



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY ODLITKŮ ZE SLITIN MĚDI S OHLEDEM NA JEJICH KVALITU A PRACNOST DOKONČOVACÍCH OPERACÍ

PROPOSAL OF CASTING TECHNOLOGY FOR COPPER ALLOY CASTING WITH REGARD TO THEIR  
QUALITY AND PRODUCTIVITY OF FINISHING OPERATIONS

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jiří Herzán

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jaromír Roučka, CSc.

BRNO 2019

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Bc. Jiří Herzán**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Slévárenská technologie  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jaromír Roučka, CSc.**  
Akademický rok: 2018/19

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 diplomové práce:

## **Návrh technologie výroby odlitků ze slitin mědi s ohledem na jejich kvalitu a pracnost dokončovacích operací**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Analýza charakteru a příčin vzniku vad u odlitků ze slitin mědi odlévaných gravitačně do kovových forem. Opravné operace, jejich princip, postupy a pracnost. Návrh zásad pro omezení výskytu slévárenských vad při lití slitin mědi. Návrh změn slévárenské technologie pro konkrétní vybrané odlitky.

### **Cíle diplomové práce:**

Návrh změny technologie výroby odlitků tak, aby splňovala požadované kvalitativní vlastnosti odlitků při minimální pracnosti dokončovacích operací.

### **Seznam doporučené literatury:**

BRUNHUBER, E. Guss aus Kupferlegierungen. Schiele-Schön GmbH, Berlin,1986. ISBN 3-794-0444-3.

CAMPBELL, J. Castings. Elsevier Science Ltd. 2006. ISBN 0-7506-4790-6.

CAMPBELL, J. Castings Practice. Buuerworth-Heinemann, Oxford, 2007. ISBN 978-0-7506-4791-5.

BROWN, J.R. Foseco non-ferous foundryman´s handbook, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2005. ISBN 0-7506-4286-6.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

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

## **ABSTRAKT**

HERZÁN Jiří: Návrh technologie výroby odlitků ze slitin mědi s ohledem na jejich kvalitu a pracnost dokončovacích operací

---

Tato diplomová práce vznikla na základě reálné situace ve firmě Armatmetal s.r.o. Na základě požadavků zákazníka a možného snížení pracnosti v závěru výroby ve slévárně je prováděna změna slévárenské technologie gravitačního lití do pískových forem na gravitační lití do kovové formy. Pro změnu technologií ve firmě Armatmetal s.r.o. byly vybrány dva druhy odlitků. Odlitek „Kloub 55 s vidlicí“ byl vybrán odběratelem za účelem odzkoušení nové technologie. Odlitek „Klínová koncovka KN10“ byl vybrán firmou Armatmetal s.r.o. z důvodu konstrukčního řešení odlitku a vysoké opakovatelnosti výroby. Odlitky jsou předmětem diplomové práce. Diplomová práce zahrnuje postupy řešení eliminace slévárenských vad vyskytujících se na komplikovaném odlitku „Kloub 55 s vidlicí“ při lití do kovové formy. Hlavním cílem diplomové práce je posouzení technickoekonomického přínosu změny slévárenské technologie odlitku „Klínová koncovka KN10“. Součástí práce je také komplexní porovnání výroby současné a nové technologie a s tím spojené dílčí problémy a jejich řešení.

Klíčová slova: slévárenská technologie, dokončovací operace, slévárenské vady, slitiny mědi, trakční vedení

## **ABSTRACT**

HERZÁN Jiří: Proposal of casting technology for copper alloy casting with regard to their quality and productivity of finishing operations.

---

This paper is created based on the real situation in Armatmetal s.r.o. Based on customer requirements and possible reduction of finishing operations at the end of production in the foundry. The foundry technology of gravity casting into sand molds is changed to gravity casting into metal mold. To change technology at Armatmetal s.r.o. two types of castings were selected. The "Kloub 55 s vidlicí" casting was selected by the customer to test the new technology. Casting "Klínová koncovka KN10" was chosen by Armatmetal s.r.o. because of the structural design of the casting and the high repeatability of production. Castings are the subject of the paper. The diploma thesis includes methods of solving the elimination of foundry defects occurring on a complicated casting " Kloub 55 s vidlicí". The main aim of the thesis is to assess the technical-economic contribution of the change of foundry technology of the casting " Klínová koncovka KN10". The paper also includes a complex comparison of the current and new technology production with related problems and their solutions.

Keywords: foundry technology, finishing operations, foundry defects, copper alloys, traction lines



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

HERZÁN, Jiří. Návrh technologie výroby odlitků ze slitin mědi s ohledem na jejich kvalitu a pracnost dokončovacích operací [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116694>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jaromír Roučka.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V ..... dne 24.5.2019

.....  
Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu doc. Ing. Jaromíru Roučkovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval své rodině za plnou podporu a pomoc a také firmě Armatmetal s.r.o. za poskytnutí informací a spolupráci.

## OBSAH

Zadání  
Abstrakt  
Bibliografická citace  
Čestné prohlášení  
Poděkování  
Obsah

	Str.
<b>1 PŘEHLED SLÉVÁRENSKÝCH TECHNOLOGIÍ PRO VÝROBU ODLITKŮ ZE SLITIN MĚDI</b> .....	10
<b>1.1 3D tištěné formy - SandPrinting</b> .....	10
<b>1.2 Technologie lití do trvalých forem</b> .....	12
1.2.1 Vysokotlaké lití slitin mědi .....	12
1.2.2 Gravitační lití do kovových forem.....	17
1.2.3 Nízkotlaké lití .....	19
<b>1.3 Shrnutí</b> .....	20
1.3.1 Gravitační lití do jednorázových pískových forem .....	20
1.3.2 Gravitační lití do jednorázové vytištěné pískové formy .....	20
1.3.3 Vysokotlaké lití slitin mědi .....	21
1.3.4 Gravitační lití do kovových forem.....	21
1.3.5 Nízkotlaké lití .....	22
<b>2 SLITINY MĚDI</b> .....	23
<b>2.1 Použití mědi a jejich slitin</b> .....	23
<b>2.2 Vliv prvků na slitiny mědi</b> .....	24
2.2.1 Mosazi .....	24
2.2.2 Nikl-hliníkové bronzy .....	30
<b>2.3 Shrnutí</b> .....	32
<b>3 VOLBA TECHNOLOGIE VÝROBY ODLITKŮ TRAKČNÍHO VEDENÍ ZE SLITIN MĚDI</b> .....	33
<b>3.1 Kloub s vidlicí 55</b> .....	34
3.1.1 Popis součásti .....	34
3.1.2 Technologie odlévání součásti .....	35
3.1.3 Výskyt a popis vad.....	36
3.1.4 Technologické varianty .....	37
<b>3.2 Klínová koncovka KN10</b> .....	47
3.2.1 Popis součásti .....	47
3.2.2 Výroba součásti – Gravitačně do pískových forem.....	48
3.2.3 Výroba součásti – Gravitačně do kovové formy .....	57
3.2.4 Výskyt vad – Gravitační lití do kovové formy.....	65
<b>4 ZÁVĚRY</b> .....	74

Seznam použitých zdrojů

Seznam příloh

## ÚVOD [1], [2]

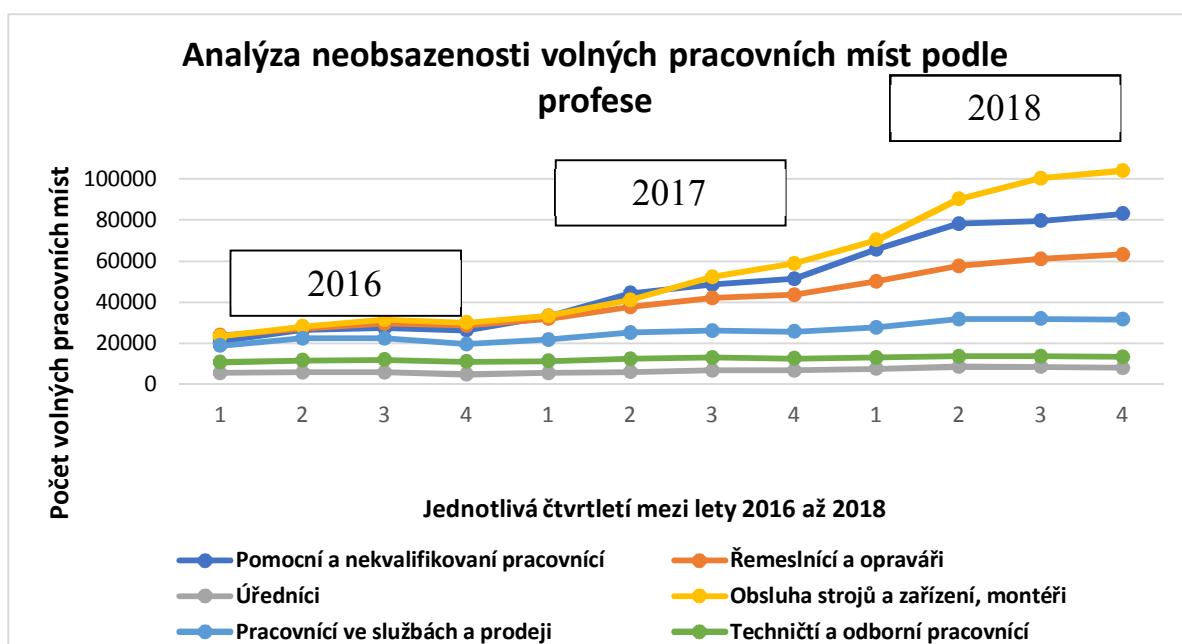
Způsobů, jak zhotovit odlitek je v oboru slévárenství několik. Pro různé druhy odlitků, jsou vhodnější různé druhy technologií. Existují slévárny, které se zaměřují pouze na určitý typ odlitků a jejich většinová výroba je založena na jedné, hlavní, technologii. Na druhou stranu existují také slévárny, které jsou zaměřeny na výrobu různých typů odlitků, a disponují několika technologiemi.

Rozměry odlitku, materiál, tvar, kvantita, konečný vzhled, finální rozměrová přesnost odlitku v možnostech každé z technologií, specifika zákazníků a další. Toto jsou faktory, které musí brát každá slévárna v potaz při výběru ekonomicky nejvýhodnější a pro výrobu nejvhodnější technologii. Volba technologie nemusí být pouze z pozice slévárny, ale může být vynucena i okolními vlivy.

Firma Armatmetal s.r.o. dlouhodobě vyrábí odlitky ze slitiny mědi (CuZn16Si4; CuAl10Fe5Ni5) technologií gravitačního lití do pískových forem. do systému trakčního vedení Zákazníkem bylo rozhodnuto inovovat řadu výrobků a realizovat změnu technologii lití z gravitačního lití do pískových forem na technologii gravitačního lití do kovových forem. Cílem změny technologie by mělo být i zvýšení pevnosti ( $R_m$ ) u výrobků ze slitin mědi.

Dalšími důvody při výběru vhodné technologie pro výrobu tak může být kromě vlivu zákazníka na výrobce i vliv vývoje na trhu práce. Tato práce je tvořena v době, kdy sílí problémy při hledání vhodných pracovních sil. Změna technologie může zajistit ušetření práce v závěru výroby. Pro slévárnu Armatmetal s.r.o. tak má převod slévárenské technologie i vlastní přínos. Důsledky změny technologie jsou hlavním cílem této práce.

Vysokou poptávku po pracovnících potvrzují veřejně dostupné údaje z integrovaného portálu ministerstva práce a sociálních věcí. Z grafu na Obr.1 lze vyčíst, že nedostatek pracovních sil v průmyslu se začal projevovat na přelomu let 2016 a 2017. A to zejména na pozicích řemeslníků a opravářů, pomocných a nekvalifikovaných pracovníků a montérů (značení 7,8 a 9 dle CZ-ISCO). U profesí 8 a 9, mezi obdobím 1. kvartálu roku 2016 a 4. kvartálu 2018, je nárůst neobsazenosti volných pracovních míst až pětinasobný.



Obr. 1 Analýza neobsazených pracovních pozic podle profese od roku 2016 [2]

# 1 PŘEHLED SLÉVÁRENSKÝCH TECHNOLOGIÍ PRO VÝROBU ODLITKŮ ZE SLITIN MĚDI [1], [3], [4]

V dostupných zdrojích je uvedeno, že 75 % až 85 % odlitků ze slitin mědi je odléváno gravitačně do netrvalých pískových forem. Menší, ale významná část odlitků ze slitin mědi je odlévána gravitačně nebo za pomoci mechanických a jiných sil do trvalých kovových forem. Odlitky ze slitin mědi jsou také odlévány do skořepinových forem nebo do sádrových forem. V této kapitole je uveden přehled možných způsobů, jak zhotovit odlitek ze slitin mědi. V závěru kapitoly je pak uvedeno srovnání a vhodnost jednotlivých technologií pro výrobu odlitků.

## 1.1 3D tištěné formy - SandPrinting

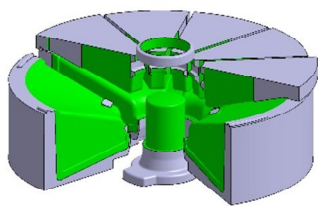
V této podkapitole je uveden způsob výroby odlitku ventilátoru o  $\varnothing$  520 mm, který byl odlit do speciální vytištěné formy. Uvedený ventilátor je ze slitiny hliníku, nicméně způsob přípravy pro lití je stejný jako byl v přípravě výroby odlitku ze slitiny mědi.

Způsob tisku spočívá v nanášení vrstev ostřiva, které jsou spojovány selektivním tištěním pojiva. Při tisku slouží jako podpora nevytvrzené ostřivo, které je nutné po vytištění odstranit z dutiny. Z tohoto důvodu je nutné vytisknout formu na mnoho částí. Formu vytištěnou z několika dílů je nutné poskládat na rovné ploše (pro zajištění rovinnosti). Pro zajištění tuhosti formy, je nutné díly spojovat například slévárenským lepidlem. Jednotlivé části formy ventilátoru jsou zobrazeny na Obr. 2.



**Obr. 2** Jednotlivé díly formy ventilátoru [11]

Po kompletním složení tištěné formy byl v tomto případě forma vložena do kovového rámu a zasypana standardní samotuhnoucí formovací směsí. Tímto způsobem byla zajištěna fixace vytištěných dílů. Před obsypáním tištěné formy je nutné zakrýt mezery a otvory ve formě (výfuky, vtoky, nálitky), aby nedošlo ke kontaminaci dutiny formy formovací směsí. Celý pracovní postup od vytištění až po výsledný odlitek je zobrazen na Obr. 3.



TVORBA 3D DAT



TISK



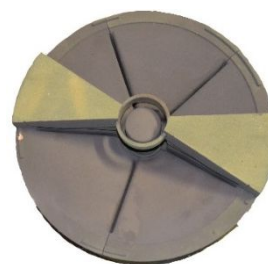
EXPEDICE A PŘEPRAVA



OCHRANNÝ NÁSTRÍK



SUŠENÍ



SKLÁDÁNÍ



PŘÍPRAVA K LITÍ



FIXACE



PŘÍPRAVA KOVU



LITÍ



ODLITEK PO VYTLUČENÍ Z FORMY

**Obr. 3** Postup výroby odlitku ventilátoru pomocí metody SandPrinting [11]

## 1.2 Technologie lití do trvalých forem [1], [5], [6], [7], [8], [9], [10]

Mezi způsoby lití slitin mědi do trvalých forem se mohou řadit technologie jako vysokotlaké lití, nízkotlaké lití, odstředivé lití nebo gravitační lití.

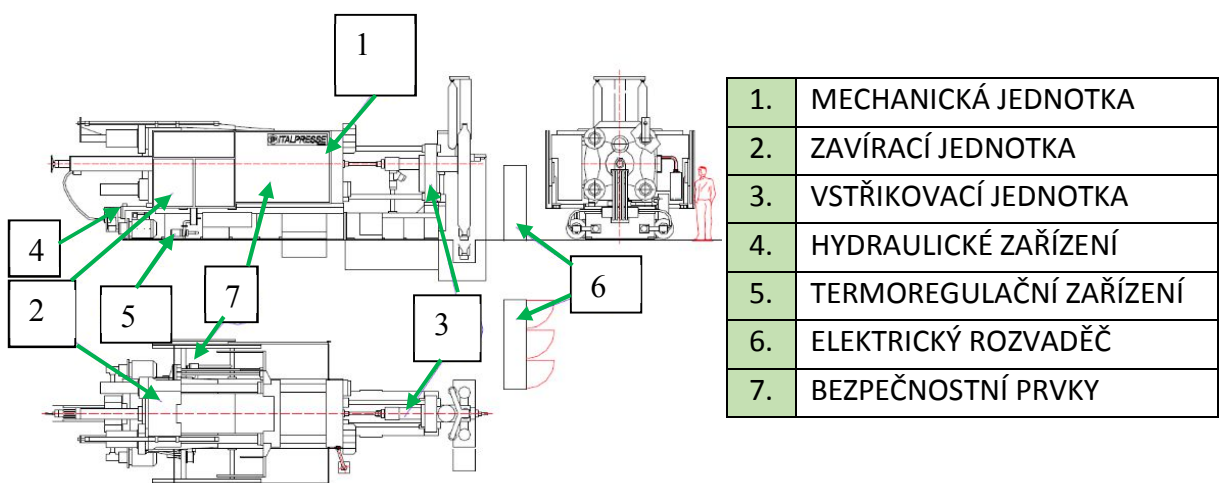
### 1.2.1 Vysokotlaké lití slitin mědi

Technologie vysokotlakého lití spočívá ve vstřikování roztaveného kovu do kovových forem. Vysokotlaké lití je vhodné pro sériovou výrobu odlitků. Výhodou je odlévání vysoce přesných kusů s minimálními požadavky na další opracování oproti jiným technologiím. Proces tlakového lití byl vynalezen H. Doehlerem v roce 1905. H. Doehler vynalezl první tlakový licí stroj s teplou komorou pro odlévání slitin s nízkou tavicí teplotou (slitiny zinku). Vstřikovací mechanismus je u této technologie umístěn přímo v peci s odlévanou taveninou.

Na počátku 20. let 20. století se začala užívat metoda tlakového lití pomocí studené komory, která je určena pro lití slitin s vyšší tavicí teplotou (slitiny hliníku, mědi nebo slitiny hořčíku). Komora a vstřikovací mechanismus je umístěn mimo pec. O způsob vysokotlakového lití se studenou komorou se zasloužil československý odborník Ing. Josef Polák, jemuž byl v roce 1927 udělen patent na zmíněný způsob lití v Československu, Německu i v USA. Vzhledem k tématu diplomové práce se kapitola dále zabývá principy lití tímto způsobem se zaměřením na slitiny mědi.

#### Vysokotlaké licí stroje se studenou komorou

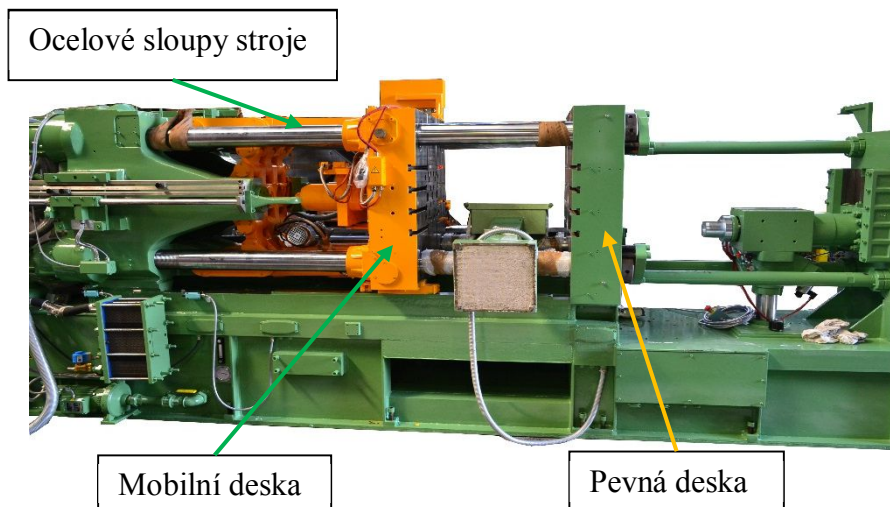
Moderní tlakové licí stroje se studenou komorou se skládají z několika hlavních komponent. Jedná se o mechanickou část stroje, vstřikovací jednotku, hydraulické zařízení apod. Schéma a popis stroje je uveden na Obr. 4. V dnešní době jsou stroje většinou součástí robotizovaných pracovišť.



**Obr. 4** Schéma tlakového licího stroje ItalPresse [5]

Roztavený kov je vysokou rychlostí dopravován pomocí vstřikovací jednotky (píst + pístnice) do dutiny kovové formy. Jednotlivé poloviny kovové formy jsou upevněny na mobilní (pohyblivé) a pevné desce, které jsou ukotveny fixačními maticemi na ocelových sloupech stroje (Obr. 5).





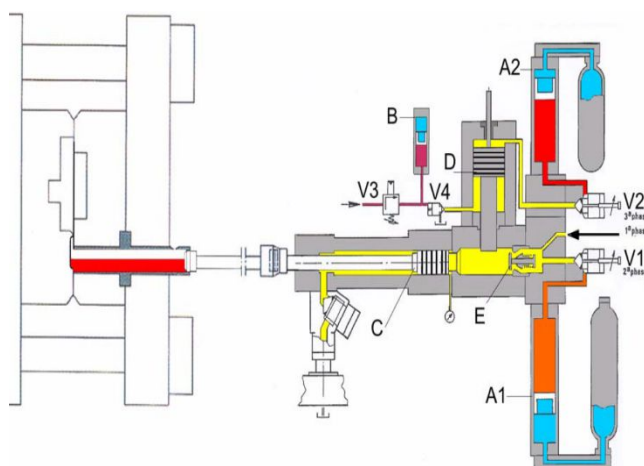
**Obr. 5** Mechanická jednotka tlakového licího stroje ItalPress

Kov je dopravován do dutiny formy v několika fázích. Jednotlivé fáze jsou řízeny pomocí ventilů, posilovačů a akumulátorů řídicí tlakové medium (Obr.6).

Během **první**, pomalé fáze jsou ventily V1 a V2 uzavřené a hydraulický olej posunuje vřed píst vstřikování (na Obr.6 značen C), který tlačí roztavený kov a vyplňuje plnicí komoru.

Ve **druhé**, rychlé fázi, jakmile píst vstřikování C dosáhne polohy „Start druhé fáze“ dojde k sepnutí ventilu V1 a proudem hydraulického oleje, který je dodáván akumulátorem A1, je zvyšována rychlost pístu vstřikování. Dochází k úplnému naplnění dutiny formy taveninou.

Po dosažení polohy vstřikovacím pístem „Start **třetí** fáze“ dostane ventil V2 elektrický souhlas k otevření. Medium z akumulátoru A2 tlačí na píst D a posouvá jej dopředu. Prudkým zvýšením tlaku je uzavřen zpětný ventil E. Ventily V3 a V4 slouží k úpravě nastaveného protitlaku. Vysoký závěrečný tlak slouží ke zredukování mikroporozity v odlitku.

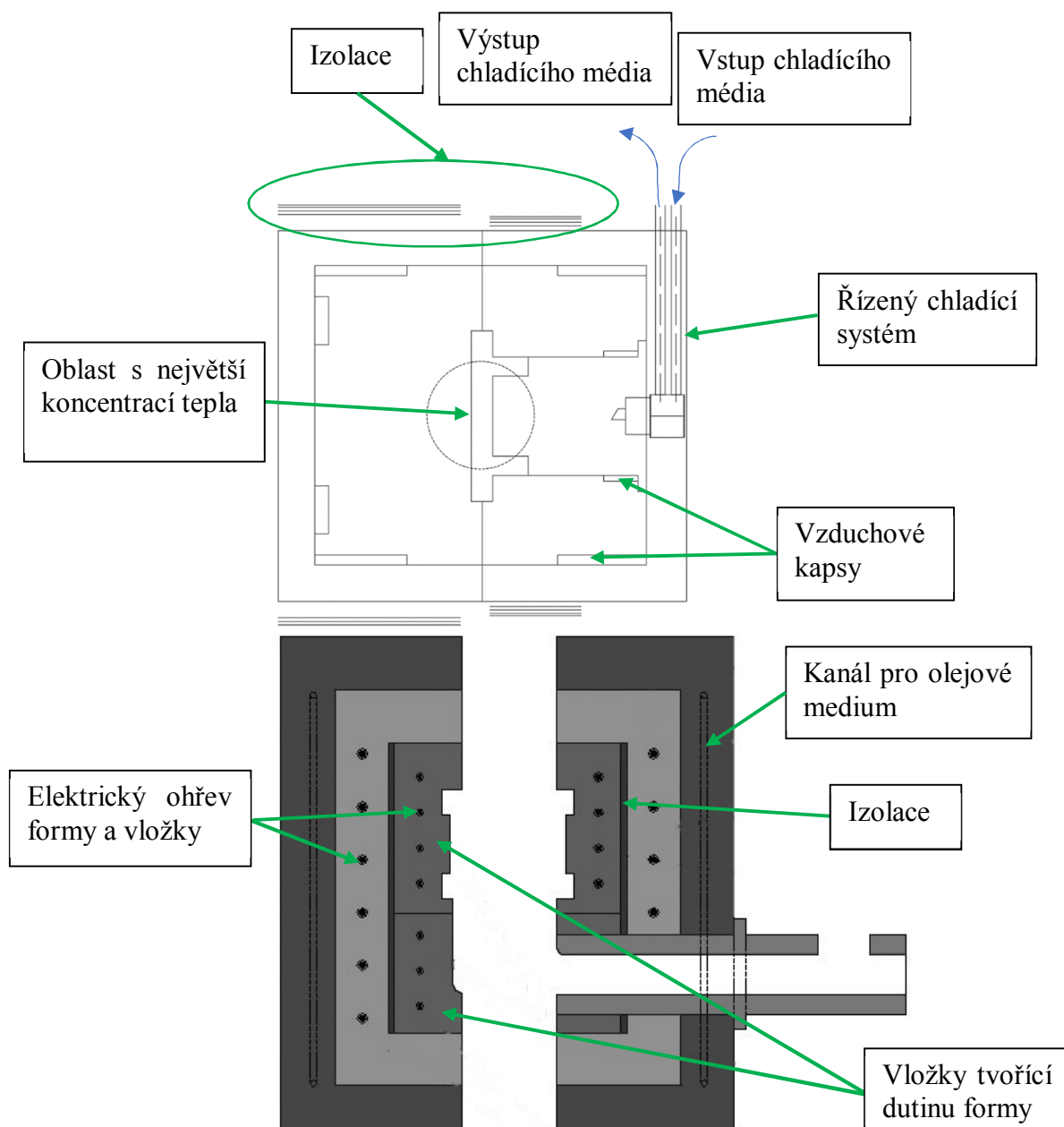


A1	Akumulátor druhé fáze vstřikování
A2	Akumulátor třetí fáze vstřikování
B	Akumulátor protitlaku
C	Píst vstřikování
D	Píst posilovač
E	Zpětný ventil
V1	Proporční ventil druhé fáze
V2	Proporční ventil třetí fáze
V3	Tlakový redukční ventil
V4	Proporční ventil protitlaku

**Obr. 6** Schéma vstřikování s otevřeným kruhem [5]

## Teplotní režim formy

Při opakovaném lití do stejné formy je potřeba udržovat teplotní rovnováhu mezi jednotlivými cykly. Pokud by se forma neudržovala v přibližném rozmezí pracovních teplot docházelo by k výraznému snižování životnosti formy. U hliníkových slitin se požadovaná pracovní teplota formy pohybuje od 200 °C až do 250 °C. U slitin mědi je požadovaná teplota formy okolo 500 °C. Teplotní ztráty při kokilovém lití jsou u slitin mědi vyšší než u slitin hliníku a je tedy zapotřebí formu chladit a zároveň ji patřičně izolovat. Mezi vložkou formy a samotnou formou jsou obvykle vytvořeny vzduchové mezery, které brání tepelným ztrátám. V místech odlitku, kde se koncentruje nejvíce tepla je nutné formu řízeně ochlazovat.



**Obr. 7** Schéma konstrukce kovové formy pro tlakové lití slitin mědi dle [1] a [8]

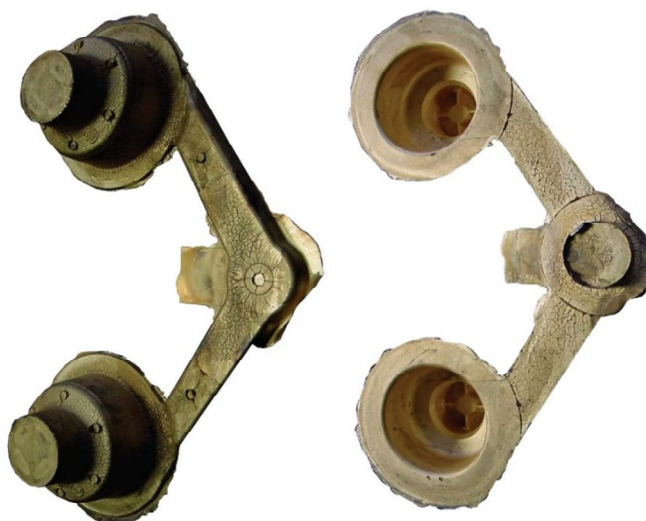
Na Obr. 7 jsou naznačeny vzduchové prostory mezi různými komponentami formy a vnější izolace, které jsou používány za účelem zamezení úniku tepla formou. Místa s vysokou koncentrací tepla jsou izolována použitím vložek a chlazena vzduchovým nebo kapalným médiem.

### **Vtokový systém**

Vtokový systém u vysokotlakého lití je složen z vtokového naříznutí, vtokového kanálu, přetoku a tzv. tablety (zbytek z plnicí komory). Vtokové naříznutí a vtokový kanál rozhoduje o rychlosti a usměrnění tekutého kovu uvnitř dutiny formy.

Čím jsou zářezy ve formě větší, tím je kov do dutiny formy dopravován pomaleji a při plnění není zapotřebí příliš vysokých tlaků. Metody, kdy je kov dopraven do dutiny formy nízkou rychlostí za nízkých tlaků jsou v některých zdrojích nazývány metody minimálního tření. Při tomto plnění jsou prakticky veškeré plyny odvedeny z dutiny formy. Zářezy nebo vtoková soustava fungují jako nálitky. Metoda nachází využití u velkých a jednoduchých odlitků a není příliš častá.

Metodou maximálního tření lze nazývat způsob tlakového lití přes malá naříznutí, kde je zapotřebí vysokých tlaků. Dutina formy je touto metodou vyplněna velmi vysokou rychlostí. Nevýhodou je zachycení plynů v odlitku a nutnost odvodušňovacích jamek (ledvinek), popřípadě vlnovitých odvodušňovacích vložek (valch/vlnovců) apod. Vznik porozity v tlakových odlitcích bývá kompenzován závěrečným dotlakem pístu. Při dotlaku může dojít k ohřátí odlitku o 4 °C–5 °C. Metoda maximálního tření je využívána pro většinu vysokotlakých odlitků a je vhodná i pro lití slitin mědi.



**Obr. 8** Ukázka tlakového odlitku ze slitiny mědi [1]

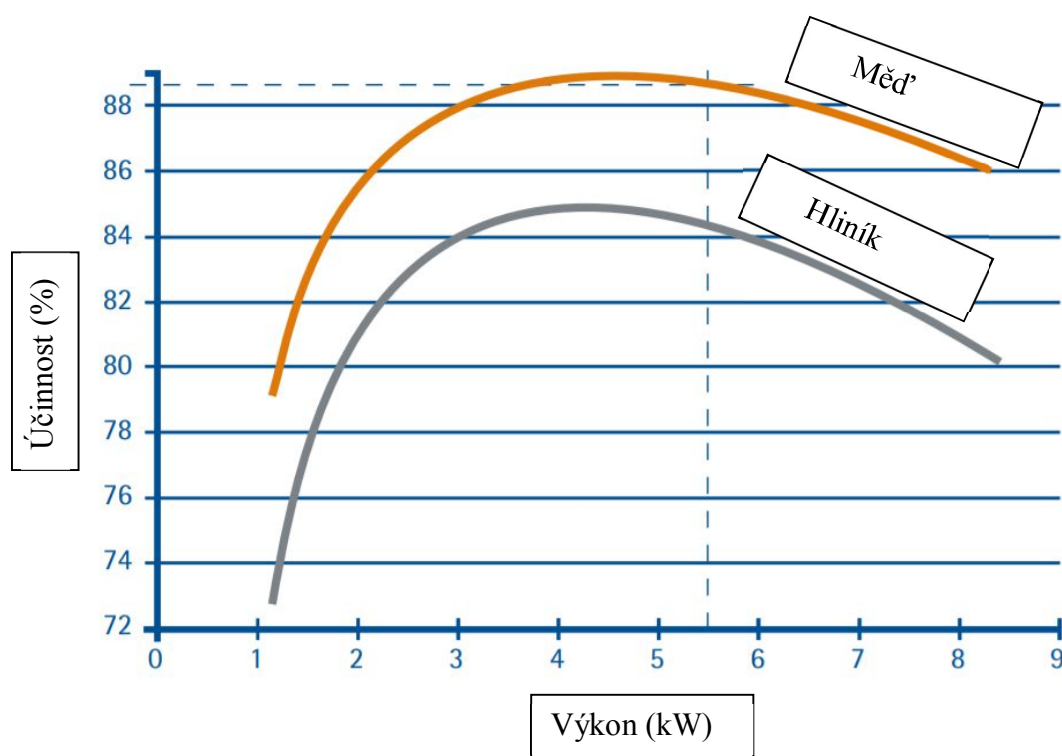
### **Hlavní odlévané slitiny mědi**

Výběr odlévaných slitin na bázi mědi je limitován tavicí teplotou. Slitiny s nižší tavicí teplotou jsou méně náročné na životnost kovové formy. Používané slitiny mědi a jejich složení pro vysokotlaké lití jsou uvedeny v Tab.3. Z uvedených slitin jsou nejvyužívanější C85800, C87800 a C87900. Uvedené materiály jsou označeny dle amerického číselného systému UNS. Způsoby značení slitin mědi jsou uvedeny v příloze 2.

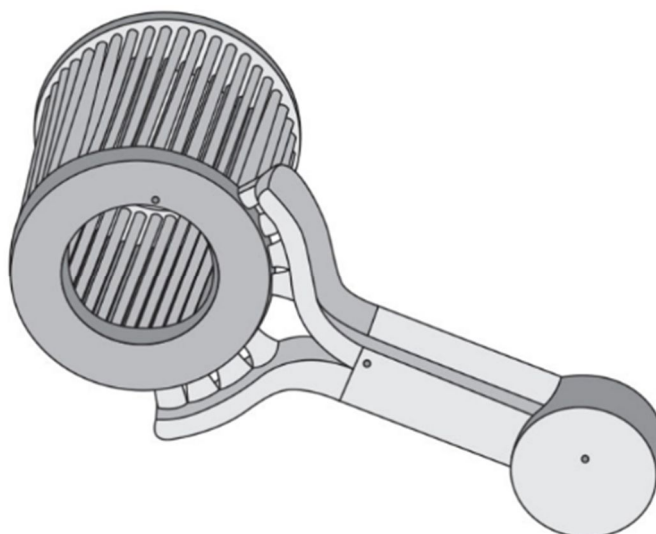
**Tab. 1** Slitiny mědi používané pro lití do kovových forem [1]

Slitina	C87900	C87800	C86500	C86500	C86200	C85800	C997500
Cu (%)	65	82	58	64	58	59,5	58
Sn (%)	<0,25	<0,25	0,5	<0,20	1	<0,50	
Pb (%)	0,25	0,15	<0,4	<0,2	1	1,5	<1
Zn (%)	Zbyt.						
Fe (%)	<0,15	<0,15	1	3	<0,5	<0,25	
Al (%)	<0,15	<0,15	1	4	<0,25	1,25	<1
Si (%)	1	4			<0,25	<0,5	
Mn (%)	<0,15	<0,15	1	3		0,5	13
Ni (%)			<0,5				5

Výjimkou podmínky nízkých tavicích teplot je tlakové lití klecového vinutí („squirrel cage“) elektromotoru. Klecové vinutí je stále ve většině případů odléváno ze slitin hliníku, ale vzhledem k tomu, že měď má lepší elektrickou vodivost než hliník, jsou vyvíjeny elektromotory s měděným klecovým vinutím za účelem zvyšování účinnosti elektromotoru viz Obr. 9. Měděné klecové vinutí je vyráběno ze slitin s vysokým obsahem mědi, neboť s vzrůstajícími obsahy dalších prvků ve slitině klesá elektrická vodivost. Z tohoto důvodu byla vyvinuta forma, která lépe odolává cyklování teplot a je schopna docílit ekonomicky přijatelné životnosti formy. Lící teplota u tlakového lití mědi je okolo 1100 °C a pracovní teplota formy je cca 600 °C. Odlev klecového vinutí je zobrazen na Obr. 10.



**Obr. 9** Porovnání účinnosti elektromotoru [6]



**Obr. 10** Odlev klecového vinutí [10]

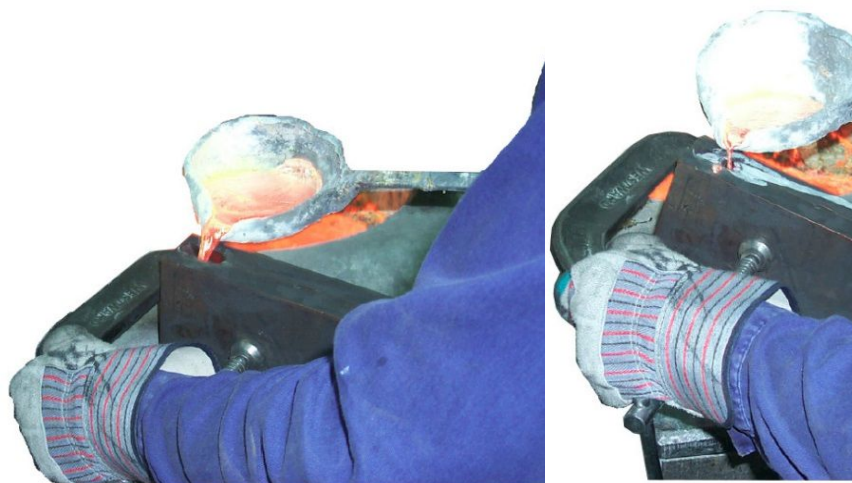
### 1.2.2 Gravitační lití do kovových forem

Gravitační lití do kovových forem využívá gravitační působení sil pro zaplnění dutiny formy. Lití do kovových forem slibuje výrobu odlitků lepší kvality, vyšší přesnosti a vyšších mechanických vlastností v porovnání s odlitky gravitačně litých do jiných druhů forem.

Odlitky lité gravitačně do kovových forem mohou být bezjádrové nebo dutina odlitku může být tvořena pískovým či kovovým jádrem. Gravitační lití může být zcela ruční, poloautomatické nebo plně automatické.

#### Ruční lití

Odlitky malých hmotností (několik desítek gramů), kdy není potřeba příliš velká forma, jsou obvykle odlévány ručně. Při ručním lití obsluha manipuluje jak se slévarenskou lžicí, tak i s kovovou formou. Obsluha musí umístit jádro, sevřít obě poloviny formy k sobě, nalévat kov do dutiny formy a v průběhu lití formu naklápět, aby docházelo k co nejplynulejšímu proudění kovu a odvodu plynů, vytáhnout odlitek, ponořit formu do grafitové lázně, poté ji zpět položit na pracovní stůl a postup opakovat.



**Obr. 11** Ruční lití do kovové formy [1]

### **Poloautomatické lití**

U větších forem je využíváno hydraulických nebo jiných sil pro otevírání a zavírání formy, naklápění formy, vyjímání jader, máčení forem apod. U těchto poloautomatických strojů musí obsluha založit potřebná jádra, naplnit dutinu kovem a vytáhnout odlitek. Ostatní operace jako je upínání formy, otáčení formy, máčení formy apod. jsou prováděny strojem. Podrobný popis poloautomatického stroje je uveden v kapitole 3.1.

### **Plně automatické lití**

U plně automatického lití, je kokilový stroj součástí robotizovaného pracoviště. Veškeré výše uvedené úkony stroje jsou prováděny pomocí robota a dalších strojů. Takové pracoviště se skládá z vhodné pece, otočného kokilové stroje, které nese dvě a více forem a robotických ramen se slévárenskou lžící. Slévárenská lžice je vždy po odlití automaticky očištěna.

### **Způsob lití**

Tavenina by měla vstupovat z horní části formy a protékat přes vtok a poté stoupat odlitkem nahoru až k výfuku. U vysoce oxidujících slitin, je forma před litím nakloněna o 65°- 75°. Při lití dochází k řízenému naklápění formy zpět do základní pozice. Hlavním smyslem naklápění je docílit co nejplynulejšího plnění dutiny formy a zabránění víření taveniny (viz simulace reálného odlitku v kapitole 3.1.3(Obr 35 a Obr. 36)).

Veškeré parametry jednotlivých cyklů by měly být stejné, aby bylo dodrženo definované tepelné rozmezí formy v každém cyklu a stejná kvalita a struktura odlitku. Teplota lití, rychlost lití, teplota formy, rychlost naklápění formy, doba prodlevy tuhnutí odlitku ve formě, doba chlazení formy v grafitové lázni a doba cyklu mezi po sobě následujícími odlevy by měly být regulovány tak, aby byly dodrženy všechny stanovené podmínky pro výsledný kvalitní odlitek.

Při ručním lití je teplotní režim formy řízen obsluhou a jejím rytmem. Přesnější udržování stálého teplotního režimu formy je prováděno naprogramováním rytmu na stroji. Rytmus máčení je volen dle zkušeností z naměřených teplot kovu a teplot formy pomocí vhodného měřicího zařízení (např. vhodné termokamery a ponorného teploměru). U měděných slitin s vyšší tavicí teplotou, kdy je horký kov schopen vyhřát kovovou formu až do červeného žáru (650 °C) a dochází tak k výraznému snižování životnosti formy, je důležité dodržovat a kontrolovat dobu cyklu. Kadence ochlazovacích operací je definována teplotním rozmezím formy, které produkuje shodné odlitky. Velmi důležitý je také úhel, pod kterým je forma ponořena v lázni.

Nedodržením správného teplotního režimu formy může dojít k odlití neshodných kusů. Příliš vysoké teploty lití nebo předčasné vyhození odlitku z formy mohou mít za následek uvíznutí odlitku ve formě a v důsledku toho zpoždění a prodloužení cyklu lití. Následkem nedodržení cyklu je chladnutí formy a poškození jejího povrchu nebo použitého nátěru.

### **Volba strojů**

Výrobci nabízí několik různých modelů a druhů strojů. Hlavním kritériem pro výběr stroje je hmotnost a velikost odlévaných odlitků a možnost udržování standardní teploty formy (máčení formy). Hmotnosti a velikosti odlitků jsou definovány maximálním průměrem formy a maximální hmotností formy. Maximální průměr formy je definován okolo Ø 600 mm a maximální hmotnost formy i s odlitkem by neměla přesáhnout cca 250 kg. Formy s více kavitami snadno tento limit překročí. Z hlediska technologie (naklápění) jsou používány formy pouze s dutinou pro jeden odlitek, ale z ekonomických důvodů se často vyrábí dvounásobné formy. Většina strojů obsluhuje pouze jednu formu, ale existují i stroje které mohou nést forem více.



Pro zvýšení produktivity práce je možné mít kolem jedné pece seskupeno několik gravitačních strojů. Vše ale závisí na množství odlévaných kusů, na hmotnostech jednotlivých kusů, na kapacitě pece, na odlévaném materiálu, době jednotlivých cyklů apod. V rozvržení pracoviště může být i zakomponován robot, který je schopen snadno obsluhovat i dva gravitační stroje.

### 1.2.3 Nízkotlaké lití

U nízkotlakého licího stroje pro výrobu odlitků ze slitin mědi je součástí pec, která je obklopena kovovým pláštěm a víkem. Vzniká kovová „komora“, která je udržována pod tlakem. Skrz víko pece prochází litinová trubice, která je ponořena nejméně 150-200 mm pod hladinou taveniny. Forma je umístěna na podobném stroji jako pro gravitační lití. Po založení jader obsluhou a sevření formy, je forma přesunuta nad komoru a litinovou trubicí. Jakmile je forma nad komorou dojde ke spuštění formy směrem k litinové trubici nebo ke zvednutí pece směrem k formě. Jakmile je kovová forma nasazena na trubicí kov je vytlačován nahoru směrem do dutiny formy. Tlak je zvyšován regulovanou rychlostí tak, aby působil proti hmotnosti kovu v soustavě. Zvyšování tlaku, plnění formy a konečný tlak pro dosazování kovu do kritických míst je většinou řízeno automaticky. Zajistí se tak plynulé vyplňování formy s velmi nízkou turbulencí a stálou teplotou kovu.



**Obr. 12** Nízkotlaké pracoviště pro výrobu odlitků ze slitin mědi [1]

Výhoda nízkotlakého lití spočívá v jeho stejnorodosti. Každý odlitek je díky této technologii odlit stejným způsobem. Je tak eliminován lidský faktor při lití a tavenina je dopravována do formy plynule a řízeně. Další výhodou je způsob lití. Forma je tekutým kovem vyplňována rovnoměrně od spodu nahoru. Tím se eliminuje nevýhoda gravitačního lití, kdy kov padá dolů vtokem před vstupem do dutiny formy a poté opět změni směr a stoupá odlitkem nahoru. Takový způsob lití zvyšuje riziko výskytu oxidů v odlitku a jiných vad. Lze také zmínit možnost využití rozměrnějších kovových forem oproti gravitačnímu lití, a tedy možnost používání vícenásobných forem.

## 1.3 Shrnutí [1], [11], [9]

### 1.3.1 Gravitační lití do jednorázových pískových forem

Zhotovení odlitků do pískových forem je stále nejčastější metodou. Nutností je výroba modelových zařízení, jaderníku a dalších nástrojů. Za pomoci zmíněných nástrojů je vyráběna forma. Po odlití je forma zničena a formovací směsi je nutné regenerovat. Způsoby regenerace a využití regenerátu jsou odvíjeny od druhu formovacích směsí.

Aspektem této metody může být ekologická závadnost některých druhů směsí, nutnost recyklace forem, soustavná výroba forem, negativní vliv lidského faktoru při výrobě a například horší mechanické i povrchové vlastnosti odlitku v porovnání s metodami lití do kovových forem. Naopak je možné jednodušeji upravit formu nebo model při nevhodně zvolené technologii odlitku, odlévat velkou škálu rozměrů odlitku apod.

### 1.3.2 Gravitační lití do jednorázové vytištěné pískové formy

Tato technologie výroby pískové formy nabízí nové možnosti při konstrukci technologie odlitku. Nabízí další možnosti umístování vtokových soustav a nálitků, možnost negativních úkosů a například tištění komplikovaných tvarů formy nebo jader. Tištění formy je velmi přesné s tolerancí  $\pm 0,3$  mm.

Nicméně tisk je stále velmi drahý a pro opakovanou výrobu není ekonomicky vhodný viz Tab. 2. Nízká je také pevnost v ohybu formy. U příliš tenkých vytištěných částí formy hrozí ulomení při lití. Důležité je také zmínit, že nevytvrzené ostřívo, které slouží jako podpora tvrzených částí formy, musí být po tisku odstraněno z dutiny formy. Z tohoto důvodu je nutné formu často tisknout na několik částí a tyto části následně poskládat k sobě. Z toho důvodu může být vysoká přesnost tisku zavádějící. U odlitků odlitých do tištěné formy je typické řádkování na povrchu odlitku.

**Tab. 2** Ekonomické porovnání výroby reálného odlitku ventilátoru ze slitiny hliníku [11]

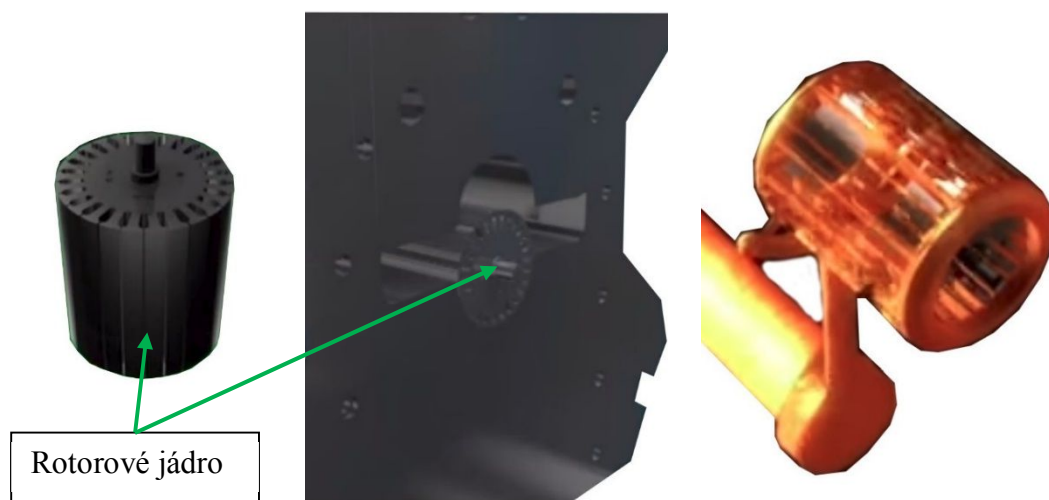
SAND PRINTING		KLASICKÁ VÝROBA NA MODEL	
NÁKLADY NA VÝROBU VENTILÁTORU		NÁKLADY NA VÝROBU VENTILÁTORU	
Zpracování 3D dat pro tisk forem	10 800,- Kč	Výroba volného modelu vč. dopravy	38 500,- Kč
Tisk formy	27 500,- Kč	Příprava formy	2 300,- Kč
Doprava formy	5 000,- Kč	Materiál a energie	850,- Kč
Příprava formy	2 300,- Kč	<b>Náklady celkem</b>	<b>41 650,- Kč</b>
Materiál a energie	850,- Kč	NÁKLADY NA OPĚTOVNOU VÝROBU VENTILÁTORU	
<b>Náklady celkem</b>	<b>46 450,- Kč</b>	Příprava formy	2 300,- Kč
NÁKLADY NA OPĚTOVNOU VÝROBU VENTILÁTORU		Materiál a energie	850,- Kč
Tisk formy	27 500,- Kč	<b>Náklady celkem</b>	<b>3 150,- Kč</b>
Doprava formy	5 000,- Kč		
Příprava formy	2 300,- Kč		
Materiál a energie	850,- Kč		
<b>Náklady celkem</b>	<b>35 650,- Kč</b>		



Tisk forem může najít využití pro prototypové, velmi komplikované odlitky, které vyžadují komplikovaná modelová zařízení anebo pro tisk jader. Uvedená porovnání v Tab. 6 jsou platná pouze pro výrobek zmíněného ventilátoru. V případě, že výroba odlitku by vyžadovala složité modelové zařízení, byly by zvýšeny náklady a čas potřebný k výrobě tohoto zařízení. U tohoto typu odlitku se čas potřebný pro výrobu odlitku metodou rapid prototyping od času potřebného při výrobě pomocí klasické technologie na volný model příliš neliší.

### 1.3.3 Vysokotlaké lití slitin mědi

Vysokotlaké lití neželezných kovů je vhodné pro výrobu odlitků vysokých sérií. Odlitky lité touto technologií jsou významné svou přesností. Cyklus odlití jednoho odlevu se pohybuje v několika desítkách vteřin a odvíjí se od rozměrů a hmotnosti kovu jednotlivého odlevu. Za nevýhodu mohou být považovány vysoké pořizovací náklady jednotlivých strojů a zařízení pro vysokotlaké lití. U lití slitin mědi je pravděpodobně největším úskalím životnost formy a životnost licího mechanismu. A z tohoto důvodu není výroba odlitků ze slitin mědi touto technologií příliš častá. Odlitky ze slitin mědi jsou lité z daleko vyšších licích teplot než u slitin hliníku a pracovní teplota formy je o 250–300 °C vyšší. Dochází tedy k praskání povrchu forem v důsledku výrazného teplotního cyklování. Formy musí být vyrobeny ze speciálních slitin a musí být kladen větší důraz na jejich izolaci a chlazení. Při výrobě klecového vinutí elektromotoru, kdy je pracovní teplota formy dosahuje i 600 °C byla vyvinuta technologie zalévání čisté mědi do rotorového jádra složeného z rotorových plechů viz Obr.13.



Obr. 13 Technologie tlakového lití rotoru [9]

### 1.3.4 Gravitační lití do kovových forem

Technologie je vhodná pro odlitky ze slitin mědi definovaných hmotností. Hmotnost odlitku je limitována maximální velikostí a hmotností formy včetně odlitku (Ø600 mm, 250 kg). Výroba odlitků může být ruční i automatická. Cyklus jednoho odlevu se pohybuje okolo 60 sekund a odvíjí se od rozměrů odlitku, časů nutných k ošetření formy, nastavené doby tuhnutí odlitku apod.

Nevýhodou lití může být složitá manipulace s kovovou formou při její montáži ke stroji, nutnost ošetřování forem, vysoký vliv jednotlivých parametrů formy na výsledný odlitek, složitá úprava formy a vysoké pořizovací náklady za formu. Možnosti stroje, pravidelnost lití, vyšší produktivita práce, odlitky s lepšími mechanickými i povrchovými vlastnostmi mohou být naopak výhodou této technologie.

### **1.3.5 Nízkotlaké lití**

Technologie je vhodná pro lití odlitek větších rozměrů než u gravitačního lití. Významnou výhodou nízkotlakého lití je řízené a plynulé plnění do dutiny formy. Odlitky lité touto technologií se vykazují lepšími mechanickými vlastnostmi než u technologie gravitačního lití do kovových i jednorázových pískových forem. Nevýhodou technologie mohou být vysoké pořizovací náklady za pracoviště. Cyklus lití se pohybuje v rozmezí několika minut (1-2 min).

## 2 SLITINY MĚDI

Měď a slitiny mědi jsou používány téměř v každém odvětví průmyslu. Tyto materiály najdou uplatnění u běžných instalatérských výrobků, elektronických součástek i u nejmodernějších námořních a jaderných zařízení. Požadovaných vlastností lze dosáhnout legováním mědi jednoho nebo více prvky v určitém poměru v kombinaci se zvolenou technologií lití.

Vynikající elektrická a tepelná vodivost, vysoká pevnost, houževnatost a výborná korozní odolnost jsou některé z výhod, pro které se měď a její slitiny využívají.

### 2.1 Použití mědi a jejich slitin [12], [13], [14], [15]



**Obr. 14** Odlitek ventilátoru do jiskřivého prostředí

Výběr nejvhodnějšího materiálu velmi závisí na použití výsledného výrobku. Ideální materiál téměř neexistuje a některé vlastnosti mohou v určitých aplikacích vyhovovat a při jiných mohou být naopak překážkou. Při výrobě je pro dosažení požadovaných vlastností odlitku podstatný výběr materiálu a použité technologie. Každý druh materiálu slibuje jiné vlastnosti, a to na základě jednotlivých prvků, které jsou v něm obsažené. Se zvyšujícím se nebo naopak se snižujícím se obsahem jednotlivých prvků anebo jejich kombinováním může docházet ke změnám mechanických, slévárenských a jiných vlastností. Konečné vlastnosti se také mohou lišit v závislosti na použité technologii. Některé úpravy mechanických vlastností lze docílit vhodným tepelným zpracováním.

Téměř všechny slitiny mědi si zachovávají své mechanické vlastnosti při nízkých i vysokých teplotách. Jsou také vhodné například pro výrobu ložisek vzhledem k jejich vynikající odolnosti vůči tření a opotřebení.

Materiály na bázi mědi odolávají přírodnímu znečišťování součástí. Největší odolnost vůči znečištění zejména mořskými organismy má čistá měď. Proto jsou slitiny s vyšším obsahem mědi využívány pro výrobu různých potrubí, čerpadel, ventilů apod., které pracují pod mořskou hladinou.

Vynikající vlastností slitin mědi je také elektrická a tepelná vodivost. Dokonce i slitiny mědi s relativně nízkou vodivostí oproti čisté mědi jsou stále lepším vodičem elektřiny a tepla než jiné konstrukční materiály. Elektrická vodivost obecně klesá s rostoucím obsahem dalších prvků ve slitině.

Důležitou vlastností je také přirozená odolnost vůči korozi. Schopnost odolat koroznímu prostředí je pravděpodobně nejdůležitější a nejnámější charakteristikou slitin mědi. U slitin mědi není nutné použití žádné další ochrany povrchu výrobku. Tato vlastnost umožňuje delší životnost výrobků oproti jiným materiálům.

Slitiny mědi nejiskří a jsou vybírány pro výrobu součástí pro elektrické stroje a zařízení, která jsou umístěna v prostředí, kde může hrozit nebezpečí výbuchu nebo požáru. Ukázka odlitku, jehož práce je vykonávána v jiskřivém prostředí je na Obr.14. Další použití konkrétních slitin mědi jsou uvedena v příloze 3.

## 2.2 Vliv prvků na slitiny mědi

Použitými materiály pro výrobu odlitků řešených v praktické části práce je mosaz CuZn16Si4 (C87800 dle UNS) a bronz CuAl10Fe5Ni5 (C95520 dle UNS). V této kapitole je uveden vliv prvků obsažených ve slitinách na jejich vlastnosti a na jejich strukturu.

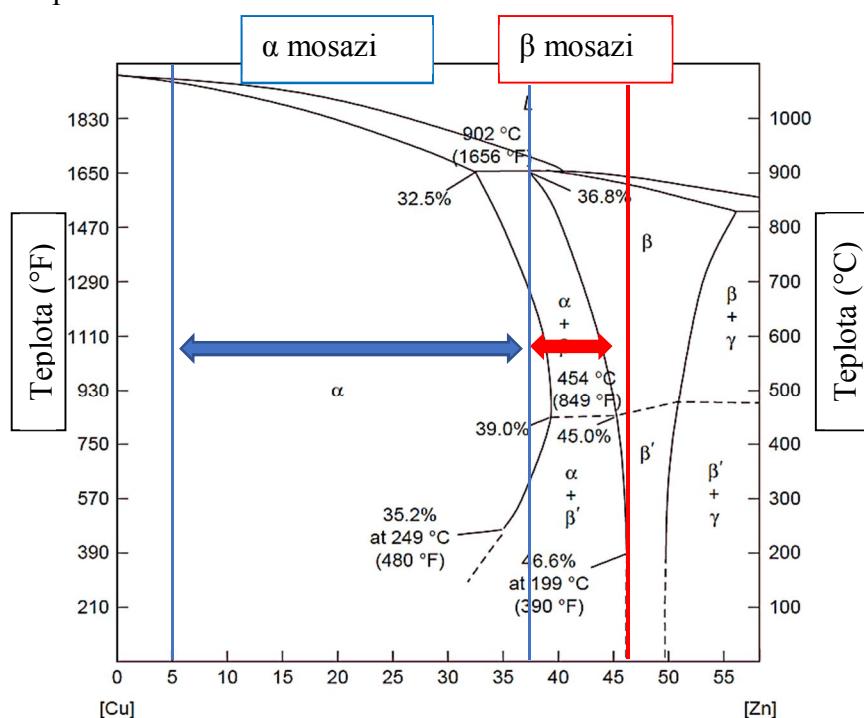
### 2.2.1 Mosazi [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23]

Slitiny mědi se zinkem jako hlavním přísadovým prvkem se nazývají mosazi (Cu-Zn). Odlévané mosazi jsou řazeny do čtyřech podskupin dle přidavného prvku viz Tab. 12. Slitina CuZn16Si4 (C87800 dle UNS) je řazena do III. podskupiny – Křemíkové mosazi.

**Tab. 3** Rozdělení mosazi dle UNS a CDA (Copper Development Association) [20]

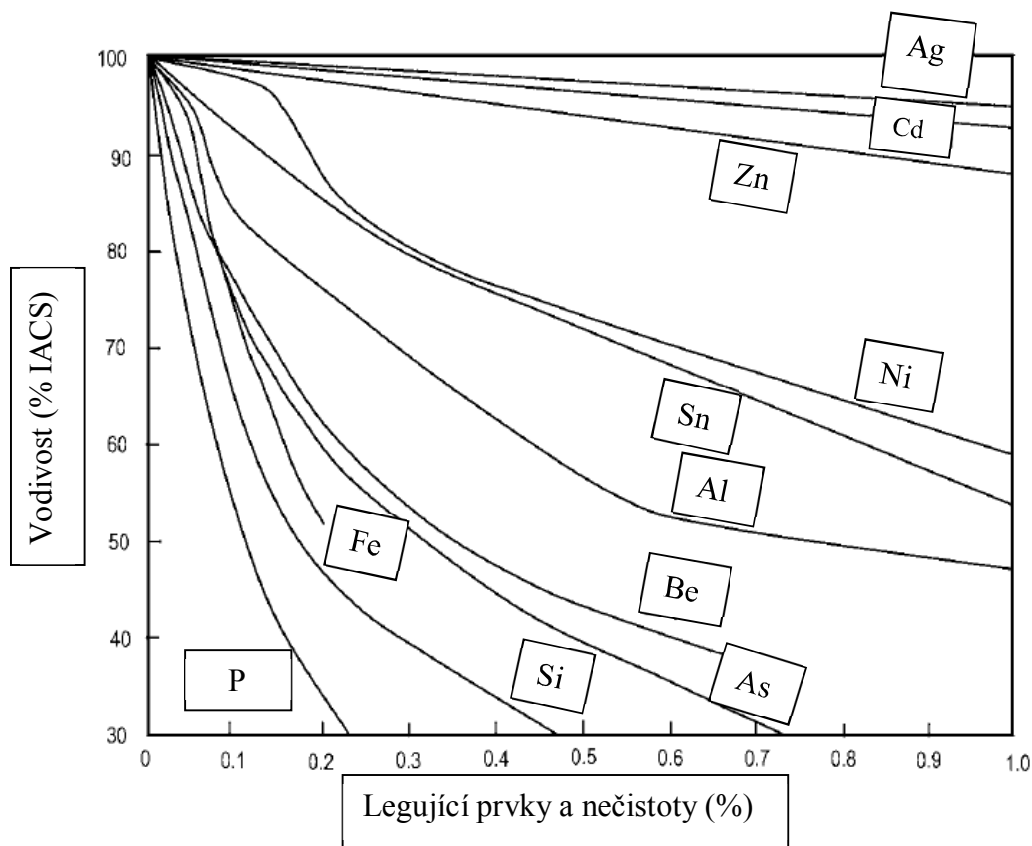
Číslo podskupiny	Hlavní prvky ve slitině	Název podskupiny
I.	Cu-Zn-Sn; Cu-Zn-Sn-Pb	Červené, Polo-červené mosazi (s olovem x bez olova)
II.	Cu-Mn-Zn; Cu-Mn-Zn-Pb	Vysoce pevnostní mosaz nebo také manganová bronz (s olovem x bez olova)
III.	Cu-Si	křemíkové mosazi (nad 5 % Zn) /křemíkové bronzy (pod 5 % Zn)
IV.	Cu-Bi;Cu-Bi-Se	Cu-Bi slitiny nebo Cu-Bi-Se slitiny

Diagram na Obr. 15 reprezentuje systém Cu-Zn. Kromě zinku se vyskytují ve slitinách i další prvky. Nejčastějšími legujícími prvky v mosazích bývá hliník, křemík, mangan, nikl, cín a olovo. Běžně jsou tyto prvky ve slitině obsaženy přibližně do 4 %. Vzhledem k tomu, že je zinek daleko levnějším kovem než měď, je ekonomicky výhodné využívat slitiny s vysokým obsahem tohoto prvku.



**Obr. 15** Fázový diagram Cu-Zn [16], [17]

S rostoucím obsahem zinku klesá elektrická vodivost. Na Obr.16 je zobrazen graf, který popisuje snižující se elektrickou vodivost (%IACS = procentuální poměr ke standardizované konstantě, udávající elektrickou vodivost mědi 58 MS/m).



**Obr. 16** Efekt jednotlivých legujících prvků a nečistot na vodivost mědi [17]

S každým dalším zvyšujícím se obsahem prvků ve slitině se snižuje i korozní odolnost. Maximální korozní odolnosti dosahuje čistá měď.

### Vliv legujících prvků na vlastnosti mosazi

Zinek:

Dle diagramu Cu-Zn lze říci, že v závislosti na množství zinku ve slitině je možné mosazi dělit na jednofázové neboli  $\alpha$  mosazi a dvoufázové neboli  $\alpha+\beta$  mosazi. Heterogenní soustavy většinou obsahují 37 % - 46 % Zn. Množství jednotlivých fází závisí na množství Zn ve slitině.

Se zvyšujícím se obsahem Zn se zvyšuje podíl beta fáze ve struktuře. Jedná se o intermetalickou sloučeninu mědi a zinku s prostorově centrovanou kubickou mřížkou (BCC).

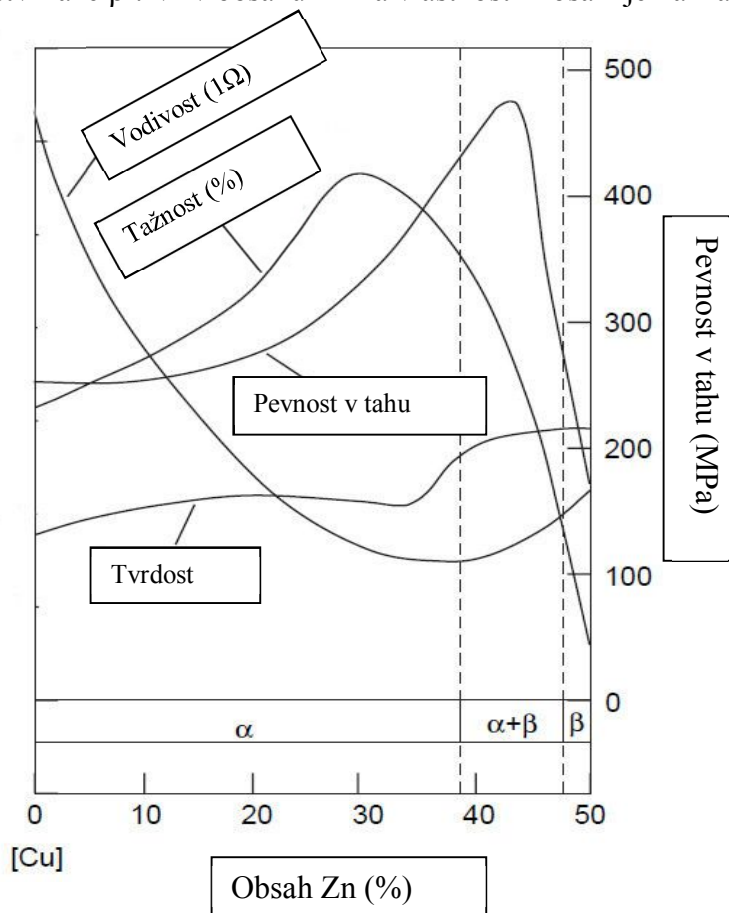
$\beta$  fáze se vyskytuje ve dvou stavech  $\beta$  a  $\beta'$ .  $\beta$  je fáze, která se vyskytuje za vyšších teplot (nad 450 °C) a  $\beta'$  je fáze, která se vyskytuje za pokojových teplot.  $\beta'$  fáze je křehká, tudíž mosazi s vysokým obsahem této fáze přestávají být vhodné např. k tváření za studena.

Se zvyšujícím se obsahem Zn dochází ke zvyšování pevnosti a tvrdosti mosazi. Maximálních pevností okolo 500 MPa lze dosáhnout za přítomnosti 44 % Zn ve slitině.

S rostoucími pevnostními charakteristikami však rapidně klesá rázová houževnatost materiálu a tažnost.

Slitiny obsahující pouze fázi  $\alpha$  jsou tažné za pokojových teplot a velmi vhodné pro tváření za studena.

Slitiny, které obsahují fázi  $\alpha + \beta$  jsou tvrdší a pevnější a jejich schopnost práce za studena je závislá na množství fáze  $\beta$ . Vliv obsahu Zn na vlastnosti mosazi je naznačen na Obr. 17.



**Obr. 17** Vliv zinku na vlastnosti mědi [17]

Zinek má největší efekt na změnu vlastností mosazí (Obr.17):

- určuje hlavní strukturu slitiny
- zvyšuje pevnost, do určitého obsahu zvyšuje tažnost a od obsahu asi 37 % Zn se s přibývajícím množstvím zvyšuje tvrdost
- vodivost s přibývajícím obsahem Zn výrazně klesá a při obsazích Zn, kde již vzniká fáze  $\beta$  mírně roste (Obr. 18).
- S obsahem zinku se mění také barva struktury jednotlivých fází mosazi od zlatavě červené (5 % Zn) přes zlatavě žlutou (15 % Zn), žlutou (37 % Zn) až po červeno-žlutou barvu (40 % Zn). U více složkových mosazí ovlivňují výskyt barev jednotlivých struktur i legující prvky. V Tab. 13 je popsán výskyt různých zabarvení jednotlivých fází ve strukturách mosazi Cu-Zn-Si v závislosti na množství Si ve slitině.



**Tab. 4** Fáze zkoumané bezolovnaté slitiny Cu-Zn-Si (60%Cu, 40%Zn) [21]

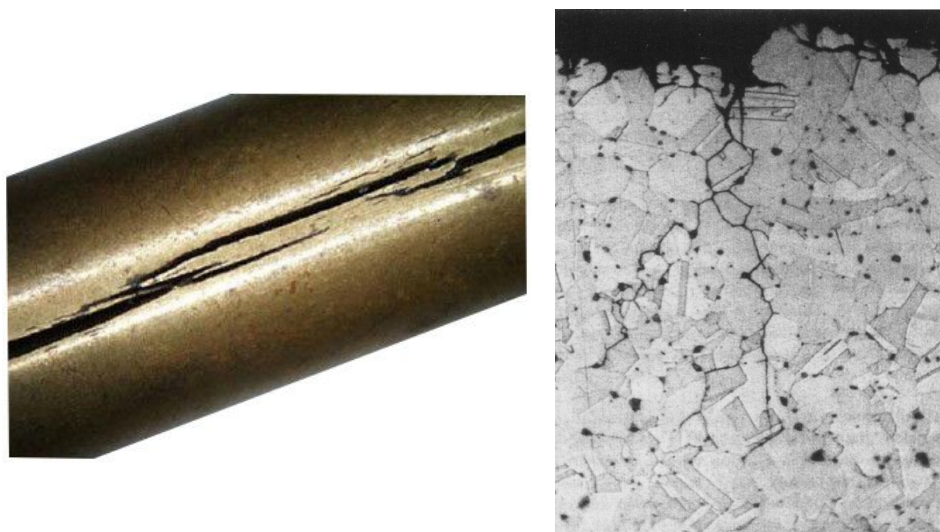
Barva fáze	Sloučenina	Obsah Si ve slitině			
		1%	2%	3%	4%
$\alpha$ světlá zlatá	$\alpha$ CuZnSi	•	•	•	•
$\beta$ tmavá zlatá	$\beta$ CuZnSi	•	•	•	•
$\gamma$ velmi světlá zelená	$\text{Cu}_4\text{Zn}_2\text{Si}$	•	•	•	•
$\lambda$ světlá zelená	$\text{Cu}_4\text{Zn}_2\text{Si}$	•	•	•	•
$\eta$ hnědá	$\text{Cu}_8\text{ZnSi}$			•	•
$\chi$ tmavě hnědá				•	•

• pozorováno

- Zn v mosazi má vliv i takzvané korozní/sezonní praskání

Termín sezonní praskání vznikl z důvodu samovolného praskání britských mosazných pouzder nábojnic v období monzunů v Indii. Amoniakální páry, obsažené ve vlhké monzunové atmosféře, napadaly čela nábojnic a působily jako koncentrátor napětí. V důsledku vnitřních pnutí v kovovém materiálu ve specifickém prostředí došlo k praskání mosazných pouzder projektilů v oblasti nalisovaného mosazného pouzdra na kulku. V tomto místě byla nahromaděna největší koncentrace vnitřního pnutí (Obr.18).

Bylo zjištěno, že čím je struktura kovu homogennější, tím je náchylnost materiálu ke koroznímu praskání menší. Proto mosazi s obsahem menším než 15 % Zn jsou odolné proti koroznímu praskání, zatímco u mosazí, které obsahují více než 15 % Zn je doporučeno slitinu tepelně zpracovávat ke snížení vnitřního pnutí.

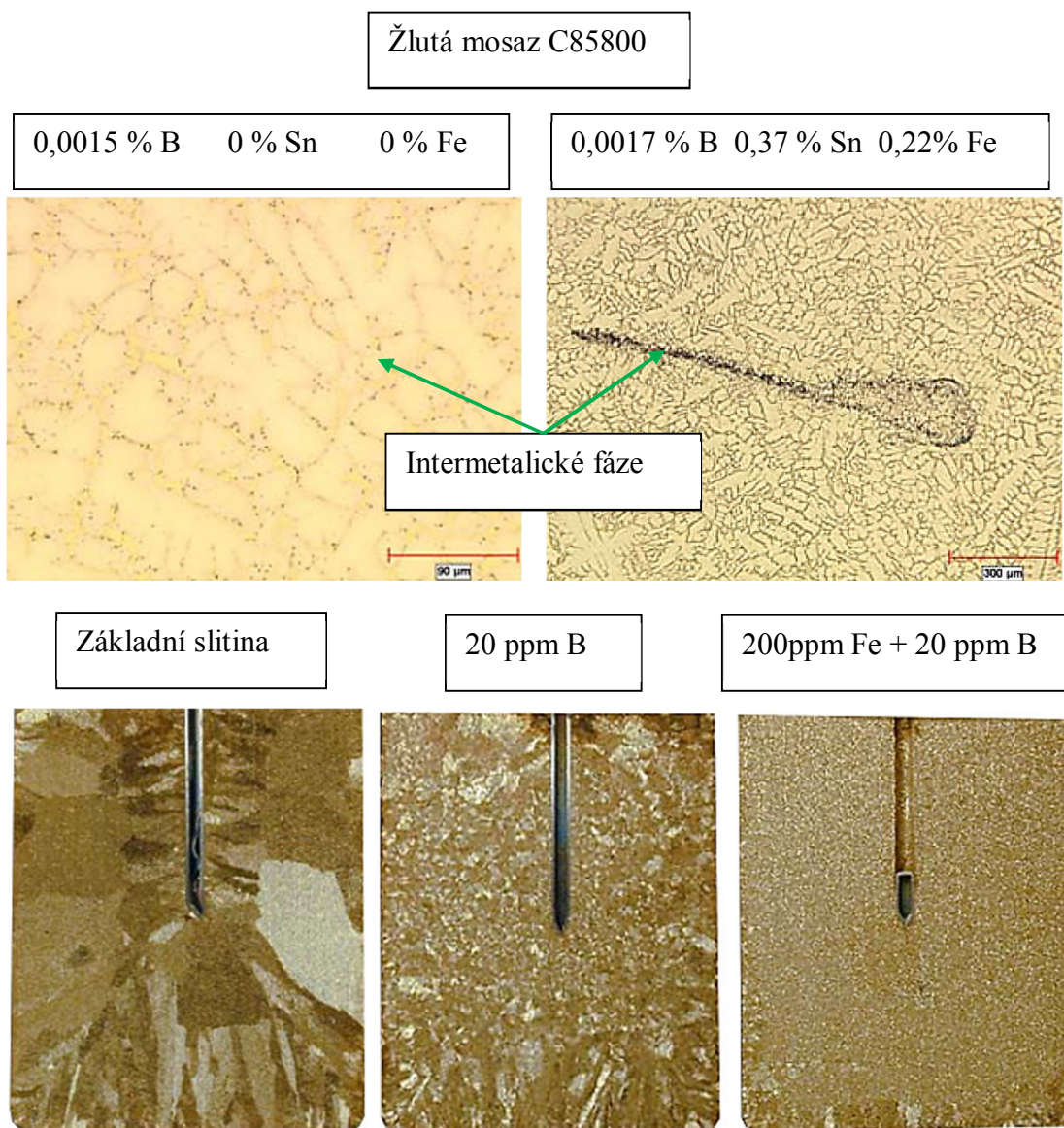


**Obr. 18** Korozní praskání v důsledku vnitřního pnutí [18], [19]

**Hliník** je přidáván do mosazí za účelem ochrany taveniny před oxidací, zlepšení tekutosti taveniny a zabraňování ztrátám Zn při jeho vypařování (teplota varu Zn je 906,85 °C). Hliník je také schopen vytvářet ochranný film proti korozi a zvyšuje tak korozní odolnost mosazí.

**Železo** obecně zlepšuje mechanické vlastnosti, zejména pevnost. U některých slitin je používán pro zjemňování zrna.

Na druhou stranu železo tvoří s některými prvky v určitých koncentracích intermetalické fáze ve formě jehlic nebo shluků na hranicích zrn a tvoří tvrdá místa, která mohou být pak přítěží dokončovacích operací nebo při obrábění. (Obr.19)



**Obr. 19** Vliv Fe na zjemnění zrn a jeho negativní účinek tvorby intermetalických tvrdých fází [22]

**Olovo** je prvek, který obvykle tuhne ve slitinách jako poslední a na hranicích zrn tvoří globule. Velikost a tvar globulí závisí na obsahu Pb ve slitině. Čím více je obsaženo olova ve slitině tím více se vyskytuje globulí olova na hranicích zrn.

Olovo je využíváno pro jeho příznivé vlastnosti zlepšující obrobiteľnosť mosazi. V některých případech také zmírňuje výskyt mikrostaženin a zlepšuje tak tlakovou těsnost odlitku.

Vyšší obsah olova snižuje pevnost, zejména za vyšších teplot a může způsobovat praskání

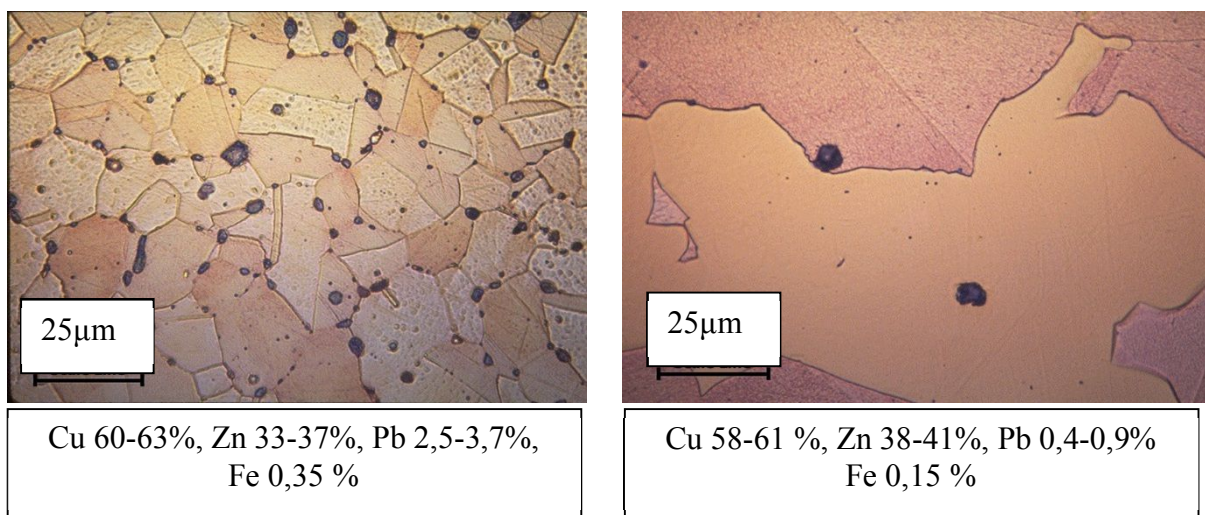
. Bylo zjištěno, že se olovo dostává z mosazných odlitků (vodovodních trubek, fitinků, kohoutku apod.) do vody a v určité koncentraci je toxické.



Zlepšení obrábitelnosti lze dosahovat například i bismutem. Bi zvyšuje tavicí teplotu slitiny a zhoršuje slévárenské vlastnosti. Bismut je také drahý prvek a výroba pak nemusí být ekonomicky vhodná.

Pro zajištění dovolené koncentrace Pb při zachování vlastností slitiny se reguluje obsah Pb do max. 0,15 % a částečně se nahrazuje křemíkem od 0,25 % Si do 5,5 % Si. Na základě nahrazování olova křemíkem z důvodu jeho toxicity byly vytvořeny pro odlitky vodovodních armatur tyto slitiny: C85800, C87500, C87800, C87600, C87610, C69300 a C87500.

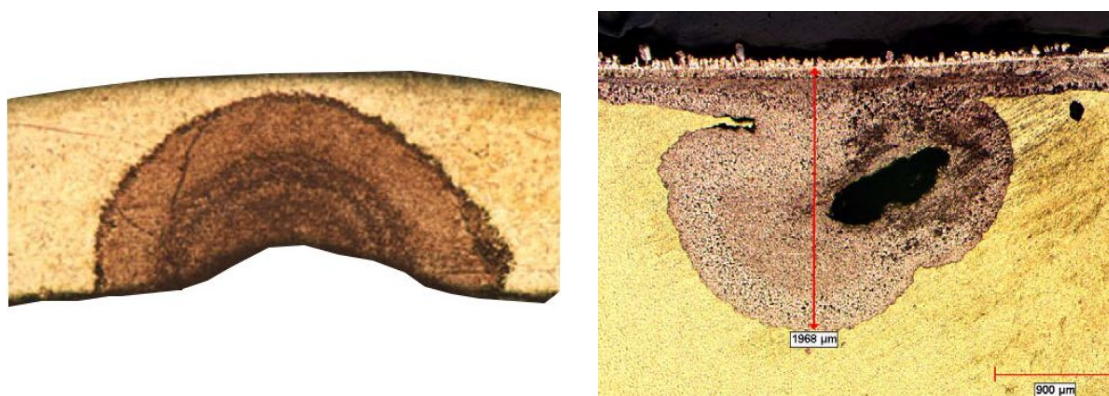
Výskyt Pb ve struktuře lze vidět na Obr. 20



**Obr. 20** Mikrostruktura dvou různých slitin Cu s rozdílným obsahem Pb [23]

**Cín** je přidáván do slitin Cu-Zn za účelem omezování selektivní koroze, která souvisí s odzinkováním mosazi.

**Odzinkování** spočívá v rozpuštění mědi a zinku a následnému zpětnému tuhnutí mědi. Vzniká takzvaná houbovitá měď. K odzinkování jsou náchylné všechny mědi s obsahem Zn větším než 15 %. Příliš vysoké obsahy cínu přispívají k tvorbě prasklin při tuhnutí.



**Obr. 21** Odzinkování mosazi [19], [22]

**Křemík** stabilizuje beta fázi v Cu-Zn slitinách. Zvyšuje pevnost a tvrdost mosazi. Zlepšuje také slévárenské vlastnosti a těsnost odlitku. Lze jím částečně nahrazovat funkci olova. Při přítomnosti určité koncentrace železa a manganu tvoří tvrdé intermetalické fáze a zhoršuje obrábitelnost.

### 2.2.2 Nikl-hliníkové bronzy [24], [25], [26]

Dalším řešeným odlitkem v diplomové práci je „Kloub 55 s vidlicí“. Materiál tohoto odlitku je hliníková bronz CuAl10Fe5Ni5(C95520/C95800). Odlitek spadá do subkategorie hliníkové bronzy nebo nikl-hliníkové bronzy

Jedná se o slitiny, které obsahují 9-12 % hliníku a prvky železo a nikl s obsahem do 6 %. Nejvyužívanější slitiny hliníkových bronzů obsahují 3-6 % železa a niku. Nikl-hliníkové bronzy jsou využívány zejména pro jejich skvělou kombinaci vynikajících mechanických vlastností s jinými vlastnostmi. Například dobrou korozní odolností. Nejvyužívanějšími slitinami hliníkových bronzů tedy jsou: CuAl10Fe5Ni5, CuAl10Ni5Fe4 a CuAl9Ni5Fe4Mn.



Obr. 22 33 tunový loďní šroub z hliníkové bronzy [24]

Tab. 5 Vlastnosti Nikl-Hliníkových bronzů [25]

Nikl-Hliníkové bronzy			
	C95520(C95800) CuAl10Fe5Ni5	C95500 CuAl10Ni5Fe4	CuAl9Ni5Fe4Mn
<b>Chemické složení</b>			
<b>Cu</b>	76-83 %	78 %	zbytek %
<b>Al</b>	8,5-10,5 %	8,5 - 11 %	8,5 – 9,5 %
<b>Si</b>	max. 0,1 %	max. 0,2 %	max. 0,1 %
<b>Fe</b>	4 – 5,5 %	3–5 %	4-5 %
<b>Mn</b>	max. 3 %	max 1 %	0,75-1,3 %
<b>Ni</b>	4–6%	4–6 %	4,5-5,5 %
<b>Vlastnosti</b>			
<b>Mez pevnosti</b>	600-650 MPa	640 MPa	620 MPa
<b>Mez kluzu</b>	250-280 MPa	270 MPa	250 MPa
<b>Tažnost</b>	7-13 %	15 %	15 %
<b>Tvrдость</b>	140-150 HB	180 HB	160 HB
<b>Teplota likvidu</b>	1080	1060	1080
<b>Teplota solidu</b>	1050	1040	1050

## Použití:

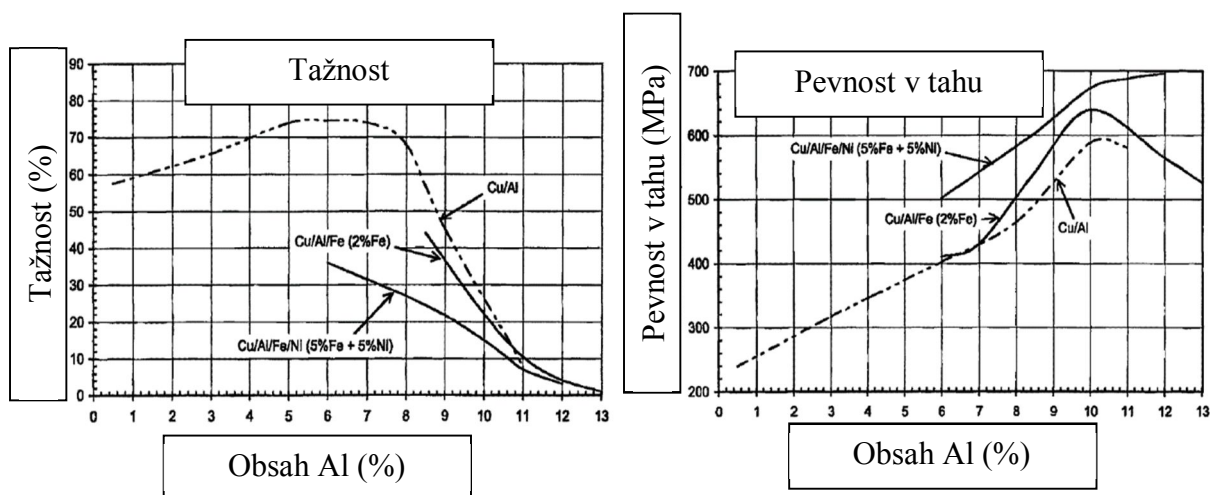
Hliníkové bronzы jsou používány pro zařízení, které pracují v mořských nebo přímořských oblastech. Tyto slitiny jsou využívány pro jejich vynikající pevnosti, odolnosti proti erozi a korozi, těsnosti a svařitelnosti.

Nejčastějšími výrobky jsou ložiska využívaná v leteckém průmyslu, střechy a rámy oken budov v přímořských oblastech, ventily a lodní šrouby v námořním průmyslu, podmořská potrubí apod.

## Vliv jednotlivých prvků ve slitině:

**Hliník** má výrazný vliv na mechanické vlastnosti hliníkových bronzů. Jeho obsah se pohybuje v rozmezí 8-13 % Al.

Na Obr. 23 jsou zobrazeny grafy, které popisují vliv hliníku na mechanické vlastnosti slitin Cu-Al, Cu-Al-Fe a Cu-Al-Fe-Ni.



Obr. 23 Vliv hliníku na mechanické vlastnosti [25]

Vlastnosti slitiny v závislosti na obsahu hliníku:

- Nikl-hliníková bronz dosahuje nejvyšších tažností při 6 % Al při max. pevnostech 500 MPa. Dle Obr. 27 při obsahu 10% Al dosahuje slitina cca 13% tažnost při pevnostech cca 650 - 670 MPa.
- Slitiny s vysokým obsahem hliníku (11–13 %) nacházejí uplatnění u výrobku, kde je požadavkem vysoká odolnost proti opotřebení. Nevýhodou těchto slitin je nízká tvárnost, rázová houževnatost a špatná odolnost proti korozi.
- Odolnost vůči koroznímu napadání ve většině prostředí je způsobena díky soudržnému ochrannému filmu oxidu hlinitého. Tento oxidický film není však dlouhodobě neproniknutelný. Dlouhodobá odolnost vůči korozi závisí na struktuře podvrstvy slitiny.
- Oxid hlinitý je velmi tvrdý, což je důvodem dobré odolnosti hliníkových bronzů proti erozi.

### Vliv železa:

- zjemňuje zrno ve struktuře. Vliv Fe na zjemňování zrna působí pouze do obsahu 3,5 %. Vyšší obsahy Fe již nemají na další zjemňování zrna vliv.
- zlepšuje tvrdost
- zlepšuje odolnost proti únavě materiálu
- zlepšuje odolnost proti opotřebení a korozi.
- zužuje dvoufázového pásma

### Kombinace Nikl-Železo.

Dle Obr. 23 Ni v kombinaci s Fe zvyšuje pevnostní vlastnosti, ale snižuje se tažnost.

Nicméně významnější účinek na tyto vlastnosti, než má železo v kombinaci s niklem má hliník. U hliníkových bronzů s obsahem niklu a železa je hliník běžně omezen na 9-10 %, aby byly splněny nejhodnější mechanické vlastnosti a odolnosti proti korozi.

Slitiny obsahující 5 % železa a niklu vykazují kombinaci vysokých pevnostních vlastností spolu s vynikající odolností proti korozi. Nikl obecně zlepšuje tvrdost a pevnost slitiny, nicméně snižuje tažnost.

Hlavním důvodem přítomnosti niklu v hliníkových bronzích je vliv na zlepšení korozní odolnosti. Dle různých zdrojů je uváděn vztah, který určuje vhodný poměr niklu vzhledem k obsahu hliníku ve slitině tak, aby byla slitina odolná vůči korozi.

$$Al \leq 8,2 + \frac{Ni}{2} \quad [25]$$

## 2.3 Shrnutí

Materiál CuZn16Si4 i materiál CuAl10Fe5Ni5 vykazují vysoké hodnoty mechanických vlastností a dobrou korozní odolnost.

Hliníková bronz CuAl10Fe5Ni5, vzhledem k výskytu značného množství železa, niklu a vyšším obsahům Al ve slitině, vykazuje vyšší pevnosti při zachování stejných tažností jako mosaz CuZn16Si4.

Pevností charakteristiky slitiny CuZn16Si4 jsou dány zejména vysokým obsahem křemíku, který zjemňuje zrno a zapříčiňuje vznik fázi, které jsou nositelem pevností a tvrdostí slitiny.

Obě slitiny jsou vhodné pro použití v korozním prostředí. Nicméně slitina CuZn16Si4, v porovnání se slitinou CuAl10Fe5Ni5, může být náchylná na tzv. odzinkování.

Nikl-hliníkový bronz je často využíván pro výrobky pracující pod mořskou hladinou, vzhledem k její schopnosti vytvoření oxidické vrstvy na povrchu materiálu

Vysoké pevnosti a dobrá korozní odolnost je důvodem výběru tohoto materiálu pro výrobky trakčního vedení řešených v praktické části práce.



### 3 VOLBA TECHNOLOGIE VÝROBY ODLITKŮ TRAKČNÍHO VEDENÍ ZE SLITIN MĚDI

Ve firmě Armatmetal s.r.o. se dlouhodobě vyrábí přibližně 20 položek odlitků trakčního vedení. Výroba těchto typů odlitků probíhá od roku 2007 technologií gravitačního lití do pískových forem. Odlitky jsou vyráběny ze slitiny mědi CuZn16Si4 a CuAl10Fe5Ni5. Pravidelná roční výroba těchto odlitků je cca 40 000 kg. Odlitky se pohybují v hmotnostní kategorii od 0,25 kg až do 1,5 kg. Výroba probíhá v četnosti 1000 až 1500 ks ročně dle položky.

Zákazníkem bylo rozhodnuto inovovat řadu výrobků a realizovat změnu technologii lití z gravitačního lití do pískových forem na technologii gravitačního lití do kovových forem. Cílem změny technologie by mělo být zvýšení pevnosti ( $R_m$ ) u výrobků ze slitin mědi. Změna technologie má pozitivní vliv i na zjednodušení práce v závěru výroby a pro slévárnu tak.

Z uvedených důvodů byl v roce 2018 ve slévárně Armatmetal s.r.o. zakoupen kokilový sklopný stroj (jeho popis a použití je uvedeno v příloze I). V nejbližší době bude zavedena středně sériová výroba odlitků ze slitin mědi do kovových forem za účelem zlepšení povrchových a pevnostních vlastností odlitků a snížení pracnosti dokončovacích operací.

Pro změnu technologií ve firmě Armatmetal s.r.o. byly vybrány dva druhy odlitků:

- „Kloub 55 s vidlicí“ – byl vybrán odběratelem za účelem odzkoušení metody.
- „Klínová koncovka KN10“ – byl vybrán firmou Armatmetal s.r.o. z důvodu konstrukčního řešení odlitku a vysoké opakovatelnosti výroby.

Odlitky jsou předmětem diplomové práce.

Předmětem práce u odlitku „**Kloub 55 s vidlicí**“ jsou nápravná opatření vzniklých vad po odlití. Předmětem práce není změna technologie. Výroba tohoto odlitku byla pro slévárnu nová a týká se pouze sklopně gravitačního lití. Proto závěrečné zhodnocení zjednodušení výroby není součástí u tohoto odlitku. Výroba tohoto odlitku je řešena na objednávku zákazníka.

Odlitek „**Klínová koncovka KN10**“ je ve slévárně několik let odléván gravitačně do pískových forem. Hlavním cílem u tohoto odlitku je zhodnotit přínos změny stávající technologie gravitačního lití do písku na technologii gravitačního lití do kovové formy. Řešením je výrazné ušetření strojních časů dokončovacích operací. Práce byla řešena v průběhu realizace technologie. Na odlitku se vyskytovaly vady, jejichž definování a nápravná opatření pro jejich eliminování jsou také součástí práce.

Oba zmíněné odlitky jsou součástí souboru trakčního vedení viz Obr.24. Takové typy odlitků slouží ke kotvení a spojování sestav. Jsou odlévány z železných i neželezných slitin. Odlitky musí odolávat danému minimálnímu tahovému namáhání, musí se vykazovat danou povrchovou kvalitou a jelikož jsou vystaveny povětrnostním vlivům musí být korozně odolné. Ve střední Evropě se tyto prvky trakčního vedení vyrábí většinou z tvárné litiny a jsou pozinkovány (z cenových důvodů). V oblastech s korozně agresivnějším prostředím jsou voleny slitiny mědi. Odlitek musí vydržet určitá tahová napětí za určitých podmínek po určitou dobu.



**Obr. 24** Trakční systém v Brně, ulice Joštova

### 3.1 Kloub s vidlicí 55 [27]

V této kapitole je popsáno řešení vyskytujících se vad na odlitku Kloub s vidlicí 55. Na původní navržené technologii (dále T1) se vyskytovaly vady, které vedly k návrhům dalších možností odlévání tohoto odlitku. Tyto návrhy technologií byly ověřovány numerickou simulací a následně bylo zvoleno konečné řešení vyskytlých problémů.

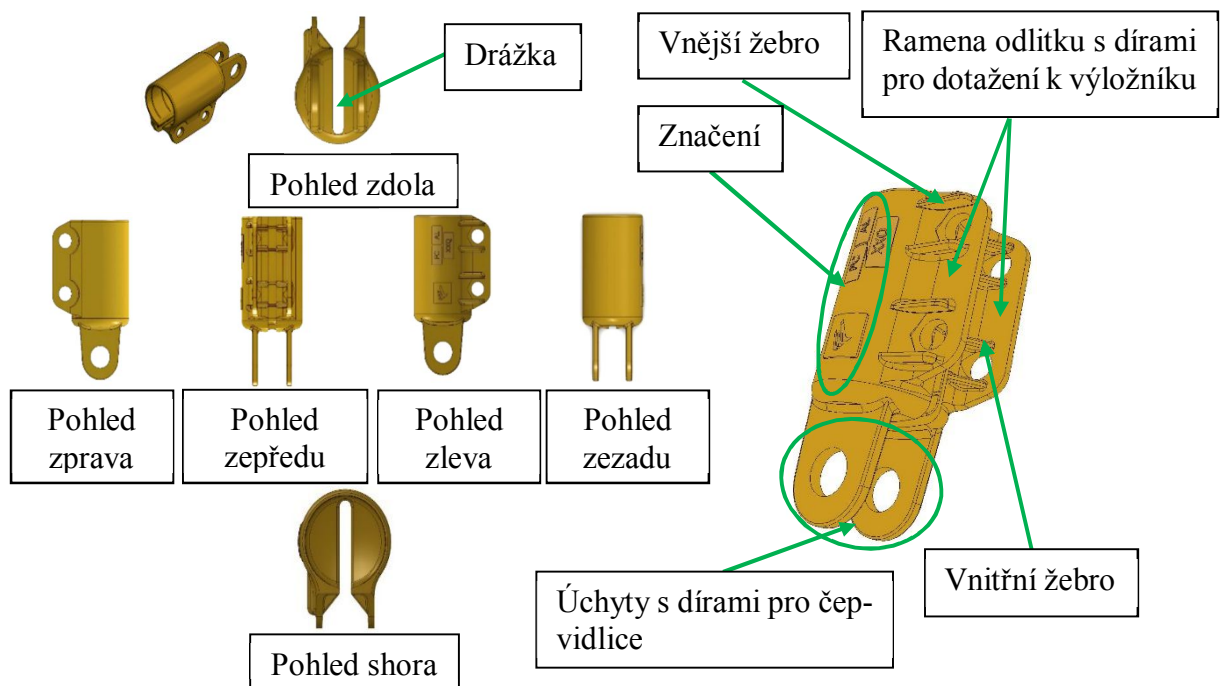
#### 3.1.1 Popis součásti

„Kloub s vidlicí 55“ (dále jen K55) je výrobek, který podobně jako KN10 patří do soustavy trakčního vedení a slouží jako držák výložníku soustavy. Je rozdělen na dvě části. První část lze nazývat jako tělo odlitku nebo kloub, do kterého je vsouván výložník. V místě těla odlitku jsou i ramena s otvory pro šrouby, kterými je K55 k výložníku dotahován. Další část odlitku se nazývá vidlice, která slouží k uchycení odlitku ke stabilní části v soustavě, například ke sloupu. V části vidlice odlitku jsou zkonstruovány dva otvory, které slouží pro vložení čepu a následného zajištění závlačkou.



**Obr. 25** Kloub s vidlicí a způsob uchycení vidlice [27]

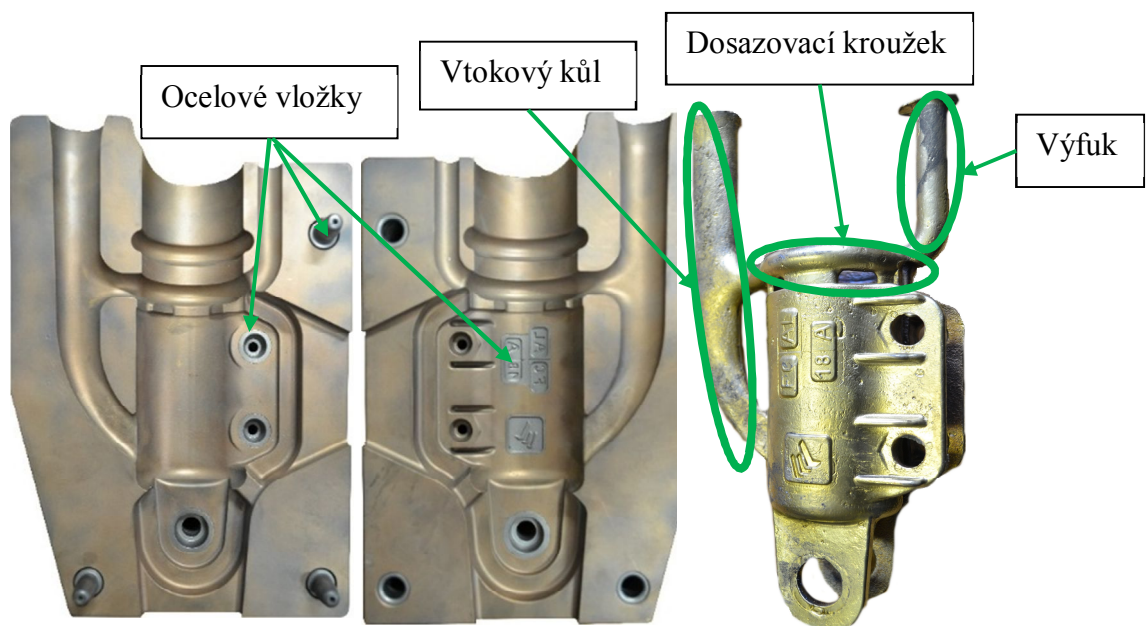
- Na těle odlitku se vyskytují dvě ramena se čtyřmi dírami pro šrouby k dotažení výrobku k výložníku.
- Na vnitřní straně ramen se vyskytuje osm žeber a další čtyři žebra na levé, vnější straně odlitku. Tělo odlitku (kloub) je po celé délce rozděleno drážkou. Na dně odlitku jsou napojeny dva úchyty s dírami pro čep (vidlice). Uvnitř odlitku se po obvodu vyskytuje žebrování. Na výrobku jsou také předlitá značení.
- Jako materiál pro výrobu odlitku K55 je požadována hliníková bronz CuAl10Fe5Ni5.
- Jako materiál formy byla doporučena beryliová bronz. Formy zhotovené z tohoto materiálu se vyznačují vyšší životností. Na druhé straně jsou méně přístupné k větším zásahům a jejich rozsáhlejší opravám. Kokily z beryliové bronzy lze například těžko zavařovat.
- Kovová forma pro výrobu odlitku K55 byla vytvořena specializovanou společností pro výrobu kovových forem v Itálii, která se zaručila svým návrhem slévárenské technologie pro odlitek K55 – viz další kapitola.



**Obr. 26** Grafické znázornění odlitku a jeho popis

### 3.1.2 Technologie odlévání součásti

Původní slévarenská technologie byla navržena italským výrobcem kovových forem. Návrh technologie a formy byl zvolen vzhledem ke gravitačně-sklopnému lití (Obr. 27).



**Obr. 27** Navržená odlitek K55

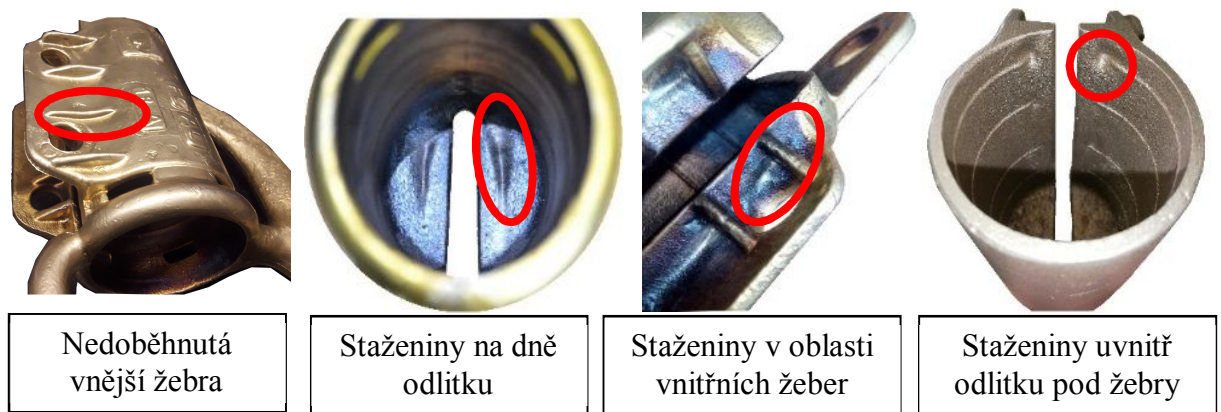
- Vtokový kůl je napojen na zadní stranu odlitku přibližně 14 mm ode dna odlitku.
- Součástí původní technologie (dále jen T1) je náletek ve tvaru kroužku, který je napojen na odlitek.
- Kroužek je umístěn ve vršku odlitku a je vyveden přímo ze vtokového kůlu. Z kroužku, na opačné straně od vtokového kůlu, je vyveden výfuk.
- Dutina odlitku je tvořena pískovým jádrem vyrobeného metodou ColdBox Amin. Kokila byla navržena pro lití na sklopném stroji, kdy je forma na počátku lití pod definovaným úhlem a v průběhu odlévání se naklápí do základní polohy.

Jak již bylo zmíněno, forma je vyrobena z beryliové bronzy, ale součástí formy jsou také ocelové zaváděcí kolíky a otvory pro vložení jádra, ocelové vložky pro značení odlitku a ocelové vložky se zámkem pro zavedení jádra.

### 3.1.3 Výskyt a popis vad

Na každém z odlitků se po odlitých zkouškách vyskytovaly vady (zejména typu staženin) zobrazené na Obr 28.

- Nejviditelnější vadou na odlitku jsou nedoběhnutá vnější žebra. Tato vada je s velkou pravděpodobností zapříčiněna uzavřenými plyny v průběhu lití ve formě.
- Další výraznou vadou jsou soustředěné staženiny na dně odlitku vyskytující se v místech napojení vidlice.
- Staženiny se vyskytovaly i v oblasti vnitřních žeber. Lze si všimnout, že menší staženiny se vyskytují u každého napojení žebra na odlitek.
- Další staženina se vyskytuje z vnitřní strany odlitku pod žebry, neboť je zde shromážděné největší množství materiálu. V tomto místě je napojeno na odlitek vnitřní žebro, vnější žebro a rameno odlitku.



**Obr. 28** Vyskytující se vady na odlitku Kloub 55 s vidlicí

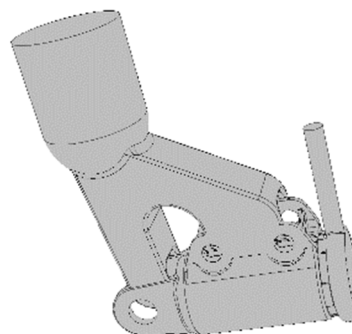


### 3.1.4 Technologické varianty [28]

Vzhledem k výskytu vad bylo vytvořeno několik dalších variant technologie, které by mohly eliminovat vznik vyskytujících se vad na odlitku. Byla vytvořena 3D data pro každou variantu a poté byly jednotlivé varianty ověřeny numerickou simulací, ze kterých se vyvodily další závěry a možnosti.

#### Technologie T2

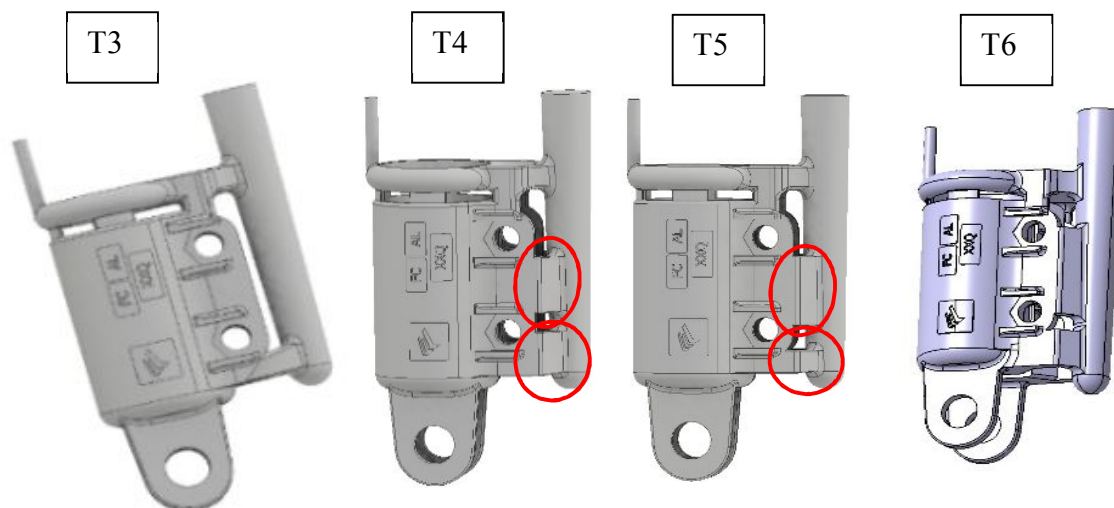
Vtoková soustava byla umístěna na stranu ramen. Na opačnou stranu jako tomu bylo u T1. Vtoková soustava je napojena přímo na ramena a vidlici. Na vršku odlitku je ponechán dosazovací kroužek a z něj je vyveden výfuk. Základní poloha pro lití je překlopena do horizontální polohy. Předpokladem T2 je lepší dosazování chybějícího kovu zejména do oblastí vnějších a vnitřních žeber.



Obr. 29 Technologie T2

#### Technologie T3, T4, T5, T6

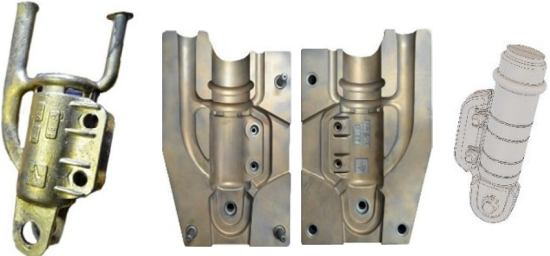
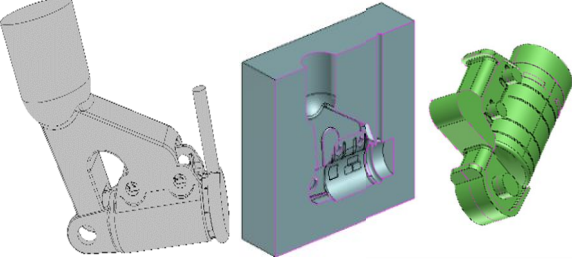
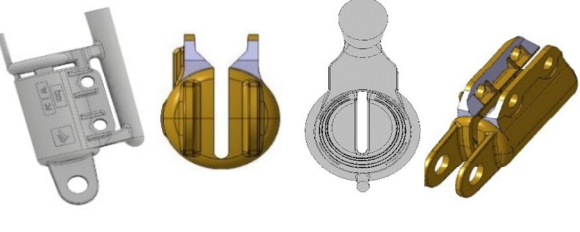
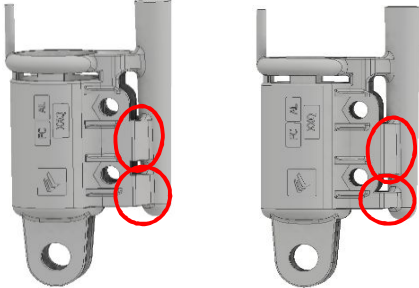
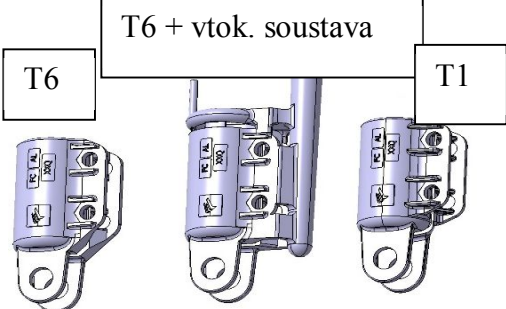
Zatímco u T2 nebyly prováděny změny přímo na odlitku a byl pouze měněn tvar a pozice vtokové soustavy, u T3, T4, T5 a T6 již byl proveden zásah do 3D dat odlitku. Bylo rozšířeno dno odlitku a tloušťka ramen odlitku. Vtoková soustava byla přesunuta na stranu ramen a dosazovací kroužek zůstal součástí i nových návrhů. Technologie T3-T6 se liší způsobem zavedení vtokové soustavy. Veškeré změny byly průběžně konzultovány se zákazníkem.



Obr. 30 Technologie T3-T6

Shrnutí všech technologií jsou uvedené v Tab.37. Jednotlivé návrhy technologií byly ověřeny numerickou simulací. Výsledky simulací a jejich využití je popsáno v následující kapitole.

**Tab. 6** Shrnutí ověřovaných variant

T1	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vtokový kůl napojen zleva</li> <li>• Dosazovací kroužek s výfukem</li> <li>• Základní poloha – vertikální</li> </ul>
T2	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vtokový kůl napojen zprava do středu ramen odlitku a úchyty pro čep</li> <li>• Dosazovací kroužek s výfukem</li> <li>• Základní poloha – horizontální</li> </ul>
T3	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vtokový kůl napojen zprava ke spodní a vrchní částí ramen odlitku</li> <li>• Rozšířena vrchní část napojení</li> <li>• Rozšíření ramen o 1,5 mm a dna o 2 mm</li> <li>• Základní poloha – vertikální</li> </ul>
T4, T5	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viz T3</li> <li>• T4 – napojení zářezu do středu a na spodní část ramen až k ose spodní díry</li> <li>• T5 – napojení zářezu ve střední části je oproti T4 rozšířeno. Spodní zářez je vzhledem k jednoduššímu oddělení vtokové soustavy od odlitku zkrácen na úroveň vnějšího žebra</li> </ul>
T6	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Úprava dna – rozšíření viz T3-T5 + modifikace napojení ramen ke dnu</li> <li>• T4 – napojení zářezu do středu po celé délce žeber až k zaoblení</li> <li>• T5 – napojení zářezu ze spodní části žeber až ke dnu odlitku</li> </ul>

## Numerická simulace

Numerická simulace je nástroj, který umožňuje pozorovat chování roztaveného kovu při lití do dutiny formy, následné tuhnutí a další možnosti spojených se změnami podmínek v závislosti na čase. Simulační softwary umožňují, dle uživatelem předem nastavených parametrů, předpovědět teplotní režim formy při lití, průběh teplot při lití a tuhnutí, rychlost proudění kovu, výskyt oxidů v odlitku v rámci plnění kovu do dutiny formy. Dále je numerická simulace schopna předpovědět podíly tuhé fáze v odlitku, výskyt porozity apod.

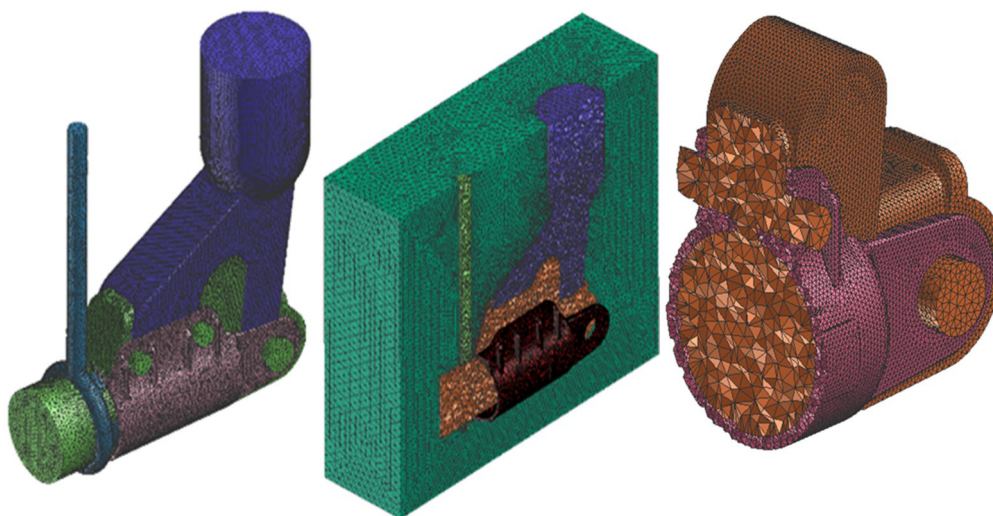
K výpočtům simulace je velmi důležité znát vstupní i výstupní parametry. Ve slévárnách, kde vlastní simulační software a existuje tak možnost ověřovat si výsledky simulace s reálnými výsledky na konkrétních odlitcích, lze simulační software lépe optimalizovat a výsledky výpočtů jsou důvěryhodnější. V případech, kde není možnost výsledná data výpočtů simulace optimalizovat, je nutné se o výsledcích dále ujišťovat.

U odlitku K55 bylo simulačně ověřeno několik technologických variant:

- V rámci výuky na VUT v Brně byla provedena simulace původního řešení odlitku – T1. Simulace byla řešena pomocí softwaru ProCast.
- Byla provedena komplexní simulace varianty T2 společností Mecas esi s.r.o. Simulace byla řešena pomocí softwaru ProCast.
- Dále bylo simulováno několik dílčích variant T3-T6 se zaměřením na výskyt porozity a staženin v odlitku, při změně způsobu dosazování a lití kovu do dutiny formy. Varianty T3-T6 byly simulovány firmou Foseco pomocí softwaru Magma.

## Vstupní parametry

Vstupní podmínky pro simulace jsou uvedeny v Tab.7. Vzhledem k tomu, že se jedná o pilotní projekt slévárny není možné definovat vstupní podmínky přesně a simulace je nutné brát s patřičnou rezervou.



**Obr. 31** Rozložení objemové a povrchové sítě [28]

**Tab. 7** Vstupní parametry pro simulaci

<b>Materiál odlitku</b>		CuAl10Fe5Ni5										
<b>Materiál formy k simulaci</b>		19 554										
<b>Materiál jádra</b>		SiO2 Cold Box – Amin										
<b>Licí teplota [°C]</b>		1165										
<b>Počáteční teplota formy [°C]</b>		300										
<b>ČASOVÉ PARAMETRY</b>												
<b>Celková doba cyklu [s]</b>		36										
<b>Otevření formy (vkládání jádra) [s]</b>		10										
<b>Napohování formy [s]</b>		6										
<b>Lití [s]</b>		4										
<b>Tuhnutí [s]</b>		5										
<b>Otevření formy (vyjmutí odlitku) [s]</b>		9										
<b>Namáčení do grafitové lázně [s]</b>		2										
<b>CHEMICKÉ SLOŽENÍ DLE ČSN EN 1982</b>												
<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Sn</b>	<b>Al</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>	<b>Zn</b>	<b>Mg</b>	<b>Bi</b>	<b>Cr</b>	
76-83	4-6	≤0,03	≤0,1	8,5-10,5	4-5,5	≤0,03	≤0,1	≤0,5	≤0,05	≤0,01	≤0,05	
<b>FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI ODLITKU</b>												
<b>Hustota <math>\rho</math> [kg.m<sup>-3</sup>]</b>			<b>Měrná tep. kapacita <math>c_p</math> [J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]</b>				<b>Teplotní součinitel roztažnosti <math>\alpha</math> [K<sup>-1</sup>]</b>			<b>Tepelná vodivost <math>\lambda_t</math> [W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]</b>		
7530			418				20.10 <sup>-6</sup> (20-200 °C)			50 (20-200 °C)		

### Simulace T1

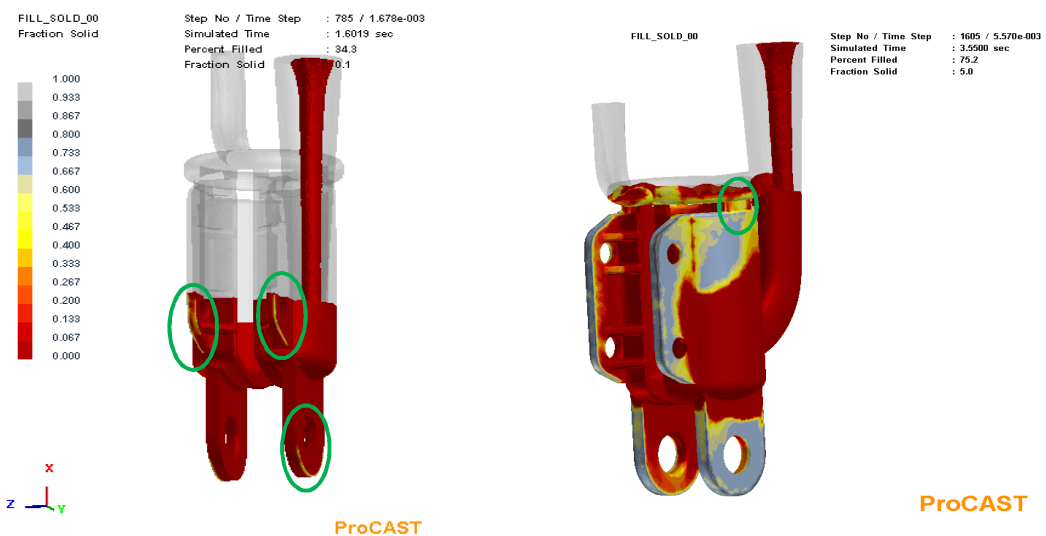
Simulací bylo ověřováno teplotní pole při plnění dutiny formy, rychlostní pole při plnění dutiny formy a tuhnutí odlitku se zaměřením na zjištění kritická místa. Simulace T1 byla provedena pouze pro gravitační lití. Při zadávání simulace nebyl definován sklopný parametr (sklápění formy během lití).

Vznik staženin:

- Z průběhu plnění vyplývá, že v místech, kde se tavenina dotýká formy, se téměř okamžitě tvoří kašovitá až tuhá fáze odlitku. Jedná se zejména o oblasti ramen odlitku a úchytů pro čep.
- Ze simulace lze vysledovat, že kov, který v závěru plnění doputuje do dosazovacího kroužku na odlitku, obsahuje velké množství tuhé fáze, zejména v oblasti zářezů mezi odlitkem a dosazovacím kroužkem (Obr.32).

### Místa počátečního tuhnutí taveniny

### Výskyt tuhé fáze v oblasti dosazovacího kroužku

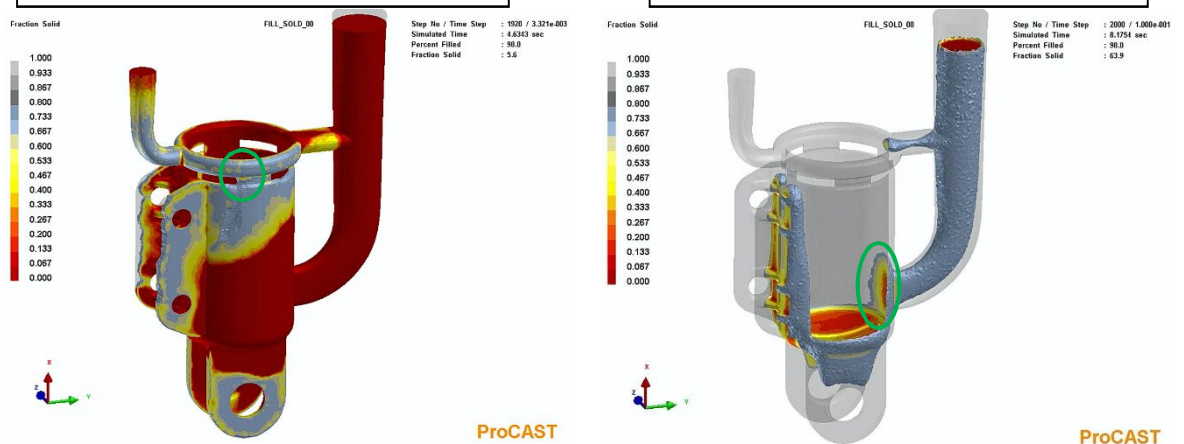


**Obr. 32** Počátek tuhnutí odlitku

Zatímco ve zmíněných částech odlitku dochází s přibývajícím časem ke ztuhnutí taveniny, je vtokovou soustavou neustále dosazován nový kov, který intenzivně ohřívá stále se zužující oblasti tekuté fáze. Taveninou je intenzivně prohříváné také ColdBoxové jádro, které po přehřátí udržuje vzniklé teplo mezi jádrem a odlitkem.

### Zobrazení CutOff v čase 4,6 vteřin

### Zobrazení CutOff v čase 8,2 vteřiny



**Obr. 33** Oddělení tekuté soustavy od odlitku

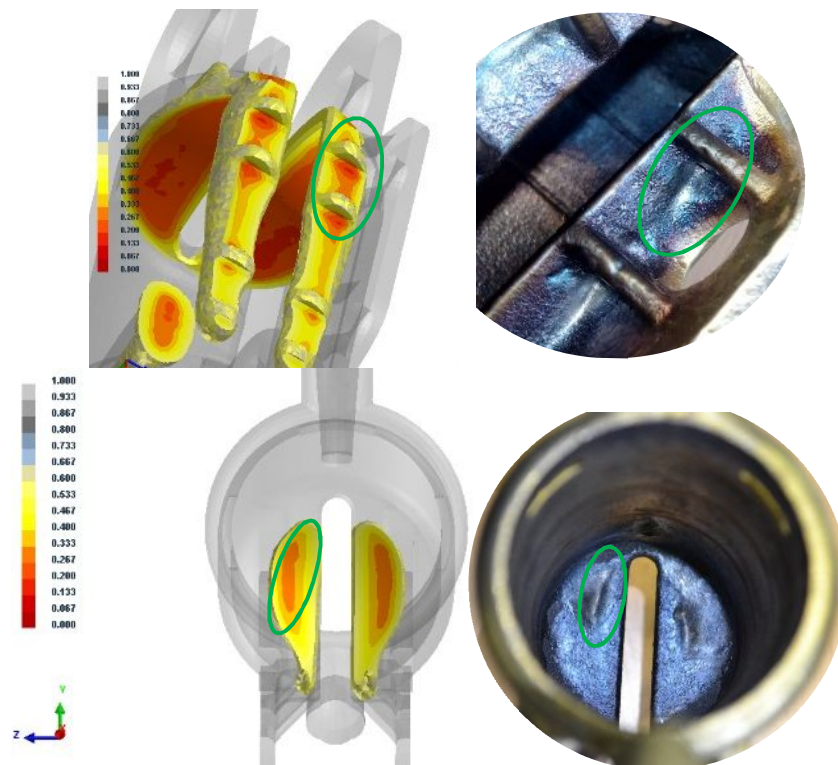
- Simulací je předpovězeno, že v čase 4,63 vteřiny od počátku lití začíná docházet k oddělování tekutého kovu od odlitku v oblasti napojení dosazovacího kroužku s odlitkem. (Obr.33)
- V čase 8,2 vteřiny od počátku lití, začíná docházet k oddělování tekutého kovu mezi odlitkem a vtokovým kulem.



Z Obr. 33 plyne, že příliš rychle zatuhlé dosazovací oblasti uzavřou stále ještě tekuté části odlitku a brání tak v dosazování výše uvedených kritických míst. Což vede ke vzniku staženin, propadení povrchu odlitku apod (Obr. 34).

Porovnání výsledku simulace:

Výsledek simulace zobrazuje místa vyskytujících se vad na dně odlitku, v oblasti žebry a na vnitřní straně odlitku pod žebry. Vady předpokládané simulací se shodují s vady na reálném odlitku K55 (Obr. 34). Simulací bylo ověřeno chování kovu v reálném odlitku.



**Obr. 34** Shoda virtuálních vad s vady na reálném odlitku

## Simulace T2

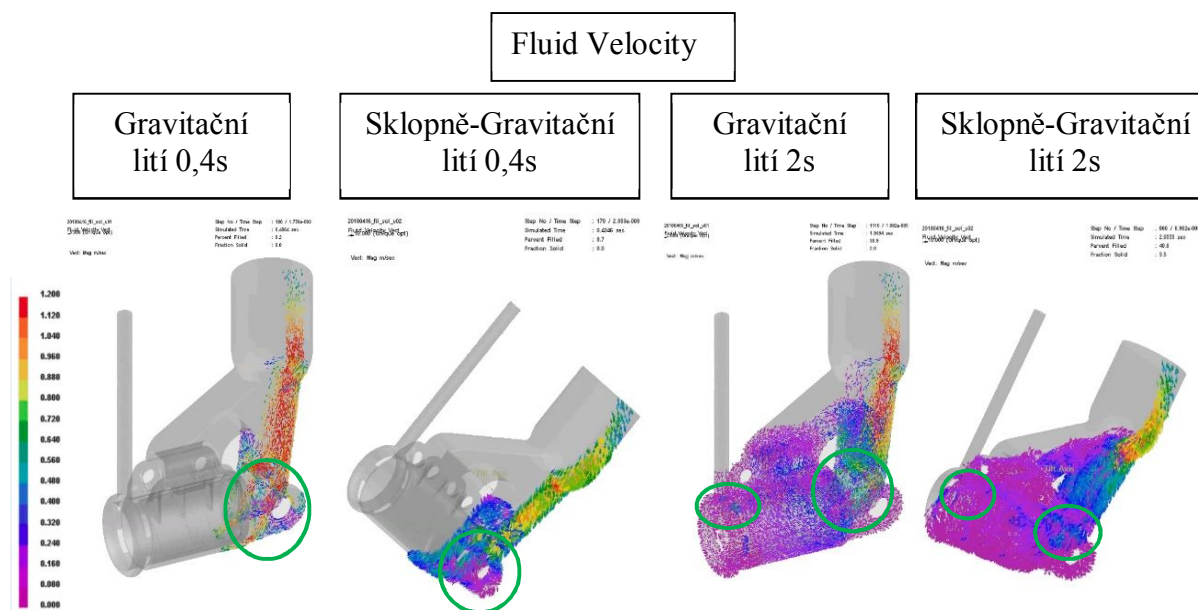
Simulace T2 byla zadána společnosti Mecas esi s.r.o. Cílem práce bylo analyzovat technologie gravitačního a sklopného lití, zhodnotit vzniklé vady a porovnat výsledky gravitační a sklopně-gravitační technologie. Obsahem souboru je simulace plnění a tuhnutí gravitačního a sklopně-gravitačního lití.

Vliv sklopného lití:

- Simulací T2 bylo předpovězeno, že způsob gravitačního nebo sklopně-gravitačního lití nemá výrazný vliv na tuhnutí odlitku, ale má velký vliv na výskyt oxidů a možný vznik vad s oxidy spojených.

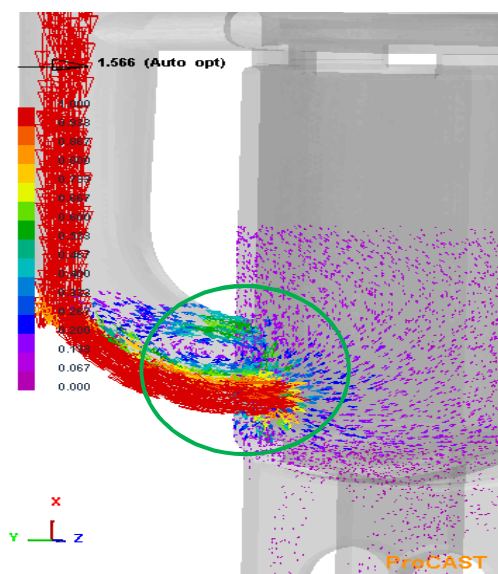
Funkce „Fluid Velocity“ (Obr.35) zobrazuje rozdíly v rychlostech plnění kovu a směru plnění kovu.

- V čase 0,4s po začátku lití u gravitačního způsobu jsou v oblasti úchyty pro čep a dna odlitku vysoké rychlosti pohybu kovu a kov má tendenci cirkulovat okolo jádra.
- V závěru plnění se vyšší rychlosti kovu vyskytují i v oblasti zářezů mezi odlitkem a dosazovacím kroužkem. Jakékoliv víření kovu, může vést k tvorbě oxidů.



**Obr. 35** Rychlost a směr proudění kovu v dutině formy [28]

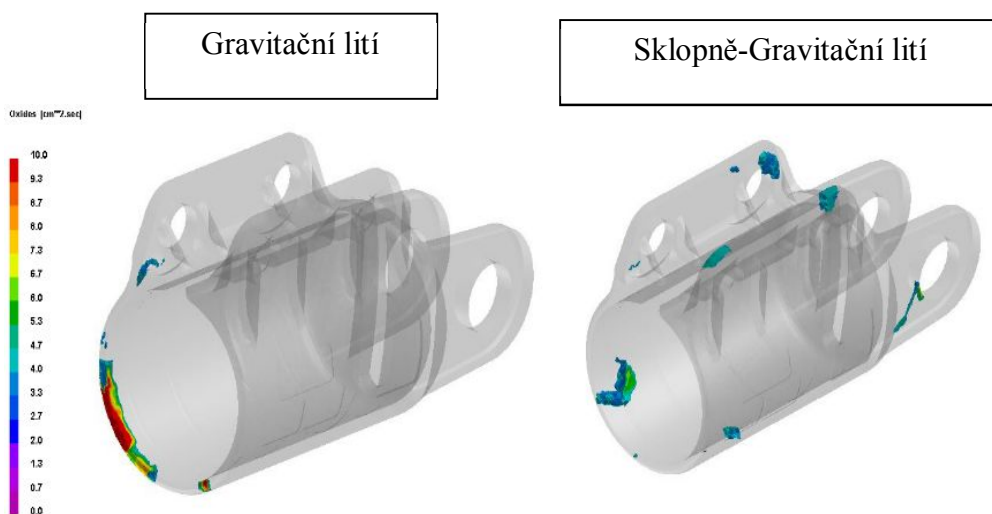
Ve stejném okamžiku, ale u sklopně-gravitačního způsobu, jsou rychlosti kovu nižší a cirkulace kovu okolo jádra není tak výrazná, jako u gravitačního způsobu lití. Výraznější víření kovu lze pozorovat ze simulace původní technologie T1. Na Obr. 36 je vektorově zobrazen vracející se kov z odlitku zpět do vtokového kúlu, čemuž lze zabránit sklápěním formy v průběhu lití.



**Obr. 36** Fluid Velocity (T1)



Vzniklé oxidy jsou díky plynulejšímu plnění lépe rozmístěny a nedochází k jejich shlukování na hraně odlitku jako při gravitačním lití (Obr.37).

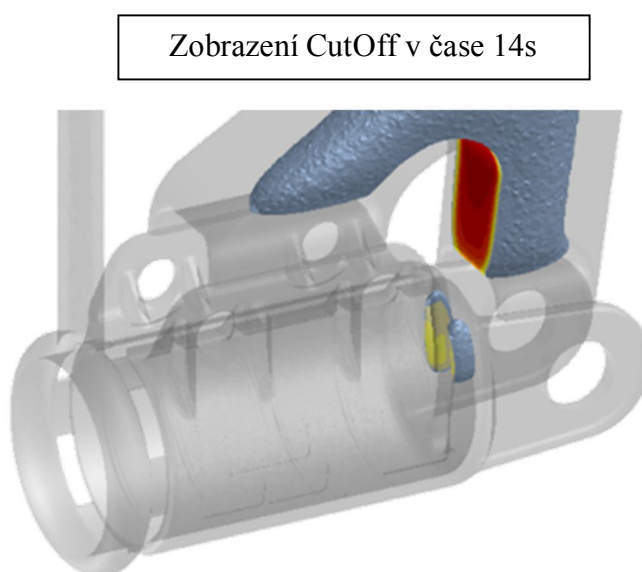


**Obr. 37** Porovnání výskytu oxidu gravitační/sklonně-gravitační lití [28]

Vznik staženin:

- Simulací byla předpovězena výrazná porozita, která v tepelných uzlech vystupuje na povrch odlitku a tvoří otevřené staženiny (na totožných místech jako u T1)
- Dle simulace je také možný výskyt drobné porozity v místech v oblasti značení odlitku.

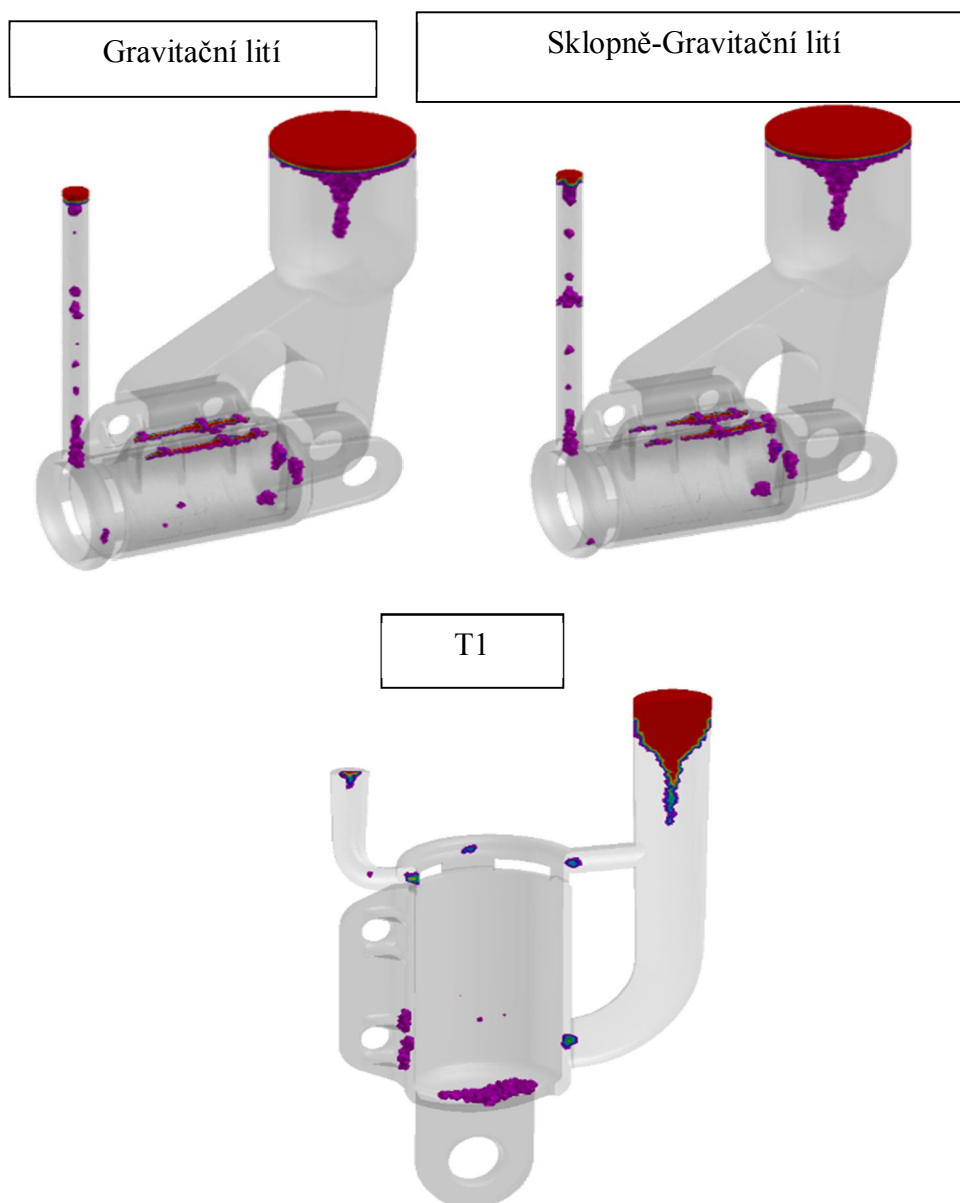
Zobrazení CutOff, v čase 14 vteřin, ukazuje polotekutý kov, který je stále v kontaktu s povrchem prohřátého jádra (Obr.38). Vysoké teploty v místě dna odlitku udržují tekutou fázi. Z důvodu objemových změn tuhneoucího kovu a již zatuhlých zářezů mezi vtokem a odlitkem, dochází k propadení povrchu odlitku a vzniku soustředěné staženiny.



**Obr. 38** Vznik soustředěné staženiny [28]

Porovnání výsledků simulace:

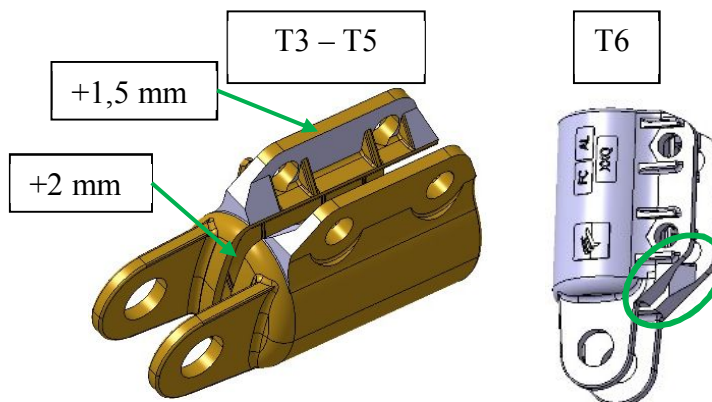
Porovnáním porozity T2 sklopně-gravitačního lití, T2 gravitačního lití a T1 lze pozorovat totožný výskyt vad. Dle zhotovené simulace nemá v tomto případě změna způsobu zavedení vtokové soustavy vliv na vznik vad typu staženiny a propadení povrchu odlitku. Jako vhodnější způsob lití byl dle simulací doporučen gravitačně-sklopný systém, vzhledem k nižšímu výskytu oxidů v odlitku při lití.



**Obr. 39** Porovnání výsledné porozity [28]

### Simulace T3, T4, T5, T6

Na základě získaných informací ze simulací T1 a T2 bylo zhotoveno několik dalších technologických variant. V těchto případech již došlo k zásahům do odlitku. Na odlitku bylo rozšířeno dno a ramena. Ramena v případě T6 byla prodloužena a napojena na dno odlitku (Obr. 40). Veškeré zásahy byly provedeny pouze v 3D datech a ověřeny simulováním pomocí softwaru Magma firmou Foseco



Obr. 40 Úprava 3D dat

Tab. 8 Výsledky simulací variant T3-T6

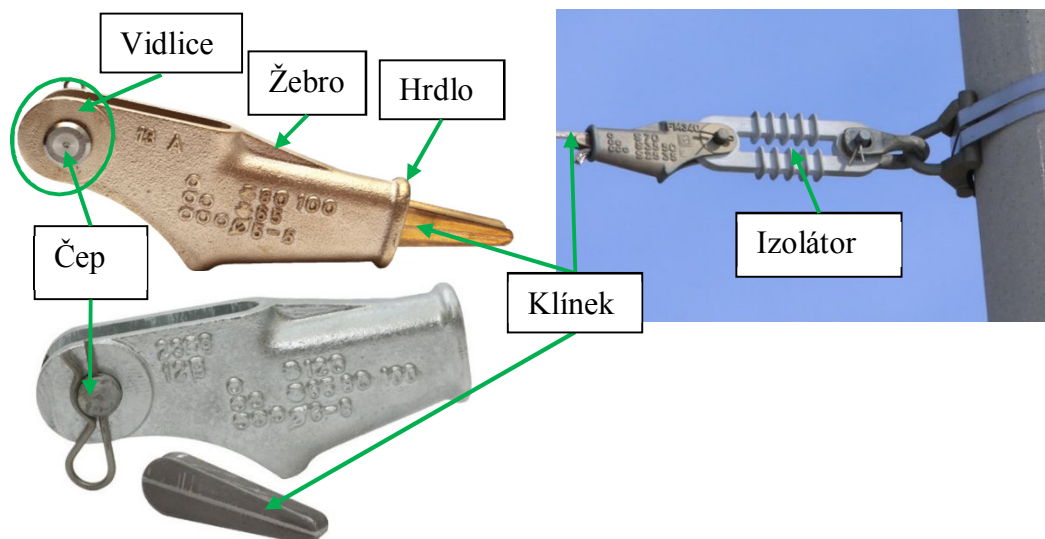
T3	T4
	
T5	T6
	

Pomocí simulací bylo zjištěno, že doba dosazování kovu do kritických míst na odlitku by byla prodloužena. Porozita se na odlitcích se změnou technologií snižovala, nicméně zcela nevymizela. Kritické místo v oblasti dna, kde se tvoří nejrozsáhlejší staženiny, by bylo zřejmě vyřešeno napojením vtokového kůlu na dno odlitku, ale porozita v oblasti žeber by byla větší, viz Tab. 8 – T6. Vzhledem k nepřesvědčivým výsledkům získaných ze simulací, bylo rozhodnuto ponechat původní technologii a provést několik změn na stávající formě.

### 3.2 Klínová koncovka KN10 [37]

Součástí kapitoly je příprava výroby konkrétního odlitku KN10 dvěma způsoby slévárenské technologie. Výroba odlitkem oběma technologiemi je zvlášť rozebrána a závěrem kapitoly je jejich technicko ekonomické porovnání a zhodnocení.

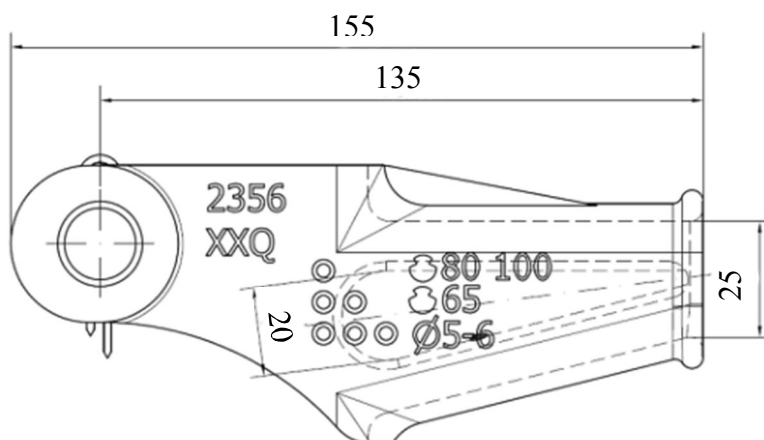
Odlitek slouží jako koncové těleso lana trakčního vedení a jeho použití lze vidět na Obr 41.



Obr. 41 Klínová koncovka a její použití [27]

#### 3.2.1 Popis součástí

Jedná se o odlitek o hmotnosti přibližně  $m=0,52$  kg a tloušťky stěny 4 mm. Odlitek je od jeho středu až po hrdlo zužován. Do hrdla odlitku je vkládán klínek, kolem kterého je zachycováno lano. Na opačné straně se vyskytuje vidlice s otvory pro čep k uchycení ke sloupu, izolátorům či jiných součásti viz Obr. 35. Klínky jsou vyráběné z mosazi CuZn40Pb2 nebo ze slitiny AlSi7Mg. Čepy a závlačky z nerezových ocelí. Slévárna Armatmetal s.r.o. odlévá pouze součást KN 10, na výrobě klínků ani čepů se nepodílí.



Obr. 42 Základní rozměry výrobku KN10 [36]

V Tab. 9 jsou zobrazeny základní parametry odlitku KN10 určeného pro porovnání dvou slévárenských technologií. Litým materiálem je mosaz CuZn16Si4. Odlitek musí splňovat minimální namáhání 10 kN pro lana o průřezu <math><50\text{mm}^2</math> a 12 kN pro lana o průřezu >math>>50\text{mm}^2</math>

**Tab. 9** Základní parametry odlitku

Klíňová koncovka KN10	
<b>Materiál</b>	CuZn16Si4
<b>Hmotnost</b>	0,5 kg
<b>Rozměry</b>	155x62x13mm
<b>Požadavky</b>	Bez viditelných povrchových vad Nepřípustné svařování Tahové namáhání 10kN/12kN

### 3.2.2 Výroba součásti – Gravitačně do pískových forem

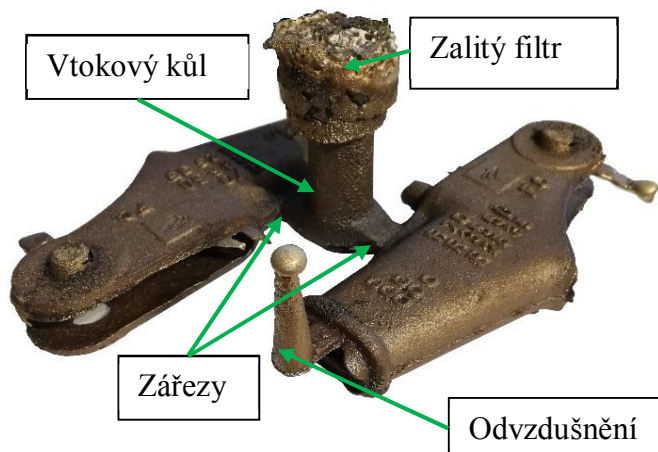
Kompletní výrobu odlitku KN10 metodou gravitačního lití do pískové formy ve slévárně Armatmetal s.r.o. lze rozdělit do 13 kroků. Před samotnou výrobou je ale nutné navrhnout vhodnou slévárenskou technologii – v Tab. 10 označeno jako krok 0.

**Tab. 10** Jednotlivé úkony výroby odlitku KN10 – Jednorázová forma

<b>0.</b>	Návrh technologie
<b>PŘED ODLITÍM</b>	
<b>1.</b>	Formování + výroba jader
<b>2.</b>	Tavení
<b>3.</b>	Příprava forem a jader
<b>4.</b>	Lití
<b>PO ODLITÍ – DOKONČOVACÍ OPERACE</b>	
<b>5.</b>	Vytloukání
<b>6.</b>	Odřezání vtokové soustavy
<b>7.</b>	Tryskání I
<b>8.</b>	Omílání
<b>9.</b>	Broušení I
<b>10.</b>	Broušení II
<b>11.</b>	Vrtání – kalibrace děř
<b>12.</b>	Tryskání II
<b>13.</b>	Kalibrace vidlice

## 0. Návrh technologie

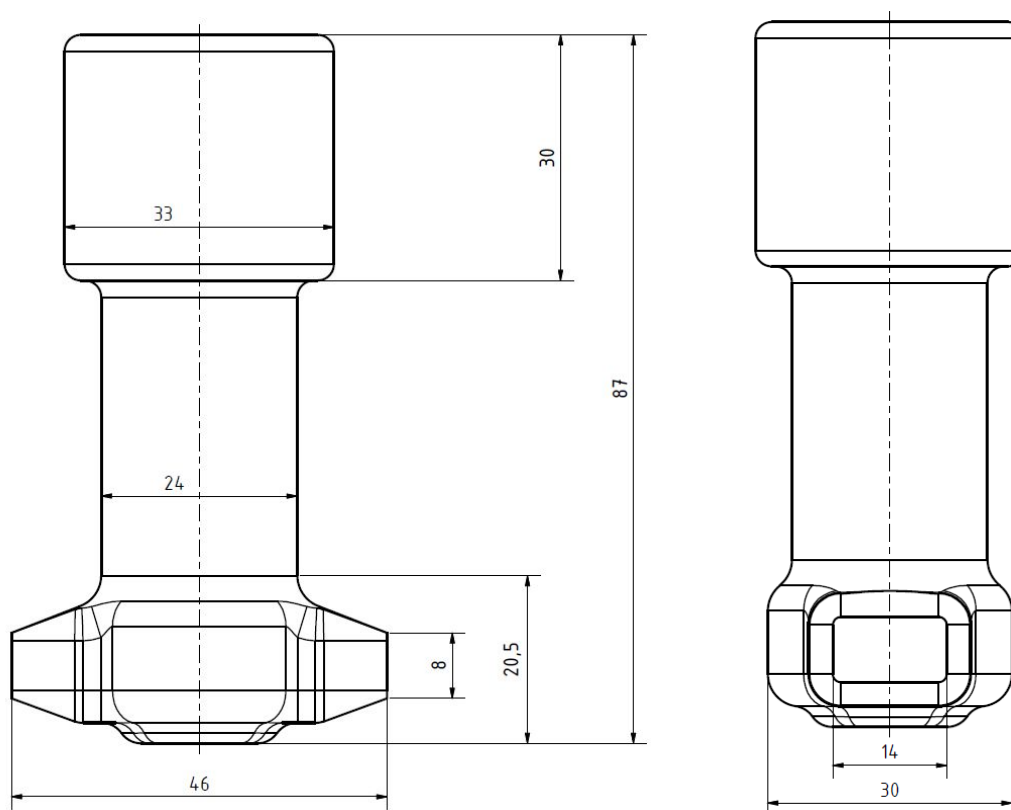
Slévárenská technologie byla volena s důrazem na maximální možné využití kovu, dělicí roviny a objemu formy při vyhovující kvalitě odlitku. Ve formě jsou umístěny dva odlitky.



**Obr. 43** Surový odlitek

Mezi odlitky je zaveden vtokový kůl a je napojen do oblasti žeber odlitků pomocí zářezů. Schéma vtokové soustavy je zobrazeno na Obr. 44.

### SCHÉMA VTOKOVÉ SOUSTAVY – GRAVITAČNÍ LITÍ DO PÍSKU

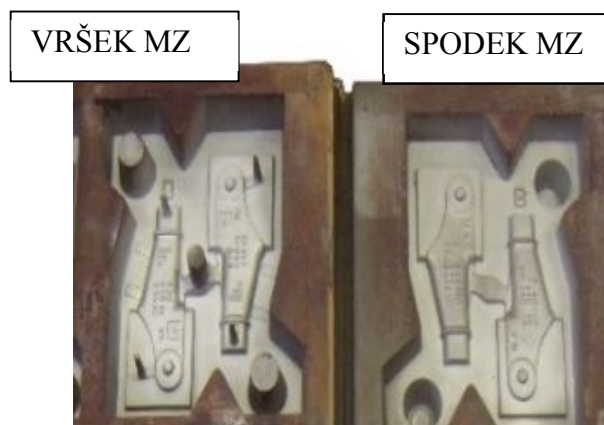


**Obr. 44** Technologie lití odlitku KN10

Tavenina je nalévána do kelímku, který je umístěn nad vtokovým kůlem přes keramický filtr. Hlavní funkcí filtru u tohoto odlitku je zejména zachycení oxidických vměstků zinku. Na hrdle obou odlitků je vyvedeno odvzdušnění (Obr.43).



Po návržení slévárenské technologie součásti byly v modelárně vyrobeny nástroje pro výrobu forem a jader. Součástí je modelové zařízení (dále MZ) se zakomponovaným rámem a jaderník. Rozměry formovacího rámu jsou 300x260x50 mm. Jedno MZ slouží pro výrobu čtyřech forem. Forma je zhotovena z formovací směsi Alphaset. Hmotnost formy je 8 kg a hmotnost jádra je 0,283 kg.



**Obr. 45** Modelové zařízení

Shrnutí parametrů pro slévárenskou technologii gravitačního lití do jednorázových forem.

**Tab. 11** Základní parametry pro návrh výroby KN10 do pískové formy

<b>Nástroje pro výrobu formy</b>	Modelové zařízení + jaderník
<b>Rozměry formovacího rámu</b>	300x260x50 mm
<b>Počet forem v rámu</b>	1 ks
<b>Počet jader v jaderníku</b>	2 ks
<b>Počet jader ve formě</b>	2 ks
<b>Počet odlitků ve formě</b>	2 ks
<b>Hmotnost tekutého kovu ve formě</b>	1,6 kg
<b>Hmotnost odlitku ve formě</b>	1 kg
<b>Surová hmotnost odlitku</b>	0,8 kg
<b>Hrubá hmotnost odlitku</b>	0,5 kg
<b>Využití kovu</b>	65 %

## 1. Formování a výroba jader

Pro výrobu forem a jader jsou ve slévárně využívány tyto nástroje a zařízení:

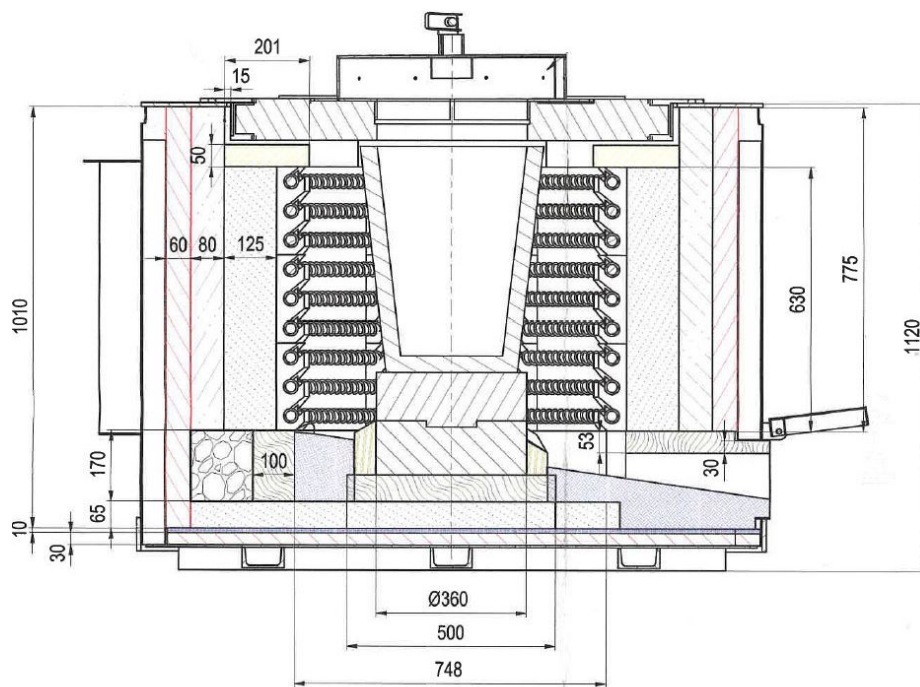
- MZ
- Dvojnásobný jaderník
- Průběžný mísič
- Vstřelovací jádrový stroj KS25 pro metodu ColdBox Amin

Ve formovně je do MZ sypána formovací směs pomocí průběžného mísiče. V průběhu sypání je směs řádně pěchována k modelové desce. Jakmile je dosažena dostatečná manipulační pevnost směsi, pracovník opatrně vyklepne formu z MZ. Pro výrobu jader je ve slévárně využívána technologie ColdBox Amin.

Vyrobené formy a jádra jsou uskladněna a nachystána k přípravě pro lití.

## 2. Tavení

Slitiny mědi ve slévárně Armatmetal s.r.o. jsou taveny ve většině případů v odporové kelímkové peci. Maximální možný objem vsázky v peci je 300 kg – po okraj kelímku. První tavba trvá přibližně 3-4 hodiny, tavby následující 2 – 3 hodiny. Doba tavby se odvíjí od výkonu pece a stavu kelímku.



**Obr. 46** Schéma pece RKL 300C/1325°C/35kW

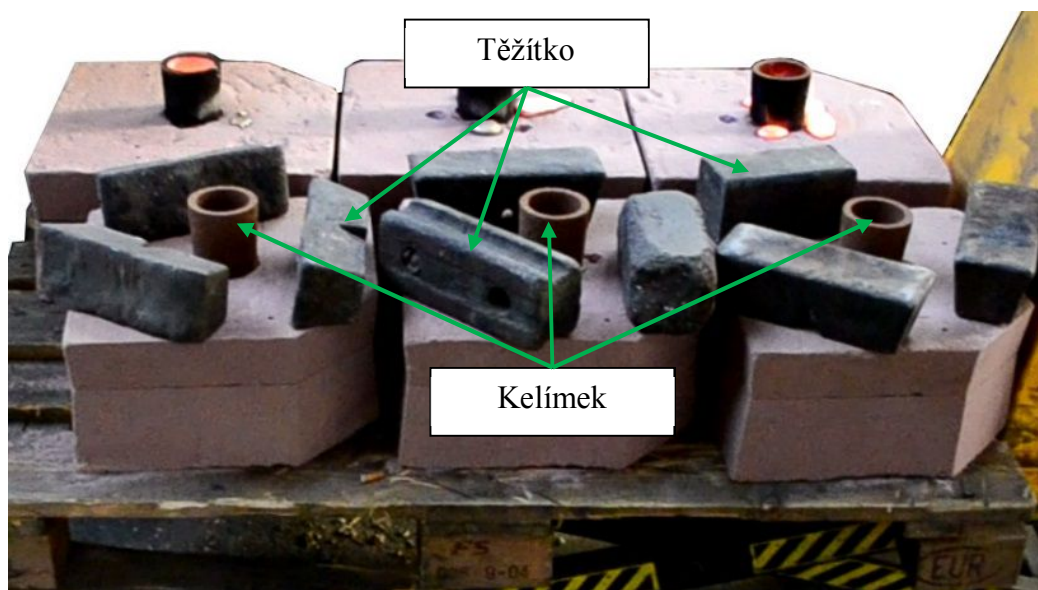
Ze zkušenosti slévárny je definovaná lící teplota pro odlitek KN10 na 980–990°C. Teplota je průběžně kontrolována pomocí ponorné sondy.

### 3. Příprava forem a jader

Před litím je potřeba formy prohlédnout, vyčistit, vyfoukat, založit jádro/jádra a poté formy složit. Před složením je po obvodu forem nanášeno slévárenské lepidlo.

V případě položky KN10 je vkládán na střed formy kelímek. Do kelímku je vkládán keramický filtr, který při lití zachycuje vměstky a omezuje tak jejich průnik do dutiny formy.

Nachystané formy jsou následně naskládány na licí pracoviště. Vzhledem k tomu že jsou bezrámové je nutné je řádně zatížit. Kompletně nachystané formy k lití jsou vidět na Obr. 47.



Obr. 47 Připravené formy k lití

### 4. Lití

Každé forma je odlévána ručně, pomocí slévárenské naběračky a definovaném objemu taveniny

### 5. Vytlučení

Po odlití je odlev vytlučen na vytlučacím roštu z formy a přesunut na oddělení dokončovacích operací.

Odlitky po odlití vykazují povrchové vlastnosti typické pro tuto technologii. Kromě oddělování odlitků od vtokové soustavy je úkolem dokončovacíh operací odstranit veškeré nedostatky na odlitku. Jednotlivé operace jsou zobrazeny na Obr. 48.



**Obr. 48** Dokončovací operace na odlitku KN10

## 6. Ořezávání odlitků od vtokové soustavy

Prvním krokem po vytlučení odlevu z formy a odstranění jader jsou odlitky oddělovány od vtokové soustavy (Obr. 49). Jako dělicí nástroj slouží pásová pila nebo frikční pila. Kromě vtokové soustavy jsou odřezávány i zatekliny.



**Obr. 49** Ořezávání vtokové soustavy

## 7. Tryskání I a Omílání

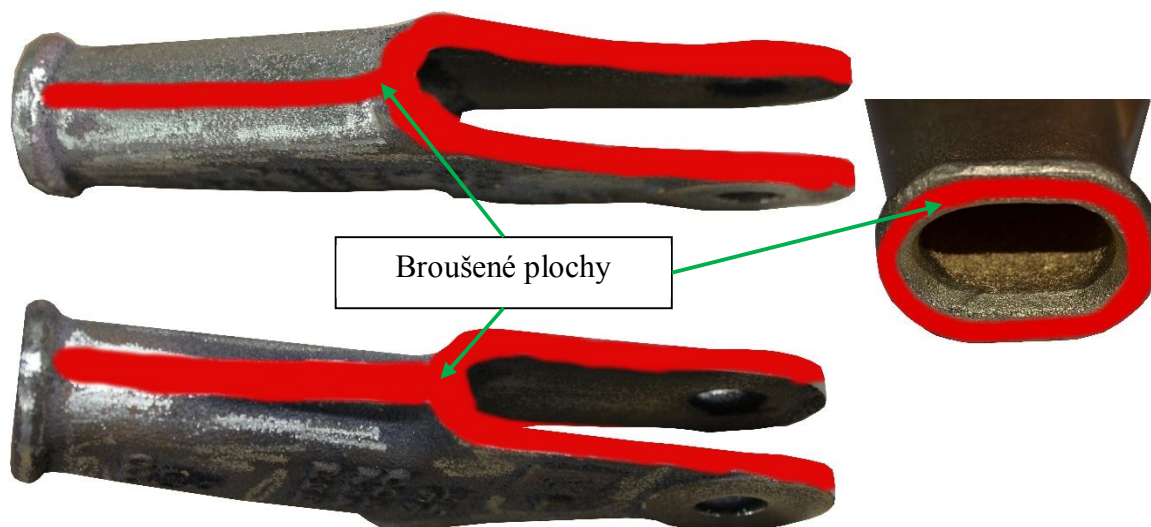
Po odřezání vtokové soustavy od odlitku jsou odlitky otryskány. Dalším krokem pro snížení pracnosti operace broušení je omílání odlitků v brusných kamenech.



Obr. 50 Připečené ostřívo v odlitku KN10

## 9. Broušení I

Další operací na odlitku KN10 je broušení. Broušena je stopa po dělicí rovině, která se vyskytuje okolo odlitku. Dále jsou broušeny stopy vzniklé po odřezání vtokové soustavy. Obecně lze říci, že je broušen odlitek po jeho obvodu a čele. Broušení je prováděno na pásové brusce. Broušené plochy jsou zobrazeny na Obr. 51.

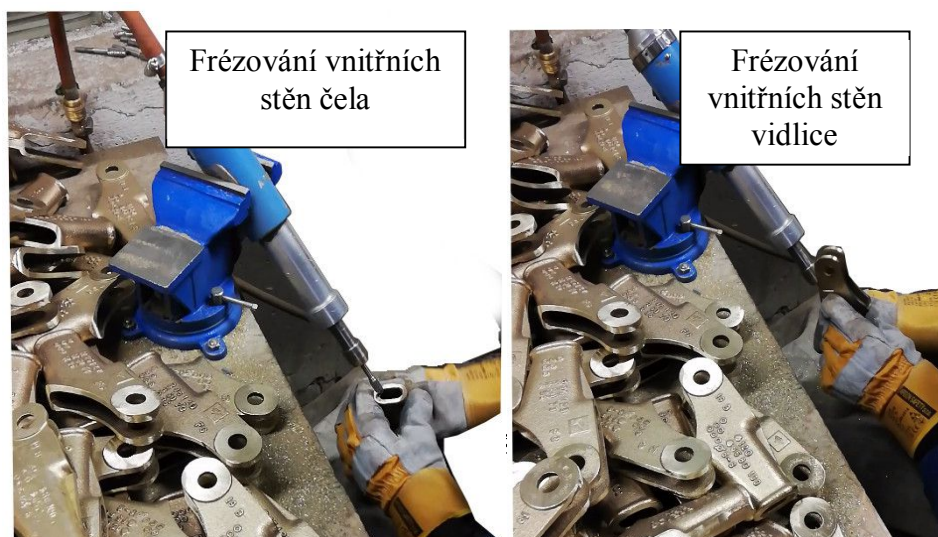


Obr. 51 Broušené plochy odlitku KN10



## 10. Broušení II

Po obroušení odlitku jsou odstraňovány vnitřní nežádoucí stopy vzniklé po dělicí rovině jádra. Tyto stopy se odstraňují pomocí vzduchové přímé frézky, kterou lze vidět na Obr. 52.



Obr. 52 Broušení II

Vzniklé vady typické pro gravitační lití do pískových forem jsou odstraňovány v oblasti dutiny čela a mezi vidlicí. Do dutiny v místě vidlice, kde dochází ke zužování odlitku je vkládán klínek. Je nutné, aby tyto vnitřní stěny byly dostatečně hladké.



Obr. 53 Oblasti frézování

Dále jsou pomocí stopkové frézy odstraňovány případné připečeniny na vnějším povrchu odlitku

## 11. Vrtání otvorů

Otvory sloužící pro umístění čepu musejí být kalibrovány vrtáním.



## 12. Tryskání II

Operace Tryskání II slouží k docílení požadovaného finálního povrchu odlitku.

## 13. Kalibrace vidlice

Během tryskání dochází k deformaci vidlice a je nutné ji pomocí přípravku narovnat. Po dokončení všech 13 operací je výrobek zabalen a připraven k expedici.

Výsledek dokončovacích operací lze vidět na Obr.54.

ODLITEK BĚHEM APRETACE



ODLITEK PO APRETACI



Obr. 54 Porovnání odlitku

### 3.2.3 Výroba součásti – Gravitačně do kovové formy

Kompletní výrobu odlitku KN10 metodou gravitačního lití do kovové formy ve slévárně Armatmetal s.r.o. lze rozdělit do 10 kroků. Před samotnou výrobou je ale nutné navrhnout vhodnou slévárenskou technologii – v Tab. 12 označeno jako krok 0. Kovová forma je upnuta na kokilovém stroji popsaném v příloze.

**Tab. 12** Jednotlivé úkony výroby odlitku KN10 – Jednorázová forma

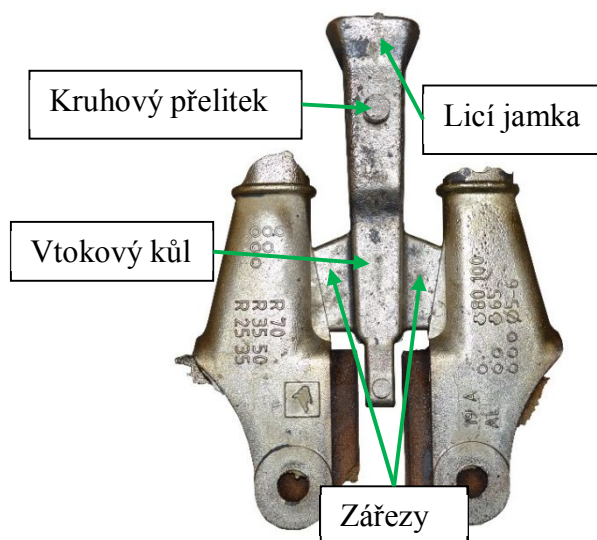
<b>0.</b>	Návrh technologie
<b>PŘED ODLITÍM</b>	
<b>1.</b>	Příprava kovové formy
<b>2.</b>	Tavení
<b>3.</b>	Výroba jader
<b>4.</b>	Lití
<b>PO ODLITÍ – DOKONČOVACÍ OPERACE</b>	
<b>5.</b>	Vytloukání jader
<b>6.</b>	Odřezání vtokové soustavy
<b>7.</b>	Broušení I
<b>8.</b>	Broušení II
<b>9.</b>	Vrtání – kalibrace děř
<b>10.</b>	Omílání

#### 0. Návrh technologie

Vzhledem ke konstrukci stroje a k možnostem upínání formy ke stroji byla technologie lití oproti lití do pískových forem změněna.

#### Popis vtokové soustavy (Obr. 55):

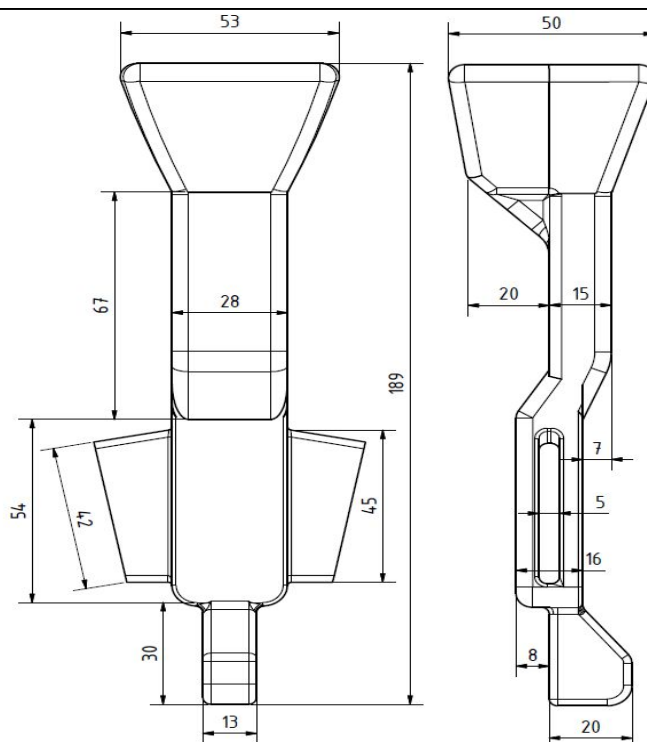
- Licí jamka
- Kruhový přelitek (vzniká zalitím kovu do prostoru vyražečů, viz dále) – funkcí je udržení odlitku na pravé polovině formy po rozevření formy.
- Zářezy



**Obr. 55** Surový odlitek – kovová forma

- Počet odlitků ve formě zůstává stejný, nicméně narozdíl od lití do pískových forem jsou odlitky v kovové formě postaveny do vertikální polohy.
- Mezi odlitky je zkonstruován vtokový kůl, který je napojen zářezy na žebra odlitků.
- Zářezy byly zvoleny užší než při lití do pískových forem a jsou napojeny po celé délce žebra odlitků. Schéma vtokové soustavy lze vidět na Obr.56.

#### SCHÉMA VTOKOVÉ SOUSTAVY – GRAVITAČNÍ LITÍ DO KOVOVÉ FORMY



**Obr. 56** Slévárenská technologie odlitku – kovová forma

Po návrhu a schválení slévárenské technologie s výrobcem forem byla zhotovena kovová forma. Forma byla navržena konstruktérem společnosti MOOD International s.r.o. Forma je vyrobena z oceli 11 523 a je zobrazena na Obr. 57.

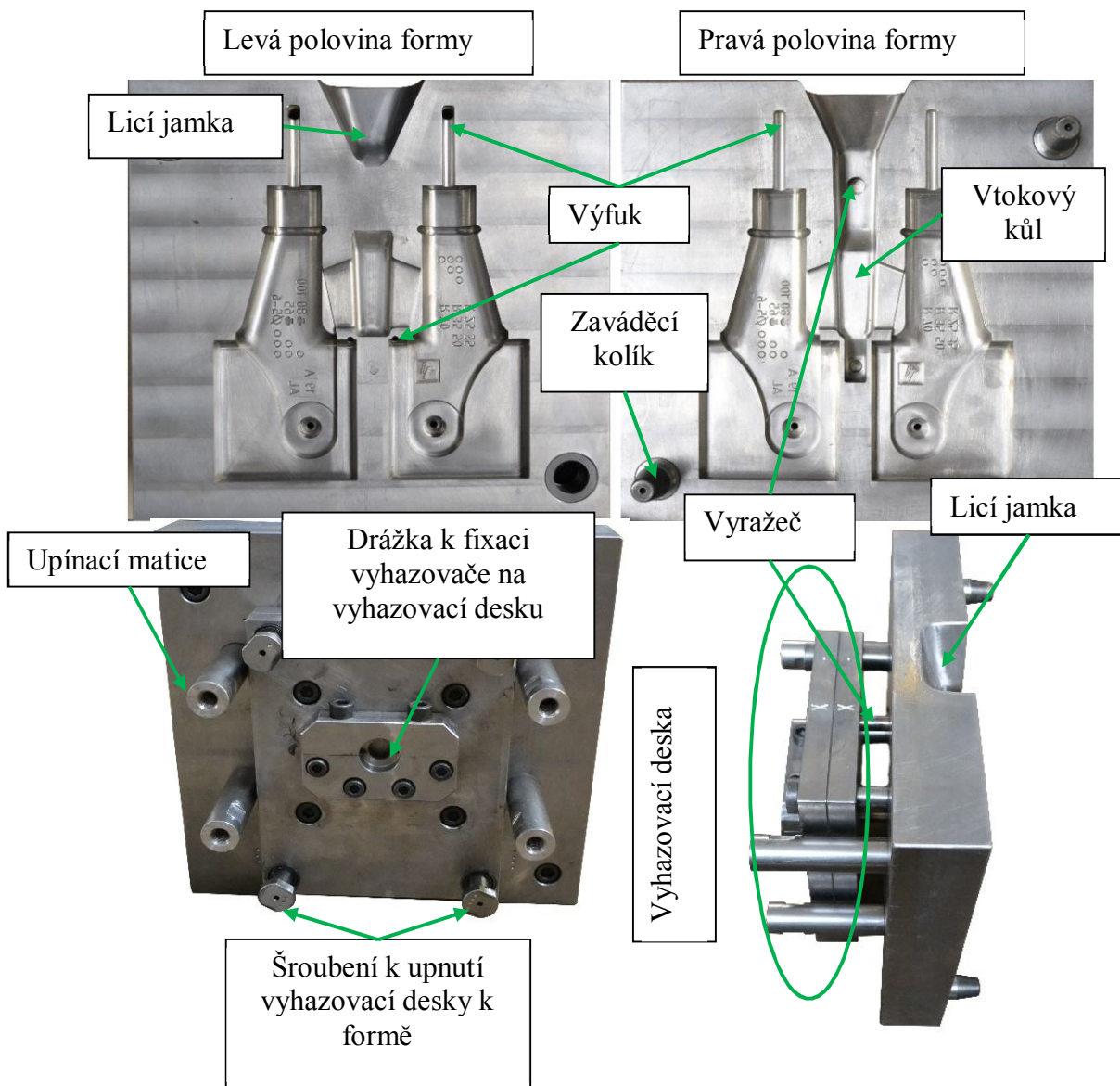
Součástí kovové formy je vyhazovač, který je umístěn na pravé polovině formy. Vyražeče jsou umístěny v místě vtokového kůlu a jejich délka je nastavena tak, aby po odlití vznikl kruhový přelitek, který po rozevření formy drží celý odlev na pravé polovině formy.

Forma je opatřena i dalšími technologickými aspekty. Na formě jsou vytvořeny průduchy, které zajišťují odvod plynů, zaváděcí kolíky a systém šroubení, který je určen k upnutí vyhazovače k formě a samotné formy k upínací desce na stroji

**Popis formy:**

**Levá polovina formy:** Odvzdušnění – otvory + drážky; 2x zaváděcí otvor; 4x upínací matice

**Pravá polovina formy:** Odvzdušňovací drážky; 2x zaváděcí kolík 2x otvor pro 2 varažeče; 4x upínací matice; Vyhazovací deska; Drážka k fixaci vyhazovače na vyhazovací desku; Šroubení k upnutí vyhazovací desky k formě; 4x upínací matice



**Obr. 57** Kovová forma pro odlitek KN10



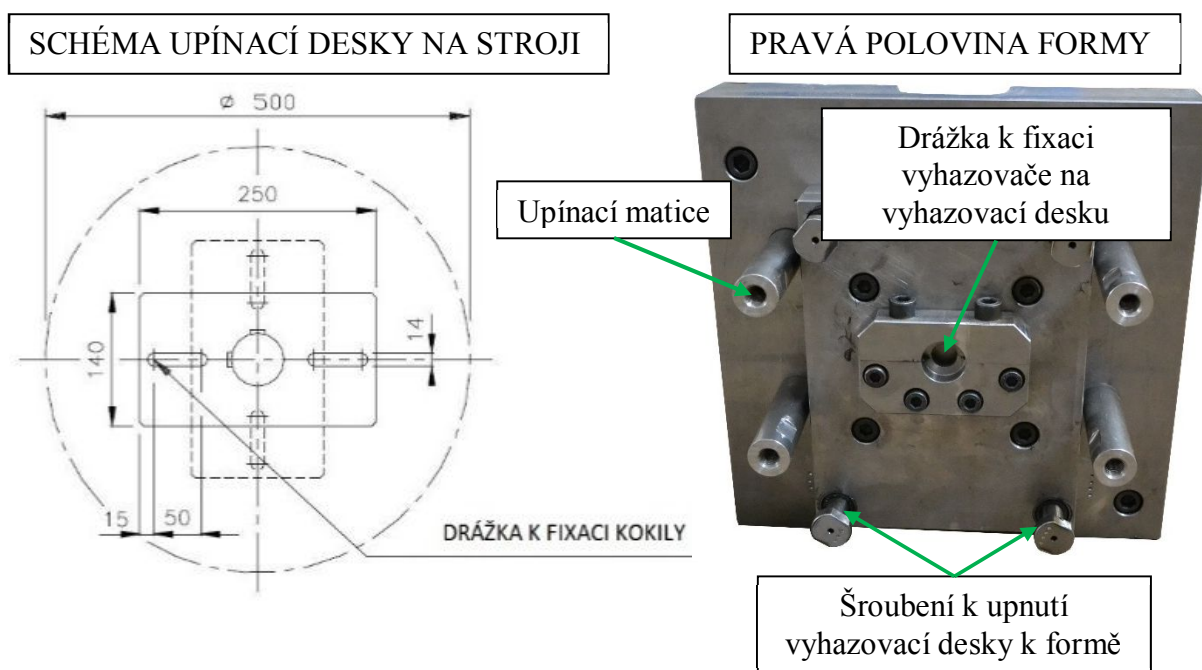
- Dalším požadavkem slévárny bylo zachování stávajícího jaderníku a konstruovat kokilu tak, aby práce v závěru výroby byla co nejjednodušší.

**Tab. 13** Základní parametry pro výrobu KN10 – gravitační lití do kovové formy

<b>Hmotnost jádra</b>	0,283 kg
<b>Počet jader v jaderníku</b>	2 ks
<b>Počet jader ve formě</b>	2 ks
<b>Počet odlitků ve formě</b>	2 ks
<b>Hmotnost tekutého kovu ve formě</b>	2,149 kg
<b>Hmotnost odlitku ve formě</b>	1,04 kg
<b>Surová hmotnost odlitku</b>	1,07 kg
<b>Hrubá hmotnost odlitku</b>	0,52 kg
<b>Využití kovu</b>	48 %

### 1. Příprava kovové formy

- Při lití do kovových forem oproti lití do pískových forem odpadá činnost formování, ale je nutné kovovou formu připevnit k upínací desce na kokilovém stroji.
- Upínání probíhá pomocí systému šroubení a podložek o různých tloušťkách, které je nutné správně volit vzhledem k šířce kovové formy a maximálnímu rozpětí a sevření stroje. Schéma upínací desky je uvedeno na Obr.58 - vlevo. Na uváděném stroji je upínací deska o 6 drážkách.



**Obr. 58** Systém upínání kovové formy k upínací desce stroje

Po upnutí formy je nutné formu předehřát. Forma je předehřívána pomocí plyn-kyslíkového hořáku. Forma musí být přivřena, aby bylo vyhřívání rovnoměrné. Teplota předehřáté formy je 330 °C.

Těsně před litím je forma ponořena do grafitové lázně, která je umístěna pod kokilovým strojem. Grafitová lázeň je předehřátá. Teplota lázně se v průběhu lití pohybuje okolo 50°C.

## 2.Tavení

Tavení slitin mědi probíhá stejným způsobem a na stejném tavícím agregátu, jak bylo uvedeno v kapitole 3.2.2

## 3.Výroba jader

Byl zachován původní jaderník a do kovové formy se tedy zakládají stejná jádra jako v případě pískových forem.

## 4.Lití

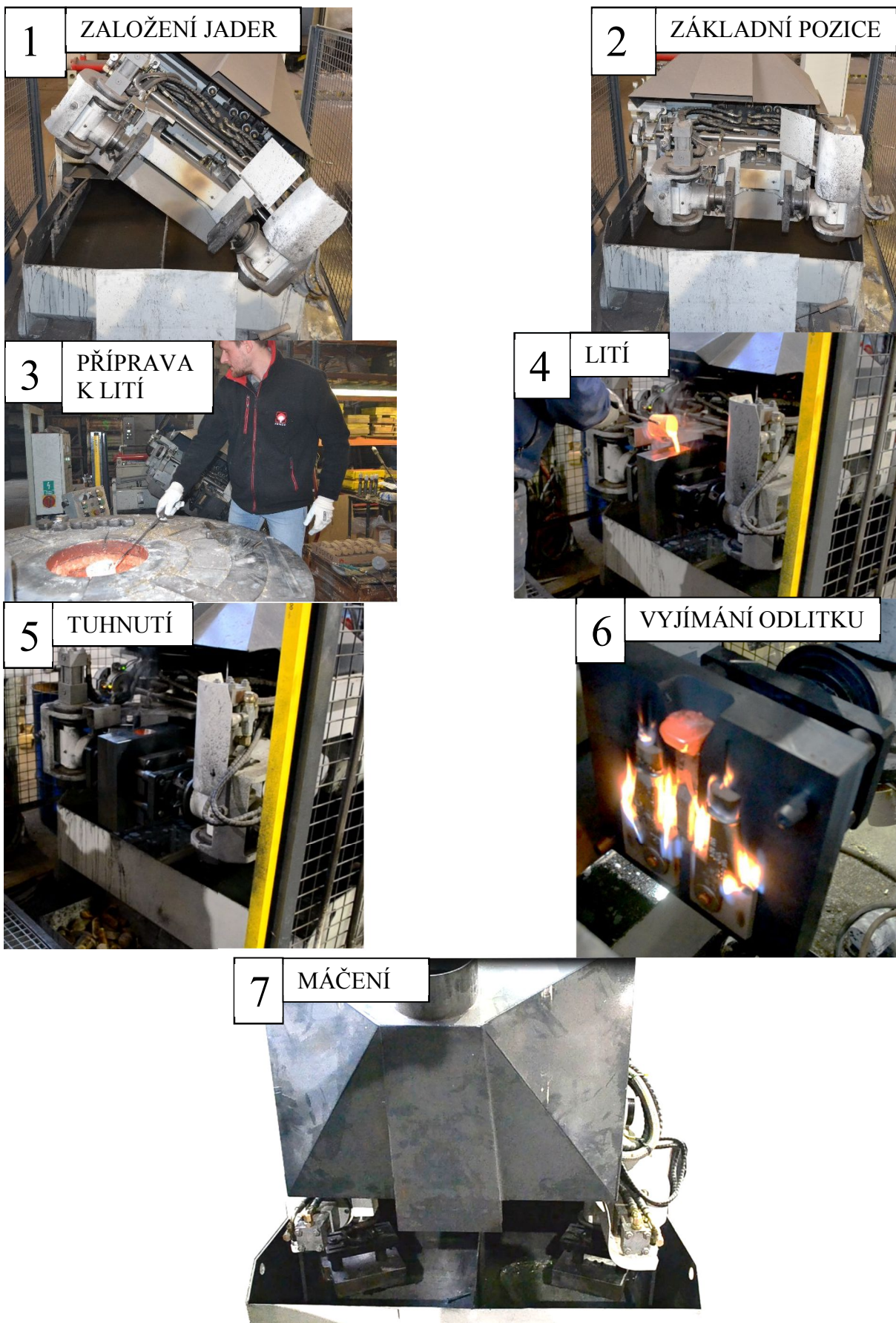
Lití probíhá v závislosti na nastavení kokilového sklopného stroje.

V případě odlitku KN 10 byla forma konstruována ke klasickému gravitačnímu lití – možnost stroje sklápění v průběhu lití je vypnuto. Důvodem je zachování podobných podmínek pro oba odlitky ve formě. Celkový čas cyklu lití je 57 vteřin. Jeden cyklus se skládá ze 7 dílčích operací uvedených v Tab. 14 a zobrazených na Obr. 59:

**Tab. 14** Cyklus lití odlitku KN10 na kokilovém stroji

Operace	Popis operace	Čas operace [min]
<b>1. Založení jader</b>	- Stroj je nakloněn a pracovník zakládá jádra	0,2
<b>2. Sevření formy a naklopení stroje do základní pozice</b>	- Po sešlápnutí pedálu je forma automaticky sevřena. - Po sevření formy je stroj automaticky vrácen do základní pozice	0,05
<b>3. Příprava k lití</b>	- Pracovník si chystá kov do slévárenské naběračky	0,12
<b>4. Lití</b>	- Tavenina je nalévána do dutiny formy	0,07
<b>5. Tuhnutí</b>	- Po odlití je forma sevřena po uživatelem nastavenou dobu	0,25
<b>6. Vyjímání odlitku z formy</b>	- Po uplynutí doby tuhnutí je forma automaticky rozevřena - Pracovník vyjímá odlitek pomocí vhodného nářadí - Je možné použít vyhazovač – pokud je součástí formy vyhazovací deska	0,17
<b>7. Máčení – ne po každém cyklu</b>	- Proces probíhá, pokud je máčení uživatelem povoleno - Po sešlápnutí pedálu je stroj sklopen směrem k lázni a forma je ponořena do lázně po uživatelem nastavenou dobu	0,09
<b>Celkem [min]</b>		<b>0,95</b>





Obr. 59 Grafické znázornění odlévání na kokilovém stroji

## 5. Vytloukání jader

Jádra jsou vytloukána ručně. Po vytlučení jádra je vnitřek odlitku vyfoukán a očištěn od zbylého ostřiva.

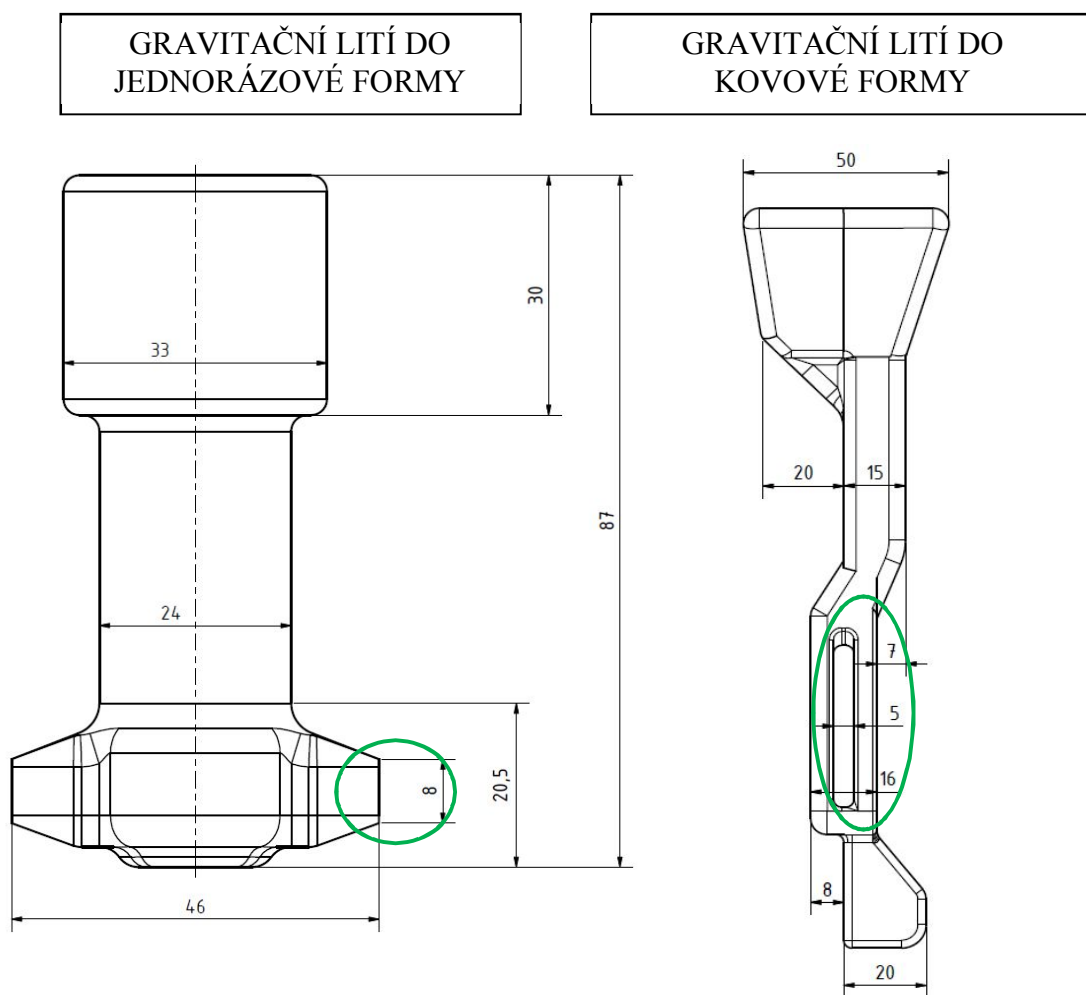
## 6. Ořezávání vtokové soustavy

Stejně jako v případě odlevů odlitých do jednorázových forem je vtoková soustava oddělována od odlitku pomocí řezného kotouče nebo pásové pily viz Obr. 49, kapitola 3.2.2.

Kromě oddělování vtokové soustavy jsou také ořezávány i zatekliny, které se po odlití objevují na odlitku.

Zářez u vtokové soustavy pro gravitační lití do kovové formy je o 3 mm užší a 28 mm delší, viz Obr. 60.

Vzhledem k tloušťce zářezu je ořezávání pro pracovníka jednodušší a po změření časové normy vyplynulo, že je ořezání rychlejší.



Obr. 60 Srovnání zářezů

## 7. Broušení I

Stejně jako odlitků odlévaných do jednorázových forem jsou odlitky broušeny po jejich obvodu a čela, viz Obr. 51.

Odlitky odlité do kovové formy nejsou zaneseny pískem:

- Broušení je méně pracné a strojní čas broušení je kratší

## 8. Broušení II

Stejně jako u slévárenské technologie gravitačního lití do pískových forem jsou odstraňovány vnitřní nežádoucí stopy vzniklé po dělicí rovině jádra. Tyto stopy se odstraňují pomocí vzduchové přímé frézky, kterou lze vidět na Obr. 53 v kapitole 3.2.2.

Pro odlití dutiny odlitku je používáno původní jádro – vznik připečenin a přítomnost zadrobeného ostřiva uvnitř odlitku

Připečeniny a zatekliny jsou odstraňovány uvnitř odlitku v oblasti čela a mezí vidlicí,

Do dutiny v místě vidlice, kde dochází ke zužování odlitku je vkládán klínek. Je nutné, aby tyto vnitřní stěny byly dostatečně hladké na jeho vsunutí.

Odpadá odstraňování připečeného ostřiva na vnějším povrchu odlitku – což je nejpracnější a časově nejnáročnější operace frézování.

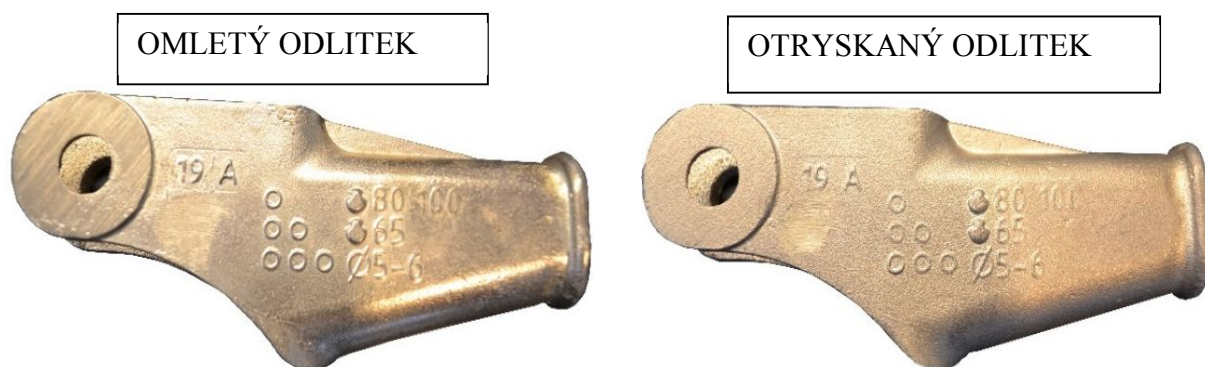
## 9. Vrtání otvorů

Stejně jako u gravitačního lití do pískových forem musí být na závěr kalibrovány otvory sloužící pro umístění čepu. Kalibrace probíhá pomocí stolní vrtačky a přípravku.

## 10. Omílání

Závěrečná operace pro docílení požadovaného povrchu a zaoblení vzniklých ostrých hran po broušení, vrtání, frézování apod.

Je možné odlitek místo omílání otryskat, nicméně při tryskání dochází k větší deformaci vidlice odlitku



**Obr. 61** Porovnání omlévaného a otryskaného povrchu

Povrch omlévaného odlitku je oproti tryskanému hladší. Na povrchu nelze vidět stopy po tryskacím abrazivu.

Ostré hrany odlitku jsou po omílání zaoblenější než po otryskání.

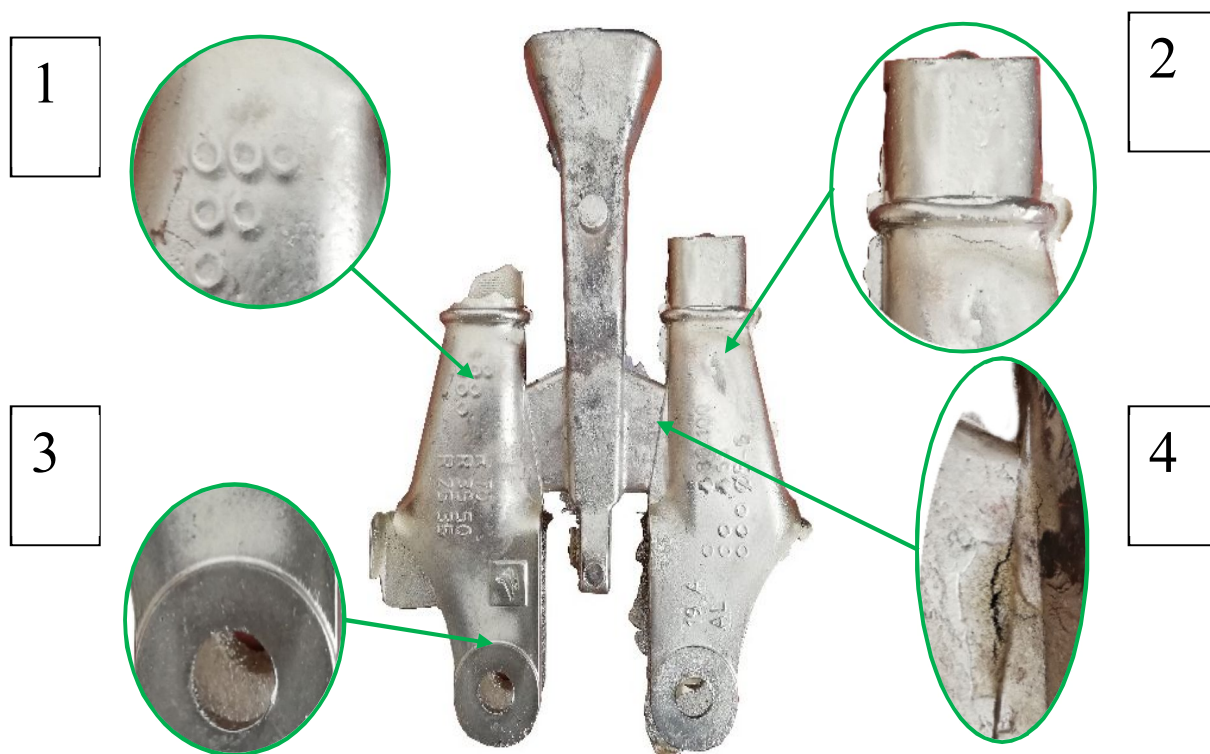


### Výskyt vad – Gravitační lití do kovové formy

Změnou technologie došlo k výskytu vad na odlitcích KN10. Postup řešení vad je uveden dále. Vady byly nakonec eliminovány úpravou kovové formy.

- Po prvních odlitých zkouškách se vyskytovaly následující vady (Obr.62):

**1. Nevýrazné značení odlitku; 2. Staženiny + trhliny v oblasti čela odlitku; 3. Mírné staženiny v oblasti otvorů pro čep; 4. Staženiny + trhliny v oblasti žebra odlitku**

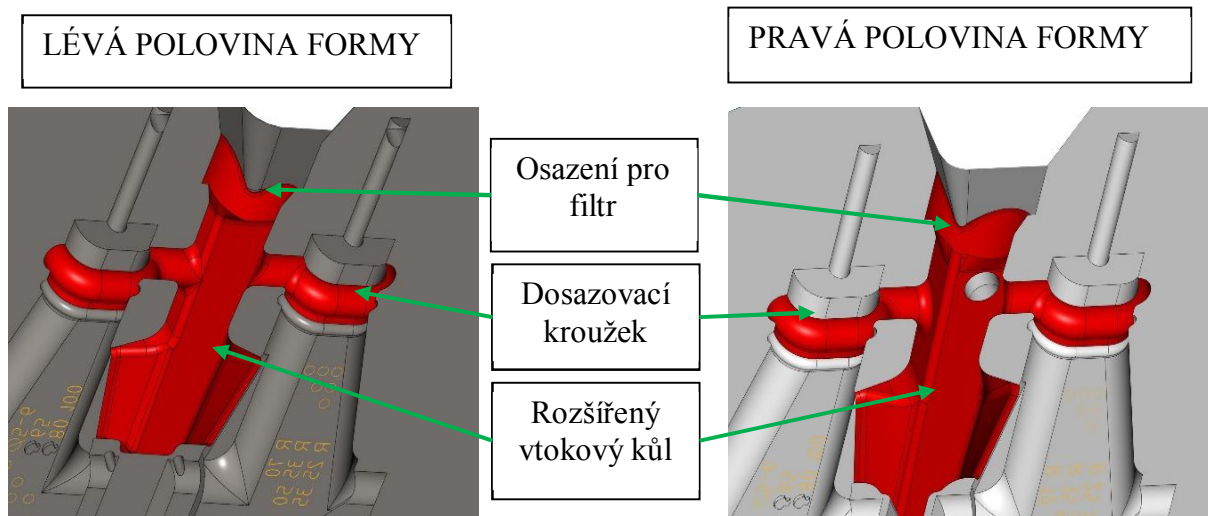


**Obr. 62** Výskyt vad na odlitku KN10 po odlití do kovové formy

- Obr. 62- Pozice 1 – Nevýrazné značení. Značení se objevuje v blízkosti stažnin ve vzniklých tepelných uzlech (pozice 2 a pozice 4). Značení je pravděpodobně stahováno právě do míst tepelných uzlů.
- Obr. 62- Pozice 2 - Výskyt staženin v oblasti čela odlitku – V tomto tepelném uzlu byla v důsledku změny objemu vytvořena i viditelná trhlinka.
- Obr. 62- Pozice 3 - Staženina v oblasti vidlice (bod 3). V tomto místě je větší tloušťka stěny než v celém těle odlitku a vzniká zde tepelný uzel.
- Obr. 62- Pozice 4 - Staženina v místě žebra. Napojením žebra na odlitek vzniká tepelný uzel a vzhledem k tomu, že tímto místem při lití protéká stále nový kov je zde naakumulováno největší množství tepla v porovnání s dalšími místy na odlitku. Výrazně je v tomto místě prohřáto jádro i kovová forma. I zde je kvůli změnám objemu při tuhnutí viditelná trhlinka.

Vyskytující se vady byly eliminovány úpravou formy.

## Úprava kovové formy



Obr. 63 Úprava kovové formy [29]

- Nad hrdlem (čelem) odlitku byly vyfrézované dosazovací kroužky, které slouží jako náliček pro místa staženin vytvořených v napojení hrdla na tělo odlitku.
- Na formě byla rozšířena vtoková soustava za účelem zvětšení objemu kovu soustavy a prodloužení dosazovací doby kovu do kritických míst na odlitku.
- Do formy bylo také vyfrézované osazení pro vložení filtru – eliminace výskytu oxidických vměstků.
- Po dokončení úprav kokily byla ve slévárně uskutečněna její zkouška, která potvrdila pozitivní vliv změn.



Obr. 64 Výsledek úpravy kovové formy

## Technickoekonomické zhodnocení technologie výroby

V této kapitole jsou porovnány dvě slévárenské technologie:

- Slévárenská technologie gravitační lití do pískových forem (dále G1) – Stávající technologie
- Slévárenská technologie gravitační lití do kovové formy (dále G2)

Metody G1 a G2 jsou porovnávány z hlediska nákladů a pracnosti na jednotlivé operace. Investiční náklady na obě technologie jsou přibližně stejné a z tohoto důvodu v porovnání nejsou zahrnuty náklady na pořízení příslušné technologie.

### Kalkulace přímých výrobních nákladu – Gravitační lití do pískových forem

Celkové přímé výrobní náklady se skládají ze následujících dílčích nákladů:

- Náklady na materiál
- Náklady na formovací materiál
- Náklad na MZ
- Náklady na energie
- Náklady na mzdy (vzhledem k porovnávání pracnosti jednotlivých profesí mezi zmiňovanými technologiemi jsou mzdové náklady na jednotlivé profese rozepsány v Tab. 16)
- Ostatní náklady

**Tab. 15** Celkové přímé náklady na výrobu odlitku KN10 – Gravitační lití do jednorázových forem

<b>PŘÍMÉ NÁKLADY</b>	
<b>NÁKLADY NA MATERIÁL</b>	
Materiál + propal (při 65% využití kovu)	81 CZK/odlitek
<b>NÁKLADY NA FORMOVACÍ MATERIÁL A MZ</b>	
Formovací směs	10 CZK/odlitek
Kelímek + Filtr	2,2 CZK/odlitek
Jádro	5 CZK/odlitek
<b>NÁKLADY NA NÁSTROJE</b>	
MZ	5,4 CZK/odlitek
<b>NÁKLADY NA ENERGIE</b>	
energie celkem	6 CZK/odlitek
<b>NÁKLADY NA MZDY – viz Tab. 27</b>	
Celkové náklady na mzdy	29,1 CZK/odlitek
<b>OSTATNÍ NÁKLADY</b>	
Zmetkovitost	5 CZK/odlitek
Prostředky pro apretaci (brusy, frézy, tryskací materiál)	5 CZK/odlitek
<b>PŘÍMÉ NÁKLADY CELKEM</b>	<b>148,7 CZK/odlitek</b>



**Tab. 16** Mzdové náklady na jednotlivé profese při výrobě odlitku KN10 – Gravitační lití do jednorázových forem

<b>*MZDOVÉ NÁKLADY JEDNOTLIVÝCH PROFESÍ</b>		
<b>Pořadí</b>	<b>Název operace</b>	<b>Mzdové náklady na odlitek dle profese [CZK/odlitek]</b>
1.	Formování	9
2.	Tavení	3,80
3.	Příprava forem a jader	
4.	Odlévání	
5.	Vytloukání	0,63
6.	Ořezání vtokové soustavy	1,73
7.	Tryskání I	0,23
8.	Omílání	0,49
9.	Broušení I+Broušení II	7,50
10.	Vrtání – kalibrace otvorů	3,90
11.	Tryskání II	0,23
12.	Kalibrace vidlice	1,60
<b>CELKOVÉ MZDOVÉ NÁKLADY</b>		<b>29,1</b>

\* Mzdové náklady jsou uvedeny vč. příslušenství

### Kalkulace přímých výrobních nákladu – Gravitační lití do kovové formy

Celkové přímé výrobní náklady se skládají z následujících dílčích nákladů:

- Náklady na materiál
- Náklady na výrobu formy
- Náklady na energie
- Náklady na mzdy (vzhledem k porovnávání pracnosti jednotlivých profesí mezi zmiňovanými technologiemi jsou mzdové náklady na jednotlivé profese rozepsány v Tab. 18)
- Ostatní náklady

**Tab. 17** Přímé náklady na výrobu odlitku KN10 – Gravitační lití do kovové formy

<b>PŘÍMÉ NÁKLADY</b>	
<b>NÁKLADY NA MATERIÁL</b>	
Materiál + propal (při 43% využití kovu)	83,75 CZK/odlitek
<b>NÁKLADY NA VÝROBU FORMY</b>	
Filtr	1,5 CZK/odlitek
Jádro	5 CZK/odlitek
<b>NÁKLADY NA NÁSTROJE</b>	
Kovová forma	10 CZK/odlitek
<b>NÁKLADY NA ENERGIE</b>	
Energie celkem	6,5 CZK/odlitek
<b>NÁKLADY NA MZDY – viz Tab. 28</b>	
Celkové náklady na mzdy	14,69 CZK/odlitek
<b>OSTATNÍ NÁKLADY</b>	
Zmetkovitost	5 CZK/odlitek
Prostředky pro apretaci (brusy, frézy, tryskací materiál)	2,5 CZK/odlitek
<b>PŘÍMÉ NÁKLADY CELKEM</b>	<b>128,94 CZK/odlitek</b>

**Tab. 18** Mzdové náklady na jednotlivé profese při výrobě odlitku KN10 – Gravitační lití do

<b>*MZDOVÉ NÁKLADY JEDNOTLIVÝCH PROFESÍ</b>		
<b>Pořadí</b>	<b>Název operace</b>	<b>Mzdové náklady na odlitek dle profese [CZK/odlitek]</b>
1.	Tavení	4,3
2.	Příprava kovové formy a jader	
3.	Odlévání	
4.	Vytloukání	0,4
5.	Ořezání vtokové soustavy	1,20
6.	Broušení I+Broušení II	3,60
7.	Vrtání – kalibrace otvorů	3,90
8.	Omílání	0,49
9.	Kalibrace vidlice	0,80
<b>CELKEM</b>		<b>14,69</b>

\* Mzdové náklady jsou uvedeny vč. příslušenství

Uvedené mzdové náklady jsou předpokládané náklady stanovené na základě provedených výrobních zkoušek odlitku KN10 ve slévárně Armatmetal s.r.o.

**Časové normy výrobních operací – Gravitační lití do pískových forem (stávající technologie)**

**Tab. 19** Časové normy dokončovacích operací – Gravitační lití do jednorázových forem

Pořadí	Název operace	[min/odlitek]
1.	Formování	1,6
2.	Tavení	1,2
3.	Příprava forem a jader	
4.	Odlévání	
5.	Vytloukání	0,30
6.	Ořezání vtokové soustavy	0,43
7.	Tryskání I	0,10
8.	Omílání	0,15
9.	Broušení I + Broušení II	1,50
10.	Vrtání – kalibrace otvorů	1,20
11.	Tryskání II	0,10
12.	Kalibrace vidlice	0,50
<b>CELKEM</b>		<b>7,08</b>

Pro výrobu odlitku KN10 metodou G1 jsou v Tab. 19 uvedeny časové normy jednotlivých profesí. Součet časů výrobních operací pro výrobu odlitku u této technologie je 7,08 min na odlitek.

**Časové normy výrobních operací – Gravitační lití do kovové formy**

**Tab. 20** Časové normy dokončovacích operací – Gravitační lití do kovové formy

Pořadí	Název operace	[min/odlitek]
1.	Tavení	1,35
2.	Příprava kovové formy a jader	
3.	Odlévání	
4.	Vytloukání jader	0,30
5.	Ořezání vtokové soustavy	0,30
6.	Broušení I+Broušení II	0,72
7.	Vrtání – kalibrace otvorů	1,20
8.	Omílání	0,15
9.	Kalibrace vidlice	0,25
<b>CELKEM</b>		<b>4,25</b>

Pro výrobu odlitku KN10 metodou G2 jsou v Tab. 20 uvedeny časové normy jednotlivých profesí. Součet časů výrobních operací pro výrobu odlitku u této technologie je 4,25 min

## Porovnání mzdových nákladů

Tab. 21 Srovnávací tabulka mzdových nákladů

		Gravitační lití do pískové formy – G1	Gravitační lití do kovové formy - G2
Pořadí	Název operace	Mzdové náklady za odlitek dle profese [CZK/odlitek]	Mzdové náklady za odlitek dle profese [CZK/odlitek]
1.	Formování	<b>9</b>	0
2.	Tavení		
3.	Příprava forem (kovová/písková) a jader	3,80	<b>4,3</b>
4.	Odlévání		
5.	Vytloukání	0,63	0,4
6.	Ořezání vtokové soustavy	1,73	1,20
7.	Tryskání I	<b>0,23</b>	0
8.	Omilání	0,49	0,49
9.	Broušení I+Broušení II	<b>7,50</b>	3,6
10.	Vrtání – kalibrace otvorů	3,90	3,9
11.	Tryskání II	<b>0,23</b>	0
12.	Kalibrace vidlice	<b>1,60</b>	0,8
<b>CELKEM</b>		<b>29,1</b>	<b>14,69</b>

- Při výrobě odlitku technologií **G1** mzdové náklady činí **29,1 CZK/odlitek**.
- Mzdové náklady u slévarenské technologie **G2** formy činí **14,69 CZK/odlitek**.
- Rozdíl celkových mzdových nákladů je přibližně 14,41 CZK/odlitek

Větší mzdové náklady u slévarenské technologie gravitačního lití do pískových forem jsou zapříčiněny:

- potřebou operace **formování** (bod 1. v Tab 21.)
- větší náročností dokončovacích operací viz operace 6,7,9,11,12 uvedených v Tab.21.



## Celkové přímé náklady

**Tab. 22** Srovnávací tabulka celkových přímých nákladů

Celkové přímé náklady	Gravitační lití do pískové formy – G1	Gravitační lití do kovové formy – G2
Materiál + propal	81 CZK/ks	<b>83,75</b> CZK/ks
Formovací směs	10 CZK/ks	0 CZK/ks
Kelímek + Filtr	2,2 CZK/ks	1,5 CZK/ks
Jádro	5 CZK	5 CZK/ks
MZ/kovová forma	5,4 CZK/ks	<b>10</b> CZK/ks
Energie celkem	6 CZK/ks	6,5 CZK/ks
Celkové náklady na mzdy	<b>29,1</b> CZK/ks	14,69 CZK/ks
Zmetkovitost	5 CZK/ks	5 CZK/ks
Apretační nástroje	<b>5</b> CZK/ks	2,5 CZK/ks
<b>PŘÍMÉ NÁKLADY CELKEM</b>	<b>148,7 CZK/odlitek</b>	<b>128,94 CZK/odlitek</b>

- Při výrobě odlitku technologií **G1** přímé náklady činí **148,7 CZK/odlitek**.
- Mzdové náklady u slévárenské technologie **G2** formy činí **128,94 CZK/odlitek**. Vyšší celkové přímé náklady u slévárenské technologie **G1** jsou zapříčiněny vyšším nákladem za formovací materiál a vyšším nákladem na mzdy (řešené výše).
- Rozdíl přímých nákladů mezi **G1** a **G2** činí **19,76 CZK/odlitek** ve prospěch slévárenské technologie **G2**.
- Typickým rysem slévárenské technologie **G2** jsou dražší náklady spojené s výrobním nářadím a nižším využitím kovu (43 % oproti 62 % pro odlitek KN10).
- Přibližná roční výroba odlitku KN 10 je ve slévárně **10 000 odlitků/rok**.
- Při roční výrobě celkový přímý náklad za odlitky u slévárenské technologie **G1** činí **1 487 000 CZK**.
- Při zvolení technologie **G2** by celkový přímý náklad za 10 000 ks činil **1 289 400 CZK**.

Úspora celkových přímých nákladů by při roční výrobě činila **197 600 CZK**. Přínos změny technologie je uveden v závěru diplomové práce.

## 4 ZÁVĚRY

Předmětem diplomové práce jsou dva druhy odlitků trakčního vedení – Kloub 55 s vidlicí a Klínová koncovka KN10. Cíl práce byl u každého z odlitků odlišný

Kloub s vidlicí 55 - cílem práce u odlitku „Kloub 55 s vidlicí“ byla nápravná opatření vzniklých vad po odlití.

- Byla popsána původní technologie lití (T1)
- Byl definován výskyt vad vzniklých po odlití
- Byly popsány další návrhy technologie lití, které byly odsimulovány pro ověření vlivu změn na eliminování vznikajících vad. Odsimulována byla i původní technologie T1.

Na základě zjištěných výsledků a nabytých poznatků bylo rozhodnuto provést úpravu formy stávající technologie řešení viz dále.

Klínová koncovka KN10 – cílem u tohoto odlitku bylo zhodnotit přínos změny stávající technologie gravitačního lití do písku na technologii gravitačního lití do kovové formy.

- Byly porovnávány dvě slévarenské technologie z hlediska nákladů a pracnosti na jednotlivé operace.
- Byly popsány vzniklé vady na odlitku a bylo provedeno jejich nápravné opatření (změna kovové formy)

Závěrečné důsledky změny slévarenské technologie jsou uvedeny dále.

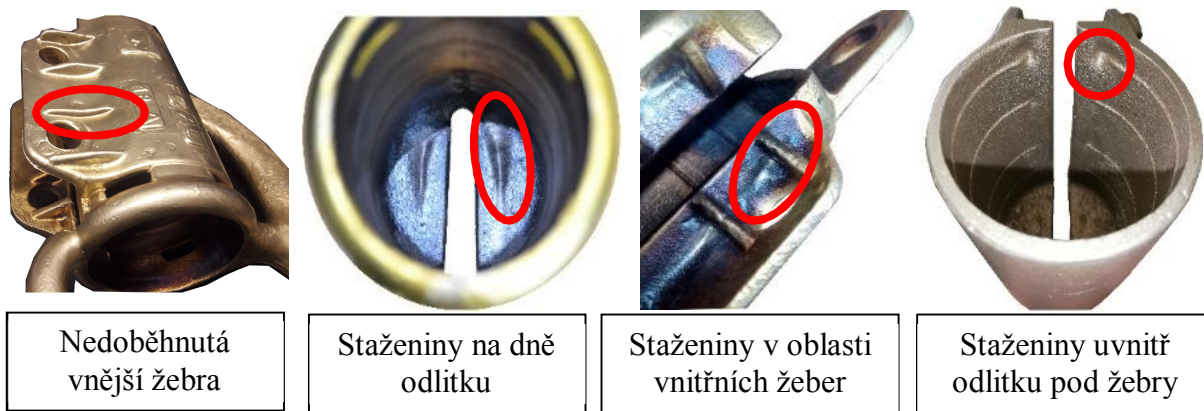
Na Obr. 65 je ukázka řešených odlitků po eliminaci vad úpravou kovových forem. Odlitek KN10 je na obrázku ihned po odlití. Tento odlitek na obrázku neprošel žádnou z dokončovacích operací



**Obr. 65** Ukázka odlitků

### Kloub 55 s vidlicí

Odlitek „Kloub 55 s vidlicí“ byl vybrán odběratelem za účelem odzkoušení metody. Odlitek je velmi komplikovaná a při jeho výrobě docházelo k výskytu vad (Obr 66.).



**Obr. 66** Vyskytující se vady na odlitku Kloub 55 s vidlicí

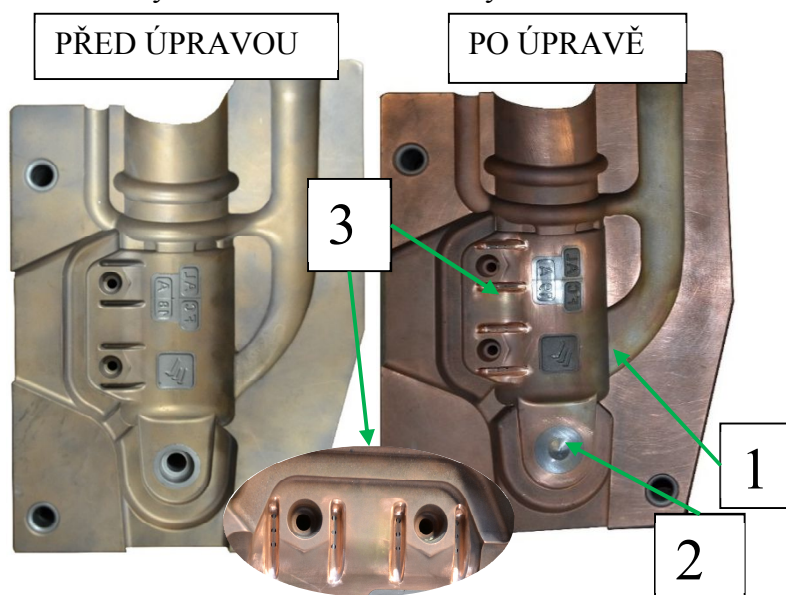
Z důvodu výskytu těchto vad bylo navrženo několik dalších konstrukčních variant odlitku. Pro návrhy byla využita numerická simulace. Ze simulací bylo vypořádáno, že uvedené změny by pravděpodobně nezabránilo vzniku vad. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto upravit počáteční technologii odlévání.

#### Eliminace vzniklých vad

Cílem bylo upravit kokilu tak, aby byla prodloužena doba dosazování do kritických míst odlitku a/nebo aby z těchto míst byl zajištěn větší odvod tepla.

#### Provedené změny na formě:

- Byl rozšířen vtokový kůl v místě napojení na odlitek – Obr. 67, Pozice 1.
- Pro eliminaci vad v oblasti žebér byla provedena další změna na jaderníku za účelem zvětšení objemu dosazovacího kroužku. Původní kroužek měl půlkruhový průřez. Průřez kroužku byl modifikován na kruhový



**Obr. 67** Provedené změny na formě

- Spodní část ColdBoxového jádra byla nahrazena kovovým jádrem – chladítkem
- Nedobíhání vnějších žebér bylo řešeno jejich rozšířením a vytvořením otvorů o průměru 1 mm do kovové formy – Obr. 66, Pozice 3..
- Před úpravou jaderníku a formy byla provedena zkouška funkce chladítka, která je uvedena na Obr. 68.

PŘED VLOŽENÍM CHLADÍTKA



PO VLOŽENÍ CHLADÍTKA



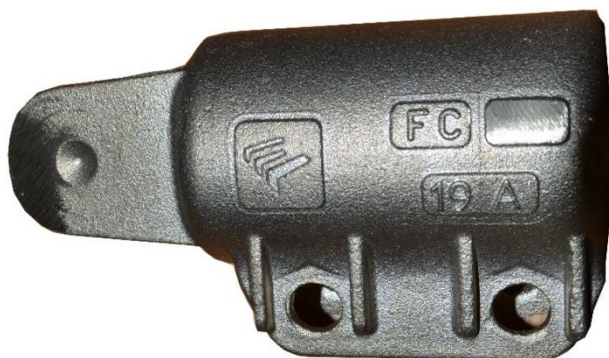
**Obr. 68** Funkce chladítka

Po uvedených úpravách bylo zajištěno dosazování dostatečného množství kovu do oblasti napojení vnitřních žebér na odlitku. Byly eliminovány staženiny na dně odlitku. Byl zajištěn odvod plynů z formy v části vnějších žebér a bylo tak docíleno jejich dokonalé zabíhání. Porovnání změn technologie T1 je ukázáno na Obr. 69

PŘED ÚPRAVOU



PO ÚPRAVĚ



**Obr. 69** Výsledek provedených změn technologie T1

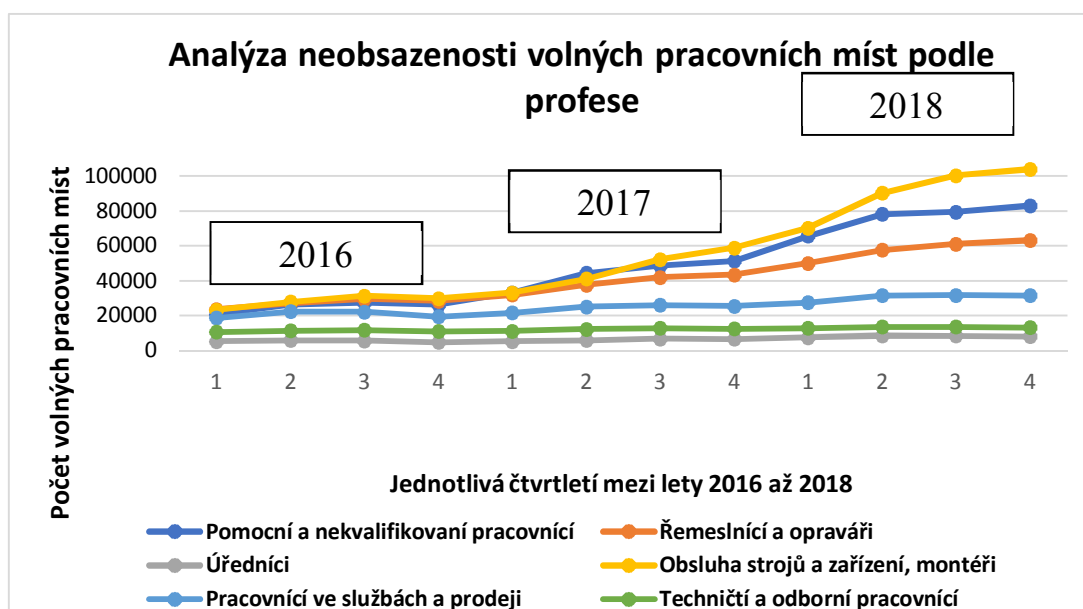


## Klínová koncovka KN10

Odlitek KN10 byl vybrán jako referenční výrobek pro posouzení změny technologie stávajícího sortimentu odlitku ze slitin mědi ve slévárně Armatmetal s.r.o. Na základě zjištěných technickoekonomických parametrů (viz kapitola v závěru kapitoly 3.2.3) lze konstatovat, že převod některých stávajících odlitků z technologie gravitačního lití do pískových forem na technologii gravitačního lití do kovové formy je ekonomicky a výrobně opodstatněný:

Snížení pracovních na nedostatkových profesích:

- Kategorie CZ-ISCO 7: Řemeslníci a opraváři – Formíři, brusíči apod.



Obr. 70 Analýza neobsazených pracovních pozic podle profese od roku 2016 [2]

Dojde k úspoře přímých výrobních nákladů:

- Podle analýzy uvedené v závěru kapitoly 3.2.3 lze ze současného sortimentu odlitků vyráběných ve slévárně převést odlitky o celkové hmotnosti **30000 kg**.
- Podle analýzy uvedené v závěru kapitoly 3.2.3 lze předpokládat průměrné snížení nákladů o cca **39,52 CZK/kg**.
- Celková úspora při realizaci změny slévárenské technologie ve firmě Armatmetal s.r.o. by znamenala cca **1 185 600 CZK**

Marketingový přínos změny technologie:

- **Zákazník** může zaujmout novým vzhledem výrobku a argumentovat vyšší pevností odlitku.
- Pro **výrobce** změna znamená nižší náklady na výrobu, rozšíření prostoru pro cenová jednání, což může umožnit zvýšení výroby odlitků ze slitin mědi.



### Zhodnocení vad

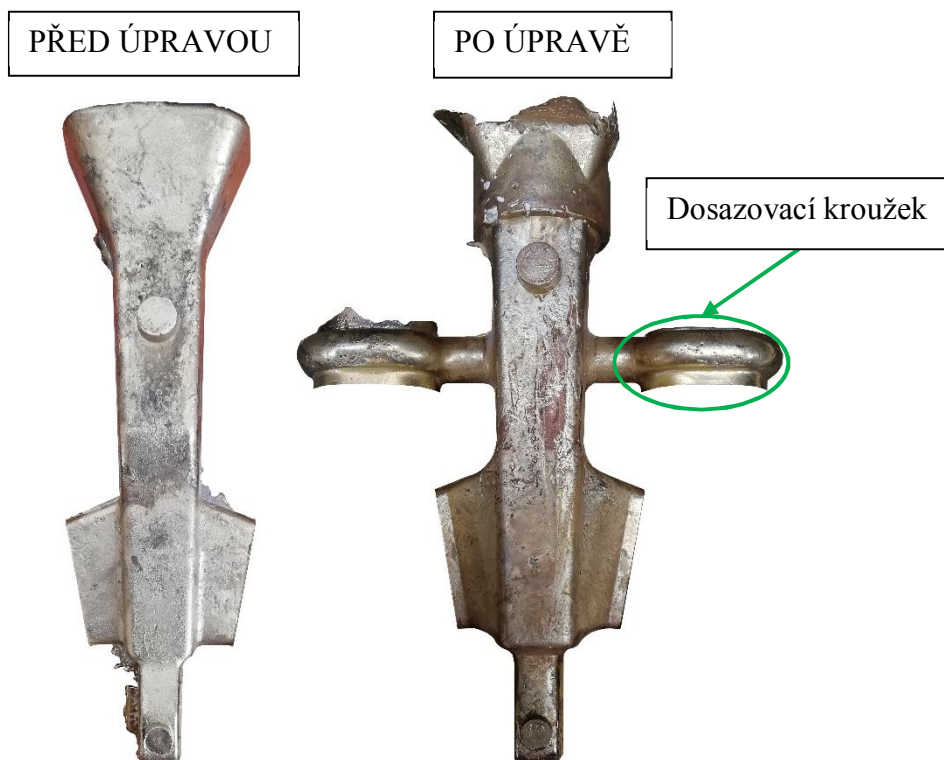
V Tab. 23 jsou uvedeny vady, které se vyskytly na odlitku KN10 u obou slévárenských technologií. V tabulce je uvedena příčina vady, následné řešení vady nebo její oprava.

**Tab. 23** Tabulka vyskytujících se vad na odlitcích KN10

Název vady	Slévárenská technologie	Možné příčiny	Řešení/oprava
 Připečeniny; zadrobeniny	Gravitační lití do pískové formy	Špatně upěchovaná formovací směs; Velké množství regenerátu ve směsi; Poškození formy při jejím skládání	Frézování; Broušení; Změna technologie;
 Zatekliny	Gravitační lití do pískové formy; Gravitační lití do kovové formy	Přesazení formy; Nepřesné jádro	Oprava jaderníku; Oprava MZ; Ořezávání; Omílání; Broušení
 Staženina + Trhlina	Gravitační lití do kovové formy	Špatné dimenzování vtokové soustavy	Bylo zjištěno, že teplotní cyklování formy nemá na tyto vady vliv; Byla upravena kovová forma.
 Nevýrazné značení	Gravitační lití do kovové formy	Špatné dimenzování vtokové soustavy; Zapříčiněno stahováním v tepelných uzlech	Byla upravena kovová forma; Značení může být více zvýrazněno
 Oxidické vměšky	Gravitační lití do pískové formy; Gravitační lití do kovové formy	Vysoká lící teplota; Lití bez filtru	Hlídat lící teplotu; Použití filtru

Výskyt vad na odlitku odlitého do jednorázové formy lze zmírnit, ale není možné je zcela odstranit. Nedokonalé povrchy odlitků je nutné opravit a zvyšuje se tak pracnost dokončovacích operací.

Výskyt vad u odlitků litých do kovové formy byl způsoben nevhodně dimenzovanou vtokovou soustavou. Vady typu staženin byly eliminovány rozšířením vtokového kůlu a přidáním dosazovacích kroužků nad čela odlitků viz Obr. 71. Trhliny se vyskytovaly vždy v tepelném uzlu. Byly tedy následkem staženin.



**Obr. 71** Úprava vtokové soustavy odlitku KN 10

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. SAHOO, M, S SAHU, L.V. WHITING a K SADAYAPPAN. *Casting Copper-Base Alloys (3rd Edition)* [online]. 3rd. Ohio: American Foundry Society, 2015, 327 s. [cit. 2019-05-22]. ISBN 978-0-87433-446-3. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpCCBAE002/casting-copper-base-alloys/casting-copper-base-alloys>
2. Zaměstnanost: Nabídka a poptávka na trhu práce. In: *Integrovaný portál MPSV* [online]. Praha: Ministerstvo práce a sociálních věcí, 2016-2018 [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: <https://portal.mpsv.cz/sz/stat/trh>
3. Copper & Copper Alloy Castings Properties & Applications. *Copper Development Association: Publication TN42* [online]. Hemel Hempstead, UK, 1991, , 62 [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: <https://copperalliance.org.uk/resources/pub-042-copper-copper-alloy-castings/?download=start>
4. HORÁČEK, Milan. *Slévárenská technologie I.* 2 vyd. Brno: VUT Brno, 1990, 166 s. ISBN 80-214-0217-2.
5. ITALPRESSE INDUSTRIE S.P.A. *STROJ PRO VSTŘIKOVACÍ LISOVÁNÍ SE STUDENOU KOMOROU: INSTRUKČNÍ MANUÁL PRO POUŽÍVÁNÍ A ÚDRŽBU.* Brescia, Italia, 2018, 417 s.
6. COPPER ROTORS: Rotors for higher levels of efficiency in e-motors. *Copper rotors* [online]. Dieselstraße , Germany: Breuckmann GmbH & Co. KG, 2016, (1), 1-8 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: [https://breuckmann.de/en/wp-content/uploads/sites/6/2016/09/breuckmann\\_kupferrotoren\\_en\\_151026.pdf](https://breuckmann.de/en/wp-content/uploads/sites/6/2016/09/breuckmann_kupferrotoren_en_151026.pdf)
7. Měděné rotory. *ELEKTRO: odborný časopis pro elektrotechniku* [online]. Pod Vodárenskou Věží 4, Praha 8: FCC Public s.r.o., 2005, (5) [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/medene-rotory--13643>
8. PETERS, Dale, John COWIE a E F. BRUSH. *The die-cast copper motor rotor - a new copper market opportunity.* 2002.
9. Induction Motors with Copper Rotor Technology: Introduction to the benefits, application and manufacturing of induction motors with die-cast copper rotors. In: *YouTube* [online]. Leonardo ENERGY, 2011 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=E4yGILTbU8E>
10. Die Casting Copper Motor Rotors: Die Casting Copper Technique Improves Energy Efficiency of Electric Motors. *Energy.gov* [online]. Washington, DC: U.S. Department of Energy, 2011 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: [https://www.energy.gov/eere/amo/die-casting-copper-motor-rotors?fbclid=IwAR31V7haRiP4\\_SdGGB\\_9cJ7NrcVtQSxw4WoWKL6cM7mfDiXJ1GnBZqurKSg](https://www.energy.gov/eere/amo/die-casting-copper-motor-rotors?fbclid=IwAR31V7haRiP4_SdGGB_9cJ7NrcVtQSxw4WoWKL6cM7mfDiXJ1GnBZqurKSg)

11. HERZÁN, Jiří. *Možnosti uplatnění aditivních technologií při přímé výrobě slévárenských forem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2017. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Milan Horáček.
12. *COPPER CASTING ALLOYS* [online]. New York, USA: Copper Development Association Inc., Non-Ferrous Founders' Society, 1994 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: [https://www.copper.org/publications/pub\\_list/pdf/7014.pdf](https://www.copper.org/publications/pub_list/pdf/7014.pdf)
13. OBERG, Erik, Franklin JONES, Holbrook HORTON a Henry RYFFEL. *Machinery's Handbook (30th Edition)*. 30th. South Norwalk, Connecticut, USA: Industrial Press, 2016. ISBN 978-0-8311-3091-6. Dostupné také z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpMHE00024/machinerys-handbook-30th/machinerys-handbook-30th>
14. *Copper and Copper Alloys: Compositions, Applications and Properties* [online]. 120. Hemel Hempstead, UK: Copper Development Association, 2004 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://copperalliance.org.uk/resources/pub-120-copper-copper-alloys/?download=start>
15. Search Alloys. *Copper Alloys* [online]. United Kingdom: Copper Alloys Ltd, 2018 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <http://www.copperalloys.net/alloys>
16. SILVA, Elisa. *Defect sources in brasses and new low lead compositions: Origem de defeitos na fundição de latões e novas ligas com baixo teor de chumbo*. Aveiro, PRT, 2016. Master Thesis. Universidade de Aveiro. Vedoucí práce Silva, Rui Ramos Ferreira e; Oliveira, Filipe José Alves de; Fonte, João.
17. CAMPBELL, F.C. *Elements of Metallurgy and Engineering Alloys*. ASM International, b.r. ISBN 978-0-87170-867-0. Dostupné také z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpEMEA000U/elements-metallurgy-engineering/elements-metallurgy-engineering>
18. FRANCIS, Roger. *The corrosion of copper and its alloys: a practical guide for engineers*. Houston, Tex.: NACE International, 2010. ISBN 978-1-57590-225-8.
19. NOVÁK, Pavel. *Koroze kovů* [online]. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze: Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství, Fakulta chemické technologie, b.r., , 1-63 [cit. 2019-04-18].
20. *ASM handbook*. Materials Park, Ohio: ASM International, 2004. ISBN 0-87170-706-3.
21. TAHA, M., N. E-MAHALLAWY, T. MOUSA, R. HAMOUDA a A. YOUSEF. Microstructure and castability of lead-free silicon brass alloys. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik* [online]. Weinheim: WILEY-VCH Verlag, 2012, **43**(8), 699-704 [cit. 2019-04-18]. DOI: 10.1002/mawe.201200932. ISSN 0933-5137. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/mawe.201200932>

22. M. SADAYAPPAN, J. GRAIN REFINEMENT OF PERMANENT MOLD CAST COPPER BASE ALLOYS. *U.S. Department of Energy Office of Scientific and Technical Information: Technical Report* [online]. United States: COPPER DEVELOPMENT ASSOCIATION, 260 MADISON AV, NEW YORK, 2004, (--2004-6200706714), 1-124 [cit. 2019-04-19]. DOI: 10.2172/823242. Dostupné z: <https://www.osti.gov/servlets/purl/823242>
23. Microstructures of Copper Alloys: Lead Brasses. *Copper Development Association* [online]. Copper Development Association Inc, b.r. [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: [https://www.copper.org/resources/properties/microstructure/lead\\_brasses.html](https://www.copper.org/resources/properties/microstructure/lead_brasses.html)
24. RICHARDSON, Ivan, Carol POWELL, ed. *Guide to Nickel Aluminium Bronze for Engineers* [online]. 222. Hemel Hempstead, UK: Copper Development Association Inc., 2016 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: [https://www.copper.org/applications/marine/nickel\\_al\\_bronze/pub-222-nickel-al-bronze-guide-engineers.pdf](https://www.copper.org/applications/marine/nickel_al_bronze/pub-222-nickel-al-bronze-guide-engineers.pdf)
25. MEIGH, Harry. *Cast and Wrought Aluminium Bronzes: Properties, Processes and Structure*. Leeds LS3 1AB, UK: Maney Publishing for IOM3, the Institute of Materials, Minerals and Mining, 2008. ISBN 978-1-906540-20-3. Dostupné také z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpCWABPPS2/cast-wrought-aluminium/cast-wrought-aluminium>
26. PISAREK B. P, . Model of Cu-Al-Fe-Ni Bronze Crystallization. *Archives of Foundry Engineering* [online]. Sciendo, 2013, **13**(3), 72-79 [cit. 2019-04-26]. DOI: 10.2478/afe-2013-0063. ISSN 1897-3310. Dostupné z: <https://doaj.org/article/2a6f7948b1d94c3bb3f2534b393f8c1b>
27. Catalogue: Koncovky pro lana. *Elektroline.cz* [online]. Praha: Elektroline, 2019 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: [https://www.elektroline.cz/catalogue\\_list.php?g=127](https://www.elektroline.cz/catalogue_list.php?g=127)
28. PROCHÁZKA, Zdeněk a Marek KOVÁČ. *Simulace gravitačního a sklopného lití: Odlietek vidlice s kloubem*. Plzeň, 2018. Prezentace, Mecas ESI s.r.o.
29. *MOOD International, s.r.o.: Firemní materiály*. Brno, 2019.

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1 Sklopný kokilový stroj IMR C55H

Příloha 2 Klasifikace mědi a jejich slitin

Příloha 3 Použití slitin mědi



