

# PROBLEMATIKA ANALÝZY VSTUPNÍCH METALURGICKÝCH SUROVIN NA SLÉVÁRNĚ TLAKOVÉHO LITÍ

Aleš HERMAN

Ústav strojírenské technologie, Fakulta strojní, ČVUT v Praze, Technická 4, 16607 Praha 6, ales.herman@fs.cvut.cz

## Abstrakt

*Tento příspěvek se zabývá analýzou metalurgických pochodů a návrhů opatření ke zlepšení kvality odlitků v tlakové slévárně Al slitin.*

*V rámci velké série tlakově litých odlitků docházelo ve slévárně k velké zmetkovitosti – zejména při apretaci součástí. Největším problémem bylo zalamování hran a praskání povrchové části odlitku. K těmto problémům docházelo vždy na různých místech odlitku.*

*Důležitým segmentem této práce bylo vytipování několika možností zalamování a praskavosti. V rámci projektu TIP byly provedeny analýzy ostříhovacího nástroje, simulace v programu NovaFlow&Solid a jako hlavní vliv na tento typ zmetkovitosti byl vyhodnocen metalurgického procesu. Tento navržený postup by měl vést ke snižování zmetkovitosti.*

## 1. Popis problematiky

V rámci velké série tlakově litých odlitků docházelo ve slévárně k velké zmetkovitosti – zejména při apretaci součástí. Největším problémem bylo zalamování hran a praskání povrchové části odlitku. K těmto nepříznivým jevům docházelo vždy na různých místech odlitku v celém šestinásobném stromečku. Zkoumaný odlitek byl vyroben ze slitiny EN AC - AlSi9Cu3(Fe), DIN 226. Jako možné příčiny zalamování byly vytipovány tyto možnosti:

1. špatná konstrukce ostříhovacího nástroje;
2. špatně navržená technologie (porezita, závaly, či studené spoje v místě zalomení).
3. špatná metalurgie (vměstky v místě zalomení)

Z uvedených analýz byly uvedeny následující závěry:

Vzhledem k tomu, že se jedná o šestinásobnou formu, pevně usazené odlitky na pevné trny, velmi malé střížné mezery a minimální možnost pohybu horního dílu ostříhovacího nástroje (masivní vodící kolíky), problémy vždy vznikaly nepravidelně na různých místech (hodnoceno na několika stovkách stromečků).

Po tomto zhodnocení bylo dosaženo předběžného závěru, že problém s největší pravděpodobností nebude v ostříhovacím nástroji, ale spíše ve struktuře odlévaného materiálu, či špatné konstrukci formy.

Aby byl potvrzen či vyloučen vliv špatné konstrukce formy a špatně navržené technologie, bylo použito počítačové simulace v simulačním programu NovaFlow&Solid. Simulace se zaměřila na sledování plnění formy, zavzdušnění formy (tedy vady, které mohou vyvolat porezitu a následné praskání). Zde se navržená technologie ukázala jako vyhovující (bylo doporučeno posunout polohu jedné odzdušňovací ledvinky o cca 5 mm pouze na jednom odlitku v šestinásobné formě). Tedy lze konstatovat, že technologie je navržená dobře a nemá vliv na zmetkovitost.

Poslední fází bylo vyhodnocení kvality metalurgického procesu.

## 2. Analýza metalurgického procesu

V rámci metalografického hodnocení materiálu byla analýza zaměřena na výskyt pomezí a vměstků v kritických místech na odlitcích.

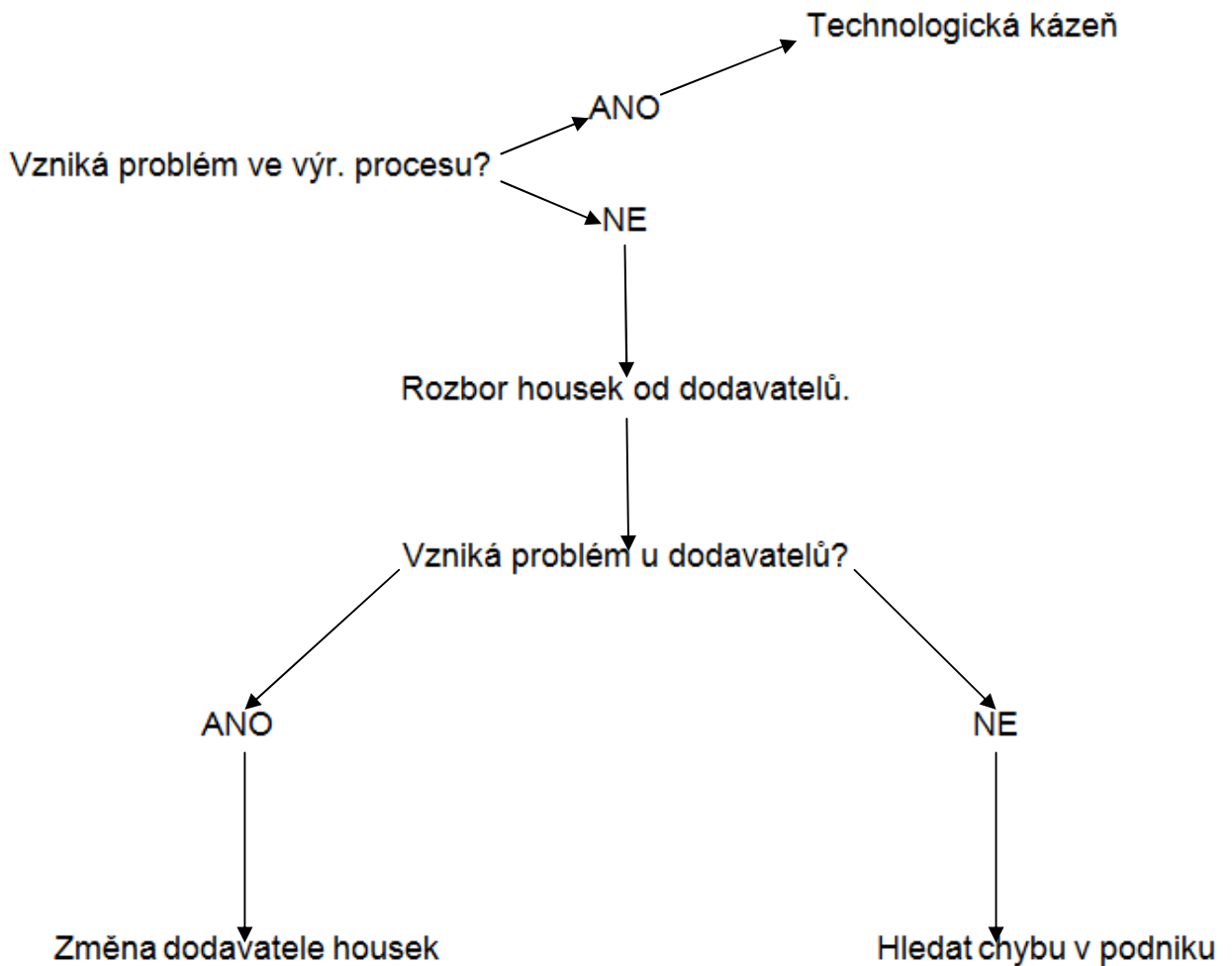
V první řadě byly vzorky nařezány v problematických místech na pile Labotom 3 (od firmy STRUERS). V další fázi byly vzorky zalisovány v metalografickém lisu CitoPress 1 (firma STRUERS) do fenolové pryskyřice MultiFast. Vytvrzování probíhalo při teplotě 180 °C a tlaku 250 kPa. Poté následovalo broušení a leštění různými typy brusných a leštících papírů na metalografické brusce/leštičce Phoenix Beta s automatickou hlavou Vector (od firmy Buehler). Mezi další operaci by se dalo zařadit leptání, které ovšem v našem případě nebylo použito s ohledem na metalografickou analýzu vad. Za pomoci metalografické analýzy a z ní vytvořených fotografií lze pozorovat různé anomálie, které se ve zdravém odlitku nemají ani v menší míře nacházet.

### Shrnutí nálezů:

- Vměstky (kalové fáze), které dosahují velikosti až 100 μm. Tyto kalové fáze (pravděpodobně  $Al_{15}Mn_3Si_2$ ) na bázi Mn, Si a Fe mohou způsobovat problémy typu zalamování, či praskání.
- vada ve struktuře odlitku, tzv. zával, který kolem dokola obklopuje výrazná pomezí a oxidické blány. Závaly jsou o velikostech 30 μm - 150 μm (obr. 2).
- velká pomezí v nejtenčích místech (problém s naplyněním taveniny)

Z výše uvedeného je dobře patrné, že největšími problémy, které doprovází praskání odlitků ve slévárně, jsou obrovská pórovitost a ve velké míře i zvýšený obsah vměstků (kalových fází). Tyto anomálie jsou samy o sobě nenormální, ačkoli reálné.

Aby byla vyloučena či potvrzena technologická nekázeň při metalurgickém procesu (zejména čištění pecí) – byly vždy odebrány vzorky z plné pece a dobírané pece a to jak z tavící tak i udržovacích.



**Obr. 1:** Postupové schéma při analýze materiálu

Jelikož vady v odlitcích sice ukázaly, kde se může vyskytovat problém, bylo potřeba zaměřit se na další procesy ve výrobě těchto tlakově litých odlitků. Dalším úkolem bylo proto prověření technologické kázně v podniku, tj. analýza odebraných vzorků z tavicích a dávkovacích pecí ve slévárně. (schéma postupu viz obr. 1)

Aby byla vyloučena či potvrzena technologická nekázeň při metalurgickém procesu (zejména čištění pecí) – byly vždy odebrány vzorky z plné pece a dobírané pece a to jak z tavicí tak i udržovacích.

### **Zhodnocení metalografické analýzy vzorků z tavicích a dávkovacích pecí ve slévárně**

Z analýzy nejhůře dopadly vzorky z plynové kelímkové tavicí pece. Na vyhodnocených výbrusech jsou vidět obrovské podíly kalových fází na bázi Mn, Si a Fe ( $\text{Al}_{15}\text{Mn}_3\text{Si}_2$ ). V tomto případě lze odhadnout až cca 80% podíl kalových fází, které dosahují velikosti až 300  $\mu\text{m}$ . Rozdíly mezi vzorky z plné pece a dobírané pece (kalové fáze jsou těžší a usazují se dole) jsou minimální. V této tavicí peci se taví slitina s označením DIN 231 (EN AC –  $\text{AlSi12Cu(Fe)}$ ).

Naopak vzorky z plynové šachtové tavicí pece se dají považovat, co se kvality týče, za postačující. V menší míře se objevují intermetalické fáze obsahující Mn, Si a Fe, tedy  $Al_{15}(FeMn)_3Si_2$ . Tyto intermetalické fáze mají podobu kostrovitých útvarů o velikosti řádově jednotky  $\mu m$  a nijak (příp. v minimální míře) nenarušují strukturu materiálu.

V této analýze bylo tedy zjištěno, že v tavicí peci, resp. dávkovací peci, kde se taví slitina s označením DIN 231 je nadměrný podíl kalových fází, které jsou nežádoucí a mohou v mnoha případech ovlivnit budoucí strukturu odlitku.

A to především v případech, kdy dochází k praskání, či k jeho zalamování. Tento výzkum ale bohužel neprokázal, zda vměstky - kalové fáze vznikají přímo ve slévárně.. Naopak bylo prokázáno, že tyto vměstky se vyskytují ve všech etapách tavicího procesu. Aby bylo prokázáno, zda nevznikají v tavicích pecích, nebo jsou vnesené na vstupu od některého z dodavatelů tak bylo potřeba provést další metalografickou analýzu a to analýzu ingotů (housek) od různých dodavatelů.

### **Metalografická a spektrální analýza odebraných vzorků z ingotů**

Velice důležitou částí se stala spektrální a metalografická analýza ingotů od třech různých dodavatelů. Zde pouze uvedu obecně jako Dodavatel A, Dodavatel B a Dodavatel C. Všichni dovážejí přibližně každých 14 dní další várku surovinových housek do slévárny.

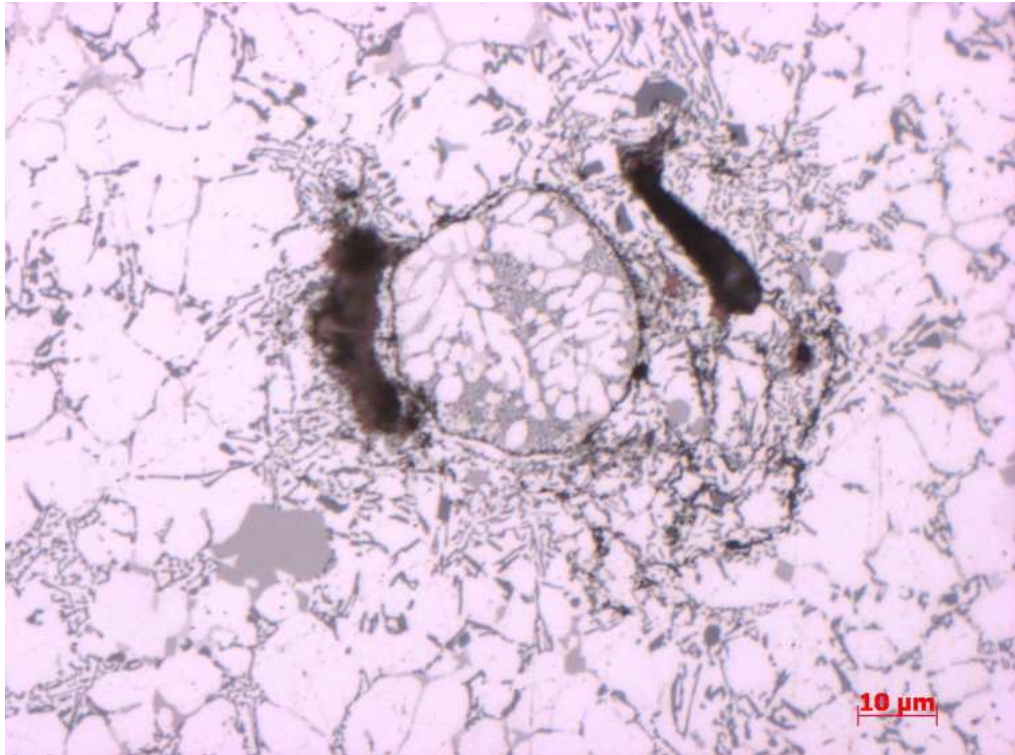
Ještě před tím, než byly vzorky housek rozřezány, byla provedena kontrolní spektrální analýza ve třech, po sobě jdoucích, měřeních na GD emisím spektrometru (VŠCHT v Praze) a spektrometru Q4 Tasman (ČVUT v Praze). Kontrolní proto, aby se zajistila důvěryhodnost jednotlivých dodavatelů, jelikož dříve provedená spektrální analýza u vadných odlitků (slitina DIN 226) prokázala zvýšené množství křemíku (Si), které přesahovalo hranici 11 %, což norma pro tuto slitinu (ČSN EN 1706) nepovoluje. Mezi důležité prvky, které byly zkoumány, byl zařazen např. Si, Fe a Mn.

Po provedení spektrální analýzy byly housky rozřezány a byly odebrány vzorky ze středu (S) a z kraje (K). Následně byla provedena metalografická analýza podle již dříve zmíněného postupu.

Provedená spektrální analýza u housek byla porovnána s normovanými hodnotami a z výsledků bylo zřejmé, že až na obsah křemíku (Si) jsou všechny prvky v normě.

U Al slitiny DIN 231 byl povolený obsah křemíku 10,5 až 13,5 %. Ve zkoušených odlitcích bylo ovšem naměřeno nižší množství křemíku, které této normové hodnotě neodpovídá. Stejně tak u slitiny DIN 226 jsou povolené hodnoty 8 až 11 % Si. Naměřené hodnoty se však v tomto rozmezí nepohybují.

Po provedení spektrální analýzy byly housky rozřezány a byly odebrány vzorky ze středu (S) a z kraje (K). Následně byla provedena metalografická analýza podle již dříve zmíněného postupu.



**Obr. 2:** Metalografický výbrus (vzorek 2) - 500x – zával s porozitou a oxidickou blánou

Co se týče metalografické analýzy jednotlivých dodavatelů, ta ukázala, že ne všichni dodavatelé dodávají své zboží ve výborné kvalitě. V tomto pokusu dopadl nejhůře dodavatel A, který vyrábí ingoty ze slitiny DIN 231.

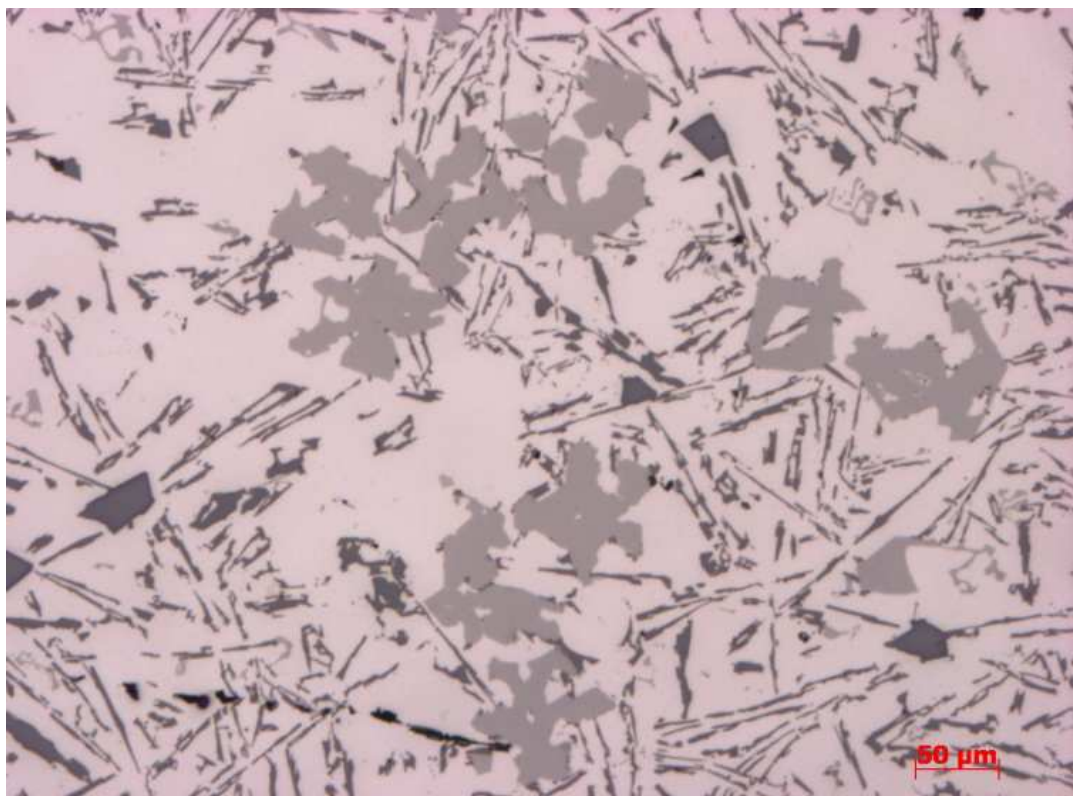
Na fotografiích z metalografické analýzy byly pozorovány opět vysoké podíly vměstků - kalových fází, (plošně až 50 % výbrusu při velikosti 40 až 100 μm) – obr. 3 a 4. U dalších dodavatelů (slitina DIN 226) již takový velký poměr kalových fází nebyl pozorován – výsledky byly o mnoho procent lepší, a dá se říci, že vyhovující normám. Podle výsledků nejlépe dopadl dodavatel C (DIN 226), kde se vůbec žádné kalové fáze nenacházely a slitina byla víceméně čistá.

### 3. Návrh změn v procesu

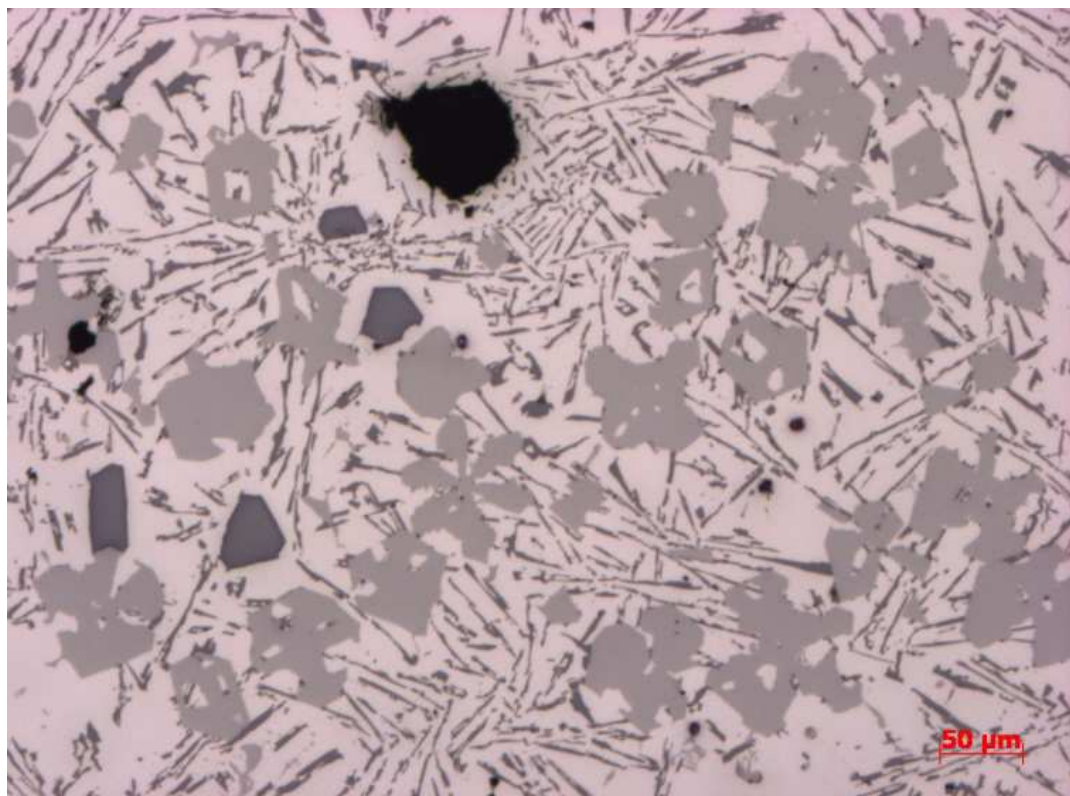
Po kompletním provedení všech analýz bylo navrženo a prokonzultováno několik důležitých změn, které zcela jistě budou mít vliv na snížení zmetkovitosti a rozšíření, již tak dobrého, systému řízení jakosti.

První změna na úvod, která byla navržena, je kompletní vyčištění všech tavicích a dávkovacích pecí, odkud se mohou usazené nečistoty uvolňovat a narušovat tak strukturu materiálu. Toto čištění by se mělo provádět, mimo jiné, částečně jednou za měsíc a kompletně jednou ročně při pravidelné údržbě. Veškeré toto opatření se samozřejmě týká také veškerého zařízení a příslušenství ve slévárně, nikoli jen pecí.





**Obr. 3:** Metalografická analýza vzorku housky (dodavatel A), kraj – 100x



**Obr. 4:** Metalografická analýza vzorku housky (dodavatel A), střed – 100x

Další opatření vedoucí ke zvýšení kvality ve slévárně se týká jednání s jednotlivými dodavateli (A, B, C) o jejich nekvalitním zboží a porušování norem. Vyjednávání s dodavateli by mělo probíhat tímto způsobem:

1. Upozornění dodavatelů ingotů na dané problémy, které s největší pravděpodobností způsobují zmetkovitost v podniku a ohrožují tak dobrou pověst slévárny.
2. Zavedení normativu (předpis, jak by měl materiál vypadat) pro obě slitiny (DIN 231, DIN 226), který bude poskytnut dodavatelům v rámci kontroly a bude sloužit k ověření vlastností dané slitiny.
3. Dynamická kontrola – detailnější spektrální a metalografická analýza od dodavatele + kontrolní analýzy dodavatelů ve slévárně.
4. Pokud nebude tento postup úspěšný a přes veškeré snahy bude nadále docházet k přetrvávání vznikajících problémů, bude s dodavatelem přerušena smlouva a navržen dodavatel jiný.
5. Pro nového dodavatele budou platit stejné podmínky, jako pro dodavatele minulého, tzn. opakování postupu 1. až 4.

### Poděkování

*Tento příspěvek byl vytvořen za podpory projektu FR—T11/028 „Optimalizace nákladového controllingu a systémů jakosti ve slévárně POLAK s.r.o. " vypsáno Ministerstvem průmyslu a obchodu ČR za podpory projektu vypsáno programu TIP*

### LITERATURA

- [1] ROUČKA, Jaromír: Vměstky - přehled a příčiny vzniku: Vměstky ve slitinách hliníku a hodnocení čistoty kovu. 4. *Holečkova konference: Trendy ve zpracování slitin neželezných kovů*. První vydání. Brno: Česká slévárenská společnost, 2011. s. 117. ISBN 978-80-02-02303-6.
- [2] HERMAN, Aleš; BRYNDA Michal: Vliv metalurgického procesu na jakost tlakově litých odlitků. 4. *Holečkova konference: Trendy ve zpracování slitin neželezných kovů*. První vydání. Brno: Česká slévárenská společnost, 2011. s. 117. ISBN 978-80-02-02303-6.
- [3] HOLEČEK, Stanislav; ŘEZNÍČEK, Pavel. *Slitiny AISi - Jejich vlastností a zpracování*. Praha, 1996. 108 s.
- [4] BELOV, N. A.; AKSENOV, A. A.; ESKIN, D. G. *Iron in Aluminium Alloys : Impurity and Alloying Element*. Published first. London: Taylor & Francis, 2002. 342 s. ISBN 0-415-27352-8.
- [5] BRYNDA, Michal. Analýza praskavosti a zalamování hran tlakově litého odlitku z Al slitiny při apretaci. *Konference Studentské tvůrčí činnosti STČ*. První vydání. Praha: ČVUT, FS, 2011. s. 5. Dostupné z WWW: <[http://stc.fs.cvut.cz/sb\\_s1.html](http://stc.fs.cvut.cz/sb_s1.html)>.