



# VLIV VRATNÉHO MATERIÁLU SLITINY ZNAL4CU1 NA KVALITU ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

## Bakalářská práce

*Studijní program:* B2301 – Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* 2301R000 – Strojní inženýrství

*Autor práce:* **Petr Šrůtek**  
*Vedoucí práce:* Ing. Iva Nováková, Ph.D.



# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení                      **Petr Š R Ů T E K**

Studijní program                      **B2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor

Zaměření

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářské práce na téma:

## **Vliv vratného materiálu slitiny ZnAl<sub>4</sub>Cu<sub>1</sub> na kvalitu zkušebních vzorků**

### **Zásady pro vypracování:**

(uved'te hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Seznamte s rozdělením a metalurgií slitin zinku.
2. Prostudujte podklady zaměřené na problematiku vlivu typu vratu ve vsázce na kvalitu taveniny.
3. Proveďte experimentální tavby a sledujte vliv vsázky na výsledné chemické složení a mechanické vlastnosti zkušebních vzorků.
4. Zhodnoťte dosažené výsledky a formulujte dílčí závěry.





Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva: v rozsahu cca 30 stran
- přílohy: grafy, tabulky

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

- [1] ROUČKA, J.: Metalurgie neželezných slitin. [Skripta]. FSI, VUT v Brně, 2002.
- [2] PTÁČEK, L., USTOHAL, V.: Slitiny zinku pro odlitky. Slévárenství, 2001, č. 4, s. 203 až 208.
- [3] Časopisy: Slévárenství, Giesserei, atd.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Iva Nováková, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.

L. S.

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
vedoucí katedry

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan

V Liberci dne 17.2. 2014

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. ( v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ ). Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.



## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

**Anotace:**

Cílem práce je zjistit jak se mění kvalita zkušebních vzorků slitiny zinku ZnAl4Cu1 vlivem vratného materiálu. Teoretická část obsahuje seznámení se zinkem jako technickým kovem a s jeho slitinami. Slitiny zinku jsou v technické praxi mnohem důležitější, proto je v této práci kladen důraz na jejich rozdělení nejen z hlediska chemického složení, ale i z hlediska zpracování slévárenskou technologií. V experimentální části jsou provedeny zkoušky pevnosti, tvrdosti a chemického složení na několika typech vzorků slitiny ZnAl4Cu1.

**Klíčová slova:**

zinek, slitiny zinku, Zamak, vzorek, slévárství, chemické složení, spektrometr, pevnost, tvrdost

**Annotation:**

The objective of bachelor's thesis is how is quality of test samples of zinc alloy ZnAl4Cu1 affected by refundable material. Theoretical part contains introduction to zinc as a technical metal and its alloys. In practical use, zinc alloys are more important, therefore this thesis emphasises categorization not only from point of chemical composition, but even from point of foundry processing technology. In experimental part are performed tests of toughness, hardness and chemical composition on samples of several types of alloy ZnAl4Cu1.

**Keywords:**

zinc, zinc alloys, Zamak, sample, foundry, chemical composition, spectrometer, toughness, hardness

**Poděkování:**

Chtěl bych poděkovat své vedoucí práce Ing. Ivě Novákové, Ph.D., a svému konzultantovi Ing. Jaromíru Moravcovi, Ph.D. za odbornou pomoc při vypracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině za psychickou, morální a hmotnou podporu během studia. Velký dík patří mé přítelkyni za její podporu a trpělivost. Poděkování dále patří panu Martinu Janovskému a firmě BENEŠ a LÁT a.s., za poskytnutí odborné pomoci a vzorků, které byly využity v této práci.

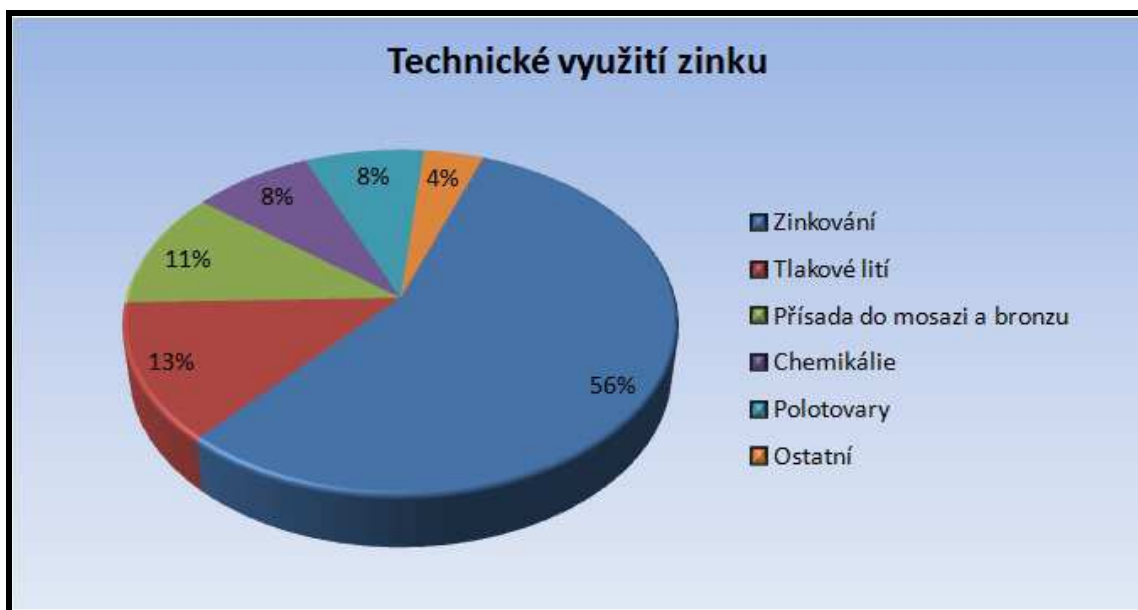
## Obsah

1. Úvod .....	8
2. Teoretická část .....	10
2.1. Zinek .....	10
2.1.1. Vlastnosti zinku .....	10
2.1.2. Výskyt a výroba zinku .....	12
2.2. Slévárenské slitiny zinku.....	13
2.2.1. Slitiny zinku pro tlakové lití .....	15
2.2.2. Slitiny zinku pro gravitační lití .....	15
2.2.3. Slitiny zinku pro méně obvyklé metody lití.....	16
2.3. Příprava taveniny .....	16
2.4. Vlastnosti slitin zinku.....	17
2.4.1. Slitiny Mazak .....	17
2.4.2. Slitiny Zamak.....	17
2.4.3. ZA slitiny .....	18
2.4.4. Ostatní slitiny zinku .....	20
3. Experimentální část .....	21
3.1. Popis experimentu .....	21
3.2. Metody hodnocení.....	23
3.2.1. Hodnocení chemického složení .....	23
3.2.2. Statická zkouška tahem.....	34
3.2.3. Zkouška tvrdosti .....	38
4. Závěr.....	40
5. Seznam použité literatury .....	41
6. Seznam obrázků.....	43
7. Seznam tabulek.....	44

# 1. Úvod

Využití zinku, respektive jeho rud sahá již do dávné historie. Před objevením samotného zinku se využívaly zinkové rudy spolu s mědí jako legovací přísady při výrobě mosazi. Zinkové rudy byly poprvé využity již ve starověku, v Palestině okolo roku 1400 př.n.l. Čistý zinek byl pravděpodobně poprvé připraven ve 13. století v Indii. Odtud se znalost výroby přenesla do Číny, kde se zinek využíval k výrobě mincí. V Evropě nebyla jeho výroba známá, a tak byl v 17. a 18. století dovážen loděmi z Číny. První výroba tohoto kovu v Evropě započala na počátku 18. století v Anglii.

V současné době nachází zinek v technické praxi uplatnění v mnoha odvětvích, viz obr. 1. Převážná většina zinku je využívána k povrchovým úpravám, tedy k jeho nanášení na povrch materiálu, např. jako ochrana proti korozi. Dále nachází své uplatnění jako legující přísada, ve farmacii jako živina a také ve stavebnictví a v chemickém průmyslu. Vzhledem k nízkým mechanickým vlastnostem se čistý zinek nevyužívá na výrobu strojních součástí, tam nachází své uplatnění jeho slitiny.



Obr. 1 Využití zinku [1]

Ve slévárenské praxi se slitiny zinku využívají pro výrobu drobných, tvarově členitých, tenkostěnných odlitků s vysokou rozměrovou přesností a kvalitou povrchu. Své uplatnění nacházejí zejména v automobilovém, elektrotechnickém a spotřebním průmyslu.



Slitiny zinku se vyznačují velmi dobrými slévárenskými vlastnostmi (tavitelnost, zabíhavost atd.). Odlitky ze slitin zinku jsou nejčastěji odlévány vysokotlakým litím na strojích s teplou tlakovou licí komorou, mohou být ale odlévány také gravitačním a odstředivým litím. Při přípravě taveniny je nutné najít vhodný poměr mezi vratem a novým materiálem tak, aby nebyly ovlivňovány mechanické vlastnosti jednotlivých odlitků.

Cílem této bakalářské práce je stanovit vliv složení vsázky, resp. množství vratu, jeho typu a znečištění, na chemické složení a vybrané mechanické vlastnosti u slitiny ZnAl4Cu1 [2][3].

## 2. Teoretická část

### 2.1. Zinek

#### 2.1.1. Vlastnosti zinku

Zinek je lesklý, modro-bílý kov, viz obr. 2. Na vzduchu se pokrývá tenkou vrstvou oxidu zinečnatého. Je odolný proti korozi v prostředí slabě kyselém i zásaditém. Patří mezi neušlechtilé kovy a nachází se ve skupině IIB v periodické soustavě prvků. Jeho valenční elektrony jsou v d-sféře, patří tedy mezi přechodové prvky. Ve sloučeninách se vyskytuje pouze v mocenství  $Zn^{+2}$ . Mřížka zinku krystaluje v hexagonálním těsném uspořádání. Je to těžký a zároveň měkký kov, který je za běžných teplot křehký. V rozmezí teplot 100 až 150 °C je tažný a je možné ho vytahovat na dráty, nebo válcovat na plech. Při dalším zvýšení teploty nad 210 °C se opět stává křehký a je možné, jej mlít na prášek. Tepelná vodivost zinku je 61 až 64 %, elektrická vodivost pouze 27 % vodivosti stříbra. Při teplotách pod 0,875 K se stává supravodivým. Zinek je velmi dobře tavitelný kov. Jeho slitiny mají velmi dobré slévárenské vlastnosti. Podrobněji jsou vlastnosti zinku popsány v tab. 1 [3][4][5][6].



**Obr. 2** Surový zinek [7]

**Tab. 1** Vlastnosti zinku [8]

<b>Obecné vlastnosti</b>	
Chemické značení	Zn
Atomové číslo	30
Atomová hmotnost	65,38
Kategorie prvku	přechodový kov
Skupina, perioda	12, 4
<b>Chemické vlastnosti</b>	
Elektrony	30
Protony	30
Neutrony	35
Oxidační čísla	0, I, II
Elektronová konfigurace	[Ar] 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup>
Elektronů v hladinách	2, 8, 18, 2
Atomový poloměr	134 pm
Kovalentní poloměr	122±4 pm
Van der Waalsův poloměr	139 pm
Krystalická struktura	šesterečná těsně uspořádaná
Magnetické vlastnosti	diamagnetický
<b>Fyzikální vlastnosti</b>	
Skupenství	pevné
Bod tání	419,53 °C, 692,68 K, 787,15 °F
Bod varu	907 °C, 1180 K, 1665 °F
Hustota	7140 kg·m <sup>-3</sup>
Hustota při teplotě tání	6570 kg·m <sup>-3</sup>
Molární objem	9,16·10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup> ·mol <sup>-1</sup>
Tvrdost podle Brinella	31 HB
Tvrdost (Mohsova stupnice)	2,5
Elektrická vodivost	16,6·10 <sup>6</sup> S·m <sup>-1</sup>
Měrný elektrický odpor	59,0 nΩ·m <sup>-1</sup>
Tepelná vodivost	116 W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>
<b>Termodynamické vlastnosti</b>	
Skupenské teplo tání	7,28 kJ·mol <sup>-1</sup>
Skupenské teplo varu	114,2 kJ·mol <sup>-1</sup>
Měrná tepelná kapacita	388 J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>

### 2.1.2. Výskyt a výroba zinku

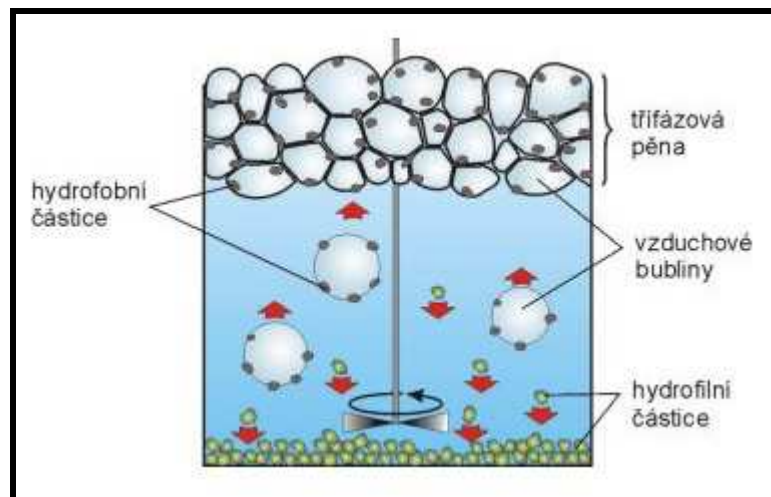
V přírodě se zinek nachází v rudách, ale i v ryzí formě. V rudách je zastoupeno pouze 2 až 10 % zinku. Nejvíce se ho nachází v zemské kůře, průměrně je to okolo 70 mg na 1 kg zemské kůry. Slabá koncentrace zinku se nalézá i v mořské vodě, jedná se přibližně o 0,01 mg na 1 l vody. Nejvíce používanou rudou pro výrobu zinku je sulfid zinečnatý zvaný sfalerit neboli blejno zinkové, viz obr. 3. Více než 95 % světové produkce zinku se vyrábí právě ze sfaleritu, který obsahuje kromě zinku železo, mangan, kadmium a jiné prvky. Sulfidové rudy se upravují na koncentrát procesem zvaným flotace [9][10].



**Obr. 3** Ruda sfaleritu [11]

**Flotace** je technologický postup, který využívá rozdílnou smáčivost práškovitých materiálů k jejich oddělování. V praxi se nejčastěji používá *pěnová flotace*, viz obr. 4, při níž se rozmělněná směs intenzivně míchá ve vodě, kterou probublává vzduch. Částice, které jsou špatně smáčivé, mají hydrofobní povrch, ulpívají na vzduchových bublinách a jsou unášeny na hladinu vody, kde se shromažďují ve formě pěny, jež se mechanicky odděluje a přenáší k dalšímu zpracování. Částice, které jsou dobře smáčivé, mají hydrofilní povrch a usazují se na dně nádoby, kde vytvářejí flotační odpad.

U všech způsobů výroby je zinek převáděn na oxid, který se dále zpracovává. Při žárovém způsobu se z oxidu zinečnatého vyredukuje zinek, který se při redukci destiluje. Při mokřím způsobu se oxid zinečnatý louží roztokem kyseliny sírové a z roztoku je zinek vysrážen elektrolyticky [10][12].



Obr. 4 Schéma pěnové flotace [12]

## 2.2. Slévárenské slitiny zinku

Slévárenské slitiny se vyznačují velmi dobrými slévárenskými vlastnostmi. Hlavním přísadovým prvkem ve slitinách zinku je *hliník*, který zlepšuje jejich pevnostní vlastnosti. Dalšími přísadovými prvky jsou především *měď* a *hořčík*. Měď stejně jako hliník zmenšuje velikost zrna, zlepšuje zabíhavost slitin a zlepšuje mechanické vlastnosti slitiny, jakými jsou např. pevnost v tahu, tažnost, rázová houževnatost. Pokud je obsah mědi vyšší než 0,7 %, zlepšuje se u slitiny odolnost proti korozi. Hořčík je ve slitinách zinku zastoupen ve velmi malém množství, ale i tím zvyšuje pevnost v tahu a kompenzuje škodlivé účinky nežádoucích přísad, kterými jsou cín, olovo a kadmium. Obsah hořčíku ve slitinách bývá okolo 0,01 až 0,03 %.

Množství přísadových prvků ve slitinách závisí na způsobu jejich odlévání. Slévárenské slitiny zinku dělíme podle přísad do tří skupin:

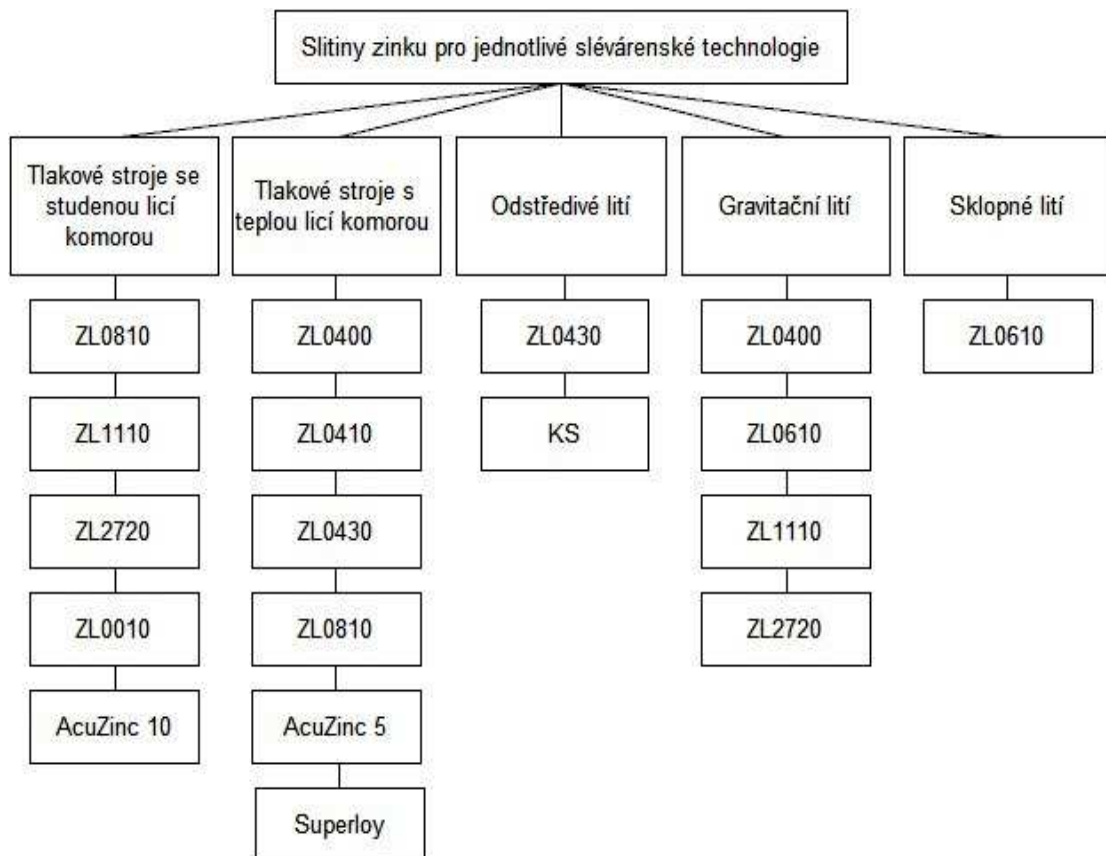
- a) slitiny zinku pro tlakové lití,
- b) slitiny zinku pro gravitační lití,
- c) slitiny zinku pro méně obvyklé metody lití.

Nečistoty ve slitinách zinku, kterými jsou především železo, olovo, cín a kadmium podporují vznik mezikrystalické koroze, jejíž obsah nesmí překročit tisíciný procenta. Z tohoto důvodu se na přípravu slitin zinku musí využívat velmi čistý zinek (99,995 %).

V tabulce 2 jsou uvedeny různé způsoby značení slitin zinku. Na obr. 5 jsou pro různé slévárenské technologie uvedeny nejčastěji využívané typy slitin [3][13][14].

**Tab. 2** Různá označení nejvíce používaných slitin zinku [13][15]

ČSN 423562	ČSN 423558	ČSN 423560				
Zamak 2	Zamak 3	Zamak 5	ZA 8	ZA 12	ZA 27	Superloy
Zn430	Zn400	Zn410				
ZP2	ZP3	ZP5	ZP 8	ZP 12	ZP 27	Superloy
ZP0430	ZP0400	ZP0410	ZP0810	ZP1110	ZP2720	GDSL
ZnAl4Cu3	ZnAl4	ZnAl4Cu1	ZnAl8Cu1	ZnAl11Cu1	ZnAl27Cu2	
ZL0430	ZL0400	ZL0410	ZL0810	ZL01110	ZL02720	
ZL2	ZL3	ZL5	ZL8	ZL12	ZL27	



**Obr. 5** Rozdělení slitin zinku podle slévárenských technologií [13]

### 2.2.1. Slitiny zinku pro tlakové lití

Technologie tlakového lití u slitin zinku převažuje nad všemi ostatními lícími metodami. Rozeznáváme dva typy tlakového lití, a to lití s teplou a studenou tlakovou komorou. Odlitky lité pod tlakem mají velmi dobré mechanické vlastnosti. Mohou být odlévány s velmi přesnou rozměrovou tolerancí a je možné odlévat odlitky s velmi tenkými stěnami. Obsah hliníku u těchto slitin je přibližně 4 %, jedná se o slitiny v blízkosti eutektického bodu. Do této skupiny slitin zinku patří dle normy ČSN:

- Zamak 2 (ZnAl4Cu3/Zn430/ZL0430/ZL2), ČSN 423562,
- Zamak 3 (ZnAl4/Zn400/ZL0400/ZL3), ČSN 423558,
- Zamak 5 (ZnAl4Cu1/Zn410/ZL0410/ZL5), ČSN 423560.

Dříve se pro tlakové lití využívaly slitiny zinku s 4 % hliníku, které se podle obsahu hliníku, mědi a hořčíku označovaly Z400, Z410 a Z430. V současné době jsou tyto slitiny spíše známy pod označením Zamak.

Slitiny zinku pro tlakové lití nejsou doporučeny pro odlévání součástí, které jsou vystaveny vyšším teplotám, neboť dochází k jejich tečení při zatížení mechanickou silou. Např. při teplotě 110 °C se jejich tvrdost snižuje o 40 % a pevnost v tahu o 30 % [13][16].

### 2.2.2. Slitiny zinku pro gravitační lití

Na rozdíl od slitin zinku pro tlakové lití jsou tyto slitiny charakteristické obsahem zinku vyšším než 8 %. Odtud vznikl název ZA slitiny. Do této skupiny slitin patří slitiny:

- ZA 8 (ZnAl8Cu1/ZL0810/ZL8),
- ZA 12 (ZnAl11Cu1/ZL01110/ZL12),
- ZA 27 (ZnAl27Cu2/ZL02720/ZL27).

Slitiny zinku pro gravitační lití mají výborné slévárenské vlastnosti. Při tavení a odlévání není potřeba krycí struska ani odplynění. Slitiny ZA 12 a ZA 27 mohou být odlévány technologií tlakového lití, ale pouze do studené komory, protože hliník má vysokou reaktivitu se železem. Odlitky ze ZA slitiny jsou svými mechanickými vlastnostmi konkurencí pro litiny, bronz a hliník. Nejvíce využívanou z řady ZA slitin je slitina ZA 12. Slitina ZA 8 se kromě odlévání využívá pro pokovování a slitina ZA 27 má vysoké mechanické vlastnosti bez ohledu na metodu lití [13][17].

### 2.2.3. Slitiny zinku pro méně obvyklé metody lití

Jedná se o ostatní způsoby lití (odstředivé, sklopné, přesné lití). Obsah hliníku u těchto slitin se pohybuje kolem 4,75 až 5,5 %. Tyto slitiny nachází uplatnění zejména při výrobě malých, tvarově složitých odlitků, u nichž jsou menší nároky na pevnostní vlastnosti. Do této skupiny slitin zinku patří [13]:

Superloy, ZL0610, ZL0210, ACuZinc 5, ACuZinc 10, BERIC, Main Metal, Alzen P, Alzen S, Kirksite, KAYEM, KS.

## 2.3. Příprava taveniny

K tavení slitin zinku se využívají plynové nebo elektrické pece, u kterých je potřeba relativně malý výkon díky nízkému latentnímu a měrnému teplu těchto slitin. Při tavení je velmi důležité zamezit znečištění taveniny škodlivými prvky. Doporučuje se tavit v kelímcích z karbidu křemíku. Kelímek musí být používán výhradně pro tavení slitin zinku.

Vsázkou pro přípravu taveniny jsou housky slitin dodávané z hutí a vratný materiál (vtoky, zmetky, nálitky, přetoky atd.). Vratný materiál obsahuje vždy větší množství nečistot, než bývá v houskách. Z hlediska kvality je důležitý tvar a znečištění vratného materiálu. Na povrchu každého kusu je vrstva oxidů, které se vnášejí vsázkou do taveniny a zhoršují tak jeho čistotu. Kompaktní kusy, jako např. vtoky a zmetky, mají relativně malý povrch vzhledem k objemu, což je vhodné. Tenkostěnné podíly vratu, jako např. prostříky, odvzdušnění, přetoky, mají naopak velký povrch k malému objemu a vnášejí do taveniny velké množství vměstků. Nejvíce nečistot se do taveniny dostává právě z drobného vratu, který je znečištěný např. od ošetření formy (mastnota). Z tohoto důvodu by měl být do vsázky přidáván pouze čistý vrat s malou povrchovostí.

Vzhledem k tomu, že využití tekutého kovu je podle technologie odlévání a podle typu odlitků někdy i méně než 50%, je vratný materiál významnou složkou vsázky. V současné době se do vsázky přidává 40 až 60 % vratu. Tento poměr byl s největší pravděpodobností přejet z poznatků o tavení slitin hliníku.

U taveniny slitin zinku, na rozdíl od přípravy taveniny slitin hliníku, není nutné provádět rafinaci ani odplynění, pouze se stahuje struska. Nepoužívají se ani žádné tavicí přípravky [3].



## 2.4. Vlastnosti slitin zinku

### 2.4.1. Slitiny Mazak

Mazak je alternativní název pro slitiny Zamak používaný především ve Velké Británii. Tam začala výroba zinku ve 30. letech 20. století, ale nebylo zde možné sehnat zinek s vyšší čistotou než 99,95 %. Proto musela být slitina pojmenována jinak než Zamak, u kterého byla čistota zinku vyšší. Tak vznikl název Mazak (**M**oris **A**shby **Z**inc **A**lloy **K**astings). V současné době oba názvy představují stejnou slitinu, záleží pouze na dodavateli, jaký název preferuje [18].

### 2.4.2. Slitiny Zamak

Jedná se o obchodní název zinkových slitin, jejichž legujícími prvky jsou hliník, hořčík a měď. Název Zamak vznikl jako akronym z německých názvů hlavních složek slitin, kterými jsou: **Z**ink (zinek), **A**luminium (hliník), **M**agnesium (hořčík) a **K**upfer (měď). Zamak slitiny patří do zinko-hliníkových slitin a odlišují se od ostatních slitin zinku tím, že každý typ obsahuje přibližně 4 % hliníku. Poprvé byly slitiny Zamak připraveny roku 1929 ve společnosti New Jersey Zinc Company v Americe. Dnes jsou držitelem nejvyšších standardů v průmyslovém nasazení. V Evropě jsou jejich značení, vlastnosti odlitků a chemická složení kontrolovány podle normy EN 12844 pro odlitky a podle normy EN 1774 pro ingoty. Mezinárodní normou pro ingoty je norma ISO 301. Slitiny Zamak jsou vytvářeny ze zinku nejvyšší čistoty, tj. 99,995 %. Nečistoty, jimiž jsou zvláště železo, olovo, kadmium a cín, mohou tvořit maximálně tisíce procenta obsahu, protože podporují interkrystalickou korozi. V praxi se nejčastěji využívá slitina Zamak 3, dále jsou používány slitiny Zamak 2, Zamak 5 a Zamak 7 [17][19][20].

### Zamak 2

Zamak 2 je jediná slitina ze skupiny Zamak, která se využívá ke gravitačnímu lití, převážně pro odlévání kovových zápusťek nebo forem pro odlévání plastů. Při tlakovém lití slitina nabízí nejvyšší pevnost a tvrdost ze skupiny Zamak. Vlivem vysokého obsahu mědi, tj. 3 %, dochází k rozměrové nestálosti, jde přibližně o nárůst 0,04 mm za 20 let. Rozměrová nestálost však není vzhledem k způsobu použití (raznice a formy) velkým problémem, protože častěji dochází k opotřebení vlivem abraze, nebo teplotního namáhání. Tato slitina vykazuje vynikající tlumicí schopnosti. Je vhodná pro odlévání ložiskových pouzder a vložek kluzných ložisek [17][19][20].

### **Zamak 3**

Zamak 3 je nejpoužívanější slitinou zinku pro tlakové lití. Fyzikální a mechanické vlastnosti jsou v rovnováze. Dále vykazuje vynikající slévateľnost, dlouhodobou rozměrovou stabilitu a korozní odolnost. Je vhodná pro širokou škálu dokončovacích operací. Z hlediska lití se jedná o standard, podle kterého jsou porovnávány ostatní slitiny. Zamak 3 je ideální pro výrobu odlitků v automobilovém průmyslu [17][19][20].

### **Zamak 4**

Jedná se o slitinu zinku ze skupiny Zamak, která byla vytvořena pro asijský trh. Její charakteristickou vlastností je lepší svařitelnost než u ostatních slitin. Je zachována tažnost, jakou má slitina Zamak 3 [17][19].

### **Zamak 5**

V Evropě nejpoužívanější slitina zinku pro tlakové lití s teplou komorou. Vyšší obsah mědi má za následek vyšší pevnost a tvrdost na úkor ztráty tažnosti a houževnatosti ve srovnání se slitinou Zamak 3. Dále má tato slitina lepší slévateľské vlastnosti, jako tekutost a zabíhavost. Rozměrová stabilita je o něco horší než u slitiny Zamak 3. Využívá se převážně tam, kde je potřeba odolnosti proti opotřebení [17][19][20].

### **Zamak 7**

Jde o modifikaci slitiny Zamak 3 s nižším množstvím hořčíku, což má za následek zlepšení tekutosti, tažnosti a možnosti povrchové úpravy. Do slitiny se dále přidává malé množství niklu, aby se předešlo problémům s povrchovou a mezikrytalicovou korozi. Využívá se pro lití tenkostěnných součástí, které musí mít kvalitní a hladký povrch [17][19].

#### **2.4.3. ZA slitiny**

Slitiny zinku, jejichž název vznikl z hlavních složek slitin, kterými jsou: **Zinc** (zinek) a **Aluminium** (hliník), byly původně vyvinuty pro gravitační lití. Tyto slitiny zinku se vyznačují vysokou pevností. Od slitin Zamak se slitiny ZA liší vyšším obsahem hliníku [19].

## **ZA 8**

Tato slitina zinku s obsahem hliníku mezi 8,2 až 8,8 % byla vyvinuta speciálně pro tlakové lití s teplou komorou. Z hlediska slévárenských technologií lze tuto slitinu dále využít ke gravitačnímu lití. Svými vlastnostmi se přibližuje slitině Zamak 2. Ačkoli nevykazuje tak dobré slévárenské vlastnosti jako jiné slitiny, nabízí výrazně lepší pevnost a tvrdost. Díky vysoké mezi kluzu, rozměrové stabilitě, odolnosti proti opotřebení a odolnosti proti obroušení je tato slitina vhodná pro ozubená kola, části pneumatických zařízení a mechanismů. Odlitky se také hodí pro další povrchové úpravy [19].

## **ZA 12**

Je to univerzální slévárenská slitina s obsahem 12 % hliníku, která se vyznačuje tvrdostí, pevností, odolností proti korozi a obrobiteľností, kdy se slitina na nástroj nelepí. Využívá se pro gravitační lití do ocelových, pískových nebo grafitových forem se schopností odlévat tenké a tvarově složité odlitky. Další výhodou jsou poměrně nízké pořizovací náklady této slitiny [19].

## **ZA 27**

Jde o slitinu obsahující 27 % hliníku, zpracovává se litím na strojích se studenou komorou. Vyznačuje se vysokou tvrdostí, pevností, vysokou mezí kluzu, odolností proti korozi a schopností odlévat tenké a tvarově složité odlitky. Slitina se může dále tepelně zpracovávat pro lepší vlastnosti v tahu. Další výhodou je dobrá obrobiteľnost [19].

**Tab. 3** Mechanické vlastnosti slitin zinku [15]

Slitina zinku	Pevnost v tahu	Mez kluzu 0,2%	Rázová houževnatost	Pevnost ve smyku	Tvrdost	Prodloužení
	MPa	MPa	J	MPa	HB	% na 50 mm
<b>Zamak 2</b>	355	270	47	317	102	5
<b>Zamak 3</b>	280	200	58	214	83	10
<b>Zamak 5</b>	330	250	65	262	92	5
<b>Zamak 7</b>	283	221	58	214	80	13
<b>ZA 8</b>	370	220	42	275	100	8
<b>ZA 12</b>	400	300	29	296	100	5
<b>ZA 27</b>	425	370	12.8	325	120	2,5

## **2.4.4. Ostatní slitiny zinku**

### **Slitina Superloy**

Tato slitina obsahuje 7 % hliníku a 3,8 % mědi. Byla vytvořena pro tlakové lití do teplé komory. Slévárenské vlastnosti této slitiny jsou vynikající, stejně tak je tomu s mechanickými vlastnostmi [13][20].

### **ZL0610**

Jedná se o slitinu, která obsahuje 6 % hliníku a 1 % mědi, nachází využití ve sklopném lití [13].

### **ZL0210**

Slitina s obsahem 2 % hliníku a 1 % mědi se používá pro výrobu hraček, dekorační části a odlitky, které nevyžadují vynikající mechanické vlastnosti [13].

### **ACuZinc 5**

Je to slitina zinku, která má vynikající vlastnosti, jako je pevnost, tvrdost a deformační vlastnosti. Odlitky ze slitiny ACuZinc 5 se odlévají technologií lití pod tlakem do horké komory [13][20].

### **ACuZinc 10**

Jedná se o slitinu zinku s podobnými vlastnostmi jako je ACuZinc 5, využívá se pro lití pod tlakem do studené komory [13][20].

### **Slitina KAYEM**

Tato slitina zinku se využívá pro lití pod tlakem do teplé tlakové lící komory a pro gravitační lití. Hlavní využití nachází v gravitačním lití lisovacích a formovacích nástrojů [21].

### **Slitina KS**

Jedná se o slitinu Zamak 2, která obsahuje vyšší obsah hořčíku [13].

### 3. Experimentální část

Cílem experimentální části této práce bylo zjistit vliv složení vsázky, resp. typu a množství vratu ve vsázce, na chemické složení a vybrané mechanické vlastnosti slitiny ZnAl4Cu1. Experiment vznikl ve spolupráci s firmou BENEŠ a LÁT a.s., která se zabývá výrobou vysokotlakých odlitků ze slitin zinku.

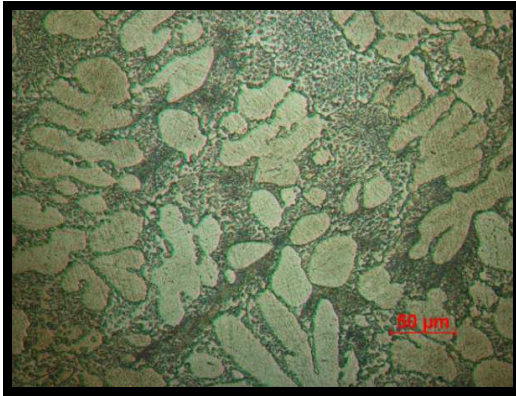
#### 3.1. Popis experimentu

Pro experiment nám byla poskytnuta firmou BENEŠ a LÁT a.s., slitina zinku ZnAl4Cu1 v pěti různých formách, a to ve formě housek (nového materiálu), dále ve formě odlitků včetně vtokových soustav, odlitků po termickém odhrocení, mastný znečištěný vrat a houska slitiny zinku, která byla přehřáta na příliš vysokou teplotu. Shrnutí typu poskytnutého materiálu a jeho vlastnosti jsou uvedeny v tab. 4.

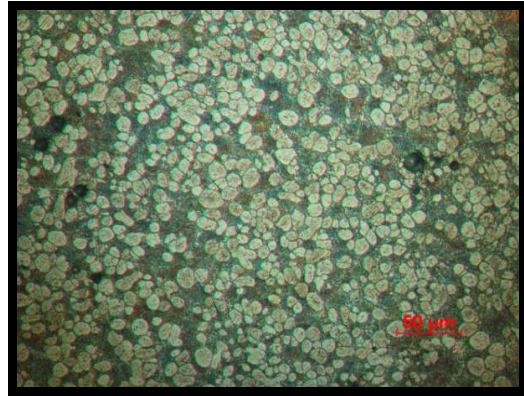
**Tab. 4** Poskytnuté šarže

Šarže	Vlastní pojmenování	Popis
Šarže 1	Čistá slitina zinku	Jedná se o nový ingot slitiny zinku ZnAl4Cu1, který je připraven pro slévárenské využití.
Šarže 2	Přehřátá slitina zinku	Slitina zinku, která byla tavena při příliš vysoké teplotě, přibližně 600 °C. Po ztuhnutí byl materiál lehce nažloutlý.
Šarže 3	Čistý vrat	Jedná se o neshodné odlitky včetně vtokové soustavy bez znečištění olejem nebo podobnou nečistotou.
Šarže 4	Znečištěný vrat	Vtokové soustavy, a zejména přetoky a odzdušnění znečištěné mastnotou.
Šarže 5	Po termickém odhrocení	Odlitky, které po termickém odhrocení neprošly kontrolou a jsou považovány za vrat.

Na obr. 6 a obr. 7 je uvedena metalografická struktura vzorku odebraného z housky nové slitiny a z tlakového odlitku. Metalografická struktura vzorků byla připravena běžným metalografickým postupem. Pro zvýraznění struktury bylo použito roztoku oxidu chromového (200 g), síranu sodného (7 g), fluoridu sodného (2 g) a destilované vody (1000 ml).



**Obr. 6** ZnAl4Cu1 metalografická  
struktura nové housky



**Obr. 7** ZnAl4Cu1 metalografická  
struktura tlakového odlitku

Všechny šarže byly postupně taveny v nových keramických kelímcích, viz obr. 8, z důvodu zachování chemického složení, což bylo velice důležité pro zkoušku na spektrometru. K tavení byla využita elektrická odporová komorová pec značky Clasic, viz obr. 9, ve které byl materiál taven při teplotě 420 °C a následně postupně odléván do dvou typů kovových forem.



**Obr. 8** Keramický kelímek



**Obr. 9** Elektrická odporová  
komorová pec značky Clasic

Před samotným odléváním do forem pro vzorky na zkoušku spektrometrem a statickou zkoušku tahem byly vždy z taveniny staženy stěry. Při tavení čistého materiálu vznikala na povrchu taveniny pouze tenká oxidická vrstva strusky. Naopak při tavení mastného a znečištěného vratu a vratu po termickém odhrocení vznikala na tavenině značná vrstva strusky, kterou bylo nutné odstranit.

Pro odlévání vzorků na zkoušku spektrometrem byla využita kovová forma ve tvaru válce, viz obr. 10, jejíž odlitek má tvar válečku o průměru 40 mm a výšce 40 mm, viz obr. 11. Na jeden váleček bylo využito přibližně 0,144 kg materiálu.



**Obr. 10** Kovová forma pro odlévání vzorků na zkoušku spektrometrem



**Obr. 11** Vzorek ve tvaru válce na zkoušku spektrometrem

Druhým typem kovové formy byla forma k odlévání vzorků pro statickou zkoušku tahem, viz obr. 12. Vzorky pro statickou zkoušku tahem jsou ve tvaru tyčí, viz obr. 13. Forma je složena celkem ze dvou částí, které k sobě byly při odlévání pevně staženy svěrkou.



**Obr. 12** Kovová forma k odlévání vzorků pro statickou zkoušku tahem



**Obr. 13** Zkušební tyče na statickou zkoušku tahem

## 3.2. Metody hodnocení

### 3.2.1. Hodnocení chemického složení

Cílem této zkoušky je zjistit, jakým způsobem se mění chemické složení slitin zinku u jednotlivých šarží.

Pro metodu hodnocení chemického složení byl využit stolní jiskrový optický emisní spektrometr Q4 Tasman, viz obr. 14.



**Obr. 14** Spektrometr Q4 Tasman

Spektrometr Q4 Tasman je určen výhradně pro analýzu chemického složení kovových materiálů. Není možné na tomto spektrometru odjiskřovat jiné materiály.

Před samotnou analýzou vzorku je nutné zvolit v ovládacím programu správný kalibrační program, který nastaví spektrometr tak, aby za každých podmínek poskytoval správné hodnoty.

K měření byla využita tabulka koncentrací s nominálními hodnotami standardu RZn 11/3 metoda Zn130, viz tab. 5, která se nejvíce podobá chemickému složení slitin zinku Zamak.

**Tab. 5** Nominální hodnoty standardu RZn 11/3 metoda Zn130

Prvek	Koncentrace	
	min [%]	max [%]
Olovo	0,0050	0,03
Hořčík	0,0005	0,12
Hliník	2,0000	7,50
Kadmium	0,0002	0,03
Cín	0,0020	0,01
Měď	0,0010	7,00
Železo	0,0020	0,07
Mangan	0,0002	0,10
Nikl	0,0010	0,03
Bismut	0,0020	0,02
Cer	0,0030	0,06
Chrom	0,0020	0,01
Křemík	0,0020	0,02
Titan	0,0002	0,02



Pro měření na spektrometru je velmi důležitá pečlivá příprava vzorků. Aby spektrometr poskytoval správné a přesné výsledky, musí být měřené vzorky kvalitní a čisté. Základními požadavky na vzorek jsou:

- **Pevnost** - ve vzorku se nesmí nacházet trhliny, bubliny či nečistoty. Vzorek musí být tuhý a nesmí být porézní.
- **Homogenita** - vzorek musí být v celém svém objemu homogenní.
- **Povrch** - povrch vzorku musí být rovný, čistý, suchý a nesmí být zoxidovaný. Vzorek musí být větší než otvor v jiskřišti.
- **Čistota** - veškeré nečistoty, které zůstanou na povrchu vzorku, mají vliv na výsledky analýzy.
- **Tloušťka** - je nutné, aby měl vzorek minimální tloušťku alespoň 3 mm.

Dříve než je vzorek vložen mezi elektrody spektrometru, je nutné zbrousit jeho povrch tak, aby byly odstraněny všechny nečistoty a byla dosažena rovnost povrchu vzorku. Pro tento účel byla využita *stolní bruska HK200*, viz obr. 15, pro broušení spektrometrických vzorků.



**Obr. 15** Přenosná talířová bruska HK200

Před odjiskřováním je důležité nechat spektrometr dostatečně dlouho zapnutý, aby se klimatizační jednotka stabilizovala na teplotu optiky. V závislosti na okolní teplotě je to přibližně 1 až 4 hodiny. Redukční ventil na láhvi argonu musí být otevřený, aby argon mohl proudit do spektrometru. Na výstupu redukčního ventilu musí být nastaven správný tlak, což je 3 bary. V té době, než se spektrometr připraví k měření, je možné v počítači otevřít program QMatrix a zvolit odpovídající kalibrační program.

Na přední části spektrometru je *analytický stativ*, viz obr. 16, který se skládá z pneumatického přitlaku vzorků (katody), jež umožňuje pevné uchycení vzorku různé výšky, dále z analytického stativu s horní deskou a analytickým otvorem, pod nímž je umístěna elektroda.

Před každým měřením a vždy po jeho skončení je vhodné očistit hrot elektrody čistítkem, které je dodané ke spektrometru. Vzniklé nečistoty na horní desce se odstraňují papírovým nebo plátěným ubrouskem. Důležité je, aby se do stativu nedostaly žádné nečistoty.

Správně připravený vzorek se vkládá mezi katodu a anodu spektrometru, tak aby analyzované místo zcela překrývalo otvor v analytickém stativu. Pneumatickým přitlakem vzorku je tento vzorek dostatečně upevněn, aby se nemohl hýbat. Tlačítkem na spektrometru nebo klávesou F2 je spuštěna analýza.

V praxi se provádí alespoň tři měření na jednom vzorku pro dosažení co nejpřesnějších výsledků. Všechny naměřené hodnoty jsou zaznamenány v programu QMatrix.

V rámci experimentu byly pro každou z pěti šarží připraveny tři vzorky, na kterých byla provedena tři měření, viz obr. 17, tedy pokud měření nevykazovalo velké odchylky oproti ostatním. V tom případě bylo chybné měření odstraněno z databáze a bylo provedeno měření nové. Pro každou šarži tedy bylo získáno devět hodnot a z nich byla vypočtena střední hodnota.



**Obr. 16** Analytický stativ



**Obr. 17** Vzorky po měření na spektrometru

## Naměřené hodnoty

**Tab. 6** Naměřené hodnoty chemického složení pro šarži 1 - čistá slitina zinku

Šarže 1 - čistá slitina zinku								
číslo měření	Pb	Mg	Al	Cd	Fe	Sn	Cu	Mn
	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.0048	0.054	4.069	<0.0002	0.0044	0.013	0.948	0.00060
2.	0.0052	0.048	4.000	<0.0002	0.0038	0.0061	0.961	0.00039
3.	0.0050	0.050	4.029	<0.0002	0.0035	0.0098	0.979	0.00057
4.	0.0050	0.048	4.118	<0.0002	0.0035	0.0060	0.996	0.00063
5.	0.0048	0.048	4.104	<0.0002	0.0052	0.0092	0.979	0.00074
6.	0.0051	0.048	4.098	<0.0002	0.0039	0.0081	0.976	0.00050
7.	0.0048	0.048	4.125	<0.0002	0.0038	0.012	0.997	0.00049
8.	0.0050	0.049	4.098	<0.0002	0.0030	0.0074	0.994	0.00064
9.	0.0050	0.047	4.017	<0.0002	0.0036	0.0079	0.967	0.00056
<b>střed. hod.</b>	<b>0.0050</b>	<b>0.049</b>	<b>4.073</b>	<b>&lt;0.0002</b>	<b>0.0039</b>	<b>0.0088</b>	<b>0.977</b>	<b>0.00057</b>
číslo měření	Ni	Ti	Bi	Ce	Cr	Si	La	Zn
	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.0023	0.0011	0.0026	0.0049	<0.002	0.0049	<0.002	94.88
2.	<0.002	0.00088	<0.002	<0.003	<0.002	0.0047	<0.002	94.95
3.	0.0027	0.00088	<0.002	0.0048	<0.002	0.0046	<0.002	94.90
4.	0.0023	0.00095	<0.002	0.0035	<0.002	0.0045	<0.002	94.80
5.	0.0032	0.00094	<0.002	0.0044	<0.002	0.0050	<0.002	94.82
6.	<0.002	0.0010	0.0025	0.0043	<0.002	0.0047	<0.002	94.83
7.	0.0021	0.0012	0.0024	0.0037	<0.002	0.0051	<0.002	94.78
8.	0.0023	0.0010	0.0027	0.0048	<0.002	0.0049	<0.002	94.81
9.	<0.002	0.0011	<0.002	0.0040	<0.002	0.0047	<0.002	94.92
<b>střed. hod.</b>	<b>0.0023</b>	<b>0.0010</b>	<b>0.0022</b>	<b>0.0042</b>	<b>&lt;0.002</b>	<b>0.0048</b>	<b>&lt;0.002</b>	<b>94.85</b>

**Tab. 7** Naměřené hodnoty chemického složení pro šarži 2 - přehřátá slitina zinku

Šarže 2 - přehřátá slitina zinku								
číslo měření	Pb	Mg	Al	Cd	Fe	Sn	Cu	Mn
	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.0056	0.045	3.804	0.00063	0.0076	0.0037	0.969	0.00060
2.	0.0050	0.046	3.916	0.00075	0.0049	0.0048	0.960	0.00069
3.	0.0053	0.047	3.859	0.00068	0.0052	0.0037	0.977	0.00072
4.	0.0050	0.045	3.885	0.00071	0.0052	0.0061	0.978	0.00065
5.	0.0048	0.043	3.718	0.00065	0.0042	0.0035	0.997	0.00059
6.	0.0048	0.047	4.022	0.00069	0.0055	0.0052	1.020	0.00075
7.	0.0052	0.047	4.065	0.00075	0.031	0.0037	0.982	0.00088
8.	0.0049	0.048	3.922	0.00071	0.013	0.0054	0.982	0.00060
9.	0.0054	0.047	3.945	0.00071	0.0090	0.0041	0.973	0.00059
<b>střed. hod.</b>	<b>0.0051</b>	<b>0.046</b>	<b>3.904</b>	<b>0.00070</b>	<b>0.0095</b>	<b>0.0045</b>	<b>0.982</b>	<b>0.00067</b>
číslo měření	Ni	Ti	Bi	Ce	Cr	Si	La	Zn
	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	<0.002	0.0012	<0.002	0.0033	<0.002	0.0038	<0.002	95.14
2.	0.0025	0.0011	0.0030	0.0068	0.0022	0.0045	<0.002	95.03
3.	<0.002	0.0012	0.0026	0.0063	0.0025	0.0046	<0.002	95.07
4.	0.0030	0.0012	0.0024	0.0055	0.0022	0.0062	<0.002	95.04
5.	0.0028	0.0012	0.0026	0.0047	0.0022	0.0047	<0.002	95.20
6.	0.0028	0.0012	0.0028	0.0083	0.0022	0.0046	<0.002	94.86
7.	0.0037	0.0012	0.0029	0.0056	0.0052	0.0053	<0.002	94.83
8.	<0.002	0.0011	<0.002	0.0071	0.0038	0.0046	<0.002	95.00
9.	0.0027	0.0010	<0.002	0.0071	0.0030	0.0047	<0.002	94.98
<b>střed. hod.</b>	<b>0.0026</b>	<b>0.0012</b>	<b>0.0025</b>	<b>0.0057</b>	<b>0.0028</b>	<b>0.0048</b>	<b>&lt;0.002</b>	<b>95.02</b>

**Tab. 8** Naměřené hodnoty chemického složení pro šarži 3 - čistý vrat

Šarže 3 - čistý vrat								
číslo měření	Pb	Mg	Al	Cd	Fe	Sn	Cu	Mn
	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.0050	0.045	4.006	0.00033	0.0029	<0.002	0.967	0.00043
2.	0.0049	0.049	4.209	0.00051	0.0026	0.0031	1.003	0.00056
3.	0.0049	0.047	4.135	0.00044	<0.002	0.0058	1.003	0.00043
4.	0.0051	0.048	4.195	0.00046	0.0029	0.0064	1.020	0.00062
5.	0.0051	0.048	4.142	0.00043	0.0021	0.0063	0.986	0.00066
6.	0.0052	0.048	4.130	0.00045	0.0024	0.0045	0.989	0.00053
7.	0.0048	0.046	4.050	0.00037	0.0024	0.0063	0.961	0.00037
8.	0.0048	0.048	4.147	0.00048	0.0023	0.0065	0.975	0.00043
9.	0.0050	0.049	4.257	0.00053	0.0028	0.0089	1.011	0.00055
<b>střed. hod.</b>	<b>0.0050</b>	<b>0.048</b>	<b>4.141</b>	<b>0.00044</b>	<b>0.0025</b>	<b>0.0055</b>	<b>0.991</b>	<b>0.00051</b>
číslo měření	Ni	Ti	Bi	Ce	Cr	Si	La	Zn
	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.0021	0.00091	<0.002	<0.003	<0.002	0.0045	<0.002	94.95
2.	0.0025	0.0012	0.0028	0.0070	<0.002	0.0049	<0.002	94.69
3.	0.0033	0.00098	0.0021	0.0031	<0.002	0.0052	<0.002	94.78
4.	0.0032	0.0011	0.0032	0.0065	<0.002	0.0051	<0.002	94.69
5.	<0.002	0.00089	0.0021	0.0042	<0.002	0.0048	<0.002	94.78
6.	0.0027	0.0011	0.0028	0.0044	<0.002	0.0051	<0.002	94.79
7.	<0.002	0.0011	<0.002	0.0045	<0.002	0.0051	<0.002	94.90
8.	0.0029	0.0010	0.0022	0.0051	<0.002	0.0052	<0.002	94.79
9.	0.0024	0.0012	0.0030	0.0069	<0.002	0.0051	<0.002	94.63
<b>střed. hod.</b>	<b>0.0026</b>	<b>0.0011</b>	<b>0.0025</b>	<b>0.0050</b>	<b>&lt;0.002</b>	<b>0.0050</b>	<b>&lt;0.002</b>	<b>94.78</b>

**Tab. 9** Naměřené hodnoty chemického složení pro šarži 4 - znečištěný vrat

Šarže 4 - znečištěný vrat								
číslo měření	Pb	Mg	Al	Cd	Fe	Sn	Cu	Mn
	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.0052	0.0046	4.192	0.00073	<0.002	0.020	1.020	0.00063
2.	0.0051	0.0048	4.211	0.00075	0.0024	0.020	1.001	0.00038
3.	0.0048	0.0047	4.237	0.00065	0.0021	0.020	1.030	0.00045
4.	0.0049	0.0047	4.163	0.00068	<0.002	0.020	1.027	0.00052
5.	0.0053	0.0045	4.068	0.00061	<0.002	0.023	0.998	0.00048
6.	0.0056	0.0048	4.244	0.00070	<0.002	0.025	1.018	0.00069
7.	0.0052	0.0046	4.106	0.00061	0.0021	0.020	1.001	0.00040
8.	0.0049	0.0046	4.141	0.00062	<0.002	0.019	1.005	0.00038
9.	0.0050	0.0046	4.221	0.00075	<0.002	0.020	1.017	0.00055
<b>střed. hod.</b>	<b>0.0051</b>	<b>0.0047</b>	<b>4.176</b>	<b>0.00068</b>	<b>0.0021</b>	<b>0.021</b>	<b>1.013</b>	<b>0.00050</b>
číslo měření	Ni	Ti	Bi	Ce	Cr	Si	La	Zn
	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.0025	0.0010	0.0030	0.0048	<0.002	0.0046	<0.002	94.68
2.	0.0032	0.00096	0.0021	0.0066	<0.002	0.0053	<0.002	94.68
3.	<0.002	0.00097	0.0029	0.0051	<0.002	0.0049	<0.002	94.63
4.	<0.002	0.00093	0.0025	0.0061	<0.002	0.0046	<0.002	94.70
5.	<0.002	0.00084	<0.002	0.0030	<0.002	0.0046	<0.002	94.83
6.	0.0028	0.0011	0.0026	0.0048	<0.002	0.0050	<0.002	94.63
7.	0.0024	0.00096	0.0021	0.0062	<0.002	0.0046	<0.002	94.79
8.	<0.002	0.0012	<0.002	0.0032	<0.002	0.0046	<0.002	94.75
9.	0.0024	0.0013	0.0025	0.0058	<0.002	0.0049	<0.002	94.65
<b>střed. hod.</b>	<b>0.0024</b>	<b>0.0010</b>	<b>0.0024</b>	<b>0.0051</b>	<b>&lt;0.002</b>	<b>0.0048</b>	<b>&lt;0.002</b>	<b>94.70</b>

**Tab. 10** Naměřené hodnoty chemického složení pro šarži 5 - po termickém odhrocení

Šarže 5 - po termickém odhrocení								
číslo měření	Pb	Mg	Al	Cd	Fe	Sn	Cu	Mn
	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.0050	0.043	4.106	0.00060	<0.002	0.0043	0.977	0.00053
2.	0.0048	0.046	4.218	0.00082	0.0021	0.0082	1.003	0.00062
3.	0.0049	0.048	4.234	0.00075	<0.002	0.0055	1.014	0.00062
4.	0.0050	0.047	4.252	0.00068	0.0023	0.0040	0.977	0.00039
5.	0.0051	0.045	4.097	0.00060	<0.002	0.0027	0.997	0.00038
6.	0.0052	0.048	4.215	0.00066	<0.002	0.0077	1.004	0.00058
7.	0.0048	0.046	4.136	0.00071	<0.002	0.0056	0.998	0.00049
8.	0.0050	0.048	4.328	0.00072	0.0022	0.0057	1.033	0.00056
9.	0.0051	0.046	4.257	0.00063	<0.002	0.0050	0.976	0.00053
<b>střed. hod.</b>	<b>0.0050</b>	<b>0.046</b>	<b>4.205</b>	<b>0.00069</b>	<b>0.0021</b>	<b>0.0054</b>	<b>0.995</b>	<b>0.00052</b>
číslo měření	Ni	Ti	Bi	Ce	Cr	Si	La	Zn
	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.0021	0.0012	<0.002	0.0038	<0.002	0.0043	<0.002	94.83
2.	0.0034	0.0011	0.0038	0.0060	<0.002	0.0051	<0.002	94.68
3.	0.0023	0.0011	0.0023	0.0070	<0.002	0.0051	<0.002	94.66
4.	0.0023	0.0012	0.0021	0.0041	<0.002	0.0047	<0.002	94.68
5.	<0.002	0.00099	<0.002	0.0052	<0.002	0.0047	<0.002	94.84
6.	0.0027	0.0012	0.0026	0.0042	<0.002	0.0045	<0.002	94.69
7.	0.0027	0.0010	0.0021	0.0057	<0.002	0.0045	<0.002	94.78
8.	0.0027	0.0011	0.0044	0.0080	<0.002	0.0052	<0.002	94.54
9.	0.0023	0.0010	0.0025	0.0046	<0.002	0.0050	<0.002	94.58
<b>střed. hod.</b>	<b>0.0025</b>	<b>0.0011</b>	<b>0.0026</b>	<b>0.0054</b>	<b>&lt;0.002</b>	<b>0.0048</b>	<b>&lt;0.002</b>	<b>94.71</b>

Pro zajímavost bylo zjišťováno chemické složení stěru, odebraného z taveniny připravované ze vzorku mastného a znečištěného vratu (označeno šarže 6).

Podle Evropské normy ČSN EN 12844, viz tab. 12, je zřejmé, že i tento stěr je stále vyhovující až na množství hliníku, to však neodpovídá Evropské normě ČSN EN 12844 pouze o 0,004 % celkového chemického složení slitiny. Je zde patrný úbytek hliníku a mědi, naopak přírůstek křemíku a hořčíku.

**Tab. 11** Naměřené hodnoty chemického složení pro vzorek strusky ze znečištěného vratu

Vzorek: struska ze znečištěného vratu								
číslo měření	Pb	Mg	Al	Cd	Fe	Sn	Cu	Mn
	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.0052	0.051	3.799	0.00062	0.0052	0.0038	0.930	0.00070
2.	0.0050	0.070	3.772	0.00063	0.012	0.013	0.877	0.0011
3.	0.0050	0.077	3.518	0.00047	0.012	0.0064	0.813	0.0011
<b>střed. hod.</b>	<b>0.0051</b>	<b>0.066</b>	<b>3.696</b>	<b>0.00057</b>	<b>0.0097</b>	<b>0.0077</b>	<b>0.873</b>	<b>0.0031</b>
číslo měření	Ni	Ti	Bi	Ce	Cr	Si	La	Zn
	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.0029	0.0014	<0.002	0.0050	<0.002	0.0068	<0.002	95.17
2.	0.0022	0.0015	0.0029	0.0057	0.0024	0.011	<0.002	95.21
3.	0.0042	0.0015	0.0032	0.0079	<0.002	0.0089	<0.002	95.53
<b>střed. hod.</b>	<b>0.0031</b>	<b>0.0015</b>	<b>0.0027</b>	<b>0.0062</b>	<b>0.0021</b>	<b>0.0089</b>	<b>&lt;0.002</b>	<b>95.30</b>

**Tab. 12** Evropská norma ČSN EN 12844 pro slitinu zinku ZnAl4Cu1 [15]

prvek	Al	Cu	Mg	Cr	Ti	Pb	Cd	Sn	Fe	Ni	Si	Zn
<b>min.</b>	3.7	0.7	0.025	-	-	-	-	-	-	-	-	zbytek
<b>max.</b>	4.3	1.2	0.06	-	-	0.005	0.005	0.002	0.05	0.02	0.03	



## Porovnání středních hodnot jednotlivých měření

Tab. 13 Střední hodnoty chemického složení všech šarží

prvky	Šarže 1 [%]	Šarže 2 [%]	Šarže 3 [%]	Šarže 4 [%]	Šarže 5 [%]	Šarže 6 [%]	Evropská norma ČSN EN 12844
<b>Al</b>	4.073	3.904	4.141	4.176	4.205	3.696	<b>3.7 4.3</b>
<b>Cu</b>	0.977	0.982	0.991	1.013	0.995	0.873	<b>0.7 1.2</b>
<b>Mg</b>	0.049	0.046	0.048	0.047	0.046	0.066	<b>0.025 0.06</b>
<b>Si</b>	0.0048	0.0048	0.0050	0.0048	0.0048	0.0089	- <b>0.03</b>
<b>Ni</b>	0.0023	0.0026	0.0026	0.0024	0.0025	0.0031	- <b>0.02</b>
<b>Cd</b>	<0.0002	0.0007	0.00044	0.00068	0.00069	0.00057	- <b>0.005</b>
<b>Fe</b>	0.0039	0.0095	0.0025	0.0021	0.0021	0.0097	- <b>0.05</b>
<b>Sn</b>	0.0088	0.0045	0.0055	0.021	0.0054	0.0077	- <b>0.002</b>
<b>Pb</b>	0.0050	0.0051	0.0050	0.0051	0.0050	0.0051	- <b>0.005</b>
<b>Mn</b>	0.00057	0.00067	0.00051	0.00050	0.00052	0.00097	- -
<b>Ti</b>	0.0010	0.0012	0.0011	0.0010	0.0011	0.0015	- -
<b>Bi</b>	0.0022	0.0025	0.0025	0.0024	0.0026	0.0027	- -
<b>Ce</b>	0.0042	0.0057	0.0050	0.0051	0.0054	0.0062	- -
<b>Cr</b>	<0.0020	0.0028	<0.0020	<0.0020	<0.0020	0.0021	- -
<b>La</b>	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020	- -
<b>Zn</b>	94.85	95.02	94.78	94.70	94.71	95.30	<b>zbytek</b>

Z tabulky, která obsahuje vypočtené střední hodnoty z hodnot naměřených u jednotlivých šarží a hodnoty dané Evropskou normu ČSN EN 12844, je zřejmé, že chemické složení u všech šarží je velice podobné a souhlasí s Evropskou normou ČSN EN 12844. Na základě experimentu lze konstatovat, že složení vsázky (množství a typ vratu) nemá vliv na chemické složení taveniny. Chemické složení se výrazně nezměnilo

ani při opětovném roztavení slitiny, která byla již jednou přehřáta na vyšší teplotu (šarže 2).

### 3.2.2. Statická zkouška tahem

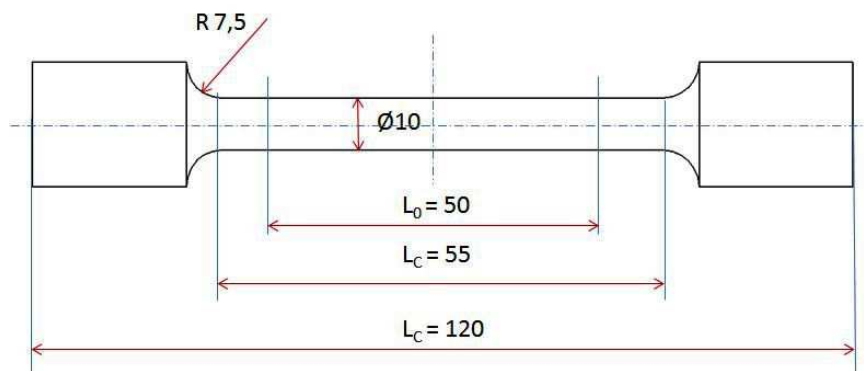
Zkouška pevnosti v tahu neboli statická zkouška tahem patří mezi základní a nejrozšířenější mechanické zkoušky. Cílem této zkoušky je zjistit, jakým způsobem se mění pevnostní charakter slitin zinku u jednotlivých vzorků. Statická zkouška tahem byla provedena na stroji *TIRA test 2300*, viz obr. 18. Zkušební tyče jsou pevně upnuty mezi čelisti trhačího stroje *TIRA test 2300*, viz obr. 19, a zatěžovány jednoosým tahovým zatížením. V našem případě je nastavena rychlost zatěžování na 5 mm/min. Zatěžování probíhá až do doby, než dojde k přerušení materiálu.



**Obr. 18** Trhačí stroj TIRA test 2300



**Obr. 19** Upnutí vzorku mezi čelisti trhačího stroje



**Obr. 20** Rozměry zkušební tyče

Pro každou z pěti šarží tavenin bylo odlito deset zkušebních tyčí, které byly dále soustružením upraveny do přesných rozměrů, viz obr. 20. Naměřené hodnoty statické zkoušky tahem jsou uvedeny v tabulce č. 14 až č. 18.

## Naměřené hodnoty

**Tab. 14** Naměřené hodnoty pevnosti pro šarži 1 - čistá slitina zinku

Šarže 1 - čistá slitina zinku			
Číslo měření	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A50mm %
1.	185	239	1.9
2.	186	241	1.9
3.	182	236	1.9
4.	186	242	1.9
5.	187	243	1.9
6.	187	232	1.9
7.	190	240	1.9
<b>Střední hodnota</b>	<b>186</b>	<b>239</b>	<b>1.9</b>

**Tab. 15** Naměřené hodnoty pevnosti pro šarži 2 - přehřátá slitina zinku

Šarže 2 - přehřátá slitina zinku			
Číslo měření	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A50mm %
1.	174	238	1.9
2.	180	241	1.8
3.	182	242	1.8
4.	185	243	1.7
5.	182	238	1.7
6.	187	244	1.7
7.	181	239	1.7
<b>Střední hodnota</b>	<b>182</b>	<b>241</b>	<b>1.8</b>

**Tab. 16** Naměřené hodnoty pevnosti pro šarži 3 - čistý vrat

Šarže 3 - čistý vrat			
Číslo měření	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A50mm %
1.	183	252	2.1
2.	194	251	2.0
3.	190	249	2.0
4.	198	255	1.9
5.	194	255	2.0
6.	190	248	2.0
7.	194	254	2.0
<b>Střední hodnota</b>	<b>192</b>	<b>252</b>	<b>2.0</b>

**Tab. 17** Naměřené hodnoty pevnosti pro šarži 4 - znečištěný vrat

Šarže 4 - znečištěný vrat			
Číslo měření	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A50mm %
1.	175	244	1.7
2.	174	245	1.7
3.	170	243	1.8
4.	175	248	1.7
5.	171	245	1.8
6.	180	249	1.6
7.	174	250	1.8
<b>Střední hodnota</b>	<b>174</b>	<b>246</b>	<b>1.7</b>

**Tab. 18** Naměřené hodnoty pevnosti pro šarži 5 - po termickém odhrocení

<b>Šarže 5 - po termickém odhrocení</b>			
<b>Číslo měření</b>	<b>Rp0.2 MPa</b>	<b>Rm MPa</b>	<b>A50mm %</b>
1.	187	249	1.8
2.	188	248	1.8
3.	190	254	1.8
4.	191	250	1.7
5.	188	246	1.7
6.	194	254	1.7
7.	188	244	1.7
<b>Střední hodnota</b>	<b>189</b>	<b>249</b>	<b>1.7</b>

### Porovnání středních hodnot jednotlivých měření

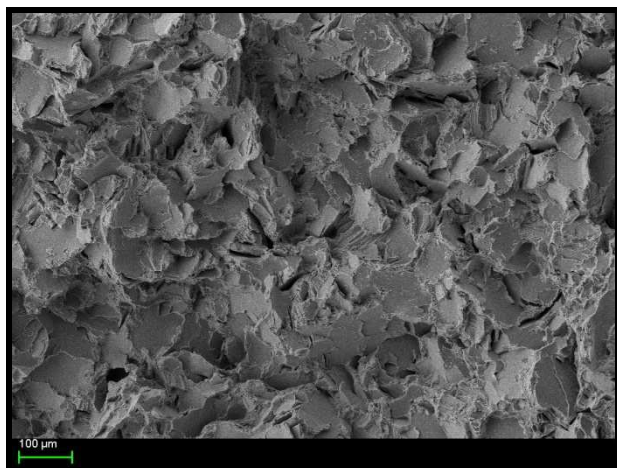
**Tab. 19** Střední hodnoty ze statické zkoušky tahem pro všechny šarže

<b>Šarže</b>	<b>Rp0.2 MPa</b>	<b>Rm MPa</b>	<b>A50mm %</b>
Šarže 1	186	239	1.9
Šarže 2	182	241	1.8
Šarže 3	192	252	2.0
Šarže 4	174	246	1.7
Šarže 5	189	249	1.7
<b>Maximální odchylka</b>	<b>18</b>	<b>13</b>	<b>0,3</b>

Z naměřených hodnot vyplývá, že vliv vsázky z hlediska typu vratu a jeho množství se na pevnosti v tahu výrazně neprojevil. U vzorků připravených z nové housky (šarže 1) byla zjištěna pevnost v tahu 239 MPa a u vzorků připravených z vratu (šarže 3) byla hodnota 252 MPa, tj. rozdíl v pevnosti v tahu činí 13 MPa. Vzorky šarže 2 (materiál, který byl již jednou roztavený a přehřátý na teplotu 600°C) vykazují obdobné mechanické vlastnosti jako vzorky šarže 1 (z nové housky). Rozdíly hodnot tažnosti u jednotlivých šarží jsou zanedbatelné.

V této souvislosti je nutné poznamenat, že pokud se u zkušební vzorku ve struktuře vyskytuje pomezí, jsou rozdíly pevnosti v tahu mnohdy výrazně vyšší. Výsledky experimentu do jisté míry potvrzují předpoklad, který vycházel ze zkušeností sléváren hliníku, že pokud jsou vzorky připraveny z nových housek, potom mají nižší pevnost v tahu a vyšší tažnost. Naopak vzorky připravené z vratu vykazují o něco vyšší pevnost a nižší tažnost.

U všech zkušebních tyčí vznikl jemný krystalický lom, viz obr. 21.



**Obr. 21** Struktura lomu z čisté slitiny  
ZnAl4Cu1



**Obr. 22** Tvrdoměr  
WPM-308

### 3.2.3. Zkouška tvrdosti

Na vzorcích odlitých pro zkoušku spektrometrem byla provedena zkouška tvrdosti podle Brinella. Zkouška byla vykonaná na tvrdoměru WPM-308, viz obr. 22, dle normy ČSN EN ISO 6506. Vtlačovaná ocelová kalená kulička o průměru 2,5 mm byla do materiálu vtlačována silou 612,9 N.

### Naměřené hodnoty

**Tab. 20** Naměřené hodnoty tvrdosti

Číslo měření	Šarže 1	Šarže 2	Šarže 3	Šarže 4	Šarže 5
	HB	HB	HB	HB	HB
1.	97	91	96	100	97
2.	99	95	98	101	94
3.	97	92	97	104	98
<b>Střední hodnota</b>	<b>98</b>	<b>93</b>	<b>97</b>	<b>102</b>	<b>96</b>

Z tabulky s naměřenými hodnotami je zřejmé, že největší tvrdosti je dosaženo u slitiny ze znečištěného vratu. Naopak nejmenší tvrdost vykazuje přehřátá slitina zinku. Podle normy ČSN 42 3560 je nejnižší tvrdost slitiny ZnAl4Cu1 85 HB. Všechny naměřené hodnoty splňují tuto normu. Na vzorcích byla provedena pouze tři měření. Další měření nebyla již prováděna, protože u jednotlivých šarží nebyly zjištěny žádné výrazné rozdíly.

## 4. Závěr

Vzhledem k teoretickému doporučení o složení vsázky při přípravě taveniny pro výrobu vysokotlakých odlitků, podle kterého se množství vratu ve vsázce má pohybovat v rozmezí od 40 do 60 %, bylo cílem této práce stanovit vliv složení vsázky, resp. množství vratu, jeho typu a znečištění na chemické složení a vybrané mechanické vlastnosti u slitiny ZnAl4Cu1.

Práce je rozdělena na teoretickou a experimentální část. V teoretické části jsou charakterizovány vlastnosti zinku a zejména jeho slitin pro odlévání. Dále je zde popsána metalurgie těchto slitin. Experimentální část byla provedena ve spolupráci s firmou BENEŠ a LÁT a.s. Jak již bylo uvedeno, jejím cílem bylo u zinkové slitiny ZnAl4Cu1 zjistit, jak se mění chemické složení taveniny v závislosti na množství a typu vratu ve vsázce. Na základě experimentu bylo zjištěno, že chemické složení všech pěti šarží bylo velmi podobné a především se shodovalo s Evropskou normou ČSN EN 12844.

Druhým cílem bylo zjistit, jaký je vliv složení vsázky na vybrané mechanické vlastnosti, tj. pevnost v tahu a tvrdost. Tento experiment prokázal, že se změnou typu vsázky ve sledovaném rozsahu dochází jen k nepatrným až zanedbatelným změnám pevnosti v tahu. Pevnost v tahu se pohybovala v rozmezí 239 MPa až 252 MPa.

U zkoušky tvrdosti podle Brinella bylo prokázáno, že se tvrdost u všech šarží shoduje s normou. Rozdíly tvrdostí u všech šarží byly relativně malé a pohybovaly se v rozmezí 93 HB až 102 HB.

Experiment provedený v mé bakalářské práci prokázal, že vliv složení vsázky (množství a typ vratu) nemá u slitiny ZnAl4Cu1 významný vliv na chemické složení a mechanické vlastnosti zkušebních vzorků. Pro další přínos by bylo zajímavé sledovat vliv vsázky na takové technologické vlastnosti, jako např. zabíhavost a sklon ke stahování.

Tato práce by mohla být přínosem pro všechny firmy zaměřené na výrobu odlitků ze slitin zinku, protože v praxi se stále hledá vhodný poměr mezi množstvím vratu a novým (čistým) materiálem.



## 5. Seznam použité literatury

- [1] BOGNER, Stephan. A Long Look At Zinc. In: [online]. [cit. 2014-06-28]. Dostupné z: <http://www.investing.com/analysis/a-long-look-at-zinc-125702>
- [2] INTERNATIONAL ZINC ASSOCIATION. History of Zinc. [online]. ©2011 [cit. 2014-06-28]. Dostupné z: [http://www.zinc.org/basics/history\\_of\\_zinc](http://www.zinc.org/basics/history_of_zinc)
- [3] ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 148 s. ISBN 80-214-2790-6.
- [4] BENEŠ, Libor. *Technické materiály (nejen) pro dopravní techniku*. Vyd. 1. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2010, 203 s. ISBN 978-80-7395-248-8.
- [5] VÁCLAV MACHEK, Jaromír Sodomka. *Nauka o materiálu 3. část: Speciální kovové materiály*. Vyd. 1. V Praze: České vysoké učení technické, 2008, 118 s. ISBN 80-010-4212-X.
- [6] VOJTĚCH, Dalibor. *Kovové materiály*. 1. vyd. Praha: VŠCHT, 2006, 185 s. ISBN 80-708-0600-1.
- [7] File:Zinc fragment sublimed and 1cm3 cube.jpg. In: [online]. [cit. 2014-06-28]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Zinc\\_fragment\\_sublimed\\_and\\_1cm3\\_cube.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Zinc_fragment_sublimed_and_1cm3_cube.jpg)
- [8] AMERICAN ELEMENTS. Zinc. In: [online]. ©1998-2014 [cit. 2014-06-28]. Dostupné z: <http://www.americanelements.com/zn.html>
- [9] INTERNATIONAL ZINC ASSOCIATION. Zinc - Natural Occurrence. [online]. ©2011 [cit. 2014-06-28]. Dostupné z: [http://www.zinc.org/basics/history\\_of\\_zinc](http://www.zinc.org/basics/history_of_zinc)
- [10] ZINEK (Zincum). In: [online]. [cit. 2014-06-28]. Dostupné z: <http://www.nom.wz.cz/KOVY/zinek.htm>
- [11] File:Sfaleryt, Rumunia.jpg. In: [online]. 2014 [cit. 2014-06-28]. Dostupné z: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sfaleryt,\\_Rumunia.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sfaleryt,_Rumunia.jpg)
- [12] Flotace. In: [online]. [cit. 2014-06-28]. Dostupné z: [http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-001/hesla/flotace.html](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/flotace.html)

- [13] KRÝSLOVÁ, Stanislava. *Sledování slévárenských vlastností slitin zinku pro výrobu odlitků*. Liberec, 2008. Disertační práce. TU v Liberci.
- [14] GRÍGEROVÁ, Tatiana, Ivan LUKÁČ a Rudolf KOŘENÝ. *Zlívárstvo neželezných kovov*. 2. vyd. Košice : Vysoká škola technická: Alfa, 1988, 424 s.
- [15] ČSN EN 12844. *Zinek a slitiny zinku - Odlitky - Specifikace*. Praha: Český normalizační institut, 2000, 12 s.
- [16] VALECKÝ, Jindřich et al. *Lití kovů pod tlakem*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963, 450 s.
- [17] INTERNATIONAL ZINC ASSOCIATION. Zinc casting alloys. In: [online]. ©2011 [cit. 2014-06-28]. Dostupné z: [http://www.zinc.org/general/zinc\\_alloys\\_description.pdf](http://www.zinc.org/general/zinc_alloys_description.pdf)
- [18] BROCK METALS S.R.O. History. In: [online]. ©2010 [cit. 2014-06-28]. Dostupné z: <http://www.mazakslovakia.sk/history.html>
- [19] EASTERN ALLOYS INC. Zinc die casting alloys. In: [online]. ©2012 [cit. 2014-06-28]. Dostupné z: <http://www.eazall.com/zinc-die-casting-alloys>
- [20] PORTER, Frank. *Zinc handbook: properties, processing, and use in design*. New York: M. Dekker, c1991, xiv, 629 p. Mechanical engineering (Marcel Dekker, Inc.), 73. ISBN 08-247-8340-9.
- [21] BROCK METALS S.R.O. KAYEM - MAZAK 2. In: [online]. ©2010 [cit. 2014-06-28]. Dostupné z: [http://www.mazakslovakia.sk/product\\_kayem-mazak2.html](http://www.mazakslovakia.sk/product_kayem-mazak2.html)

## 6. Seznam obrázků

- Obr. 1** Využití zinku [1]
- Obr. 2** Surový zinek [7]
- Obr. 3** Ruda sfaleritu [11]
- Obr. 4** Schéma pěnové flotace [12]
- Obr. 5** Rozdělení slitin zinku podle slévárenských technologií [13]
- Obr. 6** ZnAl<sub>4</sub>Cu<sub>1</sub> metalografická struktura nové housky
- Obr. 7** ZnAl<sub>4</sub>Cu<sub>1</sub> metalografická struktura tlakového odlitku
- Obr. 8** Keramický kelímek
- Obr. 9** Elektrická odporová komorová pec značky Clasic
- Obr. 10** Kovová forma pro odlévání vzorků na zkoušku spektrometrem
- Obr. 11** Vzorek ve tvaru válce na zkoušku spektrometrem
- Obr. 12** Kovová forma k odlévání vzorků pro statickou zkoušku tahem
- Obr. 13** Zkušební tyče na statickou zkoušku tahem
- Obr. 14** Spektrometr Q4 Tasman
- Obr. 15** Přenosná talířová bruska HK200
- Obr. 16** Analytický stativ
- Obr. 17** Vzorky po měření na spektrometru
- Obr. 18** Trhací stroj TIRA test 2300
- Obr. 19** Upnutí vzorku mezi čelisti trhacího stroje
- Obr. 20** Rozměry zkušební tyče
- Obr. 21** Struktura lomu z čisté slitiny ZnAl<sub>4</sub>Cu<sub>1</sub>
- Obr. 22** Tvrdoměr WPM-308

## 7. Seznam tabulek

**Tab. 1** Vlastnosti zinku [8]

**Tab. 2** Různá označení nejvíce používaných slitin zinku [13][15]

**Tab. 3** Mechanické vlastnosti slitin zinku [15]

**Tab. 4** Poskytnuté šarže

**Tab. 5** Nominální hodnoty standardu RZn 11/3 metoda Zn130

**Tab. 6** Naměřené hodnoty chemického složení pro šarži 1 - čistá slitina zinku

**Tab. 7** Naměřené hodnoty chemického složení pro šarži 2 - přehřátá slitina zinku

**Tab. 8** Naměřené hodnoty chemického složení pro šarži 3 - čistý vrat

**Tab. 9** Naměřené hodnoty chemického složení pro šarži 4 - znečištěný vrat

**Tab. 10** Naměřené hodnoty chemického složení pro šarži 5 - po termickém odhrocení

**Tab. 11** Naměřené hodnoty chemického složení pro vzorek strusky ze znečištěného vratu

**Tab. 12** Evropská norma ČSN EN 12844 pro slitinu zinku ZnAl4Cu1 [15]

**Tab. 13** Střední hodnoty chemického složení všech šarží

**Tab. 14** Naměřené hodnoty pevnosti pro šarži 1 - čistá slitina zinku

**Tab. 15** Naměřené hodnoty pevnosti pro šarži 2 - přehřátá slitina zinku

**Tab. 16** Naměřené hodnoty pevnosti pro šarži 3 - čistý vrat

**Tab. 17** Naměřené hodnoty pevnosti pro šarži 4 - znečištěný vrat

**Tab. 18** Naměřené hodnoty pevnosti pro šarži 5 - po termickém odhrocení

**Tab. 19** Střední hodnoty ze statické zkoušky tahem pro všechny šarže

**Tab. 20** Naměřené hodnoty tvrdosti