

# Vliv teploty formy na výsledné vlastnosti chladičových komor

Bc. Jiří Bílek

---

Diplomová práce  
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2018/2019

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří Bílek**  
Osobní číslo: **T17355**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Vliv teploty formy na výsledné vlastnosti chladičových komor**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování literární rešerše na dané téma
2. Výroba chladičových komor při různém nastavení teploty formy
3. Měření rozměrové stability po vyjmutí z formy a následně po teplotní zátěži
4. Hodnocení kvality povrchu a vnitřní kvality komor
5. Vyhodnocení získaných dat a doporučení pro výrobu

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. ZEMAN, Lubomír. Vstříkování plastů: teorie a praxe. 1st ed. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1
2. KERKSTRA, Randy a Steve BRAMMER. Injection molding advanced troubleshooting guide. Munich: Hanser Publishers, 2018. ISBN 978-1-56990-645-3
3. YANG, Yi, Xi CHEN, Ningyun LU a Furong GAO. Injection molding process control, monitoring, and optimization. Munich: Hanser, 2016, Progress in polymer processing series. ISBN 978-1-56990-592-0
4. PÖTSCH, Gerd a Walter MICHAELI. Injection molding: an introduction. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, 2008. ISBN 978-1-56990-419-0

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Ladislav Fojtl, PhD.**  
Ústav výrobního inženýrství  
Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2019**  
Termín odevzdání diplomové práce: **17. května 2019**

Ve Zlíně dne 1. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: BÍLEK JIŘÍ

Obor: VÝROBNÍ  
INŽENÝRSTVÍ

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby<sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3<sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60<sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60<sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 10.5.2019

Bílek

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

---

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá posouzením vlivu teploty formy na vybrané vlastnosti vstřikovaných chladičových komor. Práce v teoretické části pojednává o technologii vstřikování, polymerních materiálech se zaměřením na materiály, používané u těchto komor a v poslední části poskytuje potřebné informace o automobilových chladičích.

V praktické části jsou vyrobeny zkušební vzorky při zvolených teplotách formy a popsány jednotlivé zkušební metody. Hlavním cílem práce je vyhodnocení vlivu teploty formy na jednotlivé sledované vlastnosti.

Klíčová slova: vstřikování, automobilový chladič, chladičová komora, teplota formy

## **ABSTRACT**

The Master thesis deals with the assessment of the influence of injection mold temperature on chosen properties of the cooler tanks. In the theoretical part the work discusses about the injection molding technology, materials used for these tanks and car radiators itself are described in the last part.

In the practical part, test samples at chosen mold temperatures are produced and individual further test methods are described. The main aim of the thesis is the evaluation of the influence of the injection mold temperature on the particular properties.

Keywords: injection molding, car radiator, radiator tank, injection mold temperature

Tímto chci poděkovat panu Ing. Ladislavu Fojtlovi, Ph.D. za odborné vedení při psaní diplomové práce, za jeho rady, čas a ochotu. Dále děkuji firmě Hanon Systems Autopal s.r.o. za možnost vypracovat tuto práci a jejím zaměstnancům za předání cenných rad. Děkuji také své rodině a především své manželce za podporu při studiu.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERŮ</b> .....	<b>12</b>
1.1    TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....	12
1.2    VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	14
1.2.1    Vstřikovací jednotka .....	15
1.2.2    Uzavírací jednotka .....	15
1.3    VSTŘIKOVACÍ FORMA.....	15
1.3.1    Typy a části forem.....	16
1.3.2    Typy vtoků .....	18
<b>2 POLYMERNÍ MATERIÁLY</b> .....	<b>21</b>
2.1    ELASTOMERY .....	21
2.2    PLASTY .....	21
2.2.1    Termoplasty.....	22
2.2.2    Reaktoplasty .....	26
<b>3 AUTOMOBILOVÉ CHLADIČE</b> .....	<b>27</b>
3.1    HISTORIE VÝROBY CHLADIČŮ.....	27
3.2    CHLAZENÍ MOTORU KAPALINOU.....	28
3.3    SOUČÁSTI CHLADIČE .....	30
3.3.1    Víko.....	31
3.3.2    Trubka .....	32
3.3.3    Vlnovec .....	33
3.3.4    Bočnice.....	34
3.3.5    Těsnění .....	35
3.3.6    Komora.....	36
3.4    TYPY CHLADIČŮ.....	38
3.4.1    Cross flow (X-flow) .....	38
3.4.2    Down flow (D-flow) .....	39
3.4.3    U-flow .....	39
3.4.4    Multi row (víceřadé) .....	40
3.4.5    Counter cross flow (CC-flow).....	41
3.4.6    Multi pass flow (MP-flow).....	41
3.5    VÝROBA CHLADIČE .....	42
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>44</b>
<b>4 ÚVOD DO PRAKTICKÉ ČÁSTI A CÍLE PRÁCE</b> .....	<b>45</b>
<b>5 VSTŘIKOVÁNÍ VZORKŮ</b> .....	<b>46</b>
5.1    POPIS KOMORY .....	46
5.2    VÝROBA VZORKŮ .....	46
<b>6 COOKING TEST</b> .....	<b>49</b>



<b>7</b>	<b>ROZMĚROVÁ ANALÝZA .....</b>	<b>52</b>
<b>8</b>	<b>ROZMĚROVÁ ANALÝZA ZA ZVÝŠENÝCH TEPLOT .....</b>	<b>55</b>
<b>9</b>	<b>PODÍL KRYSTALICKÉ FÁZE .....</b>	<b>57</b>
<b>10</b>	<b>ODRAZIVOST .....</b>	<b>60</b>
<b>11</b>	<b>LESK .....</b>	<b>62</b>
<b>12</b>	<b>PÓROVITOST .....</b>	<b>64</b>
<b>13</b>	<b>ODOLNOST PROTI STÁRNUTÍ.....</b>	<b>68</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>73</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>75</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>78</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>80</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>82</b>

## ÚVOD

Automobilový průmysl je velmi důležitým prvkem českého hospodářství. Firmy, které dodávají své výrobky do automobilek, se z hlediska pracovního trhu těší jisté prestiži. Být dodavatelskou firmou pro automobilový průmysl sebou ovšem přináší i mnohá úskalí. Jedním z nich jsou vysoké nároky na kvalitu dodávaných dílů, s čím souvisí potřebná úroveň a kvalita výrobního procesu těchto dílů.

Firma Hanon Systems Autopal s.r.o. je výrobcem chladicí a klimatizační techniky pro automobily. Jedná se o společnost, která má své výrobní závody a inženýrská centra v 21 zemích po celém světě. V České republice má své zastoupení ve dvou městech, a to v Hluku a v Novém Jičíně.

Tato práce se zabývá jedním komponentem chladiče automobilového motoru, a to konkrétně chladičovou komorou. Chladič je tepelný výměník, který je (kromě těsnění a komor) vyrobený z hliníku a slouží ke snižování pracovní teploty motoru pomocí chladicí kapaliny. Materiálem těsnění je vulkanizovaná pryž, zatímco komory jsou vyráběny z termoplastů, nejčastěji pak z polyamidu (PA66). Diplomová práce bude zkoumat vliv teploty formy na vybrané vlastnosti této termoplastické komory, které jsou nejčastěji zákazníkem kontrolovány a jejichž vysoká kvalita je požadována.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

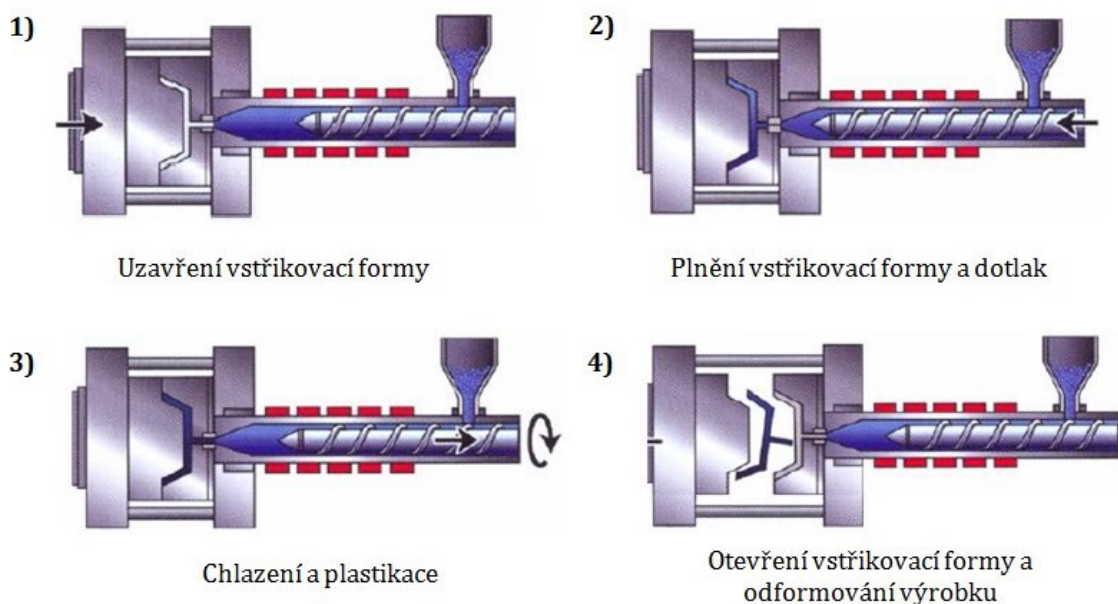
## 1 VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERŮ

Vstřikování je jednou z hlavních metod zpracování polymerů. Jeho podstatou je vstříknutí dávky roztaveného, zpracovávaného materiálu z plastikační jednotky do tvarové dutiny formy, kde materiál tuhne a získává tvar finálního výrobku. Vstříknutí je provedeno velkou rychlostí a pod velkým vstřikovacím tlakem, aby se tavenina dostala včas do všech míst dutiny formy a nedocházelo tak ke vzniku povrchových i vnitřních defektů. [1], [2], [3]

Výrobky vyrobené touto technologií jsou označovány jako výstřiky (nebo nesprávně také výlisky). Vstřikováním se dají vyrábět polotovary určené pro zpracování dalšími technologiemi, díly pro sestavení samostatného celku a výrobky, které již mají charakter konečného výrobku. [2]

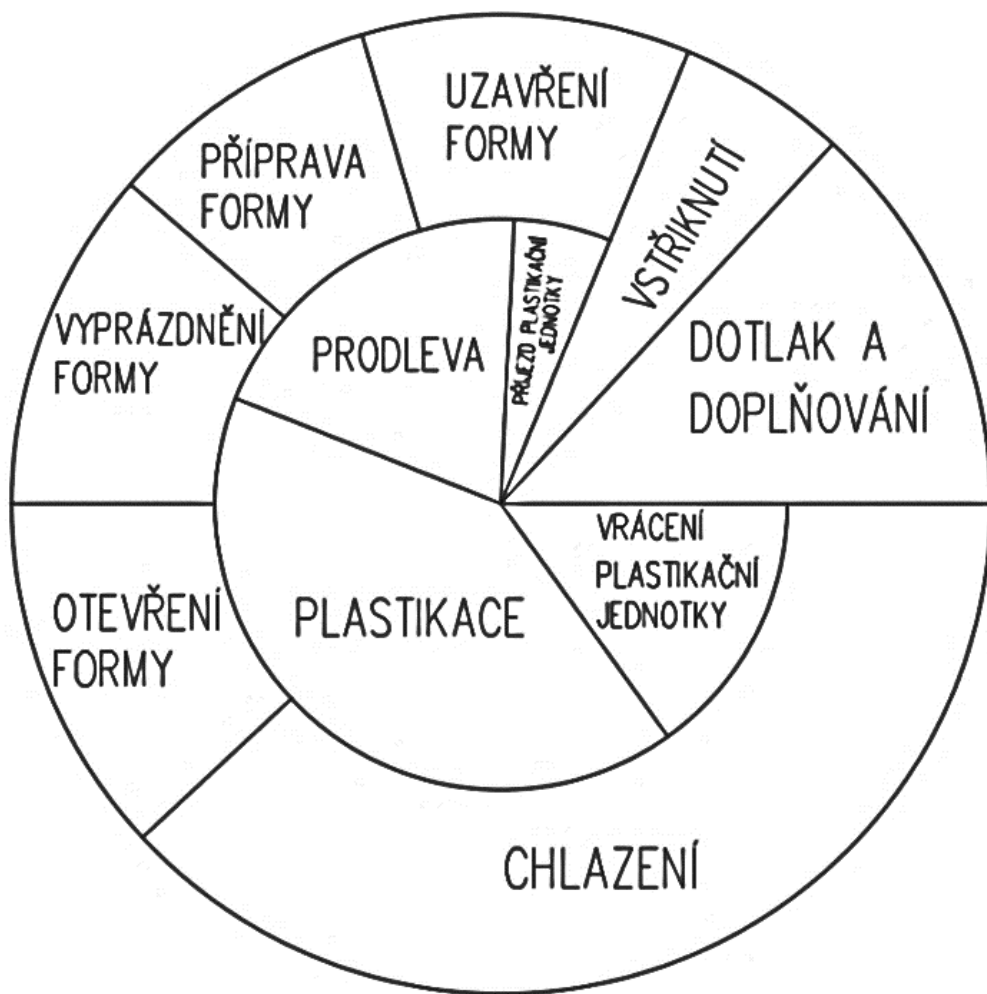
### 1.1 Technologie vstřikování

Technologie vstřikování má široké aplikační možnosti obzvláště v automobilové či elektrotechnické oblasti průmyslu, což z ní činí velmi perspektivní výrobní obor. Jedná se o diskontinuální výrobní proces – cyklickou výrobu, kdy hlavní podmínkou vysoké kvality výroby je zajištění stability procesu za optimálních vstupních parametrů. Je tedy nutné zajistit, aby všechny vstřikovací cykly měly stejný průběh. [1]



Obr. 1. Vstřikovací cyklus [2]

Získání finálního výrobku je dosaženo sledem několika úkonů. Nejdříve je polymer ve formě granulátu nasypán do násypky, odkud je odebírán pracovní částí vstřikovacího stroje. Pomocí šneku nebo pístu je granulát dále dopravován do tavicí komory, kde účinkem tření a topných těles taje a vzniká z něj tavenina. Dalším krokem je již samotné vstřikování taveniny do uzavřené dutiny formy, která má nižší teplotu, než je teplota taveniny. Aby tavenina úplně vyplnila dutinu formy a získala její tvar, je zapotřebí optimalizovat množství vstřikované dávky a také dotlakovou fázi, která redukuje smrštění a rozměrové změny výrobku. Následuje fáze ochlazování, při níž je teplo taveniny předáváno formě, čímž dochází k tuhnutí polymeru ve finální výrobek. Po ztuhnutí se forma otevírá a vyhazovací systém vyhodí výrobek. Následně se celý cyklus opakuje. Sled výše popsaných úkonů je společně s jejich přibližnou časovou náročností graficky znázorněn na Obr. 2. [2]



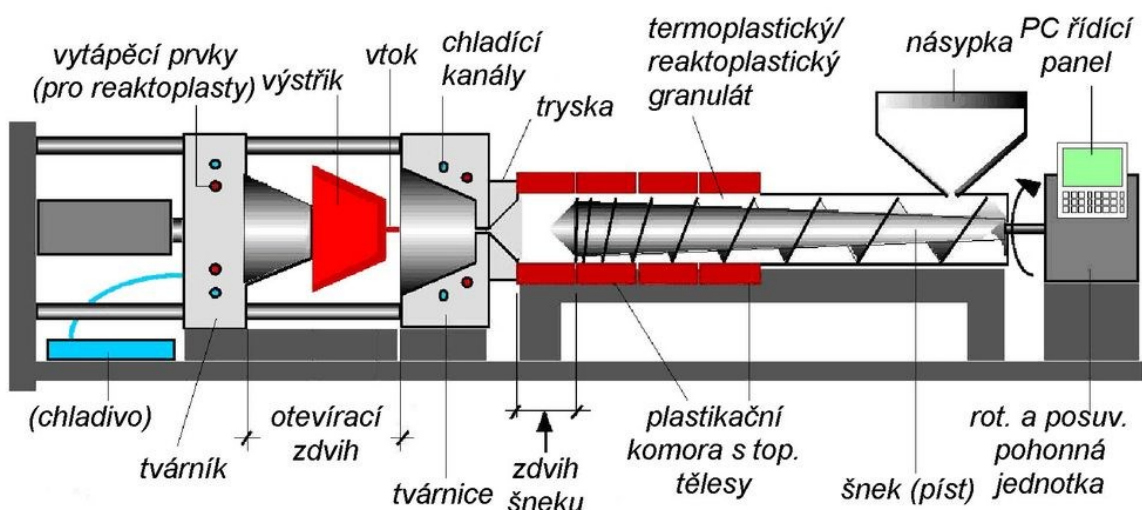
Obr. 2. Grafické znázornění sledu jednotlivých operací vstřikovacího cyklu [3]

Teplota formy je dominantním parametrem fáze chlazení z hlediska kvality výrobků. Rychlost ochlazování je určující pro relaxační jevy, které ovlivňují výsledný stupeň a rozložení orientace, případně složku orientačního a tepelného pnutí a u částečně krystalických polymerů i krystalickou strukturu. S rostoucí teplotou formy klesá rychlost ochlazování a je tedy potřeba delší doba k ochlazení výrobku. Obecně platí, že s klesající rychlostí ochlazování roste obsah krystalického podílu u částečně krystalických polymerů. Na výrobcích je pak pozorováno větší smrštění a při klesajícím dosmrštění, navlhavosti a tažnosti také specifická hmotnost, pevnost, tvrdost a tuhost. Zvýšení teploty formy navíc pozitivně ovlivňuje povrchový lesk a celkovou kvalitu povrchu výrobku. [1]

## 1.2 Vstřikovací stroj

Aby mohl být vstřikovací cyklus optimalizován, je potřeba mít zcela funkční vstřikovací stroj, u kterého je prováděna pravidelná údržba. Vysoká produktivita práce, která je předpokladem pro výrobu ve velkých sériích, se pak dá dosáhnout především s pomocí plně automatického moderního stroje. Při výběru stroje je třeba zohlednit požadavky týkající se kapacity plastikační jednotky a velikosti uzavírací síly. Velkou nevýhodou technologie vstřikování jsou však hodně vysoké náklady na pořízení vstřikovacího stroje a dalšího strojního zařízení, které s výrobou souvisí, jako jsou například nejrůznější dopravníky, sušárny, manipulátory či roboti. [1], [2]

Vstřikovací stroj lze rozdělit na tři hlavní části – vstřikovací jednotku, uzavírací jednotku a řídicí jednotku (viz Obr. 3). [2]



Obr. 3. Schéma vstřikovacího stroje [2]

### 1.2.1 Vstřikovací jednotka

Primárními funkcemi vstřikovací jednotky jsou přeměna granulátu polymeru na taveninu a vstříknutí taveniny do dutiny formy. V současnosti se používají šnekové vstřikovací jednotky, které v 50. letech minulého století nahradily do té doby používané jednotky pístové. Dalšími částmi šnekové vstřikovací jednotky jsou násypka, tavicí komora s topnými tělesy a vstřikovací tryska. [2]

Při plastikační fázi cyklu se granulát z násypky dopravuje pomocí otáčení šneku až do tavicí komory, kde polymer taje a dochází k jeho hromadění před čelem šneku, přičemž šnek současně ustupuje dozadu. Po zplastikování dostatečného množství polymeru se šnek přestane otáčet a po určité prodlevě způsobené kratším cyklem vstřikovací jednotky oproti cyklu uzavírací jednotky přijede vstřikovací jednotka k uzavřené vstřikovací formě a šnek začne konat dopředný pohyb (chová se jako píst), čímž dochází ke vstříknutí taveniny do dutiny formy přes vstřikovací trysku. Následně vstřikovací jednotka odjede a nastává opět fáze plastikace materiálu. [2], [3]

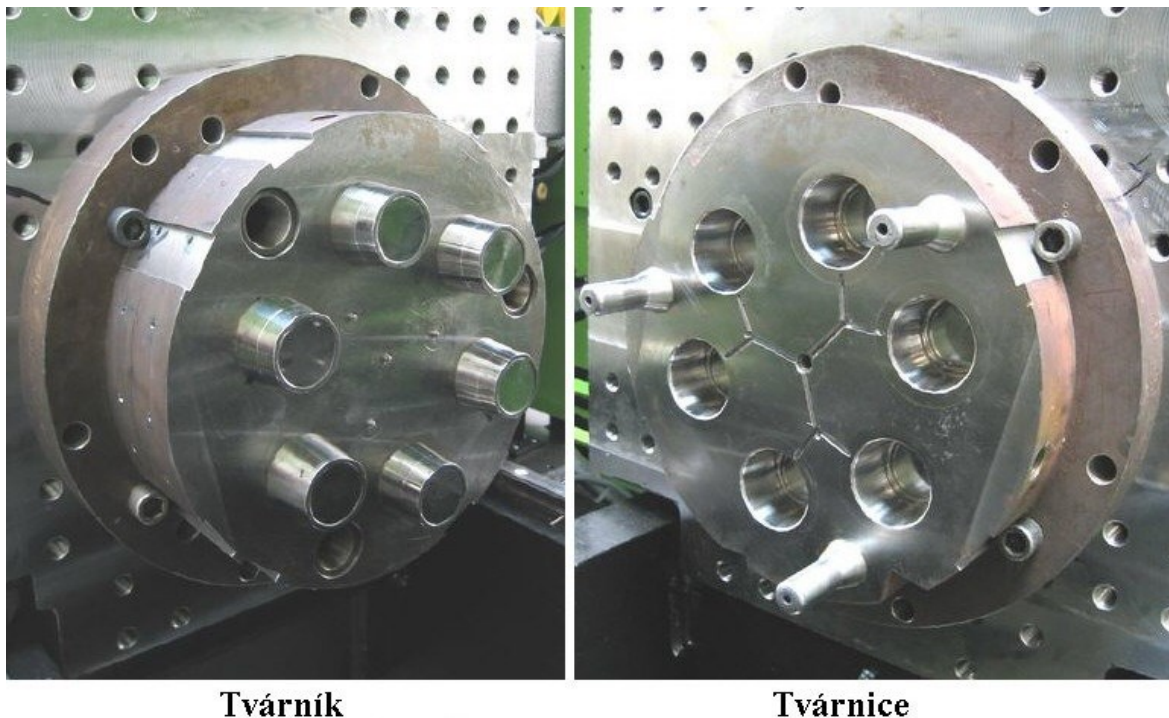
### 1.2.2 Uzavírací jednotka

Hlavní úkol uzavírací jednotky je zavření a otevření formy v přesně stanoveném čase vstřikovacího cyklu. Jelikož se tavenina do formy vstřikuje pod velkým tlakem, uzavírací jednotka musí být schopna vyvinout takovou sílu, která zaručí úplné uzavření formy po celou dobu vstřikování. Tato síla se nazývá uzavírací síla a na moderních strojích bývá programovatelná. Možností konstrukce uzavíracího systému je několik – přes hydraulické a mechanické systémy či jejich kombinaci až k elektrickým uzavíracím systémům. Většina vstřikovacích strojů používá horizontální vzájemnou polohu vstřikovací a uzavírací jednotky, ale při specifických požadavcích na vstřikování může být použita i jiná vzájemná poloha. Součástí uzavírací jednotky je i samotná forma a zařízení k jejímu upnutí. [2]

## 1.3 Vstřikovací forma

Vstřikovací forma je soubor několika vzájemně propojených desek, který má za úkol dopravit roztavený polymer do dutiny formy a její následné naplnění. Mezi požadavky kladené na konstrukci vstřikovací formy patří odolnost formy vůči vysokým tlakům, možnost snadného vyjmutí výstřiku, správné zvolení materiálu formy a mnohé další. Nejdůležitějším požadavkem je však schopnost vyrábět výstřiky přesných rozměrů.

Rozměrová přesnost přímo souvisí se smrštěním zpracovávaného materiálu, na které se musí brát ohled při navrhování tvarových částí vstřikovací formy (tvárník a tvárnice). Návrh a výroba formy je velmi obsáhlou problematikou a uspokojení zákaznických požadavků vyžaduje velký stupeň odborných znalostí. Netradiční konstrukce vícenásobné vstřikovací formy je na Obr. 4. [2], [3], [13]



*Obr. 4. Ukázka vícenásobné vstřikovací formy [2]*

### 1.3.1 Typy a části forem

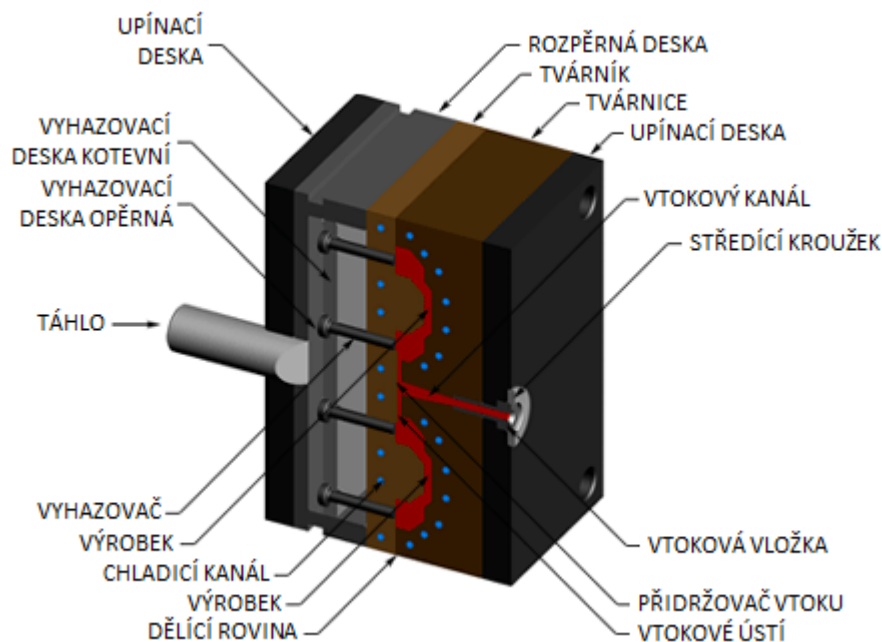
Vstřikovací formy mohou být z konstrukčního hlediska velmi různorodé. Jejich konstrukce záleží především na typu, tvaru a množství požadovaného výrobku. Lze je rozdělit podle následujících kritérií:

- dle násobnosti na jednonásobné a vícenásobné,
- dle způsobu zaformování a konstrukčního řešení na dvoudeskové, třidedkové, vytáčeké, čelist'ové, etážové apod.,
- dle konstrukce vstřikovacího stroje na formy se vstřikem kolmo na dělicí rovinu a na formy se vstřikem do dělicí roviny. [2]

Nezákladnějším druhem, se kterým se můžeme setkat, je dvoudesková vstřikovací forma (Obr. 5). Obsahuje několik desek, jejichž vzájemnou polohu zajišťují vodící čepy, vodící pouzdra a středící trubka. Spojení desek je nejčastěji realizováno pomocí šroubů



s válcovou hlavou. Forma je rozdělena na pevnou a pohyblivou část. Každá část má svoji upínací desku, přes kterou je forma upnuta na vstříkovací stroj. V pohyblivé části se dále nachází rozpěrná deska, hlavní a přídržovací vyhadzovací deska, vyhadzovače a tvárník. V pevné části lze najít tvárnici, hlavní montážní šrouby a vtokovou vložku. Hranice mezi těmito částmi se označuje jako dělicí rovina. Dutina formy je tvořena tvárníkem a tvárnici, které musí být vyrobeny z materiálů s vysokou tepelnou a mechanickou odolností a jejich cena je z toho důvodu oproti ostatním částem formy vyšší. Tyto tvarové části se upínají do kotevních desek, které nevyžadují takovou odolnost a mohou být vyrobeny z levnějších materiálů. Přesnou polohu vstříkovací formy na vstříkovacím stroji zajišťují středící kroužky, přičemž je důležité, aby osa trysky vstříkovacího stroje a osa vtokové vložky vstříkovací formy byly identické. Do desek jsou dle potřeby navrtnané temperační a odvzdušňovací kanálky, kdy temperační kanálky slouží k regulaci teploty formy pomocí temperačního média. Odvzdušňovací kanálky odvádí nežádoucí vzduch z dutiny formy, čímž se eliminuje možnost vzniku spáleniny na výrobku. V místě spáleniny dochází k degradaci materiálu, který pak není schopný dosahovat požadovaných pevnostních vlastností (Dieslův efekt). [13]



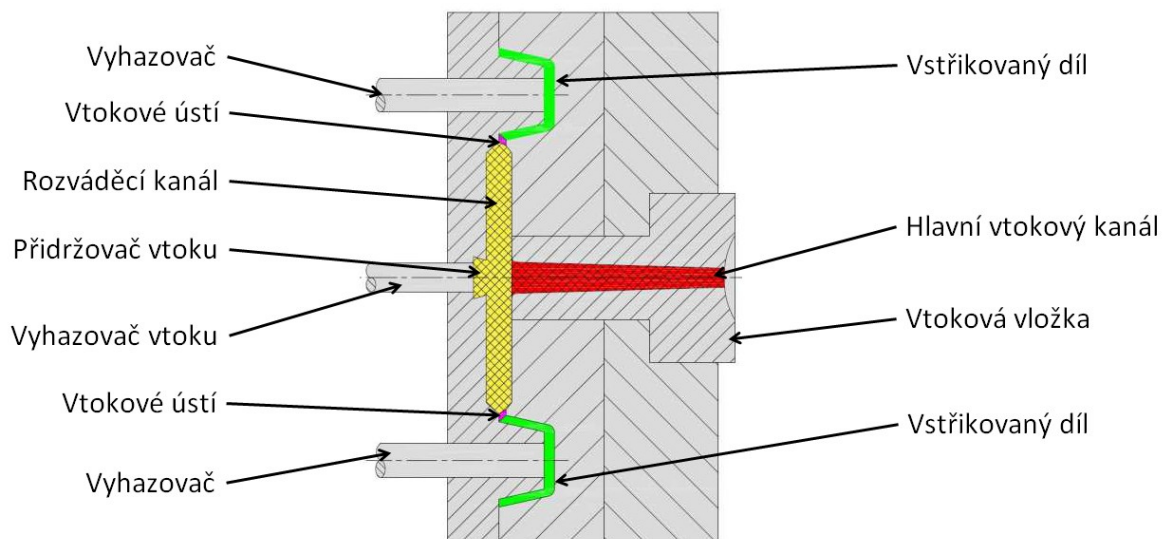
Obr. 5. Části vstříkovací formy [16]

### 1.3.2 Typy vtoků

Roztavený polymer vstupuje do dutiny vstřikovací formy přes vtokové ústí, což je zúžené místo na konci rozváděcích kanálů. V praxi se používají dva typy vtokových systémů – studený a horký (též označovaný jako „živý“). Horký vtokový systém je použit při výrobě chladičové komory zkoumané v praktické části. [14], [15]

- **Studený vtokový systém**

Výhodou studeného vtokového systému (Obr. 6) je možnost umístit vstřikovací otvor do míst, u kterých je aplikace horkého vtoku nereálná. Dle tvaru se rozlišuje několik druhů vtoků. Patří k nim plný kuželový, bodový, deštníkový, talířový, prstencový, filmový (štěrbinový), tunelový a banánový vtok. [13], [14], [15]



Obr. 6. Schéma studeného vtoku [15]

Konstrukčně se jedná o nejjednodušší a nejlevnější variantu, ovšem ta s sebou přináší i několik nevýhod. Vstříknutá tavenina se na stěnách tohoto systému výrazně ochlazuje a je třeba použít vyšších plnicích tlaků, aby došlo ke správné distribuci taveniny do dutiny formy. Při každém cyklu je nutné odstranit vtokový zbytek, který zatuhne a zůstává v rozváděcím kanálu. Tím se zvyšuje spotřeba materiálu a s ní rostou i ekonomické ztráty. Tyto ztráty navíc budou ještě vyšší, pokud se vstříkuje z nerecyklovatelného materiálu. K odstranění vtokového zbytku se používají přidržovače vtoku nejrůznějších tvarů, které při otevření formy zajistí, že vtokový zbytek zůstane na pohyblivé části vstřikovací formy. Dojde tak k jeho oddělení od výrobku a následnému vyhození vtokového zbytku z formy pomocí vyhazovače. Na výrobku však zůstane stopa po vtokovém ústí, kterou je potřeba

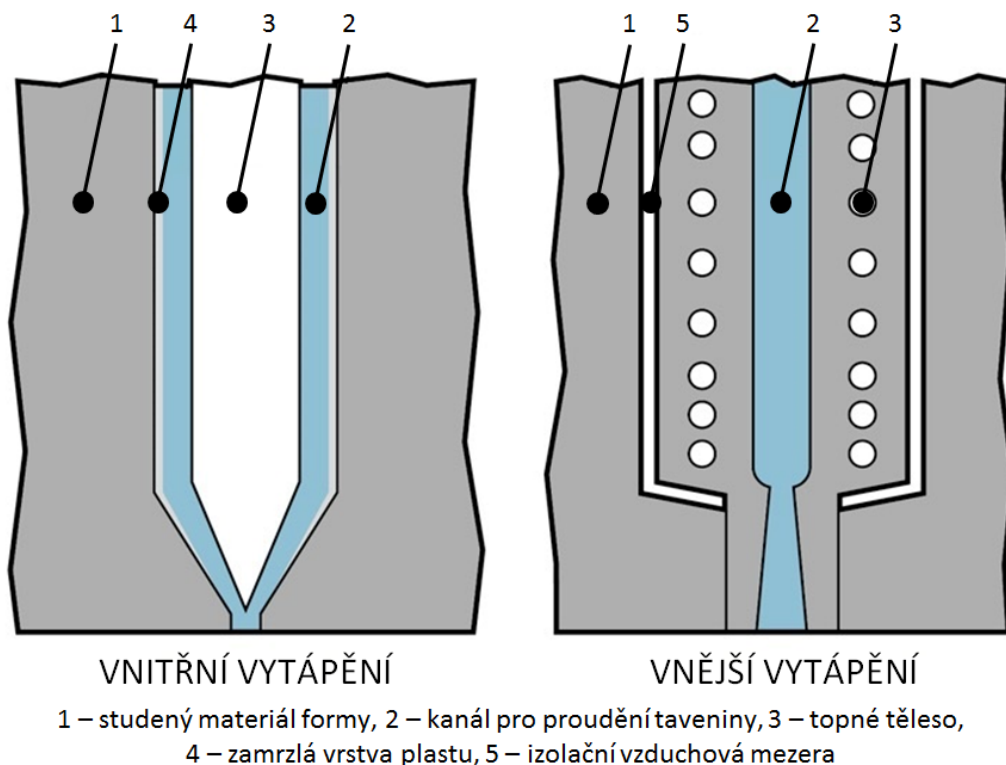
u některých výrobků následně mechanicky odstranit. Proto by vtokové ústí mělo být co nejmenší, aby stopa na výstřiku byla co nejméně patrná. Pro minimalizaci ztrát materiálu by měl být vtokový systém co nejkratší. Velmi často se ale stává, že hmotnost vtokového zbytku je vyšší než hmotnost samotného výrobku. Z výše uvedených důvodů se studený vtokový systém využívá spíše pro jednoduché výrobky, vícenásobné formy s jednoduchými výrobky, atd. [13], [14], [15]

- **Horký vtokový systém**

Úkolem horkého vtokového systému je dodávat tavenině ztracenou tepelnou energii. Tím dochází k minimalizaci vtokových zbytků a značné úspoře materiálu oproti studeným vtokovým systémům, neboť se polymer udržuje v roztaveném stavu v celé oblasti mezi tryskou vstřikovacího stroje a ústím vtoku. K tomu je zapotřebí nějakého zdroje vytápění, který spotřebovává určité množství energie. Počáteční vysoké investice zahrnující zakoupení systému horkých trysek, použití alespoň třideskového typu formy a její úpravu, se vrátí skrz náklady na provoz vstřikovacího stroje po celou dobu výroby. Aplikací horkého vtokového systému totiž dojde k výraznému zkrácení vstřikovacího cyklu, protože stačí plastifikovat menší množství materiálu, což pro velkoobjemovou výrobu může znamenat zkrácení celkové doby provozu stroje o několik desítek až stovek hodin. [13], [14]

Při samotném vstřikování zůstává tavenina ve vtokovém systému po celou dobu cyklu. Po naplnění dutiny formy dochází k zatuhnutí taveniny v ústí vtoku, čímž se vytvoří tenká blanka, která umožňuje udržet taveninu v horkém rozvodu i po otevření formy. V dalším cyklu se znovu do formy vstříkne tavenina, která před sebou tlačí zbylou taveninu z předešlého cyklu. Tlakem taveniny uvnitř formy dojde k proražení blanky u ústí vtoku a k opětovnému naplnění dutiny. Lze ovšem použít i mechanické uzavírání ústí vtoku, které je zpravidla prováděno hydraulicky nebo pneumaticky. Takto řešený horký vtokový systém zabrání strhávání zatuhlin do dutiny formy a úniku taveniny ven ze systému. Navíc po něm nezůstává téměř žádná stopa na výrobku, popř. jen minimální stopa podobající se stopě po vyhazovači. Výhodou může být i možnost sekvenčního či kaskádového plnění dutiny formy, které umožňují určit místo v dutině, kam se tavenina přivede dříve a kam později. Nevýhoda této aplikace spočívá ve vyšší ceně v porovnání s běžnými horkými vtoky, zvýšených požadavcích na údržbu a zvýšené složitosti obsluhy vstřikovacího stroje. [13], [14], [15]

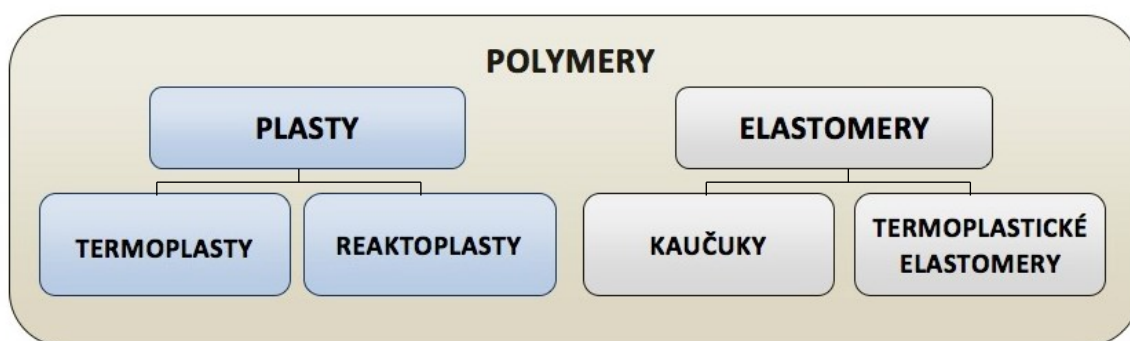
Součástí horkého vtokového systému běžně bývá vyhřívána vtoková vložka, vtokové ústí a topné těleso, které vytápí celou soustavu. Je důležité, aby tepelné ztráty v systému byly co nejmenší, čehož se dosáhne izolováním systému od ostatních částí formy. Izolace je v tomto případě zprostředkována vzduchovými mezerami a minimálními kontaktními plochami vtokového systému s díly vstřikovací formy. Vyhřívání celého systému může být zajištěno buď vnitřními, nebo vnějšími topnými tělesy (Obr. 7). Dodávku tepla v horkém vtokovém systému s vnějším vytápěním obstarávají topná tělesa umístěná vně kanálu s proudící taveninou. U systému s vnitřním vytápěním je tzv. torpédové topné těleso zavedeno přímo v kanálu, ve kterém proudí tavenina. Nevýhoda u tohoto typu vytápění spočívá ve studených stěnách formy, na nichž se může vytvářet zamrzlá vrstva materiálu. Tento materiál časem degraduje, a pokud dojde k jeho strhnutí do dutiny formy, ovlivní mechanické vlastnosti nebo způsobí vzhledovou vadu výstřiku. Pro všechny typy horkých rozvodů obecně platí, že slepá místa či ostré rohy v jejich kanálech zadržují materiál, který tím degraduje. Vnitřně vytápěné horké rozvody tak nejsou vhodné pro výrobu materiálů s vysokými požadavky na kvalitu povrchu. [13]



Obr. 7. Základní provedení vyhřívání horkého vtokového systému [13]

## 2 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Jedná se o chemické látky, jejichž struktura je tvořena makromolekulami. Vznik makromolekul je zapříčiněn díky opakovanému spojování základní jednotky – meru, která je odvozena od monomeru (výchozí molekula). Makromolekuly lze tedy popsat jako řetězce opakujících se merů. Mezi prvky, jejichž atomy představují dominantní složku obsahu polymerních makromolekul, patří uhlík, vodík, kyslík, chlor a dusík. Základní chemické a fyzikálně chemické vlastnosti daného polymeru jsou stanoveny právě druhem atomů a způsobem jejich spojení chemickými vazbami. Polymery se dělí na elastomery a plasty (viz Obr. 8) [1], [4]



Obr. 8. Základní rozdělení polymerů [6]

### 2.1 Elastomery

Elastomery jsou polymerní materiály vyznačující se vysokou elasticitou, která je způsobena možností pohybu jednotlivých řetězců okolo spojů. Spoje mezi řetězci se vytvářejí působením tepla při chemické reakci – vulkanizaci. Výhoda elastomerních materiálů spočívá převážně ve schopnosti je značně deformovat malou silou, aniž by došlo k porušení materiálu. Deformace těchto materiálů je převážně vratná. Mezi elastomery se řadí např. kaučuky, které jsou zároveň největší skupinou elastomerů. Kaučuky dělíme na přírodní a syntetické. Další skupinou elastomerů jsou termoplastické elastomery, což jsou materiály s integrovanými elastickými polymerními řetězci do polymerní matrice. [1], [4]

### 2.2 Plasty

Jako plasty se označují polymery, které jsou smíchány s danými přísadami a následně jsou převedeny do podoby (prášky, tablety, granulát, atd.), ve které se dále zpracovávají nejrůznějšími technologiemi. Zatímco polymer je v podstatě chemická látka,

o plastech se už mluví jako o technických materiálech se specifickými vlastnostmi. Množství druhů plastů, které se v dnešní době dají nalézt na trhu, se čítá na tisíce. Toto číslo neustále roste, neboť jsou stále vyvíjeny nové polymery či modifikovány již existující polymery, aby došlo k uspokojení náročných zákaznických požadavků. Nicméně v technické praxi se ve větší míře používá zhruba jen několik desítek druhů. [2]

Plasty ovšem znamenají obrovskou ekologickou zátěž, jejich vlastnosti jsou závislé na čase a mechanické vlastnosti nedosahují takových hodnot jako u kovů. Na druhou stranu se plasty mimo jiné vyznačují výbornými zpracovatelskými vlastnostmi, výbornou korozní odolností a nízkou měrnou hmotností. Nízká cena a hmotnost jsou hlavní důvody, proč dochází k aplikaci plastových výrobků namísto původních těžkých a drahých výrobků kovových. [2]

Při zahřívání plastů dochází k jejich plastikaci, čímž se stávají tvarovatelnými. Při následném přechodu z plastického do tuhého stavu jsou upravovány na požadovaný tvar a rozměr. Z hlediska opakovatelnosti tohoto procesu rozlišujeme dvě skupiny plastů:

- 1) termoplasty, které lze opakovaně převádět z plastického do tuhého stavu z důvodu fyzikální podstaty této přeměny
- 2) reaktoplasty, u kterých dochází ke změně stavu vlivem chemické reakce a tuto změnu nelze dále opakovat – je nevratná. [4]

### 2.2.1 Termoplasty

Nejpočetnější skupina plastů se nazývá termoplasty. Jejich zpracování probíhá tak, že působením tepla přechází do plastického stavu, ve kterém jsou dobře tvarovatelné a pomocí dané technologie (např. ohýbání, vyfukování, lisování, vstřikování, atd.) je jim dán požadovaný tvar. Velkou výhodou termoplastů lze najít v jejich recyklovatelnosti, protože umožňují opakovat přeměnu z tuhé do plastické fáze. To je dáno tím, že při změně fáze nedochází k chemické reakci a chemická struktura těchto materiálů zůstává stejná. Dochází jenom k přeměně fyzikálního charakteru. Ovšem i recyklovatelnost si vybírá svou daň, neboť při ní dochází k rozpadání řetězců a s každým následným roztavením klesá kvalita daného termoplastu a zhoršují se jeho vlastnosti. Mezi nejvýznamnější termoplasty se řadí kupříkladu PA (polyamid), PE (polyetylen), PP (polypropylen), PS (polystyren) a mnohé další. [5], [6]

Makromolekuly termoplastů mohou být lineární, rozvětvené či prostorové, přičemž mohou mít různou strukturu. Strukturně se pak termoplasty dělí na amorfni a semikrystalické. [5]

Amorfni termoplasty mají nepravidelně prostorově uspořádané řetězce a nahodile umístěné makromolekuly. Vyznačují se vysokou pevností, tvrdostí, křehkostí, typickým modulem pružnosti a nízkým indexem lomu, což dává amorfni termoplastům možnost být průhlednými až čirými. Jejich poměrně malé smrštění oproti formě je předurčuje k výrobě dílů s požadavkem na vysokou rozměrovou přesnost. [5]

Semikrystalické termoplasty mají na rozdíl od amorfni mléčné zbarvení a vyznačují se krystalinitou. Jejich řetězce dosahují určitého stupně uspořádání, který udává pevnost a pružnost materiálu. Jelikož u nich při vstřikování dochází k většímu smrštění, je pro ně nesmírně důležitá optimalizace ochlazovací fáze. Tyto materiály vykazují výhodné kombinace pevnosti a houževnatosti mezi teplotou skelného přechodu a teplotou tání krystalického podílu, což je důvod, proč jsou používány v tomto teplotním intervalu. K výrobě chladičových komor (viz kapitola 3.3.6), se využívají právě semikrystalické termoplasty. Níže budou popsány konkrétní druhy materiálů, ze kterých jsou chladičové komory vyráběny nebo se o jejich aplikaci v současné době uvažuje. [5]

- **Polyamidy (PA) – PA6, PA66, PA610, PA612**

Tyto lineární polymery ve svých řetězcích obsahují amidové skupiny –CONH– střídající se v určitém poměru s metylenovými skupinami –CH<sub>2</sub>–. Dle struktury makromolekul rozlišujeme polyamidy aromatické, ovšem nejrozšířenější a nejvýznamnější jsou polyamidy s alifatickými řetězci, u nichž se někdy lze setkat s označením „nylon“. Pro jednoduché rozpoznávání alifatických polyamidů byl zaveden označovací systém, kde čísla za označením polyamidu (PA) udávají počet atomů uhlíku ve stavebních jednotkách řetězců. Např. PA66 (polyhexametylendipamid) je produktem polykondenzace hexametylendiaminu, který má v molekule 6 uhlíkových atomů s kyselinou adipovou, která taktéž obsahuje 6 uhlíkových atomů v molekule. [6], [7]

Pro vlastnosti polyamidů jsou určujícím faktorem výchozí monomery. Polyamidy dosahují dobrých kluzných vlastností a náchylnosti na kríp. U typických polyamidů dosahuje krystalinita 30 až 50 % v tuhém stavu. Polyamidy se vyznačují vysokou pevností a vysokou teplotou tání díky silné mezimolekulární vazbě, která je důsledkem propojení makromolekul vodíkovými můstky. Právě množství vytvořených vodíkových můstků,

jejichž tvorba je umožněna díky amidové skupině, udává většinu vlastností daného polyamidu. Polyamidy jsou silně polární plasty, protože dokáží velmi snadno přijímat vodu. To je důsledkem jejich chemického složení, neboť obsahují polární atomy kyslíku a dusíku. Jsou tak dobře odolné nepolárním rozpouštědlům, ale v silných kyselinách jsou rozpustné. S rostoucím obsahem vody stoupá také tažnost a houževnatost polyamidů, ovšem dochází k poklesu pevnosti, tuhosti a tvrdosti. Pro zlepšení konstrukčních vlastností se do polyamidů přidávají skelná a uhlíková vlákna. Vlastnosti nejpoužívanějších polyamidů ukazuje Tab. 1. V závislosti na obsahu monomeru se však jednotlivé hodnoty mohou měnit. [6], [7]

Tab. 1. Vlastnosti nejpoužívanějších polyamidů [6]

Polyamid	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Modul pružnosti [MPa]		Teplota tání [°C]	Navlhavost [%]
		Suchý stav	Navlhý stav		
PA-6	1,10+1,14	1100+3500	1000+2500	215+225	2,5+3,0
PA-66	1,12+1,14	2600+3600	1000+2800	250+260	2,5+2,8
PA-610	1,06+1,08	2400	1500	215	1,4
PA-11	1,01+1,04	1200+1600	1000	175+187	1,0
PA-12	1,01+1,03	1300+2100	1200	170+180	0,9+1,8

PA6 patří mezi hlavní technické termoplasty. Vyznačuje se svou tuhostí, vysokou odolností proti otěru, pevností, stálostí, dobrou chemickou odolností, kluzností, životností a pevností v rázu. Jeho fyzikální a chemické vlastnosti se velmi podobají vlastnostem PA66. Má však nižší teplotu tání, ale naopak širší rozsah teplot zpracovatelnosti, vyšší odolnost proti rozpouštědlům a pevnost v tahu. PA6 je jedním z materiálů, které jsou vysoce navlhavé, a proto je důležité, aby bylo před zpracováním nejdříve zajištěno jeho vysušení. Při vstřikování dosahuje smrštění u nevyztuženého PA6 hodnoty 1-1,5 %. Vyztužením skelnými vlákny se smrštění ve směru toku sníží na 0,3 % a ve směru kolmém na směr toku na 1 %. PA6 se používá např. k výrobě ložisek nebo pro různé konstrukční aplikace. [1], [17]

PA66 je nejčastěji používaným materiálem v oblasti výroby chladičových komor. Tento semikrystalický až krystalický polymer technické jakostní třídy se vyznačuje jednou z nejvyšších teplot tání mezi všemi komerčně dostupnými polyamidy. Výsadou jakostních tříd je zachování pevnosti a tuhosti při zvýšených teplotách. PA66 je v porovnání s PA6 méně navlhavý a s tím souvisí i větší rozměrová stabilita. Ve vodě a většině rozpouštědel je nerozpustný, rozpustit ho lze pouze v silných kyselinách. Vykazuje také vyšší pevnost



a menší odolnost proti rázu. Má malou viskozitu, a proto dobře teče, ovšem PA6 má tečení lepší. Nezpevněný PA66 má při vstřikování smrštění v rozmezí 1-2 %. Při zpevnění skelnými vlákny tato hodnota klesá na 0,2-1 %, přičemž rozdíl mezi smrštěním ve směru toku a smrštěním ve směru kolmém na směr toku je velký. Izotropnějších tvarů lze docílit přidáním minerálních plnidel. PA66 se využívá především v automobilovém průmyslu, kde je vyžadována odolnost proti rázům a vysoká pevnost. [1], [17]

PA610 je syntetický polymer s výbornými fyzikálními a chemickými vlastnostmi. V porovnání s ostatními polyamidy má nízký koeficient absorpce vlhkosti, vysoké izolační vlastnosti, vysokou rozměrovou stabilitu, vysokou odolnost proti otěru, olejům a benzínu. Oproti PA66 je více hydrofóbnější a v navlhém stavu si udržuje větší tuhost. Využívá se pro různé izolační a konstrukční aplikace nebo jako štětiny a žíně pro kartáčnictví. Při vstřikování bývá jeho smrštění mezi 0,8-1,5 %. Přidáním skelných vláken se u tohoto polyamidu dosáhne zlepšení celé řady vlastností. PA610 s přídavkem skelných vláken má zvýšenou chemickou odolnost vůči mnoha olejům a alkoholům, houževnatost, pružnost při nízkých teplotách nebo odolnost proti rázu. Vyznačuje se také dobrými dielektrickými vlastnostmi. Využití nachází při výrobě rozměrově přesných dílů, pouzder elektrických nástrojů (např. vrtačky), vačkových kotoučů, ložiskových klecí, jehlových ložisek, nosných částí transformátorů či pouzder malých čerpadel. [7], [18]

PA612 představuje produkt polymerace hexametylendiaminu a kyseliny dodekandiové. Svými fyzikálními a mechanickými vlastnostmi se velmi podobá PA610. Hlavním rozdílem jsou vyšší rozměrová stabilita a nižší koeficient absorpce vlhkosti. Vyznačuje se také necitlivostí k hydrolýze, odolností proti olejům, rozpouštědlům a alkáliím, dobrými bariérovými vlastnostmi proti kyslíku, vodě a uhlovodíkům. Z toho důvodu se využívá při výrobě obalů na maso nebo uzávěrů alkalických baterií. [18], [19]

- **Polypropylen (PP)**

Polypropylen představuje semikrystalický polymer o stupni krystalinity 60 až 70 %. Patří do skupiny polyolefinů, což je největší skupina synteticky vyráběných polymerů, kam se mimo jiné řadí i např. polyetylen (PE). Svými vlastnostmi se značně podobá vysokohustotnímu polyetylen (HDPE). Má nejnižší hustotu ze všech nelehčených plastů. Na druhou stranu se vyznačuje vyšší pevností, tvrdostí, tuhostí, rozměrovou stabilitou a odolností proti oděru. Je to hořlavý plast s nepolární strukturou a výbornými elektroizolačními vlastnostmi. Je odolný vůči polárním rozpouštědlům, zásadám,

kyselinám a solím, a to i za vyšších teplot. Jeho vlastnosti se ovšem liší v závislosti na indexu izotakticity. Charakteristické vlastnosti izotaktického polypropylenu jsou znázorněny v Tab. 2. [6], [7]

Tab. 2. Vlastnosti polypropylenu [6]

Polypropylen	Stupeň krystalinity [%]	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Teplota tání [°C]	Modul pružnosti [MPa]	Mez pevnosti [MPa]
izotaktický	60 + 70	0,905 + 0,920	160 + 176	1100 + 1500	34 + 38

### 2.2.2 Reaktoplasty

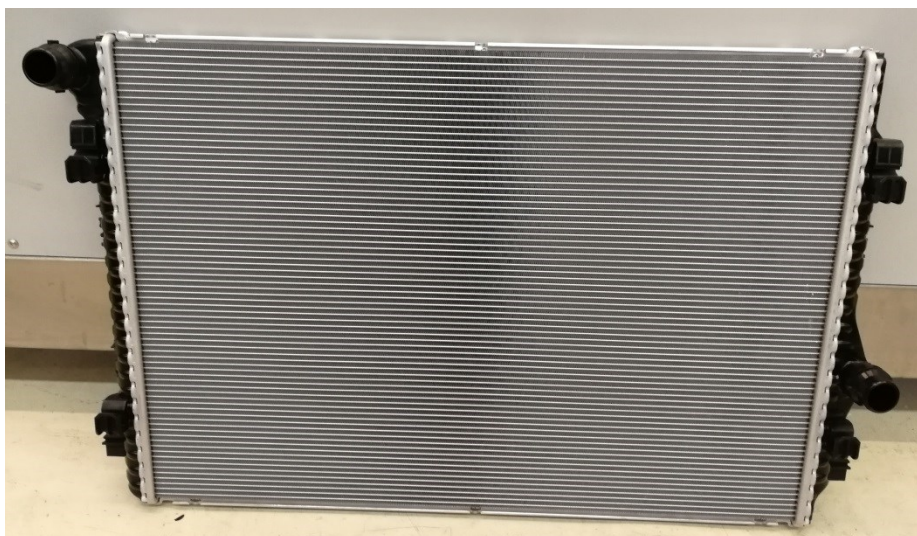
Reaktoplasty, které dříve nesly název „termosety“, jsou amorfní polymery. Rovněž jako termoplasty se zpracovávají působením tepla, kdy se zahřátím stávají tvářitelnými. Tvářet je lze ovšem jen omezený čas, protože při dalším zahřívání se struktura zesiluje a reaktoplast se stává netavitelným a nerozpustným. Proces zesílování je chemická reakce a nese název „vytvrzování“. Z důvodu chemické podstaty této změny struktury jde o nevratný proces. Při jakémkoliv dalším pokusu o roztavení nebo rozpuštění již vytvrzeného materiálu dochází k jeho degradaci. [2], [6]

Výrobky z reaktoplastů dosahují vysoké tuhosti, tvrdosti, tvarové stálosti za tepla, odolnosti proti chemikáliím, povětrnostním vlivům a proti korozi. Jejich mechanické vlastnosti nejsou tak závislé na teplotě jako mechanické vlastnosti termoplastů. [6]

Reaktoplasty se dělí do pěti základních skupin. Jsou to fenoplasty (fenolické pryskyřice), aminoplasty (aminopryskyřice), epoxidy (epoxidové pryskyřice), polyester (polyesterové pryskyřice) a polyuretany. [6]

### 3 AUTOMOBILOVÉ CHLADIČE

Automobilový chladič (Obr. 9) je tepelný výměník, který je součástí kapalinového chladicího systému. Je navržen tak, aby odváděl teplo z horké chladicí kapaliny, proudící uvnitř výměníku do studeného vzduchu, který se dostává pod kapotu díky pohybu automobilu po silnici. Chladicí kapalina odvádí z motoru teplo vzniklé při chodu motoru a zabraňuje tak jeho přehřátí. Kvůli své funkci je chladič nejen klíčový prvek kapalinového chladicího systému, ale i nejdůležitější detail samotné pohonné jednotky. [8], [9]



*Obr. 9. Automobilový chladič [26]*

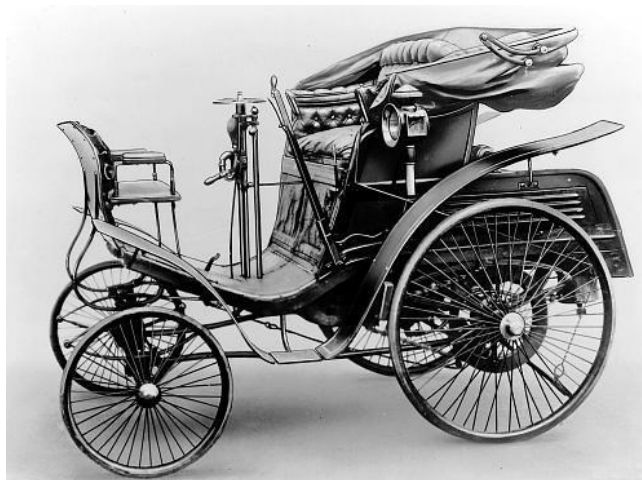
#### 3.1 Historie výroby chladičů

Od zrodu prvních automobilů až do počátku sedmdesátých let dvacátého století byly do všech osobních i nákladních automobilů chladiče vyráběny z mědi a mosazi. Tyto materiály splňovaly všechny nároky na účinné chlazení tehdejších motorů. Nebyl tedy důvod hledat jiné materiály, které by dosahovaly stejných výhod a vlastností jako tyto kovy. Vůbec první automobil, ve kterém bylo k chlazení motoru použito vodního chladicího systému a tedy i chladiče, byl Benz Velo jdoucí na trh v roce 1886 (Obr. 10). [9], [10]

V sedmdesátých letech došlo v oblasti chladičů ke změně. Automobilka Volkswagen se počátkem desetiletí rozhodla přestat využívat chlazení vzduchem a přešla na systém vodou chlazeného motoru. Po pár letech, kdy nastala světová ropná krize, se začalo hlasitě volat po snížení spotřeby paliva. Reakce předních evropských a amerických automobilek byla taková, že se snažily do výroby implementovat komponenty z lehčích materiálů. [10]

U chladičů se přešlo na hliník, který má pouze třetinovou hustotu oproti mědi/mosazi. I přes mnoho nedostatků dokázal zvládat teplo docela obstojně a navíc jeho cena v surovém stavu byla o mnoho nižší. Toto zjištění vyvolalo vlnu nadšení, které vedlo k tomu, že do devadesátých let hliníkové chladiče vytlačily z prvního místa na trhu chladiče měděné a mosazné. [10]

V současnosti trhu stále vládou hliníkové chladiče a přední světové automobilky je používají ve většině svých nejmodernějších automobilů. Tyto chladiče jsou vyráběny pájením v pájecích pecích nebo mechanickým skládáním a spojováním. [8]

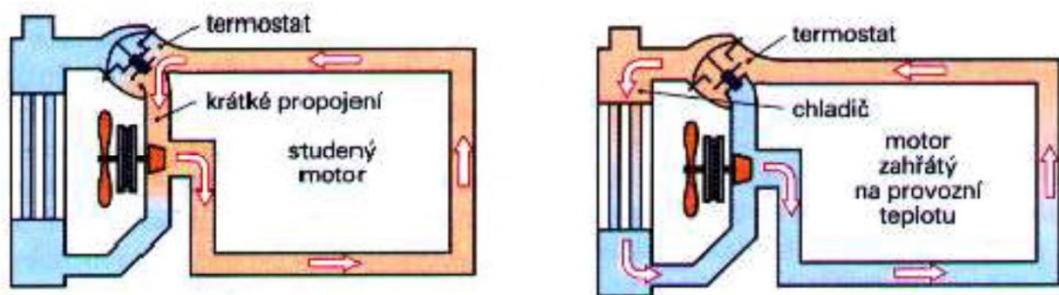


*Obr. 10. Automobil Benz Velo [20]*

### **3.2 Chlazení motoru kapalinou**

Jedná se o systém chlazení, kdy v dutinách hlavy a bloku válců motoru proudí kapalina, která na sebe přenáší teplo z horkých stěn. Ohřátá kapalina dále putuje soustavou potrubí a hadic, až se dostane do chladiče, kde se ochlazuje proudícím vzduchem. Chladič bývá většinou umístěn jako první komponent za maskou automobilu, aby mohl nasávat co nejvíce studeného vzduchu proudícího v protisměru jízdy automobilu. Díky tomu není účinek chladiče závislý pouze na ventilátoru, který proudění chladicího vzduchu podporuje. Oběh chladicí kapaliny v systému je zajišťován pomocí čerpadla. Dříve se jako chladivo používala voda, která se ovšem při mrazech musela vypustit, jinak mohlo dojít k roztržení chladicího pláště motoru a chladiče. Nyní se používá nemrzoucí směs obvykle tvořená z 60 % vodou doplněná o etylenglykol nebo propylenglykol. Bod tuhnutí těchto látek je až  $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$ . [11]

Kapalinová chladicí soustava má dva okruhy – malý okruh a velký okruh, jak je schematicky znázorněno na Obr. 11. Dokud se motor po nastartování nezahřeje na svou provozní teplotu, chladicí kapalina obíhá malým okruhem. Čerpadlo vhání chladicí kapalinu do bloku motoru. Tady v dutinách pak kapalina obíhá, dokud se neohřeje na správnou pracovní teplotu. Až kapalina dosáhne teploty zhruba kolem 85 °C, začne termostat otevírat velký okruh, který vede přes chladič. Jakmile má kapalina asi 95 °C, je už termostatem plně otevřený průtok přes chladič a uzavřen průtok přes malý okruh. [11]



Obr. 11. Schéma malého a velkého okruhu kapalinového chladicího systému [11]

#### Výhody kapalinového chlazení:

- Ochlazovací účinek je velice silný a stejnoměrný pro všechny části motoru, takže v motoru vznikají pouze malé rozdíly pracovní teploty.
- Díky malým rozdílům pracovních teplot částí motoru je možno motor zkonstruovat s menšími montážními vůlemi pístní skupiny a rozvodů,
- Chladicí kapalina proudící v dutinách motoru intenzivně tlumí jeho hlučnost,
- Ventilátor a čerpadlo spotřebovávají pouze malé množství energie,
- Ohřátá kapalina lze jednoduše využít k vyhřívání kabiny automobilu. [11]

#### Nevýhody kapalinového chlazení:

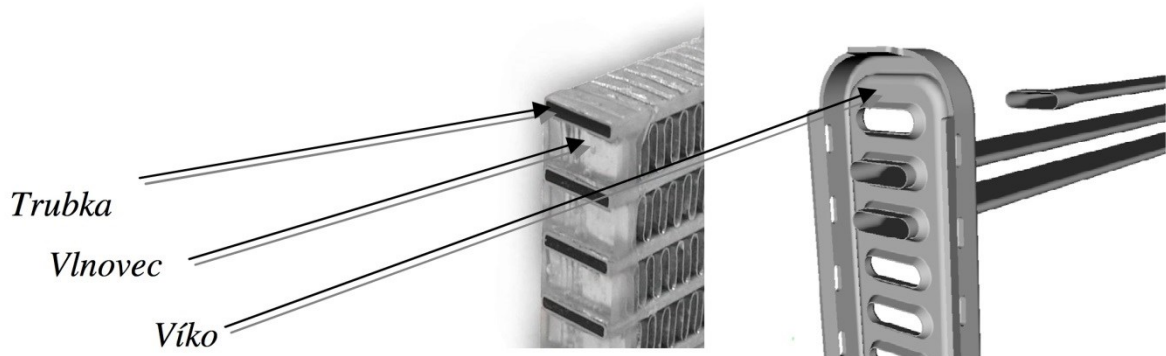
- Větší složitost a náchylnost k porouchání oproti chlazení motoru vzduchem,
- Údržba systému je náročnější a její zanedbání vede k vážným poruchám motoru (např. při ztrátě chladicí kapaliny může dojít mj. až k zadření motoru)
- Při nepoužití nemrznoucí směsi a nesprávném vypuštění vody z chladicí soustavy při mrazech může dojít k roztržení částí chladicího systému,
- Chladicí kapalina musí splňovat požadavky na koncentraci stanovenou výrobcem motoru a musí se v předepsaných termínech měnit,

- Je víc prostorově náročná, než chlazení vzduchem a zároveň zvyšuje hmotnost motoru. [11]

### 3.3 Součásti chladiče

Chladič se skládá z určitého počtu trubek a vlnovců, dvou vík, bočnic, těsnění a komor. Víka spolu s bočnicemi, trubkami a vlnovci tvoří tzv. vložku chladiče, jejíž rozměry udávají teplosměnnou plochu chladiče. Chladič je třeba sestavit ze správného typu a počtu komponentů. I nepatrná změna může ovlivnit jeho chování při nejrůznějších testovacích procesech, které jsou ze stran automobilek požadovány. [21]

V následujících kapitolách budou popsány jednotlivé komponenty chladiče vyráběného pájením v pecích. Jak už bylo dříve zmíněno, nejvhodnějším materiálem pro chladič je v současné době hliník. Nejedná se však o čistý hliník, ale o jeho slitinu doplněnou o nejrůznější chemické prvky, které zlepšují jeho vlastnosti. Tyto slitiny se neustále vyvíjejí a hledají se jejich nejlepší kombinace. Hliníková je pouze vložka, která se pájí v peci. Těsnění a komory se k vložce připojují až dodatečnými operacemi na lemovacích strojích. [21]



Obr. 12. Průřez vložkou chladiče [12]

Aby došlo k vytvoření pájeného spoje, bývá hliník opatřen tenkou vrstvou pájecího materiálu – tzv. plátování. Tato vrstva je tvořena slitinou hliníku a křemíku a má nižší teplotu tání než samotný hliník. Na povrch materiálu se nanáší již v průběhu výroby hliníkového polotovaru. Každý komponent má rozdílný typ (slitinu) plátování v závislosti na tloušťce materiálu komponentu. [21]



### 3.3.1 Víko

Víko je část chladiče, do níž se nasouvají trubky a zalemovává komora. Oproti ostatním částem vložky se jedná o komponent s největší tloušťkou materiálu. Hodnoty se pohybují kolem 1,5 mm a více. Délka víka, která je určena především počtem trubek, zároveň udává i celkovou výšku chladiče. Výroba sériových vík spočívá v tváření materiálu z hliníkového svitku na postupových nástrojích. Při potřebě výroby prototypových vík se kvůli úspoře financí a času používá kombinace tváření a frézování. [12]

Sloty pro trubky jsou umístěny na pohledové straně víka a kopírují tvar a rozměry průřezu trubek, aby do nich mohly být vsunuty. Okraje slotů jsou mírně vytaženy, čímž vznikne plocha, která je pak v přímém kontaktu s trubkou. Tato plocha musí být dostatečně velká, aby došlo k vytvoření pevného zapájeného spoje mezi trubkou a víkem. Čím větší bude tato plocha, tím pevnější bude spoj trubka-víko, který je jedním z nejméně teplotně namáhaných míst na chladiči. Je důležité, aby bylo při výrobě víka dodrženo předepsaných geometrických tolerancí tvaru a pozice těchto slotů. Nedodržení by mohlo vést k nedokonalému zapájení spoje trubka-víko, což by mělo za následek netěsnost chladiče. [21]

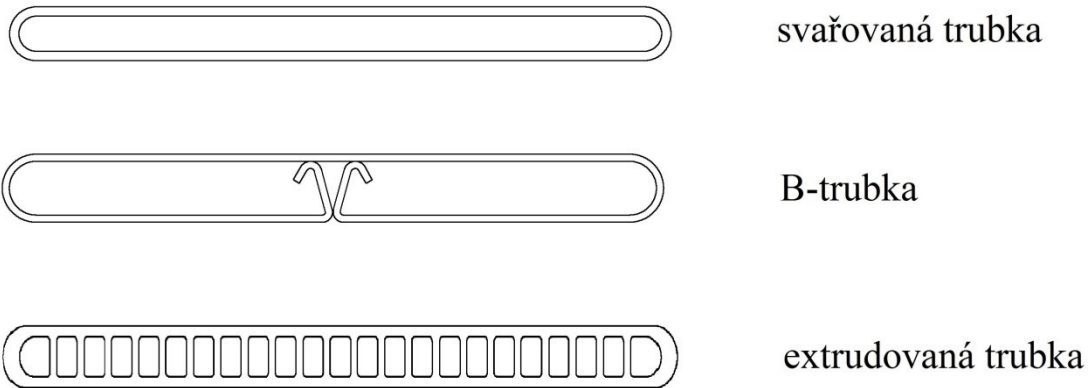
Ve víku je vylišován i žlábek, do kterého se vkládá těsnění a komora. Rozměry žlábků musí taktéž splňovat všechny předepsané tolerance. Správná hloubka a šířka žlábků umožní při montáži přesné dosednutí těsnění i komory. [21]



Obr. 13. Víko chladiče [26]

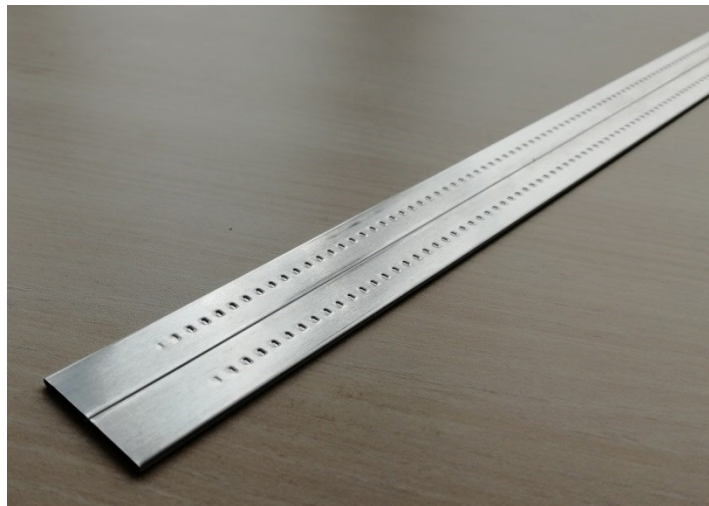
### 3.3.2 Trubka

Trubka je jednou z nejdůležitějších komponent celého chladiče. Uvnitř trubky protéká chladicí médium, které předává teplo proudícímu vzduchu v okolí. Dle způsobu výroby se trubky dělí na tvářené (B-trubky, následně svařované) a extrudované. Průřezy těchto trubek jsou znázorněny na Obr. 14. [21]



Obr. 14. Průřezy jednotlivých typů trubek [26]

Extrudovaná trubka se na chladičích používala spíše dříve. Tento typ trubky je vevnitř vyztužen žebry, díky nimž je trubka schopna odolat i vysokým tlakům. V současné době se extrudovaná trubka využívá při výrobě kondenzátorů, které jsou součástí klimatizačního okruhu auta. Pracovní tlaky v klimatizačním okruhu jsou oproti tlakům v okruhu chladicím několikanásobně vyšší. [21]



Obr. 15. Dimplovaná B-trubka [26]

Obvyklými trubkami používanými pro chladiče jsou trubky tvářené. Ty se dále dělí na tzv. B-trubky (viz Obr. 15) a svařované trubky. Tyto druhy se liší v typu spojení jejich



konců. B-trubky jsou tvářeny do tvaru, který připomíná písmeno B a díky plátování materiálu dojde v peci ke spájení konců. U svařovaných trubek dochází ke spojení konců, jak už z názvu vyplývá, pomocí svaru. Výchozím polotovarem pro oba druhy je hliníkový svitek dané šířky a tloušťky. Díky současnému trendu snižování ceny a hmotnosti výrobků se nyní používají trubky o tloušťce stěny kolem 0,2 mm. [21]

Charakter proudění chladiva uvnitř trubky může být buď laminární nebo turbulentní. Tato skutečnost je určující pro výkon chladiče a zejména pro tlakové ztráty chladiva. Při navrhování chladiče je třeba najít určitý kompromis mezi hodnotami těchto veličin, který bude vyhovovat zákazníkovi. Laminární proudění generuje nízké tlakové ztráty, ovšem přestup tepla při tomto režimu proudění je menší ve srovnání s prouděním turbulentním. Zvýšit přestup tepla je možno zvětšením teplosměnné plochy. Turbulentní proudění je optimální pro přestup tepla, ale generuje vysoké tlakové ztráty. Charakter proudění je určen hodnotou Reynoldsova čísla, které se vypočítá jako:

$$Re = \frac{v \cdot D_h}{\nu} \quad (1)$$

kde  $v$  je rychlost proudění,  $D_h$  je hydraulický průměr a  $\nu$  je kinematická viskozita. Laminární proudění nastává při  $Re < 2300$ , turbulentní při  $Re > 2300$ . Rychlost proudění lze ovlivnit například změnou průtočného průřezu trubky. Dalším způsobem je použití trubky s dimply (z angl.), což jsou důlky vylisované do vnější stěny trubky. Dimply pro chladivo představují překážku, čímž dojde k zavření chladiva a podpoření změny typu proudění z laminárního na turbulentní. [22], [23]

### 3.3.3 Vlnovec

Vlnovec je tenký pás hliníku, který je tvářen do vln dané výšky, a spolu s trubkou jsou určujícím faktorem pro výkon chladiče. Pokládá se mezi trubky, k jejichž stěnám je zapájen. Teplo, které odevzdává proudící chladicí médium do stěn trubek, je pak dále přenášeno i do materiálu vlnovce. Skrz vlnovec proudí studený vzduch a dochází zde k přenosu tepla. [21]

Neméně podstatnou funkcí vlnovce je i podpora a vyztužení trubek. Trubky jsou značně tepelně a tlakově namáhány a mají tendenci se rozpínat a smršťovat. Vlnovce se z obou svých stran opírají o stěny trubek a v těchto pohybech jim částečně zabraňují. Pokud by trubky neměly dostatečnou oporu od vlnovce, mohlo by dojít k jejich deformaci.

Na vlnovce je tím ovšem přenášen značný tlak, kdy aby nedošlo k jeho zborcení, nesmí být překročena jeho vzpěrná stabilita. [21], [22]



*Obr. 16. Vlnovec [26]*

Snižování ceny a hmotnosti se stejně jako trubek dotýká i vlnovce. Vlnovce použité pro chladiče, které jezdí v moderních autech, jsou vyráběny z materiálu o tloušťce kolem 0,06 mm a je snaha tuto hodnotu stále snižovat. Do jednotlivých vln jsou pod určitým úhlem prosekány žaluzie, které způsobují zavíření proudu vzduchu a tím zvyšují jeho chladicí účinek. S rostoucím počtem, velikostí a úhlem žaluzií roste výkon chladiče a zároveň se zvyšuje rozdíl tlaku vzduchu před a za tepelným výměníkem. Tato hodnota je označována jako tlaková ztráta na vzduchu. Při nižších rychlostech automobilu, kdy náporový vzduch nedosahuje vysokých hodnot, je proudění vzduchu skrz vložku podporováno ventilátorem. [21]

U vlnovce se setkáváme s pojmem FPD (z angl. fins per decimeter), který udává počet vln na deset centimetrů délky vlnovce. Lze ho také chápat jako hustotu vln na vlnovci. U chladičů se tato hodnota obvykle pohybuje v rozmezí od 70 do 100 FPD. Výkon chladiče roste společně s hodnotou FPD, rostou s ní ovšem i tlakové ztráty na vzduchu. [21], [22]

### **3.3.4 Bočnice**

Poslední částí vložky je bočnice. Jedná se o lisovaný komponent o tloušťce materiálu pohybující se kolem 1 mm. Bočnice jsou umístěny na krajních vlnovcích a spolu s víky ohraničují celou vložku. Dříve se používaly tzv. fin covers, které sloužily pouze k ochraně krajních vlnovců před poškozením. Současný design je navržen tak, že je bočnice připájena

nejen ke krajnímu vlnovci, ale také k víkům na svých koncích. Tím dochází ke zpevnění vložky, neboť pevnější bočnice podrží tvar vložky mnohem lépe než samotné trubky a vlnovce. Bočnice také přenáší síly působící na vložku při pájení v peci. Při tomto procesu má vložka tendenci se působením tepla rozpínat. Tomu se zabraňuje použitím pájecích želez, které drží její tvar. Interakcí těchto dvou těles vznikají síly, které by mohly zdeformovat vložku. [21]



*Obr. 17. Bočnice [26]*

Na bočnici je možno umístit speciální prvky, které zlepšují funkčnost a životnost chladiče. Jedním z těchto prvků je „thermal feature“, který je důležitý pro teplotní roztažnost vložky. Jelikož je bočnice vyrobena z tlustšího materiálu oproti trubkám a vlnovcům, není její teplotní dilatace taková, jako u těchto komponentů. Působením tepla se vložka snaží roztahovat, čemuž ale bočnice brání a vzniká tím velké napětí. Z bočnice jsou proto vyseknuty určité části materiálu, čímž dochází ke snížení napětí při působení tepelného zatížení. Na bočnici se také můžou vyskytovat prvky, které napomáhají uchycení ventilátoru. Dalším, převážně technologickým, prvkem je „anti fin drop feature“. Jedná se o pacičky umístěné na kraji bočnice. Tyto pacičky lehce překrývají krajní vlnovce a zabraňují jejich vypadnutí při pájení, k čemuž občas dochází kvůli jejich tvaru. [21]

### 3.3.5 Těsnění

Těsnění je vulkanizovaná pryž, jehož účelem je utěsnění prostoru mezi vložkou chladiče a komorou. Pokládá se do žlábků ve víku, jehož rozměry kopíruje. Materiál těsnění se musí vyznačovat velkou chemickou odolností proti chemikáliím (především proti glykolu) a vysokou mechanickou odolností za zvýšené teploty do 135 °C. Ta je

vyžadována zejména kvůli kompresi, které je těsnění vystaveno. Na základě těchto požadavků je těsnění vyráběno ze syntetického kaučuku EPDM. [12]



*Obr. 18. Těsnění vložené ve víku [26]*

### 3.3.6 Komora

Komora je plastový díl, který se vyrábí pomocí technologie vstřikování. Komory se lemují k víku a přes ně se do vložky a z vložky dostává chladicí médium. Na komorách jsou situovány nejrůznější držáky, zácvaky a montážní prvky nezbytné k sestavení celého chladicího modulu a jeho zabudování do motorového prostoru v automobilu. Chladicím modulem se rozumí sestava několika výměníků (např. chladič, kondenzátor) a ventilátoru. Součástí komory bývá také vypustní ventil, kterým se vypouští chladivo ven z chladiče (např. při servise vozidla). Ventil bývá umístěn v co nejnižším bodě chladiče, jak je instalován v autě, aby bylo zajištěno, že z chladiče bude možné vypustit co nejvíce chladiva. [21]



*Obr. 19. Chladičové komory [21]*

Při výrobě prototypů se používají ručně tvarované nebo frézované hliníkové komory. Lze však využít i plastové komory vyrobené pomocí technologie 3D tisku, která není

závislá na zhotovení drahého nástroje (formy) jako technologie vstřikování. Nemusí se tak čekat na výrobu nástroje, ale výsledná komora může být k dispozici již za několik hodin. Vstřikované komory se tedy používají hlavně pro sériové (velkoobjemové) zakázky, kde se jejich výroba vyplatí jak z časových, tak i finančních důvodů. [12]

Materiálem těchto komor je obvykle PA66 s 30% přídavkem skleněných vláken. V některých zemích, kde je pro chladiče vyžadována zvýšená odolnost proti chloridu vápenatému, se používají komory z PA612 nebo PA610. Zvýšená odolnost je vyžadována kvůli složení směsi posypových solí, která se v těchto zemích aplikuje na vozovky. Jedná se o státy jako Korea, Japonsko, Rusko a některé části USA. V současné době otrásá světovým trhem s polyamidy krize s nedostatkem PA66, kdy výrobci tohoto polymeru nejsou schopni plnit všechny zakázky a dodávat materiál včas. Z toho důvodu momentálně probíhají testy dalších materiálů, které by mohly být adekvátní náhradou za PA66. Mezi tyto nové materiály patří např. PA6 nebo PP. [21]

PA66 se k výrobě komor používá z důvodu, že je dostatečně pevný, aby nesl všechny komponenty připojené ke komoře, ale je také ideálně pružný. Pevnost polyamidu je pak ještě zvýšena přídavkem skelných vláken. Pro komoru je důležitá správná volba materiálu, protože je vystavena neustálému mechanickému a tepelnému zatížení. Materiál se proto musí vyznačovat dobrou tepelnou a chemickou odolností při zvýšeném tlaku. Tloušťka stěny komory se na různých místech liší. Nejvíce materiálu je v patě komory a držácích. Podstatně užší je stěna na těle komory, kde je ale kvůli vyztužení této části potřeba přidat žebra či nějak profilovat její tvar. Materiál komory podléhá stárnutí působením glykolu a nevyztužením by mohla klesnout jeho životnost a tím i životnost celého chladiče. [21]

Důležitým kritériem pro hodnocení jakosti komory je rovinnost a přímost její paty. Její rozměry a tolerance musí být naprosto přesné, aby komora dosedla do víka a mohla být k němu nalemována. Musí přitom dostatečně stlačit těsnění, aby došlo k utěsnění chladiče. Při přílišném stlačení těsnění by mohlo dojít k jeho degradaci. [21]

Jedním z nejdůležitějších prvků umístěných na komoře jsou hrdla. Jsou na ně připojeny hadice, skrz které proudí chladicí médium z motoru. Hrdla proto zpravidla bývají orientována směrem k motoru. Každý chladič má jedno vstupní a jedno výstupní hrdlo. Velikost vnitřního průměru hrdla ovlivňuje rychlost proudění chladicího média, které vstupuje do vložky. Tento faktor jde ovšem opět ruku v ruce s tlakovými ztrátami na vodě.

Čím je větší průměr hrdla, tím menší jsou tlakové ztráty. Kvůli připojení hadic v autě je důležité, aby byla dodržena pozice hrdel na komoře. [21]

Dle pozice a počtu hrdel na komoře se rozlišují komory:

- 1) **Inletové (vstupní)** – přes tyto komory se chladivo dostává do vložky. Komora má jedno hrdlo, které bývá zpravidla umístěno na kraji komory tak, aby chladivo mohlo téci rovnou do horních trubek chladiče.
- 2) **Outletové (výstupní)** – komory s jedním hrdlem, přes které chladivo opouští chladič a proudí zpět do motoru.
- 3) **Kombinované (inlet/outlet)** – ohřáté chladivo touto komorou vtéká na jedné straně a druhou stranou vytéká ochlazené chladivo, které již prošlo skrz vložku. Komora má dvě hrdla (jedno vstupní a jedno výstupní) a uvnitř komory je přepážka, která komoru rozdělí na dvě samostatné části. Přepážka musí dokonale těsnit, aby nedošlo k úniku chladiva z jedné části do druhé. Těsnicí účinek v místě, kde přepážka dosedá do víka, je podpořen těsněním.
- 4) **Returnové** – tato komora se používá pouze v kombinaci s inlet/outlet komorou. Komora nemá žádné hrdlo a chladivo v ní pouze obrací svůj směr, kdy jednou polovinou přitéká a druhou polovinou odtéká. [21]

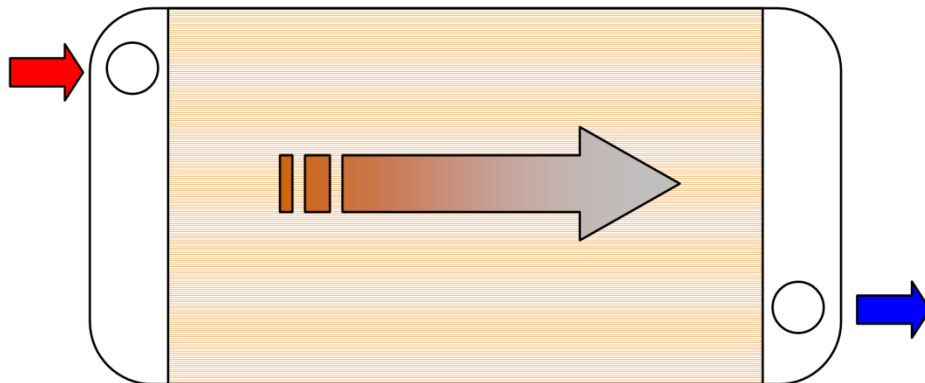
### 3.4 Typy chladičů

Nezákladnější druhy chladičů jsou sestaveny tak, aby chladivo proteklo co nejrychleji skrz vložku a dostalo se zpátky do motoru. Dráhu toku chladiva uvnitř chladiče však lze různě modifikovat, čímž vzniká několik tokových konfigurací. K modifikaci dráhy toku se používají přepážky uvnitř komor. Ty pak určují, jakým způsobem chladivo teče uvnitř chladiče. [21]

#### 3.4.1 Cross flow (X-flow)

Základní konfigurace chladiče, kdy chladivo proudí ze strany na stranu, se nazývá „*cross flow*“ (Obr. 20). Délka trubek tohoto chladiče je obecně větší a počet trubek menší než u „*down flow*“ konfigurace (viz kapitola 3.4.2), což má za následek vyšší tlakové ztráty chladičového média. To také vede k vyšším rychlostem proudění chladiva a lepšímu přenosu tepla než u „*down flow*“ chladiče, který má stejný poměr stran a stejnou velikost

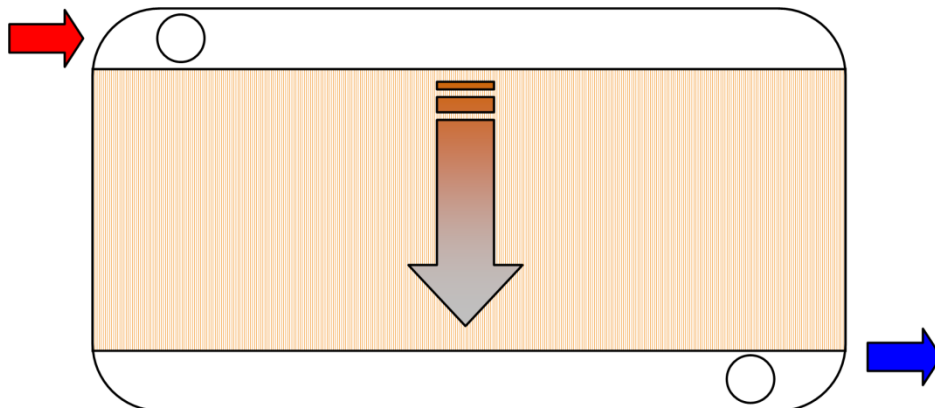
teplosměnné plochy. Jelikož tyto chladiče bývají spíš širší než vyšší, hodí se pro vozidla s nízkým profilem s omezeným vertikálním prostorem. [21], [25]



Obr. 20. „Cross flow“ konfigurace [21]

### 3.4.2 Down flow (D-flow)

Chladicí médium uvnitř tohoto chladiče proudí shora dolů (Obr. 21). Zpravidla jsou jeho trubky oproti X-flow konfiguraci kratší a jejich počet větší. Kratší délka trubek vede k menší teplotní roztažnosti trubek, čímž se prodlužuje životnost chladiče z hlediska teplotního zatížení. D-flow chladiče byly standardní konfigurace pro většinu starších vozidel. [21], [25]



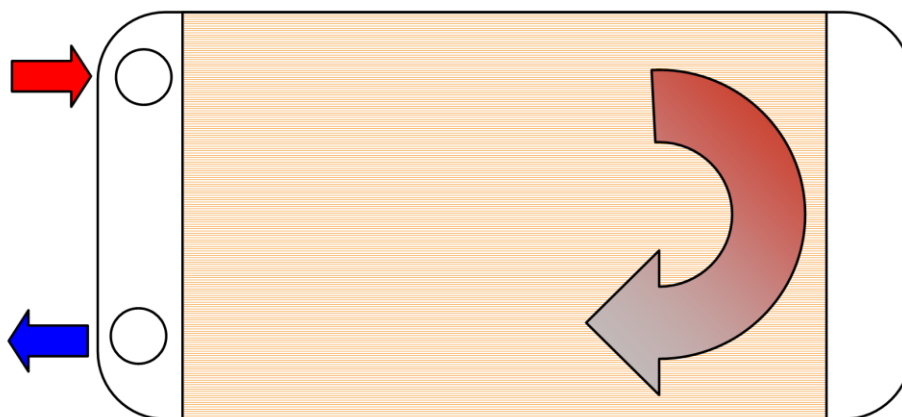
Obr. 21. „Down flow“ konfigurace [21]

### 3.4.3 U-flow

Tento typ chladiče má podobnou geometrii jako X-flow chladič. Trubky jsou orientovány vodorovně. Vstupní i výstupní hrdlo je umístěno na stejné komoře na jedné straně chladiče. Uvnitř komory mezi hrdly je příčná přepážka, která zajišťuje, že chladivo proudí od vstupního hrdla přes vložku do druhé komory, kde se otočí a vrací se zpět přes



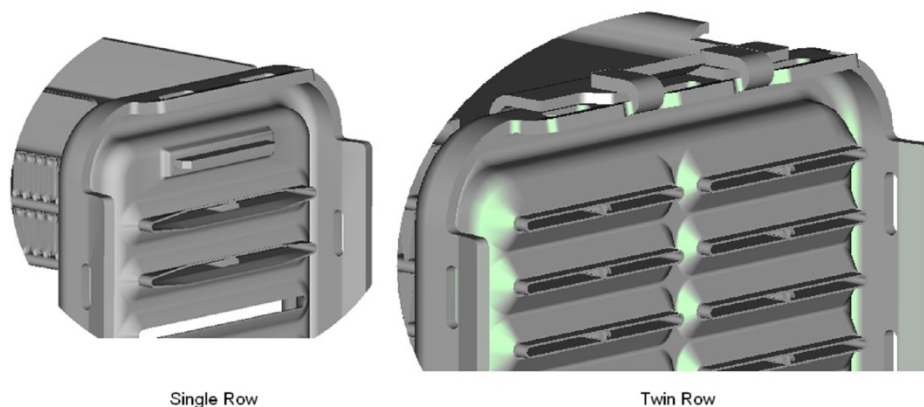
vložku k výstupnímu hrdlu (viz Obr. 22). Chladivo tak neproudí přímo od vstupu k výstupu. Výhodou této tokové konfigurace je, že chladicí médium získá díky rozdělení komory vyšší rychlost průtoku. To se vyplatí především u malých aut s malými motory, kde jsou relativně nízké průtoky. Výhoda taky může spočívat v jednodušším balení chladičů, protože jsou obě hrdla na stejné straně chladiče. Nevýhodou této varianty je vznik kritického místa v okolí přepážky. Vzniká zde velké tepelné napětí způsobené rozdílem teplot chladiva na obou stranách přepážky, kdy na jedné straně je vstupující ohřáté chladivo a na straně druhé už ochlazené vystupující. [21]



Obr. 22. U-flow konfigurace [21]

#### 3.4.4 Multi row (víceřadé)

Specifický typ chladiče, jehož konfigurace se týká počtu řad trubek, které tvoří šířku vložky. Běžné jsou zejména jednořadé a víceřadé chladiče, ale lze se setkat i s tří a víceřadými konfiguracemi. Navyšování počtu řad trubek se dělá zejména kvůli zlepšení výkonu chladiče, i když to není nejúčinnější způsob, jak toho dosáhnout. [21]



Obr. 23. „Single row“ a „twin row“ konfigurace [21]



### 3.4.5 Counter cross flow (CC-flow)

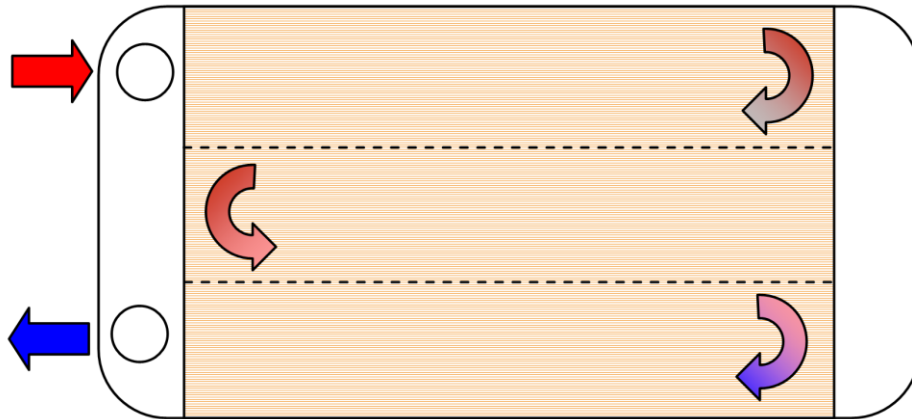
Tato konfigurace vyžaduje vložku se dvěma řadami trubek (Obr. 24). Průtok chladiva je podobný jako u U-flow chladiče, kdy je vstupní i výstupní hrdlo umístěné na stejné komoře. V tomto případě však má komora podélnou přepážku, která komoru rozdělí na dvě stejně dlouhé části s poloviční šířkou oproti původním rozměrům komory. Chladivo tak proudí ze vstupního hrdla do zadní řady trubek a přes returnovou komoru se vrací přední řadou trubek k výstupnímu hrdlu. Konfigurace je nastavena tak, aby chladivo nejdříve protékalo zadní řadou trubek a pak se vracelo přes přední řadu, aby se co nejlépe využil dostupný teplotní rozdíl mezi chladivem a proudícím vzduchem. Zadní řada trubek je umístěna blíže k čelní masce auta, takže je vystavena nejchladnějšímu vzduchu, čímž se dosahuje co nejúčinnějšího výkonu. [21]



Obr. 24. „Counter cross flow“ konfigurace [21]

### 3.4.6 Multi pass flow (MP-flow)

Chladiče s touto konfigurací mají podobnou geometrii jako U-flow chladiče. Do jejich komor jsou ovšem vloženy další přepážky, čímž se zvýší počet průchodů chladiva vložkou a tím se dosáhne požadované konfigurace průtoku (viz Obr. 25). Se zvyšujícím se počtem průchodů se zvyšují i tlakové ztráty chladicího média a proto je použití těchto konfigurací pro chladiče velmi omezené. Mnohem častěji nachází uplatnění u kondenzátorů, kde je nutné zvýšit výkon i za cenu tlakových ztrát, aby se stlačený freon dostatečně ochladil a zkondenzoval. [21]



Obr. 25. „Multi pass“ konfigurace [21]

### 3.5 Výroba chladiče

Výroba pájeného hliníkového chladiče v pájecí peci je složitý proces vyžadující obrovské znalosti této technologie. Pájení probíhá v ochranné atmosféře a nese označení CAB (z angl. Controlled Atmosphere Brazing). Atmosféra je bezkyslíková a je tvořena pouze dusíkem o rosném bodu  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Provozní teploty uvnitř pece se pohybují v rozmezí od  $580\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $620\text{ }^{\circ}\text{C}$ . [24]

Celý proces výroby však zahrnuje několik na sebe navazujících kroků, jejichž správné odladění vede k získání funkčního chladiče. Mezi jednotlivé kroky patří: skládání vložky, zapájení vložky a lemování komor. [21]



Obr. 26. Skládací stroj [26]

Skládání vložky je prvním krokem celého procesu. Jedná se o poloautomatickou operaci prováděnou na skládacím stroji (Obr. 26). Trubky a vlnovce jsou pomocí dopravníku dodávány do skládacího prostoru, kde jsou střídavě uspořádány a zarovnány. Potom operátor do stroje vloží bočnice a víka. Bočnice se přitlačí ke krajním vlnovcům, víko se nasune na trubky, následně jsou jejich konce rozevřeny a bočnice je přichycena k víku pomocí paciček. Jakmile je vložka poskládána, operátor na ni nasadí pájecí rám, který zafixuje její tvar. Následně operátor zastaví stroj, vyjme z něj vložku v pájecích rámech a tím je vložka připravená na další operaci. [12]

Vložka v pájecích rámech je převezena k peci, kde je položena na pásový dopravník směřující do pece. Ještě před samotným pájením je vložka teplotně odmaštěna a je na ni nanášeno tavidlo (flux). Flux při pájení rozpouští (odstraňuje) tenkou oxidovou vrstvu, která je na hliníkových površích přítomna, zvlhčuje povrch hliníku a tím umožňuje vznik pevného spoje. Při průchodu vložky pecí dochází k roztavení a následnému zatuhnutí plátování, čímž vzniká pevný spoj mezi jednotlivými hliníkovými komponenty. Po projetí všemi částmi pájecí pece je vložka vyjmuta z pájecího rámu a převezena k lemovacímu stroji. [12]

Vložka se umístí do lemovacího stroje, kde operátor do žlábků víka vloží těsnění a komoru. Stroj vyhodnotí, zda jsou všechny komponenty na správném místě a případně upozorní na danou neshodu. Pokud vše sedí, stroj přitlačí komoru na víko a nalisuje lemovací sloty víka na stěny komory, čímž dojde k utěsnění vložky. [21]

Po nalemování obou komor je chladič podroben testu těsnosti. Na hrdla chladiče se nasadí zátky, kterými se pod určitým tlakem do chladiče přivede vzduch nebo helium. Následně se přívod plynu zastaví a po určitou dobu se sleduje, o kolik klesne tlak uvnitř chladiče. Pokud tato hodnota nepřesáhne předepsanou hodnotu, znamená to, že je chladič těsný. Poté proběhne označení a odeslání chladiče zákazníkovi. [12]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 ÚVOD DO PRAKTICKÉ ČÁSTI A CÍLE PRÁCE

Praktická část diplomové práce bude porovnávat vybrané vlastnosti a chování chladičových komor vstřikovaných při rozdílných teplotách formy. V rámci procesu vstřikování je teplota formy určující pro délku ochlazování výstřiku, při kterém dochází k tvorbě krystalické fáze u semikrystalických polymerů. Čím déle trvá ochlazování, tím dosahuje výstřik většího stupně krystalinity.

Zkoumaná komora je součástí hlavního chladiče motoru vyráběného pro automobilku Volkswagen. Design chladiče včetně komory navrhla firma Hanon Systems Autopal s.r.o. Vstřikovací formu a samotnou výrobu komor zajišťuje firma NovaTech Cz, s.r.o. Materiálem komory je PA66-GF30, který vyrábí a dodává ve formě granulátu firma Solvay. Všechny vzorky byly vyrobeny v jednonásobné formě, aby porovnání jednotlivých vlastností komor bylo objektivní. Pro vzájemnou komparaci byly zvoleny čtyři různé teploty formy: 60 °C, 70 °C, 80 °C a 90 °C.

Hlavním cílem práce je odhalení vad vzniklých při vstřikování pomocí tzv. „Cooking“ testu, analýza rozměrů a analýza rozměrů za zvýšených teplot. Dále budou určeny vlastnosti jako podíl krystalické fáze, odrazivost a lesk povrchu, pórovitost a odolnost proti stárnutí. Polyamidy jsou navlhavé materiály a z toho důvodu byly jednotlivé testy provedeny v jeden moment na všech vzorcích, aby se v co nejvyšší eliminovalo zkreslení výsledků. S výjimkou testů z kapitol 9, 10 a 11 proběhlo veškeré testování v prostorách firmy Hanon Systems Autopal s.r.o.

## 5 VSTŘIKOVÁNÍ VZORKŮ

### 5.1 Popis komory

Jedná se o outletovou komoru s minimální tloušťkou stěny 2 mm. Vtok je ve formě situován do geometrického středu komory. Na komoře je umístěno jedno výstupní hrdlo o průměru 32,5 mm. Dále jsou na komoře umístěny dva držáky na ventilátor a další dva prvky určené pro montáž chladiče do automobilu. Komora obsahuje celkem čtyři vyztužená místa, na které tlačí písty lemovacího nástroje při lemování komory k vložce. Rozměry paty komory jsou 461,57 mm na délku a 38,44 mm na šířku. K odformování komory je ve formě použito celkem 8 vyhazovačů, které tlačí do nepohledové (vnitřní) strany komory.



*Obr. 27. Vstříkovaná komora*

### 5.2 Výroba vzorků

Vstříkování vzorků bylo provedeno ve firmě NovaTech Cz, s.r.o. v rámci korekce vstříkovací formy určené pro výrobu sériových komponentů. K tomuto účelu byl použit vstříkovací lis Demag 250 s maximální uzavírací silou 2500 kN, průměrem šneku 50 mm a maximální velikostí dávky 530 ccm. Forma (Obr. 28) je vybavena systémem horkého vtoku, přičemž samotné vtokové ústí má průměr 4 mm. Teperace formy je zajištěna systémem temperačních kanálků, v nichž je jako temperační médium použita voda.

Zkoumaným parametrem této diplomové práce je teplota formy. Pro sériovou výrobu těchto komor je teplota formy nastavena na 90 °C a ostatní vstříkovací parametry jsou odladěny vůči této hodnotě. Pro potřeby této práce se vyrobily komory i při teplotách formy 60 °C, 70 °C a 80 °C. Nejprve byla teplota formy nastavena na 60 °C, při které se vyrobilo potřebné množství komor. Poté se forma ohřála o 10 °C a vyrobilo se stejné množství komor, jako při 60 °C. Následně se celý proces zopakoval ještě dvakrát

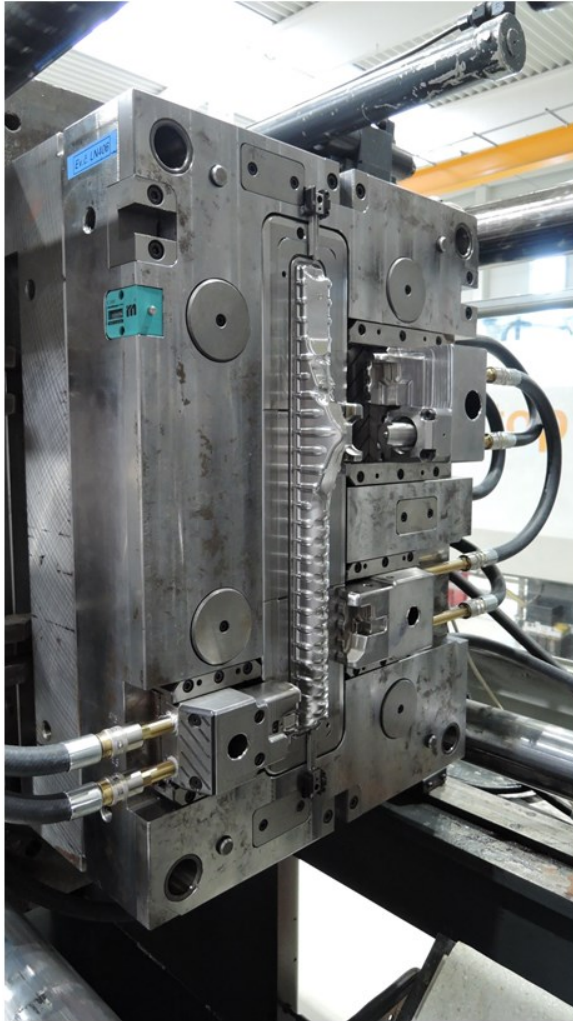
a vyrobily se komory při teplotách formy 80 °C a 90 °C. Všechny ostatní vstřikovací parametry zůstaly v průběhu celého vstřikování zachovány na stejných hodnotách. Jednotlivé hodnoty všech vstřikovacích parametrů jsou uvedeny v Tab. 3.

Tab. 3. Vstřikovací parametry při výrobě komor

teplota a doba sušení granulátu	80 °C, 4 hod
uzavírací síla	1700 kN (limit stroje 2500 kN)
smyková rychlost materiálu na vtoku	23060 s <sup>-1</sup> (limit materiálu 60000 s <sup>-1</sup> )
velikost dávky	180,6 ccm
bod přepnutí na dotlak	78,5 ccm
velikost polštáře	67 ccm
teplota pásem šneku	290/290/285/280/275 °C
teplota horké vstřikovací trysky	295 °C
rychlost posuvu šneku	0,42 m/s
vstřikovací tlak	1150 bar (limit stroje 1600 bar)
zpětný tlak	80 bar
vstřikovací rychlost	157 ccm/s (limit stroje 192 ccm/s)
doba cyklu	39 s
doba chlazení	18 s
doba vstřikování	1 s
doba plastikace	13 s
hodnota dotlaku	800 bar (konstantní)
doba dotlakové fáze	9 s
doba setrvání taveniny ve šneku	1,8 min



Po vstřikování byly komory detailně prozkoumány a došlo k nalezení malé spáleniny na patě komory. Spálenina byla v místě, kde ve formě končí tok taveniny na krátké straně komory, která je blíž k hrdlu. Jednalo se však o velmi malou spáleninu a proto se ji nepodařilo odhalit při vstřikování. Výrobce formy tedy bude muset toto místo v dutině formy upravit (např. odvzdušněním) a tím odstranit defekt, který by mohl mít negativní vliv na kvalitu komory (výstřiku).



POHYBLIVÁ ČÁST



PEVNÁ ČÁST

*Obr. 28. Vstřikovací forma*



## 6 COOKING TEST

K rychlému odhalení vad a kritických míst vystříknutých chladičových komor slouží tzv. „Cooking“ test. Jedná se o zrychlenou formu zkoumání stárnutí materiálu vlivem chladičového média. Vybrané vzorky se vloží do uzavíratelné nádoby, ve které je čistý glykol o teplotě 135 °C. Nádoba se uzavře a vzorky se uvnitř ponechají po dobu 48 hodin. V průběhu této doby glykol působí na komoru a zvýrazňuje výrobní vady jako spáleniny a trhliny, které jsou do té doby pouhým okem nerozpoznatelné. Působením tepla také dochází ke změně rozměrů komory, což ale není podstata „Cooking“ testu a proto se zde rozměrové změny nevyhodnocují. Po uplynutí 48 hodin se komory vytáhnou a opláchnou vodou, aby se z nich odstranil použitý glykol. Následně se komory dají přibližně na 3 hodiny do sušárny, kde dojde k odpaření zbytkové vody, popř. glykolu. Takto vysušené vzorky jsou připraveny k vizuální analýze pomocí optického mikroskopu, kde se hledají zvýrazněné vady. V případě, že je objevena vada na místě, které by bylo kritické pro funkčnost komory, může být tato vada zavčasu eliminována. Pokud se jedná o výrobní vadu, dojde k upravení formy, pokud se však jedná o vadu konstrukční, je třeba upravit celý design.



Obr. 29. Místa nálezu trhlin na komoře po Cooking testu

Pro potřeby této práce byly „Cooking“ testu podrobeny dvě komory od každé teploty formy, čili celkem 8 vzorků. Po provedení výše popsané procedury byly komory prozkoumány a přitom byly objeveny 4 trhliny na každém vzorku. Na všech vzorcích se trhliny vyskytovaly na stejných místech a zároveň i jejich velikost byla přibližně stejná. Konkrétní umístění jednotlivých trhlin je znázorněno na Obr. 29. Trhliny byly označeny čísly 1 až 4.

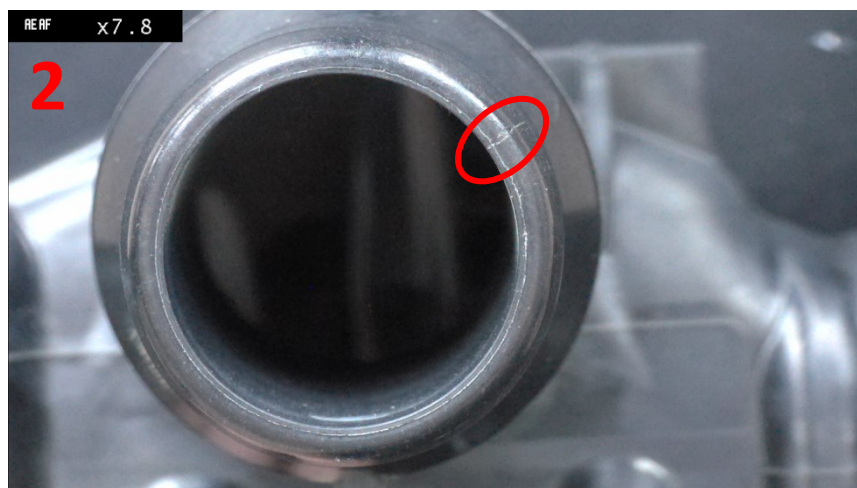
Trhliny č. 1 a č. 3 se nacházejí na místech, které ve skutečnosti vůbec nepříjdou do kontaktu s glykolem. Jelikož je však při „Cooking“ testu ponořena do glykolu celá komora, nelze zabránit, aby se vytvořili trhliny i na těchto místech. Konkrétně se jedná

o místa na spodním držáku ventilátoru a zkosenou hranu na hrdle (viz Obr. 30). Jak už bylo řečeno výše, objevení těchto trhlin po „Cooking“ testu je nepodstatné, neboť se vyskytují na vnější straně komor a v praxi vůbec nebudou vystaveny působení glykolu. Z toho důvodu nedojde k jejich vzniku a tyto místa lze označit jako bezpečná.



Obr. 30. Trhliny 1 a 3 po „Cooking“ testu

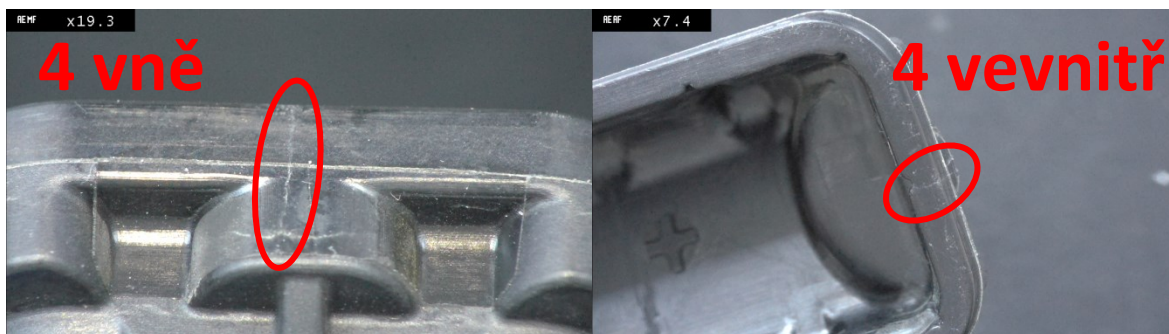
Trhlina č. 2 se vyskytuje na konci hrdla, přičemž mírně zasahuje i do jeho vnitřní části (viz Obr. 31). Mohla by tedy narušit vnitřní strukturu hrdla a tím ohrozit i jeho samotnou funkčnost. Po pečlivějším prozkoumání trhliny bylo zjištěno, že vzniká na vnějším povrchu, čili nebude kritickým místem této komory. Navíc se jedná o velmi slabou trhlínu, která by neměla být velkou překážkou pro bezproblémové fungování chladiče.



Obr. 31. Trhlina 2 po Cooking testu

V případě trhliny č. 4 se jedná o „nejkritičtější“ místo odhalené „Cooking“ testem. Trhlina se nachází na patě komory a táhne se z její vnější části až po část, která je přímo v kontaktu s těsněním ve víku (viz Obr. 32). Právě zde, na spodní straně paty komory, byla objevena malá spálenina, která mohla být příčinou vzniku trhliny. Pokud by se jednalo o velkou trhlínu, mohl by to být potenciální problém, protože by mohla způsobit ztrátu

těsnicího účinku. Jelikož se opět jedná o velmi slabou trhlinu, nemusí se jí přiřkládat taková vážnost. Dle letitých zkušeností konstruktérů firmy Hanon Systems Autopal s.r.o. se po „Cooking“ testu trhliny tohoto typu vyskytují v těchto místech na komorách stále. Spáleninu je však nutné odstranit úpravou formy, aby v tomto místě nedocházelo k degradaci materiálu. Tato vada zřejmě souvisí se studeným spojem, vznikajícím v tomto místě.



Obr. 32. Trhlina 4 po Cooking testu na vnější i vnitřní straně komory

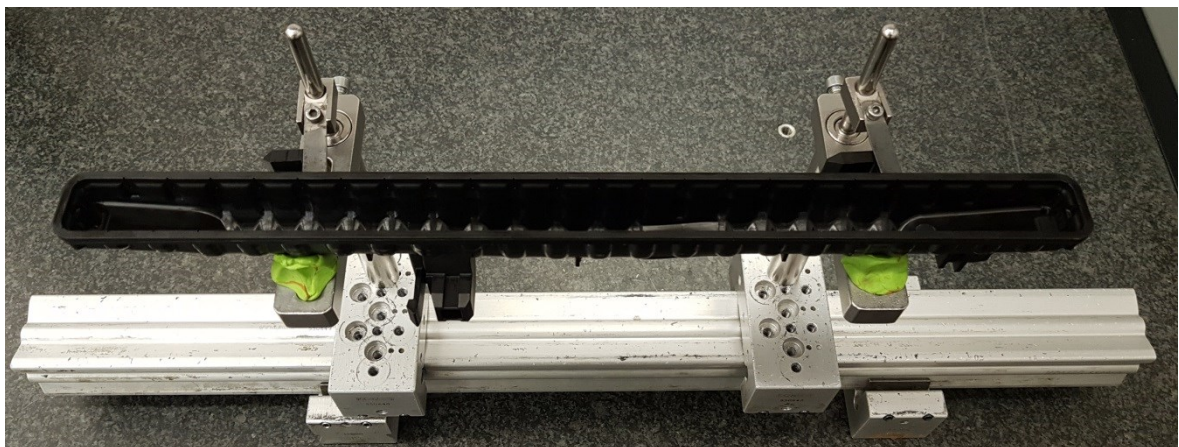
Ze získaných informací lze konstatovat, že teplota formy nemá vliv na tvorbu trhlin, které se odhalují pomocí „Cooking“ testu. Všech 8 zkoumaných vzorků vykazovalo tvorbu trhlin na totožných místech, přičemž i jejich velikosti byly shodné. Všechny nalezené trhliny byly důkladně prozkoumány a nebyla identifikována žádná, která by šla označit za potenciálně nebezpečnou. Z toho plyne, že vstřikovací forma je vyrobena kvalitně a jedinou úpravou, kterou je na formě potřeba provést, je odstranění spáleniny v místě tvorby trhliny č. 4.

## 7 ROZMĚROVÁ ANALÝZA

Dodržení predepsaných rozměrů je u komor velmi důležité. Pro automobilku jsou stěžejní rozměry a pozice hrdel kvůli připojení hadic z motoru a pak také rozměry a pozice montážních prvků, které slouží k uchycení chladiče v motorovém prostoru auta. Právě na tyto části je kladen velký důraz při kontrolách finálních výrobků. Z pohledu výrobce chladiče jsou nejdůležitějšími kritérii geometrické tolerance paty komory a samozřejmě také její rozměry. Při dodržení všech požadavků na výkrese komora ideálně dosedne do víka a může tak být nalemována k vložce. V případě, že se některé hodnoty vyskytují mimo povolené tolerance, dochází ke vzniku problémů. Může se např. jednat o kolizi komory s částí víka při hrubém nedodržení rozměrů nebo o vznik netěsnosti v důsledku nesprávného stlačení těsnění ve víku při lemování při překročení tolerance rovinnosti.

Tento test je orientován na měření vybraných tolerancí paty komory, tedy požadavků výrobců chladičů. Konkrétně pak tolerance rovinnosti a tolerance profilu paty komory. Měření bylo provedeno na souřadnicovém měřicím stroji GLOBAL STATUS od firmy DEA (viz Obr. 36 v kapitole 8), který využívá technologii dotykového 3D skenování pomocí hrotu s kuličkou upnutého v měřicí hlavě. Způsob uložení komory při měření je zobrazen na Obr. 33. Vyhodnocení a grafické znázornění výsledků bylo zpracováno v softwaru PC-DMIS. Bylo měřeno celkem 12 vzorků (3 kusy od každé teploty formy). Z důvodu ochrany citlivých dat firmy Hanon Systems Autopal s.r.o. zde nebude zobrazen výkres komory, ale pouze se zde uvedou hodnoty obou výše zmíněných tolerancí:

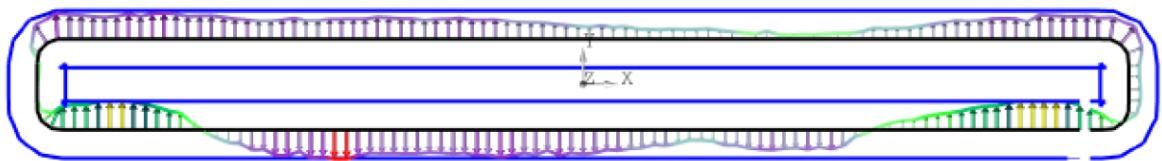
- V případě tolerance rovinnosti se jedná o toleranční pole o velikosti 1 mm,
- V případě tolerance profilu má toleranční pole velikost 0,8 mm.



*Obr. 33. Způsob uložení komory při měření*

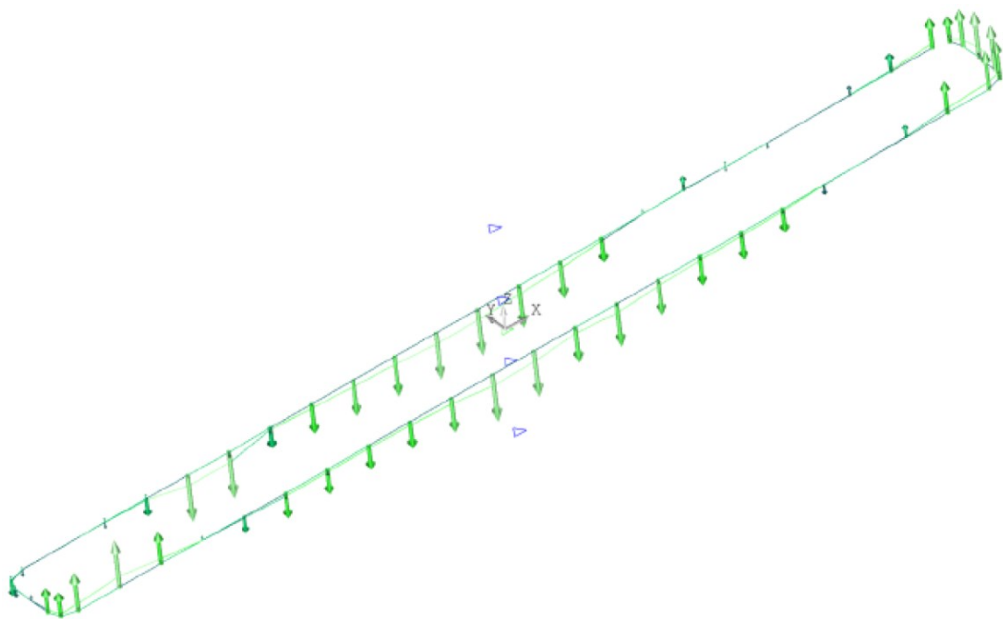


Nejdříve byl změřen profil obvodu paty komory. Na grafickém znázornění (Obr. 34) lze vidět orientaci a velikost odchylek od nominální hodnoty v jednotlivých bodech. Konkrétně se jedná o grafické znázornění vzorku č. 3, který jako jediný nesplnil předepsanou toleranci. Fialovou barvu mají plusové odchylky, zelenou barvu mínusové odchylky a žlutou barvu hraniční mínusové odchylky. Červená barva zde znázorňuje překročení tolerančního pole a tedy nevyhovující kus. Samotné toleranční pole pak vymezuje modrá barva.



Obr. 34. Příklad grafického znázornění měření profilu paty komory

Rovinnost paty komory byla měřena na ploše, která dosedá do žlábků ve víku. Grafické znázornění výsledků (Obr. 35) i zde přehledně ukazuje velikost odchylky reálně naměřené hodnoty od nominální hodnoty vzorku. K tomuto účelu zde slouží velikost a orientace šipek, která ještě upřesňuje, ve kterém směru od nominálu leží odchylka. Lze zde vyzorovat, že krajní části komor mají tendenci se zvedat a střední část propadat. Komora se tak snaží prohnut do určitého oblouku, který ovšem nepřekračuje povolené toleranční pole a funkčnost komory tak zůstává zachována.



Obr. 35. Příklad grafického znázornění měření rovinnosti paty komory

Výsledky měření jsou zobrazeny v Tab. 4, kde lze pozorovat závislost teploty formy na rozměrové stabilitě vstřikovaných komor. Vzorky vstřikované při nižších teplotách formy mají maximální hodnoty odchylek větší v porovnání se vzorky, které byly vstřikovány při vyšších teplotách formy. S rostoucí teplotou formy tedy klesá maximální hodnota odchylky u obou tolerancí. Při měření profilu paty komory není tato závislost tak patrná jako při měření tolerance rovinnosti paty komory. Zde se vyskytují rozdíly kolem 0,4 mm mezi vzorky vstřikovanými při nejnižších teplotách formy a vzorky vstřikovanými při nejvyšších teplotách formy. Všechny vzorky se ovšem vešly do tolerančního pole. V případě měření tolerance profilu paty komory je hodnota tohoto rozdílu 0,1 mm. Vzorky vstřikované při teplotách formy 60 °C a 70 °C se pohybují na hraně tolerance, přičemž vzorek č. 3 toto toleranční pole dokonce překročil. Z tohoto hlediska proto není vhodné vstřikovat komory při nižších teplotách formy a zkracovat tím délku chlazení výstřiku. Vzorky vstřikované při teplotách formy 80 °C a 90 °C mají maximální hodnoty odchylek poněkud menší a je zde také poněkud menší riziko, že by tyto komory překročily toleranční pole. Tím také klesá možná zmetkovitost těchto výstřiků a náklady na spotřebu materiálu. Proto se doporučuje vstřikovat při vyšších teplotách formy a nesnažit se za každou cenu zkrátit vstřikovací cyklus.

Tab. 4. Rozměrová analýza paty komor

teplota formy [°C]	číslo vzorku	max. hodnota odchylky při měření profilu [mm]	max. hodnota odchylky při měření rovinnosti [mm]
60	1	0,781	0,854
	2	0,789	0,871
	3	0,813	0,837
70	4	0,708	0,766
	5	0,795	0,748
	6	0,765	0,744
80	7	0,729	0,623
	8	0,750	0,574
	9	0,775	0,570
90	10	0,737	0,449
	11	0,685	0,469
	12	0,684	0,395

## 8 ROZMĚROVÁ ANALÝZA ZA ZVÝŠENÝCH TEPLOT

Podstatou tohoto testu je zjištění rozměrové stability daných komor. U semikrystalického polymeru, který je po vstřikování ochlazen příliš rychle, nedochází k dostatečné krystalizaci jeho krystalických částí. Po opětovném zahřátí se materiál snaží zaujmout stav s nejnižší energií. To znamená dodatečnou změnu rozměrů, která může mít negativní vliv na funkčnost chladiče.

Před samotným měřením rozměrů byly komory umístěny do vysoušecí pece, která slouží k vysoušení vody z prototypových chladičů po jejich testu těsnosti. Zde byly vystaveny vzduchu o teplotě 140 °C po dobu přibližně 8 hodin. Velikost teploty byla zvolena s přihlédnutím k maximální teplotě, která se může v komoře v provozu vyskytovat.



*Obr. 36. Souřadnicový měřicí stroj GLOBAL STATUS*

Měření proběhlo na stejném stroji (Obr. 36) a výsledky byly zpracovány ve stejném softwaru jako v kapitole 7. Zkoumanými parametry byly tytéž tolerance a jako vzorky byly použity totožné komory, aby se mohl lépe posoudit vliv teploty formy na rozměrovou stabilitu komor. V Tab. 5 jsou uvedeny maximální naměřené hodnoty odchylek obou

tolerancí. Hodnoty v závorkách jsou rozdíly hodnot maximálních odchylek tolerancí jednotlivých vzorků z Tab. 4 a Tab. 5. U většiny vzorků došlo po teplotním zatížení ke snížení maximální hodnoty odchylek.

Tab. 5. Rozměrová analýza paty komor za zvýšených teplot

teplota formy [°C]	číslo vzorku	max. hodnota odchylky při měření profilu [mm] (rozdíl vůči hodnotě v Tab. 4)		max. hodnota odchylky při měření rovinnosti [mm] (rozdíl vůči hodnotě v Tab. 4)	
60	1	0,762	(-0,019)	0,362	(-0,492)
	2	0,726	(-0,063)	0,405	(-0,466)
	3	0,776	(-0,037)	0,410	(-0,427)
70	4	0,657	(-0,051)	0,408	(-0,358)
	5	0,701	(-0,094)	0,467	(-0,281)
	6	0,760	(-0,005)	0,561	(-0,183)
80	7	0,766	(0,037)	0,566	(-0,057)
	8	0,789	(0,039)	0,782	(0,208)
	9	0,601	(-0,174)	0,467	(-0,103)
90	10	0,692	(-0,045)	0,584	(0,135)
	11	0,666	(-0,019)	0,537	(0,068)
	12	0,609	(-0,075)	0,546	(0,151)

Maximální odchylka při měření profilu paty komory narostla pouze u vzorků označených čísly 7 a 8. Vzorek č. 9 vykazuje největší rozdíl (-0,174 mm) v porovnání s měřením v kapitole 7. Nejstabilněji se jeví vzorky vstříkované při teplotě formy 60 °C, které se ovšem stále pohybují na hraně tolerančního pole. Největší rezervu tak pořád mají vzorky vstříkované při teplotě formy 90 °C. Nelze zde však pozorovat žádnou závislost mezi teplotou formy při vstříkování a velikostí rozdílu u jednotlivých měření. Je však možné konstatovat, že z hlediska možnosti překročení tolerančního pole se jako nejméně kritické dají označit vzorky vstříkované při vyšších teplotách formy.

Měření tolerance rovinnosti paty komory naopak ukázalo naprosto jasné výsledky. Hodnota rozdílu roste s klesající teplotou formy při vstříkování. Vzorek č. 1 (vstříkovaný při teplotě formy 60 °C) změnil svou maximální odchylku o -0,492 mm, zatímco u vzorku č. 11 (vstříkovaného při teplotě formy 90 °C) tento rozdíl činí pouhých 0,068 mm. Sestupnou tendenci velikosti rozdílu lze sledovat u všech vzorků vstříkovaných při daných teplotách formy. Největší rozměrovou stabilitu (tj. nejmenší změnu rozměrů proti teplotně nezatíženému stavu) po teplotním zatížení vykazují vzorky vstříkované při vyšších teplotách formy.



## 9 PODÍL KRYSTALICKÉ FÁZE

Jak bylo zmíněno v kapitole 1.1, teplota formy je určujícím faktorem rychlosti ochlazování, přičemž v ochlazovací fázi se vytváří krystalická struktura u semikrystalických polymerů. Krystalinita materiálu v procentech se vypočítá pomocí vztahu:

$$w_c = \frac{\Delta H_m}{\Delta H^0} \cdot 100 (\%) \quad (2)$$

kde  $\Delta H_m$  je entalpie tání zkoumaného polymeru a  $\Delta H^0$  je entalpie tání 100% krystalického polymeru. Jelikož se tato práce zabývá pouze jedním materiálem, bude pro vzájemnou komparaci zkoumaných vzorků stačit změřit pouze  $\Delta H_m$ . [27]



*Obr. 37. Místo odebrání vzorků pro DSC analýzu*

Měření bylo uskutečněno na jednom vzorku od každé teploty formy pomocí diferenciální skenovací kalorimetrie (DSC) v laboratoři firmy Varroc Lighting Systems, s.r.o. v Novém Jičíně, která vyrábí světelnou techniku pro automobilový průmysl (v této laboratoři bylo provedeno i měření z kapitol 10 a 11). DSC analýza byla provedena na přístroji DSC 2910 TA Instruments (Obr. 38). Pro potřeby tohoto měření byly z testovacích komor odebrány malé vzorky o hmotnosti přibližně 12 mg. Místo odebrání vzorků je zobrazeno na Obr. 37. Vzorky se vložily do přístroje, kde byla vytvořena dusíková atmosféra. Zde se vzorky postupně zahřívaly z teploty 20 °C až na teplotu 300 °C rychlostí 20 °C/min. V průběhu zahřívání se měřila teplota tání a entalpie tání, neboli teplo potřebné k roztavení materiálu. Výsledky měření jsou zaznamenány v Tab. 6.



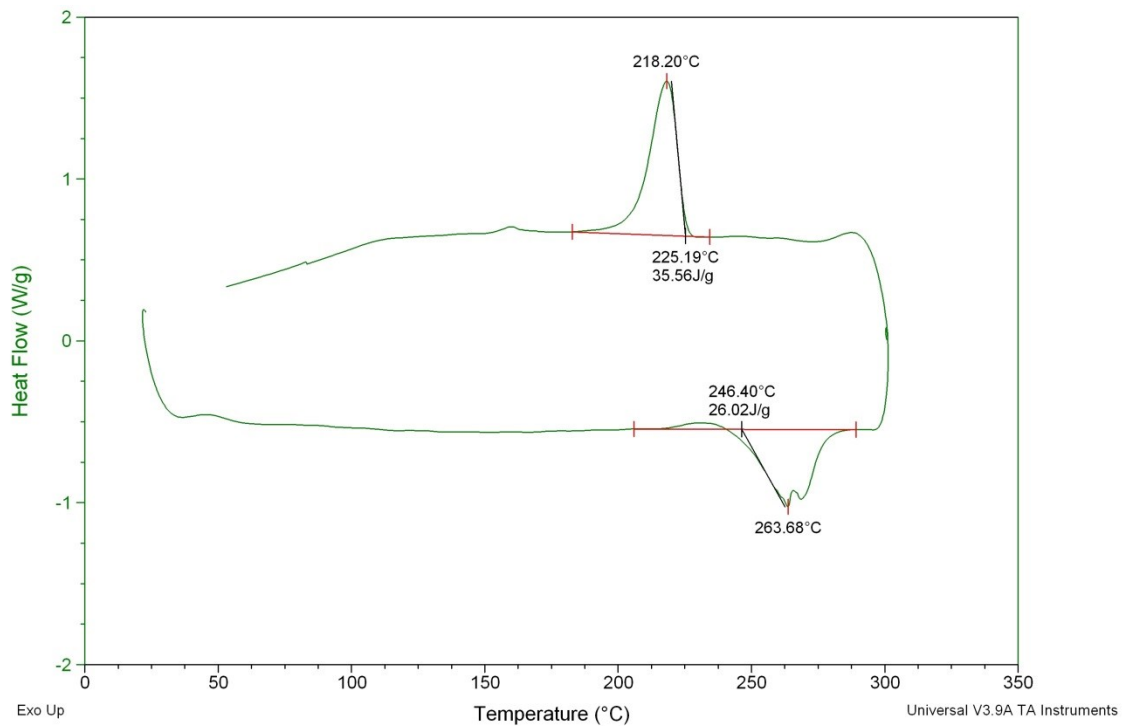
Obr. 38. DSC 2910

Výsledky měření neukazují žádný vliv teploty formy na entalpii tání, resp. krystalinitu. Rozdíly mezi hodnotami entalpií tání jsou zde zanedbatelné. Hodnoty teploty i entalpie tání jsou navíc pravděpodobně zkresleny teplotní historií vzorků. Tuto skutečnost lze odhalit z průběhu píku tání, který ani u jednoho vzorku nevykazuje hladký průběh. Na Obr. 39 je zobrazen DSC termogram vzorku č. 2, kde lze průběh tohoto píku pozorovat. Jelikož nebyla odhalena žádná závislost mezi teplotou formy a krystalinitou, byly za obdobných podmínek (chlazení vzorku z 300 °C na 20 °C rychlostí 20 °C/min) změřeny i teplota tuhnutí a entalpie tuhnutí neboli množství tepla odevzdaného materiálem při jeho krystalizaci.

Tab. 6. Teplota a entalpie tání

teplota formy [°C]	číslo vzorku	teplota tání [°C]	entalpie tání [J/g]
60	1	262,4	28,18
70	2	263,7	26,02
80	3	263,4	26,29
90	4	266,9	26,34

Výsledky měření teploty a entalpie tuhnutí jsou zaznamenány v Tab. 7. Můžeme zde vidět, že teploty tuhnutí jsou u všech vzorků přibližně stejné. U entalpie tuhnutí jsou určité rozdíly, které jsou však opět zanedbatelné a nelze zde vypořádat žádná závislost s teplotou formy. Na Obr. 39, kde je vyobrazen DSC termogram vzorku č. 2, se v průběhu chlazení objevuje malý pík při teplotě cca 150 °C. Může se jednat o kontaminaci materiálu, což může opět zkreslovat výsledky.



Obr. 39. DSC termogram vzorku č. 2

Tab. 7. Teplota a entalpie tuhnutí

teplota formy [°C]	číslo vzorku	teplota tuhnutí [°C]	entalpie tuhnutí [J/g]
60	1	218,1	35,97
70	2	218,2	35,56
80	3	217,5	34,53
90	4	218,4	37,08

V rámci tohoto měření nebyla odhalena žádná závislost mezi teplotou formy při vstřikování a podílem krystalické fáze. Příčiny této skutečnosti mohou být různé. Mohlo se např. jednat o kontaminaci materiálu při vstřikování, zkreslení výsledků z důvodu teplotní historie vzorků nebo rozdíly mezi zvolenými teplotami formy při vstřikování byly natolik malé, aby se dostatečně projevíly rozdíly v podílu krystalické fáze ve struktuře jednotlivých zkoumaných vzorků.

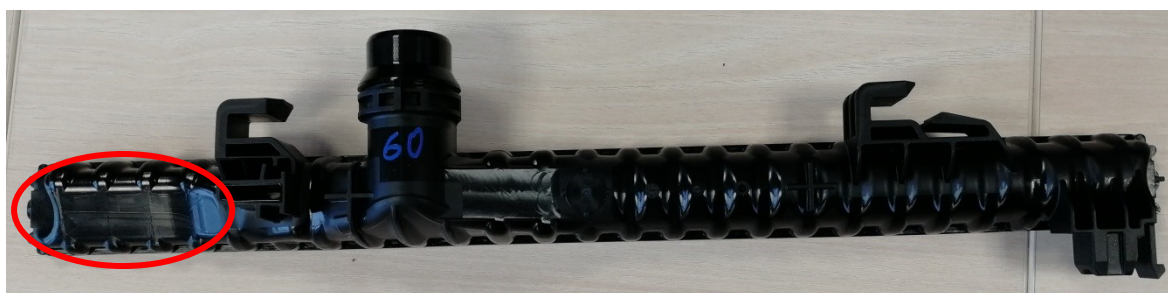
## 10 ODRAZIVOST

První ze dvou zkoumaných parametrů určujících kvalitu povrchu vstřikovaného dílu je odrazivost. Tato veličina určuje poměr množství světla odraženého od materiálu vůči množství světla, které na materiál dopadlo. Jedná se tedy o bezrozměrnou veličinu, která se může uvádět v procentech.



*Obr. 40. Spektrofotometr Konica Minolta CM-5*

Po zhlédnutí vzorků bylo pracovníky laboratoře Varroc Lighting Systems, s.r.o. doporučeno provést měření za standardních podmínek, tj. se zdrojem světla D65 a úhlem pozorovatele  $10^\circ$ . Samotné měření proběhlo na spektrofotometru Konica Minolta CM-5 (Obr. 40) a výsledky byly zpracovány v softwaru SpectraMagic NX. Zkoumaný vzorek se přiložil k měřicí štěrbině přístroje, kde na něho dopadlo světlo vyzářené z daného zdroje. Od vzorku se část světla odrazila zpět a dle tohoto odraženého množství software vypočítal hodnotu odrazivosti.



*Obr. 41. Místo odebrání vzorků pro měření odrazivosti a lesku*

Správnost měření může být zaručena pouze na rovné ploše zkoumaného vzorku. Pokud by se na vzorku vyskytovaly jakékoli nerovnosti, mohl by přístroj vyhodnotit výsledky nesprávně. Nejvhodnější plocha k měření odrazivosti se vyskytuje na horní pohledové straně komory (viz levá strana komory na Obr. 41), odkud byl vyřezán vzorek o velikosti cca 2 x 4 cm. Výsledky měření jsou uvedeny v Tab. 8.

Tab. 8. Odrazivost

teplota formy [°C]	číslo vzorku	odrazivost [%]
60	1	4,67
70	2	4,65
80	3	4,66
90	4	4,63

Odrazivost dosahuje u všech vzorků prakticky stejných hodnot, čili vliv teploty formy při vstřikování na odrazivost povrchu nebyl prokázán. Velikost odrazivosti zkoumaných vzorků je navíc poměrně malá. Důvodem těchto výsledků je s největší pravděpodobností typ povrchu komory, který je černý a matný. Chladičové komory však nemusí disponovat vysokou odrazivostí, která je spíše vyžadována u výrobků, jako jsou např. zrcadla či světlomety. Odrazivost je plně dána kvalitou povrchu tvarové dutiny formy v daném místě, není tedy ovlivněna teplotou formy.



## 11 LESK

Druhou zkoumanou povrchovou vlastností chladičových komor je lesk. Je to poměr odraženého světla od povrchu výrobku vzhledem k referenčnímu standardu leštěného skla. Množství odraženého světla závisí na vlastnostech povrchu a úhlu dopadu světla. Normalizovány jsou tři měřicí úhly, a to 20°, 60° a 85°, přičemž základním měřicím úhlem je 60°. Jednotkou lesku je GU (z angl. gloss units) a má rozsah od 0 do 100 jednotek. [28]



Obr. 42. Leskoměr ZGM 1120 [30]

Pro měření lesku se použily totožné vzorky, na kterých proběhlo měření odrazivosti (viz Obr. 41). Toto měření má totiž stejné nároky jako měření odrazivosti, a to měření na ploše bez jakýchkoli nerovností. Měřením na stejných vzorcích je dosaženo názorného porovnání mezi vlivem teploty formy při vstřikování na odrazivost a lesk.

K měření lesku byl použit leskoměr ZGM 1120 (Obr. 42), který umožňuje měření pod všemi třemi úhly dopadu. Jelikož jsou vzorky matné, pracovníci laboratoře Varroc Lighting Systems, s.r.o. doporučili měřit pod úhlem 20°. Na každém ze čtyř vzorků bylo provedeno celkem pět měření na náhodných místech, aby se co nejvíce eliminovaly chyby vzniklé při nesprávném měření. Daný vzorek se položil na pracovní stůl, kde k němu byl přiložen leskoměr připojený k počítači. Po přiložení měřicí štěrbině k vzorku bylo vyžářeno světlo pod nastaveným úhlem 20°. Množství odraženého světla bylo zachyceno měřicí čočkou leskoměru, poté byla získaná data odeslána do počítače. Pomocí softwaru GlossTools byla následně vyhodnocena hodnota lesku. Naměřené hodnoty lesku jednotlivých vzorků při všech měřeních jsou zobrazeny v Tab. 9.

Tab. 9. Lesk

teplota formy [°C]	číslo vzorku	číslo měření	lesk [GU]
60	1	1	2,7
		2	2,6
		3	2,6
		4	2,2
		5	2,2
70	2	1	4,2
		2	4,4
		3	4,2
		4	4,3
		5	4,2
80	3	1	4,9
		2	4,9
		3	5
		4	5,3
		5	5,2
90	4	1	5,8
		2	6
		3	5,9
		4	6,3
		5	5,9

Z tabulky je patrné, že všechna měření u všech vzorků proběhla správně, neboť výsledné hodnoty lesku se pro jednotlivé vzorky vzájemně příliš neliší. Na vzorku č. 1 byl naměřen lesk v rozmezí od 2,2 po 2,7 GU. Vzorek č. 2 dosáhl hodnot v rozmezí od 4,2 do 4,4 GU. Vzorek č. 3 má rozmezí lesku od 4,9 po 5,3 GU. Pro vzorek č. 4 je toto rozmezí od 5,8 po 6,3 GU.

Nejnižších hodnot dosáhl vzorek č. 1, kdy rychlejším ochlazením komory v dutině vstřikovací formy nedošlo k vytvoření tak kvalitního povrchu jako u vzorku č. 4, který díky vyšší teplotě formy chládl o něco déle. Mezi vzorky č. 1 a č. 2 je nejvyšší skok u naměřených hodnot, a to přibližně 1,5 GU, u ostatních vzorků jsou rozdíly kolem 0,5 GU. Dle získaných výsledků je tedy možné konstatovat, že se vzrůstající teplotou formy roste také hodnota lesku daných vzorků. Vliv teploty formy při vstřikování na lesk chladičových komor byl prokázán.

## 12 PÓROVITOST

Při vstřikování dílů mohou vznikat vnitřní nežádoucí vady materiálu. Jednou z těchto vad jsou póry (lunkry, staženiny, vakuové bubliny). Jedná se o uzavřená dutá místa vznikající v oblastech s většími tloušťkami stěn. Tavenina chladne nejrychleji při kontaktu se stěnou dutiny formy, kde následně vytváří pevný obal (krunyř). Vnitřní části stěn jsou mezitím stále v plastickém stavu a v momentě, kdy začínají tuhnout, se smršťují směrem k vnějšímu krunyři. V důsledku toho se materiál ze středu rozestupuje a vytváří tak dutinu, která po zatuhnutí zůstává ve výrobku. Množství těchto dutin ve stěnách výstřiku se označuje jako pórovitost nebo porozita. Nadměrný výskyt pórů může mít negativní vliv na mechanické vlastnosti výstřiku. Proto je třeba mít optimalizovaný vstřikovací proces, který tvorbu lunkrů co nejvíce eliminuje. [29]



Obr. 43. Místa a označení řezů k měření pórovitosti

Pórovitost se měří v průřezu stěnou a je dána jako poměr součtu obsahu pórů v daném průřezu vůči celkovému obsahu daného průřezu. Udává se v procentech. Další variantou měření pórovitosti je využití CT skenování. V rámci této diplomové práce byla použita první metoda, přičemž měření pórovitosti se provedlo na jedné komoře od každé teploty formy. Vytipovala se dvě potenciálně kritická místa na komoře s největším obsahem materiálu ve stěnách, ve kterých byly provedeny řezy. Místa řezů a jejich označení je zobrazeno na Obr. 43. Rozřezané vzorky byly zalaty do epoxidové pryskyřice, kde se vybrousil povrch získaných průřezů na požadovanou kvalitu. Vybroušené vzorky se nasnímalý pomocí mikroskopu Nikon Epiphot 200 (Obr. 44). Snímky byly zpracovány pomocí softwaru NIS-Elements AR, který je složil do jednoho obrazu. Následně se označila zkoumaná oblast a software spočítal hodnotu porozity daného průřezu. Výsledky tohoto měření jsou uvedeny v Tab. 10.





Obr. 44. Mikroskop Nikon Epiphot 200

Tab. 10. Pórovitost

teplota formy [°C]	číslo vzorku	pórovitost v řezu A [%]	pórovitost v řezu B [%]
60	1	0,17	0,92
70	2	0,063	0,841
80	3	0,08	1,204
90	4	0,06	0,893

Z tabulky je zřejmé, že menší pórovitost se vyskytuje v řezu A (viz Obr. 45). Tento řez je situován do místa, kde je tělo komory zkosené a tloušťka stěny zde dosahuje nejnižších hodnot – 2 mm. Místo řezu bylo zvoleno kvůli výsledkům testu z kapitoly 13, kde bude popsán důvod této volby. S výjimkou vzorku č. 1 mají všechny vzorky přibližně stejné hodnoty pórovitosti (0,06-0,08 %). Nelze zde ovšem vysledovat žádný vliv teploty formy na pórovitost komor v daných řezech. Jedním z možných vysvětlení vyšší hodnoty pórovitosti u vzorku č. 1 může například být, že místo řezu tímto vzorkem bylo oproti jiným vzorkům lehce posunuto. Další důvodem může být vadný kus. I s přihlédnutím k výsledkům pórovitosti v řezu B se však zdá velmi nepravděpodobné, že by komory vstříkované při teplotě formy 60 °C dosahovaly o desetinu procenta vyšší pórovitosti oproti komorám vstříkovaných při teplotách formy 70-90 °C.



Obr. 45. Řez A vzorku č. 3

Pórovitost v řezu B se u všech vzorků pohybuje přibližně kolem 1 %, přičemž ani zde není zřejmá žádná závislost mezi teplotou formy a hodnotou pórovitosti. Řez B je situován do místa, kde se na komoře nachází držák na ventilátor. V průřezu je tak obsaženo více materiálu než v průřezích z řezu A. Tím se docílilo názorného porovnání, kdy jde vidět, že se póry tvoří převážně v místech s větší tloušťkou stěny. Na Obr. 46 je zobrazen řez B vzorku č. 2, na kterém jsou póry vyznačeny zelenou barvou. Největší koncentrace pórů se vyskytuje v oblasti držáku ventilátoru, konkrétně v jeho zesílených místech.

Ani jeden z řezů neodhalil vliv teploty formy na pórovitost chladičových komor. Z toho důvodu lze konstatovat, že pórovitost chladičových komor není ovlivněna velikostí teploty formy při vstřikování. Z logiky věci lze předpokládat, že na pórovitost bude mít vliv spíše dotlaková fáze vstřikovacího cyklu. Nedostatečné množství taveniny v dutině formy způsobí velké smrštění materiálu od středu stěny k jejímu kraji, což vede ke vzniku většího počtu pórů. V případě vstřikování těchto komor byla dotlaková fáze nastavena správně, neboť v obou řezech je hodnota pórovitosti velmi malá a nebude mít velký vliv na mechanické vlastnosti komor.



Obr. 46. Řez B vzorku č. 2

### 13 ODOLNOST PROTI STÁRNUTÍ

Zrychlený proces zkoumání odolnosti proti stárnutí samostatných chladičových komor byl popsán v kapitole 6. Tato kapitola je věnována poněkud důkladnějšímu testování odolnosti proti stárnutí chladičových komor. U všech předchozích testů se komory zkoumaly samostatně a nezávisle na chladiči, jehož budou součástí. Tento test však vyžaduje testovat komoru přímo v kompletně sestaveném chladiči. Jedná se o simulaci dlouhodobého působení chladiva na plastové části automobilového chladiče (tj. chladičové komory) při provozu automobilu. Test se dělí na dvě části – část statické teploty a část tlakových pulzů.

V první části se zkoumaný chladič umístí do speciální testovací tepelné komory, kde je pomocí hadic připojen na vytvořený chladicí okruh simulující reálný chladicí okruh v automobilu. Uvnitř okruhu je vytvořen přetlak o konstantní hodnotě 2 bar a proudí zde chladicí médium Fridex G13 o konstantní teplotě 135 °C. Chladicí médium je zředěno destilovanou vodou v poměru Fridex G13/destilovaná voda = 60/40. Celková doba testování v první části je 800 hod, kdy se po každých 170 hodinách vzorek nechá zchladit na pokojovou teplotu, na které se ponechá 1 hodinu, vypustí se staré chladicí médium a nahradí se novým, nepoužitým chladicím médiem. To se následně ohřeje na teplotu 135 °C a celý cyklus se opakuje, dokud celková doba nedosáhne hodnoty 800 hod. Po uplynutí této doby se chladič odpojí od okruhu a vyjme z testovací komory. Následně se zkontroluje jeho těsnost. Pokud chladič nevykazuje známky netěsnosti, nastává druhá část.

Testovaný vzorek se přenesení do pulzační testovací komory, kde se připojí na místní okruh. Zde je naplněn čistým glykolem o teplotě 135 °C. V chladiči se vytvoří přetlak o hodnotě 1,25 bar a v rozmezí  $\pm 1,15$  bar jsou do něj sinusoidně pouštěny tlakové pulzy frekvencí 0,5-1 Hz. Minimální hodnota přtlaku v chladiči tedy činí 0,1 bar a maximální 2,4 bar. Aby chladič prošel testem, musí vydržet celkem 30 000 cyklů, aniž by se u něho objevila jakákoliv netěsnost. V případě tohoto testu by netěsnost vznikla prasknutím oslabené komory.

Pokud v chladiči nenastal únik ani po 30 000 cyklech, prověří se jeho těsnost ještě pomocí tzv. mokrého testu těsnosti. Na hrdla chladiče se namontují zátky, kterými se do vložky přivede stlačený vzduch o přtlaku 1,5 bar. Takto natlakovaný chladič se vloží do nádrže s vodou a hledá se případný únik (netěsnost) v podobě vzduchových bublinek. Jestliže je chladič těsný, žádné vzduchové bublinky se neobjeví a test lze prohlásit za



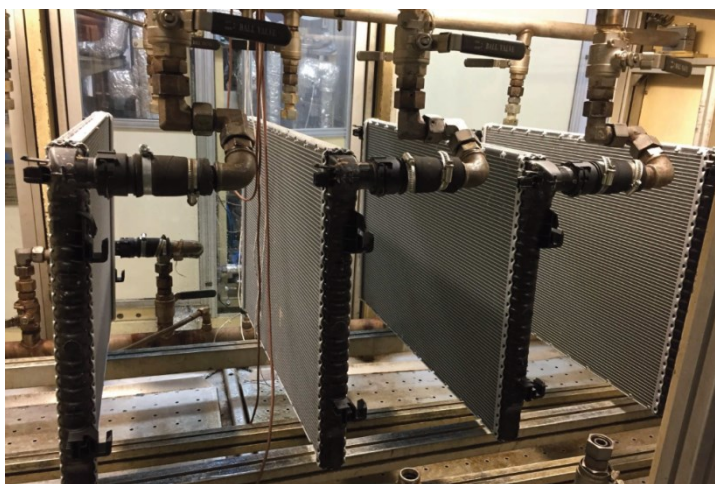
úspěšný. Chladičové komory jsou tedy odolné proti stárnutí a můžou být použity pro sériovou výrobu.

Pro potřeby této práce byly testovány 2 komory od každé teploty formy dle výše popsaného procesu. Dle postupu popsaného v kapitole 3.5 bylo sestaveno celkem 8 chladičů, kdy zkoumanými objekty byly pouze „outletové“ komory. „Inletové“ komory chladiče byly použity z právě vyrobené dávky od dodavatele, které byly vystříknuty v rámci korekce sériové vstřikovací formy. Na Obr. 47 jsou zobrazeny 4 chladiče v tepelné komoře těsně před začátkem první, 800 hodin dlouhé části testu. V tepelné komoře jsou chladiče položeny horizontálně.



*Obr. 47. Chladiče v tepelné komoře*

V první části testování se nevyskytly žádné problémy. Ani jeden ze vzorků nevykazoval po 800 hodinách statické teplotní zátěže žádné náznaky netěsnosti. Přistoupilo se tedy k druhé části testu v pulzační komoře.



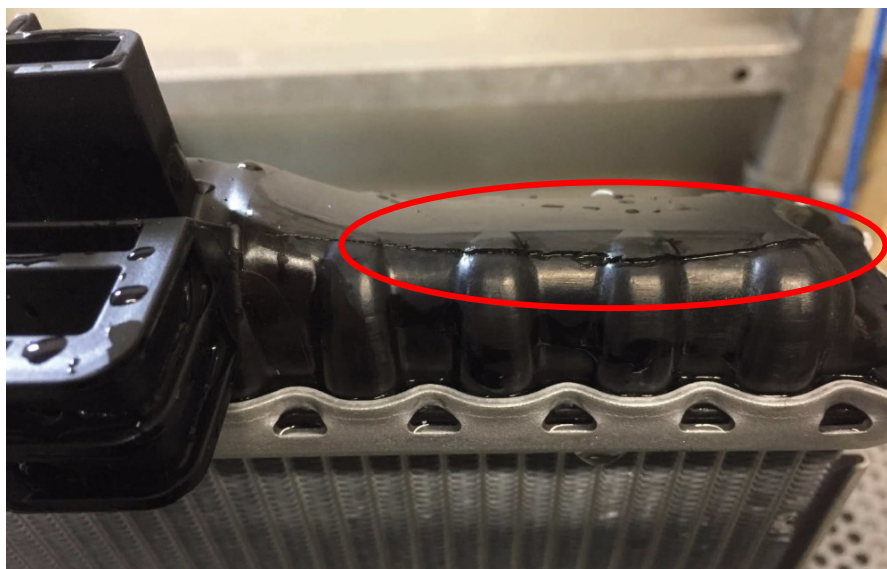
*Obr. 48. Chladiče v pulzační komoře*

Na Obr. 48 je vidět část vzorků v pulzační komoře. V této části testu jsou chladiče v komoře umístěny vertikálně, což je poloha shodná s polohou chladiče v automobilu. Tím je zaručena větší podobnost testovaného vzorku v průběhu zatěžování s reálným stavem chladiče při provozu v automobilu. Výsledky testu všech vzorků jsou uvedeny v Tab. 11.

Tab. 11. Odolnost proti stárnutí

teplota formy [°C]	číslo vzorku	stav vzorku po statické teplotě	počet tlakových pulzů při zjištění netěsnosti	stav vzorku po tlakových pulzech
60	1	✓	-	✓
	2	✓	-	✓
70	3	✓	-	✓
	4	✓	-	✓
80	5	✓	1115	X
	6	✓	4508	X
90	7	✓	519	X
	8	✓	9389	X

Vzorky s číslem 1-4 prošly oběma částmi testu bez zaváhání. U vzorku č. 5 došlo k prasknutí komory při 1115 cyklech. Místo praskliny je zobrazeno na Obr. 49. Jedná se o místo s nejmenší tloušťkou stěny 2 mm. Právě proto zde byla v kapitole 12 zkoumána pórovitost. Jelikož však nebyl v tomto místě odhalen zvýšený výskyt pórů, je pravděpodobné, že vzorek č. 5 byl pouze vadný kus. Nepředpokládá se tedy žádná závislost mezi teplotou formy při vstřikování a odolností proti stárnutí.



Obr. 49. Detail praskliny na vzorku č. 5

U vzorků č. 6, 7 a 8 nedošlo k prasknutí „outletové“ komory, ale „inletové“, která však nebyla předmětem zkoumání. Všechny komory praskly ve shodném místě. Ve spodní části „inletové“ komory (Obr. 50) se nachází oblast, kde je tělo komory zkoseno a tloušťka stěny je zde pouze 2 mm (Obr. 51). Vzorek č. 5 prasknul v obdobném místě. V této části komory jsou skelná vlákna orientována po délce komory. Ve směru kolmém na délku komory je tudíž oslabena její pevnost a působením tlakových pulzů se zatěžuje právě i tenhle kolmý směr. Jelikož se jednalo o komory vyrobené v rámci korekce nástroje, mohlo v těchto místech dojít při vstřikování k vytvoření studeného spoje, který ještě více oslabil pevnost komor.



Obr. 50. Únik vzorku č. 7 při testu těsnosti



Obr. 51. Detail praskliny na vzorku č. 7

V rámci testování odolnosti proti stárnutí nebyl odhalen vliv teploty formy na tuto vlastnost. Ze zkoumaných vzorků došlo k selhání pouze u vzorku č. 5 při 1115 tlakových pulzech. Všechny ostatní zkoumané vzorky tímto testem prošly. V průběhu testování v pulzační komoře však došlo k selhání „*inletových*“ komor. Konkrétně pak u vzorků č. 6, 7 a 8. Tyto komory byly vyrobeny při neoptimalizovaném vstřikovacím cyklu, což mohla být příčina jejich prasknutí.



## ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývala posouzením vlivu teploty vstřikovací formy na vybrané parametry, které jsou posuzovány u vstřikovaných komor chladičů do automobilů.

V teoretické části diplomové práce byl popsán princip technologie vstřikování, vstřikovací stroj a vstřikovací forma, kde se uvedly jednotlivé typy a části forem a byl popsán horký a studený vtokový systém. Další část se věnovala polymerním materiálům a jejich rozdělení na elastomery a plasty. V kapitole o termoplastech byla pozornost věnována především polyamidům a polypropylenu, ze kterých jsou nejčastěji tyto komory vyráběny. Třetí kapitola teoretické části se zabývala automobilovými chladiči, jejich historií a principem chlazení motoru za pomoci chladiče. Důkladně byly popsány jednotlivé komponenty chladiče a typy chladičů z pohledu dráhy toku chladicího média.

Praktická část diplomové práce je zaměřena na posuzování vlivu teploty formy při vstřikování na vybrané vlastnosti chladičových komor. Byl vybrán moderní design komory navržený firmou Hanon Systems Autopal s.r.o., na kterém byl daný vliv zkoumán. Dále byly zvoleny 4 různé teploty formy, při kterých se dané komory vstřikovaly. Konkrétně to byly teploty 60 °C, 70 °C, 80 °C a 90 °C. Výroba vzorků určených k testování proběhla ve firmě NovaTech Cz, s.r.o., kde firma Hanon Systems Autopal s.r.o. vlastní vstřikovací formu pro tyto komory.

Ke zkoumání vlivu teploty formy při vstřikování na vlastnosti chladičových komor bylo zvoleno celkem 8 různých testů a měření. Na chladičových komorách proběhlo odhalení vad při tzv. „Cooking“ testu, měření rozměrové stability po vystříknutí a za zvýšených teplot, měření podílu krystalické fáze, odrazivosti, lesku, pórovitosti a zkoumání odolnosti proti stárnutí.

Vliv teploty formy byl zjištěn u několika měření. Rozměrová analýza, která byla provedena na patě komor, ukázala, že komory vstřikované při vyšších teplotách formy mají menší maximální odchylku při měření tolerancí profilu a rovinnosti v porovnání s komorami vstřikovanými při nižších teplotách formy. Po následném teplotním zatížení tyto komory navíc vykazovaly i větší rozměrovou stabilitu, která se týkala především rovinnosti paty komory. Vyšší teplota formy se pozitivně projevila i při měření lesku povrchu komor, což může najít uplatnění při vstřikování dílů s většími požadavky na kvalitu povrchu. Pro chladičové komory není ani tak podstatná kvalita povrchu, jako spíše jejich rozměrová stabilita, která najde uplatnění při neustálých změnách teplot chladicího

média při provozu automobilu. Opakují se zde pravidelné cykly, kdy při jízdě automobilu je chladicí médium zahřáté od motoru a po jízdě se ochladí na teplotu okolí.

Vliv teploty formy nebyl zjištěn ani u „*Cooking*“ testu, měření odrazivosti a pórovitosti, kde zkoumané vzorky vykazovaly téměř identické chování. Při měření krystalinity se dle teoretických poznatků předpokládalo odhalení vlivu teploty formy, což se ovšem nepotvrdilo. Rozdíly mezi teplotami formy byly pravděpodobně příliš malé na to, aby se jejich vliv projevil na krystalinitě materiálu komor.

V případě zkoumání odolnosti proti stárnutí nemohl být jednoznačně posouzen vliv teploty formy, neboť při testu došlo k selhání jiného než zkoumaného prvku. Jelikož se však vzhledem k předchozím testům komory vstříkované při nižších teplotách formy dají považovat za méně kvalitní a právě tyto komory tímto testem prošly, lze předpokládat, že by testem prošly i komory vstříkované při vyšších teplotách formy. Teplota formy při vstříkování by tedy neměla mít vliv na odolnost proti stárnutí.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [2] LENFELD, Petr. *Technologie II.: Zpracování plastů. Část 2* [elektronická skripta]. Technická univerzita Liberec, Katedra strojírenské technologie, 2005 [cit. 2019-02-15]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/uvod.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/uvod.htm)
- [3] STANĚK, Michal. *Přednášky konstrukce forem (T5KF)*. Zlín: UTB ve Zlíně, 2016.
- [4] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vyd. Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- [5] SVOBODA, Rostislav. Co jsou to termoplasty? 6 věcí, které byste o nich měli vědět. *FactoryAutomation.cz* [online]. 2016 [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/co-jsou-to-termoplasty-6-veci-ktere-byste-o-nich-meli-vedet/>
- [6] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. 2016 [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>
- [7] MLEZIVA, Josef a Jaromír ŠŇUPÁREK. *Polymery: výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. vyd. Praha: Sobotáles, 2000. ISBN 80-85920-72-7.
- [8] NICE, Karim. How Car Cooling Systems Work. *HowStuffWorks* [online]. 2000 [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: <https://auto.howstuffworks.com/cooling-system.htm>
- [9] Radiátor: zařízení a princip činnosti [online]. [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: <https://mirarh.ru/radiator-zarizeni-a-princip-cinnosti/>
- [10] History of Car and Truck Radiators. *Copper Development Association Inc.* [online]. [cit. 2019-02-23]. Dostupné z: [https://www.copper.org/applications/automotive/radiators/no\\_flux\\_history.html](https://www.copper.org/applications/automotive/radiators/no_flux_history.html)
- [11] PEKÁREK, Stanislav. *Technologie oprav I* [online]. 2016 [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/160/Cover.html>

- [12] MACH, Martin. *Inovace výroby prototypového automobilového chladiče* [online]. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. 2013 [cit. 2019-03-01]. Diplomová práce. Dostupné také z: [https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/24119/mach\\_2013\\_dp.pdf?sequence=1](https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/24119/mach_2013_dp.pdf?sequence=1)
- [13] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. 2016 [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>
- [14] Horké trysky jako standard. *Technický týdeník* [online]. 2018 [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/plasty/horke-trysky-jako-standard\\_43784.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/plasty/horke-trysky-jako-standard_43784.html)
- [15] HYNEK, Martin a kol. *STUDENÉ A ŽIVÉ VTOKOVÉ SYSTÉMY* [online]. Západočeská univerzita v Plzni, 2013. [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: [https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05\\_publicace/KA05\\_Studene\\_a\\_zive\\_vtokove\\_systemy.pdf](https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf)
- [16] Injection Molding. *CustomPartNet* [online]. [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://www.custompartnet.com/wu/InjectionMolding>
- [17] Aplikace pro rodiny materiálů. *Nápověda Autodesk Inventor 2014* [online]. [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: <http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2014/CSY/?guid=GUID-F7E5FC0C-C561-4EAA-A840-414BB127593D>
- [18] Polyamides. *Polyamide LLC* [online]. [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <http://anid.ru/en/poliamid/612>
- [19] SOVA, Miloš. Polyamid 612 (PA 612). *Techportál.cz* [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: [https://www.techportal.cz/33/polyamid-612-pa-612-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EqQUkSFod1GxbQkwLCkpl\\_Q/](https://www.techportal.cz/33/polyamid-612-pa-612-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EqQUkSFod1GxbQkwLCkpl_Q/)
- [20] What we know about Benz Velo. Research before modeling. *Hum3D* [online]. [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <https://hum3d.com/blog/what-we-know-about-benz-velo-research-before-modeling/>
- [21] ARMSDEN, Richard. *Global Radiator Technical Reference Guide* [elektronický dokument]. Chelmsford: Hanon Systems UK Ltd, 2013 [cit. 2019-03-18].

- [22] BURŠÍK, Marek. *CFD a 1D predikce hliníkových tepelných výměníků* [elektronický dokument]. Nový Jičín: Hanon Systems Autopal Services s.r.o., 2012 [cit. 2019-03-19].
- [23] WICHTERLE, Kamil. *Základy procesního inženýrství* [online]. 2012 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/ZPI/index.htm>
- [24] HORÁK, Aleš. *CAB Brazing Part I* [elektronický dokument]. Hluk: Hanon Systems Autopal Services s.r.o., 2010 [cit. 2019-03-21].
- [25] DOWNFLOW RADIATORS VS. CROSSFLOW RADIATORS. WHAT'S THE DIFFERENCE? *Wizard Cooling Inc.* [online]. [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: <https://wizardcooling.com/blog/downflow-radiators-vs-crossflow-radiators-whats-the-difference/>
- [26] Výrobky firmy Hanon Systems Autopal s.r.o.
- [27] NEUMAYEROVÁ, Zdeňka. *Polykaprolakton, jeho syntéza, charakterizace a degradabilita* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie materiálů. 2010 [cit. 2019-04-12]. Diplomová práce. Dostupné také z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=25854](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=25854)
- [28] Lesk - Měření lesku pomocí leskoměrů. *PROINEX INSTRUMENTS, S.R.O* [online]. [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: [https://www.proinex.cz/cs/blog/12\\_mereni-lesku-pomoci-leskomeru](https://www.proinex.cz/cs/blog/12_mereni-lesku-pomoci-leskomeru)
- [29] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [30] ZGM 1120 Glossmeter. *Zehntner GmbH Testing Instruments* [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <http://www.zehntner.com/products/categories/gloss/zgm-1120>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

PA66	Polyamid 66
PA	Polyamid
PE	Polyetylen
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PA6	Polyamid 6
PA610	Polyamid 610
PA612	Polyamid 612
HDPE	High Density Polyethylene (vysokohustotní polyetylen)
Re	Reynoldsovo číslo
$v$	Rychlost proudění [m/s]
$D_h$	Hydraulický průměr [m]
$\nu$	Kinematická viskozita [mm <sup>2</sup> /s]
FPD	Fins Per Decimeter
EPDM	Etylen-propylen-dienový kaučuk
3D	3 Dimensional
X-flow	Cross flow
D-flow	Down flow
CC-flow	Counter Cross flow
MP-flow	Multi Pass flow
CAB	Controlled Atmosphere Brazing
PA66-GF30	Polyamid 66 s 30% obsahem skelných vláken
$w_c$	Krystalinita [%]
$\Delta H_m$	Entalpie tání [J/g]

---

$\Delta H^0$	Entalpie tání 100% krystalického polymeru [J/g]
DSC	Diferenciální skenovací kalorimetrie
GU	Gloss Units
CT	Computer Tomograph
m	Metr (jednotka délky)
s	Sekunda (jednotka času)
bar	Jednotka tlaku
Hz	Hertz (jednotka frekvence)
°C	Stupeň Celsia (jednotka teploty)

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. Vstřikovací cyklus [2] .....	12
Obr. 2. Grafické znázornění sledu jednotlivých operací vstřikovacího cyklu [3] .....	13
Obr. 3. Schéma vstřikovacího stroje [2] .....	14
Obr. 4. Ukázka vícenásobné vstřikovací formy [2] .....	16
Obr. 5. Části vstřikovací formy [16] .....	17
Obr. 6. Schéma studeného vtoku [15] .....	18
Obr. 7. Základní provedení vyhřívání horkého vtokového systému [13] .....	20
Obr. 8. Základní rozdělení polymerů [6] .....	21
Obr. 9. Automobilový chladič [26] .....	27
Obr. 10. Automobil Benz Velo [20] .....	28
Obr. 11. Schéma malého a velkého okruhu kapalinového chladicího systému [11] .....	29
Obr. 12. Průřez vložkou chladiče [12] .....	30
Obr. 13. Víko chladiče [26] .....	31
Obr. 14. Průřez jednotlivých typů trubek [26] .....	32
Obr. 15. Dimplovaná B-trubka [26] .....	32
Obr. 16. Vlnovec [26] .....	34
Obr. 17. Bočnice [26] .....	35
Obr. 18. Těsnění vložené ve víku [26] .....	36
Obr. 19. Chladičové komory [21] .....	36
Obr. 20. „Cross flow“ konfigurace [21] .....	39
Obr. 21. „Down flow“ konfigurace [21] .....	39
Obr. 22. U-flow konfigurace [21] .....	40
Obr. 23. „Single row“ a „twin row“ konfigurace [21] .....	40
Obr. 24. „Counter cross flow“ konfigurace [21] .....	41
Obr. 25. „Multi pass“ konfigurace [21] .....	42
Obr. 26. Skládací stroj [26] .....	42
Obr. 27. Vstřikovaná komora .....	46
Obr. 28. Vstřikovací forma .....	48
Obr. 29. Místa nálezu trhlin na komoře po Cooking testu .....	49
Obr. 30. Trhliny 1 a 3 po „Cooking“ testu .....	50
Obr. 31. Trhlina 2 po Cooking testu .....	50
Obr. 32. Trhlina 4 po Cooking testu na vnější i vnitřní straně komory .....	51



Obr. 33. Způsob uložení komory při měření .....	52
Obr. 34. Příklad grafického znázornění měření profilu paty komory.....	53
Obr. 35. Příklad grafického znázornění měření rovinnosti paty komory .....	53
Obr. 36. Souřadnicový měřicí stroj GLOBAL STATUS .....	55
Obr. 37. Místo odebrání vzorků pro DSC analýzu .....	57
Obr. 38. DSC 2910 .....	58
Obr. 39. DSC termogram vzorku č. 2 .....	59
Obr. 40. Spektrofotometr Konica Minolta CM-5 .....	60
Obr. 41. Místo odebrání vzorků pro měření odrazivosti a lesku .....	60
Obr. 42. Leskoměr ZGM 1120 [30].....	62
Obr. 43. Místa a označení řezů k měření pórovitosti.....	64
Obr. 44. Mikroskop Nikon Epiphot 200 .....	65
Obr. 45. Řez A vzorku č. 3 .....	66
Obr. 46. Řez B vzorku č. 2 .....	67
Obr. 47. Chladiče v tepelné komoře .....	69
Obr. 48. Chladiče v pulzační komoře .....	69
Obr. 49. Detail praskliny na vzorku č. 5 .....	70
Obr. 50. Únik vzorku č. 7 při testu těsnosti .....	71
Obr. 51. Detail praskliny na vzorku č. 7 .....	71

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1. Vlastnosti nejpoužívanějších polyamidů [6] .....	24
Tab. 2. Vlastnosti polypropylenu [6] .....	26
Tab. 3. Vstřikovací parametry při výrobě komor .....	47
Tab. 4. Rozměrová analýza paty komor .....	54
Tab. 5. Rozměrová analýza paty komor za zvýšených teplot.....	56
Tab. 6. Teplota a entalpie tání.....	58
Tab. 7. Teplota a entalpie tuhnutí .....	59
Tab. 8. Odrazivost.....	61
Tab. 9. Lesk .....	63
Tab. 10. Pórovitost.....	65
Tab. 11. Odolnost proti stárnutí .....	70