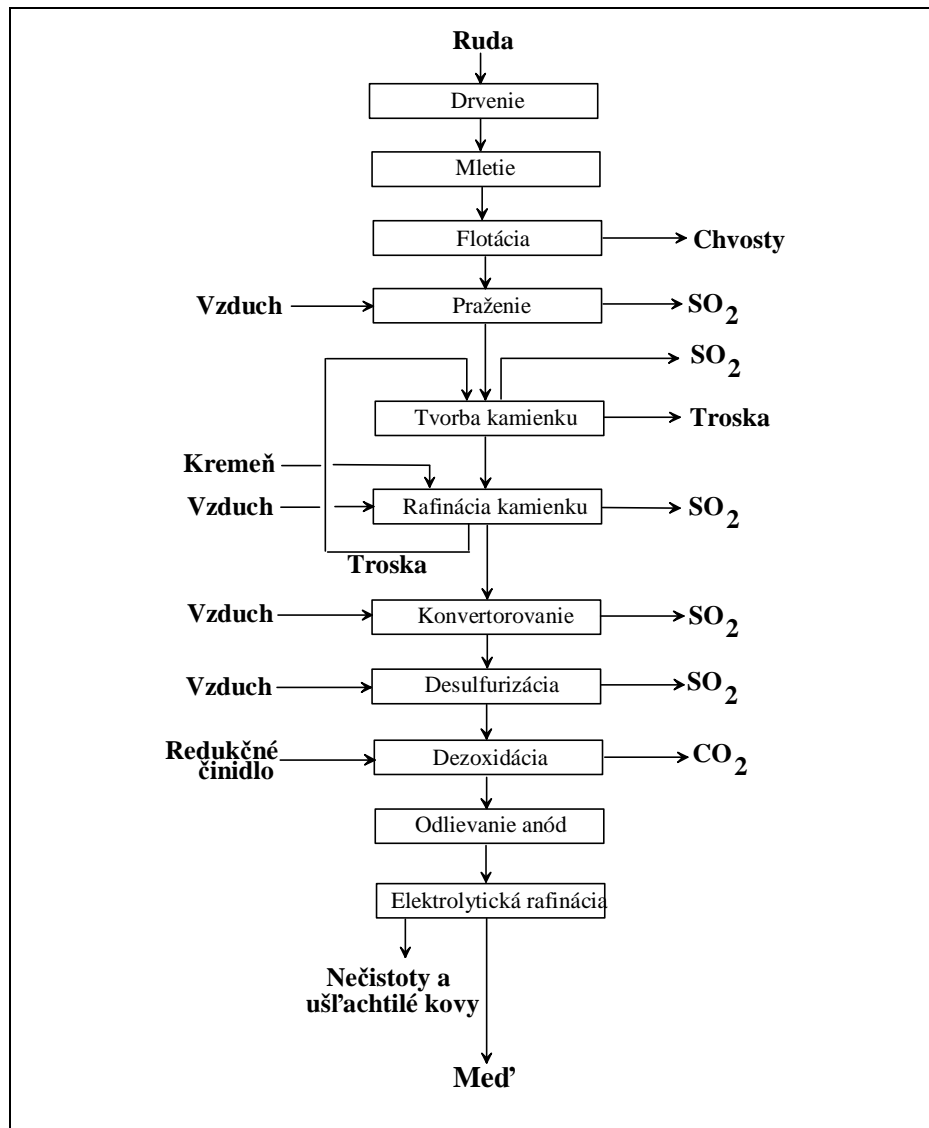


Obr. I.2: Vývoj produkcie rafinovanej medi v celosvetovom meradle

Pyrometalurgická výroba medi, ktorej je obecná bloková schéma zobrazená na obr. I.3, zahŕňa nasledovné operácie získavania čistej medi zo sulfidického koncentráту:

Praženie. Sulfidický koncentrát je pražený pri prísne kontrolovanej teplote a limitovanom prístupe vzduchu za účelom odpraženia časti síry, po čom sa vzniknutý praženec podrobí taveniu.

Tvorba kamienka. V tejto operácii je praženec tavený v šachtovej peci pri približne 1200 °C, kedy sa sulfidy roztavia, tvoriac tak mediarenský kamienok. Hlušina za prítomnosti troskotvorných prísad vytvára trosku, umožňujúcu oddelovanie nežiadúcich prímiesí.



Obr. I.3: Obecná schéma pyrometalurgickej výroby medi

Rafinácia kamienku. Kamienok je v podstate tavenina sulfidov medi a železa. Železo sa oddeľ v procese konvertorovania fúkaním vzduchu s obsahom kyslíka, alebo čistého kyslíka, pričom dochádza k oxidácii železa na základe jeho vyššej afinity ku kyslíku a následným prechodom oxidov železa do trosky za prítomnosti troskotvorných prísad.

Konvertorovanie. V procese konvertorovania sa odstraňuje sulfidická síra vdúvaním vzduchu alebo kyslíka do taveniny, pričom síra zreaguje na prchavé oxidy a meď prechádza do konvertorovej medi.

Ohňová rafinácia. Účelom tejto operácie je odstránenie zvyškovej síry v rekuperačnej rafinačnej peci v dvoch krokoch: v prvom sa zoxiduje síra na prchavé oxidy a v druhom sa od-

straňuje kyslík, naviazaný na kov v prvej perióde pomocou brezových polien, alebo plynými uhl'ovodíkmi. Táto operácia sa nazýva pólovanie.

Elektrolytická rafinácia, v ktorej sa odstraňujú všetky zostatkové nečistoty z medi pomocou elektrolýzy. Mnohé z týchto nečistôt, zachytené v tzv. anódovom kale sú cennými zložkami a preto sa anódový kal ďalej spracováva za účelom ich získania. V elektrolytickej rafinácii sa odstraňujú prímеси, ako striebro, zlato, platinové kovy, selén, telúr, nikel, arzén, bizmut, olovo a pod.

Hoci je obecná schéma pyrometalurgickej výroby medi, zobrazená na obr. I.1 relatívne jednoduchá a lacná a prevádzkuje sa už mnoho rokov, predsa sa značne odchyľuje od optimálnych požiadaviek. K najhlavnejším nedostatkom patria nasledovné:

Nevýhodná tepelná bilancia. Niektoré z procesov, ako praženie, rafinácia kamienka a konvertorovanie sú exotermické, zatiaľ čo tvorba kamienka je endotermická. Teplo, tvorené exotermickými pochodmi nie je využívané v endotermických procesoch, čo zapríčiňuje nevhodnú tepelnú bilanciu.

Nevhodný dizajn agregátu. Plamenné pece sú podstatne menej výkonnejšie ako šachtové z hľadiska prenosu tepla a hmoty. Nie je v nich zabezpečený efektívny kontakt horúcich plynov so vsádzkou, pričom produkujú nadmerné množstvo úletov, odnášaných plynmi, čo je dané prachovou vsádzkou.

Neefektívna manipulácia s materiálmi. Tekutá konvertorová troska býva recyklovaná do plamennej pece so snahou ochudobniť tieto trosky o meď. Pretože táto troska obsahuje značné množstvo magnetitu, jeho postupné nazhromažďovanie vyžaduje po čase odstavenie pece a jeho odstránenie.

Znečisťovanie životného prostredia. Taviarne medi produkujú značné množstvá oxidov síry do atmosféry. Zatiaľ čo oxid siričitý vznikajúci pri pražení a konvertorovaní je relatívne koncentrovaný a môže byť použitý na výrobu kyseliny sírovej, oxid siričitý vznikajúci v plamennej peci je nízkej koncentrácie (0.1 - 0.2 %). Tento je buď spracovávaný na kyselinu sírovú alebo neutralizovaný vápnom. Veľké objemy plynov, emitované do atmosféry z tohoto zdroja predstavujú vážny ekologický problém.

Straty medi. V plamennej peci sú straty medi do trosky proporcionálne bohatosti kamienka. Z dôvodu minimalizácie strát sa preto bohaté medené kamienky prakticky nepoužívajú.

Spracovanie a likvidácia odpadov. Z pyrometalurgickej výroby medi vznikajú obrovské haldy trosiek s obsahom veľkých množstiev medi. Táto je ale v nízkych koncentráciách, čo znemožňuje ich efektívne znovuzískavanie. Avšak okrem medi sa v týchto haldách nachá-

dza aj veľké množstvo železa, ktoré opäť z ekonomických dôvodov nemôže byť spracovávané na oceľ. Produktom elektrolytickej rafinácie medi bývajú anódové kaly a surový sulfát nikelnatý, ktoré vyvolávajú nutnosť ďalšieho spracovania a tým aj zvýšenie prevádzkových nákladov. Mimoriadne závažným faktom je nevyhnutný vznik kyseliny sírovej spracovaním plyných oxidov síry.

Vysoké výrobné náklady. Hoci je elektrolytická rafinácia medi principiálne lacná, je to pomalá operácia, čo automaticky vyvoláva vysoké energetické a tým aj prevádzkové náklady.

Pokusy o zlepšenie jestvujúceho stavu sa dejú po viacerých líniách, najmä vývojom kontinuálneho tavenia, vývoja dizajnu pece, znížením emisií, zefektívnením výťažnosti medi, zefektívnením tepelnej bilancie, zefektívnením elektrolytickej rafinácie a podobne. Najväčším problémom pyrometalurgickej výroby medi je tvorba prchavých oxidov síry a ich emisia do ovzdušia, a tým aj nutnosť ich ďalšieho spracovania, najčastejšie na kyselinu sírovú, alebo aj vedľajších produktov, ako sadra, sulfát amónny a podobne. Výroba kyseliny sírovej vyžaduje ďalšie investičné náklady, pričom samotný produkt je pomerne nebezpečný z ekologického hľadiska a preto musí byť opatrne skladovaný a distribuovaný. Vynútená operácia konverzie oxidov síry na kyselinu sírovú zvyšuje výrobné náklady; napríklad v roku 1989 v amerických mediarskych hutách zvýšilo zavedenie odsírovacích zariadení cenu 1 kg medi o US\$ 0.17 [Rothfeld, Towle, 1989]. Pomer nákladov a zisku je veľmi vratký a marketing kyseliny sírovej v podstate rozhoduje o miere zisku v pyrometalurgických prevádzkach, pretože množstvo produkovanej síry, resp. jej zlúčenín nie je vôbec malé. Chalkopyrit, CuFeS_2 , obsahuje 34.94 hmotnostných percent síry, ktorá v porovnaní voči hmotnosti kovového podielu vytvorí 69.81 % SO_2 a ďalej 106.87 % H_2SO_4 . Európska spotreba medi z primárnych zdrojov, t.j. sulfidických koncentrátov medi v roku 1994 bola 1968 kt a ich spracovaním vzniklo 1374 kt SO_2 a 2103 kt H_2SO_4 [Crowson, 1994]. Keďže sa jedná len o európsku produkciu, možno predpokladať, že celkové svetové množstvo bude aspoň dvojnásobné. K tomu samozrejme treba pripočítať množstvá oxidov síry, resp. kyseliny, produkované spracovaním sulfidov ďalších kovov, ako Pb, Zn, Sn a pod. V súčasnosti je však nanešťastie kyselina sírová prakticky nepredajný produkt, čo privádza taviarne medi do pomerne zložitej situácie.

Obecne možno povedať, že výroba neželezných kovov je sprevádzaná najmä dvoma fundamentálnymi problémami - ochranou životného prostredia a energetickou náročnosťou. K týmto pristupuje v posledných rokoch, poznamenaných celosvetovou hospodárskou recesiou, aj problém komplexného využitia všetkých produktov procesu s minimálnou finančnou náročnosťou. Je všeobecne známe, že v súčasnosti sú bohaté tradičné náleziská rúd neželez-

ných kovov prakticky vyčerpané. K potrebe spracovávať chudobné rudy pristupuje teda na-
viac ďalšia komplikácia - ich polykomponentnosť. Týmto vznikla potreba odhaliť a vyvinúť
ekonomické metódy spracovania chudobných a polykomponentných rúd, pre ktoré konvenč-
né pyrometalurgické metódy spracovania prestali byť efektívne.

Okrem klasických prírodných zdrojov majú pre výrobu neželezných kovov vzrastajú-
ci význam aj iné, nekonvenčné suroviny. Medzi najdôležitejšie patria druhotné suroviny,
vznikajúce v priemyselnej činnosti a zahŕňajúce komplexné materiály z pyrometalurgických
procesov, ako sú trosky, prach, anódové a galvanické kaly, sulfidické kamienky a miešanky,
komplexný zliatinový šrot zo spracovateľskej sféry, vyčerpané elektrolyty a lúhovadlá, popo-
ly, stery a iné priemyselné odpady. Čoraz významnejšie miesto zaberajú tiež odpady elektro-
nického priemyslu jednak svojim obsahom ušľachtilých kovov, ale i kovov vzácnych zemín.
Recyklácia týchto materiálov má vzrastajúcu tendenciu. Všetky tieto fakty spolu s narastajú-
cim tlakom na ochranu ovzdušia a vôd majú, alebo veľmi skoro budú mať za následok, že je-
den z priamych cieľov novotvoriacej sa legislatívy, bojujúcej so znečisťovaním životného
prostredia, bude priemysel extraktívnej metalurgie.

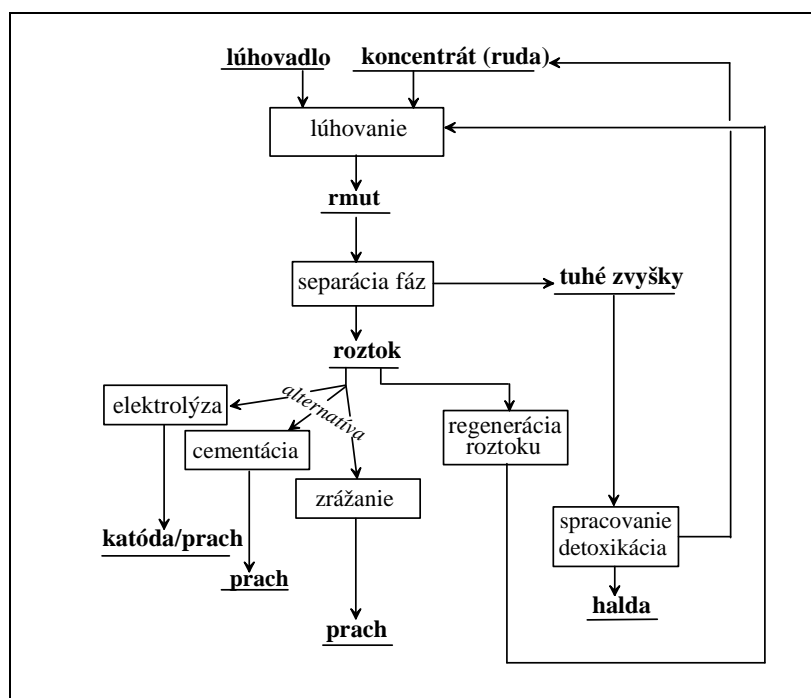
Mnohé z uvedených problémov sa pokúša a aj s úspechom rieši vhodná alternatíva k
pyrometalurgickej výrobe neželezných kovov, a teda i medi, a to hydrometalurgický spôsob
výroby neželezných kovov.

Hydrometalurgia je obecné založená na dvoch základných krokoch: na prevode kovu
alebo kovov z rudy, alebo koncentrátu do roztoku - proces známy, ako lúhovanie a na selek-
tívnom získavaní kovu z roztoku - operácii, založenej na zrážacích metódach. Obecná schéma
hydrometalurgického pochodu je zobrazená na obr. I.4.

Modernú éru hydrometalurgie možno datovať až od konca devätnásteho storočia.
Koncom šesťdesiatych a začiatkom sedemdesiatych rokov dvadsiateho storočia nebyvalo
vzrástol rozmach výskumu a vývoja hydrometalurgických procesov v oblasti výroby neželez-
ných kovov. Jedným z dôvodov boli široké a flexibilné možnosti získavania kovov z rozto-
kov, do ktorých boli pred tým extrahované. K tomuto možno v podstate použiť všetky tech-
niky klasickej analytickej chémie, ktoré môžu byť zároveň adaptované pre využitie v priemy-
selnom procese. V skutočnosti sú to práve hydrometalurgovia, ktorí v poslednom čase využí-
vajú obrovské množstvo vedomostí z chémie, nazhromaždené anorganickými chemikmi kon-
com devätnásteho a začiatkom dvadsiateho storočia.

Je samozrejmé však, že hydrometalurgia neponúka riešenie pre získavanie neželez-
ných kovov jediným obecným spôsobom. Spôsoby lúhovania sú silne individuálne a závisia

nielen od typu spracovávaného minerálu, ale aj od komplexnosti spracovávaných surovín a tiež od ich fyzikálnych, fyzikálno - chemických a chemických a mineralogických vlastností.



Obr. I.4: Obecná schéma hydrometalurgického procesu [Havlík, Škrobán, 2000]

Chemické reagenty, používané v hydrometalurgii na rozklad minerálov majú rozličnú schopnosť atakovať spracovávanú surovinu. V súčasnosti existuje mnoho rozličných hydrometalurgických spôsobov získavania neželezných kovov z primárnych surovín. Prakticky je však už spomínaných dôvodov v prevádzke len niekoľko hydrometalurgických prevádzok. Napriek tomu je základný a aplikovaný výskum v hydrometalurgii neželezných kovov aj naďalej veľmi intenzívny a perspektívny, najmä kvôli čoraz chudobnejším a komplexnejším primárnym zdrojom, ekologickým aspektom pyro- a hydrometalurgie a legislatívnemu tlaku na ochranu životného prostredia.

Z porovnania pyro- a hydrometalurgických spôsobov vychádza, že pyrometalurgia bola najúspešnejšia pri spracovaní bohatých masívnych sulfidických rúd v šachtových peciach, pretože takéto agregáty sú maximálne ekonomické z pohľadu výmenníka tepla: studená vsádzka klesajúca zvrchu je ohrievaná stúpajúcimi horúcimi plynmi zo šachty. Problémy s odprašovaním boli tiež minimalizované, pretože v použitej vsádzke sa nachádza ruda v kusovitej forme. Postupne, ako sa náleziská takýchto bohatých rúd vyčerpávali, začali sa spracovávať postupne chudobnejšie a polykomponentnejšie rudy neželezných kovov.

Celkové zhrnutie niektorých charakteristík z pohľadu výhod a nevýhod pyro- a hydrometalurgických procesov [Habashi,1992, Gupta,Mukherjee,1990] v stručnosti zhŕňa Tab. I.I.

Ukazuje sa, že komplexné úvahy o celkovom postavení hydrometalurgie a jej zaradení do priemyselnej aplikácie nie sú jednoduché. Je pravdou, že technicky pomerne dobre zvládnuté hydrometalurgické procesy v laboratórnom a poloprevádzkovom meradle nemôžu súťažiť komerčne s pyrometalurgickými procesmi. Dôvodom je menej výhodná ekonomika v porovnaní s pyrometalurgickým spôsobom, hoci rozdiely sú veľmi malé. Ide však najmä o to, že nové hydrometalurgické závody by vyžadovali veľké investičné náklady a to je v období ekonomickej recesie nemožné. Tieto fakty odsunuli v súčasnosti hydrometalurgiu do sféry spracovania druhotných materiálov a spracovania chudobných polykomponentných rúd, pomocou ktorých môže byť táto problematika úspešne riešená, nemôže však byť všeliekom extraktívnej metalurgie. Hydrometalurgia by mala hrať komplementárnu a nie konkurenčnú rolu v úprave surovín a k pyrometalurgii. Navyše, hydrometalurgia je schopná preklenúť medzeru medzi geológiou, mineralógiou, baníctvom, úpravnickými postupmi, hutníckymi technikami, materiálovou vedou a priemyselným dizajnstvom tak, aby bolo možné v budúcnosti čoraz úspešnejšie a

Tab. I.I: Porovnanie niektorých charakteristík pyrometalurgických a hydrometalurgických procesov

Proces	Pyrometalurgia	Hydrometalurgia
Spracovanie bohatých rúd	viac ekonomické	menej ekonomické
Spracovanie chudobných rúd	nevhodné z energetického hľadiska	vhodné pri selektívnom lúhovaní
Spracovanie komplexných rúd	obtiažne delenie zložiek - nevhodné	vhodné kvôli flexibilita a výrobe veľkých produktov
Ekonomika procesu	najvhodnejšie pre čo najväčšie prevádzky	malotonážne prevádzky; nižšie investície
Spracovanie druhotných zdrojov	nevhodné pre väčšinu prípadov	vhodné
Separácia čistých zložiek	nemožné	možné
Spracovanie sulfidických rúd	polúcia ovzdušia SO ₂ , ktorý musí byť spracovaný do H ₂ SO ₄ nízkej koncentrácie	tvorba SO ₂ vylúčená, zisk elementárnej síry
Reakčná rýchlosť	vysoká vplyvom vysokej teploty	pomalá vplyvom nízkej teploty
Priechod materiálu	veľmi vysoký jednotkový priechod	malý priechod pre jednotkovú produkciu
Manipulácia s materiálom	pomerne problematická s tekutými kovmi, troskami, kamienkami	roztoky a rmut sa ľahko dopravuje potrubím

Environmentálne znečistenie	problémy s odplynmi, prachom, hlu- kom	žiadna atmosferická polúcia, problémy s odpadnými vo- dami
Tuhé zvyšky	mnoho reziduí, môžu byť haldované	väčšina je v jemnej forme; môžu znečisťovať prostredie
Toxické plyny	mnoho procesov generuje toxické ply- ny	veľmi málo procesov gene- ruje plyny, ktoré môžu byť eliminované
Vsádzka	vhodné pre nehomogénnu vsádzku	citlivé na zmenu vsádzky; obecne vsádzka má byť ho- mogénna
Prevádzková črta	celkove jednoduchá; technika nie je komplexná	viac sofistikovaná technológia; technika je viac komplexná; riadenie a kontrola viac komplikovaná

efektívnejšie hydrometalurgiu použiť v prvovýrobe a iných odvetviach. Jediné komplexné pochopenie celej problematiky môže zabezpečiť v konečnom dôsledku ekonomicky efektívnu výrobu vybraných neželezných kovov pri zachovaní všetkých environmentálnych požiadavok.

Hydrometalurgická výroba medi

"Hydro" znamená vodu, "metalurgia" je získavanie kovov, čiže hutníctvo a teda "hydrometalurgia" je potom veda a umenie získavania (extrakcie) kovov z ich surovín mokrou cestou za pomoci vodných a v poslednom období aj nevodných roztokov. Za hydrometalurgiu teda možno považovať extrakčné metódy ktorými sa za pomoci chemických reakcií vo vodných a/alebo nevodných roztokoch získavajú kovy, ich soli, alebo iné zlúčeniny kovov. Za normálnych okolností sa hydrometalurgické procesy realizujú v teplotnom rozsahu od 25 do 250 °C, pričom sa celkový tlak môže pohybovať od niekoľkých kilopascalov (vákuum) až po vyše 5000 kPa.

Hoci mnohí experti pokladajú hydrometalurgiu za nový spôsob výroby, nie je tomu tak. Tab. I.II. dokumentuje chronológiu hydrometalurgie medi [Arbiter, Fletcher, 1993].

Sulfidické suroviny sú najrozšírenejšími a v ich prípade si spracovávanie chudobných rúd vyžiadalo mletie a flotáciu, čo rezultovalo v jemne rozomletom koncentráte ako vstupnom materiáli. Tieto, prirodzene, nemohli byť vsádzkované do šachtovej pece, pretože by okamžite nastalo jej upchanie a zabránilo by sa prietoku reakčných plynov a splodín. Tu možno hľadať zárodok vzniku horizontálnych pecí, vyhrievaných fosílnymi palivami. Výsledkom však bolo mimoriadne zhoršenie situácie v oblasti znečisťovania ovzdušia, vysokej spotreby energie a nadmernej tvorby úletov. Odtiaľ pochádza ďalší dôvod skúmania možnosti použitia hydrometalurgických metód spracovania sulfidických koncentrátov.

Aj v prípade medi sa vyvíja enormné úsilie v snahe nájsť optimálny hydrometalurgický postup, avšak doposiaľ toto úsilie nie je úplne úspešné. Najväčšou prekážkou je fakt, že vstupný materiál pre výrobu medi obsahuje približne 30 % Cu, čo je len asi polovica obsahu zinku v jeho vstupných materiáloch, pri výrobe ktorého sa hydrometalurgické postupy plne ujali. Prítomnosť ďalších zložiek v surovine pre výrobu medi (Fe, S, SiO₂ a ďalšie minority) spôsobuje zatiaľ veľké problémy v hydrometalurgickej výrobe medi.

Pri výrobe medi polemizuje v súčasnosti hydrometalurgia s pyrometalurgiou na nasledovných problematických miestach [Peters, 1992]:

Získavanie medi: Pomocou konvenčných taviaco-rafinačných procesov sa získava 98 - 99 % medi zo vstupnej vsádzky koncentráту. Aby bol hydrometalurgický proces výroby medi atraktívny pre priemysel, musí dosiahnuť veľmi vysokú výťažnosť. Taviarne medi dosahujú vysokú výťažnosť deponovaním trosky s pomerom železo/med' okolo 100. Lúhovacie zvyšky z hydrometalurgie medi s takýmto pomerom by boli veľmi prijateľné, ale nanešťastie, dokonca aj pri takmer 100 % výťažnosti medi z koncentrátu, takýto pomer je ťažko dosiahnuteľný. Nepremytý filtračný koláč obsahujúci 25 % vlhkosti s obsahom 60 g/L medi bude obsahovať 1.5 % rozpustenej medi a tiež aj časť nevlúhovanej medi. Z toho hneď vyplýva nutnosť inovácie metód získavania rozpustenej medi z vlhkých filtračných koláčov, nota bene bez vzniku ďalších problémov s rovnováhou vody v systéme.

Tab. I.II.: História hydrometalurgie medi

Zdroj medi	Lúhovací systém	Získavanie medi	Lokalita	Rok
Banské vody	Lúhovanie v bani	cementácia Fe	Rio Tinto	1670
Chudobná ruda	Lúhovanie v bani	cementácia Fe	Rio Tinto	1752
Banské vody	Lúhovanie v bani	cementácia Fe	Strafford, VT	1820
Banské vody	Lúhovanie v bani	cementácia Fe	Ducktown, TN	1860
Ruda	Pražnec, halda	cementácia Fe	Rio Tinto	1876
Banské vody	Lúhovanie v bani	cementácia Fe	Butte, MT	1886
Oxidická ruda	Lúhovanie v nádrži	cementácia Fe	Clifton, AZ	1892
Chvosty	Poloprevádzka Praženie / Lúhovanie	cementácia Fe	Butte, MT	1912
Oxidická ruda	Lúhovanie v nádrži	elektrolýza	Ajo, AZ	1915
Oxidická ruda	Lúhovanie v nádrži	elektrolýza	Chuquicamata	1915
Oxidické chvosty	Lúhovanie v tanku NH ₃ /CO ₂	zrážanie parou CuO	Kennecott, AK	1916
Prírodné Cu chvosty	Lúhovanie v tanku NH ₃ /CO ₂	zrážanie parou CuO	Clumet/Hecla, MI	1916
Oxidická ruda	Lúhovanie v tanku H ₂ SO ₄	zrážanie SO ₂	Anaconda, MT	1920
Zmesná ruda	Lúhovanie v tanku Fe ₂ (SO ₄) ₃	elektrolýza	Inspiration, AZ	1930

Oxidická ruda	Lúhovanie v tanku H_2SO_4	elektrolýza	Panda, Zaire	1930
Zmesná ruda	Lúhovanie + flotácia	cementácia Fe	Miami, AZ	1929-34
Oxidická ruda	Lúhovanie na halde H_2SO_4	kvapal. extrakcia, elektrolýza	Ranchers Bluebird, AZ	1968
Oxidické chvos- ty	Lúhovanie v tanku H_2SO_4	kvapal. extrakcia, elektrolýza	Nchanga, Zambia	1974
Koncentrát	Lúhovanie v tanku NH_3 (Anaconda)	kvapal. extrakcia, elektrolýza	Anaconda, MT	1974
Koncentrát	Lúhovanie v tanku NH_3 (Anaconda)	zrážanie SO_2 polo- prevádzka	Tucson, AZ	1974
Koncentrát	Lúhovanie v tanku $H_2SO_4 + HCl$ (Duval)	elektrolýza	Sierita, AZ	1977
	(Intec) <input type="checkbox"/>			1994

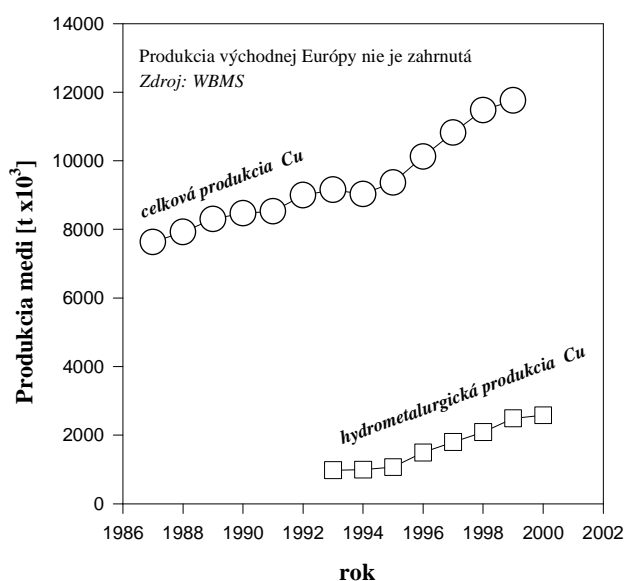
Problém so železom: Typický medený koncentrát uvoľní zhruba 1 t železa na každú tonu získanej medi. Ak takáto troska obsahuje 40 % železa, dá sa vyvážať na haldu. Avšak lúhovacie zvyšky (s obsahom 30 % železitého jarositu [Swinkels a kol.,1978; Kawulka a kol.,1978; Maschmeyer a kol.,1978]) nemožno akceptovať pre haldovanie, pretože sú podstatne objemnejšie než troska, pričom ešte obsahujú kyslé roztoky, ktoré lúhujú ťažké kovy a ohrozujú životné prostredie.

Problémy so sírou: Hydrometalurgia ponúka najlepšie riešenie problému so sírou, pretože vylučuje vznik akéhokoľvek oxidu siričitého. Navrhlo sa mnoho rozličných hydrometalurgických procesov výroby medi, v ktorých vznikala síra v elementárnej forme. Zároveň sa v ďalších uvažuje so vznikom sulfátov, ktoré môžu byť predajným produktom, napr. sulfát amónny, alebo sú deponovateľné, napr. sádra, alebo soli bázičného sulfátu železitého.

Získavanie ušľachtilých kovov: Koncentráty medi obyčajne obsahujú významné množstvá striebra a zlata. V tradičných taviacich procesoch oba tieto kovy prechádzajú v procese rafinácie do anódového kalu so širokým rozsahom koncentrácií. V starších hydrometalurgických postupoch ostávali ušľachtilé kovy v zriedených zvyškoch, odkiaľ sa získavali veľmi ťažko.

Toxické odpady: Často vyskytujúcimi sa toxickými kovmi v procese výroby medi sú arzén, antimón, bizmut, olovo, zinok, ortuť a podobne. V tradičnej pyrometalurgii tieto prvky prechádzajú do prachu a odplynov, ktoré v starších prevádzkach znečisťovali ovzdušie a okolie. V novších prevádzkach sú tieto kovy čiastočne získavané pre komerčné účely a čiastočne eliminované do trosky. Tieto prvky sú však aj naďalej zdrojom znečisťovania životného prostredia. Hydrometalurgickými metódami sa tieto prvky síce nedostanú do ovzdušia, a hoci snáď menší, ale predsa len problém ostáva v potenciálnom znečistení vôd. Takto vzniká potreba vývoja čistiacich technológií, alebo inovačných preventívnych metód.

Minimálne tieto, ale aj ďalšie okruhy problémov musí navrhovaný hydrometalurgický spôsob výroby medi úspešne vyriešiť, pokiaľ má byť konkurencie schopný. Faktom však je, že meniaci sa skladba vstupných surovín si často vynucuje použitie metód, ktoré v minulosti neboli ekonomické, avšak postupne sa ukazuje, že tieto suroviny nebude možné iným spôsobom ani spracovávať. V súčasnosti sa množstvo vyrábanej medi hydrometalurgickým spôsobom v celosvetovom meradle zvyšuje a predstavuje asi 20 % [McCoy, 1999]. Obr. I.5 udáva prehľad vývoja medi hydrometalurgickým spôsobom, pričom zároveň pre porovnanie udáva vývoj celkovej produkcie medi už uvedenú na obr. I.2.



Obr. I.5: Vývoj produkcie medi vyrobenej hydrometalurgickým spôsobom

Ako vidno z už uvedeného, výroba medi akýmkoľvek spôsobom je komplikovaný a náročný proces. Týka sa to samozrejme aj hydrometalurgického spôsobu výroby, ktorý má svoje špecifiká, závislé najmä od spracovávanej suroviny a tiež od typu použitých extrahentov. Spomedzi viacerých krokov hydrometalurgickej výroby medi je pravdepodobne najdôležitejším krok priameho prevodu kovu do roztoku, teda lúhovanie vzhľadom na to, že určuje rýchlosť a efektivitu prevodu kovov do roztoku a tým aj podstatnú časť ekonomiky celého procesu. Na rozhodnutie, či bude proces lúhovania úspešný, je potrebné tento preskúmať z termodynamického aspektu - to jest overiť, či vôbec a ktoré reagenty majú nádej spolu reagovať, ale tiež stanoviť aj kinetické podmienky pochodu, to jest ako dlho a za akých podmienok budú tieto reagenty reagovať.

Literatúra

Arbiter N., Fletcher A.W.: Copper Hydrometallurgy - Evolution and Milestones, Hydrometallurgy - Fundamentals, Technology and Innovations, Hiskey, Warren eds., Soc. Min. Met. Explor., Colorado 1993, 549-565

Crowson P.: The future role of the European non-ferrous metal industry, *Erzmetall*, 47, 10, 1994, 611-617

Gupta C.K., Mukherjee T.K.: Hydrometallurgy in Extraction Processes, vol. I, CRC Press, 1990

Habashi F.: A Textbook of Hydrometallurgy, Met. Extr. Quebec, Enr., 1992,

Havlík T., Škrobán M.: In: Hydrometallurgy, Industrial Applications of X-ray Diffraction, Marcel Dekker, Inc., Chung F.H., Smith D.K. eds., chapter 11, 303 - 317, 2000

Kawulka P., Kirby C.R., Bolton G.L.: The Sherritt-Cominco Process - Part. II: Pilot plant operation, *CIM Bulletin*, 71, 1978, 121 - 130,

MacMillan A., Norton K.: Copper Market Update, *Metall* 52, 7-8, 1998, 429-437

Maschmeyer D.E.G., Milner E.F.G., Parekh B.M.: The Sherritt-Cominco Process - Part. III: Commercial implications, *CIM Bulletin*, 71, 1978, 131-139

McCoy M.: Sulfuric Markewt Rocked by Copper, *Chemical & Engineering News*, October 4, 1999, 13-17

Peters E.: Hydrometallurgical process innovation, *Hydrometallurgy*, 29, 1992, 431-459

Rothfeld L.B., Towle S.W.: Counting the costs, *Eng. Min. Journal*, 190, 10, 1989, 32-34

Swinkels G.M., Berezowski R.M.G.S.: The Sherritt-Cominco Process - Part I: The process, *CIM Bulletin*, 71, 1978, 105-121

World Bureau of Metal Statistics, 1998