

# Návrh řešení a eliminace deformací u tlakově litých rámců bezpečnostních interkomů ze slitiny zinku

## Design proposal to prevent deformation of die-cast frames for zinc alloy security intercoms

Bc. Simona Šromová

Vedoucí práce: Ing. Petr Zikmund

### Abstrakt

*Slitiny zinku jsou stále ve stínu dominantního hliníku, který převládá při výrobě technologií tlakového lití. Pro řadu výrobků jsou však tyto slitiny nejvhodnějším materiálem. Vynikají zejména vysokou přesností odlitků, minimálními nároky na obrábění a trvanlivostí použitých nástrojů. I přes deklarovanou tvarovou přesnost odlitků dochází vlivem rozložení teplot v odlitku při chladnutí k deformacím, které znesnadňují následné dokončovací operace - broušení pohledové plochy.*

*Cílem této práce je definovat vzniklé deformace zinkových tlakově litých rámců pro uložení bezpečnostních interkomů s označením 2N Helio IP Verso, navrhnout řešení, které vady eliminuje a minimalizovat vady na již odlitých kusech.*

### Klíčová slova

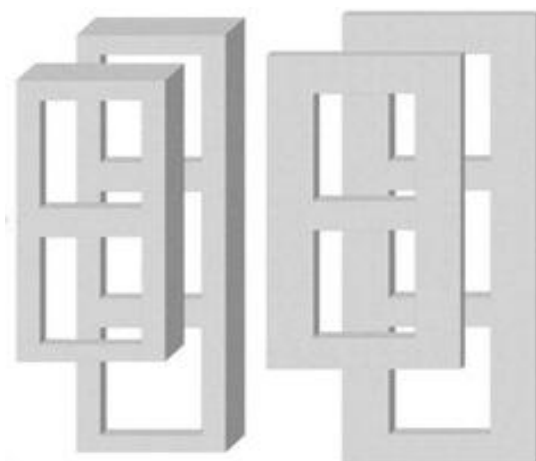
*zinek, slitiny zinku, deformace zinkových odlitků, tepelné zpracování zinkových odlitků, dokončovací operace, bezpečnostní interkomy*

## 1. Úvod

Tento příspěvek má za úkol definovat vznikající deformace u tlakově litých bezpečnostních interkomů ze zinkové slitiny ZnAl4 a navrhnout řešení, které tyto vady do budoucna eliminuje a minimalizuje je na již odlitých kusech. Odlitky, na kterých jsou prováděna opatření z důvodu nedodržení deklarované tvarové přesnosti, vyrábí společnost 2N Telecommunications ve dvou velikostech, ale samotná výroba odlitků probíhá v Číně. V prvním případě se jedná o litý rám s názvem Cover flat 2M a v druhém případě o rám s názvem Cover box 2M. Tyto rámy jsou umístěny ve stěně kancelářských budov, do kterých se následně vkládá bezpečnostní zařízení s videoterminálem. Multifunkční zařízení je vystaveno venkovním vlivům a pracuje s provozními teplotami v rozmezí -40°C až + 60°C. Důraz je kladen na výsledný vzhled rámců, proto po odlití následuje dokončovací operace broušení za účelem dosažení požadované kvality povrchu.



Obr. 1. Telekomunikační interkom [1]



*Obr. 2. Zinkové rámy pro umístění interkomů ve dvou velikostech [1]*

## **2. Společnost 2N Telecommunications**

Společnost 2N je přední evropská firma zabývající se vývojem a výrobou produktů z oblasti ICT (Information and Communication Technologies) a fyzické bezpečnosti. Hlavními produkty jsou interkomy pro dveřní komunikaci a tísňová volání, které splňují mezinárodní normy ISO, TÜV, UL a CE. [1]

## **3. Charakteristika zinku a jeho slitin**

Zinek patří mezi důležité průmyslové těžké neželezné kovy s nízkou tavicí teplotou. Slévárenské slitiny zinku se nejvíce používají pro tlakové lití. Mezi hlavní výhody zinkových slitin, oproti jiným slitinám (např. slitiny hliníku), jsou odlitky dosahující vysokých přesností s minimálními úkosy. Mezi další výhody patří minimální náklady na opracování, možnost výroby drobných odlitků o hmotnosti cca 1 gramu, velmi jakostní povrch ( $R_a = 0,8\mu\text{m}$ ), minimální požadavky na další operace po odlití a vysoká produktivita výroby. Nevýhodou zinku je jeho velká hustota, která je přibližně 2,4 násobně vyšší než u hliníkových slitin.

Čistý nelegovaný zinek má nevyhovující mechanické vlastnosti, bez příměsí vykazuje pevnost v tahu 150 MPa a tvrdost dle Brinella přibližně 30 jednotek, proto se v čisté formě na odlévání nepoužívá. Mezi hlavní legující prvky zinku patří hliník, měď a hořčík, tyto prvky příznivě ovlivňují zejména mechanické vlastnosti a i vlastnosti slévárenské. Pro technologii tlakového lití jsou nejvíce používány slitiny obchodní kategorie Zamak (z německého Zink, Magnesium, Kupfer). Jedná se o slitiny  $\text{ZnAl}_4$ ,  $\text{ZnAl}_4\text{Cu}_1$  a  $\text{ZnAl}_4\text{Cu}_3$ . [2] [3]

## **4. Slévárenské vlastnosti**

Slitiny zinku mají velmi dobré slévárenské vlastnosti. Zvláště slitiny  $\text{ZnAl}_8$  a  $\text{ZnAl}_{11}$  mají úzké pásmo tuhnutí, nedochází tak ke vzniku mikrostaženin a pórovitosti, a proto se odlitky z těchto slitin vyznačují vynikající těsností.

Licí teploty se pohybují mezi 455-610°C, což je výhodné z hlediska nižší energetické náročnosti a také dochází jen k malému tepelnému namáhání forem. Díky nízkým licím teplotám se dosahuje i vysoké přesnosti (reálná přesnost  $\pm 0,03\text{ mm}$ , IT 10) u malých odlitků. Tyto přesnosti umožňují odlévat řadu odlitků na hotovo, případně navrhovat jen malé přídatky na obrábění. Odlitky mají v litém stavu kvalitní povrch s malou drsností. Zinkové slitiny mají vynikající zabíhavost, při tlakovém lití lze předlévat otvory o průměru 1 mm. [2] [3] [4]

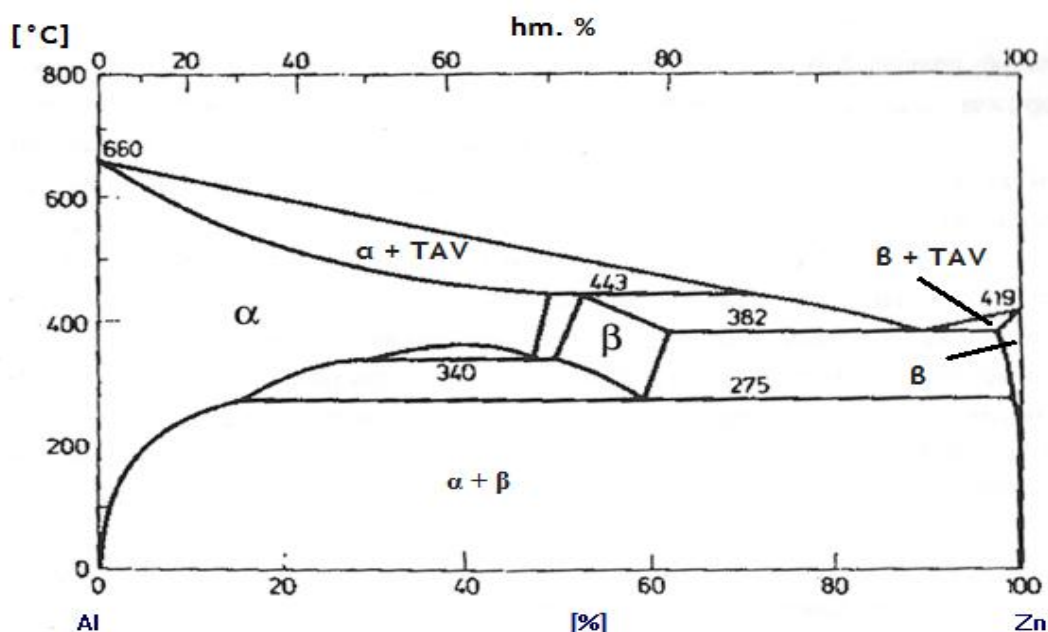
## 5. Materiál odlitků rámu

Rámy jsou zhotoveny ze slitiny zinku ZnAl4 (ČSN 42 3560). Chemické složení této slitiny v tabulce č. 1.[3]

Tabulka č. 1. Chemické složení slitiny ZnAl4 [3]

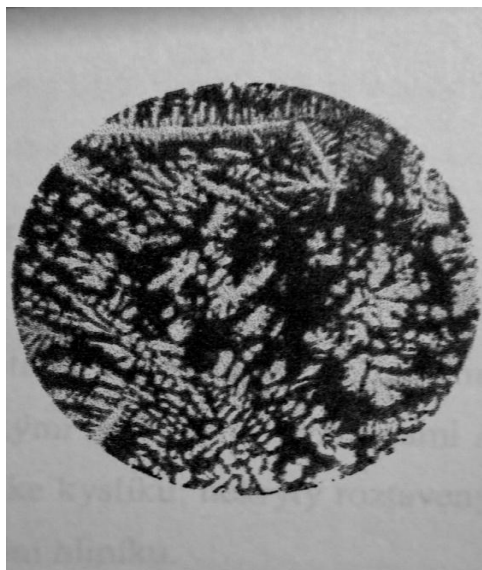
Prvek	Al	Mg	max. Cd	max. Fe	max. Ni	max. Pb	max. Si	max. Sn	max. Cu
Obsah prvku v [%]	3,8-4,2	0,035 - 0,06	0,003	0,02	0,001	0,003	0,02	0,001	0,03

Obsah hliníku v těchto slitinách zužuje oblast tuhnutí a podporuje dobrou zabíhavost viz. rovnovážný diagram obr. 3. Obsah hořčíku ve slitinách ZnAl4 podporuje zvýšení pevnosti slitiny a také kompenzuje škodlivý vliv cínu, olova a kadmia. Měď, stejně jako hliník, zmenšuje velikost zrna, zvyšuje mechanické vlastnosti (především tažnost, rázovou houževnatost) a zlepšuje zabíhavost. [3]



Obr. 3. Rovnovážný diagram Zn-Al [3]

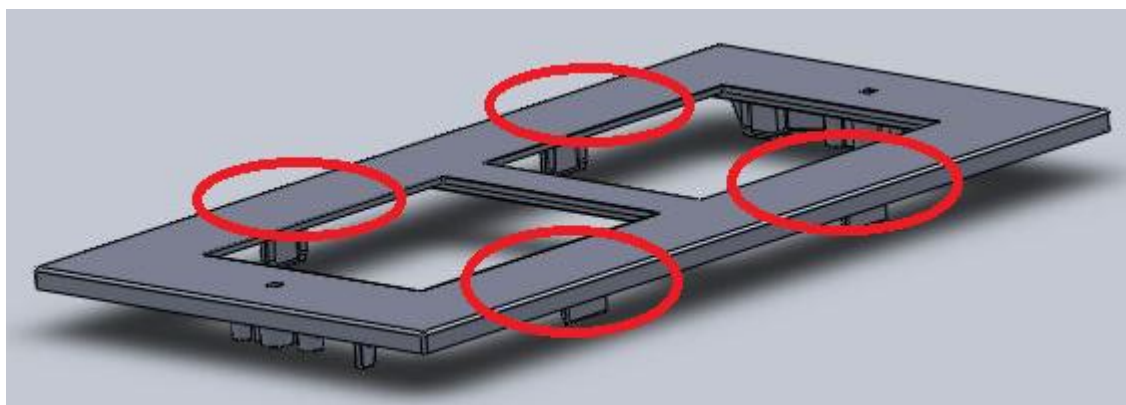
Typická struktura této slitiny ZnAl4 je patrná na obr. 4. Ve struktuře jsou světlé primární krystaly, které tvoří tuhý roztok hliníku v zinku a eutektikum, což je směs krystalů  $\alpha + \beta$ . Za vysoce škodlivé příměsi se v této slitině považují Sn, Cd, Pb a částečně i Fe, z těchto důvodů nesmí tavení probíhat v ocelových kelímcích. Tavení je na rozdíl od slitin Al jednoduché. Výhodou jsou nízké nároky na množství spotřebované energie. Rafinace, odplynění, modifikace a ani krytí taveniny není nutné, důraz se především klade na dodržení odpovídající tavicí teploty bez přehřívání taveniny.



*Obr. 4. Struktura slitiny ZnAl4 [3]*

#### 6. Deformace u odlitků ze slitiny ZnAl4

Deformace litých rámu vznikají bezprostředně po odlití. Místo kde deformace vznikají, je označeno na obr. 5 červenou barvou. Nejčastější výskyt těchto rotačních deformací je na nejdelší straně části rámu, kde se vlivem pnutí povrch zkroučí a vznikne nerovinná plocha, která způsobuje problémy při následujících operacích, při broušení.



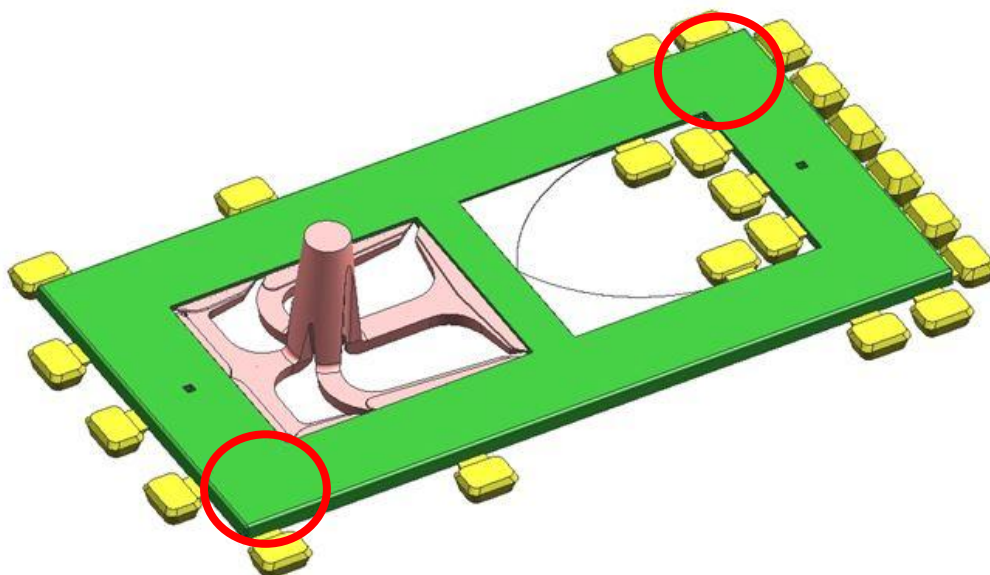
*Obr. 5. Místa výskytu deformací*

Chemické složení slitiny může mít vliv na tyto deformace. Zejména obsah hořčíku, který je ve slitinách ZnAl4 zastoupen v setinách procenta, ale má výrazný vliv na zpomalení rozpadu tuhého roztoku fáze  $\alpha$ . Proces rozpadu tuhé fáze  $\alpha$  – stárnutí, je doprovázeno změnou lineárních rozměrů, a to je u těchto odlitků nežádoucí.

Jak již bylo zmíněno, zinkové slitiny vzhledem k tvarové přesnosti a výsledné jakosti povrchu, nevyžadují dokončovací operace. Pokud je ale nutné povrchy obrábět, tak zinkové slitiny vykazují výbornou obrobitelnost, struktura je rovnoměrná bez nehomogenit či tvrdých míst. Díky tomu je možné volit vysoké rychlosti obrábění. Obrobené povrchy jsou velmi kvalitní. Dále lze povrchy odlitků brousit a leštit. [5] Společnost 2N odlité rámy dále upravuje. Obrousí pohledové plochy, což je ale u zdeformovaných odlitků značně obtížné.

## 7. Definice problému

Bylo dodáno 230ks tlakově litých odlitků rámu bezpečnostních interkomů ze slitiny zinku, původem z Číny. Všechny tyto rámy vykazovaly tvarovou nejakost. Hlavním cílem byla eliminace vad tvaru, které komplikovaly následující zpracování pohledové plochy broušením. Rozsah vad překračoval použitý přídavek na obrábění a tak často docházelo k nedobroušení či přebroušení plochy, nejčastěji na protilehlých rozích rámu (viz. obr. 6). Vznik vad je přisuzován nevhodnému řešení technologie tlakového lití, jejíž optimalizace je předmětem další etapy řešení.



*Obr. 6. Model surového odlitku s červeně vyznačenou oblastí vzniku vad*

## 8. Návrh řešení

Možností jak eliminovat vznikající deformace je jistě celá řada. Půjde především o volbu optimálního řešení s ohledem na sériovou výrobu o 100 000 počtu vyrobených kusů. Náprava vzniklých vad je však samostatným problémem, u kterého se nepředpokládá (je nežádoucí) další opakování.

### Tepelné zpracování

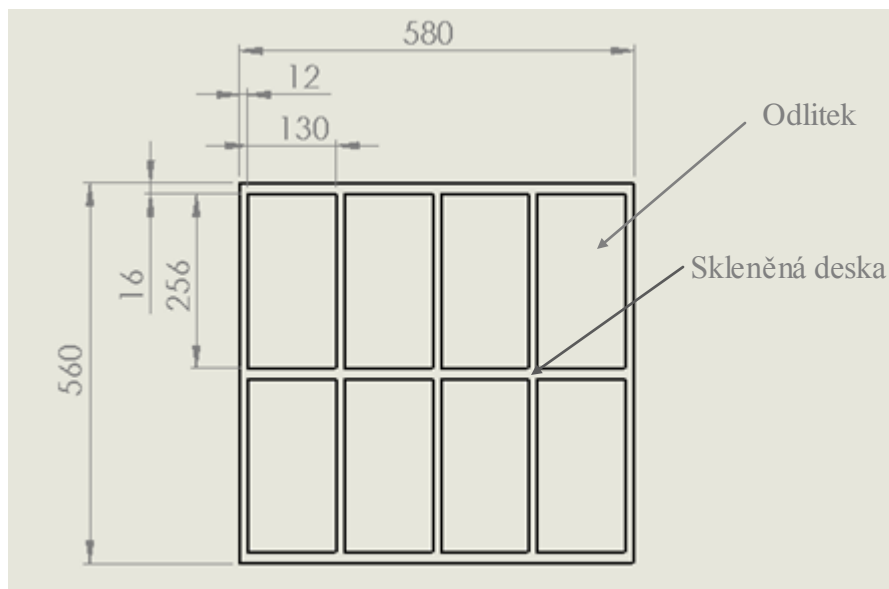
V první řadě je tedy cílem odstranit již vzniklé nerovnosti povrchu u odlitých dílů. Podkladem je rovnovážný diagramu Zn-Al, ze kterého je patrné, že při ohřevu zinkové slitiny ZnAl4 na 200°C (fáze  $\alpha$ ) slitina pozvolna přejde do tvárného stavu. V tomto stádiu, v kombinaci s rovnou podložkou s optimální rovinností a vlastní vahou tělesa, je možné deformace napravit. Podložka musí být tvarově stabilní i za zvýšených teplot.

Jako nejdostupnější materiál s odpovídajícími vlastnostmi se jeví kalené (tvrzené) sklo, případně sklokeramická deska. Pro potřeby experimentu byly použity desky z kaleného skla, které bylo možné objednat v požadovaných rozměrech tak, aby byl využit celý pracovní prostor žíhací pece.



*Princip*

Zinkové odlitky se rovnoměrně rozprostřely na skleněnou podložku. Jejich rozmístění je patrné z obr. 7.



**Obr. 7** Rozvržení odlitků na skleněné desce

Do elektrické komorové sušicí pece (obr. 8) se umístily tři takto vyrovnané plechy s respektováním rozložení teplot v peci tak, aby všechny odlitky prošly stejným teplotním cyklem. Teplota byla průběžně kontrolována dotykovým teploměrem, který sloužil k ověření údajů stupnice pece.



**Obr. 8** Elektrická komorová sušicí pec

*Hledání optimální kombinace teploty ohřevu a doby výdrže:*

### 1. Varianta

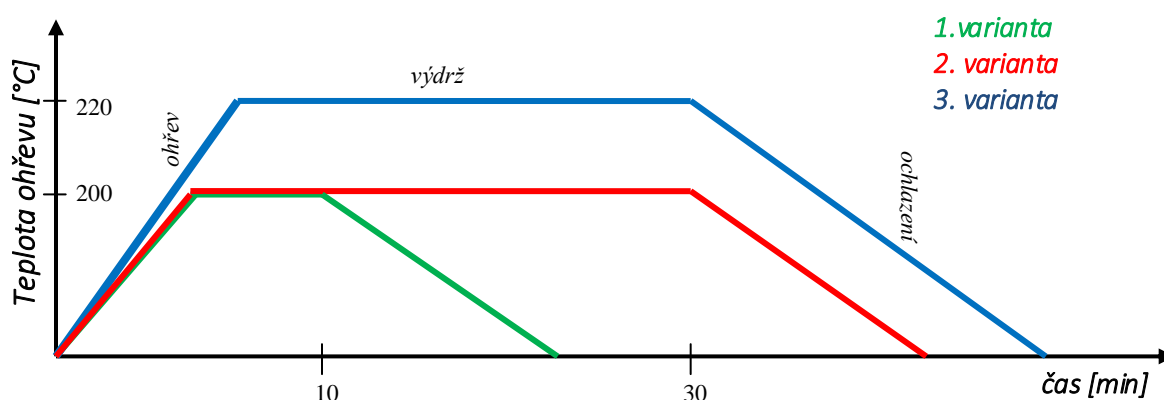
Ohřev na teplotu 200°C a výdrž po dobu 10 minut, ochlazení pozvolné v peci.  
Vyndání odlitků z pece a manuální porovnávací metodou jsme zjistili úspěšnost tohoto experimentu. Z 24 tepelně zpracovaných odlitků 15 nejevilo známky tvarové deformace.

### 2. Varianta

Prodloužení doby výdrže → ohřev na teplotu 200°C, výdrž po dobu 30 minut, ochlazení pozvolné. Z 24 tepelně zpracovaných odlitků 18 nejevilo známky tvarové deformace.

### 3. Varianta

Zvýšení teploty → ohřev na 220°C, výdrž po dobu 30 minut, ochlazení pozvolné v peci  
Žádný z 24 tepelně zpracovaných odlitků nejevil známky tvarové deformace.



**Obr. 9** Průběh tepelného zpracování odlitků

Experimentálně jsme dospěli k závěru, že tato varianta vykazuje největší počet narovnaných dílů. Dále bylo ověřeno, že po zahřátí odlitků na 220°C, výdrži 30min, vyjmutí z pece a umístění na vodorovnou desku o pokojové teplotě nedošlo k eliminaci vad. Pravděpodobně v důsledku rychlého odvodu tepla deskou a okolní atmosférou.

## 9. Doporučení k eliminaci vad

Následně se budeme zabývat možností jak předejít tomu, aby deformace na odlitcích vznikaly. Pro definitivní eliminaci vznikajících deformací, je nutný zásah do konstrukčního řešení a do procesu zpracování a manipulace s rámy po odlití.

### Varianty:

#### 1) Větší přídavek na obrábění

Na problémové plochy kde vzniká deformace předepsat větší přídavek na obrábění a tím dosáhnout tvarových a rozměrových přesností.

#### 2) Zvětšit tloušťku stěny

Zvětšením tloušťky stěny zajistíme větší stabilitu rámu a zamezíme tím rotaci dílu.

#### 3) Žebra

Po obvodu odlitku umístit žebro, které zpevní stěny odlitku, eventuelně přenesou deformaci.

#### 4) Tepelné zpracování

Zařazení kalibračního kroku do výrobního cyklu - ohřev na 220°C – výdrž po dobu 30min – průběžná pec se sklokeramickou podložkou.

#### 5) Vhodnější manipulace s odlitky

Ihned po odlití jsou rámy hromaděny v přepravním kontejneru, kde dochází k jejich vzájemnému kontaktu – vhodnější způsob skladování, například individuální zavěšování eliminuje externí nepříznivé vlivy.

### 10. Závěr

Řešení problému optimalizace procesu výroby a s ní související snahou o minimalizaci vad je téměř vždy velmi komplexní úlohou. Dílčí etapy vývoje dílů jsou však nezanedbatelnou součástí zavádění nových výrobků. Více než dvě stovky odlitků rámu bezpečnostních interkomů ze zinkové slitiny ZnAl4 byly po vzorkování na tlakově licím stroji zdeformovány tak, že nebylo možné provést následné dokončovací operace na pohledové ploše. Ve snaze o snížení okamžité zmetkovitosti bylo nutné navrhnout postup, kterým budou tyto vady odstraněny u všech neshodných dílů a následně navrhnout řešení, které bude těmto vadám předcházet.

Byl navržen technologický postup k tepelnému zpracování zinkových odlitků ze slitiny ZnAl4, po jehož aplikaci došlo ke srovnání všech dodaných vzorků. Následně bylo navrženo několik metod s cílem zabránit výskytu dalších deformací. Ověřování a aplikace těchto postupů jsou však s ohledem na polohu dodavatele odlitků velmi komplikované, proto bylo navrženo několik návrhů konstrukční úpravy odlitků a také technologie tlakového lití, sloužících jako podklad k jednání s čínským výrobcem.

Také bylo zjištěno, že možnou příčinou vznikajících deformací může být špatná manipulace s odlitky bezprostředně po vyndání z pece. Odlitkům se nedostalo dostatečné doby pro vychladnutí. V teplotním intervalu, kdy jsou zinkové slitiny stále tvárné, byly skládány na sebe, přičemž navzájem ovlivňovaly svůj výsledný tvar. Výše uvedené skutečnosti by se dalo zabránit tím, že odlitky zavěšíme jednotlivě a poskytneme jim dostatečnou dobu pro vyrovnání teplot. Zároveň docílíme rovnoměrnému odvedení tepla z jednotlivých dílů a zabráníme jejich vzájemnému ovlivnění.

### Použitá literatura

[1] 2N® Helios IP Verso - Technické specifikace [online]. [cit. 2014-04-01]. Dostupné z: [view-source:http://www.2n.cz/cz/produkty/interkomove-systemy/ip-interkomy/helios-ip-verso/specifikace/#product-content](http://www.2n.cz/cz/produkty/interkomove-systemy/ip-interkomy/helios-ip-verso/specifikace/#product-content)

[2] NĚMEC, Milan a PROVAZNÍK, Jaroslav. *Slévárenské slitiny neželezných kovů*. Vyd. 1. V Praze: České vysoké učení technické, 2004, 137 s. ISBN 978-80-01-04116-1.

[3] ROUČKA, Jaromír. *Metallurgie neželezných slitin*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2790-6.

[4] KRÝSLOVÁ, S., NOVÁ I. a NOVÁKOVÁ I. *Simulační výpočty tuhnutí odlitků ze slitiny ZnAl4 v ocelové formě*. In: [online]. 2006 [cit. 2014-04-01]. Dostupné z: <http://www.afp.polsl.pl/index.php/p/2160/the-simulator-calculation-solidification-the-foundry-from-alloys-znal4-in-the-steel-forms.pdf>



[5] KORECKÝ, Jan. *Tepelné zpracování železných a neželezných kovů*. 3. vyd. Praha: SNTL, 1960. 415 s.

[6] NADCA Design - The Die Casting Design Resource. [online]. [cit. 2014-04-01]. Dostupné z: <http://www.diecastingdesign.org/alloys.htm>