



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta strojní  
Ústav materiálového inženýrství**

**Návrh zařízení na druhotné zpracování vtokových soustav a jeho  
následná implementace do technologického procesu**

**Device design for secondary processing of gating systems  
and following implementation into technological process**

Bakalářská práce

Studijní program: Výroba a ekonomika ve strojírenství  
Studijní obor: Technologie, materiály a ekonomika ve strojírenství

Vedoucí práce: Ing. Zdeňka Jeníková, Ph.D.  
Konzultant: Ing. Jan Hrbáček, Ph.D.

**Jan Kružík**

---

**Praha 2015**



# Prohlášení

*Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a to výhradně s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.*

*Nemám žádný závažný důvod proti užití školního díla ve smyslu §60 Zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).*

V Praze dne: .....

.....  
Podpis



## Poděkování

Děkuji tímto mé vedoucí práce Ing. Zdeňce Jeníkové Ph.D za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce, konzultantovi Ing. Janu Hrbáčkovi Ph.D za předané informace, konzultantovi Doc. Dr. Ing. Vladimírovi Pavlínkovi a společnosti Automotive Lighting s.r.o. Jihlava za umožnění práce na tomto projektu.



# Anotace

## **Návrh zařízení na druhotné zpracování vtokových soustav a jeho následná implementace do technologického procesu**

Autor: Jan Kružík

Vedoucí BP: Ing. Zdeňka Jeníková Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá návrhem zařízení na druhotné zařízení vtokových soustav ve společnosti Automotive Lighting s.r.o, Jihlava. Obsah práce je rozdělen do třech částí. První část se teoreticky zabývá výrobou polykarbonátu. Porovnání polykarbonátů od různých dodavatelů a jeho následné skladování a logistika včetně jeho zpracování. Druhá část se zabývá drcením vtokových soustav, vstřikováním druhotných materiálů a výběrem nožových mlýnů. Ve třetí, experimentální, části jsou obsažena všechna porovnání a měření pro následné zhodnocení vstřikování druhotných materiálů.

Klíčová slova: polykarbonát, zásobníky, sila, vstřikování, vtoková soustava, mlýn, drtič, síťová analýza,

## **Device design for secondary processing of gating systems and following implementation into technological process**

The bachelor thesis is focused on a device design for secondary processing of gating systems in the company Automotive Lighting s.r.o., Jihlava. The thesis content is divided into three parts. The first part is focused on the production of polycarbonate, a comparison of polycarbonates from three different suppliers and its following storage and logistics including its processing. The second part is about gating system crushing, injection of secondary materials and a selection of knife mills. In the third, experimental part there are included all comparisons and measurements for the following evaluation of the secondary materials injection.

Key words: polycarbonate, trays, silos, injection, gating system, mill, crusher, sieves analysis



# Obsah

|  |    |
|--|----|
| <b>1. Teoretická část</b> .....                    | 7  |
| 1.1.3. Polotovar pro vstřikování .....             | 9  |
| 1.2.1. Skladování materiálu .....                  | 11 |
| 1.2.2. Výtok sypkých hmot ze zásobníků a sil ..... | 12 |
| 1.2.3. Pomocná zařízení pro vyprazdňování .....    | 13 |
| 1.2.4. Logistika granulátu .....                   | 13 |
| 1.2.5. Příprava granulátu .....                    | 14 |
| 1.3. Zpracování polykarbonátu .....                | 15 |
| 1.3.1. Technologie vstřikování .....               | 15 |
| 1.3.2. Vstřikovací cyklus.....                     | 16 |
| 1.4. Vstřikování druhotných materiálů.....         | 18 |
| 1.4.1. Zařízení pro opětovné zpracování .....      | 18 |
| 1.4.2. Nožové mlýny.....                           | 20 |
| 1.4.3. Výběr nožového mlýnu .....                  | 20 |
| <b>2. Experimentální část</b> .....                | 22 |
| 2.1. Analýza současného stavu .....                | 22 |
| 2.2. Laboratorní drcení.....                       | 24 |
| 2.2.1. Rychloběžný mlýn GSL 180/180 .....          | 24 |
| 2.2.2. Pomaloběžný mlýn Minor 2.....               | 25 |
| 2.2.3. Síťová analýza.....                         | 25 |
| 2.3. Tendence chladnutí .....                      | 30 |
| 2.4. Test lisování s drtí .....                    | 32 |
| <b>3. Závěr</b> .....                              | 38 |



# Úvod

V bakalářské práci se budu zabývat návrhem recyklačního zařízení pro vtokové soustavy z krycích skel u světlometů ve společnosti Automotive Lighting s.r.o. Jihlava. Návrh budu zpracovávat pro středisko předvýroby MFO5, kde se vstříkují a následně lakují krycí skla. Práce by měla zahrnovat výrobu polykarbonátu, celý postup zpracování polykarbonátových granulí a jejich přeměnu ve vstřikovacích lisech. Dále se budu zabývat otázkou drcení vtokových zbytků a následně in – line zpracování. Drcení vtokových zbytků se bude, prozatím, aplikovat pouze na jedno komponentním vstřikování. U dvou komponentního vstřikování je problém s tím, že jsou dva vtokové zbytky – transparentní a černé (popřípadě šedé).

Z minulosti je známo, že se vyráběla světla jenom kvůli jejich funkčnosti osvětlení vozovky a protijedoucího vozidla. V současnosti přibýly už i další důležité vlastnosti, které jsou v dnešní době nedílnou součástí všech světlometů – design. Díky moderní technologii se může volit mezi jednobarevnými a dvoubarevnými krycími skly.

Výsledek této práce by měl pomoci technologům ze střediska MFO5 a celkově celé firmě Automotive Lighting s.r.o. Jihlava. Díky drcení zbytků vtokových soustav je vysoká možnost finanční a materiálové úspory. V práci bych se chtěl nejvíce zaměřit na proces vstřikování a následné recyklace, porovnání různých typů polykarbonátu na velikost frakce a jejich funkční vlastnosti.

## Společnost AL

Společnost Automotive Lighting s.r.o. v Jihlavě (dále jen ALCZ) je součástí jednoho z největších nadnárodních holdingů vyrábějících automobilovou světelnou techniku.

Společnost Automotive Lighting Jihlava byla v ČR založena v roce 1999 jako Joint venture mezi Magneti Marelli a firmou Robert Bosch (Lighting division). Z počátku měli oba partneři stejný podíl akcií (50%). Majoritu ve společnosti získal italský partner v roce 2001, kdy navýšil svůj akciový podíl ve společnosti na 75%. O dva roky později došlo ke koupi zbylých 250 akcií ze strany Magneti Marelli, která je součástí koncernu Fiat Chrysler Automobiles (FCA). [1]



# 1. Teoretická část

## 1.1. Charakteristika materiálu

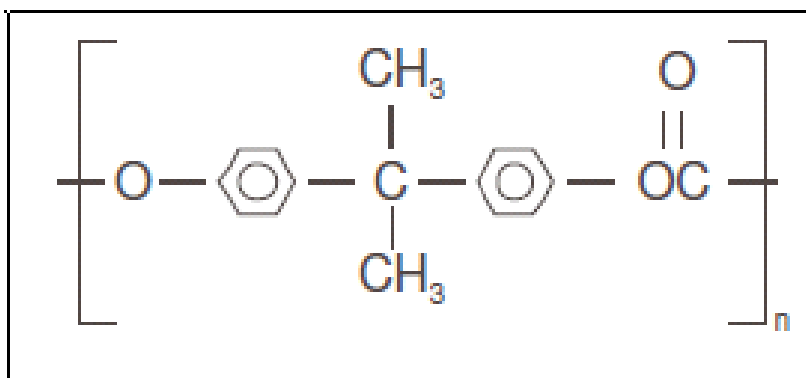
Ve společnosti Automotive Lighting (ALCZ) se používá polykarbonát (PC). Díky vlastnostem polykarbonátu jsou tyto materiály skvělou volbou pro krycí skla ke světlometům. Jsou to vlastně polyestery kyseliny uhličitě na bázi 2,2-bis(4-hydroxyfenyl)-propanu (dianu, bisfenolu A). Přípravují se metodou jako je fosgenace, nebo reesterifikace. Polykarbonáty jsou transparentní plasty, s propustností světla 85% a mají mimořádně vysoký index lomu  $n_D^{20}=1,587$  (index lomu měřený při 20°C pomocí čáry D sodíkového spektra). Jsou dobře rozpustné v chlorovaných uhlovodících a v cyklohexanonu, těžko rozpustné v esterech, ketonech a aromatických uhlovodících. Pro vstřikování a vytlačování se používají typy s  $M_w$  (hmotnostně střední relativní molekulovou hmotností) 20000 – 40000.

Typy s vyšší hmotnostně střední relativní molekulovou hmotností nejsou vzhledem k vysoké viskozitě taveniny vhodné pro zpracování z taveniny. Používají se zejména pro lití fólií.

Polykarbonáty vynikají rázovou houževnatostí i za velmi nízkých teplot a hlavně dobrou rozměrovou stabilitou až do 130°C. Dále nízkou absorpcí vody, odolností proti UV-záření, stálostí proti oxidaci, vysokou mechanickou pevností. Polykarbonáty mají nedostatečnou odolnost proti dlouhodobému působení vroucí vody a páry, amoniaku a aminům. Schéma vzorce polykarbonátu je na obr. č. 1.1 [2]

Rozsah zpracovatelských teplot

Největší podíl polykarbonátů se zpracovává vstřikováním při teplotách 280-310°C, přičemž je důležité formu vyhřívat na 80-120°C.



(Obr. č. 1.1 – Polykarbonát)



Podle výchozích derivátů kyseliny uhličité se způsoby přípravy dělí do dvou skupin: fosgenace, reesterifikace. Rozdíl mezi oběma reakcemi je v podmínkách, za jakých probíhají. Zatímco reesterifikace se uskutečňuje za teplot vyšších než 100°C, tak u fosgenace stačí pokojová teplota, nebo i nižší. [2]

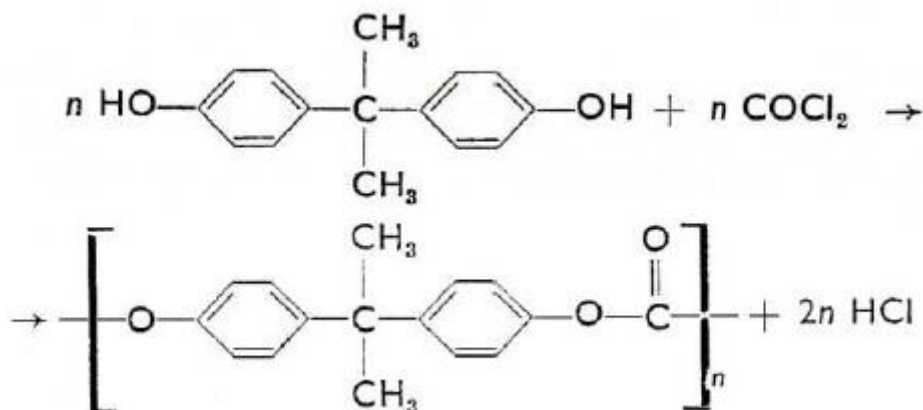
### 1.1.1.Fosgenace

Při fosgenaci probíhá reakce dianu s fosgenem za přítomnosti látek, které vážou uvolňovaný chlorovodík. Exotermickou reakcí na hranici fází vznikne oligomer, který se převede ve vysokomolekulární polyester přidávkem katalyzátoru (kvartérní amoniové báze nebo terciální aminy). Jde o reakci ve dvoufázovém systému, je velice důležité dobré promíchávání.

Vzniklý roztok polykarbonátu se odděluje od solného roztoku a promývá se vodou. Polyester lze izolovat odpařením rozpouštědla (pyrid, methylenchlorid), nebo srážením nerozpouštědlem (aceton, methanol).

Konečným odpařením rozpouštědla ve vyhřívaných extrudérech nebo ve vakuu se dospěje k tavenině polykarbonátu, která se následně vytlačuje a granuluje. Nakonec následuje pečlivé vysoušení při teplotě 120 – 140°C.

Na molekulovou hmotnost produktů připravovaných fosgenací mají vliv čistota dianu, rychlost přidávání fosgenu, reakční teplota, množství vody, dokonalost míchání a nečistoty. Schéma reakce je na obrázku č. 1.1.1 [2]



(Obr. č. 1.1.1.1– Fosgenace)

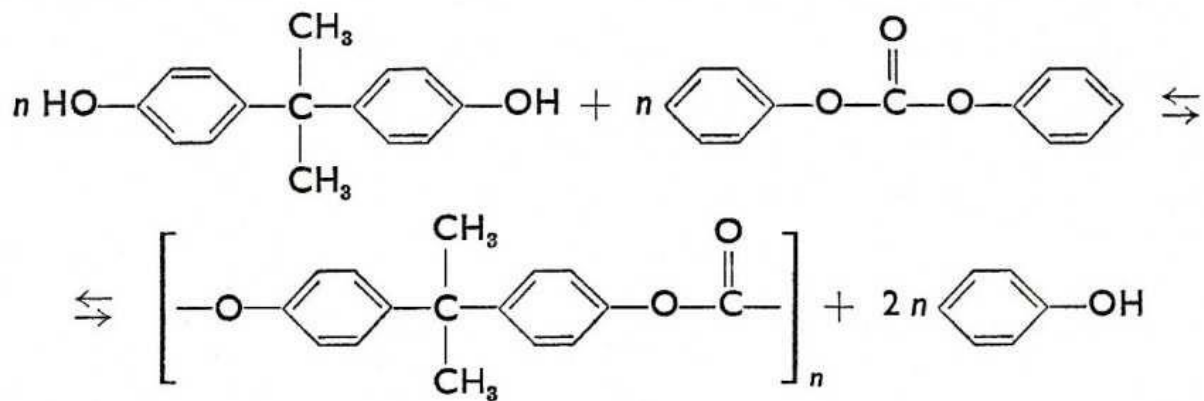




### 1.1.2. Reesterifikace

Při reesterifikaci se množství dianu reesterifikuje difenylkarbonátem bez přístupu vzdušného kyslíku. Reakce je urychlována reesterifikačními katalyzátory – natriumbisfenolátem, butoxyhlinitanem hořečnatým.

V první fázi se bez přístupu vzduchu zahřívá směs dianu s difenylkarbonátem na teplotu 200 – 230°C při tlaku 2,6 kPa, až se oddestiluje 90% množství fenolu. Poté se teplota zvýší na 290 – 300°C a tlak sníží na 0,13 kPa. Postupnou reakcí roste molekulová hmotnost a zvyšuje se viskozita taveniny. Vzniklá tavenina se vytlačí z autoklávu dusíkem ve formě pásků, které se následně sekají. Schéma reesterifikace je na obr. č. 1.1.2 [2]



(Obr. č. 1.1.2 – reesterifikace)

### 1.1.3. Polotovar pro vstřikování

K dispozici je velké množství druhů, typů a variant materiálů ke vstřikování plastů. V současné době je nejucelenějším zdrojem informací o vlastnostech plastů databáze CAMPUS. Všechna data v databázi jsou získána na zkušebních tělesech a zkušebními postupy podle norem ISO, což znamená, že pro stejný druh a typ materiálu od různých výrobců, jsou data porovnatelná, protože byla zjištěna za stejných podmínek.

Pro výrobu v ALCZ se používá polotovar na bázi granulí, které se dále zpracovávají na výrobu skel. Celkově to jsou 4 typy materiálu, které mají rozdílné vlastnosti.



V tab. č. 1.1.3 se porovnávají materiály s označením Makrolon 2447, Makrolon 2647, Lexan LS1 a Lexan LS2. Porovnávám jen vlastnosti, které ovlivňují chování materiálu při montáži na světlotech. Nejdůležitější zkouškou pro porovnání charakteristik materiálu je zkouška rázem. Simuluje to každodenní situaci na silnicích, když se kamínek odrazí od vozovky do krycího skla světlotetu. Hlavní rozdíly jsou v jejich tekutosti (standart/easy flow).

Tab. č. 1.1.3 – Porovnání polykarbonátů

| Vlastnosti  | Makrolon 2447 | Makrolon 2647 | Lexan LS1 | Lexan LS2 | Norma                   |
|---|---------------|---------------|-----------|-----------|-------------------------|
| Charpy 23°C<br>[kJ/m <sup>2</sup> ]                           | No break      | No break      | No break  | No break  | ISO 179/1eU             |
| Charpy 30°C<br>[kJ/m <sup>2</sup> ]                           | No break      | No break      | No break  | No break  | ISO 179/1eU             |
| Charpy -23°C<br>[kJ/m <sup>2</sup> ]                          |               |               | 65        | 73        | ISO 179/1eA             |
| Charpy -30°C<br>[kJ/m <sup>2</sup> ]                          |               |               | 12        | 14        | ISO 179/1eA             |
| Modul pružnosti<br>[MPa]                                      | 2400          | 2400          | 2350      | 2350      | ISO 527-1               |
| Mez kluzu<br>[MPa]  | 66            | 67            | 63        | 63        | ISO 527-2               |
| Teplota Tg<br>[°C]  | 145           | 144           | 145       | 144       | ISO 11357-1/-2          |
| Stanovení teploty<br>průhybu, 1,8MPa<br>[°C]                  | 125           | 123           | 122       | 125       | ISO 75-1                |
| Stanovení teploty<br>průhybu, 0,45MPa<br>[°C]                 | 138           | 136           | 133       | 136       | ISO 75-2                |
| Tekutost (standard<br>/easy flow)<br>[cm <sup>3</sup> /10min] | 19            | 12            | 21        | 11        | ISO 1133<br>300°C/1,2kg |
| Teplota sušení<br>[°C]  | 120           |               |           |           |                         |
| Doba sušení<br>[hod]  | 4 - 6         |               |           |           |                         |
| Max. obsah zbytkové<br>vlhkosti<br>[%]                        | 0,02          |               |           |           |                         |



## 1.2. Skladování a logistika

Skladování a logistika materiálu je nedílnou součástí celého procesu výroby světlometů. Musí se zajistit, aby nedošlo ke kontaminaci materiálu při skladování. Jeho včasné dopravení na příslušná místa přípravy materiálu před samotným vstřikováním.

### 1.2.1. Skladování materiálu

Granulát řadíme mezi sypké materiály, které vyžadují zcela odlišný způsob uskladňování, než např. kapaliny. Skladují se buď v jednotlivých obalech (nejčastěji pytle, oktabíny, sudy) nebo častěji hromadně. Při hromadném skladování může být využíváno intenzivních či extenzivních skladů.

V ALCZ se používá častější varianta – intenzivní způsob skladování. Jedná se o zásobníky a sila. Jejich provedení je takové, že plnění se uskutečňuje shora a vyprazdňování se děje obvykle vlastní vahou v nejnižším místě skladového prostoru.

Zásobníky a sila se používají všude tam, kde surovina musí být okamžitě k dispozici pro užití ve výrobním procesu. Odebírání surovin z jednotlivých zásobníků se uskutečňuje dle potřeby. V nejnižším místě zásobníku bývá vytvořena výsypka ve tvaru komolého kužele či jehlanu zakončená uzávěrem nebo vhodným dávkovacím zařízením.

Má-li zásobník nebo silo správně plnit svou funkci, musí vyhovovat těmto základním požadavkům

- Možnost úplného a snadného vyprázdnění
- Maximálně možné využití úložného prostoru
- Nesmí docházet k tvorbě kleneb (můstků)

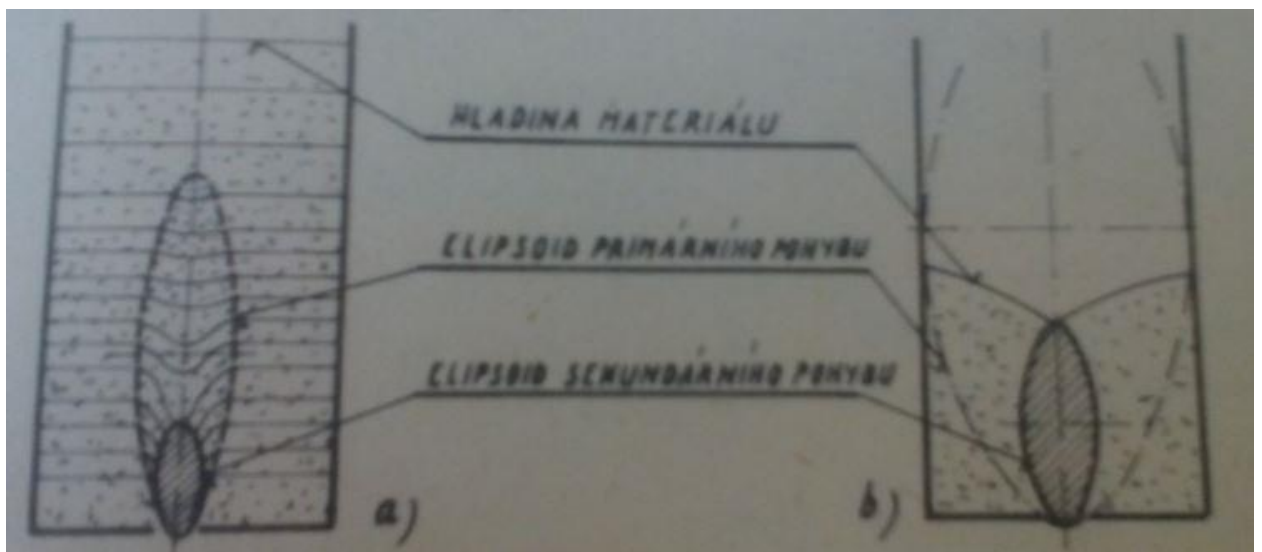
Z hlediska tvaru se nejčastěji setkáváme se zásobníky s kruhovou půdorysovou plochou. Tyto zásobníky, které jsou na obr. č. 1.2.1, se vyznačují jednoduchou konstrukcí. Při skladování velkého množství granulátu dochází k řazení zásobníků vedle sebe (k vytváření baterií). [4][7]



(Obr. č. 1.2.1 – Sila)

### 1.2.2. Výtok sypkých hmot ze zásobníků a sil

Bezprostředně po otevření zásobníku se deformují vrstvy těsně nad uzávěrem. V dalším dochází k průhybu vrstev v okolí vertikální osy směrem k hladině. Pohyb částic směrem k výpustnému otvoru je převážně translační a je omezen tzv. elipsoidem primárního pohybu. Tento pohyb se zrychluje a v oblasti omezené elipsoidem sekundárního pohybu dochází k intenzivnímu relativnímu pohybu a k víření. Tento pohyb částí je zobrazen na obr. č. 1.2.2 [4]



(Obr. č.1.2.2 – Pohyb částic při vyprazdňování)



### 1.2.3. Pomocná zařízení pro vyprazdňování

Zásobníky a sila musí být okamžitě k dispozici, tudíž je třeba zabezpečit plynulý odběr materiálu ze zásobníku. K tomu potřebujeme to, aby materiál měl stejné mechanické vlastnosti. Tyto vlastnosti se však mnohdy nedají jednoznačně definovat, neboť se mohou i v průběhu vlastního skladovacího procesu měnit (přijímání vzdušné vlhkosti, zhutňování). Situace se navíc může komplikovat tím, že na materiál mohou působit další síly, např. elektrostatické, které mohou způsobovat nežádoucí tvorbu kleneb (můstků).

Aby při vyprazdňování zásobníku byla zajištěna určitá kontinuita výtoku materiálu, umísťují se do spodní části zásobníku pomocná zařízení. V ALCZ se používají vibrační pomocná zařízení.

Vibrační pomocná zařízení se osvědčila u jemných granulátů. Vibrační zařízení je možné použít jak u betonových, tak u plechových zásobníků. Na vnitřních stěnách zásobníku dochází k vytvoření fluidního stavu. Za těchto podmínek granulát velmi dobře vytéká. [7]

Mimo uvedené zařízení jsou zásobníky a sila vybavena ještě zařízeními pro měření hladiny, popřípadě váhového množství materiálu. V zásadě se jedná o mechanické, elektronické a bezdotykové metody měření. Nejběžnějšími metodami měření jsou mechanické olovnicové systémy pro sila, bezdotykové ultrazvukové systémy a vážení sil. [4]

### 1.2.4. Logistika granulátu

Z hlediska kontinuity zpracovatelského procesu je vhodné plynulé dávkování surovin podle předem stanoveného technologického programu.

Logistika granulátu je zajištěna pomocí pneumatického potrubí. Je to doprava granulátu ve směsi s dopravním médiem, nejčastěji vzduchem. Na obr. č. 1.2.4 je pneumatické potrubí sloužící k přepravě granulátu do sušícího zařízení. [7]



(Obr. č. 1.2.4 – Pneumatické potrubí)

### 1.2.5. Příprava granulátu

Granulát musí projít etapou sušením. Důvodem je snížení zbytkové vlhkosti materiálu. Proces sušení je realizován pomocí sušících zařízení v odděleném prostoru z důvodu vysoké prašnosti a koncentrace vlhkosti. Princip spočívá v odjímání vlhkosti sušeným vzduchem, který se připravuje v tzv. patronách pomocí molekulárního síta. Granulát je nasáván do sušky pomocí nasavače, který je opatřen klapkou na uzavření nasávacího prostoru. Sušící zařízení se dále skládá z topného agregátu a objemné násypky (100 – 400l). Vysušený granulát je přesouván ze sušícího zařízení přes systém čistícího ventilu do násypky lisu. [3]

Transport suroviny směřující ze sušky do lisu řídí systém centrálního nasávání, který má dvě fáze, fáze nasávání (doprava granulátu) a fáze čištění (zbavení potrubí zbytkového granulátu).

Polykarbonát je málo navlhavý materiál, který má rovnovážný obsah vody okolo 0,3%, ale již nízký obsah vody vede k problémům při vstřikování. Zejména má vliv na jakost povrchu a možnost hydrolytické degradace v plastikační komoře vstřikovacího stroje. Zvýšený obsah vody ve výstřicích podstatně snižuje hodnoty mechanických vlastností, např. vrubová houževnatost při obsahu vody 0,02% je asi 780 J.m<sup>-2</sup>, při obsahu vody 0,1% se sníží přibližně na 480 J.m<sup>-2</sup>. Materiál po vysušení opět rychle navlhá, po 20 min expozice ve vlhkém (okolním) prostředí je již nevhodný pro vstřikování. Sušení – pro obsah vody 0,02 % se děje při teplotě 120°C po dobu 4-6 hodin. [2][3]



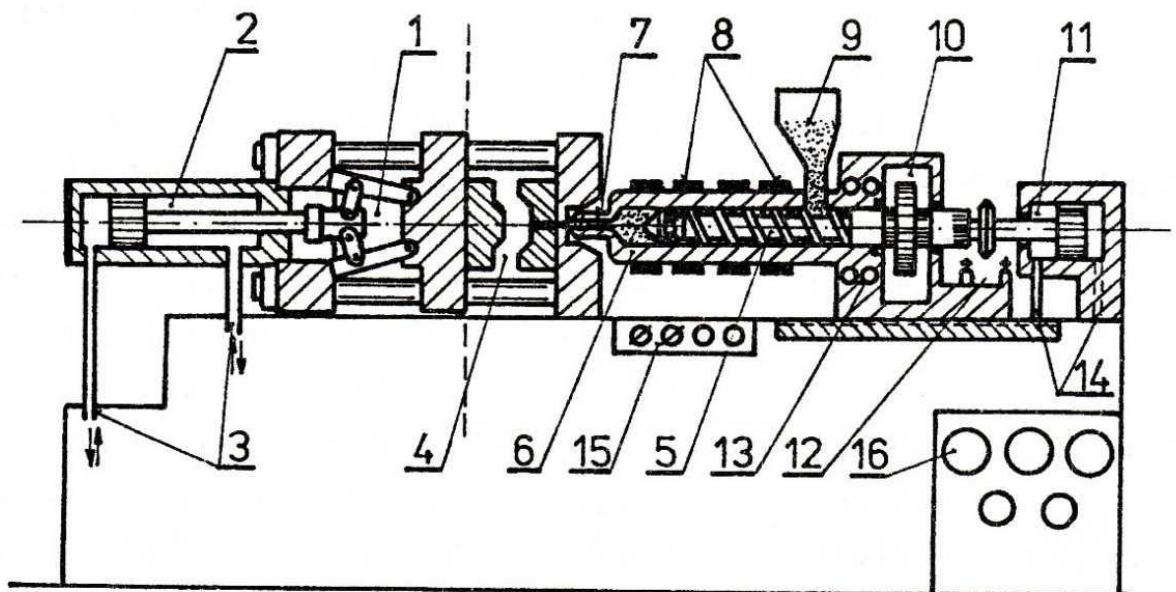
## 1.3. Zpracování polykarbonátu

V ALCZ se pro výrobu polykarbonátových krycích skel používá technologie vstřikování plastů.

### 1.3.1. Technologie vstřikování

Dodržením optimálních výrobních podmínek je velmi významné pro dosažení jakostních výrobků. Pro zpracování taveniny je kladen velký význam dokonalé vysušení polykarbonátů. Před samostatným zpracováním se tedy suší 4-6 hodin, aby bylo dosaženo maximální vlhkosti 0,02 %. Vlhkost v polymeru není přípustná především pro pokles molekulové hmoty z důvodů zmýdelňování.[3]

Vstřikování je způsob tváření plastů, kdy je roztavený plast vstříknut velkou rychlostí do dutiny uzavřené kovové formy. Formy bývají předehřáté na určitou teplotu z důvodu lepší zabíhavosti polymeru. Po vyplnění formy tavenina ztuhne v hotový dílec. Obecné schéma vstřikovacího stroje je na obr. č. 1.3.1



(Obr. č. 1.3.1 – Schéma šnekového vstřikovacího stroje)



Princip vstřikování: Materiál je převážně dodáván v podobě granulí, které se nasypou do zásobníku (9). Odtud jsou odebírány otáčejícím se šnekem (5) a tím dopravovány do tavicí komory (6), která je vyhřívána elektrickými odporovými pásy (8). Zde jsou granule díky vyhřívání a tepla vzniklého třením ve šneku roztaveny a dále jako tavenina vstříknut do dutiny formy (4). Forma se naplní taveninou a přijme tvar formy. Formy jsou kovové a chlazené na teplotu asi 30-80°C protékající vodou, díky čemuž hmota rychleji ztuhne. Poté následuje otevření formy a vyjmutí výrobku. Následně se může forma opětovně uzavřít a cyklus se opakuje. [3]

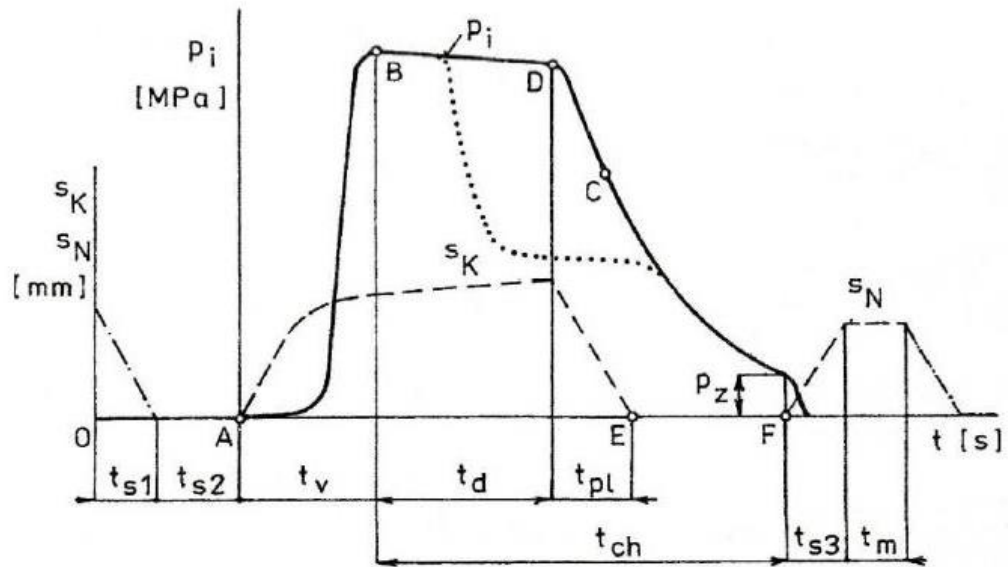
Vstřikovací stroj se skládá ze dvou na sobě závislých jednotkách, a to jednotky vstřikovací (4-16) a uzavírací (1-3). Vstřikovací jednotka zajišťuje dávkování granulátu, jeho plastikaci, vstříknutí roztavené hmoty do formy, provedení dotlaku a zajištění dalších pohybů tavicí komory, jako je např. jejich odsunutí a přisunutí k formě. Jednotlivé posuvy jsou hydraulické, z čehož vyplývá regulace rychlosti vstřikování a velikost dávky za pomoci tlaku přiváděné hydraulické kapaliny. Uzavírací jednotka stroje má na starosti zajišťovat pevné uzavření vstřikovací formy v průběhu plnění a veškeré pohyby formy nepostradatelné k vyhození dokončeného výrobku z formy. Řídící systém zabezpečuje automatický provoz stroje a samostatné dodržování nastavených technologických parametrů, jako jsou např.: teplota vstřikované hmoty, vstřikovací tlak, rychlost vstřikování, teplota formy a časové rozčlenění vstřikovacího cyklu. [3]

### 1.3.2. Vstřikovací cyklus

Nejdůležitější při zhotovení výstřiku je zajištění sledu přesně za sebou jdoucích úkonů, které dohromady definují celý vstřikovací cyklus. Je třeba, aby jeho začátek byl jednoznačně definován. Bývá to moment, který odpovídá impulzu danému k uzavření formy.

Vstřikovací cyklus můžeme též vyjádřit jako průběh tlaku v dutině lisovací formy. Jedná se o vnitřní tlak, který se značí  $p_i$ . Závislost tohoto tlaku  $p_i$  na čase se označuje jako tlakový cyklus, který je zobrazen na obr. č. 1.3.2 [2]





(Obr. č. 1.3.2 – Schéma vstřikovacího cyklu)

Na začátku cyklu se předpokládá otevřená a prázdná dutina formy a čas  $t=0$  (bod 0). Stroj čeká na impuls k započetí vstřikovacího cyklu. Po impulsu se forma přisune, uzavře a uzamkne, čemuž odpovídá čas  $t_{s1}$ . Následuje časový úsek  $t_{s2}$ , kdy se tavicí komora přisune k formě. Tyto dva časy představují tzv. strojní časy. V bodě A se spustí šnek umístěný v tavicí komoře a forma se začíná plnit. V tuto chvíli šnek provádí pouze axiální pohyb bez otáčení, tedy působí jako píst. Snímač umístěný v dutině formy začne zaznamenávat nárůst tlaku taveniny ve formě, což odpovídá času doby plnění formy, který se značí  $t_v$ , a končí v bodě B. Hmoty v dutině formy začne chladnout hned při jejím vstupu a chladnutí trvá až do otevření formy, což se značí  $t_{ch}$ . První část chladnutí, kdy působí doba dotlaku  $t_d$ , který je nutný z důvodu smrštění taveniny během chladnutí. Doba dotlaku končí v bodě D a může začít plastikace další dávky plastu. Šnek se otáčí, aby nabral z násypky další granulát, který plastifikuje a vtláčuje před čelo šneku. Dalším důležitým bodem je bod C, ve kterém dochází k zatumnutí hmoty ve vtokovém kanálu. Při zatumnutí hmoty dochází k jejímu přerušení mezi dutinou formy a tavicí komorou. Tím dochází k rychlému poklesu tlaku ve formě. Forma a tavicí komora se od sebe musí odsunout, protože se musí zabránit přestupu tepla z trysky do formy. Tlak ve formě neustále klesá z důvodu chlazení formy a to až na hodnotu  $p_z$ . Hmoty je již zcela ztuhlá a forma je těsně před otevřením. V bodě F dochází k otevření formy a vyhození výstřiku. Čas potřebný pro tuto operaci je označen  $t_{s3}$ . [3][4]



### 1.3.3. Dokončovací operace po vstřikování

Výroba výstřiku nekončí jeho vyhozením z formy. V každém případě zbývá ještě odstranit vtokové soustavy. Jedná se o ztuhlou taveninu, která zaplnila vtokové kanálky a je s výrobkem pevně spojena. Odstraňování vtoků se v ALCZ provádí pomocí robotu, který vyjme výstřik z formy a pohybem ramene zastrčí začátek vtokové soustavy mezi čelisti nože, které vtokové soustavy odstraní. Po odštíření spadne vtoková soustava na dopravník směřující do boxu. V současné době se v ALCZ vtokové soustavy, které jsou na obr. č. 1.3.3, druhotně nezpracovávají.



(Obr. č. 1.3.3 – Vtokové soustavy)

## 1.4. Vstřikování druhotných materiálů

Pod pojmem „druhotné materiály“ rozumíme plasty určené pro vstřikování, které již byly alespoň jednou podrobeny zpracovatelskému procesu, tj. mají za sebou nějakou tepelnou historii. V podstatě se jedná o materiál pouze drcený, obvykle technologický odpad a zmetky z vlastní nebo cizí výroby výstřiků, anebo drcený a regranulovaný (přetavení a vytvoření nových granulí).

U tepelně citlivých materiálů je výhodnější používat pro další zpracování drť – materiál není znovu tepelně namáhán při regranulaci, sníží se degradace (zkrácení) molekul. Nevýhodou u drti je nerovnoměrná velikost rozdrcených částic a při použití nevhodného typu mlýnu vyšší obsah prachového podílu, který může způsobovat ucpání vstupního otvoru do šneku plastikační jednotky vstřikovacího stroje, resp. nepravidelnosti v nabírání materiálu do šneku při plastikaci.



Výhodou regranulovaných materiálů (na rozdíl od drtě) je, že jsou z hlediska granulometrických vlastností prakticky stejné jako originální materiály.

Výsledná kvalita výstřiků při znovuzpracování odpadu, drtě nebo regranulátu, vyráběných buď ze stoprocentního odpadu, nebo z originálního materiálu s příměsí odpadu výrazně závisí na typu polymeru. Obecně je možné konstatovat, že degradace vstřikovaných materiálů závisí na jejich tepelném namáhání – teplotě taveniny, obvodové rychlosti šneku (otáčkách šneku) a na obsahu vlhosti. K tomu přistupuje i počet opakujících se zpracovatelských cyklů nebo regranulací. [4]

Hodnocení vhodnosti drtě nebo regranulátu pro další zpracování je možné přivádět měřeními celé řady fyzikálně-mechanických vlastností. Nejčastější je hodnocení změny indexu toku taveniny – viskozita určuje odpor taveniny proti tečení, tzn. že čím je tavenina viskóznější, tím klade toku větší odpor – hůře teče a naopak tavenina o nízké viskozitě teče lépe.

Podle výsledku testů se posoudí, do jaké míry se drť nebo regranulát z hlediska vlastností oddaluje od původních hodnot originálního materiálu. Na základě tohoto posouzení se rozhodne, zda lze vyrábět výstřiky ze 100% drtě nebo ji přimíchávat (při zachování požadované kvality výstřiku) v určitém procentuálním poměru k originálnímu materiálu. V případě zvýšené degradace polymeru nebo směsi originálního materiálu s drtí je ve většině případů třeba změnit některé technologické parametry vstřikování. Oproti původním parametrům se obvykle sníží (tavenina více teče) teplota taveniny, vstřikovací tlak a rychlost, případně s ohledem na jakostní požadavky jinak nastaví i další parametry vstřikování. [5]

Vliv počtu recyklací (drcení nebo regranulace) na vybrané vlastnosti je možné obecně vyjádřit následovně:

Se zvětšujícím se počtem recyklací se zvětšuje:

- Index toku taveniny

Se zvětšujícím se počtem recyklací se snižuje:

- Molekulová hmotnost
- Tažnost
- Vrubová houževnatost



- Viskozita taveniny

V našem případě – druhotném zpracování vtokových soustav – by se vždy mělo dbát na čistotu. PC je vždy nutné ještě dosušovat ve vyhřívacích násypkách. [4] [5]

### **1.4.1. Zařízení pro opětovné zpracování**

Mletí, drcení a granulace patří k základním mechanickým pochodům při opětovném zpracování. Při nich se uplatňují převážně mechanické síly, které rozdělí pevné těleso na množství různě velkých samostatných částic. Vstřikování je značně závislé nejen na velikosti a tvaru částice zpracovávaného granulátu, ale i na jejím frakčním složení.

Mletím se zpravidla rozumí technologický postup, při kterém je surovina rozmělnována na drť o střední velikosti částic menší jak 1 mm a vlastní technologická zařízení se potom označují mlýny. Naopak drcením se označuje technologický postup, jehož výsledkem je drť se střední velikostí částic větší jak 1 mm a využívaná technologická zařízení se nazývají drtiče.

### **1.4.2. Nožové mlýny**

Nožové mlýny slouží především ke zpracování polykarbonátů na drť, která se následně přidává do směsí nebo je dále zpracována na regranulát. Produkt nožových mlýnů obsahuje poměrně vysoké procento prachových částic.

K vlastnímu dělení materiálu dochází vlivem vzájemného účinku statorových a rotorových nožů. Používají se různé tvary a velikosti nožů, které jsou upevněny na speciálně upraveném rotoru a statoru stroje. Způsob upevnění rotorových a statorových nožů musí umožňovat jejich seřízení, snadné vyjmutí a postupné dělení materiálu. [3][4]

### **1.4.3. Výběr nožového mlýnu**

V ALCZ bylo v plánu vyzkoušení dvou druhů nožových mlýnu a najít optimální řešení pro druhotné zpracování vtokových soustav. Mlýn musí splňovat několik kritérií např. výrobní kapacitu, co nejmenší množství prachových částic, nízká míra hluku.



Jako první je k dispozici rychloběžný mlýn GSL 180/180 od společnosti ZERMA Zerkleinerungsmaschinenbau GmbH. Pro porovnání jsme vybrali pomaluběžný mlýn Minor 2 od společnosti Wittmann Batennfeld CZ spol. s.r.o.

Byly vybrány takové mlýny, které mají odlišné parametry, aby se dalo najít optimální řešení pro ALCZ. Souhrn nejdůležitějších parametrů je uveden v tab. č. 1.4.3

Tab. č. 1.4.3 – Porovnání parametrů nožových mlýnů

|                                  | <b>Pomaluběžný mlýn Minor 2</b> | <b>Rychloběžný mlýn GSL 180/180</b> |
|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Počet nožů statoru [ks]</b>   | 2                               | 2                                   |
| <b>Počet nožů rotoru [ks]</b>    | 3                               | 18                                  |
| <b>Počet otáček[ot/min]</b>      | 27                              | 200                                 |
| <b>Výkon [kW]</b>                | 1,5                             | 3                                   |
| <b>Výrobní kapacita [kg/hod]</b> | 12                              | 30                                  |
| <b>Průměr mlecí komory [mm]</b>  | 245                             | 350                                 |
| <b>Hmotnost [kg]</b>             | 160                             | 130                                 |
| <b>Výška [mm]</b>                | 1256                            | 1050                                |
| <b>Délka [mm]</b>                | 600                             | 910                                 |
| <b>Šířka [mm]</b>                | 420                             | 520                                 |

Z technických parametrů je patrné, že vlastnosti těchto mlýnů jsou velmi rozdílné. Pro ALCZ jsou nejvíce rozhodující tyto parametry: počet otáček, výrobní kapacita a průměr mlecí komory. Počet otáček je důležitý kvůli míře hluku (čím vyšší otáčky, tím větší hluk), energetické spotřeby a zahřívání materiálu. Průměr mlecí komory musí být dostačující na to, aby bylo možné druhotně zpracovat největší vtokové soustavy v ALCZ.



## 2. Experimentální část

### 2.1. Analýza současného stavu

Tento projekt, který se zabývá opětovným zpracováním vtokových soustav, vychází z toho, že se v současné době v ALCZ vyprodukuje a následně vyexpeduje téměř 3 miliony kusů vtokových soustav ročně. Naším úkolem je zpracování tohoto množství vtokových soustav za pomoci nožového mlýnu a jeho opětovné navrácení do násypky nad vstřikovacím lisem.

V následující tabulce je zobrazen počet kusů a celková hmotnost materiálu vtokových soustav, které se případně mohou znovu zpracovat. [Tab. č. 2.1]

Tab. č. 2.1 – Roční výroba

| Název              | Počet kusů [kus] | Hmotnost jednoho kusu [g] | Hmotnost celkem [kg] |
|--------------------|------------------|---------------------------|----------------------|
| DC W220            | 17560            | 24                        | 210                  |
| Ford Fiesta        | 18575            | 26                        | 244                  |
| MBR170             | 3778             | 30                        | 560                  |
| VW T5              | 16945            | 30                        | 254                  |
| DC W169            | 16188            | 26                        | 210                  |
| Opel Zafira        | 139788           | 18                        | 1260                 |
| BMW R52            | 3714             | 18                        | 33                   |
| BMW R56            | 455006           | 18                        | 4095                 |
| DC W204            | 48479            | 26                        | 630                  |
| Smart              | 163627           | 18                        | 1472                 |
| BMW E92            | 25026            | 23                        | 281                  |
| Honda Civic        | 22014            | 22                        | 242                  |
| Renault Megane     | 318273           | 19                        | 2944                 |
| Škoda Yeti         | 157677           | 26                        | 2049                 |
| Hyundai            | 77453            | 42                        | 1627                 |
| VW T5 GP           | 383599           | 30                        | 5754                 |
| DC W251            | 30822            | 30                        | 462                  |
| BMW E92 LCI        | 45956            | 23                        | 517                  |
| BMW F12            | 21240            | 35                        | 371                  |
| BMW R60            | 313659           | 18                        | 2823                 |
| DC W204 FL         | 742144           | 26                        | 9648                 |
| Opel Zafira MY12   | 129903           | 36                        | 2338                 |
| DC W246            | 312705           | 36                        | 5629                 |
| Honda Civic MY12   | 106452           | 37                        | 1969                 |
| Rover L322         | 5756             | 45                        | 128                  |
| DC C117            | 179628           | 28                        | 2514                 |
| Škoda Octavia      | 481427           | 22                        | 5296                 |
| Renault X87        | 280350           | 18                        | 2523                 |
| BMW F32/33         | 80879            | 19                        | 768                  |
| Renault Megane PH3 | 70809            | 49                        | 1717                 |
| Maserati M145      | 8775             | 30                        | 130                  |
| Honda Civic 06     | 4108             | 30                        | 62                   |
| ZM44               | 1414             | 37                        | 80                   |
| Mitsubishi Colt    | 3956             | 34                        | 67                   |
| Nisan Interstar    | 12236            | 53                        | 321                  |
| Škoda Yeti FL      | 36379            | 40                        | 728                  |
| Fiat 330           | 93697            | 45                        | 2108                 |
| DC W168            | 3259             | 20                        | 33                   |
| BMW R50            | 441              | 18                        | 4                    |
| Maserati M157      | 15669            | 50                        | 392                  |
| BMW F45            | 176              | 42                        | 4                    |
| DC W251            | 534              | 30                        | 8                    |



Počáteční návrh je použití jednoho nožového mlýnu mezi dva vstřikovací lisy. V tomto případě může nastat problém s kapacitním využitím nožového mlýnu, který je uveden v tabulce č. 1.4.3. Hodinový rozdíl výkonu mezi mlýny je 18 kg za hodinu. V tabulce č. 2.2 je uvedena hmotnost jednotlivých vtokových soustav a jejich délka výrobního cyklu. Abychom dokázali nasimulovat co největší možné vytížení mlýnu, je nutno porovnat různé kombinace vtokových soustav. Tyto kombinace jsou uvedeny v tabulce č. 2.3.

Tab. č. 2.2 – Výrobní cyklus

| Název                     | Hmotnost vtoku [g] | Výrobní cyklus [s] |
|---------------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Renault X87</b>        | 15,5               | 68,3               |
| <b>Opel Zafira MY12</b>   | 28                 | 68                 |
| <b>Renault Megane PH3</b> | 49                 | 61,7               |
| <b>Škoda Octavia</b>      | 21,5               | 64                 |
| <b>BMW R60</b>            | 16,5               | 61                 |
| <b>DC W204 FL</b>         | 13,5               | 56                 |

Tab. č. 2.3 – Celkové zatížení

| Kombinace          | Počet kusů/hod | Vytíženost [kg/hod] |
|--------------------|----------------|---------------------|
| Renault Megane PH3 | 58             | <b>4,3</b>          |
| Opel Zafira MY12   | 53             |                     |
| Renault Megane PH3 | 58             | <b>3,7</b>          |
| Renault X87        | 53             |                     |
| Renault X87        | 53             | <b>2,3</b>          |
| Opel Zafira MY12   | 53             |                     |
| Renault X87        | 53             | <b>1,7</b>          |
| DC W204 FL         | 64             |                     |
| Opel Zafira MY12   | 53             | <b>2,4</b>          |
| DC W204 FL         | 64             |                     |
| Renault Megane PH3 | 58             | <b>3,7</b>          |
| DC W204 FL         | 64             |                     |
| Škoda Octavia      | 56             | <b>2,2</b>          |
| BMW R60            | 59             |                     |
| Škoda Octavia      | 56             | <b>2,1</b>          |
| DC W204 FL         | 64             |                     |
| BMW R60            | 59             | <b>1,8</b>          |
| DC W204 FL         | 64             |                     |



Z uvedené tabulky lze zjistit, že problém s výrobní kapacitou není. Kapacita pomaluběžného mlýnu Minor 2 bude naplněna, v nejhorším případě, z 37%. U rychloběžného mlýnu GSL 180/180 bude kapacita naplněna pouze z necelých 15%.

## 2.2. Laboratorní drcení

Laboratorní drcení mi bylo umožněno v laboratoři ALCZ s rychloběžným mlýnem GSL 180/180. Ve firmě Wittman Battenfeld CZ spol. s.r.o jsem vyzkoušel pomaluběžný mlýn Minor 2.

### 2.2.1. Rychloběžný mlýn GSL 180/180

V laboratoři ALCZ se připravilo několik druhů vtokových soustav, aby se dokázaly nasimulovat podmínky technologického procesu drcení. Zaměřil jsem se na hluk při drcení, teplotu mlecí komory a plynulost mlýnu.

V první části drcení se zkoušelo vhazovat vtokové soustavy po jednom kusu v intervalu 60 sekund. Při této frekvenci byl hluk snesitelný, teplota mlecí komory se nezvyšovala a mlýn pracoval plynule.

Postupně se začaly vhazovat vtokové soustavy každých 30 vteřin různých typů. Tento stav vystihuje budoucí pracovní stav mlýnu. V této situaci je potřeba nosit ochranné sluchátka, protože hluk je příliš vysoký. Teplota mlecí komory se začala zvyšovat na takovou hodnotu, která by mohla ovlivnit výsledný proces drcení.

V poslední části drcení se zkoušelo zahltit rychloběžný mlýn. Při zkoušení maximální výrobní kapacity mlýnu, která je 30 kg za hodinu. Při tomto zatížení byl hluk téměř nesnesitelný, což znamená nepoužitelný pro normální provoz. Plynulost mlýnu byla narušena a mlýn se začal zasekávat. Tento mlýn nemá reversní tlačítko, které otočí o půl otáčky zpět rotorové nože. Teplota mlecí komory již byla na takové úrovni, že rozdrcený materiál ztrácí své mechanické vlastnosti. Vytvořené teplo zvyšuje houževnatost materiálu, která ovlivňuje následné výlisky.





## 2.2.2. Pomaluběžný mlýn Minor 2

Při zkoušení pomaluběžného mlýnu jsem chtěl vyzkoušet stejný postup drcení, jako v předešlém případě. Opět jsem se zaměřil na hluk, teplotu mlecí komory a plynulost drcení.

Zatížením jednoho kusu vtokové soustavy za 60 sekund následovalo jedno hlasitější prasknutí a několik menších křupnutí. Tento jev mě velice překvapil, protože ve srovnání s rychloběžným mlýnem je to ohromný rozdíl už i při této frekvenci. Teplota mlecí komory se nezměnila.

Vhazováním 2 kusů vtokových soustav za 60 sekund se téměř nic nezměnilo. Hluk byl o něco vyšší, ale pořád nebyla potřeba ochranná sluchátka. Teplota mlecí komory se nezměnila.

Pokus o zahlcení mlýnu se nezdařil. Při zatížení téměř 12 kg za hodinu mlýn pracoval plynule a jeho teplota mlecí komory byla téměř totožná jako v prvním případě. Hluk byl stále vyhovující.

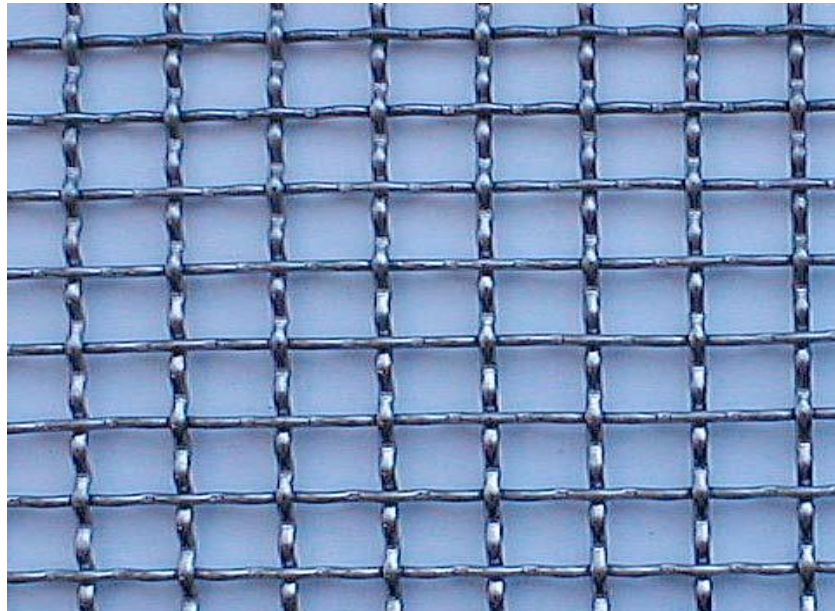
## 2.2.3. Síťová analýza

Síťová analýza nám pomůže rozlišit velikost drtě a celkové množství prachových částic, které by mohly ovlivnit výsledné výrobky.

Pro stanovení distribuce velikosti částic zrnitého materiálu byla vypracována řada metod na principu geometrickém, hydrodynamické a aerodynamické podobnosti.

K základním metodám stanovení distribuce velikosti částic na základě určité geometrické podobnosti patří síťová analýza. Používá se ke zkoumání charakterizujících vlastností práškovitého polymeru.

Podstatou síťové analýzy tkví v prosévání vzorku zrnitého materiálu soustavou sít, dnes běžně používanými jsou Tylerova řada sít. Síť jsou tvořena drátěným pletivem tak, jak je naznačeno na obr. č. 2.2.3.2. [6]



(Obr. č. 2.2.3.2 – Tylerova řada sít)

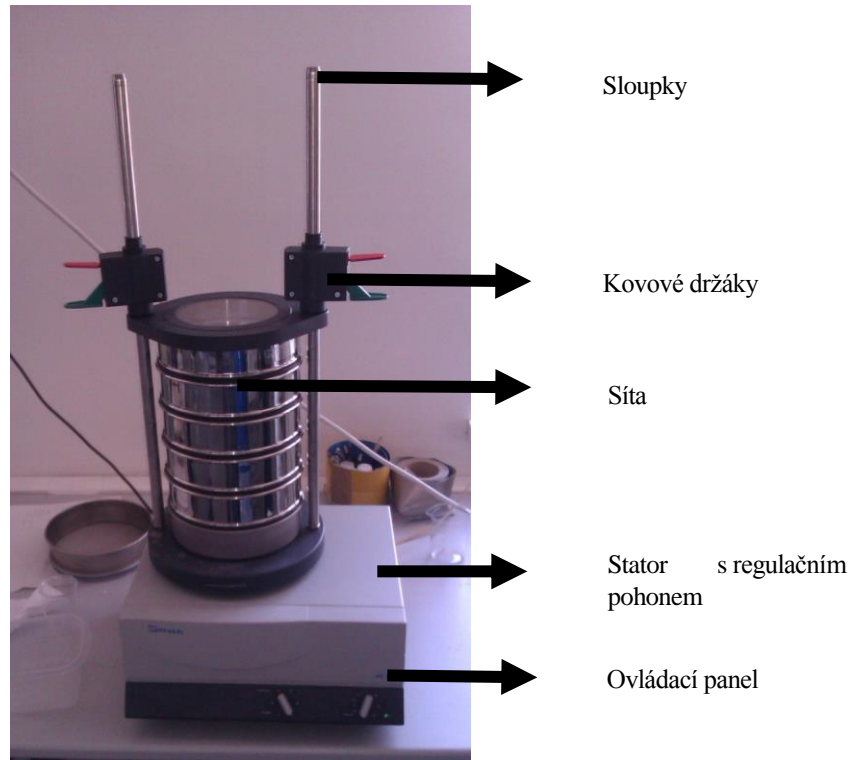
Postup a konečný okamžik při provádění sítové analýzy nelze se všeobecnou platností jednoznačně definovat a musí být proto vhodným způsobem volen. Aby bylo možno výsledky jednotlivých analýz porovnat, je nutno zvolený postup v celém rozsahu měření dodržovat. [6]

### **Postup provádění sítové analýzy**

- Zvolit soustavy sít – Zvolila se taková síta, aby částice drtě nepropadávaly až na spodní misku a zároveň tak, aby největší části nezůstávaly v nejvyšším sítu. Pro naše potřeby se zvolila soustava sít o velikosti ok 4; 3,15; 2; 1 a 0,5 mm.
- Sestavit laboratorní prosévací zařízení – Na sítovací zařízení Retsch AS200 Basic, které je na obr č. 2.2.3.3, jsme sestavili soustavu sít, aby v daném případě síta vykonávaly rovinný posuvný pohyb po kruhových či oválných drahách. Zařízení je vybaveno regulačním pohonem umožňujícím plynulou změnu kruhové frekvence a časovým spínačem.
- Připravit drtě – Drt' zvážíme a nasypeme na horní (nejhrubší síto o velikosti ok 4 mm) síto. Velikost proměřovaného vzorku by se měla pohybovat okolo 100 g.
- Zapnout sítovací zařízení na dobu 10 minut s amplitudou 40% - po 10 minutách vypneme sítovací zařízení
- Rozebrat sítovacího zařízení – rozebereme všechna síta a zvážíme drt' na jednotlivých velikostí ok.



- Očistit – po každém použití síťovacího zařízení je nutné očistit soustavu sít jemným štětečkem nebo jehlou od zaseklých částí drtě.



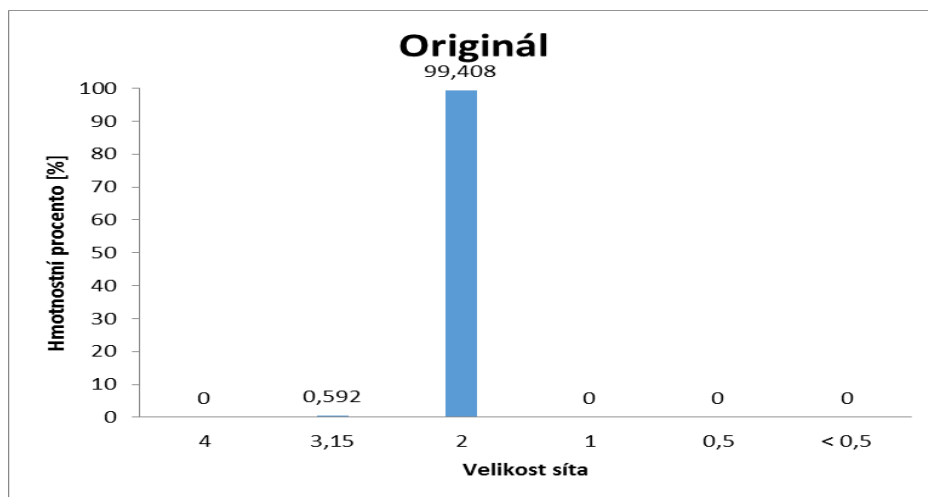
(Obr. č. 2.2.3.3 – Síťovací zařízení Retsch AS200 Basic)

- Opakování měření – Po zvážení a očištění opakujeme celý proces, dokud je potřeba. V našem případě jsme proměřili všechny druhy polykarbonátu, které se v ALCZ používají. Je to – Makrolon 2647, Makrolon 2447 a Lexan LS2. Tyto nadrcené materiály budeme porovnávat s originálním materiálem Lexan LS2.

## Měření

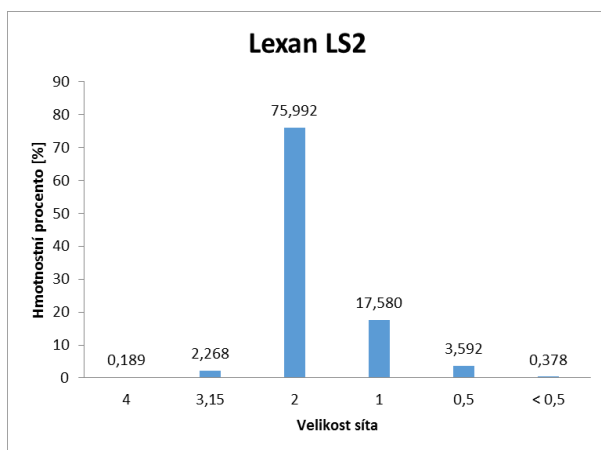
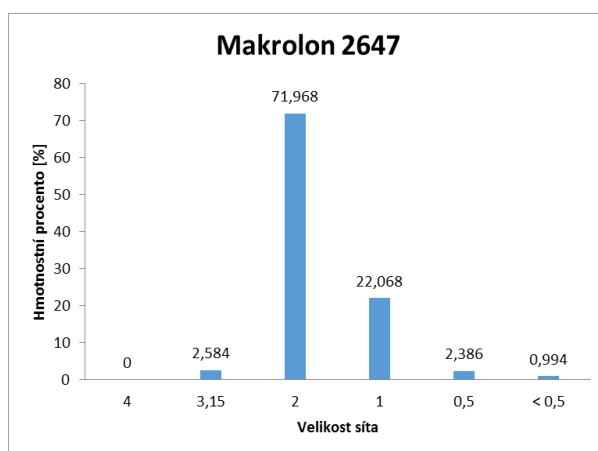
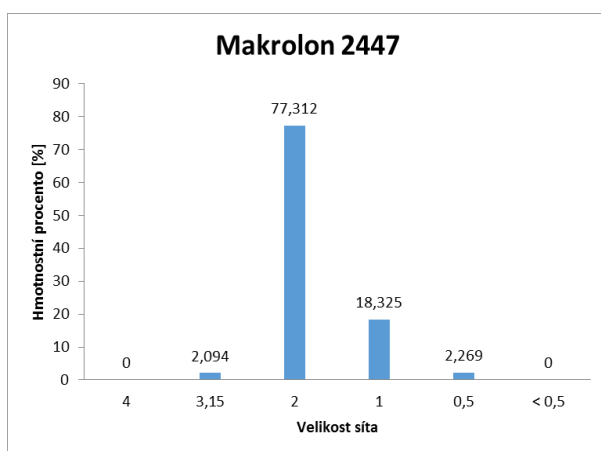
Provedlo se celkem 7 testů. Použila se 3x drť z pomaluběžného mlýnu, 3x drť z rychloběžného mlýnu a jednou se použil originální materiál.

Nejdříve se testoval základní materiál, aby se dokázala určit nejčastější velikost frakce. Z tohoto výsledku, který je uveden v grafu č. 2.2.3.1, můžeme určit hlavní velikost frakce, která je 2 mm.



(Graf č. 2.2.3.1 – Originální materiál Lexan LS2)

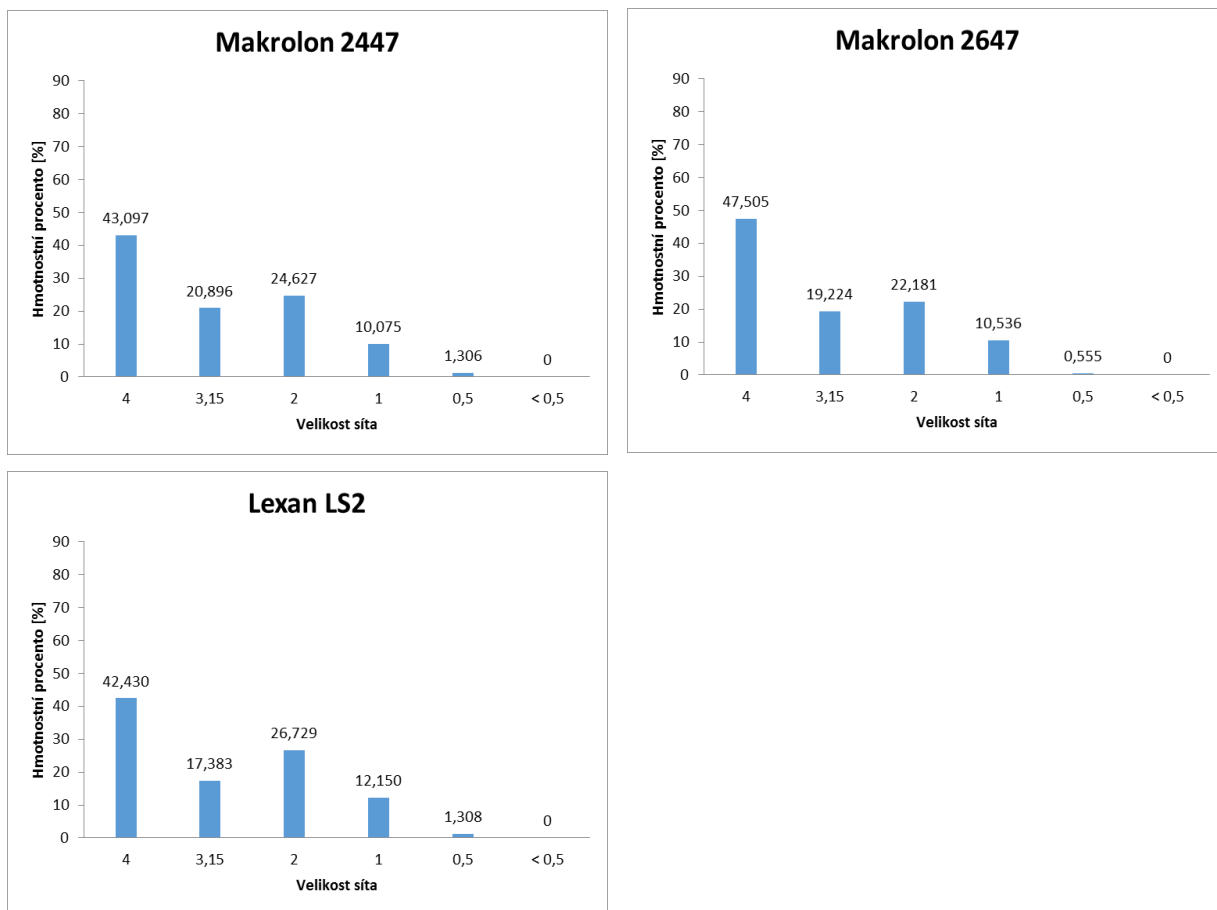
Druhá část měření obsahovala drť z rychloběžného mlýnu. V grafu č. 2.2.3.2 jsou výsledky měření. Můžeme si všimnout, že se velikost drtě velice přiblížila k hlavní hodnotě 2. Přes 70% drtě je stejné velikosti jako originální materiál. Nicméně obsah prachových částic, který je v rozmezí 0,5 do < 0,5, vyšel přes 3%.



(Graf č. 2.2.3.2 – Test drtě z rychloběžného mlýna)



Poslední část testu se týkala drtě z pomaluběžného mlýna. V grafu č. 2.2.3.3 jsou uvedeny výsledky měření. Z naměřených hodnot vyplývá, že se nám velikosti drtě pohybovaly v největším zastoupení u největšího síta, tato hodnota je okolo 45%.



(Graf č. 2.2.3.3 – Test drtě z pomaluběžného mlýna)

## Závěr sítové analýzy

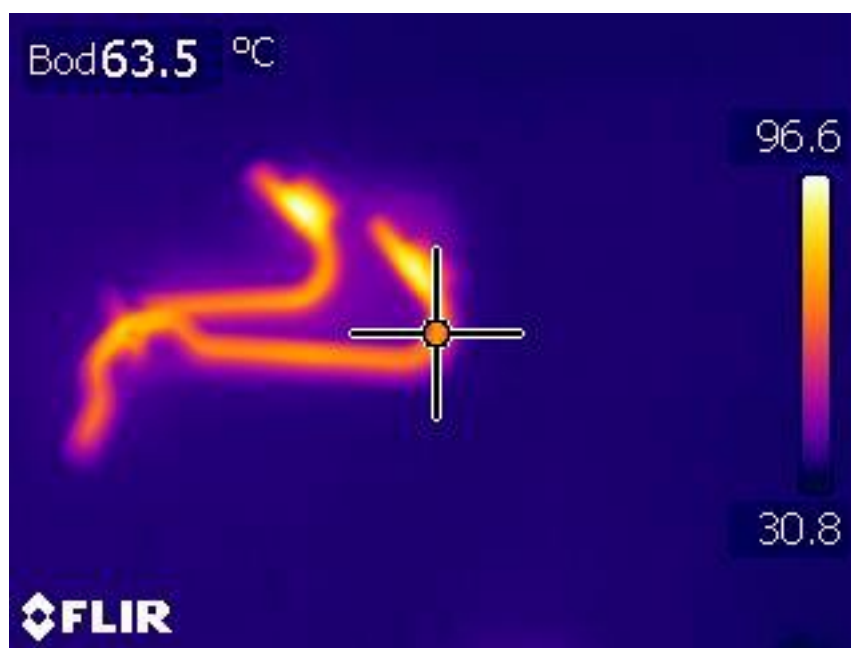
Dle zjištěných informací ze sítové analýzy vychází, že použití rychloběžného mlýnu by mohlo způsobovat problémy s prachovými částicemi. Jak při nasávání (následné lepení částic na sebe pomocí elektrostatického náboje), tak i u lisování (přepalování materiálu, vznik černých teček – nežádoucích vad). Podíl částic je u všech třech testů nejbližší 3mm, který se pohybuje nad 70%. Pomaluběžný mlýn nadrtl materiál, ve kterém není žádný podíl částic o velikosti 0,5 mm. Největší zastoupení je u největšího síta – 4mm, kde je nad 40%. Tento fakt je lepší, než u rychloběžného mlýnu.



## 2.3. Tendence chladnutí

Z důvodu rozdílných mechanických vlastností polykarbonátu při různých teplotách, je důležité zajistit dodávku vtokových soustav do mlecí komory mlýnu stejné teploty. Rozdíl je hlavně v pevnosti polykarbonátu. Při drcení studené vtokové soustavy je polykarbonát pevný a jeho drcení je snazší v tom, že se vazby dobře rozdělují. Drcení horké vtokové soustavy mění pevnost polykarbonátu na houževnatost a drcení doprovází špatné rozemletí vtokové soustavy.

V okamžiku odseknutí vtokové soustavy robotem dosahuje teplota vtokové soustavy až 140°C. Díky použití termo kamery jsem mohl určit tendenci chladnutí. Na obrázku č. 2.3.1 je vtoková soustava, která byla 6 minut na vzduchu o teplotě 27°C. Měření probíhalo v intervalu 3 minuty na lisech LS6 a LS7.



(Obr. č. 2.3.1 – Vtoková soustava, 6 minut na vzduchu)

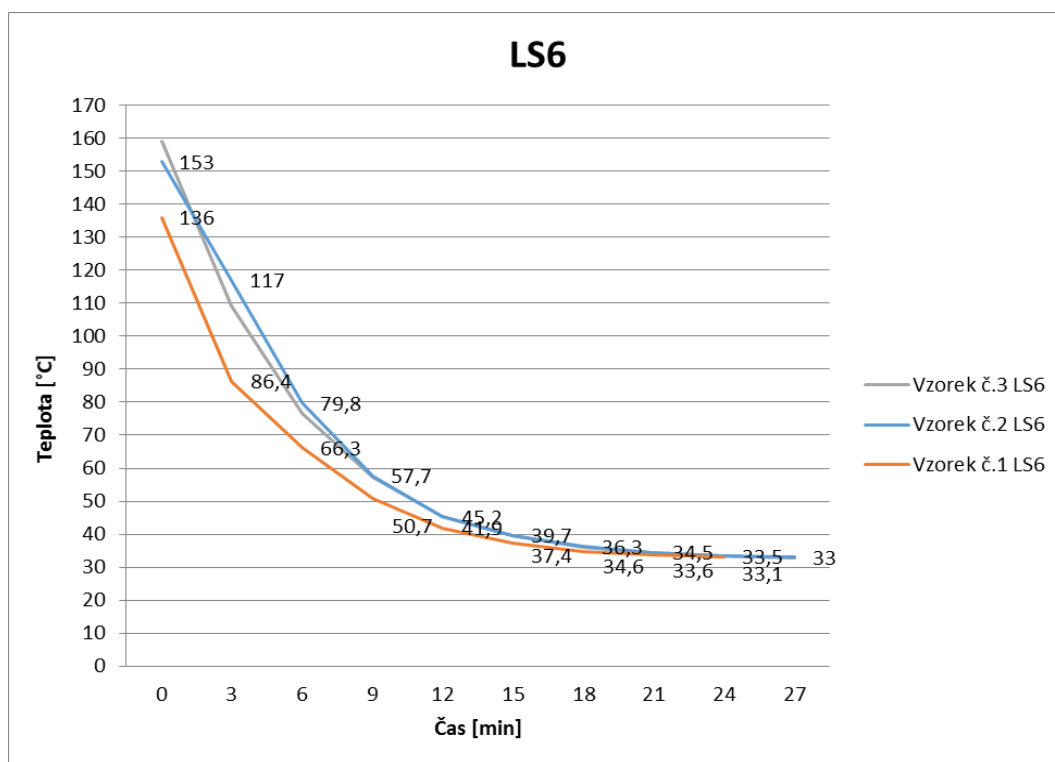
Měřilo se celkem 5 vzorků na různých místech. V tabulce č. 2.3.1 je porovnání dvou vzorků z celkových pěti. Zkoumalo se, za jak dlouho klesne teplota vtokové soustavy na hodnotu pod 40°C. Z měření vyplývá, že tento stav je dosažen po 15 minutách ponechání vtokové soustavy na vzduchu. Poté může probíhat bezpečné drcení.



Tab. č. 2.3.1 – Tendence chladnutí

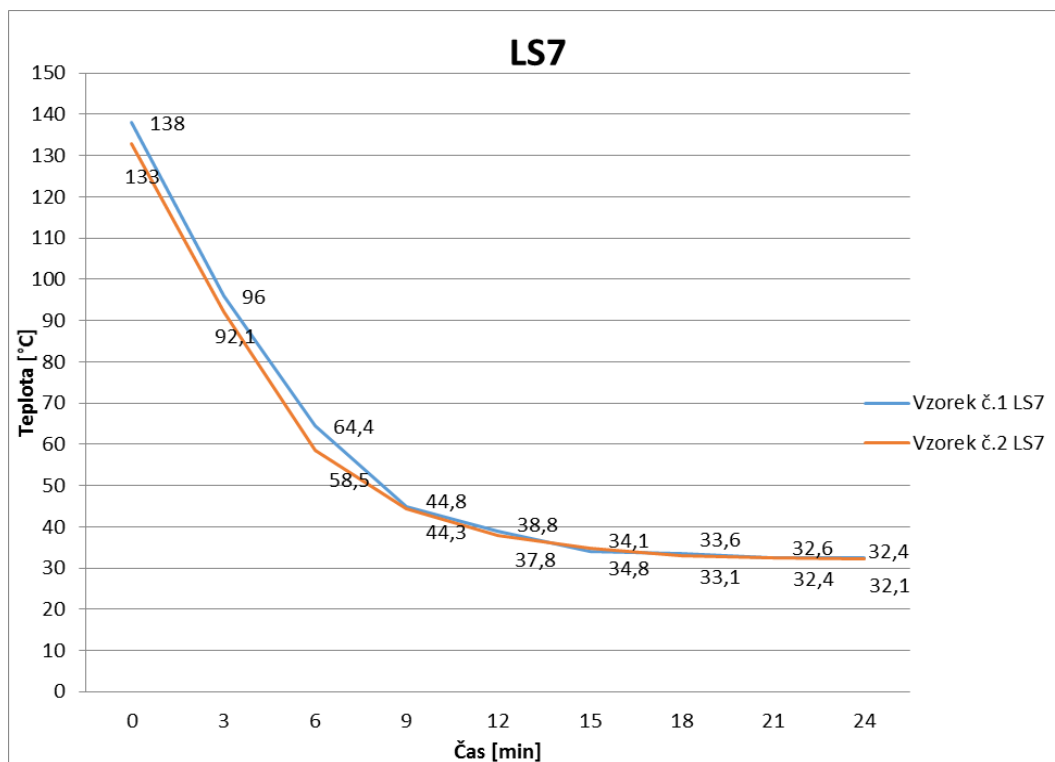
| Vzorek č. 1 LS6 |              | Vzorek č. 1 LS7 |              |
|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
| Čas [min]       | Teplota [°C] | Čas [min]       | Teplota [°C] |
| 0               | 136          | 0               | 138          |
| 3               | 86,4         | 3               | 96           |
| 6               | 66,3         | 6               | 64,4         |
| 9               | 50,7         | 9               | 44,8         |
| 12              | 41,9         | 12              | 38,8         |
| 15              | 37,4         | 15              | 34,1         |
| 18              | 34,6         | 18              | 33,6         |
| 21              | 33,6         | 21              | 32,6         |
| 24              | 33,1         | 24              | 32,4         |

V následujícím grafu č. 2.3.1 je uveden průběh chladnutí třech vzorků na lisu LS6.



(Graf č. 2.3.1 – Tendence chladnutí)

V grafu č. 2.3.2 je uveden průběh chladnutí dvou vzorků na lisu LS7.



(Graf. č. 2.3.2 – Tendence chladnutí)

Z grafů je jasně patrné, že nezáleží na typu vtokové soustavy. Chladnutí vzorků má totožnou tendenci. Díky tomuto zjištění je možné taktovat dopravník do mlecí komory tak, aby vtoková soustava byla dostatečně ochlazená a proběhlo bezproblémové drcení. Doba 15 minut je dostatečná.

## 2.4. Test lisování s drtí

Po sítové analýze se v ALCZ rozhodlo, že se na první testy lisování s drtí použije drť z pomaluběžného mlýnu Minor 2, jelikož se v této drti neobjevují téměř žádné prachové částice. Test bude probíhat tak, že se smíchá 10% drtě, která se musí nejdříve vysušit, a 90% originálního materiálu.

### Postup testu lisování s drtí

- Příprava materiálu – drť se musí vysušit na požadovanou vlhkost dřív, než se bude smíchávat s originálním materiálem. Bylo použito mobilní sušící zařízení, které je na obr. č. 2.4.1. Nastavené parametry mobilního sušícího zařízení byly na 120°C po dobu 6 hodin.
- Míchání – vysušená drť se musí smíchat s originálním materiálem ještě před tím, než se nasype do násypky u vstřikovacího lisu. Míchání probíhalo ručně.





(Obr. č. 2.4.1 – Mobilní sušící zařízení)

- Plnění násypky – k nasávání již smíchaného materiálu se použil externí nasavač, který dopravil materiál do násypky vstřikovacího lisu.
- Lisování – po naplnění násypky lisu, začíná samotné lisování. Lisování proběhlo na lisu, který je na obr č. 2.4.2.



(Obr. č. 2.4.2 – Vstřikovací lis)

V kapitole 1.3.3 je uvedeno, že při lisování s drtí se mění parametry samotného lisování. Na obr. č. 2.4.3a) a b) jsou, pro porovnání, uvedeny parametry lisování s originálním materiálem.



| vyhodnocení   |             |          |          |          |          |          |          |
|---------------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| řádek c.      | pocet dávek | výber c. | výber c. | výber c. | výber c. | výber c. | výber c. |
| 8             | 1791        | 61.1     | 17.9     | 2294     | 2291     | 6.91     | 20.3     |
| 7             | 1792        | 61.1     | 17.7     | 2291     | 2287     | 6.89     | 20.4     |
| 6             | 1793        | 61.1     | 17.8     | 2290     | 2290     | 6.90     | 20.4     |
| 5             | 1794        | 61.1     | 17.9     | 2295     | 2295     | 6.92     | 20.3     |
| 4             | 1795        | 61.1     | 18.0     | 2299     | 2299     | 6.92     | 20.3     |
| 3             | 1796        | 61.1     | 17.8     | 2291     | 2287     | 6.92     | 20.3     |
| 2             | 1797        | 61.1     | 17.7     | 2294     | 2291     | 6.90     | 20.1     |
|               | 1798        | 61.1     | 17.7     | 2290     | 2286     | 6.96     | 20.1     |
| minim.hodnota |             | 55.8     | 14.3     | 1594     | 19       | 5.24     | 0.3      |
| maxim.hodnota |             | 96.8     | 189.8    | 2573     | 2499     | 22.06    | 26.7     |
| střed.hodnota |             | 61.1     | 17.8     | 2292     | 2289     | 6.92     | 20.2     |
| Celk.str.hodn |             | 58.6     | 19.7     | 2379     | 2374     | 6.14     | 16.8     |
| stand.odchyl. |             | 0.076    | 0.164    | 4.680    | 5.284    | 0.026    | 0.122    |
| Celk. chyba   |             | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |

| vyhodnocení   |             |          |          |          |          |          |          |
|---------------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| řádek c.      | pocet dávek | výber c. | výber c. | výber c. | výber c. | výber c. | výber c. |
| 8             | 1792        | 233.3    | 295      | 281      | 7.3      | 6.7      | 61.1     |
| 7             | 1793        | 233.2    | 295      | 281      | 7.3      | 6.7      | 61.1     |
| 6             | 1794        | 233.4    | 296      | 281      | 7.3      | 6.7      | 61.1     |
| 5             | 1795        | 233.4    | 296      | 281      | 7.4      | 6.7      | 61.1     |
| 4             | 1796        | 233.3    | 295      | 281      | 7.3      | 6.7      | 61.1     |
| 3             | 1797        | 233.3    | 295      | 281      | 7.4      | 6.7      | 61.1     |
| 2             | 1798        | 233.6    | 295      | 281      | 7.3      | 6.7      | 61.1     |
|               | 1799        |          |          |          |          |          |          |
| minim.hodnota |             | 222.5    | 294      | 280      | 7.2      | 6.6      | 61.0     |
| maxim.hodnota |             | 234.5    | 297      | 281      | 7.5      | 6.7      | 96.8     |
| střed.hodnota |             | 233.4    | 295      | 280      | 7.3      | 6.6      | 61.1     |
| Celk.str.hodn |             | 233.3    | 295      | 280      | 7.3      | 6.6      | 61.2     |
| stand.odchyl. |             | 0.152    | 0.515    | 0.979    | 0.084    | 0.096    | 0.076    |
| Celk. chyba   |             | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |

(Obr. č. 2.4.3 a),b)– Parametry lisování s originálním materiálem)

Na obr. č. 2.4.4 a) a b) jsou uvedeny parametry lisování s deseti hmotnostními procenty drtě. Z uvedených parametrů je patrné, že při použití deseti hmotnostními procenty drtě se parametry téměř nemění. Nepatrné rozdíly byly konzultovány s technologem lisování, který potvrdil, že tato změna nemá žádný vliv na lisování.

| vyhodnocení   |             |          |          |          |          |          |          |
|---------------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| řádek c.      | pocet dávek | výber c. | výber c. | výber c. | výber c. | výber c. | výber c. |
| 8             | 1832        | 60.9     | 18.1     | 2306     | 2302     | 6.83     | 20.4     |
| 7             | 1833        | 61.0     | 18.1     | 2309     | 2309     | 6.87     | 20.3     |
| 6             | 1834        | 61.0     | 18.2     | 2319     | 2312     | 6.87     | 20.3     |
| 5             | 1835        | 61.0     | 18.4     | 2324     | 2320     | 6.87     | 20.3     |
| 4             | 1836        | 61.0     | 18.4     | 2316     | 2311     | 6.92     | 20.3     |
| 3             | 1837        | 61.0     | 18.2     | 2301     | 2301     | 6.87     | 20.4     |
| 2             | 1838        | 61.0     | 18.1     | 2305     | 2301     | 6.85     | 20.5     |
|               | 1839        |          | 18.3     | 2305     | 2299     | 6.90     | 20.6     |
| minim.hodnota |             | 55.8     | 14.3     | 1594     | 19       | 5.24     | 0.3      |
| maxim.hodnota |             | 96.8     | 189.8    | 2573     | 2499     | 22.06    | 36.2     |
| střed.hodnota |             | 61.4     | 18.0     | 2295     | 2293     | 6.92     | 20.7     |
| Celk.str.hodn |             | 58.6     | 19.7     | 2379     | 2374     | 6.14     | 16.8     |
| stand.odchyl. |             | 1.861    | 0.478    | 32.400   | 31.950   | 0.109    | 2.269    |
| Celk. chyba   |             | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |

(Obr. č. 2.4.4 a)– Parametry lisování s drtí)



Hodnoty na obr. č. 2.4.3 a 2.4.4 jsou uvedeny bez bližší specifikace kvůli výrobnímu tajemství ALCZ.

| vyhodnocení   |       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|---------------|-------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| řádek         | pocet | výber                    |                          | výber                    |                          | výber                    |                          |
| c.            | dávek | c.                       | 22                       | c.                       | 41                       | c.                       | 36                       |
|               |       | c.                       | 1                        | c.                       | 2                        | c.                       | 0                        |
| 8             | 1832  | 233.1                    | 296                      | 280                      | 7.3                      | 6.6                      | 60.9                     |
| 7             | 1833  | 233.4                    | 296                      | 280                      | 7.3                      | 6.6                      | 61.0                     |
| 6             | 1834  | 233.5                    | 296                      | 281                      | 7.3                      | 6.6                      | 61.0                     |
| 5             | 1835  | 233.5                    | 296                      | 280                      | 7.4                      | 6.6                      | 61.0                     |
| 4             | 1836  | 233.3                    | 295                      | 281                      | 7.3                      | 6.6                      | 61.0                     |
| 3             | 1837  | 233.2                    | 295                      | 281                      | 7.3                      | 6.6                      | 61.0                     |
| 2             | 1838  | 233.0                    | 295                      | 281                      | 7.4                      | 6.6                      | 61.0                     |
|               | 1839  | 233.1                    | 295                      | 280                      | 7.4                      | 6.6                      | 61.1                     |
| minim.hodnota |       | 222.5                    | 294                      | 280                      | 7.2                      | 6.6                      | 60.9                     |
| maxim.hodnota |       | 234.5                    | 297                      | 281                      | 7.5                      | 6.7                      | 96.8                     |
| střed.hodnota |       | 233.1                    | 295                      | 280                      | 7.3                      | 6.6                      | 61.4                     |
| Celk.str.hodn |       | 233.3                    | 295                      | 280                      | 7.3                      | 6.6                      | 61.2                     |
| stand.odchyl. |       | 1.110                    | 0.750                    | 0.842                    | 0.067                    | 0.055                    | 1.861                    |
| Celk. chyba   |       | 0                        | 0                        | 0                        | 0                        | 0                        | 0                        |

(Obr. č. 2.4.4 b) – Parametry lisování s drtí

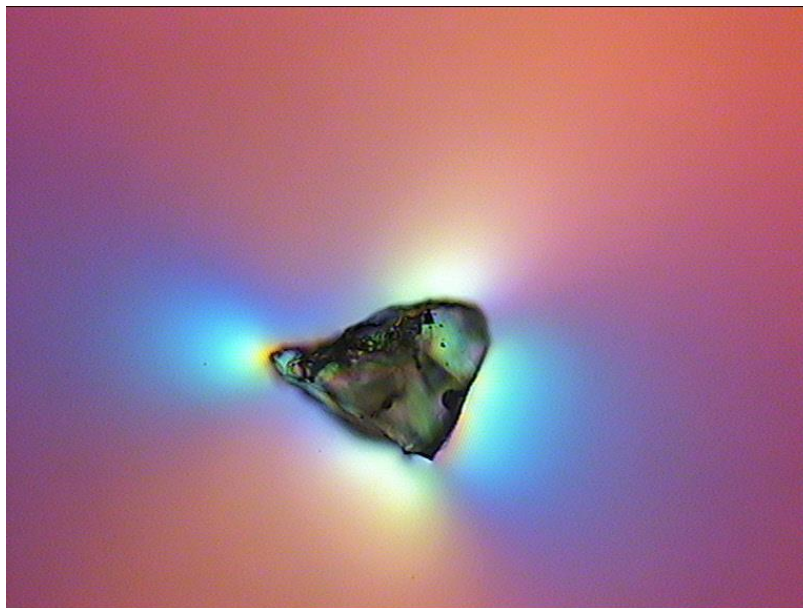
- Zmetkovitost – vytvořená drť, která se smíchala s originálním materiálem, vystačila na 68 zdvihů, což znamená, že se vylisovalo 136 kusů krycích skel. Celková zmetkovitost je uvedena v tab. č. 2.4.

Tab. č. 2.4 – Počet vadných výlisků

| Vada      | Stříbření | Šmouhy | Černé tečky | Celkem    |
|-----------|-----------|--------|-------------|-----------|
| Levý kus  | 2         | 7      | 5           | <b>14</b> |
| Pravý kus | 1         | 4      | 5           | <b>10</b> |

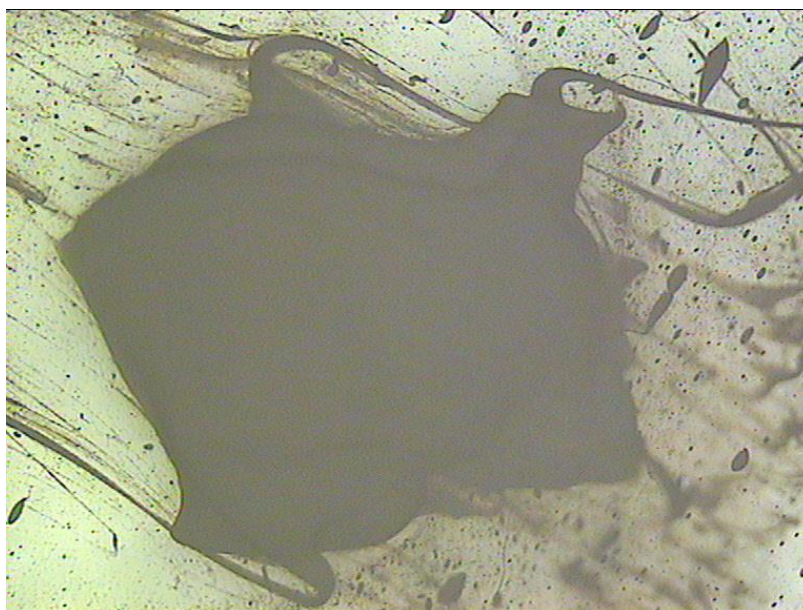
Celkem se zaznamenalo 24 zmetků. Největší zastoupení má vada šmouhy a černé tečky.

- Vyšetření vad – pro zjištění příčin vad je nutné udělat laboratorní prozkoumání. Krycí sklo s vadou se rozřeže vibrační pilkou. Velikost vzorku musí být taková, aby se vzorek vešel pod mikroskop. Po rozřezání se vzorek obrousí na brusném papíře.
- Kontrola mikroskopem – po výrobě vzorků se každý kus prozkoumá pod mikroskopem. Na obr. č. 2.4.5 je vidět černá tečka. V tomto případě se jedná o úlomek kovu.



(Obr. č. 2.4.5 – černá tečka – úlomek kovu)

Pro srovnání je na obr. č. 2.4.6 je opět černá tečka, ale tentokrát z jiného důvodu. Na obrázku je vidět kousek černé granule, která se dostala mezi bílé granule. Při hodnocení vady pouhým okem je nemožné poznat rozdíl a z toho důvodu se musí dělat mikroskopická kontrola vad.



(Obr. Č. 2.4.6 – černá tečka – černá granule)



Při dalším zkoumání vad se přišlo na to, že při ručním míchání se do drtě přivedly nečistoty v podobě textilií. Na obr. č. 2.4.7 a 2.4.8 jsou zachyceny textilie, které se jevily jako černé tečky.



(Obr. č. 2.4.7 – černá tečka - textilie)



(Obr. č. 2.4.8 – černá tečka – textilie)



## **Závěr testu lisování s drtí**

Test lisování s drtí dopadl úspěšně. Porovnání parametrů lisování s drtí a bez drtě jsou téměř totožné, takže se nebude muset opravovat karta vstřikovacích parametrů při lisování s drtí. Zmetkovitost je v tomto případě zavádějící, protože se při míchání originálního materiálu s drtí kontaminovala celá směs textilií.



### 3. Závěr

Bakalářská práce vznikla na základě požadavků firmy Automotive Lighting s.r.o. v Jihlavě.

Byl v ní zpracován návrh zařízení, které umožní využít vtokové soustavy, které jsou do současné doby nevyužívaným odpadem.

V práci byla navržena varianta pro jejich využití jako suroviny pro další výrobu. Bylo navrženo drčení vtokových soustav. Po prostudování různé firemní literatury se mezi nejlepší varianty zařadily dva typy zařízení pro zpracování vtokových soustav – pomaluběžný mlýn Minor 2 a rychloběžný mlýn GSL 180/180.

Na základě srovnání zařízení rychloběžného a pomaluběžného mlýnu doporučuji firmě Automotive Lighting investovat do pomaluběžného mlýna Minor 2 pro jeho vhodnější způsob zpracování vtokových soustav.

Pomaluběžný mlýn, oproti rychloběžnému, vyniká hlavně v schopnosti drtit vtokové soustavy téměř bez výskytu prachového podílu. Kvůli prachovému podílu by totiž nastal problém při nasávání drtě do vstřikovacího lisu, kdy částice jsou k sobě přitahovány vlivem vzniklého elektrostatického náboje. Tento fakt potvrdila síťová analýza, která byla vykonána na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně na technologické fakultě.

Mezi další užité vlastnosti pomaluběžného mlýna patří jeho nízká hlučnost. Vysoká hlučnost by negativně ovlivnila ergonomické podmínky, což by vyvolalo nežádoucí efekt prováděných opatření s ohledem na operátory pracoviště předvýroby MFO5.

Ve společnosti Automotive Lighting, s.r.o. působím od července 2013 a snažím se získat co možná nejkomplexnější náhled na problém zpracování vtokových soustav.

Navrhovaným řešením se podařilo dosáhnout vytyčených cílů bakalářské práce. Výsledky podstatné pro ověření efektivnosti budou získány až po delším časovém úseku od zavedení do výroby, s čímž se již uvažuje.



# Seznam použité literatury

- [1] Firemní literatura, (Automotive Lighting s.r.o., Jihlava)
  
- [2] MLEZIVA J., ŠŇUPÁREK J., Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použití, SABOT8LES, Praha 2000
  
- [3] ZEMAN L., Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů. BEN – technická literatura. Praha 2009
  
- [4] ŠPAČEK J., Technologie gumárenská a plastikářská, SNTL Praha 1987
  
- [5] HRBÁČEK J., (Materiálový inženýr – Automotive Lighting s.r.o., Jihlava)
  
- [6] PAVLÍNEK V., (Fakulta technologická, UTB Zlín)
  
- [7] CICHRA M., KRÁL P., (Technologové lisování – Automotive Lighting s.r.o., Jihlava)