



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA A POUŽITÍ ODLITKŮ ZE ZINKOVÝCH SLITIN

PRODUCTION AND USE OF ZINC ALLOY CASTINGS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Pavel Odehnal

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vítězslav Pernica, Ph.D.

BRNO 2022

## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Pavel Odehnal**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Vítězslav Pernica, Ph.D.**  
Akademický rok: 2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### Výroba a použití odlitků ze zinkových slitin

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Slitiny na bázi zinku nabízejí řadu vlastností, díky kterým jsou zvláště atraktivní obecně pro zpracování slévárenskými technologiemi, zvláště pak tlakovým litím. Z neželezných kovů přinášejí tyto slitiny zajímavé vlastnosti, které převyšují vlastnosti ostatních (slitiny hořčíku, hliníku, mědi). Mezi výhody zinku patří zejména slévateľnost, např. tlakově lité součásti mohou být tenčí a složitější. Z pohledu metalurgie je celkový proces výroby kratší a tím i ekonomičtější. Přes některá omezení jsou odlitky ze zinkových slitin využívány v mnoha odvětvích průmyslu. Úkolem práce bude zpracovat různá odvětví výroby odlitků ze zinkových slitin včetně jejich využití .

#### Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem je provést literární rešerši na téma "Výroba a použití odlitků ze zinkových slitin". Nepodmíněným vedlejším cílem je doplnění práce o experiment týkající se zinkového odlitku.

#### Seznam doporučené literatury:

CAMPBELL, J. Castings: the new metallurgy of cast metals. Second edition. Amsterdam: Elsevier Butterworth-Heinemann. Metallurgy and materials science series. 2003. ISBN 978-0-7506-4790-8.

ROUČKA, J. Metalurgie neželezných slitin. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 148 s. ISBN 80-214-2790-6.

HORÁČEK, M. Slévárenská technologie I. 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1990. 166 s. ISBN 80-214-0217-2.

PORTER, F. Zinc Handbook: Properties, Processing, and Use in Design. New York: CRC Press, 1991. 648 s. ISBN 978-08-247-8340-2.

POLA, A., M. TOCCI, F.E. GOODWIN. Review of Microstructures and Properties of Zinc Alloys. Metals [online]. 2020, 10(2) [cit. 2021-10-22]. ISSN 2075-4701. Dostupné z: doi:10.3390/met10020253

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

---

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zaměřuje na vypracování literární rešerše zabývající se výrobou zinku a jeho použití. Teoretická část je zaměřena na seznámení se způsoby výroby čistého zinku, používanými slitinami a způsobech zpracování těchto slitin. Dále jsou popsány vybrané odvětví použití odlitků v průmyslu. Práce je doplněna o experiment týkající se vyhodnocení a způsobu nápravy vznikajících vad na součásti.

### **Klíčová slova**

zinek, zinkové slitiny, ZAMAK, odlévání zinkových slitin, použití zinkových slitin

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis focuses on the development of a literature search dealing with zinc production and its applications. The theoretical part is focused on the methods of production of pure zinc, the alloys used and the methods of processing of these alloys. Furthermore, selected branches of application of castings in industry are described. The work is supplemented by an experiment concerning the evaluation and remedy of defects occurring on the component.

### **Key words**

zinc, zinc alloys, ZAMAK, the casting of zinc alloys, use of zinc alloys castings

---

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

ODEHNAL, Pavel. *Výroba a použití odlitků ze zinkových slitin* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140398>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Vítězslav Pernica.

---

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Výroba a použití odlitků ze zinkových slitin vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

.....  
místo, datum

.....  
Pavel Odehnal

---

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto vedoucímu práce Ing. Vítězslavu Pernicovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Karlu Foralovi, vedoucímu projektantovi společnosti Tenza cast a.s., za poskytnutí cenných informací z oblasti zinkových odlitků a za poskytnutí materiálů a podkladů pro zpracování praktické části bakalářské práce.

---

**OBSAH**

ÚVOD .....	9
1 Zinek a jeho vlastnosti .....	10
1.1 Vlastnosti zinku .....	10
1.1.1 Mechanické a fyzikální vlastnosti .....	10
1.1.2 Slévárenské vlastnosti .....	11
1.1.3 Chemické vlastnosti .....	11
1.2 Výroba čistého zinku .....	11
1.3 Metalurgie výroby čistého zinku .....	11
1.3.1 Pyrometalurgická metoda .....	13
1.3.2 Metoda rafinace zinku .....	14
1.3.3 Hydrometalurgická metoda .....	15
1.4 Slitiny zinku a jejich vlastnosti .....	16
1.4.1 Značení zinkových slitin .....	17
1.4.2 Souhrn vybraných druhů slitin a jejich vlastností .....	18
1.4.3 Nejpoužívanější zinkové slitiny Zamak pro tlakové lití .....	19
1.4.4 Jiné druhy zinkových slitin .....	20
1.4.5 Vliv nečistot na vlastnosti slitin zinku .....	21
2 Zpracování zinkových slitin .....	22
2.1 Tavení zinkových slitin .....	23
2.2 Technologické vlastnosti zinkových slitin .....	23
2.3 Technologie lití do pískových forem .....	24
2.4 Technologie lití na vytavitelný model .....	24
2.5 Technologie lití Tekcast .....	25
2.6 Technologie gravitačního lití do kovových forem .....	25
2.7 Technologie nízkotlakého lití do kovových forem .....	26
2.8 Technologie vysokotlakého lití do kovových forem .....	27
3 Použití odlitků ze zinkových slitin .....	29
3.1 Automobilový průmysl .....	30
3.2 Nábytkářský průmysl .....	32
3.3 Dveřní a okenní systémy .....	33
3.4 Strojní a spotřební průmysl .....	34
3.5 Elektrotechnický průmysl .....	36
3.6 Další příklady zinkových odlitků .....	37
4 Experimentální část .....	38
4.1 Mechanická zkouška a kontrola geometrie součásti .....	38
4.2 Vyhodnocení poréznosti vyráběné součásti .....	39
4.3 Úprava rozměrů a tvaru odlitku .....	41
4.4 Vyhodnocení poréznosti vyráběné součásti po úpravě geometrie .....	41
ZÁVĚR .....	43
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	44



## ÚVOD

Slévárství se řadí mezi nejstarší výrobní technologie kovových materiálů. Jedná se o výrobní proces, kdy se kovový materiál dostane do tekutého stavu a následně se odlíje do předem připravené formy.

Slitiny zinku byly známy už před naším letopočtem, avšak výroba byla zavedena mnohem později než například výroba mědi, železa, olova nebo cínu. Důvodem pozdějšího zavedení bylo tavení zinkových rud v kombinaci s uhlím, kdy při teplotě okolo 1000 °C unikal redukováný zinek v podobě par zároveň s kouřovými plyny. Výroba čistého zinku se rozběhla teprve až s příchodem kondenzace, kdy se pomocí ní podařilo získat kapalný zinek. První zmínky o vzniku prvních zinkových hutí v Evropě se objevily v 15. století, zatímco samotná průmyslová výroba započala až v 19. století. Doposud byla výroba zinku nižší, než byla výroba olova. Tento stav se změnil přibližně ve 40. letech 20. století, kdy samotná výroba zinku zvýšila oproti výrobě olova. [1]

Celosvětově se zinek zařazuje jako čtvrtý nejpoužívanější kov. Odlitky ze zinkových slitin jsou v dnešní době čím dál tím více využívány. Je to způsobeno tím, že se u některých využití klade větší důraz na úsporu hmotnosti, na druhou stranu se klade důraz na nízké náklady na výrobu a vysokou produktivitu samotných odlitků. Zinkové odlitky je možné vyrobit několika různými technologiemi. Především záleží na funkci, jakou má výsledný odlitek v budoucnu vykonávat. Podle typu vybrané technologie má výsledný odlitek různé mechanické vlastnosti. Mezi další faktory se řadí výběr správného typu slitiny. Chemické složení slitin nám dává rozdílné, jak výrobní podmínky, tak výsledné materiální vlastnosti. [2]



Obr. 1 Odlitky ze zinkových slitin.

## 1 ZINEK A JEHO VLASTNOSTI

Zinek je charakterizován jako těžký neželezný kov s nízkou teplotou tavení. Čistá forma zinku se pro výrobu odlitků téměř nepoužívá, z důvodu jeho nevyhovujících mechanických vlastností. Zinek má vlivem anizotropie různé mechanické vlastnosti v různých směrech os. Příkladem je rozdílná tepelná roztažnost zinku v hlavním směru osy, kdy ve směru kolmém na hlavní osu je tepelná roztažnost téměř 4,5krát menší. [3]

V tuhém stavu má zinek jasně bílou lehce namodralou barvu, vlivem působením vzduchu na povrchu ztrácí svůj lesk a následně šedne. Teplota tání čistého zinku je 420 °C. Krystalizuje s hexagonální krystalickou mřížkou. Při tváření zinku za studena dochází ke zpevnování, ale jen do určité míry. Po překročení dochází k opětovnému zotavení krystalické struktury (rekrytalizaci). Největší vliv na rekrytalizační teplotu čistého zinku mají nečistoty, které zhoršují výsledné mechanické a chemické vlastnosti. [3]

### 1.1 Vlastnosti zinku

Povrch zinku a jeho slitin bývá pokryt vrstvou zásaditého uhličitanu  $4Zn(OH)_2 \cdot CO_2$  šedé barvy, který jej chrání před oxidací. Zinek velmi dobře odolává působením mořské vody, organickým látkám jako je benzín, různé typy olejů a alkohol. Nepříznivý vliv na zinek má destilovaná voda, která jej rozrušuje, a velmi nepříznivý vliv má vodní pára, kyseliny a zásadité roztoky, v neposlední řadě se zinek velmi snadno rozrušuje elektrochemickou korozí za vlhka ve styku s jinými kovy. [3]

#### 1.1.1 Mechanické a fyzikální vlastnosti

Zinek se řadí mezi dobré slévárenské kovy. Pyšní se velkým množstvím užitečných vlastností, díky kterým se v průmyslu využívá. Na druhou stranu se i zde dají nalézt určité typy vlastností, které nejsou z pohledu mechanických a fyzikálních vlastností nejlepší. Čistý zinek se pro využití v průmyslovém odvětví téměř nevyužívá, právě z důvodu zhoršených mechanických vlastností. Pro zlepšení těchto vlastností se využívají slitiny, které právě jeho vlastnosti zvyšují. V tab. 1 jsou znázorněny jednotlivé mechanické a fyzikální vlastnosti čistého zinku o čistotě 99,95 % ve srovnání se slitinou o čistotě zinku 98,0 %. [4]

Tab. 1 Porovnání mechanických a fyzikálních vlastností čistot zinku [4]

Čistota zinku	99,95%	98,0%
Pevnost v tahu [MPa]	126	246
Poměrné prodloužení [%]	65	5
Modul pružnosti [MPa]	7·104	
Tvrdość podle Brinella (500 kg závaží po dobu 30 sec.)	30	
Nárazová práce [J·cm <sup>2</sup> ]	6,5-9	
Povrchové napětí taveniny při teplotě 450 °C [N·m <sup>-1</sup> ]	0,755	
Povrchové napětí taveniny při teplotě 419,5 °C [N·m <sup>-1</sup> ]	0,782	
Vizkozita taveniny při teplotě 419,5 °C [N·m <sup>-1</sup> ]	0,00385	
Rychlost zvuku při teplotě 20 °C [km·s <sup>-1</sup> ]	3,67	

### 1.1.2 Slévárenské vlastnosti

Slitiny zinku mají velmi dobré slévárenské vlastnosti, a to především u slitin ZnAl<sub>8</sub> a ZnAl<sub>11</sub>, které mají úzké pásmo tuhnutí. U těchto slitin nedochází ke vzniku mikrostaženin a pórovitosti. Z tohoto důvodu se výsledné odlitky vyznačují výbornou těsností. Zatím co u slitin se širším pásmem tuhnutí může docházet ke vzniku pórovitosti. Z důvodu nízké lící teploty zinkových slitiny v rozmezí 455-610 °C, nedochází k velkému tepelnému namáhání forem, a to jak pískových, tak i kovových. Kovové formy se vyznačují velmi vysokou životností, a to až v řádech statisíců až milionů odlití. Vlivem nízké lící teplotě nedochází v pískových formách ke vzniku plynů, které by měly nepříznivé vlastnosti na výsledný odlitek. Důležitým faktorem u slitin je jejich velmi dobrá slévateľnost a zabíhavost. Tím je myšleno, jak dobře je materiál schopen zatékat do úzkých dutin formy, a tím odlévat lze odlévat tenkostěnné a tvarově komplikované odlitky. Technologii vysokotlakého lití lze odlévat odlitky s tloušťkou stěny od 0,3 mm. [2; 5]

### 1.1.3 Chemické vlastnosti

Jedním z výhod zinku a jeho slitin jsou jeho chemické vlastnosti v odolávání vůči korozi. Zinek odolává vlivům koroze ať už atmosférické nebo korozi při kontaktu s vodou. Je tvořen na povrchu ochranou vrstvou oxidu zinečnatého, hydroxidu zinečnatého a dalšími druhy zásaditých solí podle závislosti na okolním prostředí. Vlivem poměrně pomalé rychlosti vzniku koroze, je zinek schopen si velmi rychle vytvořit ochranou vrstvu na svém povrchu. [4]

Při kontaktu zinku se vzduchem dochází k vytvoření vrstvy oxidu zinečnatého. Důležitými parametry, při kterých zinek atmosféricky koroduje jsou délka a frekvence kontaktu zinku s vlhkostí, dalším důležitým parametrem je kyselost prostředí, jakému je zinek vystavován. Při kontaktu zinku s kyselým prostředím mohou na povrchu zůstat usazeniny. Pro zamezení vzniku těchto nežádoucích vlivů na povrchu materiálu lze na něj aplikovat ochranou vrstvu v podobě povrchové úpravy nebo práškového laku. Při použití ochrany povrchu nanesením barvy je nutné buď použít chemickou předúpravu povrchu nebo speciální barvu, které dobře přilne k povrchu. [4]

## 1.2 Výroba čistého zinku

Čistý zinek lze vyrobit několika možnými způsoby. Jedná se o proces, kdy je zinek získáván z vytěžených rud. V přírodě lze zinek nalézt nejčastěji v sloučeninách. Vyskytuje se nejčastěji ve formě sulfidu, nejčastější rudou je sulfid zinečnatý neboli sfalerit. Obsah zinku se u těchto rud může pohybovat v rozmezí 2 až 10 %. Nepříjemnou vlastností těchto rud, je větší množství různých prvků obsažených v rudě, které je nutné při získávání zinku separovat. Sulfidové rudy běžně obsahují prvky jako jsou železo, síra, kadmium, cín, olovo a další prvky. Při výrobě čistého zinku se používá několik metalurgických operací, při kterých lze dosáhnout co nejčistější kvality zinku. [6; 7]

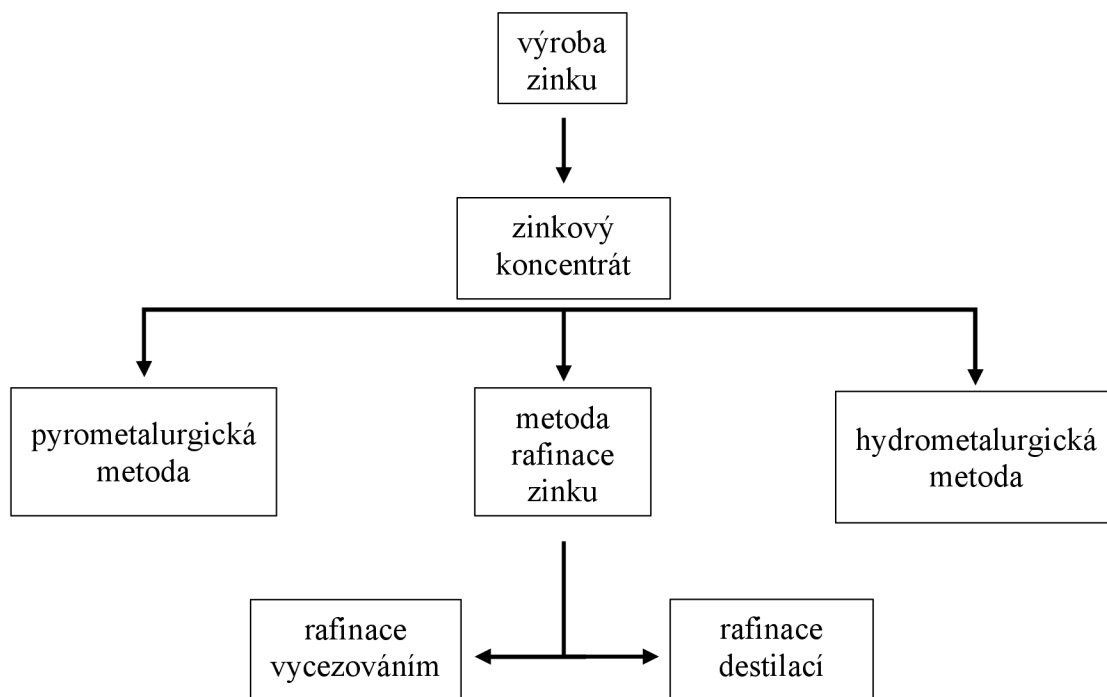
## 1.3 Metalurgie výroby čistého zinku

Výroba čistého zinku z koncentrátů je možné vyrábět třemi způsoby. Prvním způsob se nazývá pyrometalurgický, druhý je rafinace zinku a třetí způsob je hydrometalurgický. Ve světovém měřítku se využívají všechny tři způsoby výroby. Nejdůležitějším krokem pro oba způsoby výroby je příprava zinkového koncentrátu, ten je v první řadě zapotřebí vypražit a teprve poté je možné jej dále zpracovávat. Hlavním účelem pražení je přeměnit siřník zinečnatý na oxid zinečnatý. Při pyrometalurgickém zpracování by měl vypražený koncentrát obsahovat co nejmenší množství zbylých siřníků nebo vytvořených síranů. [1]

Pražení je proces, při kterém se přeměňuje siřník zinečnatý na oxid zinečnatý. Ten je obsažen v zinkovém koncentrátu. Při jeho pražení dochází k odstraňování síry, která odchází ve formě oxidu siřičitého. Při procesu se běžně dosahuje teplot v rozmezí 800 až 850 °C. Po odstranění siřných prvků zůstává v praženci pouze oxid zinečnatý. V dřívějších dobách se pro pražení zinkových koncentrátů využívalo víceposchodových pražicích pecí. Tento postup se postupem času zdokonalil způsobem pražení v letu, kdy se padající částice siřníku mísí se svým povrchem s kyslíkem, u kterého dochází k rychlejšímu hoření. Nejmodernějším způsobem pražení je ve vzhledu, kdy je vrstva koncentrátu pražena na roštu, ze spodu je vhnán vzduch, tím vznikají vířivé proudy a siřník se rychleji spaluje. Výkonnost těchto pecí je až 20 t za 24 hodin. Obrovskou výhodou je možnost automatizace procesu. [1]

Po procesu pražení je koncentrát dále zpracováván. K tomu jsou využívány tři základní metody. První metodou je pyrometalurgická, kdy dochází k získání čisté formy zinku za pomoci destilace. Druhým způsobem je proces zvaný rafinace, kde se využívá rozdílných fyzikálních vlastností jednotlivých prvků k jejich oddělení. Třetím způsobem je hydrometalurgická metoda, které je založena na principu loužení vypraženého zinkového koncentrátu v roztoku kyseliny sírové a následné elektrolýze. [1]

Jiné podmínky nastávají při zpracování vypraženého koncentrátu hydrometalurgickou metodou, kdy přítomnost síranu zinečnatého nezhoršuje samotný proces výroby, naopak ty jsou dobře rozpustné ve vodě, tím pádem k jeho vyloučení není zapotřebí kyseliny sírové. Přítomnost síranu zinečnatého je nutné regulovat tak, aby bylo využito loužení vratného elektrolytu z elektrolýzy. Pokud zinek zůstane ve vypraženém koncentrátu jako siřník a při loužení se nerozpustí, výsledný výtěžek zinku se snižuje. Z tohoto důvodu je nutné, aby byl veškerý síran zinečnatý (ZnS) plně oksyločen. [1]

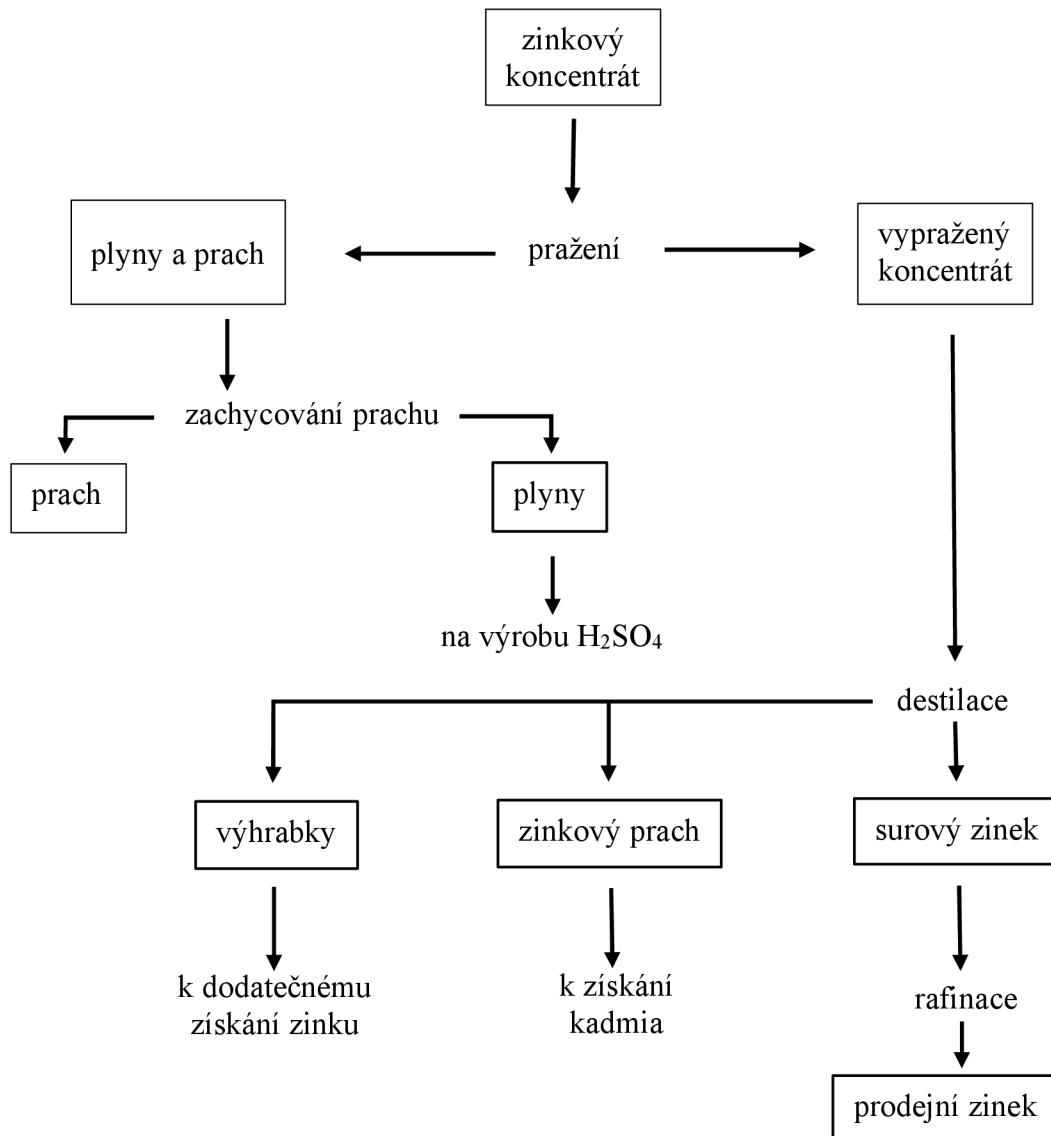


Obr. 2 Rozdělení metod výroby čistého zinku [1]

Zpracovávání zinkových slitin je z pohledu metalurgie jednodušší, jelikož není zapotřebí provádět žádné metalurgické procesy pro odstraňování nežádoucích plynů nebo jiných prvků. Veškerá příprava slitin probíhá v hutích, jak bylo popsáno výše, kde je zinek vyráběn a následně i legován. Většina firem zpracovávající zinkové slitiny pouze nakupuje už hotové předpřipravené zinkové ingoty, a ty následně pouze přetaví a dále zpracovává. [5; 8]

### 1.3.1 Pyrometalurgická metoda

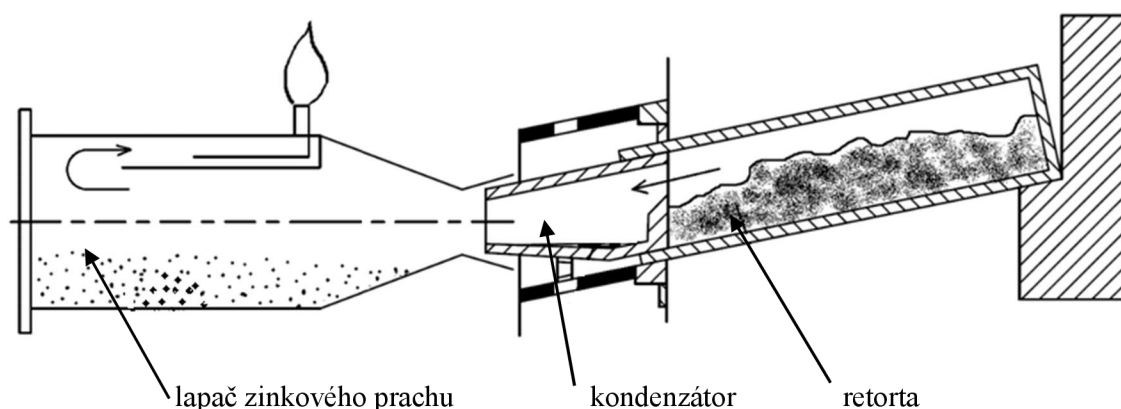
Metoda je založena na principu redukce oxidu zinečnatého uhlíkem. Pražený zinkový koncentrát společně s jemným černým uhlíkem je tvořen vsázkou, která je následně vložena do retorty, kde se dále zpracovávají. Jedná se o zařízení na destilaci zinku, které je tvořeno třemi částmi. První část se nazývá retorta, což je podlouhlá nádoba, která je vytvořena ze žáruvzdorných jílu, šamotu a koksu. Její výroba se provádí vypálením kombinací těchto tří materiálů při teplotě 900 °C. Následně jsou vloženy do pece, kde se ukládají vedle sebe a do několik řad nad sebou. Plyn, který se generuje uvnitř, se spaluje a vytápí retortu na teplotu kolem 1400 °C. Předehřátá retorta je naplněna vsázkou, ta se při této teplotě redukuje na zinkové páry, které následně v kondenzátoru vysráží na kapalný zinek. [1]



Obr. 3 Schéma pyrometalurgické výroby zinku [1].

U destilace dochází už na samém začátku k redukci mědi, kadmia a olova. Z těchto tří prvků jediné kadmium se dostává v podobě par do kondenzátoru, kde dochází k jeho zkapalnění. K samotné redukci zinku dochází přibližně při teplotě kolem 950 °C, kdy se zinek začíná v kondenzátoru vypařovat. Ve formě zinkových par, částečně i páry kadmia, se oba prvky odpařují do lapače, kde se usazují v podobě jemného prachu. Obsah prachu činí přibližně 60-70 % kovového zinku, dále asi 15 % kysličníku nebo uhlíčitanu zinečnatého a 1-2 %

kadmia. Celý proces destilace zinku trvá přibližně 18 hodin, kdy je během této doby nutné odebrat vzniklý zinek ručně. Obsah surového zinku je možné získat kolem 98-99 % zinku, nanejvýš 1,8 % olova, 0,05-0,1 % železa a malé množství kadmia. [1]

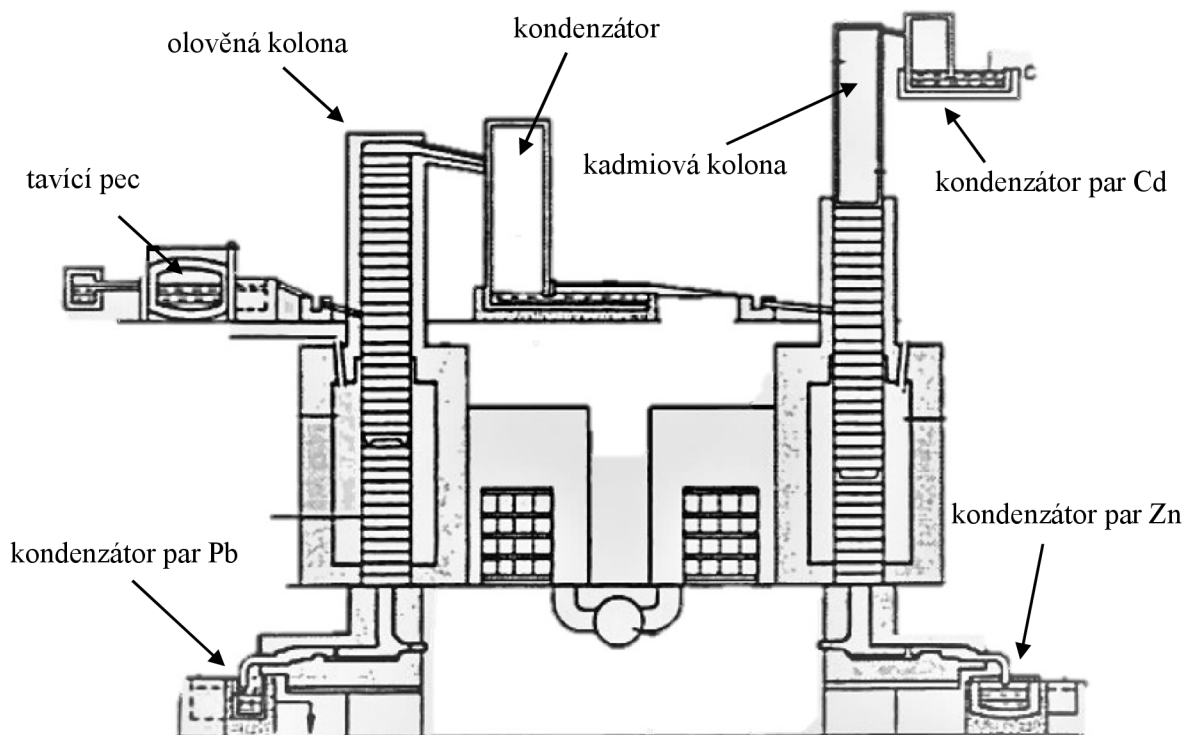


Obr. 4 Schéma zařízení na destilaci zinku [1].

### 1.3.2 Metoda rafinace zinku

Pro snížení obsahu olova a železa se u vypraženého zinkového koncentráту využívá principu rafinace vycezováním. Při tomto procesu dochází k ochlazení taveniny a následnému vylučování krystalů železa, které mají větší hmotnost než roztavený zinek. Vzniklé krystaly klesají ke dnu, kde dochází k jejich usazování. Po vyloučení krystalů železa a olova je vrchní část zinku odebrána buď ručně nebo se odčerpává. Před opětovným naplněním se usazená vrstva olova odlévá do bloků. Poté se celý cyklus opakuje. Po provedení této operace je možné snížit obsah železa až na hodnotu 0,02-0,03 % a obsah olova na méně než 0,7 %. Nevýhodou tohoto způsobu výroby je i nadále přítomnost kadmia obsaženého v zinku. [1; 7]

Snížení obsahu kadmia v surovém zinku lze provést pomocí procesu rafinace, která funguje na principu destilace, je založena na rozdílném napětí par a bodu varu zinku a kadmia. Bod varu kadmia je 767 °C a zinku 906 °C. Využívá se rektifikační kolony, což je způsob destilace a kondenzace, kterou je možné od sebe tyto prvky oddělit. Rektifikační kolona je zařízení, které je tvořeno karborundovými talíři naskládanými na sobě. Spodní část kolony je nepřímo vytápěna generátorovým plynem. Proces funguje na principu postupného vypařování jednotlivých kovů. Destilace probíhá ve dvou kolonách. V první koloně dochází k oddělování zinku a kadmia od olova, mědi a železa. Páry zinku a kadmia následně putují do kondenzátoru, kde znovu zkondenzují. Poté putují do druhé kolony, ve které dochází k oddělování zinku od kadmia. Výsledkem této operace je čistý zinek o čistotě více než 99,99 %. [1; 7]

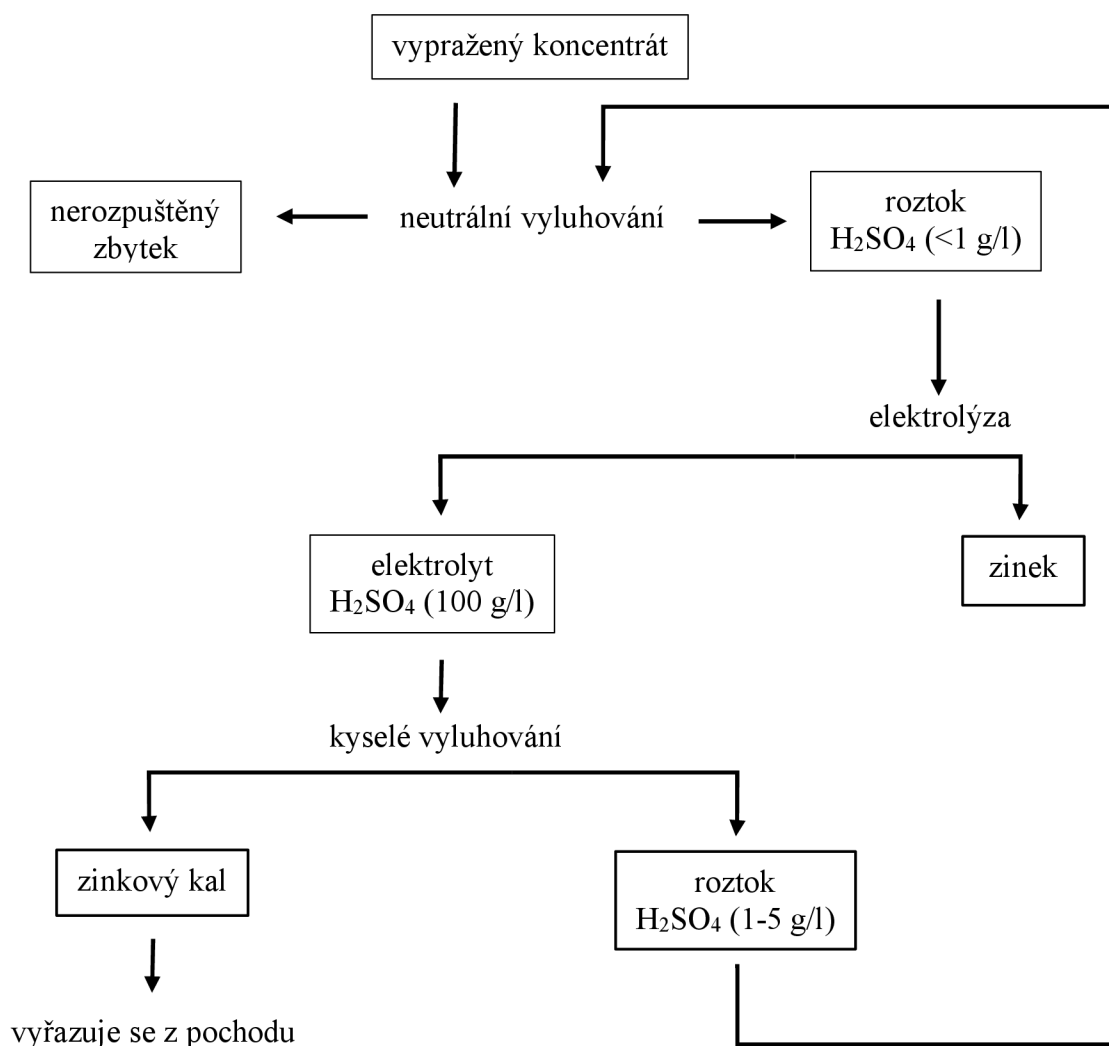


Obr. 5 Schéma zařízení pro rafinaci zinku destilací [4]

### 1.3.3 Hydrometalurgická metoda

Metoda je založena na principu elektrolytického louhování vypraženého zinkového koncentráту v kyselině sírové. Reakcí kyseliny sírové a koncentráту dochází k rozpouštění velkého množství zinku. Při louhování může docházet v koncentrátech vytváření sloučenin, které mohou reagovat s kyselinou sírovou a následně mohou vytvářet rozpustné sírany. Pro zamezení rušení dalšího zpracování se tyto sloučeniny odstraňují přidáním oxidu manganičitého. Ten způsobuje neutralizaci roztoku, který je tvořen sraženinami ve formě železa společně s arsenem a antimonem. Louhování se provádí ve dvou stupních. V prvním stupni dochází k louhování koncentráту jen ve slabém roztoku kyseliny sírové ( $\text{ZnSO}_4$ ), kdy převážně dochází k neutralizaci a k odstranění železa. [1]

V druhém stupni louhování se využívá tzv. vratného elektrolytu kyseliny sírové, kdy dochází k rozpuštění zbylého obsahu zinku. Využívá se olověné anody a hliníkové katody, které jsou ponořeny do elektrolytu. Průchodem elektrického stejnosměrného proudu se z pražence začne uvolňovat zinek, který se následně usazuje na hliníkovou katodu. Zinek vzniklý na hliníkové katodě se ručně seškrábne a katoda se znovu použije. Slabí roztok kyseliny sírové se po vylouhování znovu používá. Výhodou této metody je získání velmi čistého zinku, který není nutné už dále zpracovávat pro zvýšení kvality samotného zinku. Dále se touto metodou mohou získávat prvky, které se nachází ve vypraženém zinkovém koncentráту, jako je například kadmium. [1]



Obr. 6 Schéma hydrometalurgické výroby zinku [1]

#### 1.4 Slitiny zinku a jejich vlastnosti

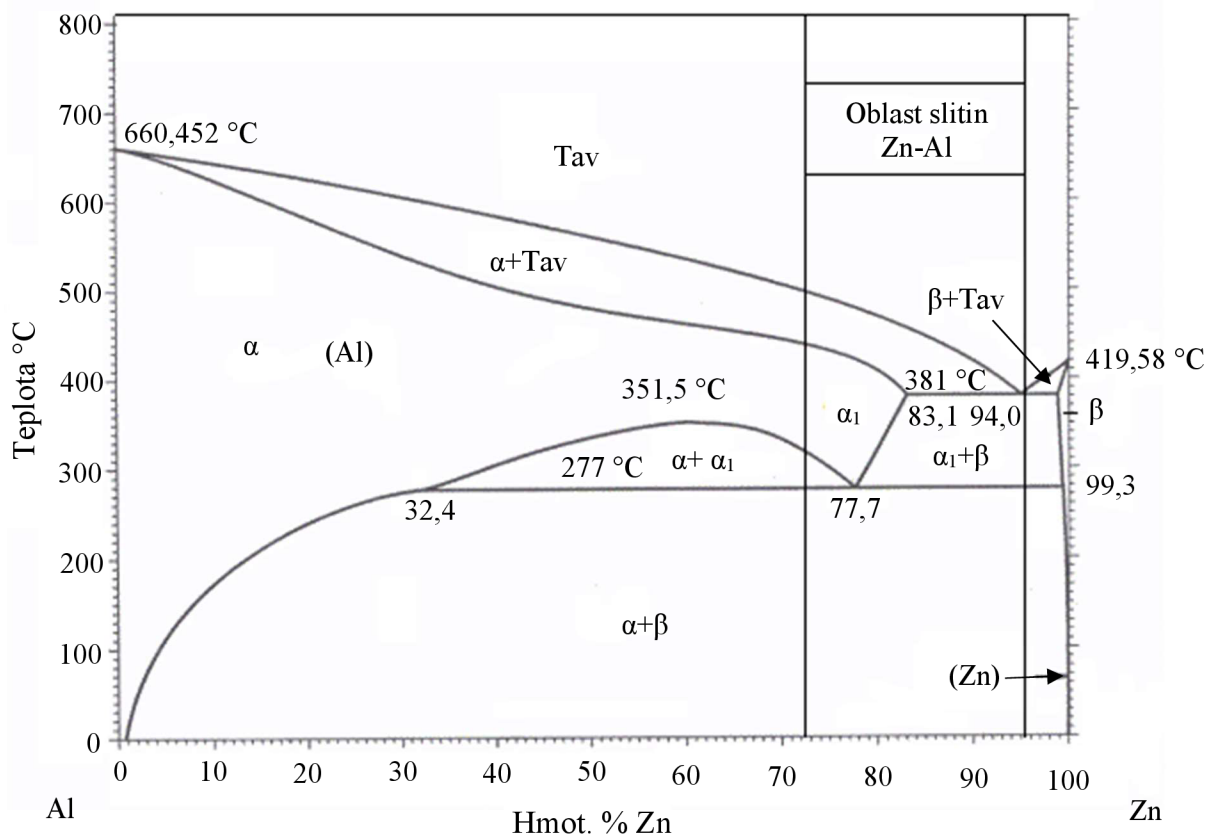
V průmyslové praxi je čistý zinek téměř nevyužitelný při výrobě odlitků, avšak lze jej využívat ve slitinách, ve kterých je kombinován s určitými prvky jako je hliník, měď nebo hořčík. Přítomnost těchto prvků má za následek zlepšení mechanických vlastností jednotlivých zinkových slitin. [9]

Základním přísadovým prvkem je hliník. Jeho obsah se ve slitině běžně pohybuje v rozmezí od 3,5 až 26,9 %Al. Základní používaná slitina je tvořena právě spojením zinku a hliníku, ke kterým jsou následně přidávány další legující prvky jako jsou měď a hořčík. Dle diagramu na obr. 7 lze zjistit, že nejnižší teplotu tavení a nejužší interval tuhnutí slitiny zinek-hliník mají slitiny s obsahem Al v rozmezí 4-5 %. Pokud obsah hliníku ve slitině vzroste, dochází tím ke zvýšení teploty, kdy je slitina v tekutém stavu, a dochází také ke zvětšení pásma tuhnutí. [5]

Měď je legující prvek, který je přidáván do slitiny. Obsah mědi se ve slitinách zinku běžně pohybuje v rozmezí 0,5 až 6 %Cu. Jeho vlastnosti, stejně jako u hliníku, příznivě působí na výsledné vlastnosti materiálu. Přidáním mědi do slitiny se výrazně zvyšují její mechanické vlastnosti, především se jedná o pevnost materiálu, tažnost, rázovou houževnatost, a dále se zlepšuje zabíhavost slitiny, kde dochází ke zmenšení velikosti zrna. Jedním z dalších výhod při přidání mědi do slitiny je zlepšení odolnosti vůči korozi, ale pouze u slitin s obsahem nad 0,7 %Cu. [5]



Hořčík jako legující prvek se pozitivně podílí, stejně jako měď a hliník, na výsledné vlastnosti slitiny. Jeho přítomnost výrazně snižuje škodlivé účinky cínu, olova a kadmia ve slitině. Obsah hořčíku se běžně pohybuje v rozmezí 0,01-0,1 %Mg. Nejčastější se slitiny s obsahem Zn, Al a Mg označují zkratkou ZAMAK, jedná se o zkratku převzatou z němčiny, kdy je zkratka složena z názvů jednotlivých prvků **Z**ink, **A**luminum, **M**agnesium a **K**upfer. [5]



Obr. 7 Rovnovážný diagram Zn-Al [7; 11]

#### 1.4.1 Značení zinkových slitin

Slitiny neželezných kovů, mezi které spadají i zinkové slitiny, jsou značeny třemi různými způsoby. Prvním způsobem je číselné značení, které je určováno podle příslušných evropských, národních, podnikových nebo jiných norem. Jedná se o značení, ze kterého nelze jasně zjistit chemické složení dané slitiny. [5]

Druhým způsobem je značení podle chemického složení dané slitiny, kdy jsou uváděny střední obsahy hlavních prvků v procentech. Pořadí prvků v názvu slitiny je odvozeno dle důležitosti jednotlivých prvků ve slitině a jejich obsahu. Příkladem může být slitina ZnAl<sub>4</sub>Cu<sub>3</sub>, kdy Zn je označován jako základní prvek, kterého je ve slitině nejvíce. Al<sub>4</sub> nám označuje, že je ve slitině obsaženo průměrně 4 %Al. A prvek Cu<sub>3</sub> je na posledním místě, protože je ve slitině méně obsažen než Al. [5]

Třetí způsob vychází z obchodního značení firmy, kde je slitina vyrobena. Příkladem jsou slitiny Zamak, ACuZinc, ALZEN, EZAC. Avšak může se stát, že lze nalézt dvě slitiny se stejným chemickým složením, avšak s odlišnými názvy. Příklady slitiny jsou porovnané v tab. 2. [5]

Tab. 2 Ekvivalentní značení zinkových slitin [10]

Obchodní značení	EU EN 12844	EU EN 1774	USA	Německo	Italie	Španělsko
			-	DIN, WNr	UNI	UNE
Zamak 2	ZP2	ZL2	AG43A	Z430	G-ZnAlCu3	ZnAl4Cu3
Zamak 3	ZP3	ZL3	AG40A	Z400	G-ZnAl4	ZnAl4
Zamak 5	ZP5	ZL5	AG41A	Z410	G-ZnAl4Cu1	ZnAl4Cu1
Zamak 6	ZP6	ZL6	Z610	-	-	ZnAl6Cu1
Zamak 8	ZP8	ZL8	ZA8	-	G-ZnAl8Cu1	-
Zamak 12	ZP12	ZL12	ZA12	-	G-ZnAl11Cu1	ZnAl11Cu1
Zamak 27	ZP27	ZL27	ZA27	-	G-ZnAl27Cu2	-

#### 1.4.2 Souhrn vybraných druhů slitin a jejich vlastností

Tab. 3 Používané zinkové slitiny dle normy UNI [4; 9; 10; 11]

Označení slitiny	Způsob lití	Složení			Pevnost MPa	Tažnost %	Tvrdost podle Brinella
		Al	Cu	Mg			
Značení slitin dle UNI							
G Zn-Al 1	do písku				100	0,5	
D Zn-Al 1	do kokil tlakově	0,7-0,9	0,3-0,5	0,02-0,05	140	1,0	50
					160	1,5	
D Zn-Al 4	tlakově	3,5-4,3	0,0-0,6	0,02-0,05	250	1,5	70
G Zn Al 4 Cu 1	do písku				180	0,5	
D Zn Al 4 Cu 1	do kokil tlakově	3,5-4,3	0,6-1,5	0,02-0,05	200	1,0	70
					270	2,0	80
G Zn Al 6 Cu 1	do písku				180	1,0	80
	do kokil	5,6-6,0	1,2-1,6	-			
D Zn Al 4 Cu 3	tlakově	3,5-4,3	2,4-3,0	0,02-0,05	300	2,0	90

Značení slitin dle normy UNI je zobrazeno v tab. 3 a je odvozeno od jejich chemického složení. První písmeno v označení říká, pro jaký druh technologie lití je daná slitina vhodná. Slitiny s označením G jsou primárně určeny pro gravitační způsob lití, a to buď do pískových nebo kovových forem. Písmeno D označuje slitiny určené pro technologii lití die-casting, což v překladu znamená technologie vysokotlakého lití do kovových forem. [12]

Tab. 4 Používané zinkové slitiny dle obchodního (tradičního) značení [4; 9; 10; 11]

Označení slitiny	Způsob lití	Složení			Pevnost MPa	Tažnost %	Tvrдость podle Brinella
		Al	Cu	Mg			
Obchodní označení slitin							
Zamak 2 (Zn Al 4 Cu 3)	tlakově	3,5-4,3	2,5-3,5	0,02-0,10	365	8,0	100
Zamak 3 (Zn Al 4)	tlakově	3,5-4,3	-	0,03-0,08	285	10,0	82
Zamak 5 (Zn Al 4 Cu 1)	tlakově	3,5-4,3	0,75-1,25	0,03-0,08	335	7,0	91
Zamak 7+ (Zn Al 4 Ni)	tlakově	4,5	-	0,004	283	10,0	82
Zamak 8 (Zn Al 8 Cu 1)	do kokil tlakově	8,6	1,1	0,025	220-255 374	1-2 6-10	85-95 100-106
Zamak 12 (Zn Al 11 Cu 1)	do písku do kokil tlakově	11,1	0,9	0,025	275-317 310-345 404	1-2 1-2 4-7	92-96 85-95 95-105
Zamak 27 (Zn Al 27 Cu 2)	do písku tlakově	26,9	2,2	0,017	400-441 426	3-6 2,5	110-120 116-122
Acuzink	do kokil tlakově	2,8-3,3	5-6	0,025- 0,05	297 407	4,5 0,4	100-115 105-125

### 1.4.3 Nejpoužívanější zinkové slitiny Zamak pro tlakové lití

Slitiny typu Zamak představují nejvyšší nároky na čistotu zinku, který se běžně pohybuje na hodnotě 99,99 %Zn. Musí podléhat standardům dle příslušných norem. Odlitky vyráběné z těchto slitin používané v Evropě podléhají normě EN 12844 a ingoty EN 1774. Legujícími prvky jsou hliník, měď a hořčík. V Evropě jsou nejpoužívanějšími slitinami Zamak 2, Zamak 3 a Zamak 5. Z výše uvedených slitin se nejčastěji průmyslově využívají následující slitiny:

#### Zamak 2 (MAZAK 2)

Tato slitina je také známá pod označení MAZAK 2, Kayem nebo Kirksite, kde její obsah je přibližně okolo 4 %Al, 3 %Cu a 0,05 %Mg. Tento druh slitiny je převážně zpracováván technologiemi lití do pískových forem a vysokotlakém lití v teplé lici komoře do kovových forem. Slitina se vyznačuje výbornou zabíhavostí, vysokém útlumu vibrací v porovnání s tlakově litými hliníkovými slitinami. Dále slitina dobře odolává vlivu stárnutí, a tím si uchovává dlouhodobě své mechanické vlastnosti. [4; 11]

#### Zamak 3 (MAZAK 3)

Slitina obsahuje přibližně 4 %Al a 0,05 %Mg. Tento typ slitiny je nejpoužívanějším typem zinkové slitiny v Severní Americe. Používaná slitina má velké možnosti využití, ať už v automobilu (automobilovém průmyslu), například při výrobě zámků dveří, nebo třeba i hraček. Zamak 3 má výbornou schopnost provedení povrchových úprav odlitků, jako je například galvanické pokovování, práškové lakování nebo eloxování. Další výhodou je jeho dobrá obrobitelnost, dlouhodobá rozměrová stabilita a podobně jako slitina Zamak 2 je její výhodou vysoká tlumící schopnost ve srovnání s hliníkovými tlakově litými slitinami. [4; 11]

### **Zamak 5 (MAZAK 5)**

Obsahem slitiny je tvořen 4 % Al, 0,8 %Cu a 0,05 % Mg a jedná se o nejrozšířenější používanou slitinu v Evropě. Podobně jako Zamak 3 je tato slitina určena pro výrobu odlitků procesem vysokotlakého lití v teplé lící komoře. Důležitou vlastností této slitiny je její vyšší pevnost v tahu a tvrdost důsledkem vyššího obsahu mědi ve slitině. Na druhou stranu má slitina menší tažnost v porovnání se slitinou Zamak 3. Mezi další výhody se řadí její výborná slévatelnost, snadná obrobitelnost nebo schopnost snadného nanesení povrchové ochrany lakováním, práškovým lakováním nebo galvanickým pokovováním. [4; 11]

### **Zamak 7+ (MAZAK 7+)**

Upravená slitina Zamak 3, jedná se o velmi čistou slitinu, kde hlavním doprovodným prvkem je hliník s obsahem 4,5 %Al, a nízkým obsahem hořčíku 0,004 %Mg. Hlavní důraz je kladen na přítomnost nečistot ve slitině, kde přítomnost nečistot nesmí překročit hodnotu 0,075 %Fe, 0,003 %Pb, 0,002 %Cd a 0,001 %Cn. Slitina Zamak 7+ je označována jako speciální slitina používána pro odlitky, které je potřeba během dalších operací, jako je například montáž, speciálně tvarovat. [4; 11]

Za normálních teplot mají slitiny zinku velmi dobré mechanické vlastnosti, někdy i lepší než u slitin hliníku, mědi a u litiny s lupínkovým grafitem. Odlitky vyrobené ze zinkových slitin docilují poměrně značné tvrdosti, což má za následek vyšší odolnost vůči opotřebení. Mezi nevýhody těchto slitin se řadí prudký pokles mechanických vlastností za zvýšených teplot nad 120 °C a za snížených teplot pod -20 °C. [5]

## **1.4.4 Jiné druhy zinkových slitin**

### **ACuZinc**

Slitina ACuZinc se řadí mezi nejnovější typy zinkových slitin. Vyznačují se vyšší pevností, tažností a tvrdostí a je srovnatelná se slitinou Zamak 12. Mez pevnosti slitiny je 407 MPa, poměrné prodloužení s hodnotou 6 % a tvrdost 105-125 Brinella. Další výhodou je nižší koeficient tření. Teplota lití se pohybuje v rozmezí 400-496 °C. Lze je zpracovávat technologií gravitačního lití a vysokotlakého lití do kovových forem. [13]

### **ALZEN**

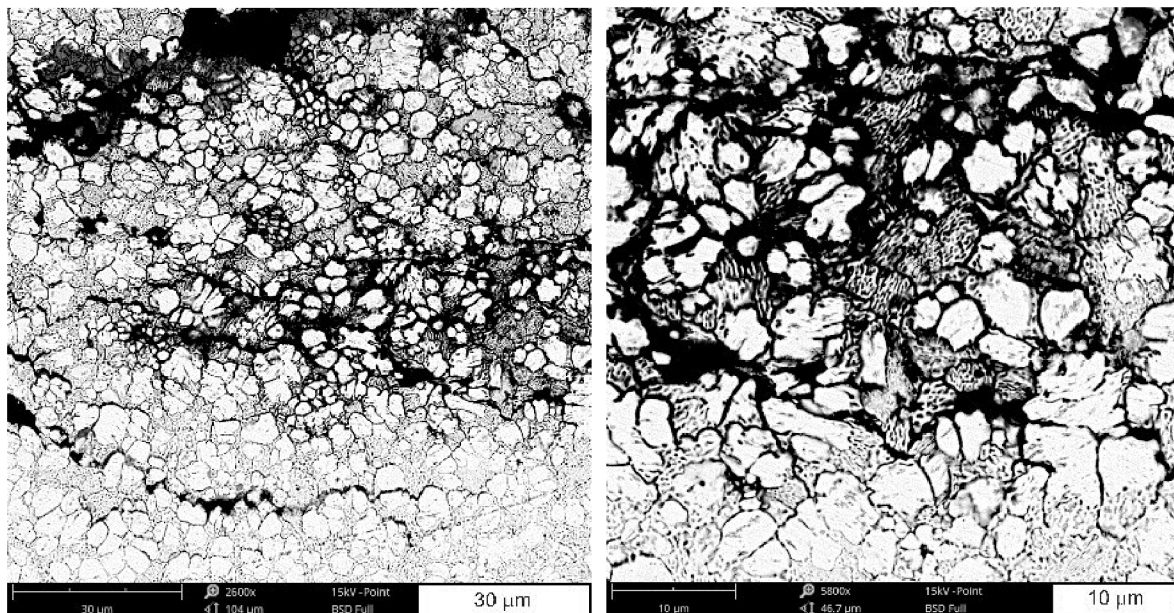
Materiál vyvinutý německou společností voestalpine Giesserei Linz GmbH. Je využívána na výrobu kluzných pouzder, válcové tyče a válcovaných plechů. Slitiny se vyznačují výbornými obráběcími vlastnostmi, kdy lze dosáhnout kratších obráběcích časů a vyšších řezných rychlostí v porovnání s běžnými zinkovými slitinami. Další příznivé vlastnosti jsou nižší hodnoty tření a vyšší teplená vodivost. [14]

### **EZAC**

Slitina zinku se vyznačuje vysokou odolností vůči tečení v porovnání se slitinami Zamak 3 a Zamak 8 má vyšší mez pevnosti 416 MPa, poměrným prodloužením 1 % a tvrdostí 120 Brinella. Slitina se vyznačuje nižší teplotou tání, což snižuje potřebnou energii vynaloženou na její roztavení. Je vhodná pro zpracování technologií vysokotlakého lití s teplou lící komorou. Lze s ní odlévat tenkostěnné odlitky s tloušťkou stěny 0,19 mm. [13]

### 1.4.5 Vliv nečistot na vlastnosti slitin zinku

Podobně jako se ve slitinách nachází prvky, které zlepšují mechanické vlastnosti, tak lze i ve zinkových slitinách nacházet prvky, které svojí přítomností negativně působí na výsledné vlastnosti těchto slitin. Tyto prvky se nazývají nečistoty. Mezi něž řadíme prvky jako je železo, olovo, kadmium a cín, které svou přítomností zhoršují výsledné vlastnosti zinkových slitin, zvláště tam, kde záleží na rozměrové stálosti. Příkladem může být použití zinkových slitin u přesných měřicích přístrojů, které musí pracovat za předepsaných podmínek, a nesmí se příliš měnit. Pro tyto případy je nutné používat slitiny zinku o jeho čistotě, která se pohybuje okolo 99,99 %. Vysokou přítomností těchto nečistot dochází ke špatné rozměrové stálosti slitin. Přítomnost nečistot ve slitinách zinku zhoršují její odolnost vůči korozi. Jejich přítomností může docházet ke vzniku interkrytalické koroze, která má za následek ztrátu koheze jednotlivých zrn v materiálu. Působení mezikrytalické koroze je znázorněno na obr. 8. Z tohoto důvodu nesmí obsah těchto prvků ve slitině překročit řádově tisícinu procenta. Při výrobě zinku se docílí velmi vysoké čistoty samotného kovu, kde se jeho čistota běžně pohybuje v rozmezí 99,98 až 99,995 %Zn. [5; 9]



Obr. 8 Působení mezikrytalické koroze ve slitině zinku [15]

## 2 ZPRACOVÁNÍ ZINKOVÝCH SLITIN

- **Tváření** – zinkové slitiny se válcují podobně jako oceli. Využívá se k tomu technologie kontinuálního lití. Výroba je započata v lícím stroji Hazelett, do kterého se z horní strany vlije roztavená zinková slitina. Postupným průchodem strojem je tavenina ochlazována vodním chlazením, které tavenině odebírá její teplo, a tím postupně tuhne. Šířka vystupujícího pásu může dosahovat od 1 m a více. Vlivem tuhnutí vzniká kontinuální litý ingot, který může dosahovat tloušťky 10 až 75 mm. Vlivem kontinuálního lití dochází ke vzniku jemnější zrnité mikrostruktury v porovnání se statickým litím do forem. Před válcováním dochází k homogenizační úpravě a k ochlazení vodní sprchou na teplotu 200-250 °C. Válcování obvykle probíhá na čtyřválcových stolicích v rozmezí teplot 50-90 °C. Při průchodu válcovací stolicí je možné docílit maximální redukci tloušťky plechu až o 50 %. Výsledkem jsou zinkové plechy, které se dále zpracovávají technologiemi ohýbáním, lisováním, hlubokým tažením, ražením nebo vytlačováním. [4]



Obr. 9 Stroj pro kontinuální lití zinkových slitin [16]

- **Slévání** – nejběžnější technologie pro zpracování zinkových slitin. Odlévání lze provádět několika možnými technologiemi v závislosti na produktivitě, složitosti odlitku, kvalitě povrchu a mechanických vlastnostech po odlití. Pro výrobu odlitků se využívají technologie lití do pískových forem, lití Tekcast, gravitační lití do kovových forem, vysokotlakého lití se studenou i teplou lící komorou. Lící teplota taveniny je rozdílná podle množství jednotlivých prvků ve slitině.



Obr. 10 Odlévání ingotů ze slitiny zinku

## 2.1 Tavení zinkových slitin

Zinkové slitiny se vyznačují nízkou teplotou tavení. Nejčastěji se slitiny zinku taví v plynových nebo elektrických pecích. Slitiny zinku mají nízký tepelný obsah, který je způsoben nízkým latentním a měrným teplem, což má za následek poměrně nízký potřebný výkon pecí, a tím jsou výrobní náklady na tavení materiálu nízké. Podle druhu a množství přidaného kovu mají slitiny odlišnou lící teplotu. Pro slitiny zinku obsahující hliník, se lící teplota pohybuje v rozmezí 420–440 °C. U slitin zinku s mědí se lící teplota pohybuje v rozmezí 530–550 °C. Nejčastěji se pro tavení zinkových slitin využívají elektrické odporové pece. Fungují na principu vývinu tepla z elektrického odporového drátu, kterým prochází elektrický proud. Elektrický drát vlivem svého elektrického odporu generuje teplo, které sálá do okolí pece, a tím dochází k přenosu tepla na kelímek, ve kterém se nachází tavený kov. Pro tavení zinkových slitin se nejvíce využívají grafitové kelímky a kelímky vyrobené z karbidu křemíku (SiC). Při přetavování zinkových slitin není nutné provádět žádné rafinační procesy nebo odplynění, ani není zapotřebí použití žádných tavicích přípravků. [5; 9; 17]



Obr. 11 Odporová pec pro tavení slitiny zinku

## 2.2 Technologické vlastnosti zinkových slitin

Z technologického hlediska je výroba zinkových odlitek velmi efektivní, rychlá a dlouhodobě levná cesta, jak lze výsledný odlitek vyrobit. Nejběžnější technologií na zpracování zinkových slitin je technologie vysokotlakého lití s teplou lící komorou. Při kontrole a úpravě tvaru součástí není zapotřebí vytvářet technologické přídavky ani úkosity. Z tohoto důvodu se snižuje spotřeba materiálu. [5; 13]

Zinkové odlitky se řadí mezi slitiny, které lze snadno a poměrně rychle obrábět. Dochází k minimálním opotřebením nástroje. Nejčastější obráběcí operace jsou řezání závitů, vrtání velmi malých otvorů, případně lehké hrubovací operace. [5; 13]

Slitiny zinku lze svařovat či tvrdě pájet. Při svařování se běžně svařují metodou MIG nebo TIG. Lze tímto způsobem spojovat odlitky nadměrných velikostí, které by bylo velmi obtížné odlít vcelku. [5; 13]

### 2.3 Technologie lití do pískových forem

Zinkové slitiny jsou ideální na výrobu odlitků. Vyznačují se výbornou zabíhavostí a nízkou teplotou tavení. Lití do pískových forem se řadí mezi nejstarší, avšak stále používanou technologii na zpracování zinkových odlitků. Lití do písku je převážně určeno pro kusovou výrobu větších odlitků. Tato technologie je vhodná pro určité druhy zinkových slitin, a to především pro slitiny uvedené v tab. 3 a 4. Příkladem odlitků odlévaných do pískových forem jsou ozubená kola, hydraulické armatury. Nevýhodou použití technologie je zhoršená kvalita povrchu odlitku, v závislosti na drsnosti stěny dutiny formy a na jemnosti zrn písku. [18]



Obr. 12 Lití a příklad použití odlitků do pískových forem [18; 19]

### 2.4 Technologie lití na vytavitelný model

Jedná se o jeden z nejstarších způsobů výroby odlitků. U zinkových odlitků se využívá velmi málo. Proces začíná výrobou voskového modelu, který je zhotoven v matečné formě, kam je pod tlakem vstříknut tekutý vosk. Po ztuhnutí a vyjmutí hotového modelu je model přilepen ke vtokové soustavě, která je tvořena stromečkem s ostatními modely. Voskový stromeček je poté namáčen do keramické lázně, kde je obalen, a poté je posypán částicemi keramiky. Aplikace se provádí několikrát z důvodu vyhotovení požadované vrstvy keramiky, aby nedošlo k jejímu porušení během procesu lití. Po vytvoření skořepinového obalu je vosk teplem vytaven ven, skořepina je předehřátá na požadovanou teplotu a následně je do ní nalit roztavený kov. Po ztuhnutí kovu je skořepinový obal odstraněn pískováním, a jednotlivé modely jsou odříznuty od vtokové soustavy. Tento typ technologie je vhodný pro velmi tvarově složité odlitky, které by bylo obtížné jinou technologií zhotovit. [18; 20]

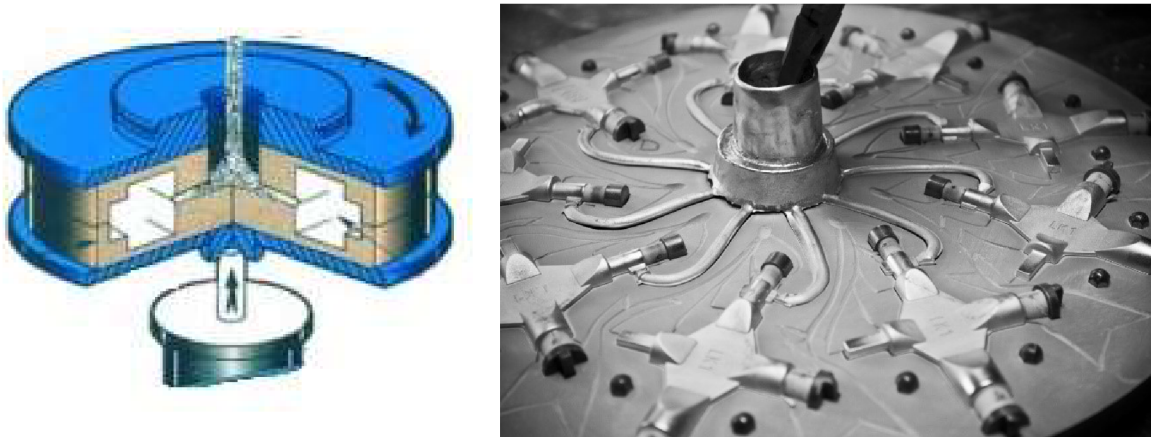


Obr. 13 Voskový model odlitku [21; 22]



## 2.5 Technologie lití Tekcast

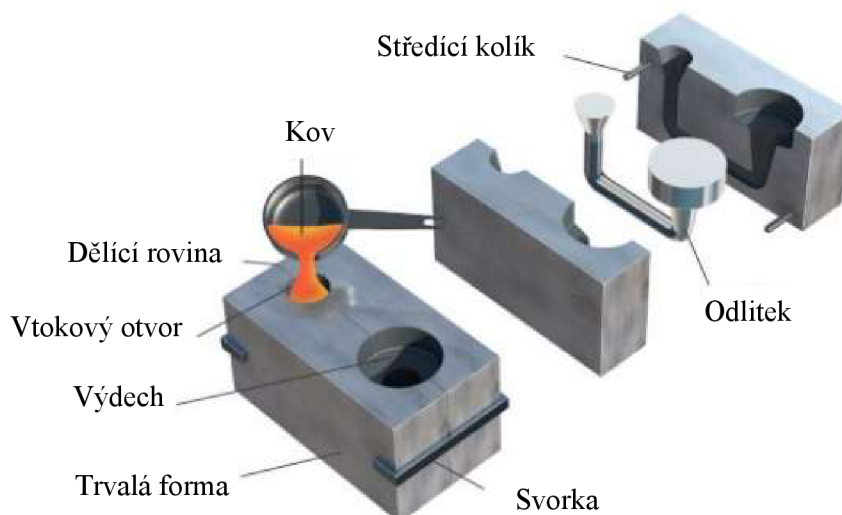
Zařazuje se mezi speciální druhy odstředivého lití, který se využívá pro výrobu drobných odlitků. Technologie funguje na způsobu, kdy se do osy rotace formy, která je vyrobena ze speciálního silikonu určeného pro odlévání, nalije roztavený kov a vlivem rotace je kov odstředěn do dutiny formy, kde ztuhne. Tuhle technologií je možné docílit většího využití kovu, ale především dochází k výraznému zlepšení mechanických vlastností výsledného odlitku. Formy se vyrábějí ze speciální pryžové hmoty, která se následně vulkanizuje. U pryžových forem lze docílit až několika set odlití v závislosti na velikosti odlitku a násobnosti formy. Technologií lze vyrábět drobné dekorační odlitky např. různé přezky, nábytkové kování nebo drobné díly. [5; 23; 24]



Obr. 14 Technologie tekcast [23; 24]

## 2.6 Technologie gravitačního lití do kovových forem

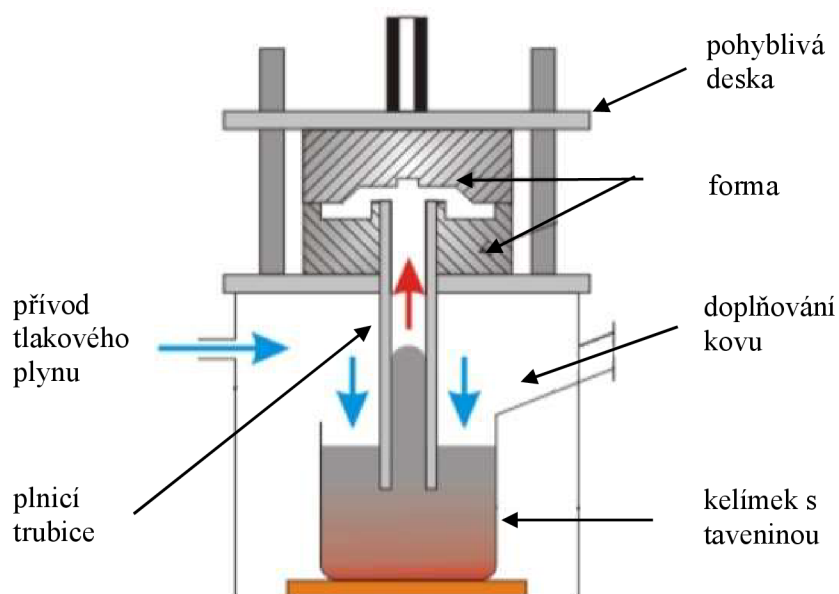
Technologie lití do kovových forem je nejčastěji používaná technologie pro zpracování zinkových slitin. Tento způsob výroby je určen pro velkosériovou či hromadnou výrobu, a to především kvůli vysokým nákladům na zhotovení formy. Kokily neboli kovové formy jsou označovány jako trvalé, z toho důvodu, že je možné do nich opakovaně odlévat, a tím vyrábět velké množství odlitků. Životnost takovýchto forem dosahuje až 1 milionu odlití, v závislosti na typu odlévaného materiálu. Formy jsou vyráběny převážně z oceli, případně ocelolitiny a jsou určeny pro tvarově složité odlitky. Nejjednodušší způsob odlévání zinkových slitin do kovových forem. Roztavený kov je přepravován z pece pomocí pánve a vtokovým otvorem, který je vytvořen v dělicí rovině formy, je naléván do její dutiny. Po ztuhnutí kovu je kovová forma otevřena v místě dělicí roviny a odlitek je odebrán. Na dutinu formy je nutné nanést ochranou emulzi, která zabrání přitavení roztaveného kovu ke kovové formě při odlévání. Následně je forma složena a znovu použita pro další lití. [25]



Obr. 15 Technologie gravitačního lití do kovové formy [25]

## 2.7 Technologie nízkotlakého lití do kovových forem

Technologie nízkotlakého lití využívá principu lití za zvýšeného tlaku. Odlévaný kov je roztaven v tavicím kelímku, který je uzavřený. Na hladinu roztaveného kovu v uzavřeném kelímku působí přetlak v rozmezí 0,03 až 0,06 MPa. Roztavený kov je vlivem přetlaku tlačěn do plnicí trubice, která je ponořena v roztaveném kovu. Ten stoupá trubicí nahoru až do dutiny formy, kde je trubice s dutinou spojena, a kde následně tuhne. Tekutý kov, který se nachází v trubici zároveň plní funkci nálitku i vtokové soustavy. Při této technologii nedochází ke vzniku víření a turbulencím během stoupání kovu trubicí ani při plnění dutiny formy. Rychlost plnění kovem je možné ovládat změnou působení tlaku na hladinu roztaveného kovu. Technologie se využívá pro výrobu odlitků, u kterých je kladen velký důraz na minimální množství zatuhlých vzduchových bublin ve struktuře materiálu. Příkladem odlitků může být stator elektromotoru, ráfek kola automobilu nebo turbína. [18; 26]



Obr. 16 Schéma nízkotlakého lití [27]

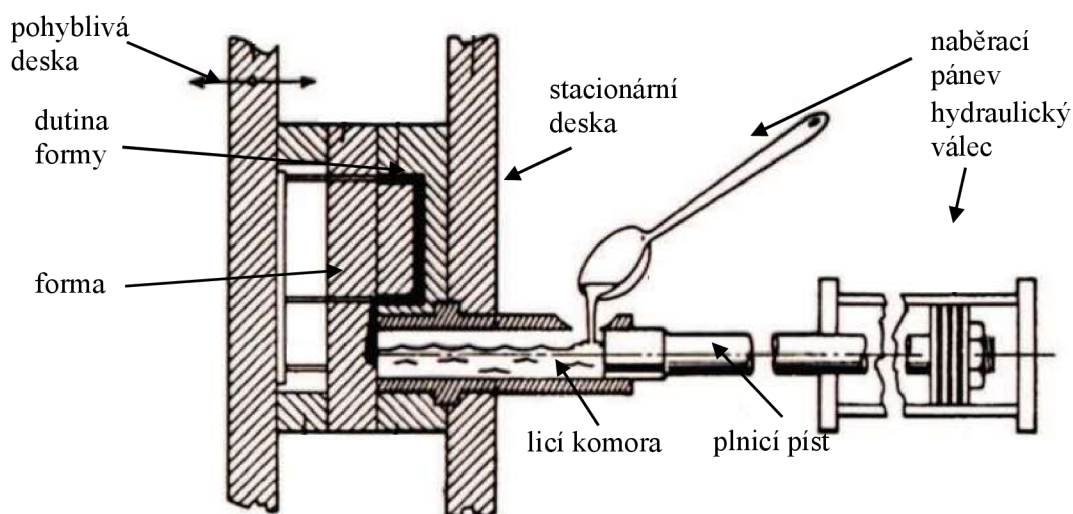
## 2.8 Technologie vysokotlakého lití do kovových forem

Odlévání probíhá za vysokého tlaku. Celý proces odlévání se prováděn na speciálních strojích. Princip výroby spočívá v působení tlaku vyvozený pístem stroje na roztavený kov, který je uzavřen v lici komoře. Ta je spojena dutinou formy, kam je roztavený kov za vysokého tlaku pístem vstříknut. Po vstříknutí roztaveného kovu vlivem neustálého chlazení formy v dutině kov ztuhne. Píst je ovládaný buď mechanicky nebo hydraulicky. Tlak vyvozený pístem se pohybuje v rozmezí 2 až 250 MPa. Důležitým faktorem pro výrobní proces je konstrukce samotného stroje, ta se dělí do dvou skupin. Buď se jedná o lití se studenou licí komorou nebo o lití s teplou licí komorou. [9; 26]

Technologie vysokotlakého lití má velké množství výhod. Díky výborné zabíhavosti lze vyrábět tenkostěnné odlitky, kde minimální tloušťka stěny je 0,4 mm. Technologií se dají vyrábět tvarově velmi složité odlitky. Díky poměrně vysoké hustotě samotného kovu mají odlitky vysokou těsnost. Při výrobě vysokotlakých odlitků lze dosáhnout u malých odlitků přesností IT10, zatím co u velkých odlitků IT11. Po odlití není potřeba většinu odlitků obrábět, jelikož při výrobě je možné dosáhnout přesnějších rozměrů a kvalitního povrchu s malou drsností. [8]

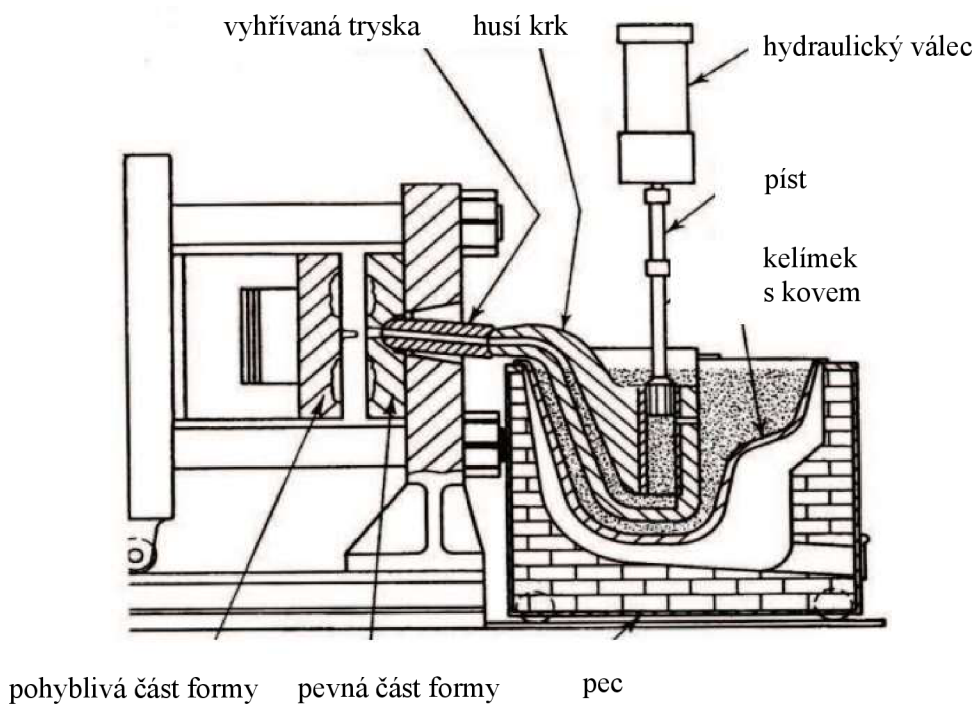
Na druhou stranu i tento způsob výroby obsahuje několik nevýhod. Největší nevýhodou samotné technologie jsou vysoké pořizovací náklady na výrobu kovové formy. Cena výroby formy pro tlakové lití se může pohybovat v rozmezí milionů korun. Je nutné, aby stroje byly využity co nejefektivněji, z důvodu vyšších pořizovacích a provozních nákladů. Omezením při výrobě odlitků různých velikostí jsou rozměry a parametry stroje. [8]

U lití se studenou licí komorou se odlévání kov tavit mimo vlastní konstrukci stroje. Kov je roztaven v tavicím kelímku a za pomoci naběrací pánve je přenesen k licímu stojci, kam je roztavený kov naléván do plnicí komory a následně pístem vstříknut do dutiny formy. Po ztuhnutí kovu a vytvoření odlitku je pohyblivá část formy otevřena a odlitek je pomocí vyhazovačů vytačen z dutiny formy a odebrán. Vtoková soustava je tvořena kovem, který po ztuhnutí odlitku zůstal v přechodu mezi dutinou formy a plnicí komorou. Po vyjmutí odlitku je vtoková soustava odstraněna. Technologie lití se studenou licí komorou se používá převážně u slitin, které při styku nepříznivě reagují se železem. Ideálním příkladem jsou hliníkové slitiny, u kterých dochází k rychlejšímu opotřebování formy při jejich kontaktu s taveninou. [26; 9; 5]



Obr. 17 Schéma lití se studenou licí komorou [27]

Lití s teplou licí komorou se od předchozího způsobu lití odlišuje v tom, že odlévaný kov je taven přímo v konstrukci stroje. Teplá komora je vlastně tavicí kelímek, který je těsně spojen s licím stroje. V kelímku se nachází licí komora, která je pod hladinou roztaveného kovu, a je přímo spojená přes trysku se samotnou dutinou formy. Dále je v tavenině ponořený hydraulický píst, který po naplnění licí komory ji uzavře a pod vysokým tlakem vstříkne roztavený kov do dutiny formy. Vstříkací síla se pohybuje v rozmezí 43 až 182 kN. Po vstříknutí kovu do dutiny formy kov ztuhne, forma je hydraulicky otevře a pomocí vyhazovačů je odlitek vysunut a odebrán. Pro zajištění rychlého ztuhnutí kovu uvnitř dutiny je forma opatřena vnitřním chlazením, které zajišťuje nejen rychlejší ztuhnutí odlévaného kovu, ale zároveň eliminuje případnou tepelnou objemovou dilataci formy. Tento způsob technologie je určen převážně pro slitiny s nízkou teplotou tavení z důvodu stálého styku hydraulického pístu s roztaveným kovem. Nejčastěji používané slitiny pro výrobu odlitků touto technologií jsou zinkové a hořčíkové slitiny. [9; 26]

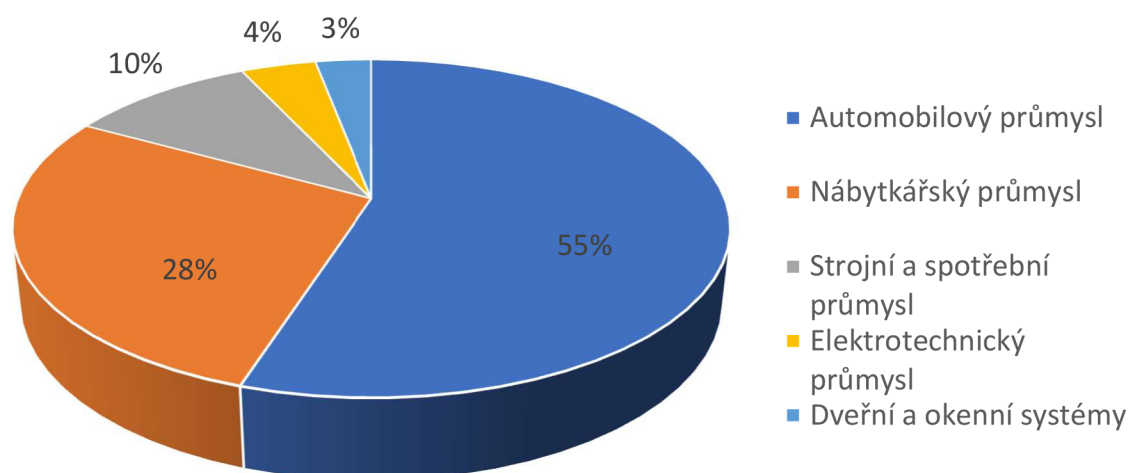


Obr. 18 Schéma lití s teplou licí komorou [27]

### 3 POUŽITÍ ODLITKŮ ZE ZINKOVÝCH SLITIN

V dnešní době mají zinkové odlitky široké zastoupení po celém světě. Většina výrobců usiluje o snížení hmotnosti jejich produktů, ale zároveň o zachování stejných nebo naopak získání lepších mechanických vlastností u vyráběné součásti. Mezi další kritéria se řadí snižování nákladů spojených s výrobou. Z tohoto pohledu je výroba zinkových odlitků ve srovnání s odlitky vyrobených z oceli levnější a především rychlejší. Z dlouhodobého hlediska lze řadit výrobu zinkových odlitků mezi levnější a zároveň nejrychlejší způsob, jak tvarově složité odlitky určité kvality vyrobit. Jedná se především o velkosériovou nebo spíše hromadnou výrobu.

Použití zinkových odlitků lze nacházet v širokém rozsahu strojírenských odvětví. Největším představitelem využívající zinkové odlitky je automobilový průmysl. Samotný automobil je složen z velkého množství součástí, ze kterých mají určitý podíl právě zinkové odlitky. Hlavním cílem využití odlitků v automobilech je náhrada součástí, které nejsou vysoce mechanicky namáhané a zároveň lze dosáhnout ke snížení hmotnosti vozidla. Automobilový průmysl není jediný, kdo využívá zinkové odlitky. Zinkové odlitky lze dále nacházet třeba v nábytkářském průmyslu, kde se vyskytují například jako nábytková kování nebo spojovací prvky. Odlitky se vyznačují velmi dobrou těsností, z tohoto důvodu je lze použít jako uzávěry či pojistné armatury pro vedení tlakových systémů plynů či kapalin. Mají velmi dobrou zabíhavost, a je možné odlévat součásti opatřené závity, avšak pouze se závitem vnějším. Pro součásti s vnitřním závitem, je zapotřebí dodatečného obrábění.



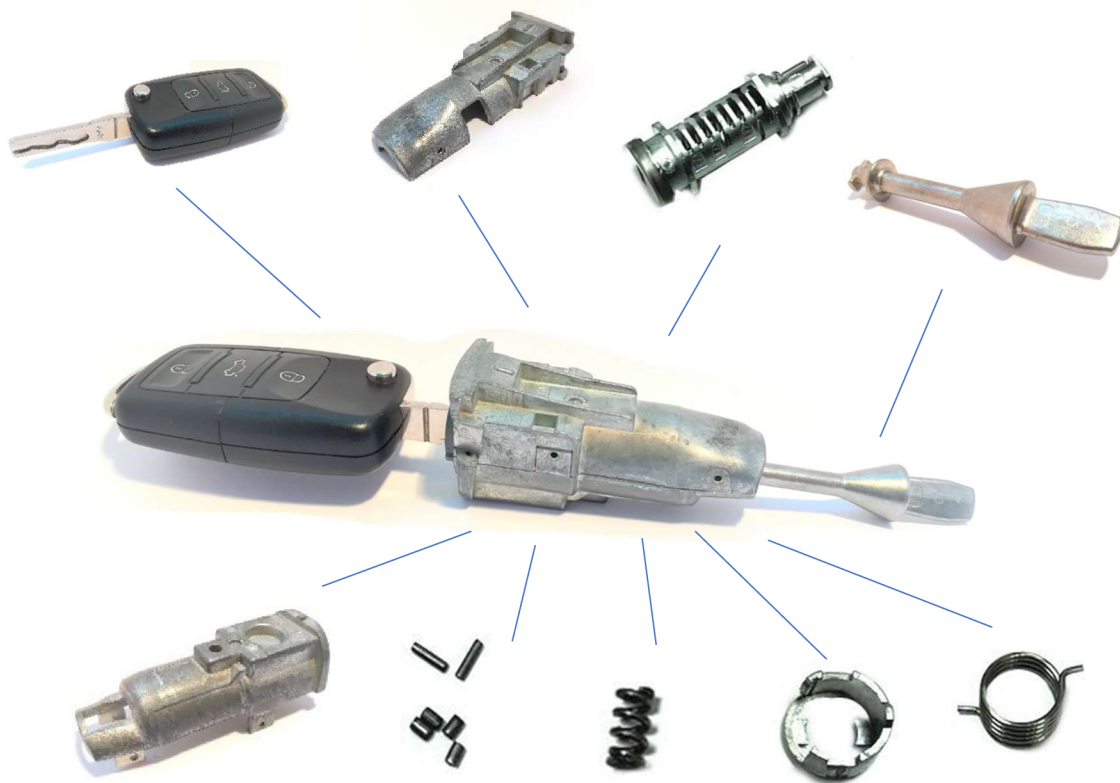
Obr. 19 Využití zinkových odlitků v odvětvích za rok 2021 [8]

V následujících kapitolách jsou představené jednotlivé průmyslové odvětví, ve kterých se mnou zinkové odlitky nacházejí. Výběr vychází z obr. 19 zobrazující využití zinkových odlitků ve vybraných odvětvích.

### 3.1 Automobilový průmysl

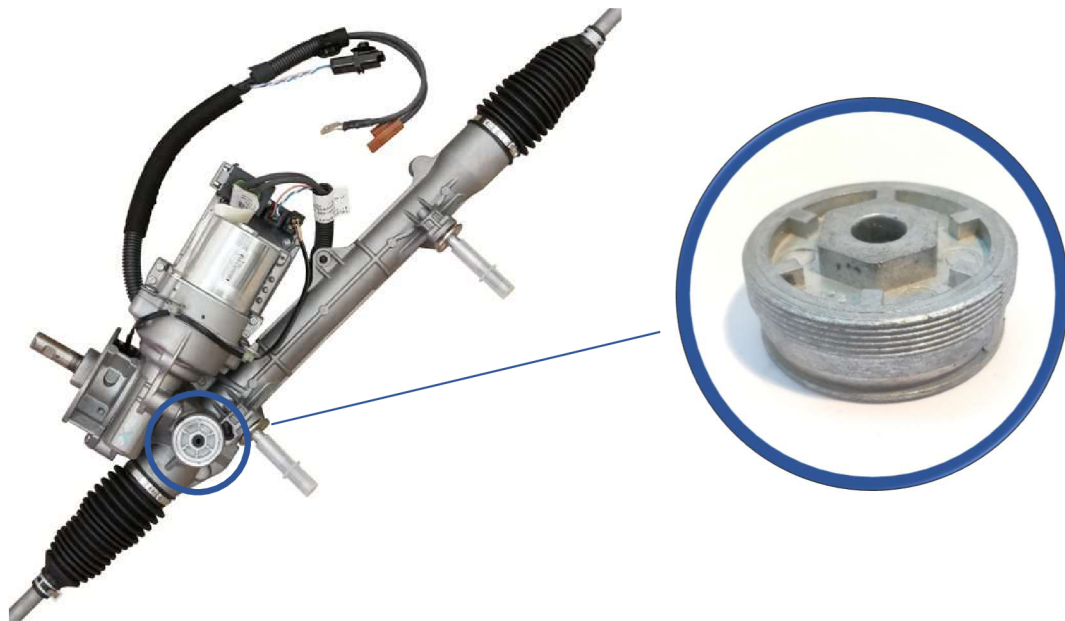
Největší odvětví, u kterého jsou zinkové odlitky využívány. Využití odlitků je zobrazeno na obr. X, kde automobilový průmysl představuje až 55 % z celkové produkce. Jedná se především o méně namáhané součásti jako jsou zámky a otevírací mechanismy dveří vozidel, díly v mechanismu zapalování, uzavírací spojení hydraulických systémů. Zinkové odlitky mají velmi dobrou zabíhavost, proto lze vyrábět velmi tvarově složité odlitky s tenkou tloušťkou stěny. [8]

Nejčastěji vyráběným produktem ze zinku jsou zámkové mechanismy do dveřních systémů a automobilů. Zámky automobilů jsou rozdílně tvarově a rozměrově navrženy s ohledem na značku a model vozidla. Zámek je složen z velkého množství součástí, mezi kterými se nachází vložka zámku. Tento díl je z velké části vyroben právě ze zinkových odlitků. Jedná se o díl, který je umístěn přímo u kliky dveří, do kterého je zasouván klíč k odemčení a uzamčení dveří. Vložka je složena z krytky zámku, která se vyrábí buď z plechu nebo ze zinku. Krytka je nasazena na bubínek, ve kterém je otvor pro klíč. Ten slouží k odjištění západek, které jsou umístěny v drážkách bubínku, a následnému otočení bubínku. Na bubínek je nasazený mezičlen, ve které se bubínek otáčí. Vnitřní strana bubínku je spojena s dílem označovaným jako pádlo, které zajišťuje přenos krouticího momentu z klíče před bubínek na další mechanismus zámku. Celá sestava je uzavřena v dílci označeným jako těleso, které je složeno ze dvou částí. Tento díl je uchycen k nosným prvkům zámkového mechanismu. Jednotlivé díly i samotná sestava zámku s klíčem jsou zobrazeny na obr. 20. [8]



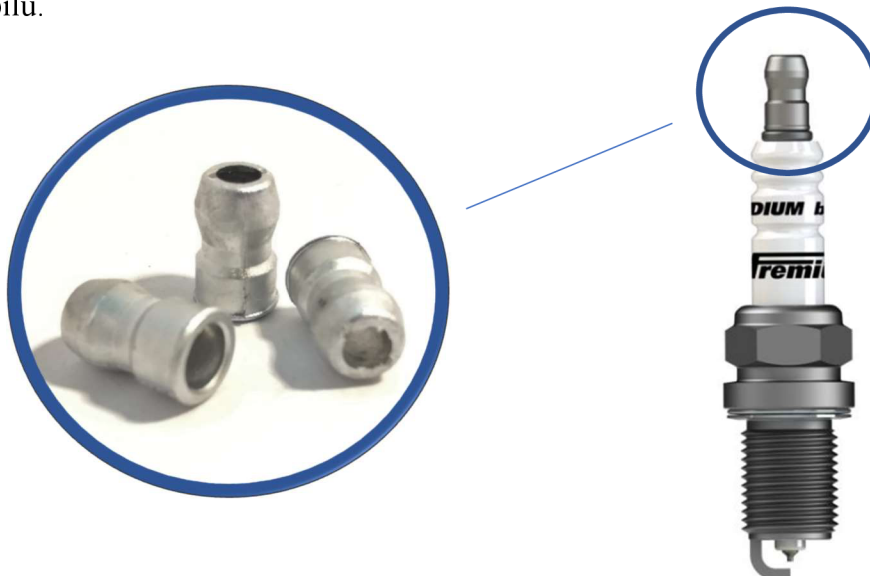
Obr. 20 Vložka zámku dveří automobilu

Výroba mechanismů zámek není jedinou oblastí automobilů, kde lze zinkové odlitky použít. Lze je nalézt například v částech vozidel, které slouží ke správnosti chodu řízení automobilů. Příkladem může být systém řízení kol vozidla. Zde odlitek může sloužit například jako uzávěr pístnice, která svojí funkcí zajišťuje správné natáčení kol přední nápravy vozidla. Zinkový uzávěr má tu výhodu oproti ocelovému, že má nižší hmotnost, tudíž dochází snížení celkové hmotnosti řídicího systému i vozidla. Další výhodou je způsob výroby, kdy při výrobě odlitku z oceli by nebylo možné vyrobít závit nacházející se na součásti během procesu odlévání. Závit by bylo nutné vytvořit v přidavné operaci. U technologie vysokotlakého liti zinkových slitin lze vytvářet odlitky, které jsou opatřeny vnějšími závity, už při procesu odlévání. [8; 28]



Obr. 21 Systém řízení [28]

Zinkové odlitky zaujímají velké procento použití v automobilovém průmyslu. Jejich využití se každým rokem zvyšuje, a postupně dochází k nahrazování dílů běžně vyráběných z těžších materiálů zinkovými slitinami. Na obr. 22 je znázorněn odlitek hlavičky zapalovací svíčky automobilu.



Obr. 22 Hlavička svíčky automobilu [29]

### 3.2 Nábytkářský průmysl

Skříně, poličky, stoly, postele jsou další oblasti, kde lze zinkové odlitky nalézt. Jedná se o oblast průmyslu, kde je možné odlitky ze zinku nalézt. Především se jedná o drobné součásti ke spojování dřevotřískových desek vůči sobě nebo jako dekorativní kování nábytku. Nejčastěji jsou ze zinku vyráběny díly pro kování nábytku, jedná se především o určité druhy šroubů a excentrických matic spojující jednotlivé stěny skříně nebo stolu k sobě.



Obr. 23 Nábytkové kování [30]

Účelem nábytek není jen z důvodu, aby sloužil, důležitým parametrem v dnešní době je i jeho vzhled. Právě vzhled je důležitý trend dnešní doby, většina zákazníků si pořizuje nábytek nejen podle skladovacích vlastností skříně, ale zároveň podle barvy a vzhledu povrchu jednotlivých desek nábytku. Důležitým faktorem bývají různé vzhledové doplňky, které slouží ke zvýšení atraktivnosti nábytku. Příkladem zinkového dekorativního doplňku může designové madlo pro otevírání dveří skříně. Lze jej vyrábět z různých materiálů, od dřeva přes plastové dílce po zinkové odlitky. Na obr. 24 je znázorněné madlo skříně vyrobené ze zinkové slitiny.

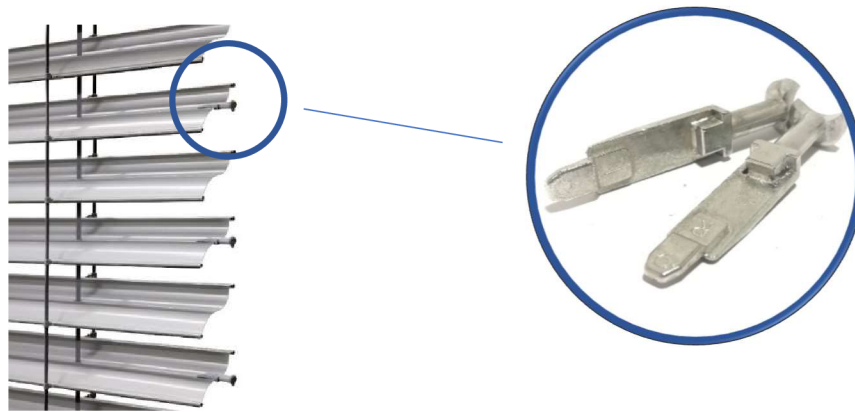


Obr. 24 Dekorační prvky nábytku [31]



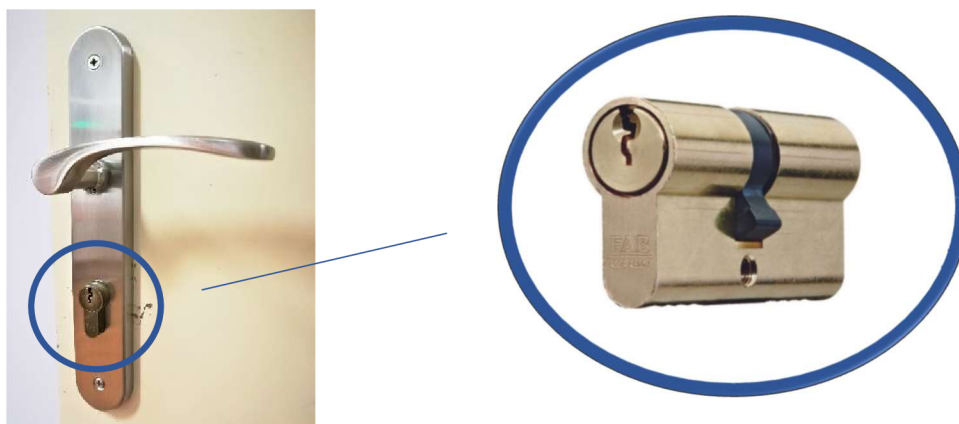
### 3.3 Dveřní a okenní systémy

Se součástmi ze zinku se lze potkávat v běžném životě. Aniž bychom to věděli, člověk se s nimi setkává každý den, ať už v domácím nebo v pracovním prostředí. Součásti bývají poměrně nenápadné, obvykle nelze poznat, že se jedná o součást vyrobenou ze zinku. Příkladem doplňku interiéru a exteriéru domu může být například stínicí systém oken proti průchodu slunečního světla do domu. Ačkoliv hlavním prvkem tohoto systému jsou samotné stínicí lamely, které brání průchodu slunečního svitu přes okno do místnosti, důležitějším elementem je správné vedení a zajištění lamel proti samovolnému pohybu. Tomuto pohybu brání vodící lišty, které jsou připevněny k bočním stěnám okenního otvoru. Lamela je připevněna k vodící liště před díl nazývaný vodičko. Z jedné strany je lamela uchycena do drážky vodička a z druhé strany je přes T prvek vedena ve vodící liště. Při vytahování stínění dochází k vedení lamel souběžně s drážkou vodící lišty. Z důvodu nízkého namáhání a malé hmotnosti jsou zinkové slitiny ideálním materiálem pro jejich výrobu. Na obr. 25 je znázorněný díl pro vedení lamel ve vodící liště.



Obr. 25 Stínicí systém [32]

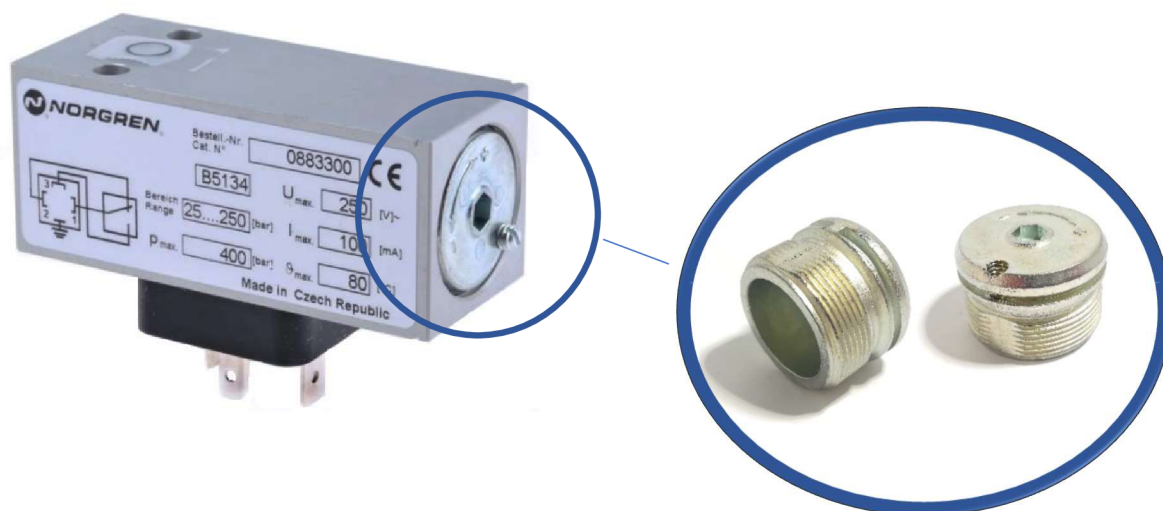
Nedílnou součástí každého bydlení jsou dveře. V dnešní době jsou řešeny spíše dveře vchodové, s nimi bývá spojeno zajištění dveří proti vniknutí cizí osoby pomocí zámku. Zámky do dveří jsou děleny do několika kategorií. Jedná se o zámky běžné nebo o speciální bezpečnostní zámky. Rozlišují se především samotnou konstrukcí. Některé části zámků bývají podobné nebo stejné, bývají vyrobeny ze stejného materiálu, kterým často bývá zinková slitina. Příkladem dveřního zámku ze zinkové slitiny je klasický zámeček FAB, který lze nalézt na většině typů dveří. Zámeček je tvořen vnitřní vložkou zámku se zapadajícími kolíky a tělem zámku, ve kterém je vložka umístěna. Právě tělo zámku od společnosti FAB je typickým příkladem odlitku ze zinkové slitiny. Tělo zámku je znázorněno na obr. 26.



Obr. 26 Zámeček dveří [33]

### 3.4 Strojní a spotřební průmysl

Odlitky ze zinkových slitin se vyznačují výbornou těsností. Tím je myšleno, že jednotlivé mezery v krystalické mřížce jsou tak malé, že nimi neprojdou atomy různých kapalin, ani vzduchu. Z toho důvodu jsou zinkové odlitky vhodné pro aplikace, kde se pracuje s určitými typy médií, například s kapalinami. Příkladem použití může být třeba karburátor starších automobilů, kde dopravovaným médiem bývá vzduch s palivem. Zinkové odlitky lze využívat třeba jako těsnící uzávěry tlakových systémů. Na obr. 27 je zobrazen elektro-mechanický tlakový spínač pro rozvod neutrálních plynů a kapalin.



Obr. 27 Elektro-mechanický tlakový spínač [34]

Karburátor byl využíván v dřívějších dobách pro provoz automobilů. Jeho funkce spočívala v přípravě zápalné směsi benzínu a vzduchu v určitém poměru a množství podle zatížení chodu motoru. Z vrchní strany je přiváděn vzduch z venku, který prochází přes ventil do mísícího prostoru, kde je obohacován o palivo. Po nasycení je směs vzduchu s palivem dopravena přes škrtkový ventil do motorového prostoru, kde se spaluje. [38]



Obr. 28 Karburátor ze zinkové slitiny [37]

Stroje lze dělit na velké průmyslové stroje a menší stroje, které lze využívat například v domácnostech. Příkladem mohou být různé převodové skříně, případně různé kryty pohyblivých součástí nebo přímo pohyblivé součásti. Na obr. 29 jsou znázorněny vrtule pro dopravu vzduchu. Stroje využívané v domácnosti disponují také určitým množstvím odlitek. Může se jednat o stator elektromotorů, případně chladičů. I v těchto zařízeních lze nalézt zinkové odlitky. Příkladem mohou být součásti pro přenos kinematického pohybu z jedné součásti na druhou, příklad je znázorněn na obr. 30.



Obr. 29 Odlitek vzduchové turbíny



Obr. 30 Odlitek kyvadla s ozubením

Statory elektromotorů, případně chladičí stěny jsou odlitky vyznačující se velkým množstvím žebér s malou tloušťkou stěny. Slitiny zinku ve vyznačují dobrou slévateľností a výbornou zabíhavostí, z tohoto důvodu lze vyrábět odlitky s malou tloušťkou stěn. Na obr. 31 jsou zobrazeny příklady tenkostěnných odlitek s žebrováním.



Obr. 31 Tenkostěnné zinkové odlitky s žebrováním [39]

### 3.5 Elektrotechnický průmysl

Elektrotechnika je nedílnou oblastí, kde se zinkové odlitky využívají. Vyskytuje se zde několik oblastí, kde se mohou nacházet. První oblastí je výroba konektorů elektrotechniky pro výrobní stroje nebo automobilový průmysl. Odlitky bývají součástí konektorů a lze je nalézt především jako tvarové koncovky konektorů. Na obr. 32 je znázorněna koncovka konektoru.



Obr. 32 Koncovka konektoru

V elektrotechnice lze používat zinkové odlitky i jiným způsobem než pro výrobu konektorů. Velké zastoupení je při výrobě elektrotechnických nástrojů, multifunkčních klíčů a pomůcek na otevírání pojistkových skříněk a rozvaděčů. Zinková slitina je zde volena z důvodu nižší hmotnosti, ale především kvůli různé tvarové variabilitě jednotlivých typů klíčů. Příklad odlitku multifunkčního klíče je zobrazen na obr. 33. Součásti vyrobeny ze zinku mohou sloužit i jako nosné prvky. Příkladem může být držák reproduktoru obr. 34. Slitiny zinku mají tu vlastnost, že umí dobře tlumit vibrace. V důsledku nižší hmotnosti zinkových slitin vůči ocelovému plechu lze při konstrukci nosiče používat větší tloušťky stěny, tím dojde k jeho zpevnění a zlepšení pevnostních vlastností.



Obr. 33 Multifunkční klíč



Obr. 34 Držák reproduktoru [40]

### 3.6 Další příklady zinkových odlitků

Ve strojírenském průmyslu se běžně využívají odlitky z různých materiálů. Odlitky ze zinkových slitin jsou nejvíce zpracovávány technologií vysokotlakého lití, z důvodu vysoké produktivity a nízké ceny výsledného odlitku. Avšak lze je zpracovávat i běžnými technologiemi, jako je lití do pískových forem. Zde se jedná především o odlitky větších rozměrů, kde se zároveň neklade velký důraz na výslednou kvalitu odlitku po celém jeho povrchu. Příkladem mohou být odlitky různých armatur a ventilů. [18]



Obr. 35 Příklad odlitku technologií lití do pískových forem [18]

Na zinkové odlitky lze velmi dobře nanášet různé druhy povrchových úprav, ať už se jedná například o pasivaci povrchu, lakování nebo pochromování. Příkladem pochromovaných zinkových odlitků jsou vodovodní baterie. Z důvodu snížení výrobních nákladů je lze, v porovnání s mosazí vyrábět o dost levněji a rychleji.



Obr. 36 Vodovodní baterie [35]



Obr. 37 Ostatní zinkové odlitky [36]

## 4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část práce je zaměřena na průběh přípravy výroby zinkového odlitku technologií vysokotlakého lití. Dle dodané výkresové dokumentace od zákazníka byl navržen způsob výroby daného odlitku, a po provedení kontroly a zhodnocení tvaru odlitku byla zhotoven nástroj, ve kterém bude odlitek vyráběn. Pro zkušební sérii bylo vyrobeno 200 odlitků, u kterých byly dále provedeny strukturální a mechanické zkoušky předepsané zákazníkem.

Součást je rotačního tvaru o rozměrech  $\text{Ø}13 - 59.2$  mm. Z důvodu zamezení šíření informací a ochraně majetku zákazníka, není možno doložit výkresovou dokumentaci vyráběné součásti. Vyráběná součást s označením pádlo má rotačně válcový tvar. Společně s dalšími díly je tvořen zámek, který se nachází ve dveřích automobilu, kde plní funkci zamykání a odemykání dveří. Vrchní část pádla je tvořena rovinnou plochou, která plní účel přenosu momentu z jedné součásti na druhou. Střední kuželová část zajišťuje ustavení součásti v sestavě po montáži a k plynulému přenosu krouťícího momentu z rovinné plochy na válcový průřez součásti. Spodní část zajišťuje spojení s vložkou zámku dveří, do které je vkládán klíč k odemykání a zamykání dveří automobilu.



Obr. 38 Znáznornění použití vyráběné součásti (pádl)

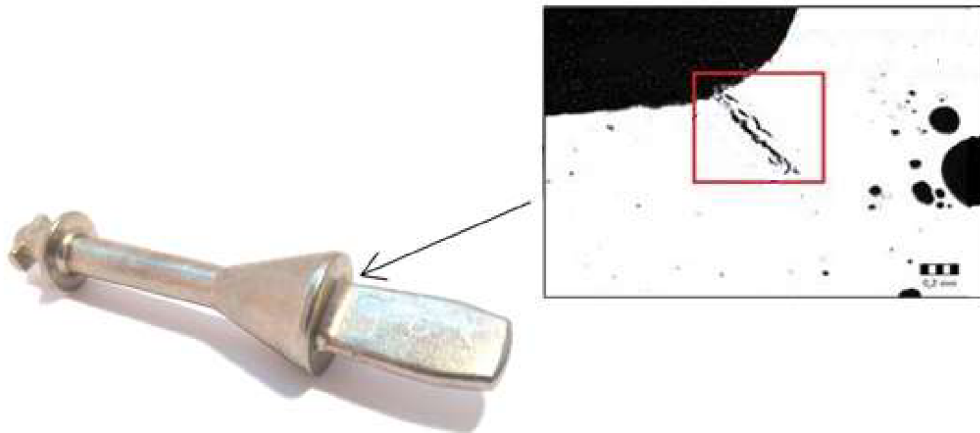
Při vsunutí klíče od automobilu do zámku dveří, tělo klíče vysune západky, které se v něm nachází. Tím se uvolní vložka zámku, ke které je připevněno pádlo. Vlivem otočení klíče ve směru hodinových ručiček dojde k otočení zámku, kterým je krouťící moment přenesen na rovinnou plochu na konci pádla a následně na mechanismus zajištění dveří. Stejný princip funguje při otočení klíče proti směru hodinových ručiček, kdy dojde k opětovnému odemčení a odjištění dveří automobilu.

### 4.1 Mechanická zkouška a kontrola geometrie součásti

Pro zajištění bezporuchovosti celého zamykacího mechanismu jsou u jednotlivých součástí prováděny specifické mechanické zkoušky. Pro zadanou součást je zákazníkem předepsaná cyklická zkouška, u které je prováděno opakované namáhání na krut. Zkouška má simulovat reálný průběh použití součásti v provozu. Provádí se ve speciálním přípravku, ve kterém je uchycena zkoušená součást z každé strany. Následně se součást opakovaně cyklicky namáhá okolo osy rotace součásti. Dle požadavků zákazníka je provedeno minimálně 30 000 cyklů, kterými musí zkoušená součást projít.

Po provedení cyklické zkoušky u vyrobených kusů bylo zjištěno, že součásti v místě rádiusu  $R_{0,5}$  při určitém počtu cyklů praskají. Praskliny vznikaly v místě, kde se napojuje rovinná plocha s čelní plochou kuželové části součásti. Po mikroskopickém zkoumání vzniklého lomu se zjistilo, že při přibližně 15 000 cyklech začala v místě rádiusu vznikat únavová trhlina. Se zvyšujícím se počtem cyklů se únavová trhlina zvětšovala, dokud součást v celém místě průřezu nepraskla. Zjistilo se, že za vznikem únavové trhliny stála špatná konstrukce součásti v místě rádiusu, který byl konstrukčně příliš malý a jeho funkce připomínala spíše kolmý roh. Poloměr

rádiusu byl zákazníkem předepsán na R0,5 mm. Na obr. 39 je znázorněné mikroskopické zobrazení únavové trhliny v místě rádiusu.



Obr. 39 Mikroskopické znázornění únavové trhliny v místě rádiusu

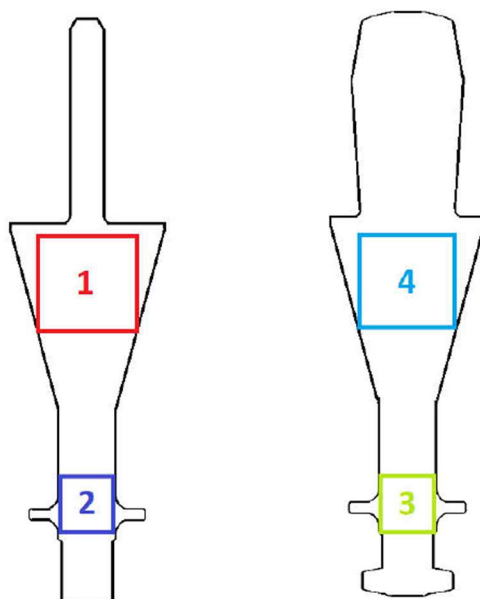
Při výrobě součástí je běžné, že se mohou vyskytnout určité vady, případně deformace vlivem nevhodné manipulace nebo chybou při výrobním procesu. Podobný případ nastal při výrobě této součásti. U součásti byla nalezena deformace v ose rotace. Zjistilo se, že začátek součásti byl vůči jejímu konci zkroucený. Jednalo se o hodnotu v rozmezí několika stupňů. Deformace vznikala už ve výrobě, přesněji v samotném procesu lití, kdy při procesu vyhazování, (vysunování) odlitku z dutiny formy, docházelo k jeho protočení vlivem vzniklého tepelného namáhání u součásti.

## 4.2 Vyhodnocení porézности vyráběné součásti

Pro odlitky ze zinkových slitin je běžně prováděna zkouška, u které se provádí kontrola na porézność. Dle požadavků a výkresové dokumentace od zákazníka jsou určena místa na součásti, které je zapotřebí vyhodnotit na její vznik.

Porézność je vnitřní vada odlitku, která vzniká při vstřikování roztaveného kovu (dále taveniny) za vysokého tlaku do dutiny formy. Po uzavření formy zůstane v dutině uvězněný vzduch. Působením tlaku vyvinutého pístem na taveninu při jejím vstřikování do formy se uvězněný vzduch dostává dělicí rovinou nebo odvzdušňovacími ventily ven z formy. Při špatném navržení formy dochází ke špatnému odvodu vzduchu, kdy určitá část vzduchu zůstane ve formě a po vstříknutí je vzduch obalen taveninou, která vzápětí rychle tuhne. To má za následek vznik vzduchových bublin ve struktuře odlitku, které mohou mít negativní vliv na výsledné mechanické vlastnosti vyrobené součásti. Z tohoto důvodu se provádí kontrolní zkoušky na porézność odlitku, která je předepsána zákazníkem nebo ji předepisuje technolog výroby.

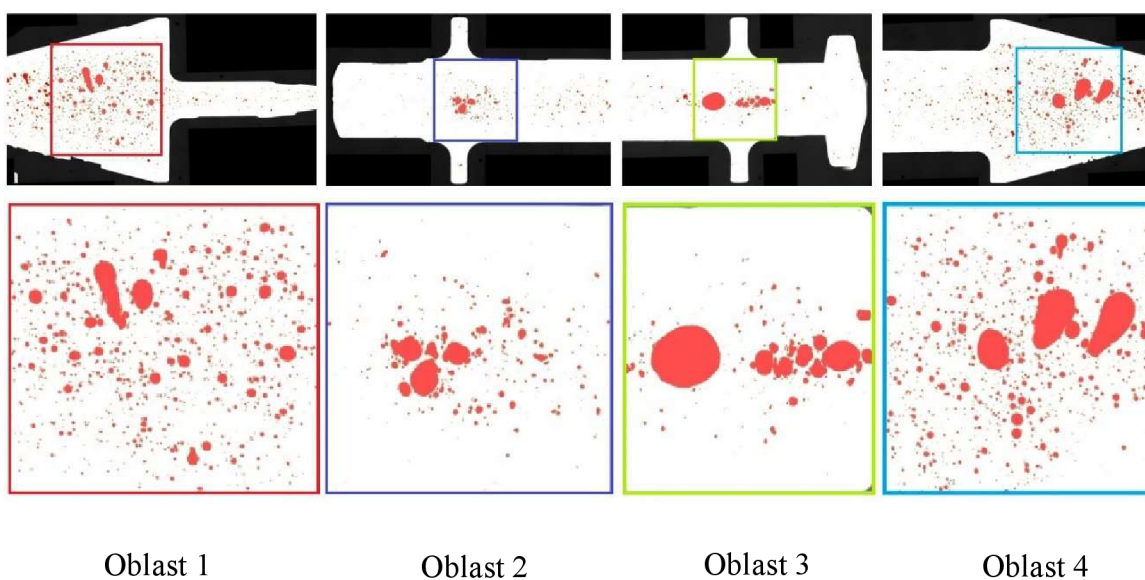
Porézność součásti je dle výkresové dokumentace stanovena jako maximální povolené množství vzduchových bublin ve určených místech nebo v celém objemu součásti. Hodnota maximálního povoleného množství vzduchu je dle obr. 40 stanovena v kuželové části součásti, v oblastech 1 a 4, na maximální povolené množství 15 % v celém průřezu součásti. Pro zbylé části 2 a 3 je v průřezu součásti předepsáno maximální povolené množství 10 %. Pro vyhodnocení zkoušky je použit mikroskop Meiji Techno UNIMAC s kamerou DFK23U274 při dvacetinásobném zvětšení.



Obr. 40 Schéma znázornění měřených míst na poréznost součásti

Tab. 5 Vyhodnocení naměřených hodnot poréznosti

Označení místa	Porézní množství %	Vyhodnocení OK / NOK
1	9,92 %	OK
2	4,96 %	OK
3	9,92 %	OK
4	13,33 %	OK



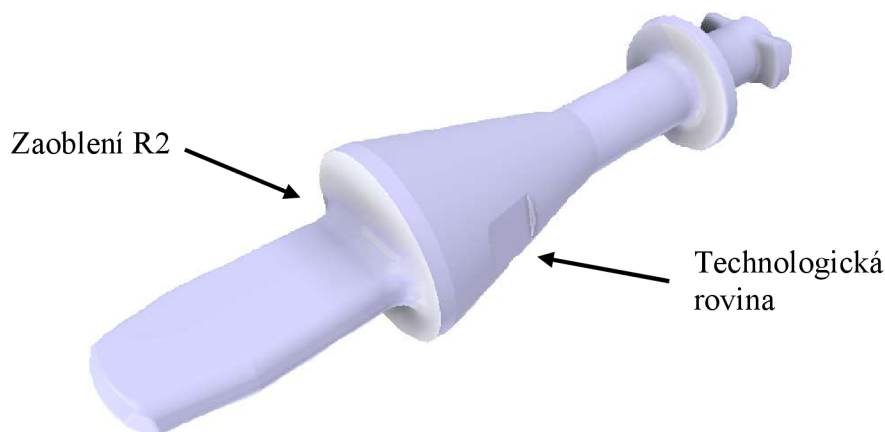
Obr. 41 Kontrola materiálu na vyskytující se poréznost



### 4.3 Úprava rozměrů a tvaru odlitku

Pro zamezení vzniku deformací u vyráběné součásti byly provedeny konstrukční i technologické úpravy. U konstrukční úpravy byla provedena změna geometrie a úprava určitých rozměrů vzhledem k maximálním prostorovým možnostem, z důvodu následné montáže dílů vůči sobě. U předchozí součásti byla hodnota zaoblení v místě napojení rovinné plochy a čela kuželové části předepsána na hodnotu poloměru R0,5. Po úpravě se zaoblení v daném místě zvýšilo na maximální možnou hodnotu o poloměru R2 vzhledem k zaručené smontovatelnosti dílů vůči sobě. Zvětšením poloměru zaoblení má za následek zamezení vzniku možného namáhání v místě součásti, čímž se i docílí vyšší životnosti vyráběného dílu.

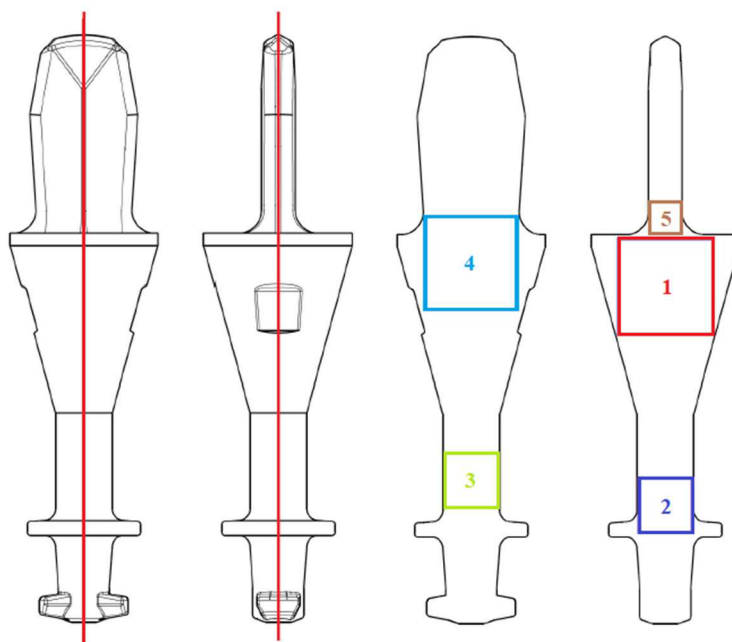
V samotném procesu výrobě běžně vzniká mnoho vad či deformací, u kterých se nepředpokládá, že by mohly vzniknout. Příkladem je zkroucení součásti okolo své osy rotace. Pro zamezení vzniku byla provedla technologická úprava, které měla za úkol zabránit vzniku deformace. U součásti byly v místě kuželové plochy vytvořeny technologické roviny, které jsou zapuštěny do kuželové plochy a jejich účelem je zamezit možnost pohybu součásti a zajištění její správné polohy ve formě při procesu odformování a následném vyhození odlitku z dutiny formy.



Obr. 42 Znárodnění součásti po úpravě

### 4.4 Vyhodnocení poréznosti vyráběné součásti po úpravě geometrie

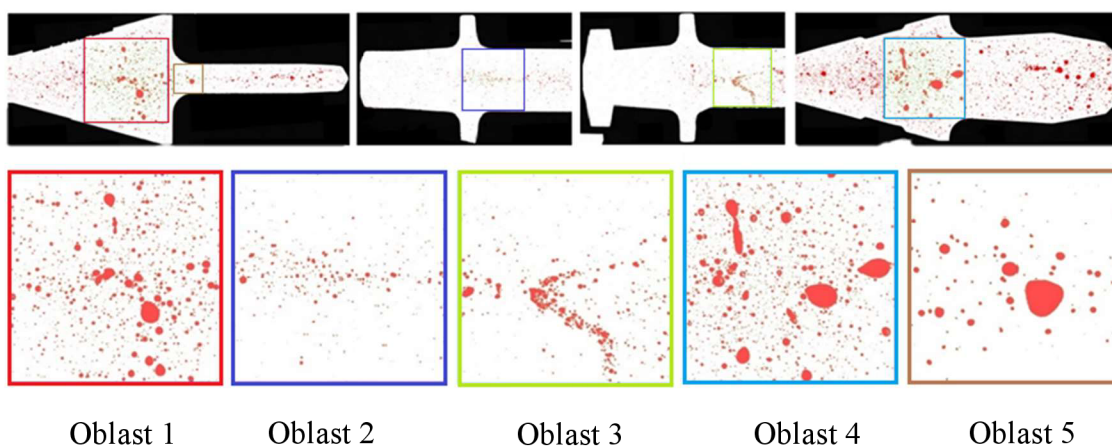
Po úpravě rozměrů a výrobě nové formy bylo zapotřebí provést novou kontrolní zkoušku na poréznost součásti. Zkouška je provedena opět dle požadavků zákazníka a dle normy, která předepisuje maximální povolené množství u předem zvolených míst. U nové součásti je dle normy předepsáno zkontrolovat pět míst na místo čtyř, které byly u původního typu součásti. Součást je rozříznuta ve dvou podélných řezech a je provedena v příslušných místech zobrazených na obr. 43. V oblastech 1 a 2 je předepsané maximální povolené množství poréznosti na hodnotu 15 %. U zbylých oblastech je stanovena maximální hodnota 10 %. Pro provedení kontroly je použit stejný mikroskop jako u předchozích kontroly.



Obr. 43 Schéma znázornění měřených míst na poréznost po úpravě součásti

Tab. 6 Vyhodnocení naměřených hodnot poréznosti po úpravě součásti

Označení místa	Porézní množství %	Vyhodnocení OK / NOK
1	9,52 %	OK
2	2,03 %	OK
3	4,44 %	OK
4	12,45 %	OK
5	5,49 %	OK



Obr. 44 Kontrola materiálu na vyskytující se poréznost po úpravě součásti

---

## ZÁVĚR

Cílem práce bylo popsat výrobu a použití odlitků ze zinkových slitin. V práci bylo pojednáváno o výrobě čistého zinku. Čistý zinek není pro technické využití vhodný, proto se doplňuje o kovy, které zlepšují jeho mechanické a chemické vlastnosti. Smícháním více kovů v určitém poměru se tyto sloučeniny označují jako slitiny. Ty se dále zpracovává různými technologiemi, podle požadavků výsledného produktu. Technologiemi pro zpracování zinkových slitin jsou technologie lití do pískových forem, lití na vytavitelný model, Tekcast nebo metody lití za zvýšených sil.

Na celém světě existuje velké množství zinkových slitin s různými názvy nebo značením v závislosti na normě a zemi, ve které jsou vytvořeny. Z dlouhodobého hlediska jsou zinkové slitiny velmi dobrou alternativou při nahrazování určitých součástí oproti jiným používaným materiálům, které mají často stejné nebo i naopak horší mechanické či technologické vlastnosti. Zinkové slitiny mají velmi perspektivní výhled do budoucnosti v oblasti využití. Celosvětově jejich produkce rychle vzrůstá, a je možné říct, že tomu tak bude i do budoucna. Velkým pozitivem je jejich jednoduchost zpracování a dobré výsledné mechanické vlastnosti.

Zinkové odlitky lze používat ve širokém odvětví průmyslu, v závislosti na použité technologii výroby a požadavcích zákazníka. Lze je použít například v automobilovém průmyslu, nábytkářském průmyslu, elektrotechnickém, strojním, případně v oblastech zabezpečení domů nebo hydraulických systémech. Jejich využití v budoucnosti má veliký potenciál, především jako náhrada za dosavadní používané kovy. Z důvodu výborných slévárenských a metalurgických vlastností se vyznačují jako levný a rychlý způsob, jak lze výsledného odlitku nejjednodušší cestou dosáhnout, aby splňoval požadované vlastnosti. Nejvíce využívanou technologií pro zpracování těchto slitin je lití za zvýšených sil. Z tohoto důvodu je zinek nejvíce využíván pro velkosériovou výrobu. Výhodou výroby zinkových odlitků u lití za zvýšených sil jsou jeho následné minimální požadavky na obráběcí operace.

Práce byla doplněna o experiment z reálného procesu výroby určitého typu součásti, u kterého bylo nalezeno několik vad, které byly zjištěny při mechanických zkouškách a kontrolním měření. Úkolem bylo najít řešení pro zamezení vzniku nežádoucích vad. Byly zavedeny technologické a konstrukční úpravy součásti, jejíž výsledkem bylo jejich odstranění úpravou výrobní technologie a změnou geometrie součásti. Součásti před a po úpravě byly současně podrobeny kontrole na poréznost ve vybraných místech dle pokynů zákazníka. Po vyhodnocení kontroly součásti na poréznost byly vyhodnoceny oba typy vzorků jako vyhovující.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. PÍŠEK, František, Ladislav JENÍČEK, Antonín ČÍŽEK, Břetislav DOLEŽEL a Vladimír SEDLÁČEK. *Nauka o materiálu III. 2. svazek, Výroba železa, oceli a neželezných kovů, nekovové materiály*. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1962, 916 stran, 4 nečíslované listy obrazových příloh: ilustrace
2. *Vlastnosti slitin zinku* [online]. [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2075-4701/10/2/253/htm>
3. PÍŠEK, František, Ladislav JENÍČEK, Přemysl RYŠ a Mojmir CENEK. *Nauka o materiálu I: nauka o kovech. 3. svazek, Neželezné kovy. Druhé rozšířené a zcela přepracované vydání*. Praha: Academia, nakladatelství Československé akademie věd, 1973, 595 stran: ilustrace.
4. PORTER, Frank C. *Zinc handbook: properties, processing, and use in design*. Ilustrované vydání. North Carolina: CRC Press, 1991. ISBN 0-8247-8340-9.
5. ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 148 s. ISBN 80-214-2790-6.
6. *Sfalerit*. In: Wikipedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2021 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Sfalerit>
7. KINC, M. *Povrchová úprava slitin zinku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 71 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Eva Novotná, Ph.D., Paed IGIP.
8. *Poskytnuté informace*. Tenza cast [online]. [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.tenzacast.cz/cz/>
9. OLIVERIUS, Václav. *Slévání neželezných kovů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1954, 163 s.: il.
10. *Značení zinkových slitin* [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: [http://www.steelnumber.com/en/standard\\_alloy\\_all\\_grades\\_eu.php?type\\_id=4#top](http://www.steelnumber.com/en/standard_alloy_all_grades_eu.php?type_id=4#top)
11. *Brock Metals s.r.o: Products* [online]. [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <http://www.brockmetals.sk/products.html>.
12. *Slitina zinku* [online]. [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://matmatch.com/materials/wiam813130-en-12844-grade-gd-znal4cu1-cast-condition>
13. *Slitiny zinku*. Eazall [online]. [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://www.eazall.com/zinc-die-casting>
14. *Slitiny zinku* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.voestalpine.com/stahl/en/Products/Foundry-products/ALZEN-305-ALZEN-305-K-and-ALZEN-501-white-bronze>
15. *Intergranular Corrosion of the as Cast Hypoeutectic Zinc-Aluminium Alloy*. Legnica, Poland, 3/2017n. 1., 17 s. ISBN 2299-2944. Akademická práce. Foundry Commission of the Polish University of Science and Technology.
16. *Válcování zinkových slitin*. Hazellett [online]. [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: <https://www.hazellett.com/zinc>
17. *Tavicí kelímky*. Morgan [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.morganmms.com/en-gb/>

18. *Způsoby lití zinku*. Icasting-machining [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.icing-machining.com/>
19. *Lití do pisku*. Thebostoncalendar [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.thebostoncalendar.com/events/artweek-aluminum-sand-casting>
20. HORÁČEK, Milan. *VÝROBA PŘESNÝCH ODLITKŮ TECHNOLOGIÍ VYTAVITELNÉHO MODELU*: [přednáška]. VUT, FSI, Odbor slévárenství. Brno, 2022.
21. *Lití na vytavitelný model 1* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://news.ewmfg.com/blog/investment-casting-vs.-die-casting-considerations-when-choosing-process>
22. *Lití na vytavitelný model 2* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://stampingdieparts.ecer.com/mould-6278908-zinc-alloy-investment-casting-parts-precision-casting-small-metal-parts.html>
23. *Schéma technologie lití tekcast*. [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.rkplast.com/portfolio-item/tekcast/>
24. *Technologie lití tekcast*. Slévárna zinku [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.slevarnazinku.cz/technologie-odstrediveho-liti-tekcast/>>
25. *Gravitační lití do kokil*. [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.engineeringclicks.com/die-casting/>
26. BERNÁŠEK, Vladimír a Jan HOREJŠ. *Technologie slévání*. 3., upr. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, 2006, 175 s. : il. ISBN 80-7043-491-0.
27. HAVEL, Jiří. *Tlakově lité odlitky z Al slitin pro automobilový průmysl*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 37s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Jaroslav Čech, CSc.
28. *Řízení nápravnic* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://kpsautomotiveparts.co.uk/jtekt-electric-power-steering-eps/>
29. *Zapalovací svíčka*. Briks [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.brisk.cz/katalogy/zapalovaci-svicky/iridium-premium-plus>
30. *Stůl* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.nabytek-bmark.cz/pracovni-stoly/psaci-stoly/psaci-stul-aga-100-cm-mb43-la.html>
31. *Skříň* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.ikea.com/cz/cs/p/hauga-otevrena-satni-skrin-3-zasuvky-seda-80424967/>>
32. *Stínící žaluzie*. Isotra [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.isotra.cz>
33. *Zámek FAB*. Bauhaus [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.bauhaus.cz/fab-cylindricka-vlozka-2935-200rsgd-26494919>
34. *Uzávěr spínače* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://uk.rs-online.com/web/p/vacuum-switches/4076095>
35. *Vodovodní baterie* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.petersonenterprises.com/processesproducts/casting/zinc-die-casting>
36. *Příklady odlitků* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.decardy.com/high-precision-zinc-die-cast-parts.html>
37. *Karburátor* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/motorcycle-carburetor-21826606348.html>

38. *Karburátor*. Wikipedia [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Karbur%C3%A1tor>
39. *Tenkostěnné zinkové odlitky* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/zinc-die-castings-21024606788.html>
40. *Držák reproduktoru* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.lkchinamfg.com/service/zinc-die-casting/>