

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství**

**Katedra materiálového inženýrství**



## **Bakalářská práce**

Možnosti přípravy a zpracování zinku a jeho slitin netradičními metodami

Possibilities of preparation and processing of zinc and its alloys by  
nontraditional methods

## Zadání bakalářské práce

Student: **Roman Doležal**

Studijní program: B3923 Materiálové inženýrství

Studijní obor: 3911R036 Progresivní technické materiály

Téma: **Možnosti přípravy a zpracování zinku a jeho slitin netradičními metodami**  
**Possibilities of preparation and processing of zinc and its alloys by non-traditional methods**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod a cíl práce.
2. Vypracování literární rešerše z domácí a zahraniční literatury k problematice přípravy a zpracování zinku.
3. Popis známých postupů při výrobě zinku a jeho slitin.
4. Posouzení materiálových a technologických možností získání zinku cementací.
5. Závěr – celkové hodnocení, perspektivy.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NEELAMEGGHAM, N., R. Rare Metal Technology 2014. Wiley. Canada. 2014. 212 s. ISBN 978-1-118-88882-7.
- [2] ŠTOFKO, M., ŠTOFKOVÁ, M. Neželezné kovy. Košice, 2000. 293 s. ISBN 80-7099-527-0.
- [3] KOMOROVÁ, L., IMRIŠ, I. Termodynamika v hutnictvě. Alfa. 1991. 296 s. ISBN 80-05-01077-X.
- [4] KNEPPER, M., BABICH, A., SENK, D. Reaktionskinetik von Reduktionstragern im Hochofen und Schmelzvergaser. Tagungsband 27. Aachener Stahlkolloquium, Eurogress Aachen, September 2012, ISBN 978-3-941704-24-4, s. 85-96.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Silvie Brožová, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018

prof. Ing. Vlastimil Vodárek, CSc.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.  
děkanka fakulty

# Zásady pro vypracování bakalářské práce

## I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

## II.

### Uspořádání bakalářské práce:

- |  |                              |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list                              | 6. Obsah BP                  |
| 2. Originál zadání BP                        | 7. Textová část BP           |
| 3. Zásady pro vypracování BP                 | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení     | 9. Přílohy                   |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky |                              |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP. („Zásady pro vypracování bakalářské práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnické nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující **doporučené** úpravy - písmo Times New Roman 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9).



Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. Matematické vzorce musí být číslovány (v kulatých závorkách). U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury. Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 8) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

### III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*  
*Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství*  
*Katedra .....*

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

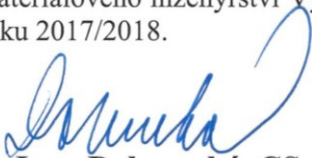
dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě. Po vložení BP do IS EDISON bude provedena její kontrola na plagiátorství.

### IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2017/2018.

Ostrava 13. 11. 2017

  
**Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.**  
děkanka fakulty metalurgie a materiálového inženýrství  
VŠB-TU Ostrava



## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se věnuje možnostem přípravy zinku a jeho slitin netradičními metodami. V práci jsou uvedeny možnosti jednotlivých příprav zinku, zpracování zinkových slitin a charakteristiky vybraných zinkových slitin.

Součástí je také praktická část, ve které jsou dva vzorky litých zinkových slitin podrobeny strukturní analýze a analýze SEM a EDS. Tato praktická část byla realizována v laboratořích Katedry materiálového inženýrství na Vysoké škole báňské – Technické univerzitě Ostrava.

**Klíčová slova:** zinek, ZAMAK, lití zinku, slitina

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis deals with the possibilities of preparing zinc and its alloys by non-traditional methods. In the thesis are presented possibilities of individual zinc processing, processing of zinc alloys and characteristics of selected zinc alloys.

It also includes a practical part in which two samples of cast zinc alloys are subjected to structural analysis and SEM and EDS analysis. This practical part was realized in the laboratories of the Department of material engineering - Technical University of Ostrava.

**Key words:** zinc, ZAMAK, casting zinc, alloy

## ***PODĚKOVÁNÍ***

Tato bakalářská práce byla řešena v rámci projektu INTERREG CZ.11.3.119/0.0/0.0/16\_013/0000639 a projektu č. LO1203 "Regionální materiálově technologické výzkumné centrum – program udržitelnosti“ financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky. Dále bych chtěl poděkovat všem, kteří mi byli nápomocni při psaní této bakalářské práce, zejména vedoucí práce doc. Ing. Silvií Brožové, Ph.D., za podporu a odbornou pomoc při řešení dané problematiky.

## Obsah

<b>Úvod</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Výroba a zpracování zinku a jeho slitin v ČR a zahraničí</b> .....	<b>2</b>
<b>2. Zinek</b> .....	<b>3</b>
2.1 Historie těžby zinkových rud v České republice .....	4
2.2 Fyzikálně-chemické vlastnosti .....	4
2.3 Výskyt v přírodě .....	5
2.4 Použití .....	5
<b>3. Výroba</b> .....	<b>6</b>
3.1 Výroba pražence .....	6
3.1.1 Loužení pražence .....	6
3.2 Žárová výroba zinku (pyrometalurgicky) .....	7
3.2.1 Výroba zinku v šachtové peci ISP .....	8
3.2.2 Rafinace zinku .....	8
3.3 Výroba zinku mokrou cestou (hydrometalurgicky) .....	9
3.3.1 Cementační srážení .....	10
3.3.2 Elektrolytické srážení zinku .....	11
<b>4. Slitiny zinku</b> .....	<b>12</b>
4.1 Výhody zinkových slitin .....	12
4.1.1 Hlavní legující prvky zinkových slitin a jejich vlastnosti .....	13
4.2 Slévárenské slitiny .....	14
4.2.1 Obecná charakteristika slitin ZAMAK a ZA .....	14
4.3 Technologie zpracování slitin zinku .....	18
4.3.1 Princip vstřikování kovu do formy na licím stroji s teplou komorou .....	18
4.3.2 Princip vstřikování kovu do formy na licím stroji se studenou komorou .....	19
4.3.3 Víceúčelové lití .....	19
4.3.4 Injected metal assembly (IMA) .....	20
4.3.5 Odstředivé lití zinkových slitin (TEKCAST) .....	21
<b>5. Praktická část</b> .....	<b>22</b>
5.1 Původ a složení vzorků .....	23



5.2	Příprava vzorků.....	23
5.3	Strukturní analýza .....	24
5.4	Analýza SEM a EDS.....	28
	<b>Závěr .....</b>	<b>31</b>
	<b>Literatura .....</b>	<b>32</b>

## Úvod

Zinek je jedním z nejrozšířenějších neželezných kovů. Jeho využití je především v galvanizaci kovů a při výrobě slitin. Jeho slitiny jsou v dnešní době, kdy je vyžadována rychlá a levná výroba velice perspektivní. Moderní zinkové slitiny určené pro vysokotlaké lití toto splňují. Vyznačují se velice dobrými mechanickými a slévárenskými vlastnostmi. Proto je možné produkovat tvarově členité, tenkostěnné a konstrukčně složité výrobky. Příprava výroby a výroba samotná je rychlá a levná. Díky nízké teplotě tavení je možné použít silikonovou formu, odlití je velice rychlé a odlitky je možno ve většině případů odlévat načisto, takže nejsou potřeba další dokončovací operace. Proto jsou zinkové slitiny vhodným materiálem pro kusovou i hromadnou výrobu.

Tato práce je rešerší výroby a zpracování zinku a jeho slitin v České republice a ve světě. V dalších kapitolách je seznámení se zinkem a jeho vlastnostmi, možnostmi výroby, charakteristikou vybraných slitin zinku a technologiemi zpracování slitin. V poslední kapitole je uvedena praktická část, která se zabývá rozborem dvou vzorků různých litých slitin zinku.

## 1. Výroba a zpracování zinku a jeho slitin v ČR a zahraničí

Zinek se v České republice především zpracovává. Výrobou se u nás zabývá pouze jeden podnik a to BOCHEMIE a.s., který vyrábí chlorid zinečnatý a nano oxid zinečnatý.

V odvětví kde se zinek zpracovává jsou především strojírenství a slévárnictví dále to jsou chemický, elektrotechnický a sklářský průmysl.

Ve strojírenství se zinek používá hlavně pro povrchové úpravy jako je žárové zinkování a galvanizační zinkování. Povrchovou úpravou galvanizačním zinkování se u nás zabývají například firmy První plzeňská galvanovna s.r.o., GALMAT zinkování s.r.o., Galvan CZ s.r.o., OSTROJ a.s. Žárovým zinkováním se zabývají firmy Eurometal Chotěboř spol. s.r.o., ZINKPOWER PROMPTUS s.r.o., SIGNUM spol. s.r.o., OPP Polička a.s.

Ve slévárnictví se k výrobě odlitků v České republice používá především slitin ZAMAK 2 a ZAMAK 5. Pro jejich zpracování se používá tlakové a odstředivé lití. Tlakovému lití se u nás věnují například slévárny TENZA cast, a.s., TOKOZ a.s., Power-Cast Ortmann s.r.o., MOTOR JIKOV Slévárna a.s. Odstředivé lití provozují například slévárny ALFE BRNO, s.r.o., GIVA s.r.o., Zinako s.r.o., Teoli s.r.o., Centrif s.r.o.

V chemickém průmyslu se zinek používá jako katalyzátor a pro výrobu nátěrových hmot. Kde je zinek vedle oxidu titaničitého nejvýznamnější organickou látkou v nátěrových hmotách [1]. Výrobou zinkových barev se u nás zabývá například COLORLAK, a.s., BARVY A LAKY TELURIA, s.r.o.

V elektrotechnickém průmyslu se zinek používá pro výrobu kabelů a baterií.

Ve sklářském průmyslu může zinek sloužit jako náhrada za křemík. Tato skla mají nízkou tepelnou roztažnost a výrazně zvýšenou chemickou odolnost. Zinečnatá skla (do 3%) se dobře taví i zpracovávají [1].

V Evropě je největší producent zinku společnost Nyrstar se sídlem ve Švýcarsku. Zabývá se těžbou její doly jsou v USA a v Kanadě i zpracováním a recyklací vedlejších produktů při výrobě primárního zinku. Její produkty jsou zinkové slitiny, zinek, zinkové katody a jiné.

Druhý největší producent v Evropě je společnost GLENCORE se sídlem také ve Švýcarsku. Zabývá se těžbou a zpracováním zinkové rudy v těžebních oblastech Austrálie, Jižní Ameriky, Kazachstánu a Kanady. Hlavní produkty jsou zinek, zinkové slitiny a zinkový koncentrát, zabývá se i recyklací zinku. Švédská společnost BOLIDEN je třetí největší

producent zinku v Evropě. Zabývá se jak těžbou zinkových rud, tak i jejich zpracováním. Její doly jsou ve Švédsku, Finsku a Irsku. Hlavními produkty jsou zinek a kyselina sírová.

V Severní a Jižní Americe je největší producent společnost Nexa se sídlem v Brazílii. Zabývá se jak těžbou, tak i zpracováním zinku. Těžbu provádí v dolech v Brazílii a Peru, na stejných místech provádí i zpracování. Hlavní produkty jsou slitiny zinku (Zamak 3, 5 a 8), vysoce čistý zinek ve formě granulí nebo ingotů, zinkový prach a oxid zinku. Slitina Zamak 8 byla vyvinuta firmou Nexa a používá se na výrobu malých složitých dílů, které nevyžadují velkou mechanickou odolnost [2].

Druhý největší producent zinku je kanadská společnost Teck, která se zabývá těžbou a výrobou zinkového koncentrátu a rafinovaného zinku.

Třetí je společnost Trevali z Kanady, která se zabývá především těžbou v Kanadě, Africe a Peru.

Největší producent zinku v Asii i ve světě je Korea Zinc z Jižní Korey. Její hlavní produkty jsou různé zinkové ingoty vhodné například pro žárové a galvanické zinkování.

Druhá je indická společnost Vedanta s roční produkcí 823 kt. Její hlavní produkty jsou ingoty pro galvanizační zinkování a vysoce čistý zinek.

Třetí je čínská společnost Shaanxi Non-ferrous Metals Holding Group, která se zaměřuje na zpracování zinkových rud. Hlavní produkty jsou vysoce čistý zinek a kyselina sírová.

## 2. Zinek

Zinek (Zn) patří mezi těžké kovy, je třetím nejvýznamnějším neželezným kovem [3]. Jeho vzhled je modrobílý s kovovým leskem na povrchu [4]. Je přirozenou složkou zemské kůry a neodmyslitelnou součástí našeho prostředí.

Předtím, než byl objeven zinek v kovové formě, byly jeho rudy používány k výrobě mosazi a jeho sloučeniny pro léčebné účely. Příprava čistého kovového zinku proběhla pravděpodobně v Indii ve 13. století, odkud se rozšířil do Číny, kde se z něho vyráběly zinkové mince.

Do Evropy se nejdříve zinek dovážel z Indie a Číny. V Evropě byl uznán jako samostatný kov v 16. století, kdy Agricola (1490 - 1555) a Paracelsus (1493 - 1541) psali o kovu zvaném "zincum". Komerční tavení zinku začalo v Evropě v polovině 18. století, kdy byla v Bristolu ve Spojeném království založena první evropská huť zinku s použitím vertikálního retortového procesu [5].

## 2.1 Historie těžby zinkových rud v České republice

Těžba zinku u nás začala zhruba před 200 lety, kdy byl těžen společně s olovem a stříbrem. Mezi naleziště v Čechách patřila Příbram, okolí Kutné Hory a Stříbra, na Moravě v Jeseníkách v Horním Městě a Horním Benešově. Historicky významné naleziště bylo u Nové Vsi u Rýmařova. Rozsáhlý důlní komplex je největším historickým dolem na stříbronosný galenit na severní Moravě. Posudek z roku 1933 odhadoval celkové zásoby rud na 50-60 tisíc tun s kovatostí 8% olova a 6% zinku. Těžba zde probíhala od roku 1954 do roku 1959. Ruda s obsahem 5,9-8,6% olova, 4,9-10,8 % zinku a 91-108 gr/t (gramů na tunu rudy) stříbra byla po železnici dopravována do úpravny v Příbrami. Geologický průzkum prováděný v letech 1974 – 1982 ukázal, že už nejde pokračovat v efektivní těžbě [6]. Nyní na území České republiky žádná těžba zinkových rud neprobíhá.

## 2.2 Fyzikálně-chemické vlastnosti

Fyzikální vlastnosti zinku jsou uvedeny v tabulce 1. Mezi přední vlastnosti zinku se řadí korozivzdornost. Jeho povrch se na vzduchu vlivem vlhkosti pokryje vrstvičkou oxidů, kdy se jedná o tzv. pasivaci. Tato vrstva ho velmi dobře chrání před atmosférickými vlivy, další korozí vzdušným kyslíkem a vlhkostí. Špatně odolává destilované vodě, vodní páře a minerálním kyselinám [7].

Za normální teploty je křehký, v rozmezí teplot 100-150 °C je tažný, dá se válcovat na plechy a vytahovat na dráty. Nad 200 °C je opět křehký a dá se rozdrtit na prach. Na vzduchu hoří jasným modrozeleným plamenem za vzniku oxidu zinečnatého (ZnO).

**Tab. 1** Fyzikální vlastnosti zinku [4]

Protonové číslo	30
Atomová hmotnost	65,4 g.mol <sup>-1</sup>
Teplota tání	419,6 °C
Teplota varu	906 °C
Skupenské teplo tání	7,35 kJ.mol <sup>-1</sup>
Krystalová struktura	HTU
Hustota (při 20°C)	7,14.10 <sup>3</sup> kg.m <sup>-3</sup>
Elektrická vodivost	29% IACS
Tepelná vodivost	116 W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
Lineární tepelná roztažnost (při 25°C)	30,2.10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
Modul pružnosti	108 GPa



## 2.3 Výskyt v přírodě

Zinek je poměrně dobře zastoupen v zemské kůře, jeho obsah je průměrně 100 mg/kg a v mořské vodě se vyskytuje zhruba 0,01 mg/l. Zinkové rudy jsou získávány z více jak 50 zemí světa. Mezi největší producenty patří Čína, Austrálie, Peru, Kanada a USA. V České republice je k roku 2015 evidováno 8 ložisek, které obsahují 472 kt zinku v nebilančních zásobách (obr. 1) [8].

Zinek se v přírodě nachází ryzí nebo v rudách. Mezi hlavní rudy se řadí smithsonit  $ZnCO_3$ , sfalerit  $ZnS$  neboli *blejno zinkové* a zinkit  $ZnO$ , tato ruda má největší obsah zinku 73,25% [4]. Těžba rud probíhá především podzemí z celkového množství je to 80%, 8% je povrchových jam a zbytek je kombinací obou [5].



Obr. 1 Mapa evidovaných ložisek zinku v ČR [9]

## 2.4 Použití

Asi kolem 55 % spotřeby zinku je využíváno při galvanizaci, kolem 17 % jde na výrobu slitin. Zhruba 13 % připadá na výrobu mosazi, bronzu a kolem 15 % je spotřebováno na jiné účely [10].

Dále se zinek uplatňuje jako součást barev a pigmentů, kde je využívána zinková běloba (jemně práškový  $ZnO$ ) a zinkové blejno (jemně práškový  $ZnS$ ). Polymorfnní modifikace  $ZnS$  (wurtzit) je také velmi luminiscenční, toho se využívá pro světélkující nátěry hodinových ručiček. Zinek je také používán pro výrobu mincí, vyvažovacích tělísek pro osobní

automobily, kde nahrazuje olovo a pro výrobu galvanických článků a jejich baterií. Také se používá v kosmetickém a farmaceutickém průmyslu.

### 3. Výroba

Zinek se většinou se vyrábí ze sulfidických rud. Avšak zřídka kdy je těžená ruda dostatečně bohatá na to, aby se mohla přímo použít, proto je ji třeba koncentrovat. Zinkové rudy obsahují 5-15% zinku. Ruda je nejprve rozdrčena a rozemleta, aby se dosáhlo optimálního oddělení od ostatních minerálů. Zinkový koncentrát obvykle obsahuje asi 55% zinku s určitým obsahem mědi, olova a železa. Toto se většinou provádí v místě dolování z důvodu snížení nákladů na výrobu zinku [5].

Výroba zinku se provádí dvěma způsoby, a to pyrometalurgicky a hydrometalurgicky. Pyrometalurgie byla do první světové války jediný způsob výroby zinku. Po první světové válce se začala používat hydrometalurgie, která nyní převažuje při výrobě zinku.

#### 3.1 Výroba pražence

Na výrobu se většinou používají fluidizační pece. Při výrobě pražence je důležité, aby se co nejvíce zinku převedlo na sloučeninu, která je dobře rozpustná ve zředěné kyselině sírové, tj. na oxid. Přesto praženec obsahuje oxidy a sulfidy dalších kovů, které jsou v kyselině špatně rozpustné. Další podmínkou je, aby byl praženec jemnozrný [11].

##### 3.1.1 Loužení pražence

Oxid zinečnatý loužením pražence kyselinou sírovou přechází do roztoku dle rovnice (1):



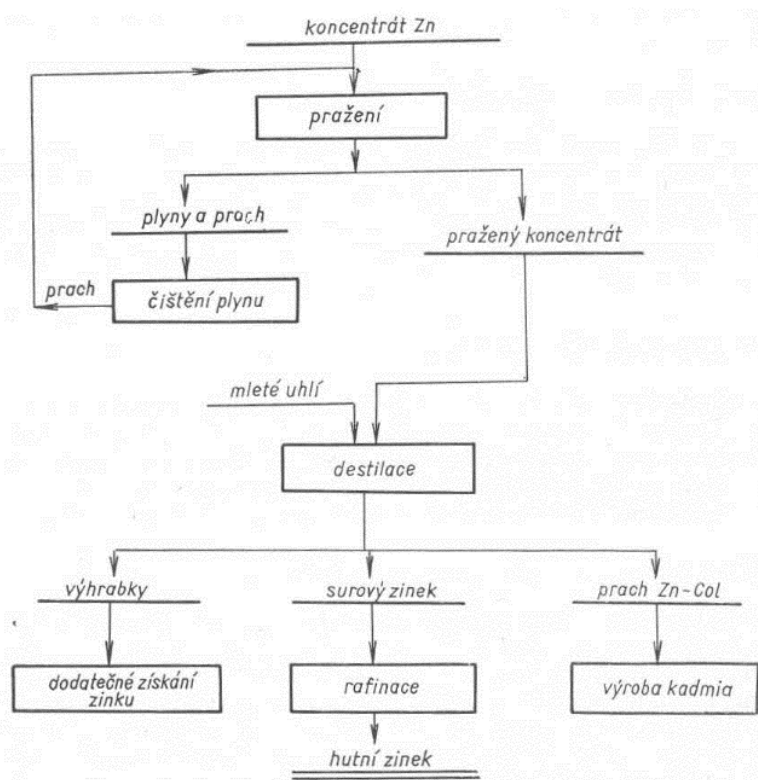
Oxidy a sulfidy různých kovů obsažených v praženci, také přechází do roztoku a mají negativní vliv na průběh elektrolýzy, a proto se musí z roztoku odstranit. Vyluhování probíhá většinou ve dvou stupních protiproudě. Praženec postupuje z prvního stupně do druhého a vratný elektrolyt postupuje opačně.

V prvním stupni tzv. *neutrálním vyluhování* dochází přechodu malého množství zinku do výluhu a také k neutralizaci roztoku, čímž se vytvářejí vhodné podmínky pro vyloučení železa, arsenu a antimonu z roztoku. Protože v roztoku zůstalo ještě velké množství zinku, přistupuje se ke druhému stupni vyluhování.

Ve druhém stupni tzv. *kyselém vyluhování* se rozpouští většina ZnO v kyselém vratném elektrolytu. Rmut je přečerpán ze sběrné nádrže do míchačů, ty mohou být 3 až 4 za sebou, kde je rmut promícháván. Poté se rmut čerpá do zahušťovače, kde se zahušťuje na poměr kapaliny k tuhé látce 2,5 až 4. Takto zahuštěný rmut se filtruje na vakuových rámových filtrech, zvaných *Moorovy filtry*. Moorův filtr se skládá z 20 až 30 rámu z měděných trubek, potažených filtrační tkaninou. Při filtrování dochází k usazování kalu na filtrech, které jsou poté přeneseny do nádrže s vodou a promývány. Zbylý kal se pomocí stlačeného vzduchu z rámu setřese, rozmíchá se s vodou a znova filtruje. Takto získaný kal obsahuje až 25 % zinku z výchozího množství, dále asi polovinu mědi a kadmia, veškeré olovo a stříbro [11].

### 3.2 Žárová výroba zinku (pyrometalurgicky)

Všechny způsoby žárové výroby zinku jsou založeny na redukcí ZnO uhlíkem. Redukce probíhá při teplotách nad 1000 °C. Vzhledem k tomu, že teplota varu zinku je 906 °C, získávají se redukcí páry, která se v kondenzátorech mění na tekutý zinek. Celý pochod včetně kondenzace musí probíhat ve značně redukčním prostředí (obr. 2).

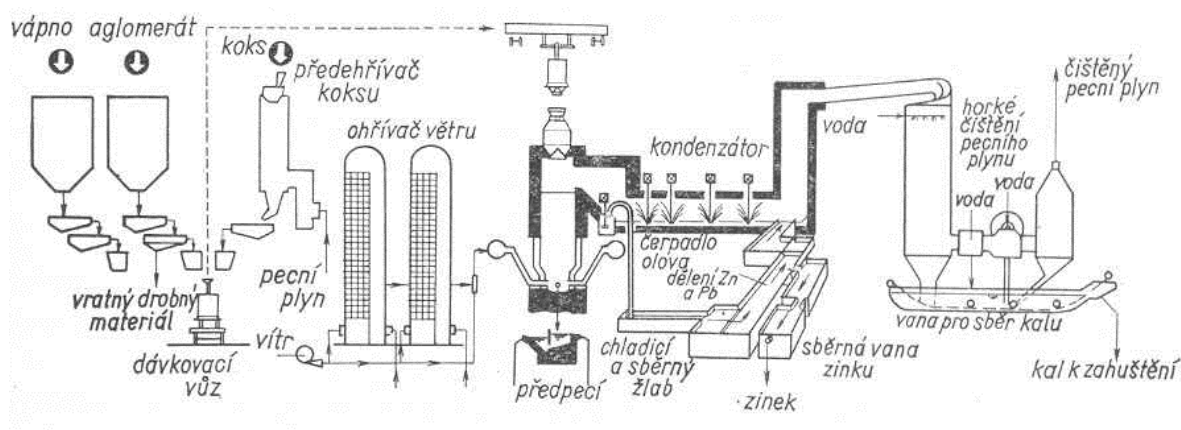


**Obr. 2** Výroba zinku destilačním způsobem [11]

### 3.2.1 Výroba zinku v šachtové peci ISP

Výroba zinku v šachtové peci je způsob vyvinutý britskou firmou Imperial Smelting Co [11]. Tento způsob výroby umožňuje zpracovat i další kovy z koncentrátu například olovo, měď a drahé kovy.

Šachtová pec (obr. 3) je hermeticky uzavřená a jako vsázka slouží aglomerát, který nemá obsahovat víc jak 1 % síry a koks, který je předehříván na teplotu cca 800 °C. Také vzduch foukaný do pece je předehříván na 600-800 °C. Plyny a páry vznikající v peci putují do kondenzátoru, tam pomocí rozstříkovaného olova kondenzuje zinek. Olovo s rozpuštěným zinkem je odčerpáno do rozdělovací vany, kde vlivem klesající teploty se snižuje rozpustnost zinku v olovu. To má za následek, že zinek tvoří samostatnou vrstvu, která je odčerpávána k rafinaci.



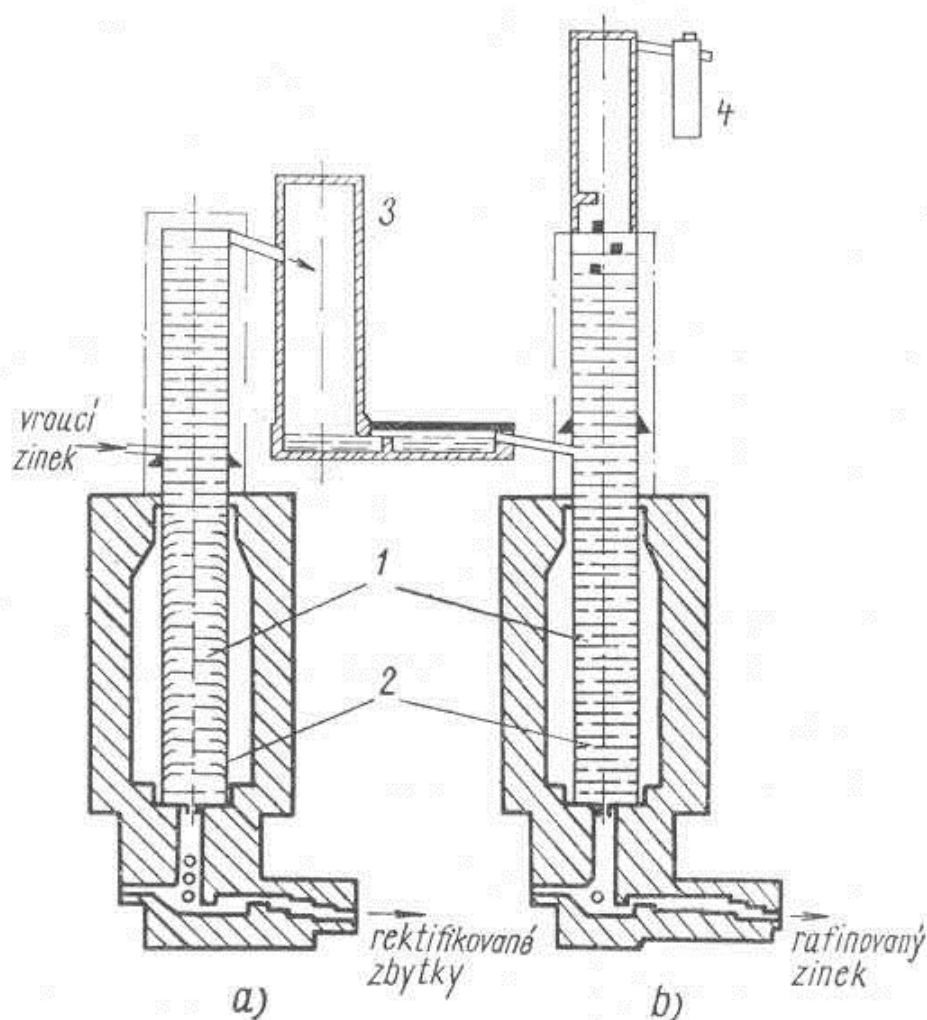
Obr. 3 Zařízení ISP procesu [11]

### 3.2.2 Rafinace zinku

Žárově vyrobený zinek obsahuje až 2 % Pb, 0,2 % Fe a 0,2 % Cd. Tato čistota zinku je bohužel pro řadu účelů nepoužitelná. Proto se musí provádět rafinace, která se dělí na dva způsoby, a to na vycezození nebo destilaci.

**Vycezození** – je založeno na omezené rozpustnosti olova a železa v zinku za klesající teploty a na rozdílných měrných hmotnostech. Probíhá v plamenné peci při teplotě 420 až 430°C. Nevýhoda tohoto způsobu je, že příměsi jsou odstraněny pouze částečně a v zinku zůstává kadmium.

**Destilace** - je založena na rozdílné teplotě varu jednotlivých kovů a různých tlaků par při destilaci. Probíhá v rektifikačních kolonách (obr. 4), kde probíhá střídavě odpařování a kondenzace. Výhoda tohoto způsobu je získání vysoce čistého zinku 99,995% a kadmiového kondenzátu o obsahu 40% Cd.



**Obr. 4** Rektifikační kolony: a) olověná kolona, b) kadmiová kolona:

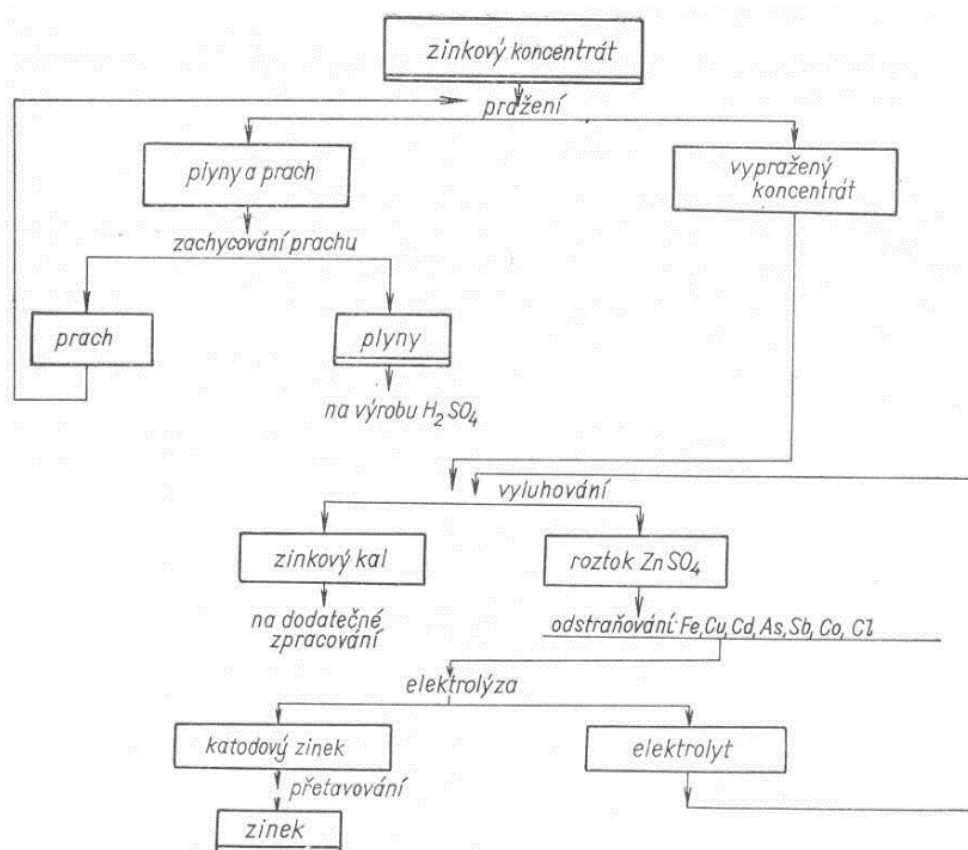
- 1 – vypořovače, 2 – spalovací komory, 3 – kondenzátor par zinku a kadmia,  
4 – kondenzátor par obohacených kadmíem [11]

### 3.3 Výroba zinku mokrou cestou (hydrometalurgicky)

Předností mokrého způsobu je výroba (obr. 5) velmi čistého zinku (99,99%), který se dále nemusí rafinovat, menší potřeba pracovních sil, lepší pracovní prostředí a lepší možnost získat



kadmium a stopové prvky. Podstatou tohoto pochodu je loužení praženého koncentrátu kyselinou sírovou. Zinek se převádí do roztoku, tím se odděluje od hlušiny. Získaný roztok síranu zinečnatého se čistí od příměsí a elektrolyticky se z něho vysráží zinek za použití nerozpustných olovněných anod a hliníkových katod [12].



**Obr. 5** Výroba zinku mokrým způsobem [11]

### 3.3.1 Cementační srážení

Při cementačním srážení dochází k vytěsňování ušlechtilějších kovů, než je zinek, z roztoku. Jedná se například o Cu, Cd a Ni. Jako cementační činidlo se používá práškový Zn [13] [14] [15]. U cementace je důležité pH roztoku, které je 4 až 5 a teplota. S rostoucí teplotou se zvyšuje účinnost a kinetika cementace. Průběh reakce je popsán obecnou rovnicí (2)



Čím je větší rozdíl standartních redukčních potenciálů, tím se prvek snadněji vytěsňuje. U méně ušlechtilějších kovů jako je Ni a Cd, kde je rozdíl standartních redukčních potenciálů vzhledem k Zn 0,51V pro Ni a 0,36V pro Cd, je nutné přidat *aktivátor*. Jako aktivační činidlo se používá Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, který oba kovy váže do intermetalických sloučenin o vyšším standardním redukčním potenciálu. Průběh aktivované cementace pro Ni probíhá dle rovnice (3) [16].



### 3.3.2 Elektrolytické srážení zinku

Hospodárná výroba elektrolytického zinku vyžaduje velmi čisté roztoky. I malým množstvím příměsí jiných kovů v elektrolytu se zhoršuje proudová účinnost, popřípadě vznikají znečištěné, nerovné a málo hutné katody, při jejichž přetavování vznikají ztráty.

Z roztoku síranu zinečnatého se zinek sráží stejnosměrným proudem za použití nerozpustné olověné anody a hliníkové katody, která se pokrývá v průběhu elektrolýzy zinkem a tvoří tak vlastně zinkovou katodu. Jednotlivé složky elektrolytu jsou rozděleny na anionty a kationy dle rovnic (4 a 5) [11].



V průběhu elektrolytického srážení zinku dochází v roztoku k hromadění kyseliny sírové. Průběh můžeme vyjádřit rovnicí (6).



Její kapičky jsou strhávány kyslíkem, který se vylučuje v podobě bublinek na anodě do atmosféry. Aby se tomu zabránilo, je povrch elektrolytu pokryt vrstvou pěnivých olejů nebo pryskyřice a ty kyselinu zadržují. Tímto se chrání pracovníci před poleptáním kyselinou a zařízení před korozi.

Samotná elektrolýza probíhá ve vanách ze dřeva, které jsou vyloženy olověným plechem nebo z železobetonu s vrstvou kyselinovzdorného asfaltu. Vana může obsahovat až 27 katod, přičemž anod je vždy o jednu více. Katodu tvoří hliníkový plech a anodu zas olověné desky.

Při elektrolýze se na anodě usazuje vrstva izolujícího kalu, kterou je nutné občas odstraňovat, aby se nezvyšovalo napětí. Katody se vyndávají po 24 hodinách, aby se z nich mohl oddělit zinek v podobě tenkého plechu, poté se očistí a znovu vloží do vany. Při elektrolýze vzniká kal, který obsahuje asi 70 %  $\text{MnO}_2$  (burelu), 10 až 14 % Pb a 2 % Zn. Kal se používá při loužení k oxidaci železa [11].

## 4. Slitiny zinku

Hlavní rozdělení slitin zinku je na slévárenské a tvářitelné. Slévárenské slitiny jsou především legovány Al a Cu, mezi hlavní slévárenské slitiny patří ZAMAK a ZA. Tvářitelné slitiny jsou legovány nízkými obsahy Pb, Cu, Cd, Ti, Mg. Jsou používány ve formě tažených drátů, válcovaných produktů a výkovek. Další významnou slitinou je mosaz, slitina mědi a zinku. Jedná se především o bílou a červenou mosaz, ale jsou využívány i další druhy mosazí které se liší chemickým složením, barvou a mechanickými vlastnostmi.

### 4.1 Výhody zinkových slitin

*Snížení montážních operací* - celé sestavy můžou být odlity jako jeden kus, čímž se eliminuje potřeba manuálních montážních operací.

*Menší spotřeba materiálu* – zinkové slitiny oplývají vynikající plynulostí lití, pevností a tuhostí. Proto je možné odlévat tenké stěny, tím snížit hmotnost odlitku a spotřebu materiálu.

*Snížení dodatečného obrábění* - vysokotlaké lití a nízká kontrakce odlitků zajišťuje, že lze odlévat na velice přesné rozměry. Proto bývá obrábění omezeno pouze na funkční plochy.

*Rychlejší výroba a větší životnost formy* - odlévání při výrobě zinku je mnohem rychlejší a forma je méně tepelně namáhána než u hliníku nebo hořčíku, což je dáno nižší teplotou tání zinku oproti hliníku a hořčíku. Životnost formy často přesahuje 1 milion kusů odlitků.

*Variabilita* – k dispozici je řada procesů odlévání. Proto je možné provádět jak kusovou, malosériovou i velkosériovou výrobu odlitků tak, aby byla ekonomicky výhodná.

*Povrchová úprava* – vhodně zvolený způsob lití zajišťuje, že u odlitků není potřeba provádět další povrchovou úpravu. Jinak se především provádí galvanická povrchová úprava.

*Ekologie* – při výrobě slitin zinku jsou minimalizovány dopady na životní prostředí.

#### 4.1.1 Hlavní legující prvky zinkových slitin a jejich vlastnosti

Čistý zinek je měkký, tažný s nízkými mechanickými vlastnostmi, proto se bez příměsí používá jenom výjimečně. Jako hlavní legury se do zinku používají hliník, měď a hořčík.

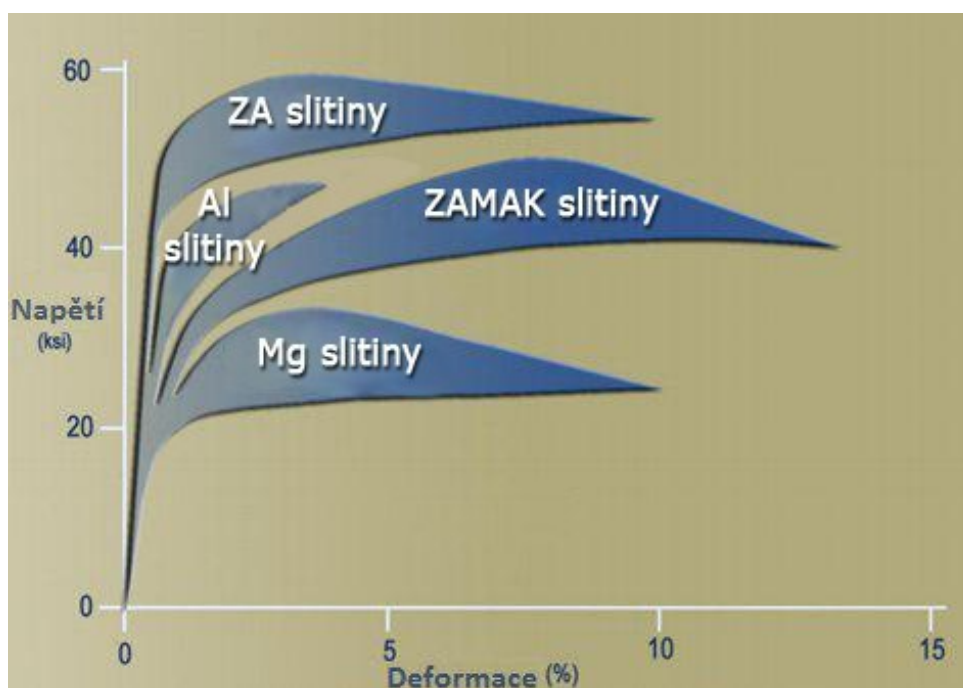
*Hliník* – je to základní legura pro zinkové slitiny. Zlepšuje plynulost lití odlitku, mechanické a slévárenské vlastnosti zinku.

*Měď* – zmenšuje velikost zrna, zvyšuje mechanické vlastnosti, především pevnost. Zlepšuje zabíhavost slitin a při obsahu 0,7% Cu se zlepšuje odolnost proti korozi.

*Hořčík* – zvyšuje tvrdost. V malém množství nejlépe 0,04 - 0,05 % zpožďuje rozpad fáze  $\alpha'$  a tím zabraňuje mezikrystalické korozi [17].

Slitiny zinku jsou silné, trvanlivé a efektivní materiály využívané v inženýrství. Žádná jiná slitina neposkytuje takovou kombinaci pevnosti, houževnatosti a tuhosti.

Mechanické vlastnosti zinku konkurují a často převyšují hodnoty slitin hliníku, hořčíku, bronzů, také plastů a většiny litin (obr. 6).



**Obr. 6** Závislost deformace na napětí, porovnání zinkových, hliníkových a hořčíkových slitin [18]

## 4.2 Slévárenské slitiny

Existují dvě základy skupiny slévárenských slitin. Jsou to slitiny ZAMAK a slitiny ZA. Srovnání chemického složení jednotlivých slitin ZAMAK a ZA je uvedeno v tabulce 2, mechanické vlastnosti pak v tabulce 3. Slitiny ZAMAK byly vyvinuty pro tlakové lití v průběhu dvacátých let 20. století a od té doby se rozšiřuje jejich použití. Rozvoj slitin ZA proběhl v průběhu 70. let. Tyto slitiny byly původně vyvíjeny pro gravitační lití. Jejich mechanické vlastnosti doplňují bronzy, litiny a slitiny hliníku. Rozlišující vlastnost slitin ZA od slitin ZAMAK je jejich vyšší obsah hliníku, vysoká pevnost a odolnost proti opotřebení. Během 80. let 20. století se ze slitin ZA staly důležité materiály pro lití. Ze slitin ZA může být pouze slitina ZA-8 použita pro lití do formy na stroji s teplou komorou.

Lití do formy na stroji s teplou komorou, které se používá pro slitiny ZAMAK, je vysoce automatizovaný a nejefektivnější proces odlévání. Slitiny ZA-12 a ZA-27 vyžadují speciální tavicí postupy a musí být odlévány na stroji se studenou komorou.

### 4.2.1 Obecná charakteristika slitin ZAMAK a ZA

#### ZAMAK 2: (ZP2, ZL2, ZP0430, ZnAl4Cu3, Kirksite)

Je to jediná slitina ze skupiny ZAMAK, která se používá pro gravitační lití. Zejména pro kovové zápustky nebo pro formy ke vstřikování plastů. Má nejvyšší pevnost a tvrdost ze slitin ZAMAK, nižší tažnost a vrubovou houževnatost u tlakově litých odlitků. Obsahuje vysoký obsah mědi (3%), což má za následek nižší rozměrovou stálost (nárůst rozměrů je cca 0,04 mm / 20 let)

#### ZAMAK 3: (ZP3, ZL3, ZP0400, ZnAl4, ZDC2)

Je to nejpoužívanější slitina zinku. Více jak 70% všech zinkových odlitků v Severní Americe je vyrobeno z této slitiny [18]. Důvod její oblíbenosti je vynikající rovnováha mezi fyzikálními a mechanickými vlastnostmi a dlouhodobá rozměrová stálost. Také ji lze velmi dobře povrchově upravovat. Jedná se o "standard", jímž jsou ostatní slitiny zinku ohodnoceny z hlediska lití [19].

#### ZAMAK 5: (ZP5, ZL5, ZP0410, ZnAl4Cu1, ZDC1)

Tato slitina je nejrozšířenější slitina zinku v Evropě [18]. Má vynikající slévateľnost odolnost proti tečení než ZAMAK 3. Odlitky jsou také nepatrně tvrdší a pevnější než ze



slitiny ZAMAK 3. Toto zlepšení je doprovázeno snížením tažnosti, která může ovlivnit tvařitelnost. Toto je dáno obsahem mědi (1%) ve slitině.

#### **ZAMAK 7: (ZL7)**

ZAMAK 7 je modifikací slitiny ZAMAK 3, ve které je nižší obsah hořčíku, aby se zvýšila tekutost. Obsahuje také malé množství niklu a nižší obsah nečistot aby se zabránilo mezikrystalové korozi. ZAMAK má mírně lepší tažnost než ZAMAK 3, přičemž ostatní vlastnosti zůstávají stejné. Slitina je využívána, když je potřeba tenkostěnných odlitků s kvalitním a hladkým povrchem. Nicméně výzkumy ukázaly, že lící podmínky mají mnohem větší vliv na kvalitu odlitku, než použití ZAMAK 7 za ZAMAK 3.

#### **ZA-8: (ZP8)**

Tato slitina je vhodná jak pro gravitační lití, tak i lití do formy na stroji s teplou lící komorou. Má vysokou pevnost, tvrdost a odolnost proti tečení oproti slitinám ZAMAK kromě ZAMAK 2, které je podobná. Dá se snadno povrchově upravovat jako ostatní slitiny ZAMAK. Díky vysoké mezi kluzu, odolnosti vůči abrazi a opotřebení je velice vhodná slitina pro ozubená kola, části pneumatických zařízení nebo mechanismů.

#### **ZA-12:**

Je to nejuniverzálnější slitina zinku, co se týče kombinace mechanických vlastností a snadné výroby gravitačním nebo tlakovým lití do formy na stroji se studenou komorou. ZA-12 je vhodná pro lití do pískových, kovových i grafitových forem. Při tlakovém lití do formy na stroji se studenou komorou poskytuje tvrdou strukturu, vyšší tažnost a vrubovou houževnatost. Z těchto důvodů slitina ZA-12 často soupeří se ZA-27. Slitina ZA-12 často nahrazuje litinu nebo ocel, vyšší cena slitiny je vyvážena snížením nákladů na obrábění a jiné dokončovací úpravy.

#### **ZA-27: (ZP27)**

Slitina má nejvyšší obsah hliníku, nejvyšší pevnost, tvrdost a nejnižší hustotu ze skupiny ZA. Používá se pro lití do formy na stroji se studenou komorou z důvodu vysokého intervalu tavení. Nehodí se pro pokovování. Její dobrá odolnost proti korozi a opotřebení je vhodná pro výrobu ložiskových pouzder.

**ACuZinc5:**

Tato slitina byla vyvinuta společností General Motors. Ve srovnání s běžnými slitinami zinku má větší tvrdost, pevnost v tahu a odolnost proti tečení. Pevností a tvrdostí je ACuZinc5 srovnatelná se ZA-12. Testování ukázalo, že má i vynikající odolnost proti opotřebení. Ačkoliv se tato slitina používá pro lití do formy na stroji s teplou licí komorou, dochází k většímu opotřebování forem.

**EZAC:**

EZAC slitina byla nedávno vyvinuta firmou Eastern Alloys Inc. Je to nejvíce odolná slitina proti tečení ze všech slitin zinku, výbornou slévateľností oproti ZAMAK 5 a ZA-8. Dosahuje vysoké meze kluzu 393 MPa a tvrdosti 102-140 BHN. Díky nízké teplotě lití se slitina používá pro lití do formy s teplou licí komorou. Oproti ACuZinc5 dochází k menšímu opotřebování forem.

**GDSL: ( Superloy)**

Guss-Druck-Sonderlegierung "GDSL" je slitina, která má výbornou slévateľnost, proto se používá na odlitky s tenkými stěnami. Díky vyššímu obsahu hliníku a mědi má vynikající odolnost proti tečení. V ternárním diagramu Zn-Al-Cu se vyskytuje blízko eutektického bodu, díky tomu je teplota tavení slitiny nízká, i když je teplota tavení mědi a hliníku daleko větší než teplota tavení zinku.

**HF:**

HF slitina je založena na běžně používaných slitinách ZAMAK, ale má až o 40% lepší slévateľnost nežli ZAMAK 7. Zkoušky ukázaly, že slitina je fyzikálními, mechanickými vlastnostmi a odolností proti korozi srovnatelná se slitinami ZAMAK 3 a 7. A je především vhodná pro odlévání dílů s tloušťkou průřezu menší než 0,45 mm, pro tenkostěnné profily, tloušťka stěny může být až 0,25 mm a tam, kde jsou vysoké požadavky na kvalitu povrchu.

**Tab. 2** Chemické složení litých slitin zinku [18]

Slitina	ZAMAK				ZA		
	2	3	5	7	8	12	27
Hliník - Al	3,7-4,3	3,7-4,3	3,7-4,3	3,7-4,3	8-8,8	10,5-11,5	25-28
Horčík - Mg	0,01-0,03	0,02-0,06	0,02-0,06	0,005-0,02	0,01-0,03	0,01-0,03	0,01-0,02
Měď - Cu	0,8-1,3	0,1	0,7-1,2	0,1	0,8-1,3	0,5-1,2	2-2,5
Železo - Fe (max)	0,075	0,05	0,05	0,05	0,075	0,075	0,075
Olovo - Pb (max)	0,006	0,005	0,005	0,003	0,006	0,006	0,006
Kadmium - Cd (max)	0,006	0,004	0,004	0,002	0,006	0,006	0,006
Cín - Sn (max)	0,003	0,002	0,002	0,001	0,003	0,003	0,003
Nikl - Ni (max)	-	-	-	0,005-0,02	-	-	-
Zinek - Zn	zbytek	zbytek	zbytek	zbytek	zbytek	zbytek	zbytek

**Tab. 3** Vlastnosti litých slitin zinku [18]

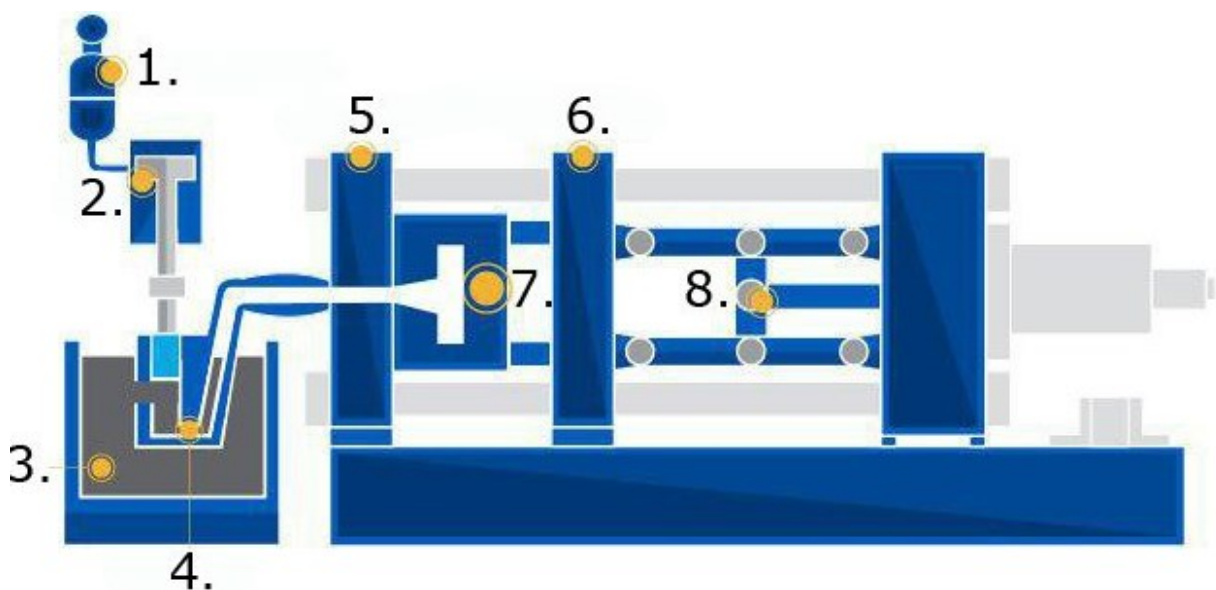
Slitina	ZAMAK				ZA		
	2	3	5	7	8	12	27
Hustota (g/cm <sup>3</sup> )	6,6	6,6	6,6	6,6	6,3	6	5
Interval tavení (°C)	379-390	381-387	380-386	381-387	375-404	377-432	376-484
Koeficient tepelné expanze (10 <sup>-5</sup> m/K)	27,8	27,4	27,4	27,4	23,3	24,2	26
Tepelná vodivost (W/m/K)	104,7	113	108,9	113	114,7	117,1	125,5
Mez kluzu (0,2%) (MPa)	283	221	269	221	290	317	379
Mez kluzu v tlaku (0,1%) (MPa)	641	414	600	414	252	269	385
Mez pevnosti v tahu (MPa)	359	283	328	283	374	400	421
Tažnost (%)	7	10	7	13	6-10	4-7	1-3
Tvrdość BHN	100	82	91	80	95-110	95-115	105-125
Pevnost ve smyku (MPa)	317	214	262	214	275	296	325
Rázová pevnost (J)	48	58	65	58	42	29	5
Únavová pevnost (MPa)	59	48	57	47	103	117	145

### 4.3 Technologie zpracování slitin zinku

Výroba zinkových slitin se provádí v plynových nebo elektrických pecích, kdy není nutná rafinace ani odplynění a nepoužívají se ani žádné tavící přípravky. Odlévání slitin zinku probíhá běžnými slévárenskými metodami, nejběžněji tlakovým litím. Díky nízké teplotě tavení zinku mohou být použity silikonové formy místo kovových.

#### 4.3.1 Princip vstřikování kovu do formy na licím stroji s teplou komorou

Na těchto strojích se lijí kovy s nízkou teplotou tavení. Hlavním znakem těchto strojů je, že obsahují tavící pec s kelímkem. V kelímku je v roztaveném kovu ponořen injekční mechanismus, který je se strojem propojen pomocí kovového podavače (Obr.7). Proces vstřikování probíhá tak, že se forma uzavře. Píst v injekčním mechanismu začne stoupat a tím nasávat kov, který proudí do válce. Po nasátí je kov pomocí pístu vstříknut do formy, kde je po určitou dobu udržován pod tlakem. Poté se forma rozevře a pomocí vyhazovačů je vyhozen odlitek, během toho stoupá píst nahoru a přitom je nasáván zbytkový kov z kovového podavače a kov z kelímku. Výhody tohoto procesu jsou rychlost výroby odlitků a snížená pórovitost.



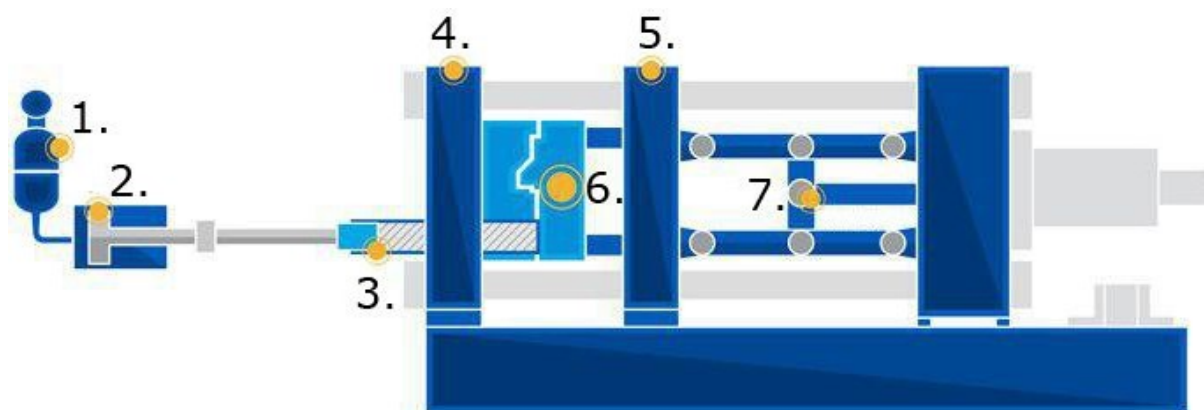
**Obr. 7** Schéma licího stroje s teplou komorou [20]

1 – zásobník oleje/plynu, 2 – píst, 3 – roztavený zinek, 4 – podavač tekutého zinku, 5 – pevná deska, 6 – přitlačná deska, 7 – zápustka, 8 – přepínací klapka

### 4.3.2 Princip vstřikování kovu do formy na licím stroji se studenou komorou

Odlévání ve studené komoře je ideální pro kovy s vysokou teplotou tavení a korozními vlastnostmi jako je například hliník. Na rozdíl od procesu odlévání s teplou komorou je tavící pec s kelímkem umístěna mimo stroj. Roztavený kov je přenášen ručně nebo automaticky do válce, kde je pístem tlačěn do formy (Obr. 8). Jedná se o operaci s jedním krokem. Tento postup minimalizuje dobu kontaktu mezi horkým kovem a součástmi vstřikovače, čímž pomáhá prodloužit jeho životnost.

Proces začíná nalitím roztaveného kovu, kterého je více, než je potřeba na odlitek, do válce. Ve válci je hydraulicky ovládaný píst, který tlačí roztavený kov do formy. Dodatečný materiál slouží k udržování tlaku ve formě, aby se vyrovnalo smrštění, ke kterému dochází při tuhnutí. Pracovní tlak stroje je až 70 MPa [20].



**Obr. 8** Schéma licího stroje se studenou komorou [20]

- 1 – zásobník oleje/plynu, 2 – píst, 3 – vstřikovač, 4 – pevná deska, 5 – přitlačná deska,  
6 – zápustka, 7 – přepínací klapka

### 4.3.3 Víceúčelové lití

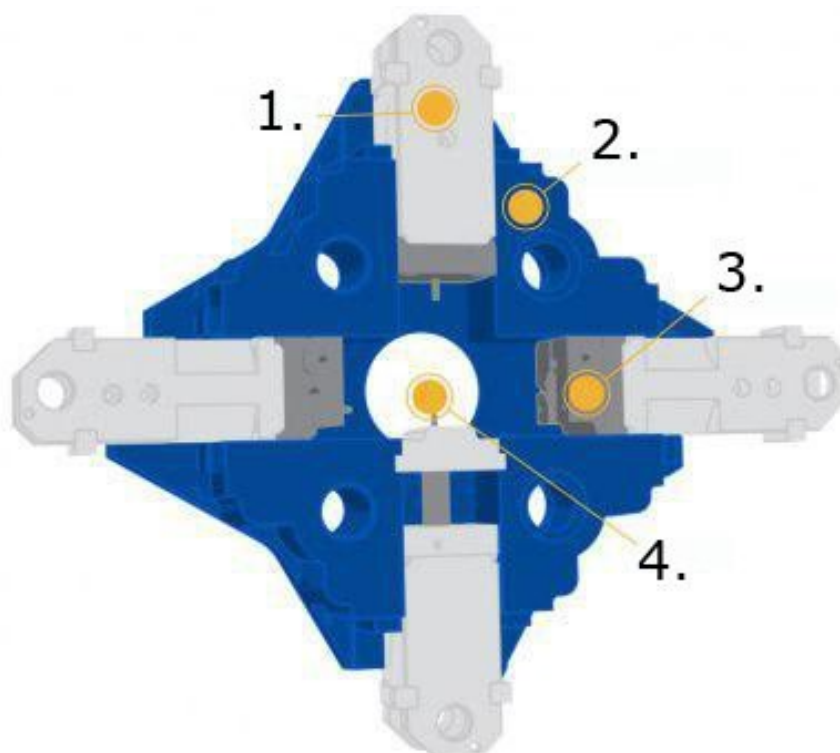
Proces víceúčelového lití používá čtyři na sobě kolmé zápustky, které umožňují vytvářet složité a přesné odlitky. V některých případech lze použít až šest zápustek v jiném úhlu, než je 90 stupňů. Toto lití se využívá především pro malé zinkové odlitky.

Nástroj pro víceúčelové lití je tvořen zápustkami, čelistmi, křížovou hlavou a krycí deskou (Obr.9). Každá zápustka má na své čelní straně dutinu nebo jádro, které spolu tvoří kompletní profil odlitku, do kterého je vstřikován roztavený kov. Každá zápustka se pohybuje nezávisle na sobě. Tímto je zajištěna velká flexibilita, která zajišťuje integritu dílů a zabraňuje

poškození nástroje. Roztavený kov v dutině zpravidla ztuhne během několika vteřin a je vyhozen proudem stlačeného vzduchu.

Stroje dosahují rychlostí až 75 cyklů za minutu. To je dosaženo použitím pneumatického systému, který je rychlejší než hydraulika, pro ovládání různých částí stroje.

Výhody víceúčelového lití jsou odstranění nebo omezení sekundárních operací, nižší náklady na nástroje, rychlá rychlost cyklů, úspora nákladů na materiál, energii a práci.



**Obr. 9** Schéma multikluzového nástroje [20]

1 – čelist, 2 – křížová hlava, 3 – zápusťka, 4 - jádro

#### 4.3.4 Injected metal assembly (IMA)

Tento proces používá slitiny zinku ke spojování komponent v podstatě stejným způsobem jako lepidlem (Obr.10). Je to jednostupňové výrobní řešení, které převyšuje většinu lepidel používaných pro malosériovou výrobu a montáž a snižuje výrobní náklady. Tímto způsobem mohou být spojeny malé díly z téměř jakéhokoliv materiálu (kovy, keramika, sklo, plasty).

Při výrobě se nejdříve součásti, které je třeba sestavit, umístí do navrženého formy. Po uzavření formy se součásti vyrovnají a poté je vstříknuta roztavená slitina. Slitina ztuhne za zlomek sekundy, čímž vznikne velmi silný a trvalý spoj.

Pro spojování součástí se především používá slitina zinku ZAMAK 3 nebo ZAMAK 5, která má vyšší pevnost, tvrdost a odolnost proti korozi.

Výhodou IMA technologie je to, že proces vytváří velmi silný spoj, který odolává vysokým zatížením. Soudržnost jednotlivých součástí je zachována v dlouhých výrobních procesech s tolerancí  $\pm 0,05$  mm a pojivo nepotřebuje žádnou speciální povrchovou úpravu.



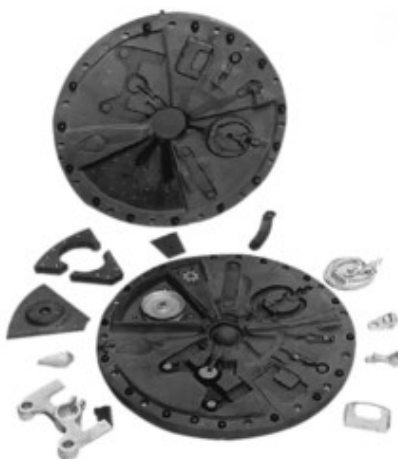
**Obr. 10** Příklad použití procesu IMA [21]

#### **4.3.5 Odstředivé lití zinkových slitin (TEKCAST)**

Tento způsob odstředivého lití byl vyvinut firmou Tekcast Industries. Princip spočívá v otisku kovového modelu, který je zvětšený o přídavek na smrštění do nezvulkanizované formovací hmoty. Lze také vytvořit libovolně členitou dělicí rovinu. Po vulkanizaci formovací hmoty zůstane přesný otisk modelu a tvoří tak formu (obr. 11), do které se po vložení do liciho stroje odstředivě odlévá slitina zinku. Dosahovaná přesnost odlitků je 0,1-0,5 mm. Jejich povrch je velmi kvalitní a dá se různě povrchově upravovat.

Výhodou technologie odstředivého lití je rychlost přípravy výroby i výroba samotná. Příprava samotné formy podle složitosti modelu zabere pár hodin. Hodí se jak pro výrobu prototypů, tak pro malé série, až pro velkosériovou výrobu 100 -150 tisíc kusů. Tímto se blíží k metodě tlakového lití, ale na rozdíl od této technologie není potřeba vyrábět drahou kovovou formu.

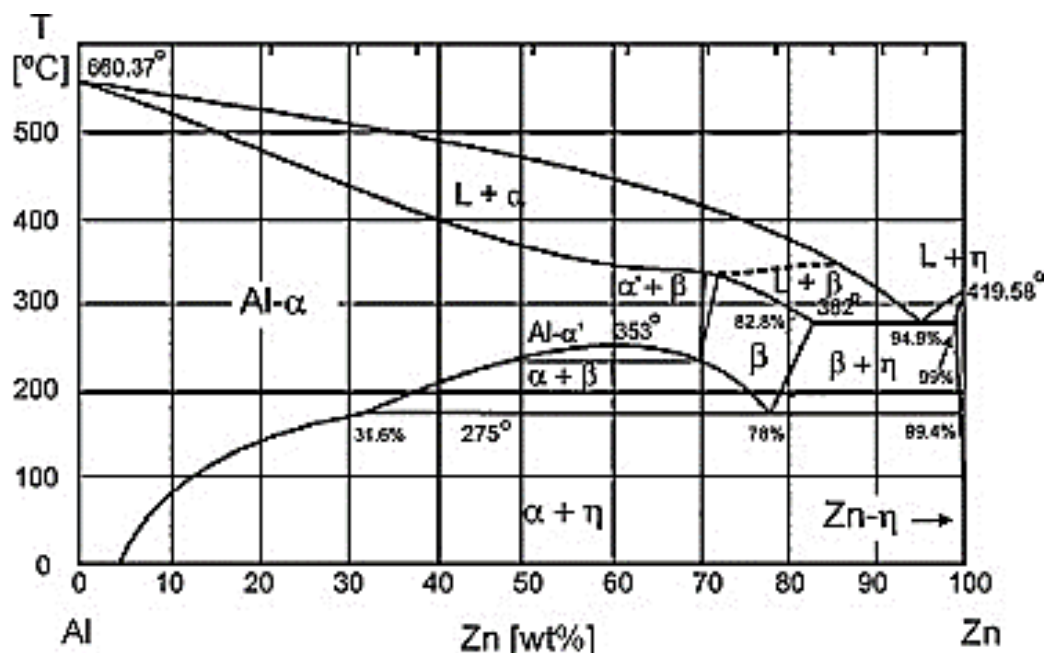




Obr. 11 Forma pro odstředivé lití zinku [22]

## 5. Praktická část

Pro tuto část byly vybrány dva vzorky ze slitiny ZAMAK 2 + 0,5 % Mg byl označen *A* a ZAMAK 5 byl označen *B*. Jedná se o velice rozšířené slitiny na bázi Zn-Al-Cu. Binární diagram Al-Zn je uveden v obr. 12. Slitina ZAMAK 2 má výbornou slévateľnost a je vhodná pro tvarově složité díly. Slitina ZAMAK 5 se používá na odlitky, které mají mít dobrou odolnost proti opotřebení. Praktická část práce byla provedena v laboratořích katedry materiálového inženýrství.



Obr. 12 Binární diagram Al-Zn [24]

## 5.1 Původ a složení vzorků

Vzorek A byl odlit technologií odstředivého lití do silikonové formy. Vzorek B byl odlit do formy na licím stroji s teplou komorou. Chemické složení je uvedeno v tabulce 4.

Tab. 4 Chemické složení vzorků v hm %

Prvek	Al	Cu	Mg	Pb	Fe	Cd	Sn	Si	Ni	Zn
A	4,05	2,90	0,543	0,022	0,003	0,0002	0,001	0,02	0,001	92,46
B	4,03	0,83	0,044	0,002	0,002	0,0002	0,001	0,02	0,001	95,07

## 5.2 Příprava vzorků

Vzorky byly rozřezány na menší díly, z nichž byl vybrán jeden, který byl podroben metalografické analýze. Takto připravené vzorky byly uloženy zkoumanou stranou na dno komory lisovacího stroje (obr. 13 a obr. 14). Na vzorek A bylo nutné použít sponku, aby byla zajištěna stabilita vzorku (obr. 13). Komora se poté zaplnila předem daným množstvím pryskyřice, vložil se lístek s označením vzorku a dosypala se průhledná pryskyřice. Po nasazení lisovací hlavy byla komora zahřátá na teplotu 180 °C a za působení síly 20 kN po dobu 9 min pro vzorek A, 5 min pro vzorek B, došlo k rozpuštění hmoty a zalití vzorku. Vzorek A měl po zalití průměr 40 mm a vzorek B průměr 30 mm. Takto zafixované vzorky byly broušeny za mokra na brusných papírech z karbidu křemíku o zrnitosti 320, 500, 800 a 1200. Pro konečnou podobu povrchu se provedlo mechanické leštění s přidavkem diamantové pasty o zrnitosti 9 μm a 3 μm (obr. 15 a obr. 16). Naleptání bylo provedeno 4 % kyselinou dusičnou (Nital). Takto byly vzorky připravené pro strukturní analýzu. Pro analýzu SEM a EDS bylo nutné leptanou vrstvu odstranit, to se provedlo opět mechanickým leštěním s přidavkem diamantové pasty o zrnitosti 3 μm. Dále se nevodivá zalévací hmota musel pomocí hliníkové pásky zvodivit, a to z toho důvodu, aby neodváděla svazek elektronů při EDS analýze (obr. 17, 18).



Obr. 13 Příprava vzorku A



Obr. 14 Příprava vzorku B



**Obr. 15** Vzorek A připravený pro strukturní analýzu



**Obr. 16** Vzorek B připravený pro strukturní analýzu



**Obr. 17** Vzorek A připravený pro analýzu SEM

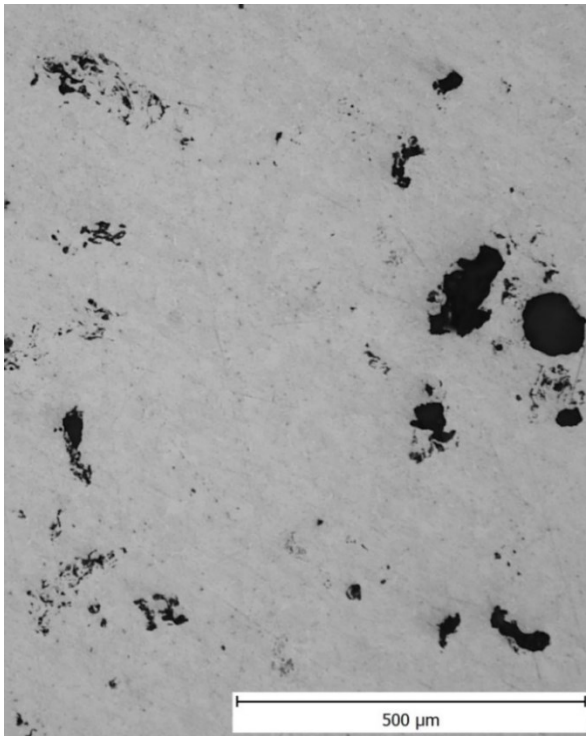


**Obr. 18** Vzorek B připravený pro analýzu SEM

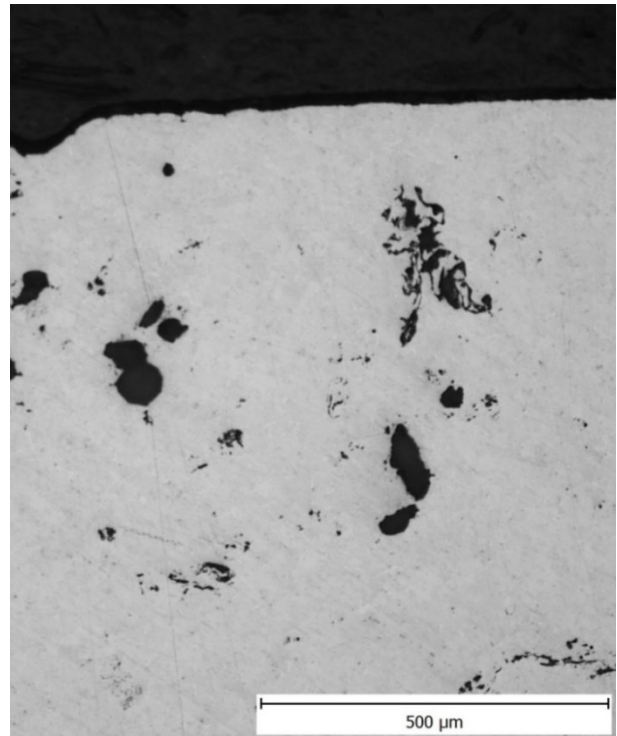
### 5.3 Strukturní analýza

Analýza byla provedena pomocí inverzního metalografického mikroskopu *Olympus IX70*, který zobrazuje mikrostrukturu materiálu snímáním odraženého světla. Vzorky byly vyfoceny při zvětšení 100x a 500x a jsou zdokumentovány na obrázcích 19–30. Na vyleštěném vzorku A (obrázky 19 a 20) jsou vidět významné licí vady, jako jsou póry a řediny. Oproti tomu vzorek B je kompaktní a s minimem licích vad (obr. 25 a obr. 26). Po naleptání v Nitalu byla zviditelněna mikrostruktura obou slitin. Mikrostruktura vzorku A je rovnoměrná, tvořená jednotlivými zrny fáze Zn- $\eta$  (modro-šedé částice) a eutektika (fáze mezi modro-šedými částicemi) a bílými částicemi (obr. 21 až obr. 24). Mikrostruktura vzorku B je převážně dendritická (obr. 27 a obr. 28), v detailu tvořená fází Zn- $\eta$  a eutektikem (obr. 29 a obr. 30) v souladu s binárním diagramem Al – Zn (obr. 12).





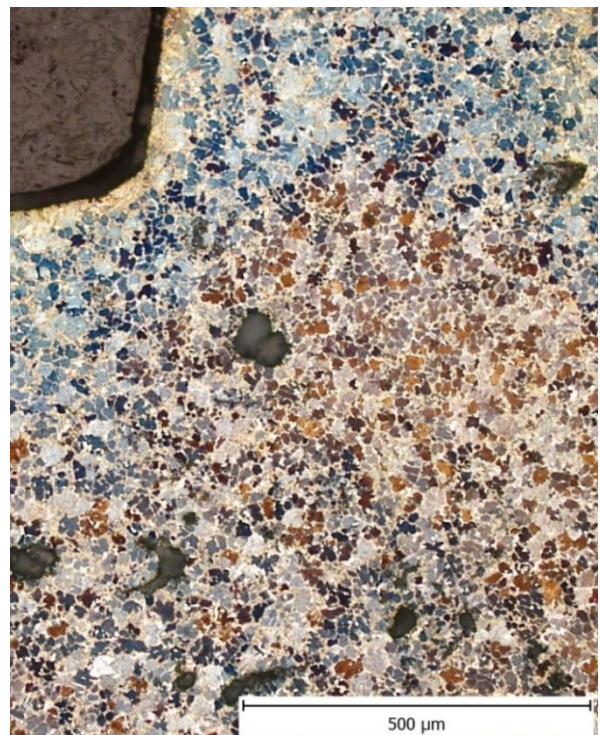
**Obr. 19** Mikrostruktura vzorku A  
ve vyleštěném stavu: střed.



**Obr. 20** Mikrostruktura vzorku A  
ve vyleštěném stavu: povrch.

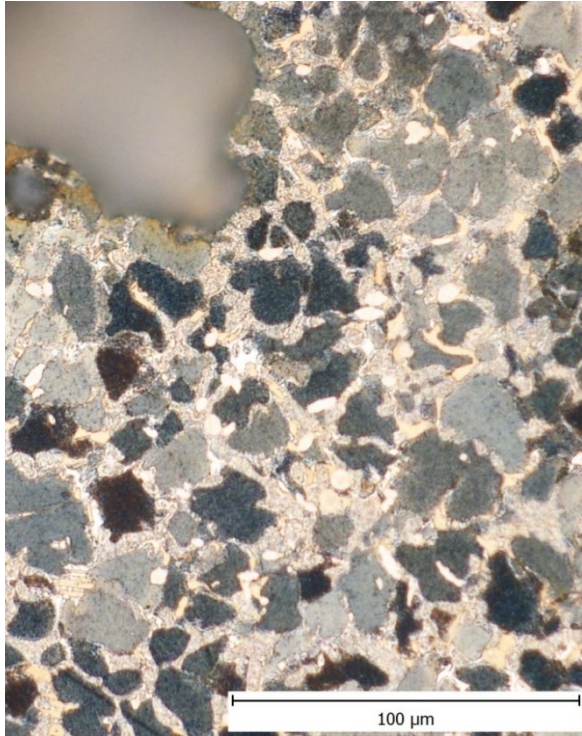


**Obr. 21** Mikrostruktura vzorku A  
v naleptaném stavu: střed.

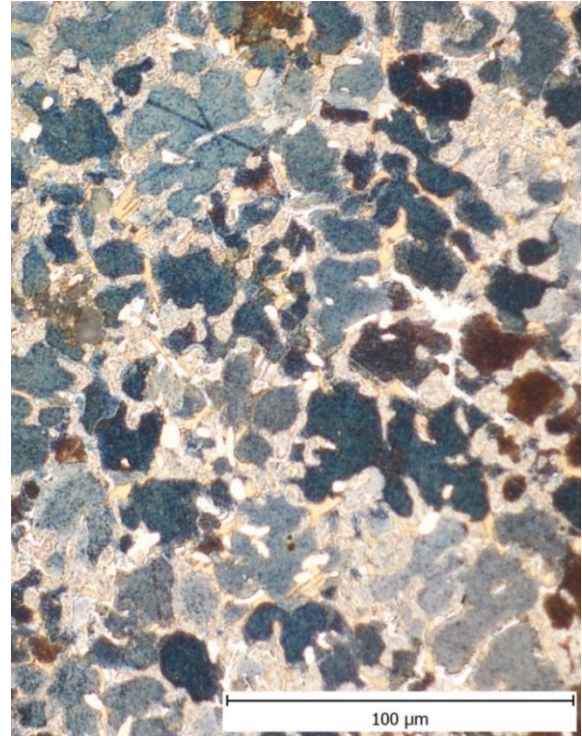


**Obr. 22** Mikrostruktura vzorku A  
v naleptaném stavu: povrch.





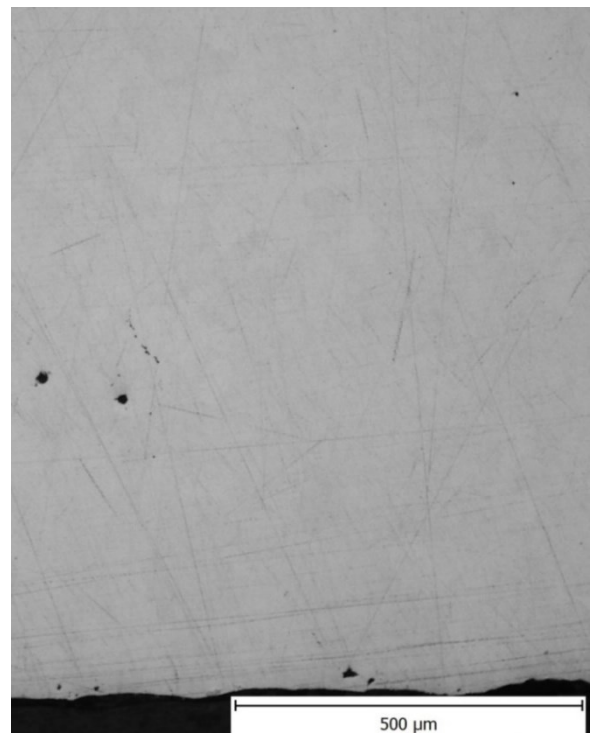
**Obr. 23** Mikrostruktura vzorku A v naleptaném stavu – detail: střed.



**Obr. 24** Mikrostruktura vzorku A v naleptaném stavu – detail: povrch.



**Obr. 25** Mikrostruktura vzorku B ve vyleštěném stavu: střed.

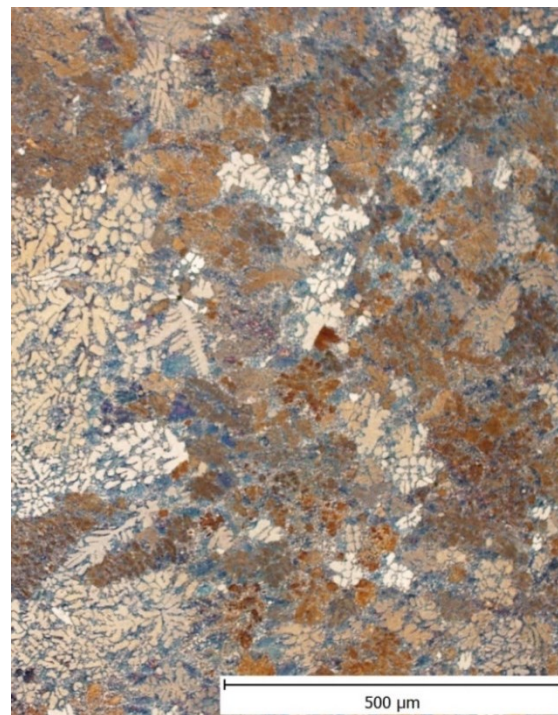


**Obr. 26** Mikrostruktura vzorku B ve vyleštěném stavu: povrch.

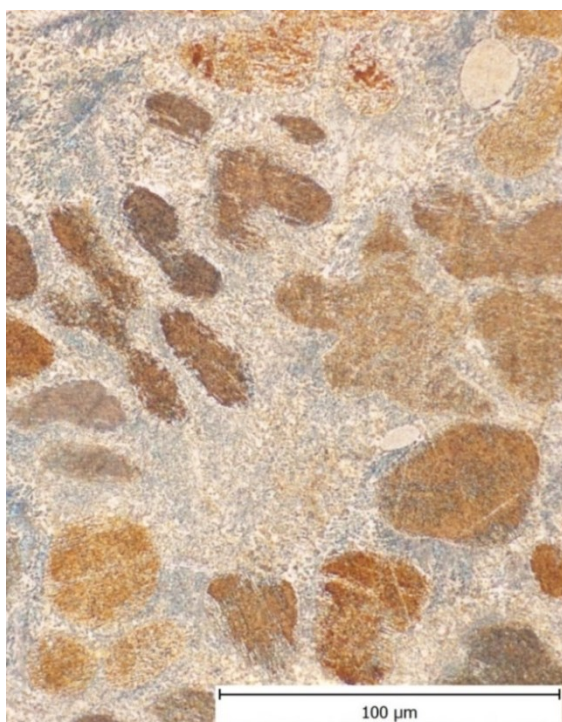




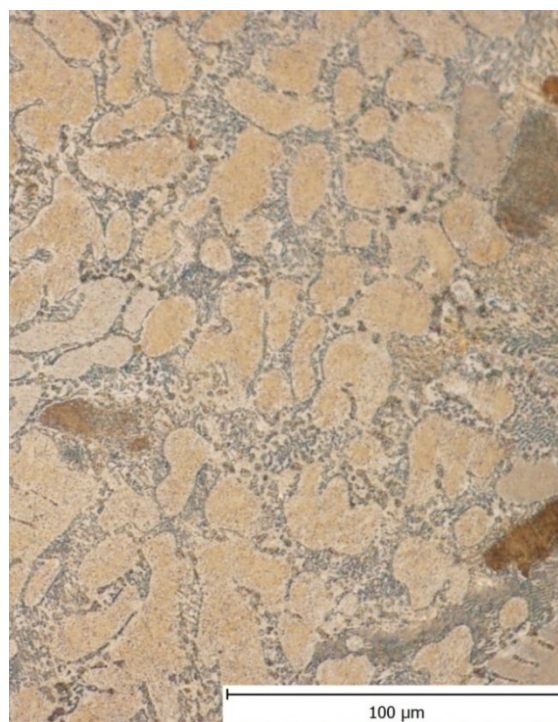
**Obr. 27** Mikrostruktura vzorku B  
ve vyleptaném stavu: střed.



**Obr. 28** Mikrostruktura vzorku B  
ve vyleptaném stavu: povrch.



**Obr. 29** Mikrostruktura vzorku B  
naleptaném stavu – detail: střed



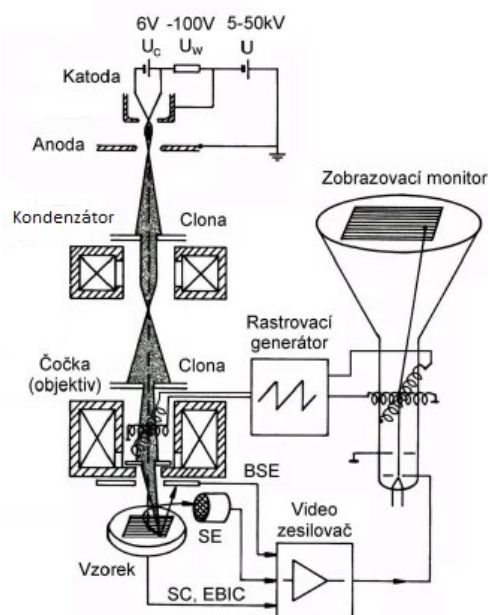
**Obr. 30** Mikrostruktura vzorku B  
naleptaném stavu – detail: povrch

## 5.4 Analýza SEM a EDS

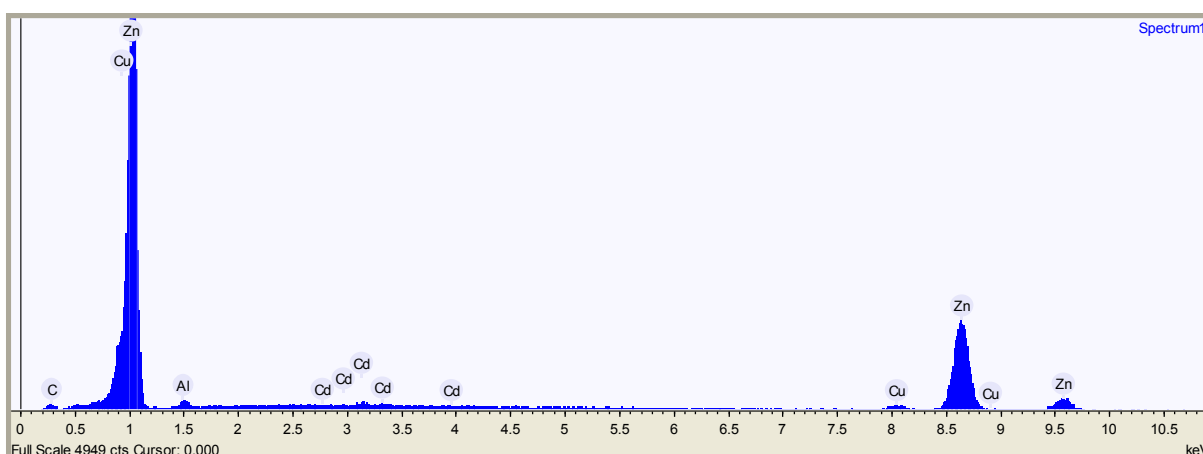
Při analýze byl použit skenovací elektronový mikroskop (SEM) v módu zpětně odražených elektronů (BSE), který poskytuje materiálový kontrast a energiově disperzní spektrometrii (EDS) pro lokální chemickou analýzu zkoumaného vzorku.

Schéma SEM je zobrazeno na obr. 31. Princip je založen na skenování povrchu ve vakuu úzkým elektronovým paprskem vycházejícím z katody. K zobrazení zkoumaného povrchu se používají sekundární a zpětně odražené elektrony, vzniklé interakcí atomů vzorku s elektrony primárního elektronového paprsku. Detektor, přijímající tyto elektrony, je zpracovává přiřazením daného odstínu šedi podle energie elektronů. Výsledkem je ostrý obraz povrchu vzorku.

Analýza EDS se používá jako přídavné zařízení skenovacího mikroskopu. Je to kvalitativní analýza v mikroobjemu v řádech několika  $\mu\text{m}^3$  s cílem prokázat přítomnost vytypovaných prvků, nebo provést spektrální analýzu. Výsledkem analýzy EDS je spektrum četnosti rentgenového signálu v jednotlivých energetických oknech, což jsou charakteristické píky, které odpovídají jednotlivým prvkům a jejichž výška je úměrná koncentraci daného prvku ve vzorku obr. 32.



Obr. 31 Schéma SEM [23]

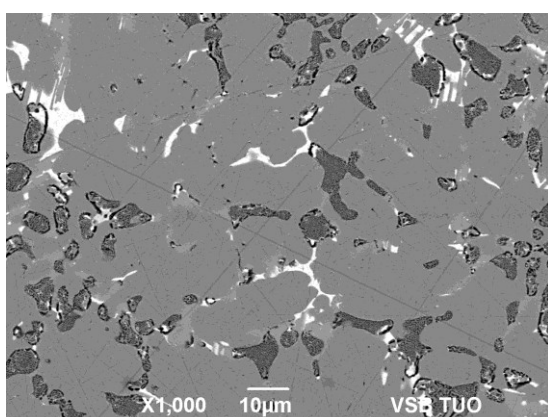


Obr. 32 Příklad výstupu analýzy EDS

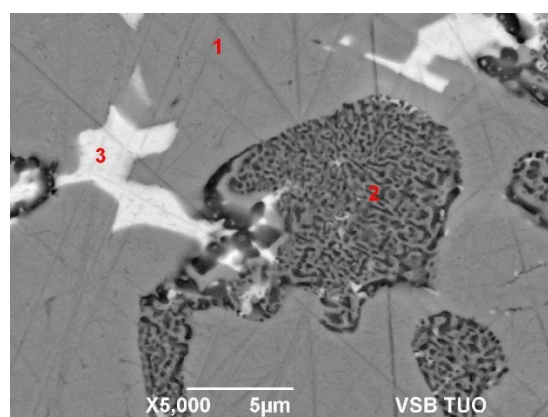


V této části jsou snímky mikrostruktur jednotlivých vzorků, které byly pořízeny pomocí skenovacího elektronového mikroskopu, doplněné o semikvantitativní analýzu, do níž nebyl zahrnut uhlík. Chemické složení označených oblastí určených pomocí energiově disperzní spektrometrie jsou uvedeny v tabulkách, pro vzorek A v tabulce 5 a pro vzorek B v tabulce 6. Naměřené obsahy prvků jsou uvedeny v hmotnostních procentech.

Vzorek A obsahuje tři fáze, které byly analyzovány (obr. 33 a obr. 34). Fáze č. 1 (tuhý roztok Zn- $\eta$ ) a č. 2 (eutektikum) obsahují především zinek. Odlišují se druhým nejvíce zastoupeným prvkem pro fázi č.1 je to měď a pro fázi č.2 je to hliník. Fáze č. 3 je odlišná tím že obsahuje především kadmium s malým množstvím zinku.



**Obr. 33** Vzorek A



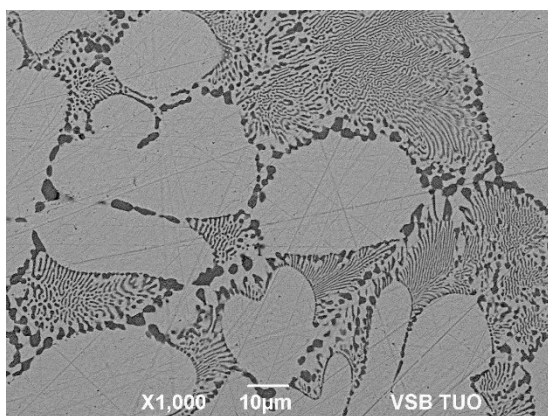
**Obr. 34** Detailní zobrazení fází vzorku A

**Tab. 5** Bodová analýza fází vzorku A v hm % z obr. 34

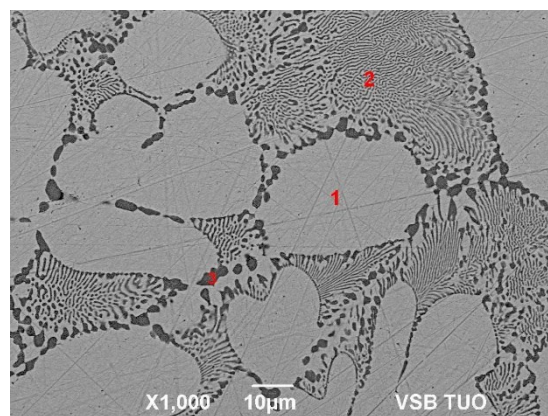
Prvek	Al	Cu	Zn	Cd
<b>Spektrum 1</b>	1,72	2,89	93,91	1,48
<b>Spektrum 2</b>	23,22	1,61	73,07	2,10
<b>Spektrum 3</b>	-	-	5,82	94,18

Vzorek B obsahuje dvě fáze (obr. 35 a obr. 36). Obě fáze obsahují velké množství zinku. Fáze č. 1 (tuhý roztok Zn- $\eta$ ) má vyrovnaný obsah mědi a hliníku. Ve fázi č. 2 (eutektikum) převažuje hliník nad mědí. Eutektikum je tvořeno fází Zn- $\eta$  a eutektoidem  $\beta$  (fáze č. 3), ve které se už měď nevyskytuje.





**Obr. 35** Vzorek B



**Obr. 36** Vzorek B označení fází

**Tab. 6** Bodová analýza fází vzorku B v hm % z obr. 36

Prvek	Al	Cu	Zn
Spektrum 1	1,49	1,06	97,45
Spektrum 2	7,74	0,76	91,50
Spektrum 3	20,44	-	79,56

## Závěr

Cílem této práce bylo seznámení se s přípravou a zpracováním zinku a jeho slitin v České republice a ve světě. Byly popsány jednotlivé metody výroby čistého zinku, charakteristika vybraných slitin zinku a technologické zpracování slitin. U technologického zpracování se ukázalo že v praxi se prakticky využívá pouze tlakové a odstředivé lití.

V praktické části byl proveden mikrostrukturní rozbor slitin ZAMAK 2 a ZAMAK 5 na bázi Zn-Al-Cu pomocí optické a řádkovací elektronové mikroskopie. Slitiny ZAMAK 2 a ZAMAK 5 se lišily především v obsahu mědi. Jednotlivé strukturní součásti byly popsány v souladu s binárním diagram Al-Zn. Slitina ZAMAK 2 měla rovnoměrnější jemnozrnnou mikrostrukturu, ale s větším podílem licích vad. V mikrostruktuře se vyskytovalo kromě tuhého roztoku Zn- $\eta$  a eutektika poměrně vysoké množství částic na bázi Cd a Zn, a když byl ve slitině teoreticky stanoven obsah Mg, analýzou EDX nebyl zaregistrován. Slitina ZAMAK 5 vykazovala především dendritickou mikrostrukturu téměř bez výskytu licích vad tvořenou tuhým roztokem Zn- $\eta$  a eutektikem.

## Literatura

- [1] Regist povinností. [Online] [Citace: 16. 04 2018.]  
<http://www.registrpovinnosti.com/df23h54/voda/registrlegislativy/Zinek.pdf>.
- [2] Nexa. [Online] [Citace: 20. 04 2018.] <https://www.nexaresources.com/smelting#7/Zamac>.
- [3] VOJTĚCH, Dalibor. *Kovové materiály*. Praha : Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006. ISBN 80-7080-600-1.
- [4] Priodická tabulka - chemické prvky. *Zinek*. [Online] [Citace: 10. 01 2018.]  
<http://www.prvky.com/30.html>.
- [5] International zinc association. *Zinc basic*. [Online] [Citace: 15. 01 2018.]  
<http://www.zinc.org/basics/>.
- [6] Rýmařovsko. [Online] [Citace: 12. 03 2018.] <http://www.rymarovsko.cz/knihovna-stranek/nerostne-bohatstvi-a-tezba/193-dulni-revir-nova-ves.html>.
- [7] ČERNOTOVÁ, Alena. *Diplomová práce - Regenerace zinku z odpadu ze žárového zinkování*. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2016.
- [8] Česká geologická služba. *Nerostné suroviny 2015*. [Online] [Citace: 15. 01 2018.]  
[http://www.geology.cz/extranet/publikace/online/surovinove-zdroje/surovinove-zdroje-ceske-republiky-2016\\_m.pdf](http://www.geology.cz/extranet/publikace/online/surovinove-zdroje/surovinove-zdroje-ceske-republiky-2016_m.pdf).
- [9] Ložiska ČR. [Online] [Citace: 15. 03 2018.]  
[http://geologie.vsb.cz/loziska/loziska/loziska\\_cr.html#ZINEK](http://geologie.vsb.cz/loziska/loziska/loziska_cr.html#ZINEK).
- [10] *Surovinové zdroje České republiky: nerostné suroviny 2010*. Praha : Ministerstvo životního prostředí, 2010.
- [11] Metalurgie neželezných kovů. *Zinek*. [Online] [Citace: 20. 01 2018.]  
<http://www.nom.wz.cz/KOVY/zinek.htm>.
- [12] CHVOJKA, Jiří. *Výroba neželezných kovů: pro 3. a 4. ročník středních průmyslových škol hutnických*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1982.
- [13] BROŽOVÁ, Silvie. *Možnosti recyklace vybraných materiálů: Możliwości recyklingu wybranych materiałów*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2014. ISBN 978-80-7204-880-9.
- [14] BROŽOVÁ, Silvie, MALCHARCZIKOVÁ, Jitka, VÁŇOVÁ, Petra a další. *Elektroodpad - analýza a možnosti využití*. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, 2008. ISBN 978-80-248-1867-2.

- [15] PUSTĚJOVSKÁ, Pavlína, KARDAS, Edyta. *Energetické využití odpadů s ohledem na životní prostředí*. Ostrava : Amos Repro, 2014. 978-80-248-3383-5.
- [16] Chemické listy. [Online] [Citace: 28. 03 2018.] [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2012\\_05\\_350-356.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2012_05_350-356.pdf).
- [17] ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2790-6.
- [18] Eastern Alloys Inc. *Zinc die casting properties guide*. [Online] [Citace: 25. 01 2018.] <https://www.eazall.com/PublicDoc/ZincDie%20CastingPropertiesGuide2012.pdf>.
- [19] Zn die casting. [Online] [Citace: 28. 01 2018.] <http://diecasting.zinc.org/alloys/>.
- [20] DYNACAST. [Online] [Citace: 25. 01 2018.] <https://www.dynacast.com/selector>.
- [21] FisherTech a Dynacast company. [Online] [Citace: 04. 02 2018.] [http://www.fishercast.com/tech\\_application.php](http://www.fishercast.com/tech_application.php).
- [22] Tekcast. [Online] [Citace: 05. 02 2018.] [https://www.tekcast.com/TEKCAST-Training-Video-\\_p\\_36.html](https://www.tekcast.com/TEKCAST-Training-Video-_p_36.html).
- [23] WORDPRESS. [Online] [Citace: 15. 03 2018.] <https://hs699.wordpress.com/2011/06/09/a-report-on-electron-microscopy/>.
- [24] BAKER, Hugh. *ASM handbook. Alloy Phase Diagram, vol.3*. USA : ASM International, 1992. 0-87170-381-5.