

# Sborník přednášek

24. konference žárového zinkování

## *Proceedings*

*24<sup>th</sup> Hot Dip Galvanizing Conference*



Vydavatel: **Asociace českých a slovenských zinkoven, z.s.**

Recenzovali: Ing. Petr Strzyž, Ing. René Siostrzonek, Ph.D. a Ing. Henryk Kania, Ph.D.

Místo, rok vydání: **Ostrava, říjen 2018**

Tisk: AMOS repro, spol. s r.o.

ISBN 978-80-905298-7-8

ISBN: 978-80-905298-7-8



9 788090 529878

## **Obsah | Content**

<b>Současná situace v odvětví hutnictví železa .....</b>	<b>5</b>
Current Situation in the Steel making Industry	
Vladimír Toman, Oclářská unie a. s., Czech Republic	
<b>Aktuální informace o změnách legislativy (české, slovenské, EU) v oblasti životního prostředí.....</b>	<b>10</b>
Current information about changes in environmental legislation (Czech, Slovak, EU)	
Petra Matušková, CENIA, česká informační agentura životního prostředí, Czech Republic	
<b>Pohľad a očakávania investora na ťažké žiarovo pozinkované konštrukcie v energetike.....</b>	<b>16</b>
Expectations and views of investors with regard to heavy hot-dip galvanized constructions in power industry	
Marian Bartoš, SPIE Elektrovod, a. s., Slovakia	
<b>Medzinárodný strojársky veľtrh 2019 v Nitre .....</b>	<b>23</b>
International Engineering fair in Nitra 2019	
Ondrej Vaňo, agrokomplex NÁRODNÉ VÝSTAVISKO, štátny podnik, Slovakia	
<b>Upravené pokyny ISO pro návrhy dílů určených k zinkování a další změny v normách .....</b>	<b>26</b>
Revised ISO Guidance for Design for Galvanizing and Other Standardisation Updates	
Vasilic Rus, European General Galvanizers Association	
<b>Vliv legujúcich prvkov na abnormality pri zinkovaní se zvláštním zretelem na povrchové vady .....</b>	<b>31</b>
Influence of alloying elements on galvanizing abnormalities with a special view on surface defects	
Alexander Mertke, Boliden Commercial Deutschland GmbH, Germany	
<b>MetLog .....</b>	<b>41</b>
MetLog	
Šárka Blechová, MetLog s.r.o., Czech Republic	
<b>Význam protikorozní ochrany v praci .....</b>	<b>42</b>
The Importance of Corrosion Protection in Practice	
René Siostrzonek, ViaKont s.r.o. Ostrava, Czech Republic	
<b>Czech and Slovak Galvanizing Award 2018 .....</b>	<b>46</b>
Czech and Slovak Galvanizing Award 2018	
Petr Strzyž, Asociace českých a slovenských zinkoven, z. s., Czech Republic	
<b>Komenského most v Jaroměři .....</b>	<b>53</b>
Comenius Bridge in Jaroměř	
Vladimír Janata, EXCON, a.s., Czech Republic	
<b>Chemické složení podkladových ocelí.....</b>	<b>62</b>
Chemical composition of substrate steel	
Kateřina Kreislová, SVÚOM, s. r. o. Praha, Czech Republic	
<b>Vliv řezných hran na kvalitu HDG povlaku .....</b>	<b>69</b>
The effect of cut edges on HDG coating quality	
Hana Geiplová, SVÚOM, s. r. o. Praha, Czech Republic	
<b>Efektivní korekce mořicích lázní na bázi HCl pro žárové zinkování .....</b>	<b>77</b>
Efficient correction of HCl-based pickling baths for hot-dip galvanizing	
Vlastimil Kuklík, InPÚ z.ú., Czech Republic	

<b>Vliv Pb v zinkové lázni na kinetiku růstu a strukturu povlaků.....</b>	<b>84</b>
<b>Effect of Pb in Galvanizing Bath on the growth kinetics and structure of coatings</b>	
Anna Skupińska, Politechnika Śląska, Poland	
<b>Inovační technologie vytváření zinkových povlaků .....</b>	<b>92</b>
<b>Innovative zinc coating technologies</b>	
Jacek Sipa, REMIX S.A., Poland	
<b>Případová studie: realizace projektu s duplexním systémem.....</b>	<b>99</b>
<b>Case study: Project implementation with duplex system</b>	
Vlastimil Kuklík, InPÚ z. ú., Czech Republic	
<b>Praktické aspekty pasivace povlaku žárového zinku .....</b>	<b>108</b>
<b>Practical aspects of passivation for hot dip galvanized zinc</b>	
Roman Konvalinka, SurTec ČR, s. r. o., Czech Republic	
<b>Výroba zinku v minulosti a dnes .....</b>	<b>114</b>
<b>Zinc Production in the Past and Today</b>	
Jarmila Trpčevská, Technická univerzita v Košiciach, Fakulta materiálov, metalurgie a recyklácie, Slovakia	
<b>Technologie pro plynové vytápění v žárovém zinkování – Nový přístup pro vytápění kovových pecí a specifická technologie pro keramické pece odstředivého zinkování .....</b>	<b>118</b>
<b>Galvanizing gas heating technologies – A new approach for metallic kettles and a specific technology for ceramic spinning galvanizing furnaces</b>	
René Branders, FIB Belgium	
<b>Průmyslové filtry Herding v provozech žárového zinkování, eliminace prašnosti.....</b>	<b>120</b>
<b>Herding filter technology in hot-dip galvanizing plants, dust collection</b>	
Vladimír Macourek, HERDING, Technika životního prostředí, spol. s r. o., Czech Republic	

**Generální partner konference / General partner to the conference**

**WIEGEL Sered'žiarové zinkovanie s. r. o.**



**Sponsor společenského večera / Sponsor of the gala dinner**

**ZINKPOWER**

**ZINKPOWER**

KOPF GRUPPE - SVH

## VÝROBA ZINKU V MINULOSTI A DNES

Jarmila Trpčevská, Martina Laubertová, Jana Pirošková, Katarína Blašková

Technická univerzita v Košiciach, Fakulta materiálov, metalurgie a recyklácie, Slovensko

## ZINC PRODUCTION IN THE PAST AND TODAY

Jarmila Trpčevská, Martina Laubertová, Jana Pirošková, Katarína Blašková

Technical University of Košice, Faculty of Materials, Metallurgy and Recycling, Slovakia

Zinok je v súčasnosti štvrtým najpoužívanejším kovom na svete, po železe, hliníku a medi. Na začiatku dvadsiateho storočia sa ho vyrabilo vo svete menej ako 1 milión ton. V roku 2017 svetová výroba dosiahla 13,6 mil. ton. Najväčším výrobcom primárneho zinku je Čína.

Najväčšie zásoby zinkových rúd na svete má Austrália (odhad je 63 miliónov ton). Ďalšími krajinami s významnými zásobami zinku sú Čína, Peru a Mexiko. Hlavným zdrojom výroby primárneho zinku je ruda s obsahom minerálu sfalerit, ZnS. Druhou najvýznamnejšou rudou zinku je ruda obsahujúca minerál smithsonit  $ZnCO_3$  (kalamin), z ktorej sa však získava iba malá časť svetovej produkcie zinku.

Pre dosiahnutie mechanickej separácie zinok obsahujúcich minerálov od hlušiny sa zinkové rudy sa drvia a melú. Následne sa využívajú zložité flotačné postupy s cieľom maximálnej separácie minerálov olova od minerálov zinku. Produktom týchto postupov je koncentrát, ktorý obsahuje typicky 60 % Zn alebo viac v prípade ak sa spracovávajú rudy neobsahujúce olovo, alebo 55 – 60 % Zn, ak sa spracovávajú Pb-Zn rudy. Priemerná analýza získaná z údajov pochádzajúcich od 22 výrobcov koncentrátorov bola nasledovná: 52 % Zn, 32 % S, 7,5 % Fe, 2,5 % Pb, 0,22 % Cd a 0,57 % Cu. Koncentrát tiež obsahuje malé množstvo zlata, striebra, gálie, germánia, india a tália.

Proces tažby zinkových rúd prebieha prevažne (80 %) pod zemou. Približne 8 % zinkových rúd sa taží povrchovo a zvyšných 12 % oboma metódami. Najväčšie množstvo zinkovej rudy v roku 2017 bolo vytažené v Indii (Rampura Agucha mine v Rajasthane). Druhé miesto v tažbe zinkovej rudy patrí USA (Red Dog mine, Aljaška). Tretie miesto patrí Austrálii (Mount Isa operation, spoločnosť Glencore). Zinok sa ďalej taží vo viac ako 50 krajinách na svete. Okrem uvedených krajín tažba prebieha v Peru, Mexiku, Číne, Kanade, Čile a ďalších krajinách. Najvýznamnejšími tažobnými spoločnosťami sú Xstrata, Nyrstar, Boliden AB, Teck Resources.

### 1. STRUČNÝ PREHĽAD VÝROBY ZINKU V MINULOSTI

Ako už bolo uvedené, hlavným zdrojom zinku v rudách je minerál sfalerit, ZnS. Sulfid zinočnatý sa praží s cieľom premeny sulfidického minerálu na  $ZnO$ , ktorý možno ľahko redukovať na kov oxidom uhořnatým pri teplote pri-

Zinc is currently the fourth most widely used metal in the world after iron, aluminum and copper. At the beginning of the twentieth century, zinc production was less than 1 million tons. In 2017, world production of zinc reached 13.6 million tons. The largest producer of primary zinc is China.

The largest reserves of zinc ores in the world can be found in Australia (estimated at 63 million tons). Other countries with significant zinc reserves include China, Peru and Mexico. The main source of primary zinc is represented by ore containing mineral sphalerite, ZnS. The second most important zinc ore is represented by ore containing smithsonite  $ZnCO_3$  (calamine); however, this covers only a small part of the world's zinc production.

To achieve mechanical separation of the zinc-containing minerals from the tailings, the zinc ores are crushed and milled. Subsequently, complicated flotation procedures are used to maximize separation of lead minerals from zinc minerals. These processes produce concentrate that typically contains 60 % of Zn or more in the case of lead-free ores or 55 – 60 % of Zn when treating Pb-Zn ores. An average analysis obtained from data from 22 concentrate manufacturers was as follows: 52 % Zn, 32 % S, 7.5 % Fe, 2.5 % Pb, 0.22 % Cd and 0.57 % Cu. The concentrate also contains a small amount of gold, silver, gallium, germanium, indium and thallium.

The zinc ore mining process is predominantly (80 %) underground. Approximately 8 % of zinc ores are mined on the surface and the remaining 12 % by both methods. The largest amount of zinc ore in 2017 was extracted in India (Rampura Agucha mine in Rajasthan). The second place in the mining of zinc ores belongs to the USA (Red Dog mine, Alaska). The third place belongs to Australia (Mount Isa operation, Glencore). Zinc is further mined in more than 50 countries worldwide. In addition to these countries, mining takes place in Peru, Mexico, China, Canada, Chile and other countries. The most important mining companies are Xstrata, Nyrstar, Boliden AB, Teck Resources.

### 1. A BRIEF OVERVIEW OF ZINC PRODUCTION IN THE PAST

As already mentioned, the major source of zinc in ores is sphalerite, ZnS. Zinc sulfide is roasted to convert the sulfide mineral into  $ZnO$ , which can easily be reduced to carbon with carbon monoxide at about 1,100 °C. Since

bližne 1 100 °C. Pretože bod varu zinku je 907 °C, vznikajúci zinok je vo forme pár a musí sa ihneď kondenzovať, aby nedošlo k jeho opäťovnej oxidácii. Z dôvodu technických ťažkostí nebol kovový zinok vo všeobecnosti dostupný až do stredoveku. Mosadz (zlatina medi so zinkom) však možno vyrobil bez použitia kovového zinku, a to ohrevom kalamínu, uhlíka a medi v uzavorenom tégliku pri teplote približne 1 000 °C: zinkové pary, ktoré sa uvoľňujú redukciou kalamínu sa ihneď rozpúšťajú v medi. To je dôvod prečo ľudia na celom svete hodne používali mosadz ešte pred výrobou samotného zinku.

Dostupnosť samotného kovového zinku začína zrejme v 12. storočí v Indii. Indickí remeselníci v Zaware vytavili 1 000 kt zinku v období od 12. do 16. storočia. V Zaware sa z tohto obdobia našlo množstvo vyradených retort a kondenzátorov spolu so zvyškami po tavení. V Číne bolo objavených takmer 20 miest, kde prebiehala výroba zinku v období dynastie Ming (1368 – 1664) pozdĺž rieky Yangtze vo Fengdu v juhozápadnej Číne. Tieto objavy prispeli k rekonštrukcii technológie destilácie zinku. Na základe štúdia zostatkov z minulosti bolo objavené, že Číňania na tomto území používali keramické retorty, chudobnejšie oxidické zinkové rudy so značným obsahom železa a nižší podiel redukčných činidiel, čo malo za následok väčšie straty zinku.

V Európe sa ľudia dozvedeli o kovovom zinku na začiatku 17. storočia, avšak až v 18. storočí došlo k rozvoju nezávislého priemyslu zinku. Anglickí remeselníci vyrobili kovový zinok redukciou uhlíkom v retortách v roku 1738. Belgický proces použitím horizontálnych retort bol vyvinutý približne v roku 1838 a stal sa štandardnou metódou výroby zinku až do roku 1951. Išlo o diskontinuálnu výrobu. Pri tomto spôsobe bol na redukciu zinkovej rudy na kovový zinok použitý uhlík. Zinkové pary boli zachytávané v keramických kondenzátoroch. V polovici 20. storočia metalurgovia začali uprednostňovať kontinuálny postup. Američania vyrobili zinok v malej prevádzke v New Jersey (vertikálna retorta).

Hydrometalurgický spôsob výroby zinku začal nadobúdať význam na konci 20. storočia a vo významnej miere nahradil pyrometalurgický spôsob výroby, kedy sa na redukciu používal uhlík.

Tab. 1 zobrazuje podiel výroby jednotlivými postupmi na základe dostupných údajov v priebehu 20. storočia až po súčasnosť.

## 2. VÝROBA PRIMÁRNEHO ZINKU V SÚČASNOSTI

Zinok sa vyrába v súčasnosti z primárnych surovín hydrometalurgicky a pyrometalurgicky. Pyrometalurgická výroba je založená na využití tzv. Imperial Smelting Procesu (ISP). Pyrometalurgický spôsob výroby zinku využitím retort sa v súčasnosti, až na malé výnimky použitia v Číne viac nevyužíva. Ako už bolo uvedené väčšina zinku vo svete sa vyrába zo sulfidických rúd. Kedže olovo a zinok sa vyskytujú v rudách súčasne, veľký vplyv na výrobu zinku má práve

the zinc boiling point is 907 °C, the resulting zinc is in the form of a vapor and must be condensed immediately in order not to re-oxidize. Due to technical difficulties, metal zinc was generally not available until the Middle Ages. However, brass (copper zinc alloy) can be made without the use of metal zinc by heating calamine, carbon and copper in a closed crucible at a temperature of about 1,000 °C: the zinc vapors released by the reduction of the calamine are immediately dissolved in copper. This is why people around the world had been using brass before using zinc itself.

The availability of metal zinc itself starts in the 12<sup>th</sup> century in India. Indian craftsmen in Zaware produced 1,000 kt of zinc between the 12<sup>th</sup> and the 16<sup>th</sup> century. In Zaware, a number of discarded retorts and condensers, along with post-melt residues, were found during this period. In China, nearly 20 sites were discovered where zinc was produced during the Ming Dynasty (1368 – 1664) along the Yangtze River in Fengdu, southwest China. These discoveries have contributed to the reconstruction of the technology of zinc distillation. Based on a study of past remnants, it has been discovered that the Chinese used ceramic retorts, relatively poor oxide zinc ores with a high iron content and a low proportion of reducing agents, resulting in greater losses of zinc.

In Europe, people learned about metal zinc at the beginning of the 17<sup>th</sup> century, but the development of an independent zinc industry occurred in the 18<sup>th</sup> century. English craftsmen produced the first metal zinc by carbon-reduction in retorts in 1738. The Belgian process using horizontal retorts was developed around 1838 and became a standard zinc production method until 1951. It was a discontinuous production process. In this method, carbon was used to reduce zinc ore to metal zinc. Zinc vapors were collected in ceramic condensers. In the mid-20<sup>th</sup> century, metallurgists began to favor a continuous process. The Americans produced zinc in a small operation plant in New Jersey (vertical retort).

The hydrometallurgical process of zinc production began to acquire significance at the end of the 20<sup>th</sup> century and to a significant extent replaced the pyrometallurgical production method where carbon was used for reduction.

Table 1 shows the share of production by individual procedures based on available data during the 20<sup>th</sup> century to the present.

## 2. PRODUCTION OF PRIMARY ZINC AT PRESENT

Zinc is currently produced from primary raw materials by hydrometallurgy and pyrometallurgy. Pyrometallurgical production is based on the use of the Imperial Smelting Process (ISP). The pyrometallurgical process of zinc production using retorts is not used anymore, except for small exceptions in China. As already mentioned, most zinc in the world is made from sulfide ores. Since lead and zinc are present in ores at the same time, lead has a major impact on

**Tab. 1 – Podiel výroby zinku jednotlivými spôsobmi v percentách****Table 1 – Shows the share of production by individual procedures [%]**

Rok Year	Horizontálna retorta Horizontal retort	Vertikálna retorta Vertical retort	Elektrická pec Electric furnace	Šachtová pec (ISP) Shaft furnace (ISP)	Elektrolýza Electrolysis
< 1916	> 90				
1929					28
1937					33
1960	34,5	11	7,5	2	45
1970	15	10	6,5	12,5	56
1980	3	7	6	10	74
2008				10	86
2016					90–95

olovo. Zinkové rudy sa drvia, melú a následne sa z nich vyrába koncentrát procesom flotácie. Zinkový koncentrát sa spracuje buď hydrometallurgicky, alebo pyrometallurgicky procesom ISP. Vyrobéný zinok má čistotu 99,995 %. Keďže rudy s obsahom zinku a koncentráty obsahujú sulfidy, výroba zinku má podobné problémy z hľadiska životného prostredia ako má priemysel výroby kyseliny sírovej, t.j. emisie zvyškového SO<sub>2</sub>, NOx a kyslých odpadových vôd, uvoľňovanie kovov ako je arzén, ortuť a kadmium.

## 2.1 Pyrometallurgický spôsob výroby zinku

Najprv sa sulfidické koncentráty pražia v zariadení určenom na spekanie (aglomeráciu). Produkt po aglomeráčnom pražení obsahujúci oxid zinočnatý a malé množstvo síranov (ZnO . 2 ZnSO<sub>4</sub> a ZnSO<sub>4</sub>) sa následne redukuje oxidom uhoľnatým v šachtovej peci. Kovový zinok odchádza z pece v plynnnej forme a kondenzuje sa pri kontakte s roztaveným olovom v kondenzátore. Surový zinok sa následne podrobuje procesu rafinácie s cieľom získania zinku s čistotou 99,995 %. Pyrometallurgický ISP proces je určený pre zmesové Zn-Pb koncentráty a druhotné materiály (šrot zo zinkových zlatín, zinkové stery a pod.)

V EÚ, resp. v Európe sa tento proces v terajšej dobe vykonáva už iba v Poľsku v Miasteczku Śląskom.

## 2.2 Hydrometallurgický spôsob výroby zinku

Hydrometallurgický spôsob výroby zinku sa používa pre koncentráty vyrobené z sulfidu zinočnatého, uhličitanov alebo kremičitanov zinku a tiež pre určité sekundárne materiály ako je Waelzov oxid. Týmto spôsobom sa vo svete vyrobí približne 90 % zinku. Väčšina európskych prevádzok uplatňuje tento postup, ktorý je známy pod anglickou skratkou „RLE“ (roast-leach-electrowin). Táto skratka znamená tri hlavné kroky výroby, t.j. praženie-lúhovanie a elektrolytické vylučovanie zinku z roztoku po lúhovaní.

Hydrometallurgické spracovanie koncentrátorov na báze sulfidov zinku sú spojené s problémom oddelenia zinku od železa. Súvisí to so skutočnosťou, že väčšina zinkových koncentrátorov obsahuje železo, niektoré vo významných množstvach (5 – 12 %). Pred hydrometallurgickým spracovaním zinkových koncentrátorov je zvyčajne nutné uplatniť krok praženia. Koncentráty sa miešajú, aby sa dosiahlo takmer konštantné zloženie vstupného materiálu. Vše-

zinc production. Zinc ores are crushed, milled, and subsequently zinc concentrate is produced by the process of flotation. The zinc concentrate is processed either by hydrometallurgical or pyrometallurgical process of ISP. The produced zinc is 99.995 % pure. Since zinc-containing ores and concentrates contain sulfides, zinc production has similar environmental problems as the sulfuric acid industry, i.e., emissions of residual SO<sub>2</sub>, NOx and acid waste water, releases of metals such as arsenic, mercury and cadmium.

## 2.1 Pyrometallurgical process of zinc production

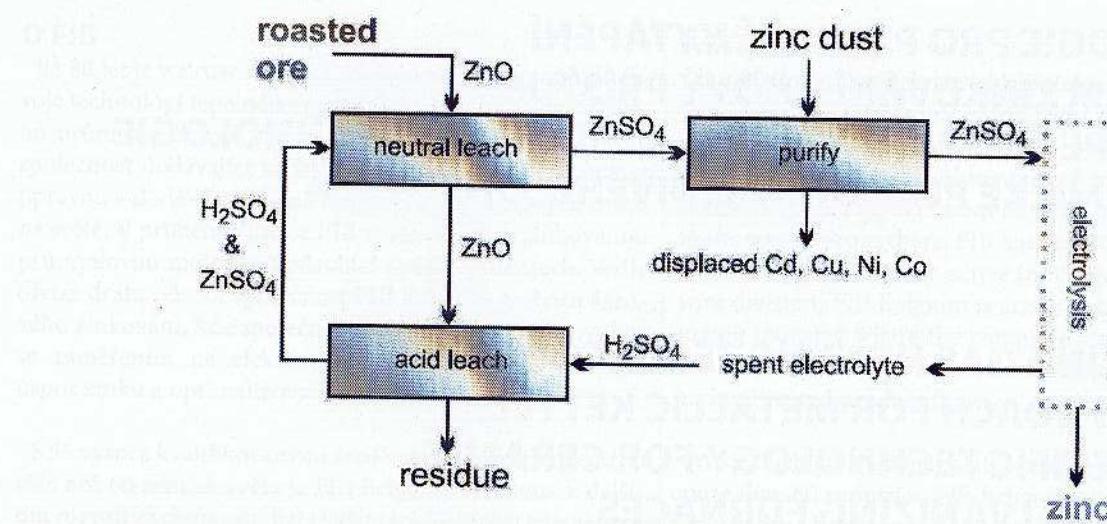
First, the sulfide concentrates are roasted in a sintering plant. The product after sintering roasting containing zinc oxide and a small amount of sulfates ((ZnO . 2 ZnSO<sub>4</sub> and ZnSO<sub>4</sub>) is then reduced with carbon monoxide in a shaft furnace. The metal zinc leaves the furnace in gas form and condenses upon contact with molten lead in the condenser. The crude zinc is then subjected to a refining process to obtain zinc with a purity of 99.995 %. The pyrometallurgical ISP process is designed for mixed Zn-Pb concentrates and secondary materials (zinc alloy scrap, zinc scrap, etc.)

In the EU, or we could say in Europe, this process is currently used only in Poland in Miasteczko Śląskie.

## 2.2 Hydrometallurgical process of zinc production

The hydrometallurgical process of zinc production is used for concentrates made from zinc sulfide, zinc carbonates or silicates and also for certain secondary materials such as Waelz oxide. In this way approximately 90 % of zinc is produced in the world. Most European operations apply this procedure, which is known under the English abbreviation "RLE" (roast-leach-electrowin). This abbreviation refers to three major manufacturing steps, i.e., roasting-leaching and electrowinning of zinc from solution after leaching.

Hydrometallurgical processing of concentrates based on zinc sulfides is associated with the problem of separating zinc from iron. This is related to the fact that most zinc concentrates contain iron, some of them in significant amounts (5 – 12 %). Prior to hydrometallurgical processing of zinc concentrates, it is usually necessary to apply the roasting step. Concentrates are mixed to achieve a nearly constant composition of the feed material. General practice includes sam-



Obr. 1. – Schéma výroby zinku hydrometalurgickým spôsobom [8].  
Fig. 1 – Scheme of hydrometallurgical zinc production is shown [8].

becnou praxou je vzorkovanie, analýza a kategorizácia koncentrátov. Jednotlivé koncentráty sa skladujú oddelené. Pred pražením sa pripravuje najvhovujúcejšia zmes. Po príprave vstupnej zmesi, hlavnými výrobnými krokmi sú:

- praženie,
- spracovanie praženca,
- lúhovanie,
- rafinácia,
- elektrolýza.

Jednoduchá schéma hydrometallurgického postupu výroby zinku je zobrazená na obr. 1.

#### Poděkování:

Príspevok vznikol za podpory projektu VEGA 1/0442/17.

pling, analysis and categorization of concentrates. Individual concentrates are stored separately. Before roasting, the most suitable mix is prepared. After preparing the feed mix, the main production steps are as follows:

- roasting,
- processing of the roasted ore,
- leaching,
- refining,
- electrolysis.

A simple scheme of hydrometallurgical zinc production is shown in Figure 1.

#### Acknowledgments:

The article was written with the support of project VEGA 1/0442/17.

*Translated by: Martin Cmiel*

#### LITERATÚRA / REFERENCES:

- [1] Zhou, W. et al.: Distilling zinc for the Ming Dynasty: the technology of large scale zinc production in Fengu, southwest China, In: *Journal of Archeological Science*, 39, 2012, p. 908–921.
- [2] Smieszek, Z. et al.: Metallurgy of non-ferrous metals in Poland, In: *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 52, 2, 2017, 221–234.
- [3] Bernasowski M., Klimczyk, A., Stachura R.: Overview of Zinc Production in Imperial Smelting Process, Conference Paper, Iron and Steelmaking, 4.6.10.2017, Horní Bečva, Czech Republic.
- [4] Xu, F. et al.: Mass balance and quantitative analysis of cleaner production potential in zinc electrolysis cellhouse, In: *Journal of Cleaner Production*, 135, 2016, p. 712–720.
- [5] Yan L, et al.: Dynamic material flow analysis of zinc resources in China, In: *Resources, Conservation and Recycling*, 75, 2013, p. 23–31.
- [6] Abkhoshk, E. et al: Review of the hydrometallurgical processing of non-sulfide zinc ores, In: *Hydrometallurgy*, 149, 2014, p. 153–167.
- [7] Sohn, H.Y., Olivas-Martinez, M.: Lead and Zinc Production, *Treatise on Process Metallurgy*, Volume 3, Elsevier, 2014.
- [8] <http://www.essentialchemicalindustry.org/metals/zinc.html>