



Optimalizace chlazení kritického místa vstřikovaného dílu

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T048 – Strojírenská technologie a materiály
Autor práce: **Bc. Pavlína Mikulová**
Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavlína Mikulová**
Osobní číslo: **S13000481**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie a materiály**
Název tématu: **Optimalizace chlazení kritického místa vstřikovaného dílu**
Zadávající katedra: **Katedra strojírenské technologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Rešerše stávajícího stavu, popis problému.
2. Návrh změn v kritickém místě vstřikovaného dílu.
3. Vyhodnocení vlivu změn na optimalizaci doby chlazení.
4. Diskuse výsledků, závěr.



Rozsah grafických prací: **grafy, tabulky, obrázky**

Rozsah pracovní zprávy: **cca 50 stran**

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

Seznam odborné literatury:

[1] **KREBS, J.** *Teorie zpracování nekovových materiálů.* Liberec: **Technická univerzita v Liberci**, 2001. ISBN 80-7083-449-8.

[2] **SOVA, M.** *Termoplasty v praxi.* Praha: **Verlag Dashofer s.r.o.**, 2001. ISBN 80-86229-15-7.

[3] **KOLOUCH, J.** *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním.* Praha: **SNTL**, 1986.

[4] **ZEMAN, L.** *Vstřikování plastů.* Nakladatelství **BEN**, 2009 ISBN 80-7300-026-1.


[5] **Firemní materiály.**

Vedoucí diplomové práce: **prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld**
Katedra strojírenské technologie

Datum zadání diplomové práce: **31. října 2015**
Termín odevzdání diplomové práce: **31. března 2017**


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 2. listopadu 2015

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat panu Dr. Ing. Petru Lenfeldovi, za poskytnutí cenných rad a pevného vedení. Dále děkuji mému konzultantovi Ing. Jiřímu Valentovi a Vladimíru Teclovi za pomoc při řešení této diplomové práce.

Děkuji svým rodičům za plnou podporu během studia na vysoké škole.

Diplomová práce vznikla na základě finanční podpory projektu studentské grantové soutěže SGS 21122 ze strany Technické univerzity v Liberci v rámci podpory specifického vysokoškolského výzkumu.

Optimalizace chlazení kritického místa vstřikovaného dílu

Anotace

Práce se zabývá optimalizací chlazení kritického místa vstřikovaného dílu. V teoretické části je popsán vstřikovaný materiál, technologie výroby dílu vstřikováním a zásady pro konstrukci výlisků. V experimentální části jsou uvedeny podrobnosti o tom, jak defekt na vstřikovaném díle vznikl a jakými kroky bylo dosaženo jeho eliminace.

Klíčová slova: vstřikování, chlazení, konstrukce dílu, konstrukce formy, vady, plast, kritické místo, RPS bod

Optimization of cooling critical point of injected part

Annotation

The work deals with the optimization of cooling critical point injection molded part. The theoretical part describes the injected material, technology of parts and injection moldings principles for design. In the experimental section below for details about how to defect on the injected product was created and what actions to achieve its elimination.

Keywords: injection molding, cooling, construction of part, mold construction, defects, plastic material, critical point, RPS point

OBSAH

| | |
|---|----|
| Seznam použitých zkratk | 8 |
| 1 ÚVOD | 9 |
| 2 TEORETICKÁ ČÁST | 10 |
| 2.1 Denso Manufacturing Czech s.r.o. | 10 |
| 2.2 Klimatizační jednotka | 11 |
| 2.3 Plasty | 13 |
| 2.3.1 Termoplasty | 14 |
| 2.3.2 Polypropylen, talek a jejich směs | 14 |
| 2.3.3 Vliv vstřikovaného polymeru na kvalitu výlisku | 16 |
| 2.4 Technologie výroby klimatizačních skříní | 17 |
| 2.4.1 Proces vstřikování | 17 |
| 2.4.2 Procesy probíhající po vstřikování | 21 |
| 2.4.3 Vlivy stroje a technologických parametrů na kvalitu výlisku | 23 |
| 2.5 Konstrukce výlisku | 24 |
| 2.5.1 Tloušťka stěny | 24 |
| 2.5.2 Žebrování | 25 |
| 2.5.3 Výstupky | 27 |
| 2.6 Konstrukce vstřikovací formy | 29 |
| 2.6.1 Vtokový systém | 30 |
| 2.6.2 Temperační systém | 32 |
| 2.6.3 Vliv konstrukce vstřikovací formy na kvalitu výlisku | 32 |
| 3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST | 33 |
| 3.1 Stanovení cílů diplomové práce | 33 |
| 3.2 Popis výstřiku | 34 |
| 3.3 Popis kritického místa | 34 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.4 | Vstřikovací forma pro experiment | 36 |
| 3.4.1 | Tvarová část formy v oblasti RPS bodu | 37 |
| 3.5 | Vstupní technologické parametry | 39 |
| 3.6 | Popis defektu na výlisku a podmínky jeho vzniku..... | 39 |
| 3.7 | Odstranění defektu pomocí technologických parametrů..... | 46 |
| 3.8 | Odstranění defektu pomocí optimalizace chlazení vstřikovací formy..... | 48 |
| 3.9 | Odstranění defektu pomocí optimalizace chlazení formy a změny tloušťky stěny výlisku..... | 52 |
| 3.10 | Ověření kvality RPS bodů po optimalizaci chlazení..... | 57 |
| 4 | DISKUSE VÝSLEDKŮ | 61 |
| 5 | ZÁVĚR | 66 |
| | Seznam použité literatury | 67 |
| | Seznam příloh | 69 |

Seznam použitých zkratk

| Zkratka | Jednotka | Význam |
|--|--------------------|---|
| T_g | $^{\circ}\text{C}$ | teplota skelného přechodu (teplota zesklenní) |
| T_m | $^{\circ}\text{C}$ | teplota tání krystalického podílu (SK plasty) |
| p_i | MPa | vnitřní tlak v dutině vstřikovací formy |
| t_{s1} | s | čas přisunutí, uzavření a uzamknutí formy |
| F_p | N | síla vynaložená na přisunutí formy |
| F_u | N | síla vynaložená na uzavření formy ($F_u > F_p$) |
| t_{s2} | s | čas přisunutí tavicí komory k formě |
| t_v | s | doba plnění formy taveninou |
| t_{ch} | s | doba chlazení od vyplnění formy do vyhození |
| t_d | s | doba dotlaku |
| t_{pl} | s | doba plastikace |
| t_k | s | doba odsunutí tavicí komory od formy |
| t_{s3} | s | doba otevření formy |
| $t_{s3'}$ | s | doba vyhození výstřiku z formy |
| t_m | s | čas pro obsluhu formy (manipulační čas) |
| S_N | mm | pohyb formy |
| S_K | mm | pohyb šneku |
| t_{kp} | s | doba prodlevy tavicí komory v zadní poloze |
| T_{tav} | $^{\circ}\text{C}$ | teplota taveniny plastu |
| T_f | $^{\circ}\text{C}$ | teplota vstřikovací formy |
| T | $^{\circ}\text{C}$ | teplota |
| d | mm | průměr |
| h | mm | hloubka otvoru |
| T | mm | tloušťka stěny |
| D | mm | vnější průměr výstupku |
| Si | | chemická značka křemíku |
| O | | chemická značka kyslíku |
| H | | chemická značka vodík |
| Mg | | chemická značka hořčíku |
| PP | | polypropylen |
| $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ | | chemická značka talku |
| C | | chemická značka uhlíku |
| Cu | | chemická značka mědi |
| Be | | chemická značka beryllium |
| Co | | chemická značka kobaltu |

1 ÚVOD

Vstřikované výrobky nacházejí široké uplatnění v mnoha oblastech strojírenství, elektrotechnice, potravinářství, zdravotnictví, zemědělství a často jsou vhodné jako náhrada tradičních materiálů. Proto v současné době získaly své dominantní postavení na trhu. Technologie vstřikování je nejrozšířenější technologií na zpracování plastů. Vstřikováním se vyrábějí výrobky, které mají buď charakter konečného výrobku, anebo to jsou díly pro další zkompletování samostatného celku. Výrobky zhotovené vstřikováním se vyznačují velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesností. Tyto vlastnosti je možné ještě zlepšit a to pomocí přísad, které mohou ovlivnit fyzikální i mechanické vlastnosti plastu. Díky těmto vlastnostem, jsou plasty široce využity v automobilovém průmyslu. Pokud se zaměříme přímo na polypropylen, v současné době se jeho spotřeba v automobilovém průmyslu pohybuje kolem 15 % celkové globální spotřeby. Podíl polypropylenu na celkovém obsahu plastů v automobilu je 50 % [1]

Diplomová práce byla zadána ve spolupráci s firmou Denso Manufacturing Czech s.r.o. v Liberci (obr 1.1). Tato firma se zabývá výrobou klimatizačních jednotek a patří mezi přední dodavatele do automobilového průmyslu. Součástí klimatizační jednotky je klimatizační skříň, ve které jsou uloženy veškeré komponenty, které klimatizaci vytvářejí. Tato skříň je vyrobena z polypropylenu s přídavkem 20% talku. A právě technologií výroby této klimatizační skříně se diplomová práce zabývá.

Cílem diplomové práce je odstranění defektu na vstřikované klimatizační skříni, který vznikl změnou designu výlisku a to pomocí optimalizace chlazení vstřikovací formy.

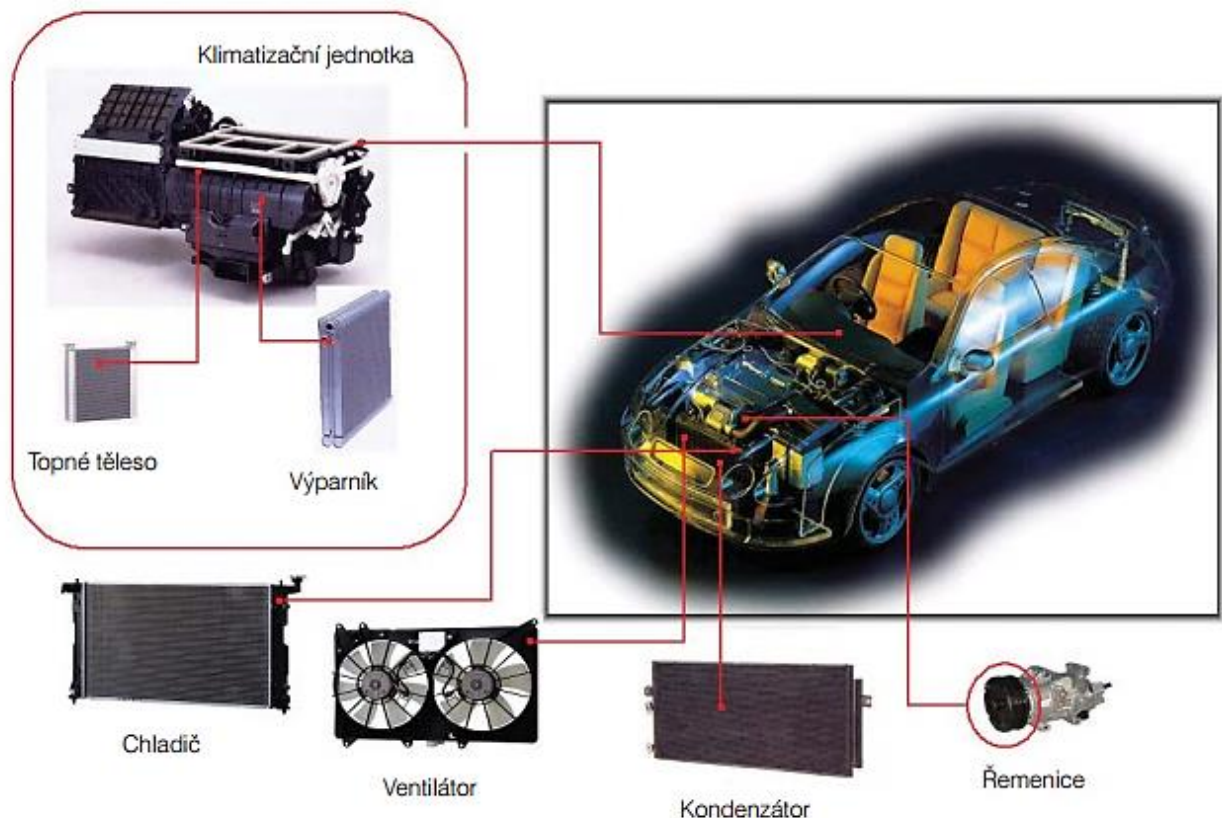


Obr. 1.1 Denso Manufacturing Czech s.r.o. v Liberci [1]

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Denso Manufacturing Czech s.r.o.

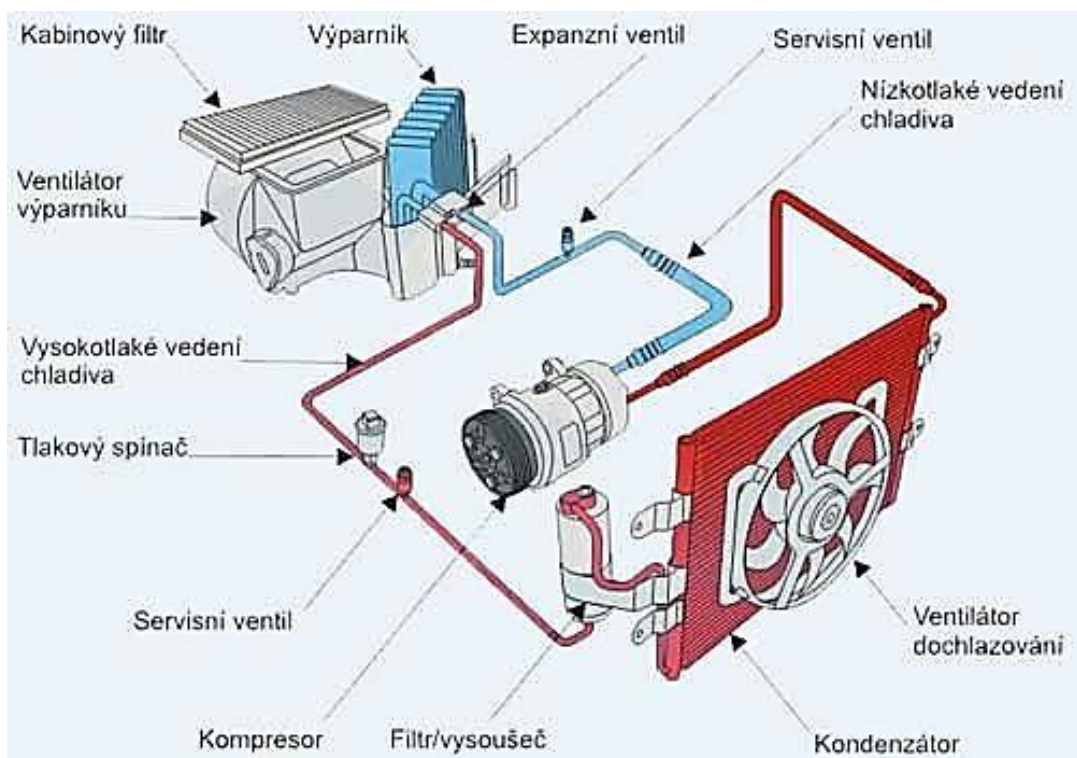
Denso Manufacturing Czech s.r.o. (DMCZ) je předním evropským výrobcem klimatizačních jednotek (obr. 2.1) a jejich součástí, pro vozy značek Toyota, VW, Audi, Škoda, Lamborghini, Mercedes - Benz, BMW, Suzuki a dalších. Jako dceřiná firma nadnárodní japonské společnosti DENSO CORPORATION zaměstnává více než 1550 zaměstnanců a její roční obrat činí přes 10,5 mld. Kč. Firma založená 12.7.2001 našla své sídlo v průmyslové zóně Liberec – Jih a se svým počátečním vkladem kolem 3 mld Kč je dosud jednou z největších zahraničních investic v České republice. Programem DMCZ je výroba automobilových klimatizací a jejich součástí, jako jsou topná tělesa, kondenzátory, chladiče a výparníky (obr. 2.2). [1]



Obr. 2.1 Výrobky DMCZ [1]

2.2 Klimatizační jednotka

Jak klimatizační jednotka funguje? Je potřeba si uvědomit, že klimatizace chlad nevyrábí, pouze předává teplo z jednoho prostředí do druhého. Princip se dá přirovnat k ledničce. Využívá vlastností chladicího média, které v závislosti na tlaku a teplotě přechází mezi kapalnou a plynnou fází. Tento přechod mezi kapalinou a plynem je spojen s velkým množstvím tepla. Za normálního tlaku a teploty je chladicí médium v plynném stavu. Jestliže chladivo stlačíme na vysoký tlak, dojde k jeho značnému zahřátí. Proto se musí ochladit v chladiči klimatizace v tzv. kondenzátoru. Tím předáme teplo okolí a chladicí médium přechází do kapalného stavu. Jestliže do okruhu zařadíme trysku, která zajistí nejužší místo v okruhu klimatizace, dojde za tryskou k prudkému poklesu tlaku, a chladicí médium přechází zpět do plynného stavu a rapidně klesá teplota. To je využito k ochlazení vzduchu uvnitř vozidla v tzv. výparníku. Ve výparníku je plynné chladivo zahřáto na "normální" teplotu a vstupuje zpět do kompresoru. [2]



Obr. 2.2 Schema klimatizace [2]

DMCZ vyrábí klimatizační jednotky (obr. 2.3) pro více zákazníků, a tak každá z nich je jiná. A to především jejím prostorovým uspořádáním, velikostí, formou ovládání, váhou, počtem výdechů, atd. Vše je konstruováno s ohledem na každý model automobilu. Klimatizační jednotka je centrem celého klimatizačního systému. Potkávají se zde vzduchový, chladicí a topný okruh. [1]



Obr. 2.3 Klimatizační jednotka [1]

Hlavními částmi klimatizační jednotky je skříň výměníku, skříň ventilátoru a skříň směšovací komory, v některých případech i rozdělovací skříň. Správnou a výkonnou funkci klimatizace zajišťuje zabudované mechanismy v každé této skříni. Ve skříni výměníku se nachází topné a výparné jádro a soustavy klapek. Jejich řízení se provádí manuálně, pomocí mechanických prvků nebo automaticky pomocí servomotorů. Klapky svými pohyby ovlivňují teplotní podmínky vstupující do kabiny automobilu. [1]

2.3 Plasty

Plasty nebo-li polymery jsou materiály, jejichž podstatou je makromolekulární látka přírodního nebo syntetického původu. Polymery jsou tvářitelné za působení teploty a tlaku. Za makromolekulární látku se považuje taková, jejíž molekulová hmotnost je vyšší než 10 000. V makromolekule se jako článek řetězce mnohokrát opakuje základní monomerní jednotka. Základním prvkem řetězce je atom uhlíku. Uhlíkové atomy mají schopnost vzájemně se vázat a vytvářet dlouhé řetězce. Tyto makromolekulární látky se připravují polyreakcemi. Plasty lze členit do různých skupin podle různých kritérií. [3]

Podle jejich chování při zahřívání:

Termoplasty – jsou polymery, které při zahřívání přecházejí do plastického stavu a pak je možné je tvářet do požadovaného tvaru. Do tuhého stavu přecházejí ochlazením pod určitou teplotu, jež je pro daný druh plastu typická.

Reaktoplasty – V první fázi zahřívání rovněž měknou a je možné je tvářet, avšak tvářitelné jsou jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, k tzv. vytvrzování.

Kaučuky, pryže a elastomery – Jedná se o polymerní materiál, které v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, pouze však omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, k tzv. vulkanizaci. [3]

Podle nadmolekulární struktury:

Amorfní – Makromolekuly zauímají zcela nahodilou pozici. Jsou charakteristické tvrdostí, křehkostí, vysokou pevností a jsou průhledné.

Semikrystalické – Vykazují určitý stupeň uspořádanosti (stupeň krystalinity). Jsou mléčně zakalené, houževnaté, pevnost a modul pružnosti roste se stupněm krystalinity. [3]

Podle druhů přísad:

Neplněné plasty – Neplněný plast je takový plast, u kterého množství přísad neovlivňuje vlastnosti polymerní matrice.

Plněné plasty – Plnivo ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti plastu. Makromolekulární látka plní funkci pojiva. Přísadou mohou být plniva, stabilizátory, nadouvadla, retardéry hoření, změkčovadla, atd. [3]

2.3.1 Termoplasty

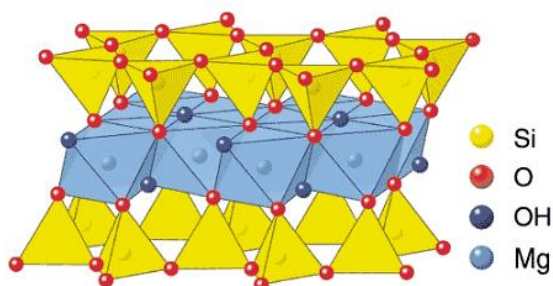
Termoplasty jsou polymery, které zahříváním přecházejí do plastického stavu a lze je tvářet do požadovaného tvaru. Do pevného stavu přejdou ochlazením pod určitou teplotu. U semikrystalických materiálu je to teplota tání T_m a u amorfních materiálu teplota viskózního toku T_f . Při zahřívání nastávají pouze změny fyzikální, ale chemická struktura plastu se nemění. Proto lze proces plastikace a tuhnutí teoreticky opakovat do nekonečna, což ve skutečnosti nejde, protože při zvýšené teplotě dochází k degradaci polymeru vlivem působení vzdušného kyslíku. [4]

2.3.2 Polypropylen, talek a jejich směs

Klimatizační skříň vyráběná v DMCZ je vyrobena z materiálu polypropylenu s přísadkou 20% talku. Proto se v této části diplomové práce, zaměřím na polypropylen a talek.

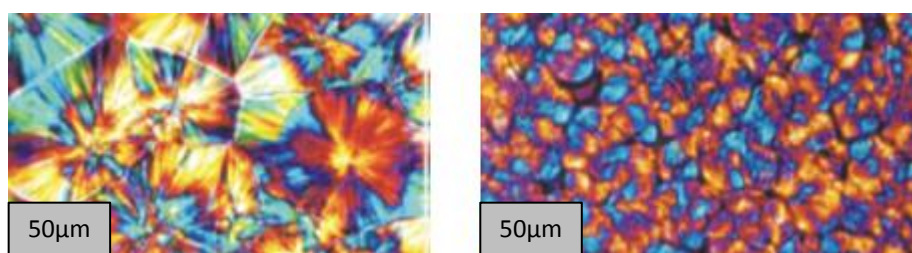
Polypropylen je semikrystalický materiál patřící mezi polyolefiny. Vyznačuje se velmi dobrou chemickou odolností. Snáší vyšší teploty, až 120°C , neboť taje při $160 - 170^{\circ}\text{C}$. Obsahuje přibližně 50% krystalické fáze. Pevnost v tahu až 38MPa a modul pružnosti 1600Mpa . Při teplotě nižší než 0°C se stává křehkým. Dobře odolává kyselinám, zásadám a za normální teploty i organickým rozpouštědlům. Účinkům povětrnosti neodolává a křehne. Je nenavlhavý, středně pevný, tuhý a houževnatý materiál. Vlastnosti polypropylenu jsou značně závislé na stereoisometrii, která popisuje prostorové uspořádání atomu v řetězci makromolekul. V případě klimatizací, se používá polypropylen s izotaktickým uspořádáním, které vykazuje nejlepší vlastnosti. Podíl izotaktické složky je kolem 90-95%. Čím vyšší je podíl izotaktické složky, tím lepší jsou konečné vlastnosti. Vzhledem k jeho výhodným vlastnostem se polypropylen uplatňuje v širokých oblastech aplikací. Využívá se pro výrobu technických dílů ale i pro potravinářský průmysl. V chemickém průmyslu se uplatňuje výroba trubek a desek. Důležitým výrobkem jsou vlákna pro technické aplikace např. při výrobě koberců a čalounického zboží. V automobilovém průmyslu jsou využity k výrobě např. klimatizačních jednotek, přístrojových desek a nárazníků. Polypropylen se často se plní vyztužujícím plnivem (např. talkem, skelnými vlákny, apod.). S rostoucím podílem plniva roste modulu pružnosti, snižuje se anizotropie smrštění. Plnidla, jako je talek, jsou výhodná nukleační činidla. Klesá tažnost, houževnatost je rozdílná při nižších, vyšších a normálních teplotách. Pomocí plnidel se také snižuje cena. [4], [5]

Talek (mastek, steatit) (obr. 2.4), je anorganické minerální plnivo na bázi křemičitanů, přesněji je to vodný křemičitan hořečnatý - $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$. [6]



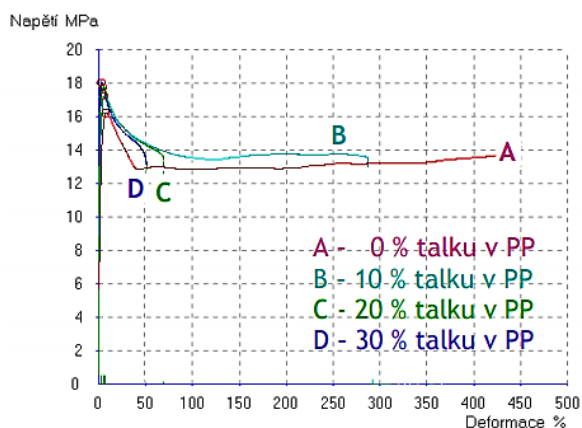
Obr. 2.4 Vodný křemičitan hořečnatý - $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ [6]

Je to nejměkčí minerál s lamelární strukturou (tenké destičky hydroxidu hořečnatého mezi vrstvami siliky). Patří k nejpoužívanějším minerálním plnivům PP. Snižuje cenu, má dobrý poměr tuhosti a rázové houževnatosti, zlepšuje pevnosti v tahu, rozměrovou stabilitu. Vyznačuje se vysokou odolností vůči vysokým teplotám a kyselinám. Má dobré elektroizolační vlastnosti. Talku se přidává do polypropylenu 10 – 40%. Zároveň funguje jako nukleační činidlo (obr. 2.5) a tím lze získat větší procento krystalické fáze. Tím je možné dosáhnout kratší doby vstřikovacího cyklu a snížit velikost smrštění. [6], [7]

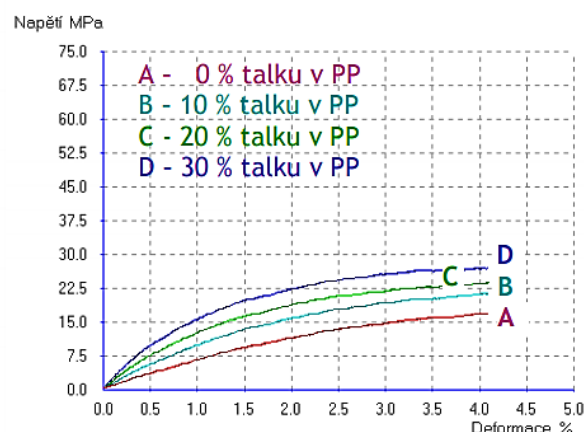


Obr. 2.5 Sférolity PP bez přísad (vlevo) a PP s talkem (vpravo)[8]

Na obrázcích níže je graficky znázorněn vliv obsahu talku v polypropylenu na mechanické vlastnosti. Na obr. 2.6 je znázorněn průběh tahového napětí v závislosti na procentuálním poměru talku v polypropylenu. Můžeme vidět, že s rostoucím podílem talku klesá tažnost a vzrůstá pevnost. Na obr. 2.7 je znázorněn průběh ohybového napětí v závislosti na množství talku. Z grafu je patrné, že s rostoucím podílem talku roste i pevnost v ohybu.



Obr.2.6 Průběh tahového napětí v závislosti na podílu talku v PP[6]



Obr. 2.7 Průběh ohybového napětí v závislosti na podílu talku v PP[6]

Vliv procentuálního podílu talku na zabíhavost lze zjistit pomocí technologické zkoušky zabíhavosti. Výsledky z této zkoušky jsou uvedeny v tab. 2.1. Lze vidět, že s rostoucím podílem talku v tavenině, schopnost zabíhavosti klesá.

Tab. 2.1 Vliv podílu talku na reologické vlastnosti[6]

| | PP+0% talku | PP+5% talku | PP+10% talku | PP+15% talku | PP+20% talku | PP+25% talku | PP+30% talku |
|--------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Délka spirály [cm] | 27,4±0,3 | 26±0,2 | 27±0,3 | 26,8±0,2 | 26,5±0,2 | 25,2±0,4 | 25,1±0,3 |

2.3.3 Vliv vstřikovaného polymeru na kvalitu výlisku

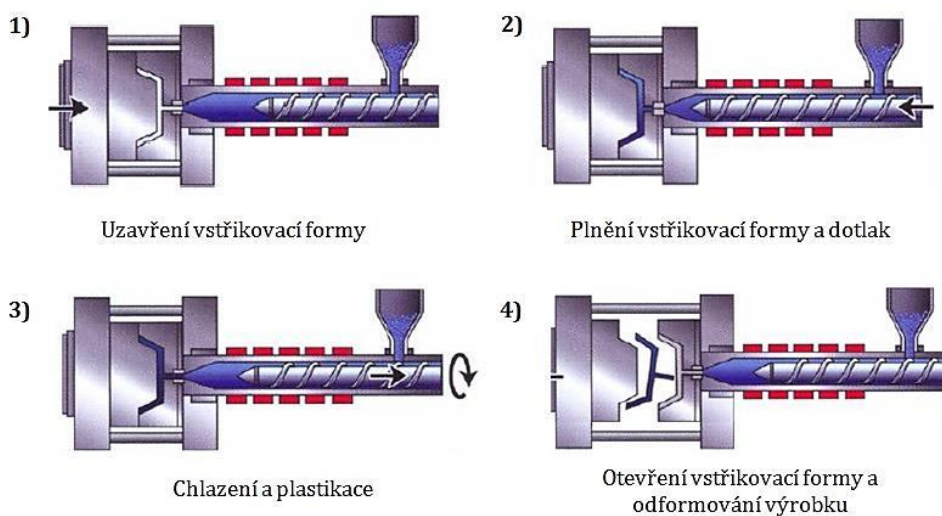
Zejména reologické chování vstřikovaného polymeru může být zdrojem vzhledových vad. V ojedinělých případech může ovlivnit i mechanické vlastnosti výstřiku. Zdroje vad mohou být ve špatné tepelné stabilitě polymeru, které často způsobují různá aditiva, jako jsou retardéry hoření. Další příčinou mohou být velké rozptyly tokových vlastností v dávce taveniny, nebo zvýšený obsah těkavých látek či monomeru. Vliv na výskyt vad může mít i nevhodný tvar granulí, drtě nebo přidávaných aditiv. [9]

2.4 Technologie výroby klimatizačních skříní

Klimatizační skříně jsou v DMCZ vyráběny technologií vstřikování. Jedná se o nejrozšířenější technologii zpracování plastů. Výrobky se vyznačují velmi dobrou tvarovou i rozměrovou přesností. Dále se vyznačují velmi dobrou reprodukovatelností mechanických i fyzikálních vlastností. Touto technologií lze zpracovávat téměř všechny druhy termoplastů. V omezené míře se dají vstřikovat i některé reaktoplasty a kaučuky. Výhodami vstřikování je krátký čas cyklu, schopnost vyrábět tvarově složité součásti, které se vyznačují dobrými tolerancemi rozměrů a velmi dobrou povrchovou úpravou. Nevýhodou, v porovnání s ostatními metodami zpracování plastů jsou vysoké počáteční náklady a dlouhé doby potřebné pro výrobu forem. Dále je pak nutné používat neúměrně velké strojní zařízení v porovnání s výliskem. [3]

2.4.1 Proces vstřikování

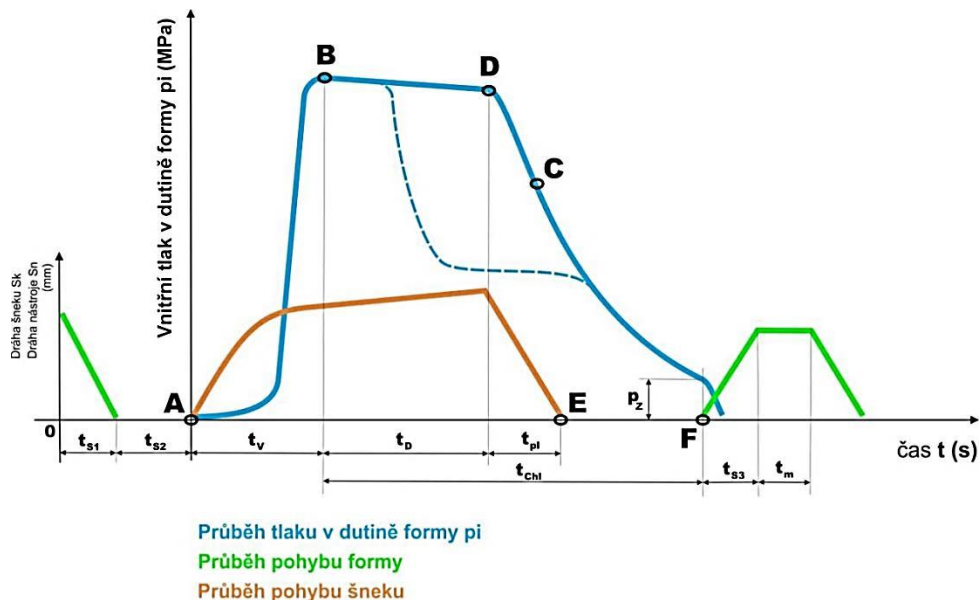
Proces vstřikování (obr. 2.8) je diskontinuální a cyklický. Postup vstřikování probíhá tak, že plast v podobě granulí je nasypán do násypky, z níž je odebírán pracovní částí vstřikovacího stroje. Ta hmotu dopravuje do tavicí komory, kde za současného účinku tření a topení se plast natavuje a vzniká tavenina. Tavenina je následně vstřikována do dutiny formy, kterou zcela zaplní a zaujme její tvar. Následuje dotlaková fáze pro snížení smrštění a rozměrových změn. Plast předává formě teplo a ochlazením ztuhne ve finální výrobek. Potom se forma otevře a výrobek je vyhozen. Vstřikovací cyklus je tvořen sledem přesně specifikovaných úkonů. Jedná se o proces neizotermický, během něhož plast prochází teplotním cyklem. Za počátek cyklu lze považovat okamžik odpovídající impulsu k uzavření formy. Schéma vstřikovacího cyklu je znázorněno na obr. 2.1. [3]



Obr. 2.8 Schéma vstřikovacího cyklu šnekových vstřikolisů [8], [9]

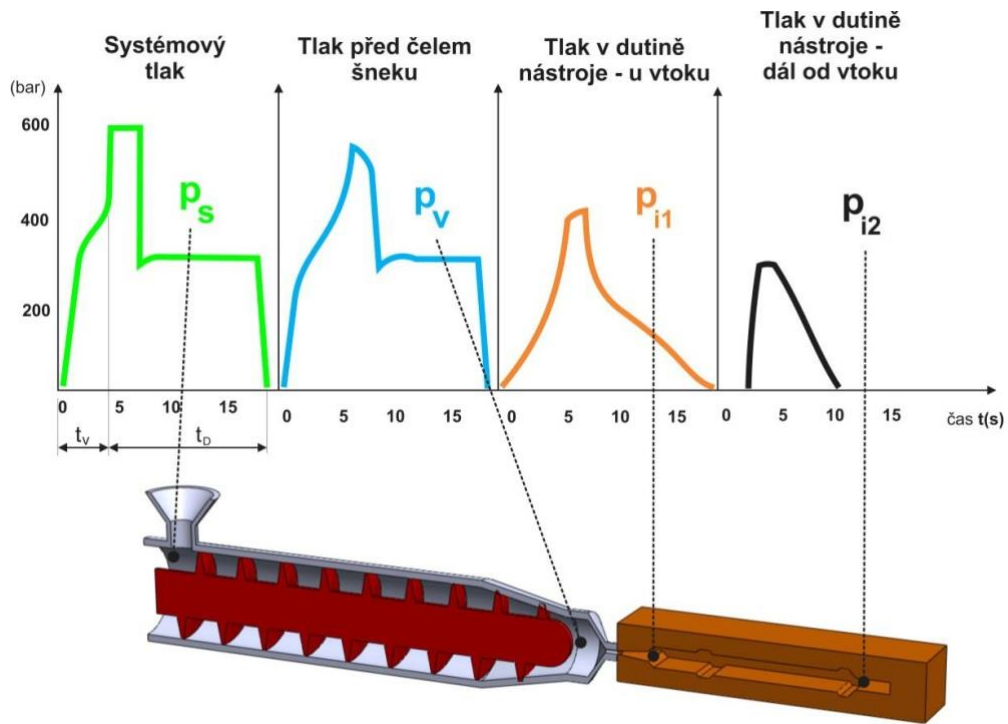
Na počátku vstřikovacího cyklu je dutina formy prázdná a forma je otevřená. V nulovém čase dostane stroj impuls k zahájení vstřikovacího cyklu, pohyblivá část formy se přisune k pevné, forma se zavře a uzamkne – strojní časy. Tyto činnosti je nutné odlišit, protože na přisouvání formy se musí vynaložit jen malá přisouvací síla F_p , zatímco na uzamknutí je nutno vynaložit značně vyšší uzavírací sílu F_u (až třikrát vyšší), neboť musí být zaručeno, že se forma vlivem tlaku taveniny při vstřikování neotevře. Následuje pohyb šneku v tavicí komoře a začíná vlastní vstřikování roztavené hmoty do dutiny vstřikovací formy – bod A v obr. 2.9. V této fázi šnek vykonává pouze axiální pohyb, neotáčí se a vlastně plní funkci pístu. Doba plnění formy se nazývá doba plnění a značí se t_v . Plnění je ukončeno v bodě B. Po naplnění formy je tavenina v dutině ještě stlačena a tlak dosáhne maximální hodnoty. Ihned, jak tavenina vstoupí do dutiny formy, začne předávat teplo vstřikovací formě. Tím chladne. Chlazení trvá až do otevření formy a vyjmutí výstřiku – doba chladnutí t_{ch} . V praxi se dělí na dobu chlazení při plném vstřikovacím tlaku a na dobu chlazení při klesajícím tlaku. První část představuje dobu dotlaku, t_d . Potřebná doba chlazení je závislá na teplotě formy, tloušťce stěny výrobku a tvarové složitosti. Během chladnutí se hmota smršťuje a zmenšuje svůj objem. Pro redukci propadlin, které během chlazení vznikají, je nutné zmenšování objemu kompenzovat dodatečným dotlakem taveniny do dutiny formy. Tento dotlak může být po celou dobu stejně vysoký jako maximální tlak p_i nebo se může po několika sekundách snížit a další chladnutí probíhá při sníženém tlaku. Doba dotlaku končí v bodě D, kdy začíná doba plastikace nové dávky plastu, t_{pl} . Dotlak se rozděluje na izobarický a izochorický. Abychom mohli dotlačovat, musí před čelem šneku zůstat polštář. Což je určitý objem plastu, na který bude šnek působit svým čelem. Tento objem nesmí být moc velký (obvykle kolem 10 až 15 %, méně než jednonásobek průměru šneku D), aby nedocházelo k tepelné degradaci hmoty. Po dotlakové fázi začíná plastikace nové dávky taveniny. Šnek se začne otáčet a pod násypkou nabírá granulovanou hmotu. Plastikuje ji a vtlačuje do prostoru před čelem šneku. Současně ustupuje dozadu, přičemž musí překonávat tzv. protitlak neboli zpětný tlak, který je vytvářen hydraulickou kapalinou. Výška protitlaku ovlivňuje dobu plastikace a tím i kvalitu prohnětení roztaveného plastu. Příliš vysoký protitlak by však mohl způsobit až degradaci plastu. Ohřev plastu během plastikace probíhá převodem tepla ze stěn válce, ale také frikčním teplem, které vzniká třením plastu o stěny komory a o povrch šneku. Vliv má také přeměna hnětací práce šneku v teplo. Jestliže je tavicí komora opatřena samouzavíratelnou tryskou, může plastikace probíhat i při otevřené formě. Dále může, a nebo nemusí následovat odsunutí tavicí komory od formy. Během pokračujícího chlazení

tlak ve formě dále klesá až na hodnotu zbytkového tlaku p_z , což je tlak, pod nímž se hmota nachází ve formě těsně před jejím otevřením. Po dokonalém zchladnutí výstřiku se forma otevře a výstřik se vyhodí z formy. Jednou z možností, jak popsat vstřikovací cyklus, je časová závislost vstřikovacího tlaku v dutině vstřikovací formy (obr. 2.9). Přehled tlaků u technologie vstřikování a jejich průběh je zobrazen na obr. 2.10. [3]



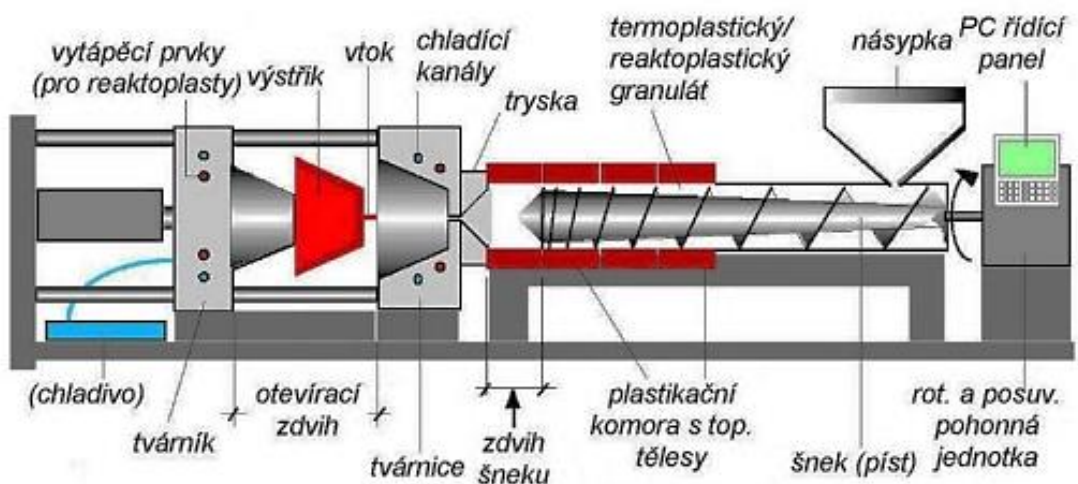
- A vstřikování taveniny do dutiny formy
- B konec plnění
- D konec dotlaku
- C okamžik zatuhnutí hmoty ve vtokovém kanálu
- E konec plastikace
- F otevření formy
- t_v doba plnění
- t_{ch} doba chladnutí
- t_D doba dotlaku
- t_{pl} doba plastikace nové dávky plastu
- t_k odsunutí tavící komory
- t_{s1} čas přisunutí, uzavření a uzamknutí formy
- t_{s2} čas přisunutí tavící komory k formě
- t_{s3} doba otevření formy
- t_m manipulační čas
- p_i maximální tlak
- p_z zbytkový tlak

Obr 2.9 Průběh vnitřního tlaku p_i v dutině formy během procesu vstřikování [8], [9]



Obr. 2.10 Tlaky u technologie vstřikování [9]

Ke vstřikování plastů se používají vstřikovací stroje, které z hlediska typu pohonu mohou být hydraulické, elektrické nebo hybridní. Vstřikovací stroje mají dvě na sobě nezávislé jednotky, vstřikovací a uzavírací jednotku. Tyto jednotky jsou pak řízeny řídicí mikroprocesorovou jednotkou. Na obrázku obr. 2.11 je zobrazeno schéma vstřikovacího stroje. [9]



Obr. 2.11 Schéma vstřikovacího stroje [10]

Ve firmě DMCZ se používají dva typy velikostí hydraulických vstřikovacích strojů značky Engel. Prvním typem jsou stroje o uzavírací síle 1300 tun (obr. 2.12), které jsou určeny pro formy o hmotnosti 13-15 tun. Druhým typem vstřikovacích strojů, jsou stroje o uzavírací síle 600 tun. Ty jsou pak určeny pro menší formy. Výlisek, kterým se tato diplomová práce zabývá, byl vyroben na stroji o uzavírací síle 1300 tun.



Obr. 2.12 Vstřikovací stroj Engel duo [11]

2.4.2 Procesy probíhající po vstřikování

Kromě průvodních jevů během vstřikování, jako je například pokles teploty a tlaku s časem, nehomogenní teplotní a napěťové pole nebo orientace makromolekul a plniva, probíhají u technologie vstřikování procesy, které mají výrazný vliv na konečné a užité vlastnosti plastových dílů. Jako jsou mechanické vlastnosti, rozměry, deformace, kvalita povrchu, atd. Jedná se o procesy krystalizace, pnutí, smrštění, kvalita povrchu a deformace. V této diplomové práci jsme se nejvíce potýkali s následnými jevy krystalizace, pnutí a smrštění. V následující části si o těchto procesech něco řekneme [9].

Krystalizace

Tvorba krystalické fáze může nastat pouze u semikrystalických plastů, jako je např. PP, PE, PA, apod. Semikrystalické polymery krystalizují odlišnou rychlostí a také mají rozdílný objem krystalické fáze. Krystalické útvary vznikají tak, že makromolekuly se sdružují k sobě, do přibližně pravidelných útvarů, lamel, nebo fibril. Lamely jsou základním útvarem pro a mohou vytvářet složitější útvary zvané sférolity. Oblasti mezi krystalickými útvary jsou amorfní. Krystalizace probíhá během tuhnutí taveniny ve formě pod teplotou tání polymerů. Po vyhození výrobku ze vstřikovací formy dochází ve výrobku ještě k velmi pozvolné dodatečné krystalizaci. Ta může být spojena s trvalými deformacemi nebo i vznikem pnutí. Krystalizace ve vstřikovací formě závisí na teplotě vstřikovací formy a tedy na rychlosti tuhnutí taveniny. [9]

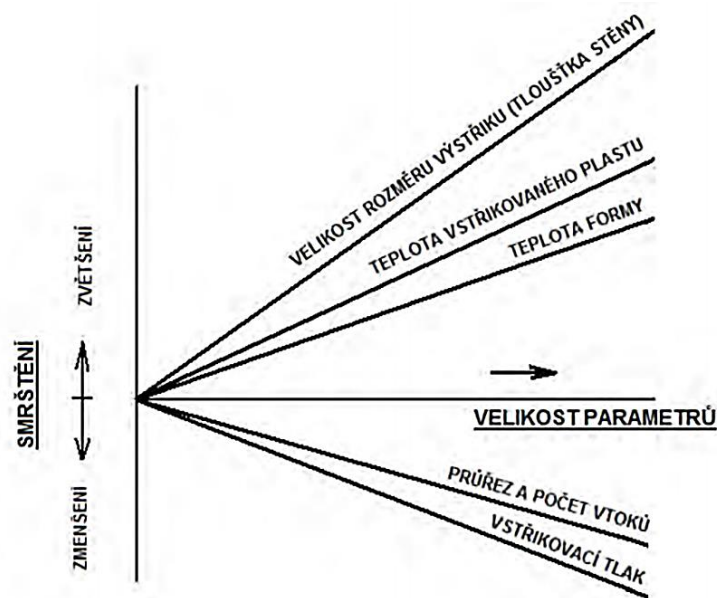
Pnutí

V důsledku teplotně-tlakových procesů a nerovnoměrných objemových změn, dochází při vstřikování plastů vždy ke vzniku pnutí. Pnutí může ovlivnit pevnostní a deformační chování plastového dílu. Vzniku pnutí nelze zabránit, ale je možné vstřikovací proces řídit tak, aby byla hodnota pnutí co nejmenší. Pnutí může způsobit deformaci plastového výrobku nebo vznik trhlin až prasknutí dílu. Při zatížení plastového dílu vnějším zatížením, dochází ke sčítání účinku vnější síly s účinkem napětí uvnitř plastového dílu a potom může dojít k porušení výrobku při podstatně menším vnějším namáhání, než odpovídá materiálovým vlastnostem daného plastu nebo kompozitu. Na druhé straně se u plastů projevuje relaxace (uvolňování) napětí, která snižuje velikost pnutí v plastovém dílu s časem a s teplotou. [9]

Smrštění

Smrštění je objemová změna plastového dílu, která vzniká v důsledku chlazení výrobku bez současného působení tlaku. Konečné rozměry plastových dílů jsou závislé na jeho velikosti. Na velikost smrštění mají výrazný vliv nejenom technologické parametry, ale i vlastní polymer, umístění vtoku na plastovém dílu a konstrukce dílu, např. tloušťka stěny. Vliv některých činitelů je na obr. 2.13. Pro změny rozměrů plastových dílů obecně platí, že čím je teplota vyšší, tím je smrštění větší. Velikost smrštění v jednotlivých směrech výstřiku nemusí být totožné. Vzniklá struktura (asymetrické plnivo - vlákna) u semikrystalických plastů a také směr proudu taveniny způsobuje anizotropii.

Smrštění se dělí do dvou fází. První fáze je tzv. provozní smrštění stanovené 24 hodinami po výrobě výstřiku. Představuje až 90% celkového smrštění. Druhá fáze smrštění je dodatečné smrštění, které probíhá v delším časovém intervalu závislém na druhu plastu. [12], [15], [8], [9]



Obr. 2.13 Vliv nejdůležitějších činitelů na velikost smrštění [15]

2.4.3 Vlivy stroje a technologických parametrů na kvalitu výlisku

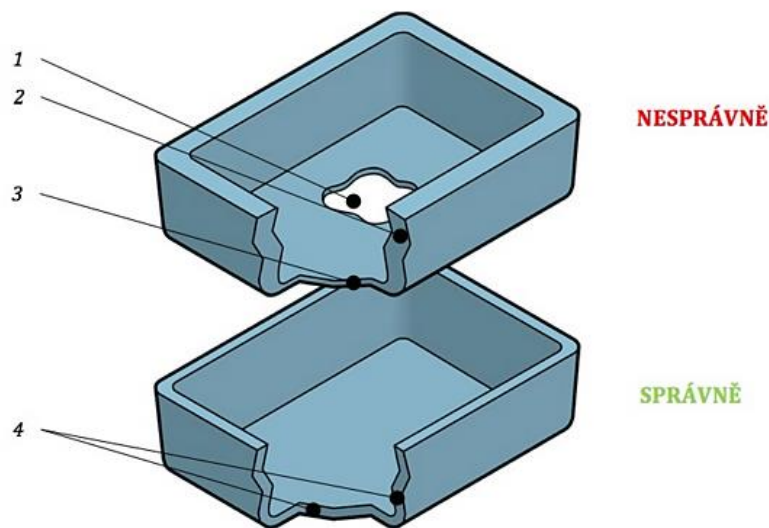
Nesprávně nastavené technologické parametry mohou vyvolat prakticky většinu známých vad, jako jsou vady povrchu, tvar i skryté vady. Výhodou těchto vad je, že je lze odstranit změnou jednoho či více parametrů. Pokud je to možné, je přednostně volena změna parametrů s okamžitou reakcí na následný vstřikovací. Pokud tyto změny nevedou k odstranění vady, mění se také teploty jednotlivých pásem, resp. teplota taveniny a teplota formy. Změna teploty však vyžaduje více vstřikovacích cyklů k ustálení procesu. Z hlediska stroje je častým důvodem vzniku vad opotřebení funkčních částí vstřikovací jednotky. Jako je uzávěr šneku, který nedokonale těsní na přední části. Zejména u trysky jsou mrtvé kouty, v nichž dochází k degradaci polymeru. Dosed trysky není dokonalý, tryska podtéká a výstřik nelze snadno vyhodit z formy. V případě poruchového topení jednotlivých pásem vstřikovací jednotky, nastává teplotní a viskozitní nehomogenita v dávce taveniny. To také vede k vadám výstřiku. [9]

2.5 Konstrukce výlisku

Mezi klíčové konstrukční principy, které je nutné zvážit, patří tloušťka výlisku, úkosy, tvar a tloušťka žeber, zaoblení a další. Přestože konstruktér nezná na začátku přesný dopad na výrobu, musí tyto parametry definovat před zajištěním nástroje do materiálu, dokud jsou náklady na změny minimální. Ve strojírenském designu je každý návrh neustálým kompromisem mezi designem a vyrobiteľností. [12]

2.5.1 Tloušťka stěny

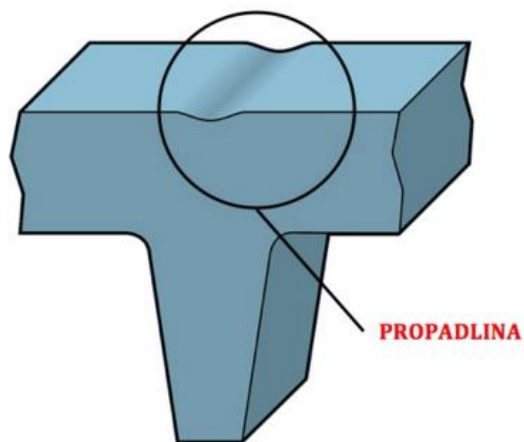
Tloušťka stěny významně ovlivňuje mnoho klíčových charakteristik plastového dílu. Jedná se zejména o mechanickou odolnost, celkový vzhled, zpracovatelnost a ekonomiku dílu. Volba tloušťky stěny musí být provedena na základě kvalitně provedené rozvahy. Je nutné udržet stejnou tloušťku stěn na celém modelu. Jakákoliv větší nerovnoměrnost může způsobit problémy jako je například vznik vnitřních vzduchových kapes (lunkry), propady povrchu, nepředvídatelná smrštění (obr. 2.14) a v neposlední řadě prodloužení celého cyklu. Je-li změna tloušťky nezbytná, měla by být plynulá. A to proto, aby umožňovala hladký průtok materiálu bez vytváření míst s vnitřním pnutím, které mohou způsobit rozpad dílu. [12]



Obr. 2.14 Vliv tloušťky stěny na technologičnost výroby plastového dílu vstřikováním
1- oblast se zvýšeným rizikem uzavírání vzduchu, 2- příliš velká tloušťka, 3- Příliš malá tloušťka,
4- rovnoměrná tloušťka stěny [12]

2.5.2 Žebrování

Žebra umožňují dosáhnout vyšší pevnosti a tuhosti vstřikovaného dílu bez nutnosti celkového zvýšení tloušťky stěn. Dalším důvodem použití žeber může být např. pozicování dílů při montáži, zajištění lícování dílů, dorazy či vedení pomocných mechanismů. Dále pak k odstranění nežádoucích deformací po zchlazení výstřiku. Při návrhu žeber by nemělo docházet ke kombinaci tlustých a tenkých žeber. Žebra s velkou tloušťkou obvykle způsobují propadliny (obr. 2.15) na protilehlém povrchu vstřikovaného dílu. Tloušťka žebra významně ovlivňuje vyrobitelnost vstřikovaného dílu. Velmi tenká žebra mohou způsobit komplikace s plněním. [12], [13]

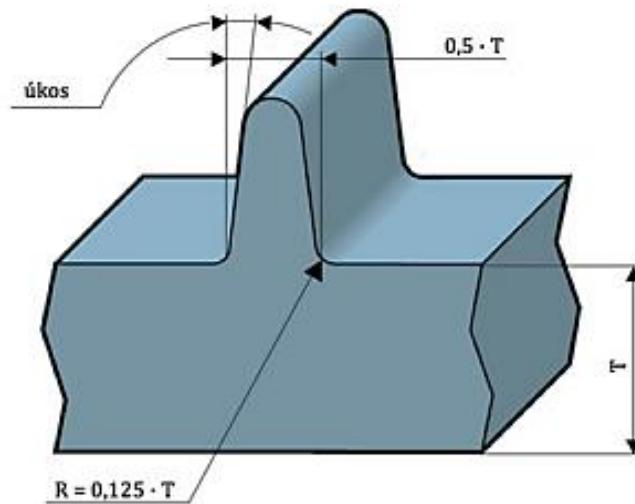


Obr. 2.15 Vznik propadliny na žebrovaném vstřikovaném dílu [12]

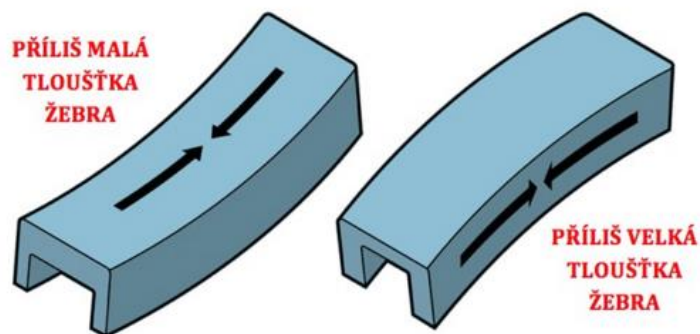
Ve formě jsou žebra obvykle vyrobena jako slepé otvory ve směru otevírání vstřikovací formy. Aby byla zaručena přijatelná odformovatelnost dílu s žebrováním, musí být žebra opatřena úkosem minimálně $0,5^\circ$ na každé straně žebra. Úkos vyšší než 1° na každé straně může vést k nežádoucímu razantnímu poklesu tloušťky žebra a problémům s plněním dutiny vstřikovací formy. [12]

Zde jsou některé z nejobvyklejších konstrukčních zásad (obr. 2.16, obr. 2.17) [13]:

- Tloušťka žeber by měla být mezi 60% - 80% tloušťky stěny.
- Maximální výška žebra by neměla být větší než 3 násobek tloušťky stěny. Pro zvýšení pevnosti je lepší zvýšit počet žeber nežli zvětšovat jejich výšku.
- Minimální vzdálenost mezi žebry by měla být dvojnásobkem nominální tloušťky stěny
- Extrémně tlustá žebra by měla být odstraněna.



Obr. 2.16 Základní rozměry žebra [12]



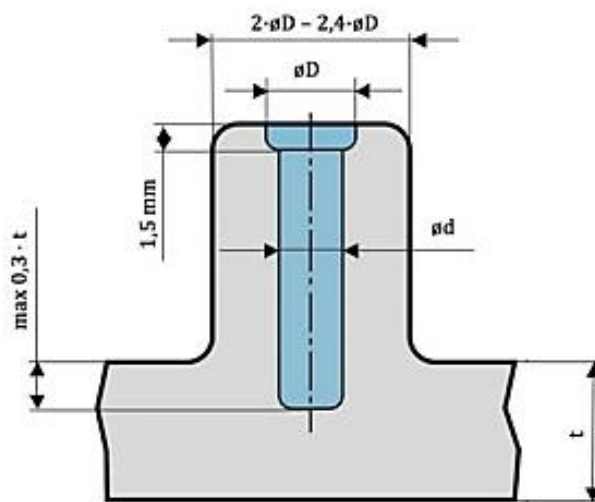
Obr.2.17 Vliv tloušťky žebra na deformaci [12]

Žebra rozdělujeme podle použití [13]:

- 1) Technická - vyztužují a zvyšují pevnost
- 2) Technologická – proti deformacím a borcení stěn vlivem vnitřního pnutí
- 3) Ozdobná – zlepšení vzhledu ploch

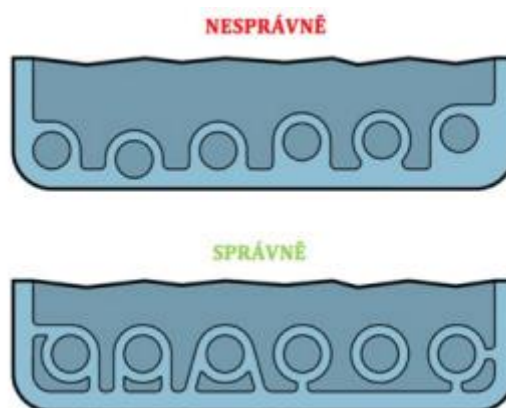
2.5.3 Výstupky

Výstupky (komínky) se uplatňují v mnoha konstrukcích jako bod pro připojení a montáž. Obvykle se jedná o válcové tvary s vnitřním otvorem navrženým tak, aby se do něj bylo možné zašroubovat příslušný spojovací prvek – šroub, závitovou vložku apod. Komínky také zvyšují pevnostní kvalitu plastu. Podobně jako u žeber, i u konstrukce úchytů je třeba zvažovat tloušťku jejich stěn. Přibližné pravidlo určující základní rozměr komínků je dvojnásobek až dva a půl násobek průměru šroubu rovný vnějšímu průměru komínku (obr.2.18). Přesněji určuje rozměry komínku výrobce šroubů v kombinaci s použitým typem plastu. Podobně jako u žeber hrozí vznik propadliny na ploše protilehlé komínku. Pro tloušťku stěny komínku platí stejná doporučení jako pro žebra. [12]



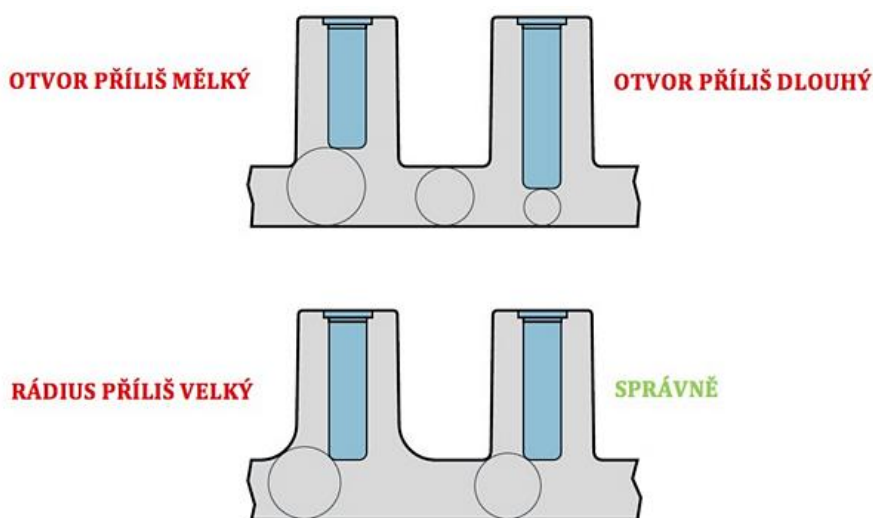
Obr. 2.18 Doporučení rozměry výstupků [12]

Napojení komínku na stěnu by mělo být opatřeno rádiusem. Ten však zvyšuje riziko vzniku propadlin či staženin. Pro většinu aplikací představuje rádius R0,5 přijatelný kompromis. V případě, že je z určitých důvodů nevyhnutelné použití většího rádiusu, je vhodné opatření dílů odlehčením v oblasti napojení komínku (obr. 2.19). [17]



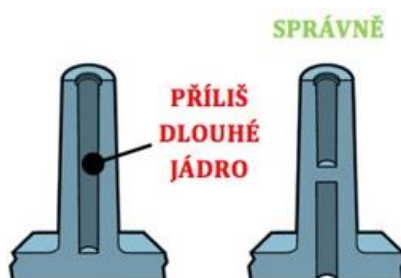
Obr. 2.19 Ukázka využití bočních propojujících podpor [12]

Je obvyklé, že dno otvoru uprostřed komínku je prodlouženo až na spodní plochu, do které je komínek vetknut i přesto, že to konkrétní aplikace nevyžaduje. Mělké otvory totiž mohou lokálně zvýšit tloušťku stěny vedoucí k propadlinám či staženinám. Hlubší otvory naopak tloušťku redukují. Může ale dojít k tomu, že redukce tloušťky je natolik významná, že může docházet ke vzniku problémů při plnění dutiny, studených spojů či povrchových vad. Cílem je zachování rovnoměrné tloušťky v oblasti napojení komínku na stěnu vstřikovaného dílu (obr. 2.20). [12]



Obr. 2.20 Rovnoměrnost tloušťky stěny vstřikovaného dílu v závislosti na hloubce otvoru komínku[12]

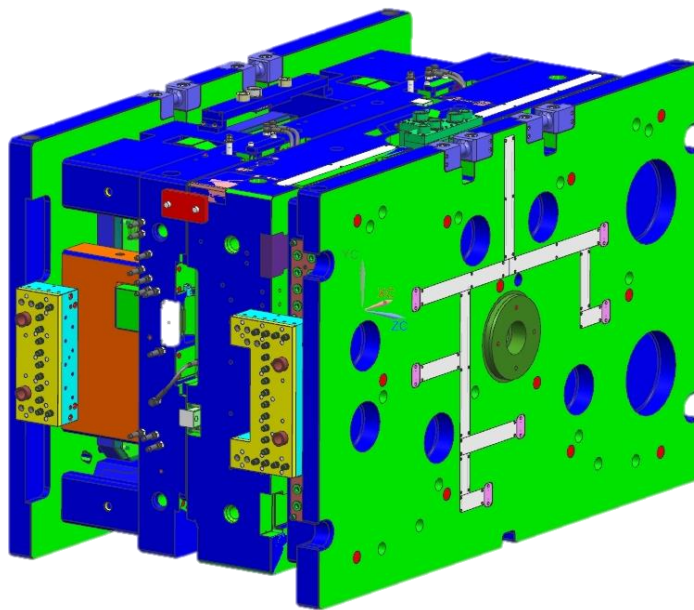
Komínky musí být opět opatřeny úkosy. Vyšší komínky – více než pětinasobek vnějšího průměru komínku – mohou způsobit problémy při plnění dutiny vstřikovací formy v jejich horní části či kvůli zvýšené tloušťce stěny u jejich základny. Navíc jádra, která tvoří vnitřní otvory komínků, mohou být problematická s ohledem na chlazení a mechanickou odolnost. Vhodně lze tento problém vysokých komínků řešit dvoustranným komínkem či bočními výztuhami komínků (obr. 2.21). [12]



Obr. 2.21 Alternativní řešení dlouhých komínků [12]

2.6 Konstrukce vstřikovací formy

Formy pro zpracování plastů (obr. 2.22) musí odolávat vysokým tlakům, musí poskytovat výrobky s přesnými rozměry. Dále musí umožnit snadné vyjmutí výrobku a musí pracovat automaticky po celou dobu své životnosti. Konstrukce forem a jejich výroba je náročná na odborné znalosti a na finanční náklady. Volba materiálu formy závisí na druhu zpracovávaného plastu, na použité technologii, na velikosti výrobku a jeho složitosti. Dále pak na velikosti série, tepelné odolnosti a odolnosti proti opotřebení a korozi, na ceně, apod. Důležitým faktorem životnosti formy je provedené tepelné zpracování na tvarových částech nástroje. Dalším důležitým úkolem při konstrukci forem je stanovení rozměrů a výrobních tolerancí tvarových částí. Rozhodující pro určení a výpočet těchto rozměrů je smrštění, tolerance jednotlivých rozměrů vylisku a opotřebení činných částí nástroje. Vstřikovací formy jsou konstrukčně velmi rozmanité a lze je rozdělit do několika skupin. Podle násobnosti rozdělujeme formy na jednonásobné a vícenásobné. Podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení na dvoudeskové, třideskové, etážové, čelist'ové, vytáčecí, apod. A konečně podle konstrukce vstřikovacího stroje na formy se vstřikem kolmo na dělicí rovinu a na formy se vstřikem do dělicí roviny. Vstřikovací forma se skládá z dílů, vymezujících tvarovou dutinu formy, z chladičského (temperačního) systému, vtokového systému, vyhazovacího systému a z upínacích a vodicích elementů. Jednotlivé části vstřikovacích forem lze rozdělit do dvou skupin na části konstrukční a na části funkční. Konstrukční části zabezpečují správnou činnost nástroje a funkční části se stýkají s tvářeným materiálem a udělují mu požadovaný tvar. [3], [14]



Obr. 2.22 Vstřikovací forma [18]

2.6.1 Vtokový systém

Je to systém kanálů a ústí vtoku, který má za úkol zajistit správné naplnění dutiny formy termicky homogenní taveninou plastu v nejkratším možném čase a s minimálními odpory, snadné odtržení nebo oddělení od výstřiku a snadné vyhození vtokového zbytku. Tvar, rozměry, umístění vtoku a ústí vtoku do dutiny ovlivňuje: rozměry, vzhled a vlastnosti výstřiku, spotřeba plastu, náročnost začištění vtoku na výstřiku, energetickou náročnost výroby. Vtoková soustava a její celkové uspořádání je dáno konstrukcí formy a počtem tvarových dutin (násobností). Zejména u termoplastů má druh a umístění vtoku podstatný vliv na proudění taveniny ve formě, vytváření tzv. studených spojů, orientaci makromolekul a plniva, rovnoměrnost krystalizace, anizotropii vlastností a rozměrů, povrchový vzhled apod. Vtok má být řešen tak, aby naplnění formy proběhlo co nejkratší možnou cestou bez teplotních a tlakových ztrát a pokud možno všude ve stejném čase. Pokud je forma řešena jako vícenásobná musí dojít k naplnění všech dutin současně a při stejných technologických podmínkách, a tedy při stejné teplotě taveniny a při stejném vnitřním tlaku. [15]

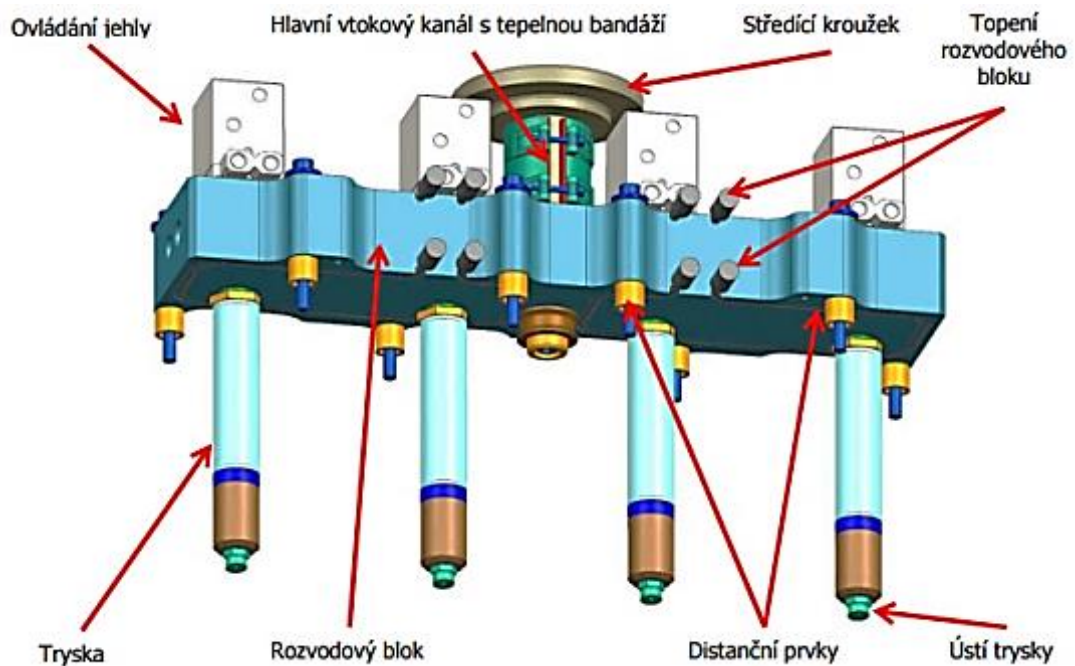
Charakter výstřiku, způsob a ekonomika výroby určuje, zda je použit [15]:

- *studený vtokový systém*, který je vhodný pro jednodušší výstřiky a malosériovou výrobu,
- *horký vtokový systém*, který je vhodnější pro složitější výstřiky a hromadnou výrobu./20/

Pro výrobu klimatizačních skříní se používají vstřikovací formy s horkým vtokovým systémem.

Horký vtokový systém

Horký vtokový systém (obr. 2.23) je sestava vyhříváných komponent (hlavní vtok, rozvodová deska, trysky a ovládání jehly), které udržují vstřikovaný polymer při konstantní teplotě do dutiny formy. Polymer má zaručenou stálou viskozitu v celém průřezu a délky rozváděcího systému od začátku vtoku, až do ústí dutiny formy. [16]



Obr. 2.23 Horký vtokový systém [16]

Výhodami tohoto systému je např. časové snížení výrobního cyklu, eliminaci odpadu a tím i klesání nákladů na dokončovací operace. Možnost postupného otevírání jednotlivých trysek umožňující řízení polohy studených spojů. [16]

Nevýhodami horkého vtokového systému, náročnější konstrukční zástavba do formy, větší pořizovací náklady a nároky na obsluhu. Zvýšení provozních nákladů a obtížné dodatečné změny polohy vtoků. Další nevýhodou je, že tento systém nelze použít pro některé materiály s velkou citlivostí na teplo. [16]

2.6.2 Temperační systém

Temperace vstřikovacích forem znamená ochlazování nebo ohřev tvarových částí formy pomocí temperačního média (temperačního prostředku). Dutina formy je během vstřikování plněna taveninou plastu, která je ve formě ochlazována na teplotu vhodnou k vychlazení vylisku a jeho vyjmutí. Temperační systém ovlivňuje plnění tvarové dutiny formy, kvalitu výstřiku a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí plastu. Temperování forem souvisí s přenosem tepla ve vstřikovací formě. Je to tedy přestup tepla z plastu do vstřikovací formy, přestup tepla z formy do temperačního systému a přestup tepla z formy do okolí a rámu stroje (vedením, prouděním a sáláním). V případě forem s horkými tryskami by měl být samostatný okruh u ústí každé horké trysky. Temperační systém je složen z temperační jednotky a řídicí jednotky, temperačních kanálů, spojovacích prvků, teponosného média. Temperační prostředky jsou rozděleny na aktivní a pasivní. Aktivní prostředky jsou zdrojem temperace přímo ve formě, teplo přivádějí nebo odvádějí podle požadavku na teplotu formy. Jsou to kapaliny (olej, voda), vzduch, kapalné CO₂ a elektrické tepelné zdroje. Pasivní prostředky pak ovlivňují tepelný režim formy svými fyzikálními vlastnostmi. Jako jsou vysoce tepelné vodivé materiály, tepelné trubice, vysoce tepelně vodivé slitiny. Tyto prostředky jsou vhodné pro členité výrobky a jsou vhodné pro zlepšení odvodu tepla z nástroje. Jedná se o slitiny Cu, Be, Co, apod. Možným důsledkem temperace může být deformace výstřiku. A to vlivem nehomogenního teplotního pole a dodatečného smrštění výstřiku. Pro chlazení našich klimatizačních skříní se používá jako chladící médium voda, která je temperovaná na 20°C. [17]

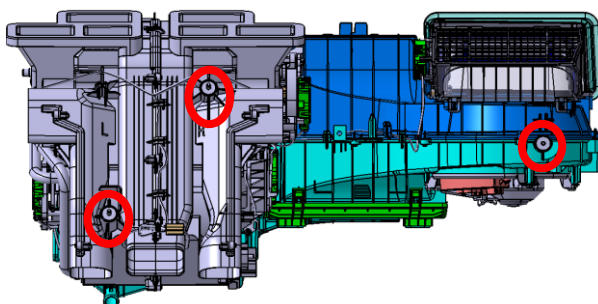
2.6.3 Vliv konstrukce vstřikovací formy na kvalitu vylisku

Nesprávná konstrukce formy je příčinou velkého počtu vad. Ty, ve většině případů, nejde odstranit např. změnou technologických parametrů. Například nedostatečná tuhost formy, která může být způsobena konstrukční chybou, poddimenzováním částí formy, chybným výběrem materiálu formy nebo tepelného zpracování. Dále má velký vliv umístění vtokové soustavy, zejména vtokového ústí. Obvykle je nutné volit kompromis mezi reologickými požadavky na taveninu polymeru a výrobními požadavky. Dalším zdrojem vad bývá nedostatečné odvzdušnění tvarové dutiny formy. Poddimenzovaný a nesprávně zvolený vyhazovací systém a nevhodný či poddimenzovaný temperační systém, může vyvolat strukturní anomálie, vnitřní pnutí a anizotropii rozměrů i vlastností. [9]

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

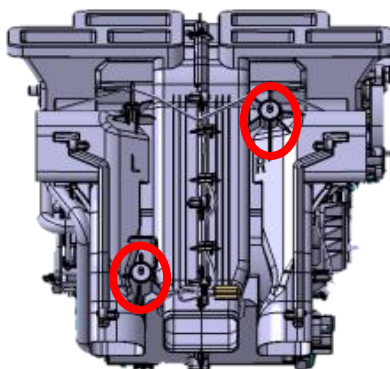
3.1 Stanovení cílů diplomové práce

Diplomová práce, vypracovaná v DMCZ, se zaměřuje na klimatizační jednotku (obr. 3.1), která je vyráběna vstřikováním. Výstříky, které patří do soustavy klimatizační jednotky musí splňovat zákaznické požadavky kvality na tzv. RPS body, které jsou součástí našeho výstříku. Zkratka RPS znamená v angličtině Reference Point System. Jejich funkcí je, že slouží jako montážní a stabilizační prvky celé klimatizační jednotky v automobilu. Dále také určují polohu a orientaci souřadného systému klimatizace v prostoru.



Obr. 3.1 Klimatizační jednotka[18]

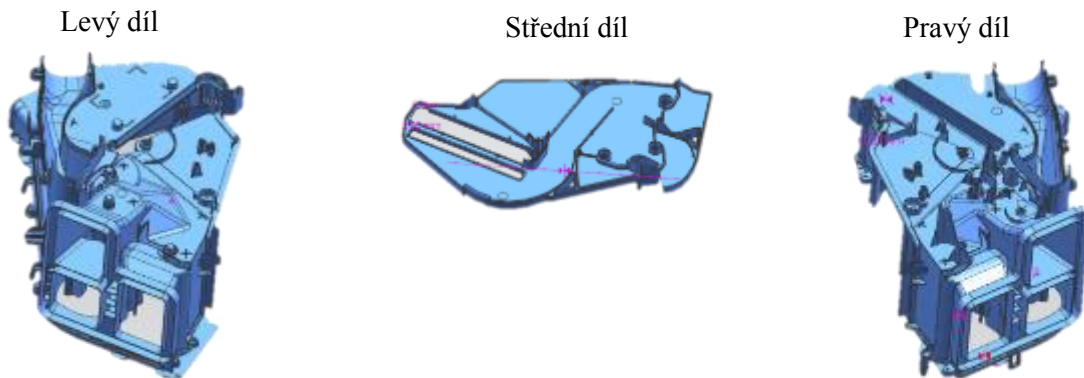
Na klimatizační jednotce jsou umístěny celkem tři RPS body. Dva z nich jsou umístěny na skříní výměníku a jeden pak na skříní ventilátoru. V této diplomové práci se budu zabývat problematikou týkající se RPS bodů, umístěných na skříní výměníku (obr. 3.2). Po designové modifikaci těchto bodů, se v nich objevily deformace a vnitřní bubliny neboli lukry. Což jsou dutiny vzniklé objemovým smrštěním. Vzhledem k tomu, že RPS body slouží jako přípojná místa, jsou na ně kladeny vysoké požadavky kvality. Jeden z nich je, že nesmí obsahovat žádné deformace a defekty v oblasti funkční části otvoru. Povoleny jsou pouze bubliny do maximální velikosti 5 mm a to mimo funkční oblast RPS bodu. Cílem této diplomové práce je odstranění defektů, které toto kritérium nespĺňují.



Obr. 3.2. Umístění RPS bodů na skříní výměníku[18]

3.2 Popis výstřiku

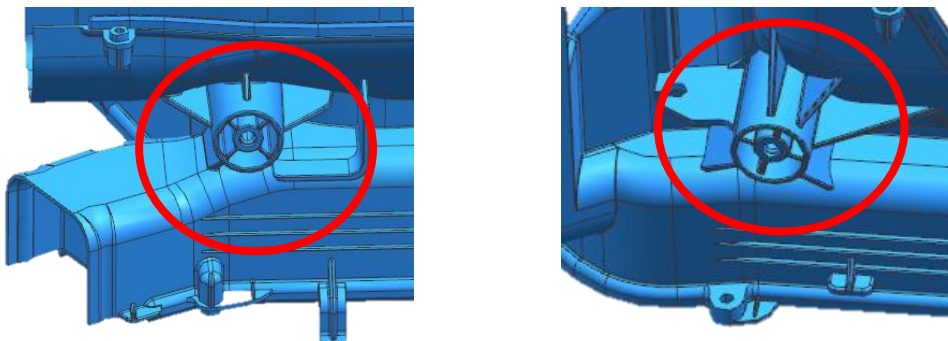
Skříň výměníku, na kterou se v této diplomové práci zaměřím, se skládá ze tří výlisků. Tyto výlisky se vyrábějí z jedné tzv. family formy. Jedná se o formu, která obsahuje tři tvarové dutiny, a každá z nich vyrobí jiný výlisek. Jedná se o tzv. levý díl, pravý díl a střední díl (obr. 3.3). Tyto výlisky jsou po vylisování operátorem skládány k sobě. RPS body se pak nachází přímo na levém a na pravém dílu.



Obr. 3.3 Levý díl, střední díl, pravý díl [18]

3.3 Popis kritického místa

Kritickým místem vstříkovaného dílu, jsou tzv. RPS body. Jak již bylo řečeno výše, jejich funkcí je, že slouží jako montážní a stabilizační prvky celé klimatizační jednotky v automobilu. Při porovnání RPS bodu s ostatními tvary výměníkové skříně, je patrné, že se jedná o více tvarově složitější část výlisku. To vede k větší náchylnosti k vadě. Na obr. 3.4 je vidět, že se jedná o výstupek s otvorem, který je vyztužen žebry. Ty plní vyztužující funkci a také zajišťují plynulé plnění taveniny v dutině formy.

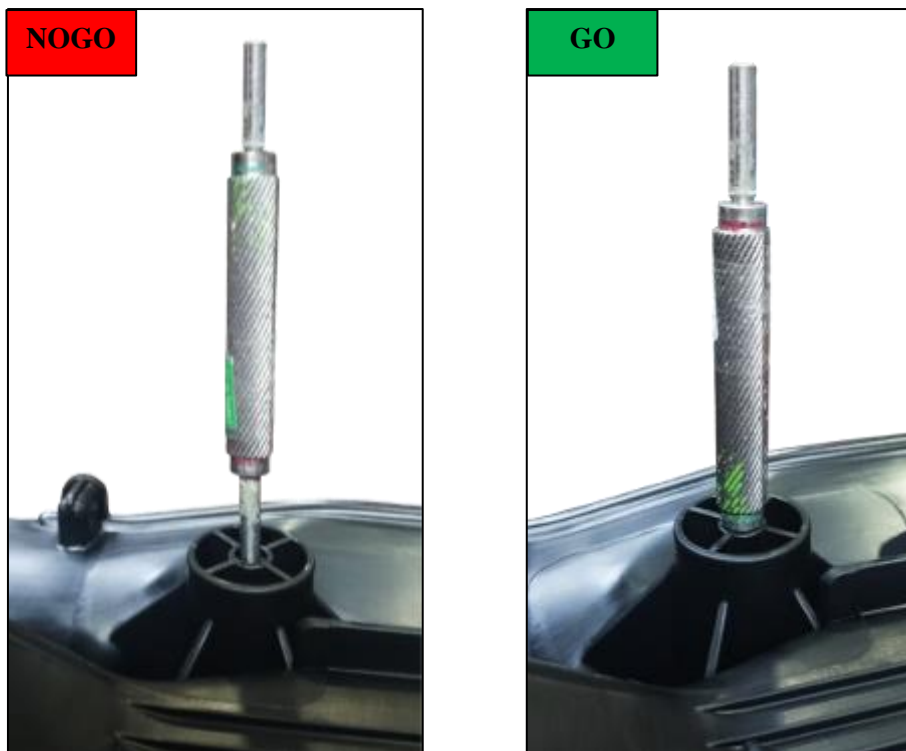


Obr. 3.4 RPS bod na levém díle (vlevo) a na pravém díle (vpravo) [18]

Při zahájení výroby, se vždy provádí uvolnění výrobního lotu, a to kontrolou operátorem kvality. Ten provádí vizuální kontrolu všech tvarů výlisků, zda nedošlo k ulomení části formy, jako jsou např. žebra, nebo zda díl není nedostříklý, či má na sobě zástřiky. Součástí této kontroly je i kontrola správných rozměrů otvorů kontrolními jigy. Jejich pomocí se kontrolují průměry a hloubky otvorů a také to, zda nejsou otvory deformované. Jigy se skládají ze dvou funkčních částí, a to GO strany a NOGO strany. Pro uvolnění výroby musí GO strana projít vlastní vahou otvorem až na jeho dno a NOGO strana nesmí projít otvorem vůbec. Jedny z takto kontrolovaných otvorů jsou právě RPS body. Na obr. 3.5 je znázorněn kontrolní jig, kterým se provádí uvolňovací kontrola RPS bodů. Dále pak na obr. 3.6 je pro ukázkou znázorněna kontrola jigem RPS bodu na levém díle. Když jsou všechny tvary i otvory v pořádku, uvolní se výrobní lot.



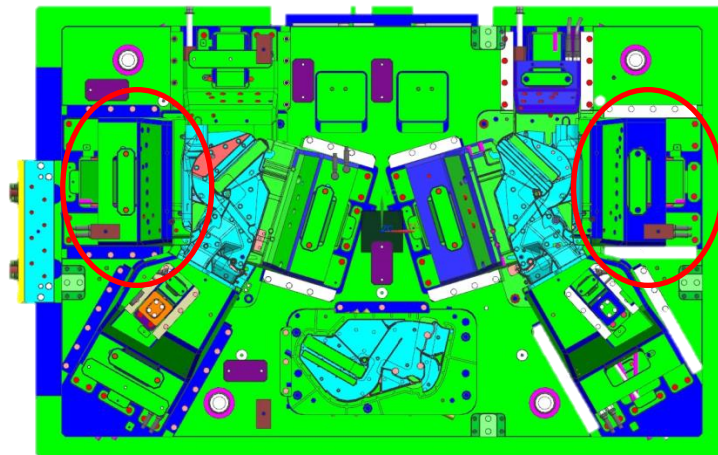
Obr. 3.5 Kontrolní jig pro RPS body[18]



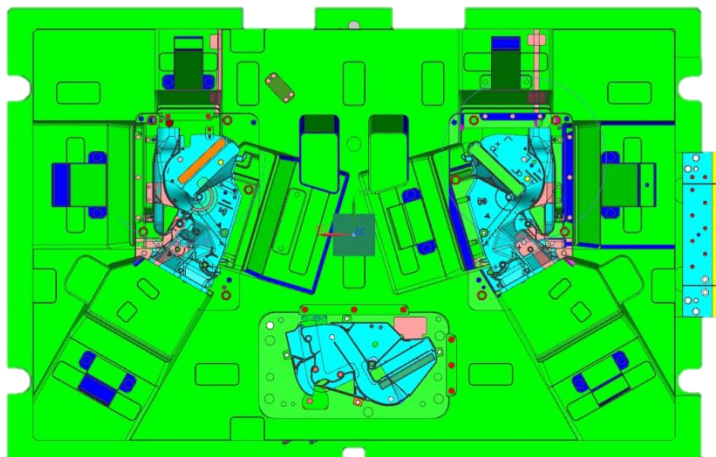
Obr.3.6 Kontrola RPS bodu jigem NOGO stranou a GO stranou ns levém díle[18]

3.4 Vstřikovací forma pro experiment

Skříň výměníku se skládá ze tří výlisků. Ty jsou vyráběny v tzv. family formě, která obsahuje tři tvarové dutiny. Je to forma dvoudesková a má horký vtokový systém. Její maximální rozměry jsou 2475 x 1240 x 110mm. Dále tato forma obsahuje konstrukční části, které se nazývají slidery (obr. 3.9, obr. 3.11). Ty jsou umístěny na pohyblivé straně formy. Pomocí těchto sliderů jsou tvořeny a odformovávány boční strany výměníkové skříňe. Dále tyto slidery obsahují vložené inserty. To jsou vložky, které mají tvarovou část, a jsou spasované a vloženy do sliderů. Výhodou těchto vložek je, že jsou snadno rozebíratelné ze sliderů, dají se snadno vyměnit a modifikovat. V případě zastříknutí formy umožňují snadné rozebrání a vyčištění. Některé z těchto vložek ve sliderech pak vytvářejí RPS body. Na obrázku obr. 3.7 je možné vidět pohyblivou stranu formy, kde jsou vyznačeny pozice sliderů. Na obr. 3.8 je pak zobrazena pevná strana formy. Zelenou barvou jsou označeny dosedací plochy, světle modrou barvou jsou označeny plochy, kde je plast a tmavě modrou pak nepřesné plochy. V příloze 1, jsou zobrazeny další detaily této formy.



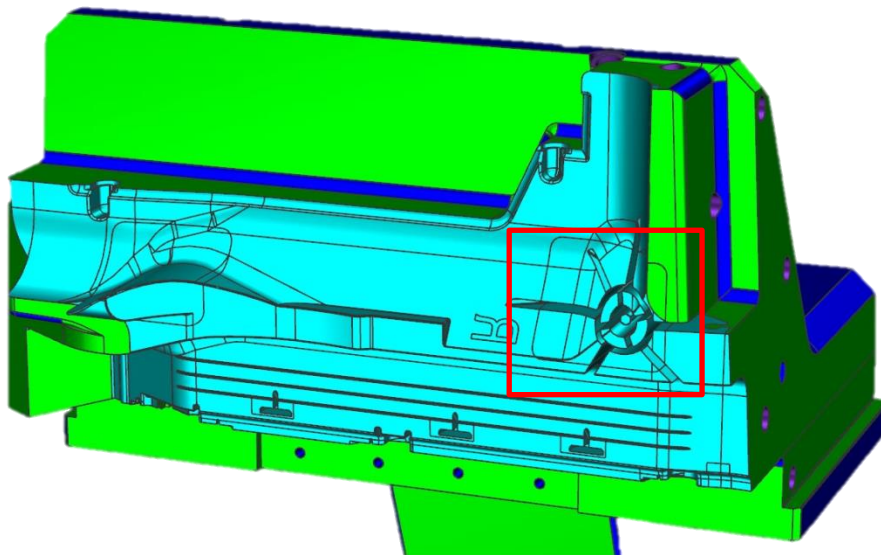
Obr. 3.7 Pohyblivá strana vstřikovací formy s vyznačenou pozicí sliderů [18]



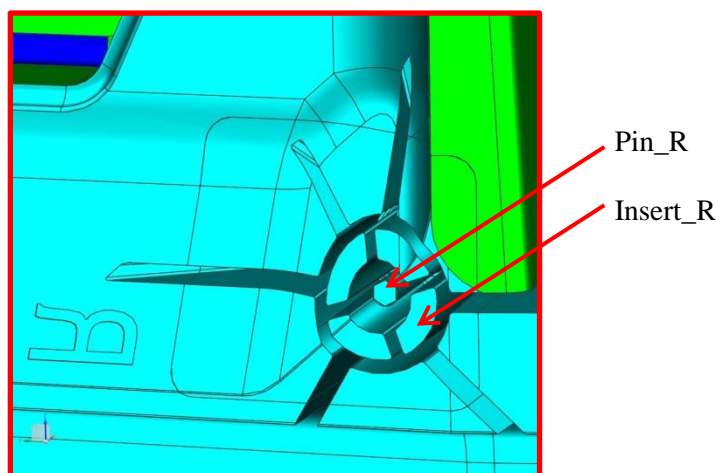
Obr. 3.8 Pevná strana vstřikovací formy [18]

3.4.1 Tvarová část formy v oblasti RPS bodu

Tvarovou částí RPS bodů jsou na vstřikovací formě slidery, v kterých jsou uloženy tvarové vložky. Tyto vložky pak mají v sobě další vložený tvary, tzv. piny. Tyto piny tvoří jádra, která vytváří vnitřní otvor RPS bodu. Nejprve si popíšeme tvarovou část formy v oblasti RPS bodu pro pravý díl výměňkové skříně a teprve poté pro díl levý. Na obr. 3.9 je možné vidět slider pro pravý díl. Zde je slider označen jako Slider_R. Index R je volen z anglického překladu right. Dále pak na obrázku obr. 3.10 je znázorněna vložka Insert_R a vně vložený Pin_R. Materiál Insertu_R je Molmax XL a pro Pin_R je to Ampcoloy 940. Tyto materiály se vyznačují výbornou tepelnou vodivostí, a tak se do složitých tvarů výlisku, jako jsou RPS body, výborně hodí. Přesné hodnoty tepelných vodivostí jsou uvedeny v příloze 2,3 a 4.

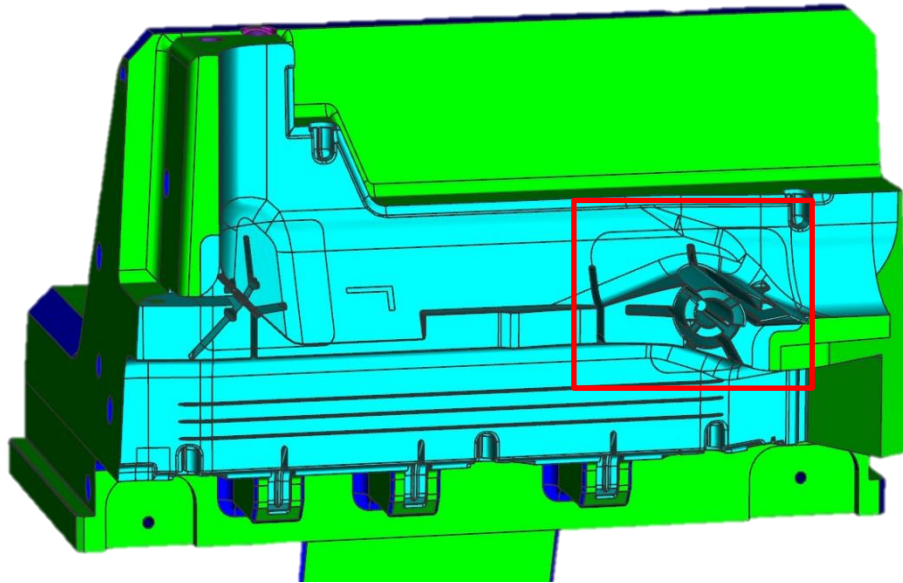


Obr.3.9 Slider vstřikovací formy pro pravý díl výměňkové skříně [18]

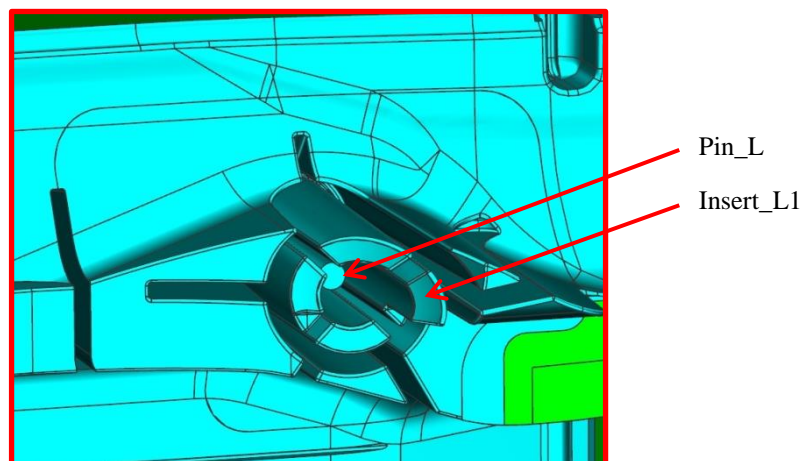


Obr.3.10 Insertu_R a Pinu_R [18]

Pro levý díl výměňkové skříně je konstrukce formy obdobná. Je zde slider, který je pro levý díl označen jako Slider_L (obr. 3.11). Index L je z anglického překladu left. V něm je vložena vložka Insert_L a v té je pak vložek Pin_L (obr. 3.12). Materiál Insertu_L1 je Molmax V, který se vyznačuje vyšší schopností odvádět teplo než Moldmax XL. A pro Pin_L je použit stejný materiál jako pro RPS bod na pravém díle, a to Ampcoloy 940.



Obr. 3.11 Slider vstřikovací formy pro levý díl výměňkové skříně [18]



Obr. 3.12 Pin_L a Insert_L1[18]

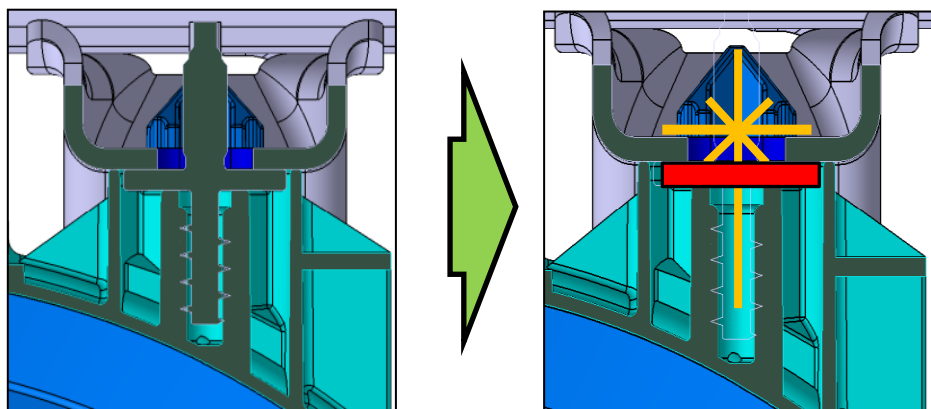
3.5 Vstupní technologické parametry

Vstřikování výlisků probíhalo na vstřikovacím stroji Engel Duo 11050/1300. Forma i stroj se před vstřikováním museli nejdříve zahřát na provozní teploty. Topení tavicí komory bylo nastaveno od 210 °C do 245 °C po celé délce vstřikovací jednotky. Vtokový systém formy je tvořen horkými tryskami, které se přehřívají na provozní teplotu kolem 240°C. Chlazení formy je realizováno pomocí vody o teplotě 20°C, která proudí chladicími kanály, a to tlakem 5 bar. Vstřikovací rychlost byla nastavena na 45mm/s. Dále pak zpětný tlak měl hodnotu 10 bar, velikost dotlaku 32 bar. Délka trvání dotlaku 2 sec. Doba chlazení, z toho představuje významnou část, a to 16 sec. V rámci experimentu, dojde i k testu se změnou technologických podmínek chlazení.

3.6 Popis defektu na výlisku a podmínky jeho vzniku

Vznik defektu na výlisku byl způsoben vlivem realizace designové změny RPS bodu, kterou požadoval zákazník firmy DMCZ. A to z důvodu změny typu šroubu, který se do RPS bodu šroubuje. Designová změna spočívala ve změně vnitřního průměru RPS bodu a v prodloužení jeho celkové výšky. To znamenalo, že se ve formě musely nahradit původní tvarové části vstřikovací formy za nové. Týkalo se to vložek RPS bodu a pinů, které vytvářejí RPS body.

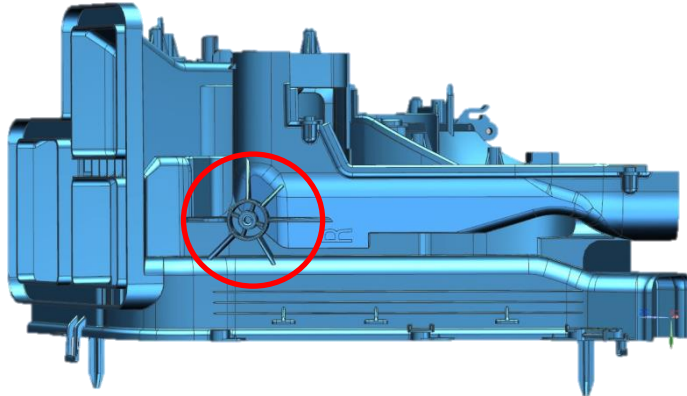
Na obr. 3.13, je možné v řezu vidět původní design RPS bodu se zašroubovaným šroubem. Nový design RPS bodu s novým typem šroubu je pak znázorněn na obr. 3.14. Žlutě je naznačena pozice a umístění nového typu šroubu s podložkou a červeně je pak vyznačena oblast RPS bodu, která musí být zvýšena.



Obr. 3.13 Řez původní konstrukcí RPS bodu[18] **Obr. 3.14** Řez novou konstrukcí RPS bodu[18]

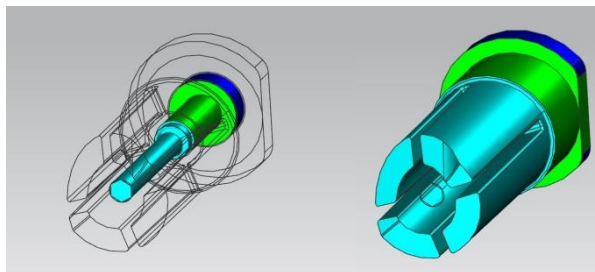
PRAVÝ DÍL VÝMĚNÍKOVÉ SKŘÍŇE

Nejprve se zaměříme na pravý díl výměníkové skříně a řekneme si, k jakým změnám ve formě došlo vlivem implementace modifikace. Na obr. 3.15. je zobrazena přesná pozice RPS bodu na pravém díle.

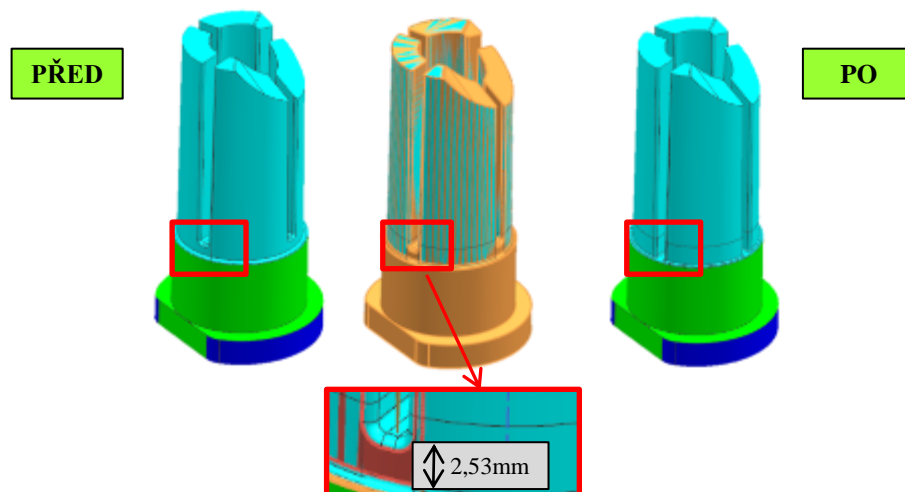


Obr. 3.15 Pozice RPS bodu na pravém dílu[18]

Na formě došlo k výměně tvarových částí, a to Insertu_R a Pinu_R (obr. 3.16) za nové, které měly mít dle požadavku modifikovaný tvar. Na Insertu_R změna nastala ve výšce tvaru. A to tak, že se výška tvarové části prodloužila o 2,53 mm, dle designového požadavku. Na obr. 3.17 je možné porovnat tvar Insertu_R před modifikací a tvar insertu po modifikaci.

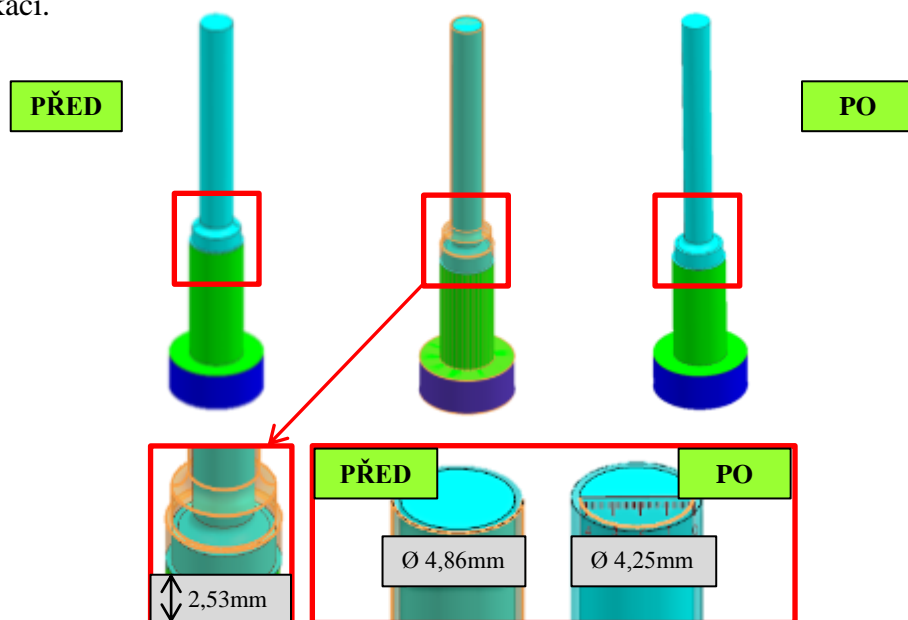


Obr. 3.16 Pinu_R (vlevo),Insertu_R (vpravo) [20]



Obr. 3.17 Designová modifikace Insertu_R. [18]

Dále musel být modifikován i Pin_R (obr. 3.18). Stejně tak zde muselo dojít k prodloužení tvarové délky o 2,53 mm. Dále pak byl modifikován i průměr pinu a to tak, že byl změněn z průměru 4,86 mm na 4,25 mm. To znamená, že došlo k navýšení tloušťky stěny o 0,3mm. Na obr. můžeme porovnat tvar pinu před designovou modifikací a po modifikaci.

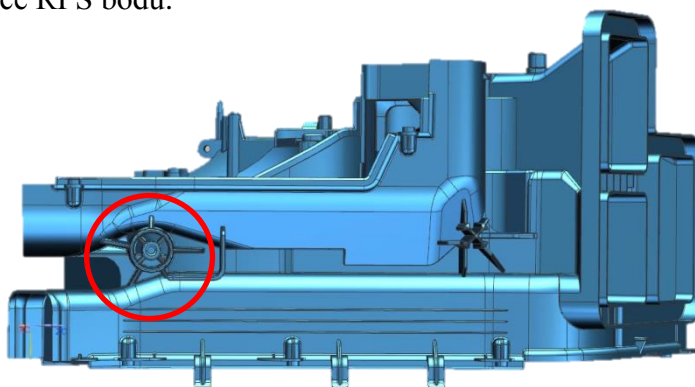


Obr. 3.18 Designová modifikace Pinu_R[18]

Materiály těchto částí formy, byly voleny stejné, jako byly před modifikací. To znamená, že Insert_R byl vyroben z materiálu Moldmax XL a Pin_R z materiálu Ampcoloy 940. Vlastnosti těchto materiálů jsou blíže specifikovány v materiálových listech, které jsou uvedeny v příloze 2 a 3.

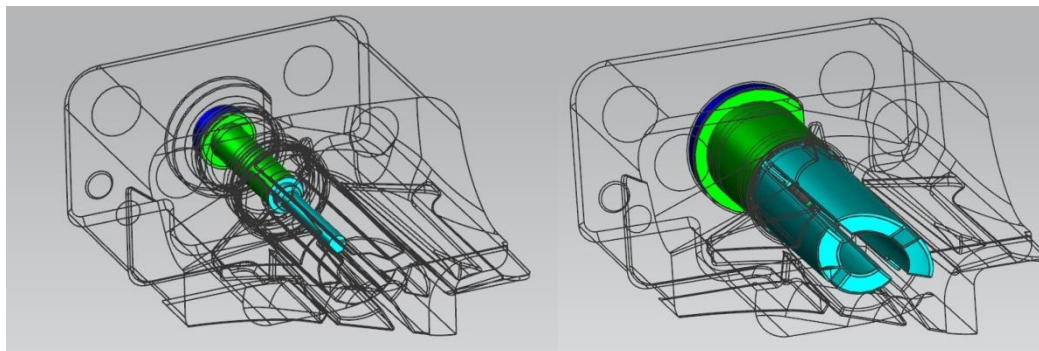
LEVÝ DÍL VÝMĚNÍKOVÉ SKŘÍNĚ

Nyní se zaměříme na modifikaci RPS bodu na levém díle. Na obr. 3.19 je znázorněna pozice RPS bodu.



Obr. 3.19 Pozice RPS bodu na levém dílu[18]

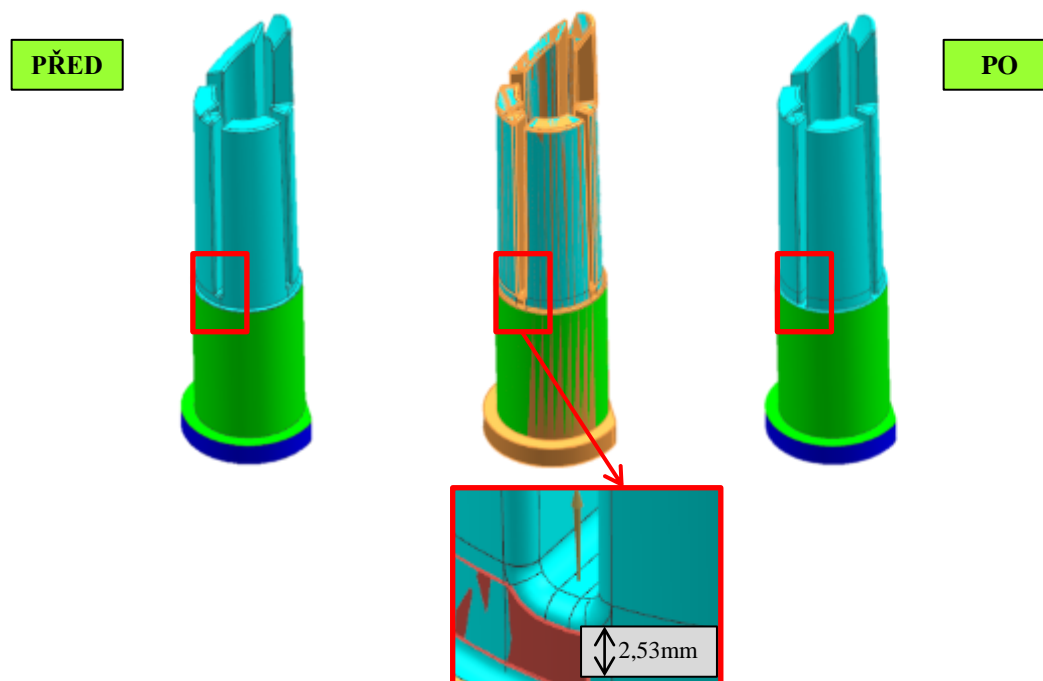
Úprava formy zde byla obdobná jako u pravého dílu. Také došlo k modifikaci insertu a pinu. Pro levý díl jsou tyto části označeny jako Insert_L1 a Pin_L (obr. 3.20).



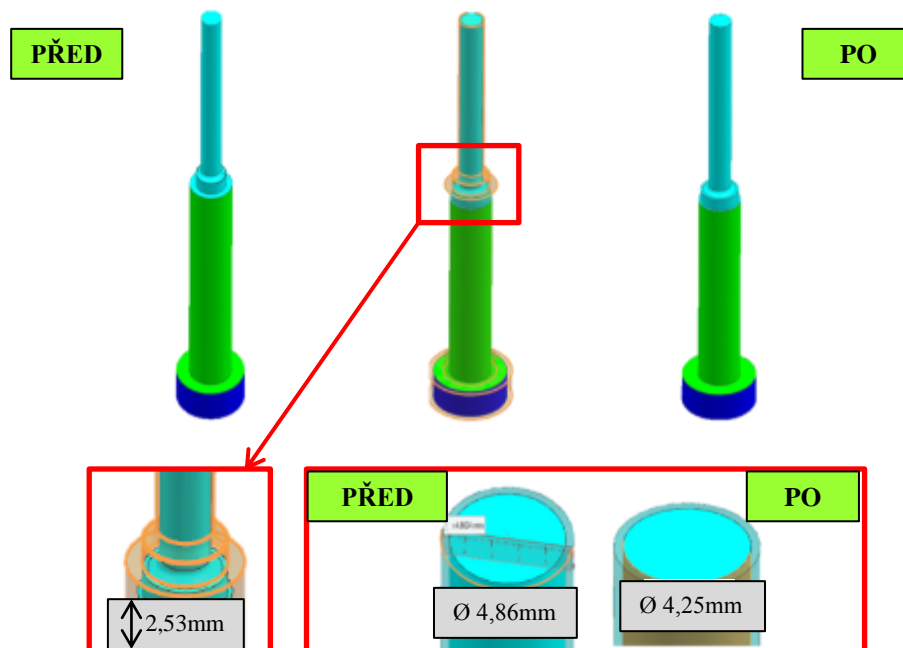
Obr. 3.20 Pin_L (vlevo), Insert_L1 (vpravo) [18]

U obou částí, jak u Insertu_L1 tak i u Pinu_L došlo k prodloužení výšky tvarové části o 2,53 mm a u Pinu_L došlo ještě ke změně průměru z 4,86mm na 4,25mm. I zde došlo k navýšení tloušťky stěny o 0,3mm.

Na obr. 3.21 a obr. 3.22 jsou znázorněny rozdíly tvarových částí před a po modifikaci. Opět zde byly použity stejné materiály jako před modifikací designu RPS bodu. Materiál Insertu_L1 byl Moldmax V (Příloha 4) a pro Pin_L to byl Ampcoloy 940. Materiál Moldmax V, se vyznačuje lepším odvodem tepla než Moldmax XL.



Obr. 3.21 Designová modifikace Insertu_L1 [18]



Obr. 3.22 Designová modifikace Pinu_L[18]

Když byly vložky vyrobeny, mohlo dojít k jejich spasování do formy a následnému výrobnímu testu. Výroba probíhala za standardních výrobních technologických parametrů, za kterých se běžně vyrábí do sériové výroby, a které jsou popsány v kapitole 3.5. Co se týče RPS bodu na pravém díle, nebyly na něm během výroby vizuálně pozorovány žádné abnormality. Na levém díle se však již během výroby objevily problémy. Po výrobě prvních kusů byly na novém Insertu_L1 viditelné stopy plastu. Bylo evidentní, že dochází k nedostatečnému uchlazení RPS bodu a vstříkovaný materiál na něm zůstává nalepený. Pravděpodobně docházelo k tomu, že materiál byl nedostatečně uchlazení a zůstal v oblasti RPS bodu v plastickém stavu. Na výlisku pak bylo vidět, že RPS bod je deformovaný.

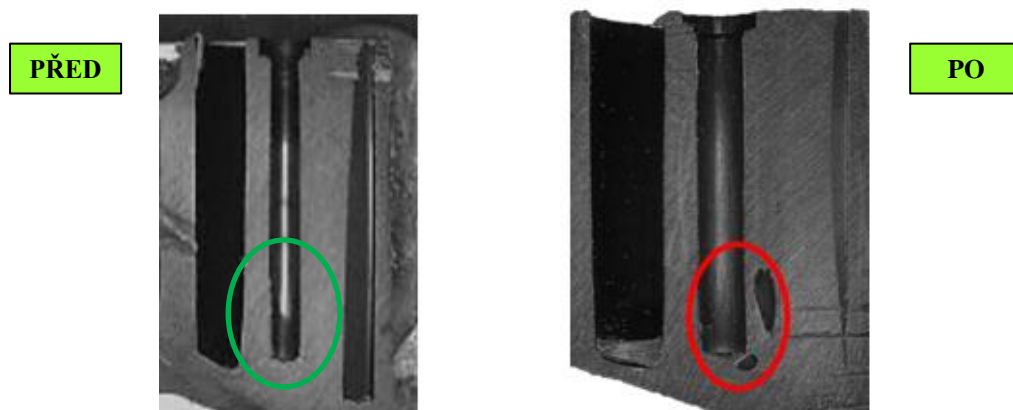
Během výroby byly pomocí bezdotykového teploměru FLUKE 63 naměřeny teploty RPS bodu. Měření probíhalo přibližně po 52 vteřinách od vyjmutí výlisků z formy pomocí manipulátoru až po dopravení výlisku po dopravníkovém páse k pozici operátora. Celkem bylo měřeno deset vzorků. Tyto vzorky byly odebrány až po 8 zdvizích, kvůli ustálení podmínek. U pravého dílu byla naměřena průměrná hodnota teploty RPS bodu 116 ± 2 °C a u levého dílu je to 132 ± 2 °C. V porovnání s teplotou tání polypropylenu s 20% talku, který má dle materiálového listu hodnotu 150°C, se teplota RPS bodu na levém díle pohybuje hodně blízko, když ještě zohledníme prodlevu, kdy je díl chlazen okolním vzduchem na dopravníku. Teplota ihned po vylisování musí být ještě vyšší. Proto také docházelo k nalepení plastu na tvaru insertu.

Tab. 3.1 Naměřené hodnoty teplot RPS bodů po modifikaci na pravém a levém dílu

| Pravý díl | | Levý díl | |
|-----------|--------|----------|--------|
| Vzorek | T [°C] | Vzorek | T [°C] |
| 1 | 115 | 1 | 134 |
| 2 | 117 | 2 | 132 |
| 3 | 118 | 3 | 135 |
| 4 | 114 | 4 | 133 |
| 5 | 115 | 5 | 129 |
| 6 | 118 | 6 | 131 |
| 7 | 117 | 7 | 132 |
| 8 | 116 | 8 | 133 |
| 9 | 115 | 9 | 130 |
| 10 | 119 | 10 | 135 |
| Průměr | 116±2 | Průměr | 132±2 |

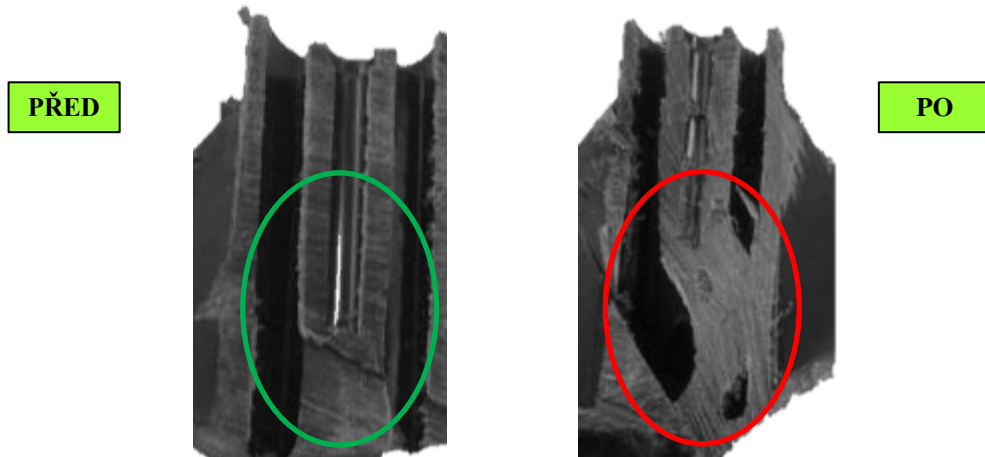
Po dvou hodinách po ukončení lisování byla provedena kontrola RPS bodů pomocí kontrolního jigu, který byl zmíněn v kapitole 3.3. Při kontrole RPS bodu na pravém dílu byly zjištěno, že NOGO strana nemůže projít otvorem, což je správně. Ale GO strana, která by měla projít svojí vlastní vahou, neprošla. To znamenalo, že otvor má menší průměr, než je požadováno. Na levém dílu byla také provedena kontrola jigem a výsledek byl takový, že NOGO strana neprošla a GO strana také ne. Pouze pro test, bylo vyzkoušeno GO stranu protlačit do otvoru silou. Podařilo se však jig dostat pouze zhruba do poloviny hloubky RPS bodu. To již značilo přítomnou deformaci v otvoru.

Dále byly provedeny řezy RPS bodů, aby se zjistilo, k jak velkým deformacím, bublinám či propadlinám uvnitř otvoru došlo. Na obr. 3.23 je řez RPS bodu na pravém dílu před a po modifikaci. Je patrné, že vlivem modifikace se v RPS bodu objevily bubliny. Celkem byly provedeny řezy na deseti vzorkách a pokaždé se potvrdila přítomnost bublin. Na obr. 3.23 je možné vidět největší bublinu, která byla nalezena v řezech. Její maximální rozměr je 4,2mm. Tento rozměr byl měřen pomocí posuvného měřítka.



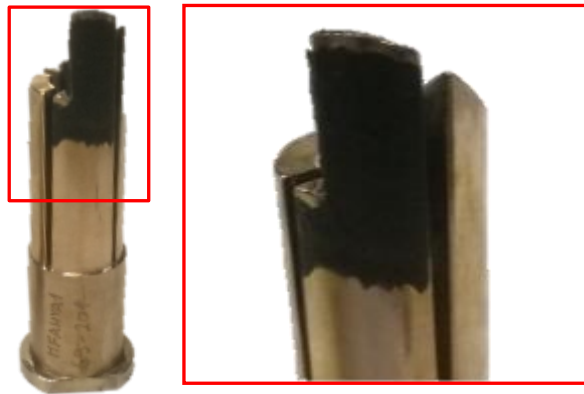
Obr. 3.23 Řez RPS bodu na pravém dílu před modifikací a po modifikaci [18]

Na levém dílu byly v řezu vidět velké deformace celého tvaru. Potvrdilo se tedy, že došlo k nedostatečnému uchlazení. Na obr. 3.24 je možné porovnat řezy výlisků před modifikací a po modifikaci. Jak je vidět, před modifikací byly RPS body bez jakéhokoliv defektu. Vlivem modifikace došlo k nedostatečnému uchlazení tvaru a jeho deformaci.



Obr. 3.24 Řez RPS bodu na levém dílu před modifikací a po modifikaci [18]

Na obr. 3.25 je možné vidět fotografii Insertu_L1, na kterém zůstal nalepený plast po výrobě výlisků.



Obr. 3.25 Insert_L1 po modifikaci s nalepeným plastem [18]

Důvodem proč došlo u levého dílu k větší deformaci je, že už samotný tvar RPS bodu je oproti tvaru na pravém dílu delší o 29,5mm. Proto modifikace navýšení tvaru o dalších 2,53 mm a změna tloušťky stěny RPS bodu o 0,3mm, měla takovéto vážné důsledky. Dále je možné, že výrobce nepoužil správný typ materiálu Moldmaxu. Ale toto tvrzení nebylo prověřováno. Pouze vizuálně byl tento insert méně „červený“ od přítomnosti mědi v porovnání s Insertem_R

3.7 Odstranění defektu pomocí technologických parametrů

Jako první krok k odstranění defektu byla vyzkoušena změna vstřikovacích parametrů. A to proto, že je nejrychlejší na odzkoušení, a co se týče počátečních nákladů nejlevnější. Nevýhodou spojenou s tímto řešením odstranění defektu je, že vlivem změny technologických parametrů, dochází k ovlivnění plnění a následného smrštění celého výlisku. A nejen jeho, ale všech tří dílů, které se v této family formě nacházejí. Dále dochází k prodloužení doby vstřikovacího cyklu.

V našem případě byla vyzkoušena změna doby chlazení a teplota vody. Hodnoty těchto parametrů byly měněny a různě mezi sebou kombinovány tak, aby došlo k vystříknutí dílu bez vad, jako jsou nedostříky a zástříky, a zároveň aby došlo k co možná největšímu snížení teploty RPS bodů a eliminaci deformací. Nejlepšího výsledku bylo dosaženo změnou doby chlazení z 16 sec na 27 sec, a změna teploty vody z 20°C na 15°C. Při další změně výše zmíněných parametrů ku prospěchu uchlazení RPS bodů, se začaly objevovat na výlisku nedostříky. Došlo také k prodloužení vstřikovacího cyklu o 11 vteřin. Z hodnoty 32 vteřina se čas vstřikovacího cyklu prodloužil na 43 vteřin.

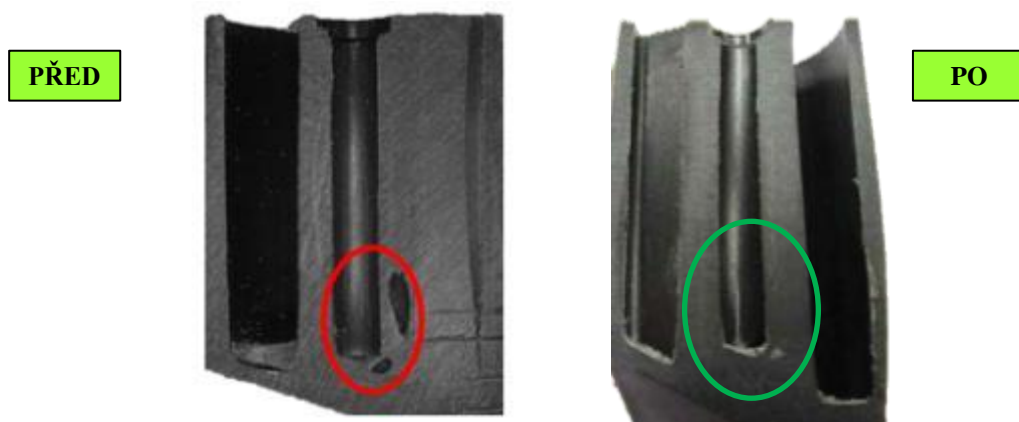
Po nastavení parametrů a ustálení procesu, probíhalo měření teplot RPS bodů na deseti vzorkách. Teploty byly opět měřeny po 52 vteřinách, kdy výlisek přijel po dopravníku na pozici operátora. V tab. 3.2 jsou zobrazeny výsledky těchto náměrů. V RPS bodu na pravém dílu byla naměřena průměrná teplota 99±2°C. Došlo tedy ke snížení teploty o 17°C. U levého dílu byla naměřena průměrná teplota 117±2°C. Teplota se snížila o 15°C.

Tab. 3.2 Naměřené teploty RPS bodů po změně technologických parametrů

| Pravý díl | | Levý díl | |
|-----------|--------|----------|--------|
| Vzorek | T [°C] | Vzorek | T [°C] |
| 1 | 100 | 1 | 117 |
| 2 | 98 | 2 | 115 |
| 3 | 95 | 3 | 118 |
| 4 | 99 | 4 | 119 |
| 5 | 103 | 5 | 112 |
| 6 | 100 | 6 | 117 |
| 7 | 99 | 7 | 116 |
| 8 | 97 | 8 | 119 |
| 9 | 102 | 9 | 115 |
| 10 | 99 | 10 | 117 |
| Průměr | 99±2 | Průměr | 117±2 |

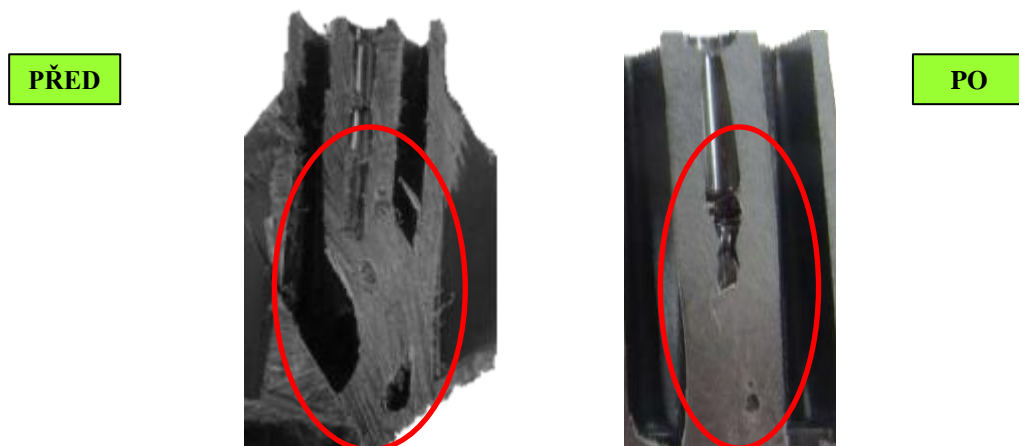
Po dvou hodinách následoval opět test uvolnění pomocí kontrolního jigu. Při kontrole RPS bodu na pravém dílu bylo zjištěno, že dírou projde GO strana jigu a NOGO strana neprojde, což bylo požadováno. Na levém dílu bylo však zjištěno, že GO strana jigu lze vložit do RPS otvoru velice ztěžka a jig nepadne na dno otvoru vlastní vahou. To bylo prvním známkou toho, že RPS bod není zcela v pořádku.

Dále následovaly řezy RPS bodů. Na řezu pravého RPS bodu je na obr. 3.26 porovnání, k jakým změnám díky úpravě technologických parametrů došlo. Změnou parametrů se docílilo odstranění vnitřních bublin. Takto vypadající RPS bod by se dal identifikovat jako vyhovující a nebylo by potřeba dělat další tuning. Řezy byly opět provedeny na deseti vzorcích.



Obr. 3.26 Řez RPS bodu na pravém dílu před úpravou technologických parametrů a po úpravě [18]

Na obr. 3.27 je vidět porovnání změny stavu levého RPS bodu před a po úpravě chlazení pomocí technologických parametrů. Je vidět, že došlo ke zlepšení a že RPS bod není na vnějším průměru deformovaný. Vnitřní průměr ale stále obsahuje kvalitativní defekt, který je nežádoucí.



Obr. 3.27 Stav RPS bodu na levém dílu před úpravou technologických parametrů chlazení (vlevo) a po úpravě (vpravo) [18]

Z výsledků řezů je patrné, že změna parametrů nebyla pro uchazení levého RPS bodu dostatečná. Z toho plyne, že pouhou změnou těchto technologických parametrů nelze dosáhnout plného odstranění defektu. Zároveň také došlo k prodloužení vstřikovacího cyklu. To je z hlediska produktivity formy nežádoucí. Touto zkouškou bylo ale potvrzeno, že defekt vzniká nedostatečným chlazením.

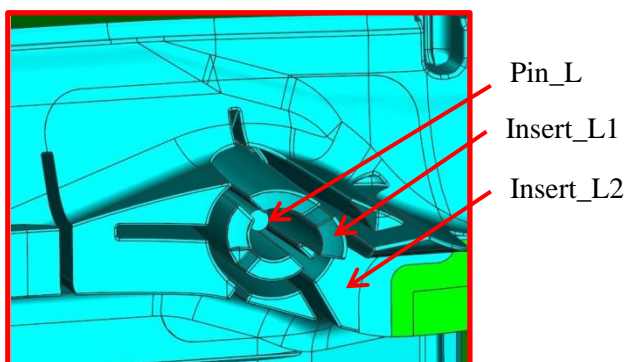
Vzhledem k tomu, že nedošlo k odstranění defektu zcela, bylo nutné hledat jiné alternativy, jak RPS bod uchládit.

3.8 Odstranění defektu pomocí optimalizace chlazení vstřikovací formy

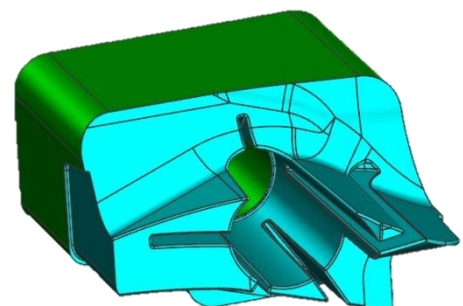
Při testu se změnou technologických parametrů nebylo dosaženo požadovaného odstranění deformací u levého dílu. Zároveň došlo k prodloužení doby vstřikovacího cyklu. Proto byl navrhnout jiný způsob řešení, jak docílit lepšího chlazení a neprodloužit dobu vstřikovacího cyklu. Proto byly zvoleny pasivní prostředky ovlivňující tepelný režim formy svými fyzikálními vlastnostmi. Jsou to vysoce tepelně vodivé slitiny. Tyto prostředky jsou vhodné pro členité výrobky a jejich složité tvary, jako jsou RPS body.

V našem případě byl změněn materiál Insertu_R z Molmaxu XL na Moldmax V. Tyto dva materiály se liší rozdílnou schopností odvádět teplo. Materiál Moldmax V má oproti Moldmaxu XL více jako dvojnásobnou hodnotu přestupu tepla.

U levého RPS bodu došlo také ke změně materiálu. Materiál Insertu_L1 se změnil z Moldmaxu V na Ampcoloy 940. Tento materiál se vyznačuje skoro trojnásobkem vyšší schopností odvodu tepla oproti Moldmaxu XL. Přesné hodnoty jsou uvedeny v Příloze 2, Příloze 3 a v Příloze 4. U tohoto materiálu je však podmínkou, že musí být zajištěn dobrý odvod tepla, jinak by došlo k vytvoření přesně opačného efektu, a to akumulace tepla. Proto došlo u levého RPS bodu k přívodu chladícího média do vložky Insert_L2 (obr. 3.28, obr. 3.29).

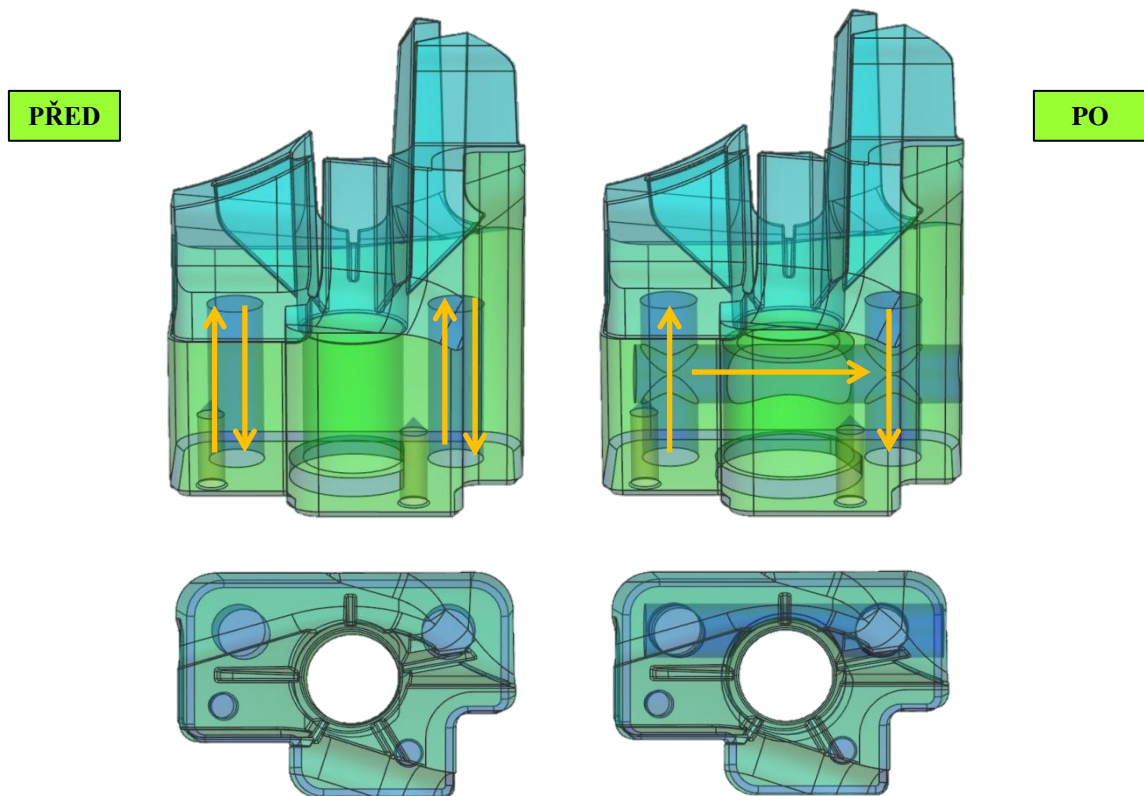


Obr. 3.28 Umístění Insertu_L2 ve Slideru_L [18]



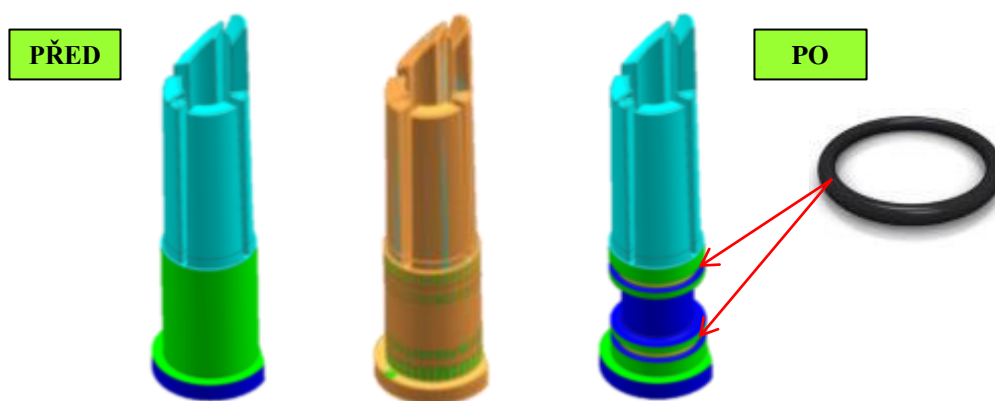
Obr. 3.29 Insert_L2 [18]

Původně v tomto insertu již byly chladicí kanály přivedeny, ale původní řešení nebylo evidentně dostačující. V původním řešení vedly dva chladicí kanály svisle vedle sebe v Insertu_L2. Mezi nimi byl umístěn Insert_L1. Vzdálenost těchto kanálů k Insertu_L1 byla 10mm. Proto jsem navrhla modifikaci, aby voda byla přivedena přímo k Insertu_L1 a byla s ním v přímém kontaktu. Tím aby došlo k lepšímu uchazení RPS bodu. Bylo toho docíleno tak, že svislé kanály byly propojeny jedním vodorovným kanálem, který bude zasahovat přímo do pozice Insertu_L1, a tím ho přímo chladit. Na obr. 3.30 je znázorněno k jakým změnám došlo. Žluté šipky označují směr proudu chladícího média..



Obr. 3.30 *Insert_L2 s původním chlazením a s modifikovaným chlazením [18]*

Insert_L1 (obr. 3.31) musel být také zmodifikován tak, aby voda mohla kolem něho proudit. Dále musel být modifikován tak, aby voda nepronikala do tvarové dutiny formy, a nedošlo ke styku vody s taveninou. Mohlo by tak dojít k nedostřikům a ke vzhledovým vadám na výlisku. Muselo být přidáno zahloubení pro montáž těsnění, a to tzv. „O-kroužku“, viz obr. 3.31, Jsou to kruhové těsnící prvky s vysokou přesností a účinností pro statické, ale i dynamické aplikace. V našem případě slouží jako statický těsnící prvek.



Obr. 3.31 Porovnání Insertu_L1 bez chlazení (vlevo) a s chlazením (vpravo). O-kroužek. [18]

Když byly vložky vyrobeny a spasovány ve formě, mohl následovat výrobní trial. Technologické vstřikovací parametry byly nastaveny stejně, jako při standardní sériové výrobě na této formě. To znamená bez úprav teploty vody a doby chlazení. Už během výroby prvních kusů bylo vidět, že na Insertu_L2 nezůstává nalepený plast. To byla první známka toho, že došlo k lepšímu uchlazení RPS bodu na levém dílu. Na RPS bodu na pravém dílu nebylo na první pohled vidět, zda došlo ke zlepšení nebo ne.

Během výroby byly opět měřeny teploty v místě RPS bodů a to po vylisování prvních osmi kusů. Měření probíhalo u deseti vzorků. Opět zde došlo k 52 vteřinové prodlevě od okamžiku vyjmutí vylisku z formy k okamžiku měření. Výsledky měřených teplot jsou zobrazeny v tab. 3.3.

Tab. 3.3 Naměřené teploty RPS bodů po optimalizaci chlazení formy

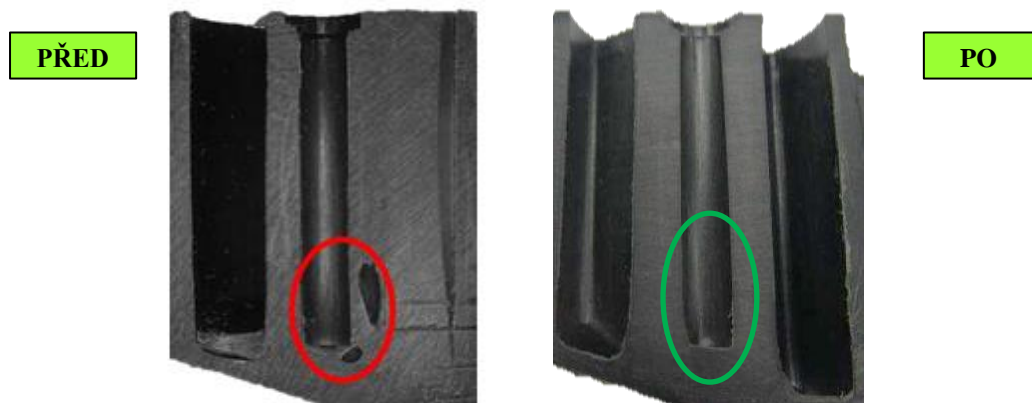
| Pravý díl | | Levý díl | |
|-----------|--------|----------|--------|
| Vzorek | T [°C] | Vzorek | T [°C] |
| 1 | 99 | 1 | 105 |
| 2 | 96 | 2 | 103 |
| 3 | 98 | 3 | 108 |
| 4 | 102 | 4 | 105 |
| 5 | 98 | 5 | 103 |
| 6 | 94 | 6 | 106 |
| 7 | 99 | 7 | 107 |
| 8 | 101 | 8 | 109 |
| 9 | 95 | 9 | 103 |
| 10 | 97 | 10 | 104 |
| Průměr | 98±3 | Průměr | 105±2 |

Dle výsledků je vidět, že došlo k velkému zlepšení oproti prvotnímu stavu ihned po modifikaci. Na pravém dílu došlo ke snížení průměrné teploty RPS bodu z $116 \pm 2^\circ\text{C}$ na hodnotu $98 \pm 3^\circ\text{C}$ a u levého dílu došlo ke snížení průměrné teploty z $132 \pm 2^\circ\text{C}$ na $105 \pm 2^\circ\text{C}$. Je tedy zřejmé, že změna materiálů a zlepšení přívodu chlazení mělo velmi

pozitivní dopad na teploty RPS bodů. Z toho lze soudit, že i tvar bodů bude lépe uchlazen a nebude docházet k deformacím.

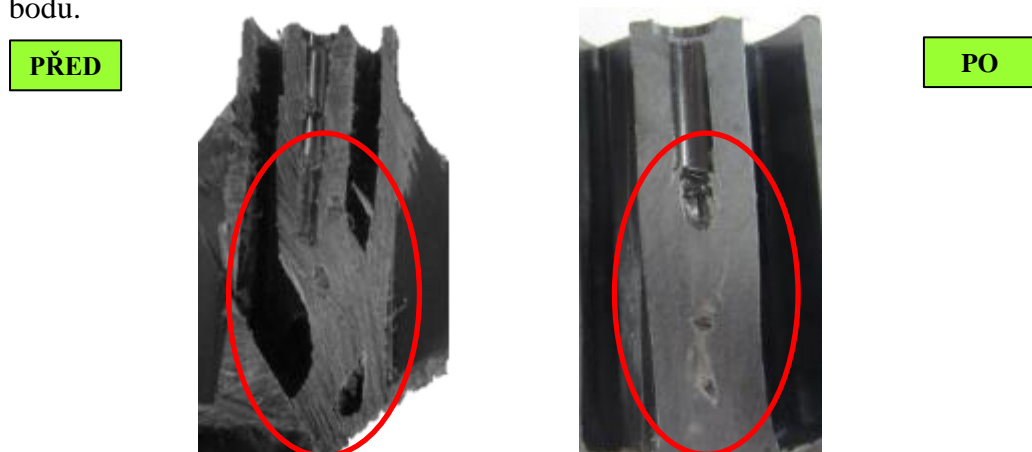
Následovala kontrola jigem. Při kontrole bylo zjištěno, že NOGO strana jigu neprojde otvorem pravém dílu a ani na levém, což bylo žádané. A GO strana jigu prošla svojí vlastní vahou u pravého dílu, ale u levého neprošla vlastní vahou až na dno otvoru. Tato kontrola tedy nasvědčila tomu, že otvor není zcela v pořádku.

Když pak byly provedeny řezy, bylo patrné, že došlo ke zlepšení u pravého dílu. Na řezu nejsou viditelné žádné defekty. Na obr. 3.32 je možné porovnat prvotní řez po implementaci modifikace RPS bodu a řez po optimalizaci chlazení pomocí změny materiálu na formě. Řezy byly provedeny na deseti vzorkách a na všech se potvrdila nepřítomnost defektů.



Obr. 3.32 Řez RPS bodu na pravém dílu před optimalizací chlazení formy a po optimalizaci [18]

Na řezu levého bodu (obr. 3.33) je vidět, že přívod chladicího média a změna materiálu, velmi pomohlo. Již nedochází k tak velkým deformacím RPS bodu, a to především vnějšího průměru. Stále však přetrvává malý defekt na dně vnitřního průměru RPS bodu.

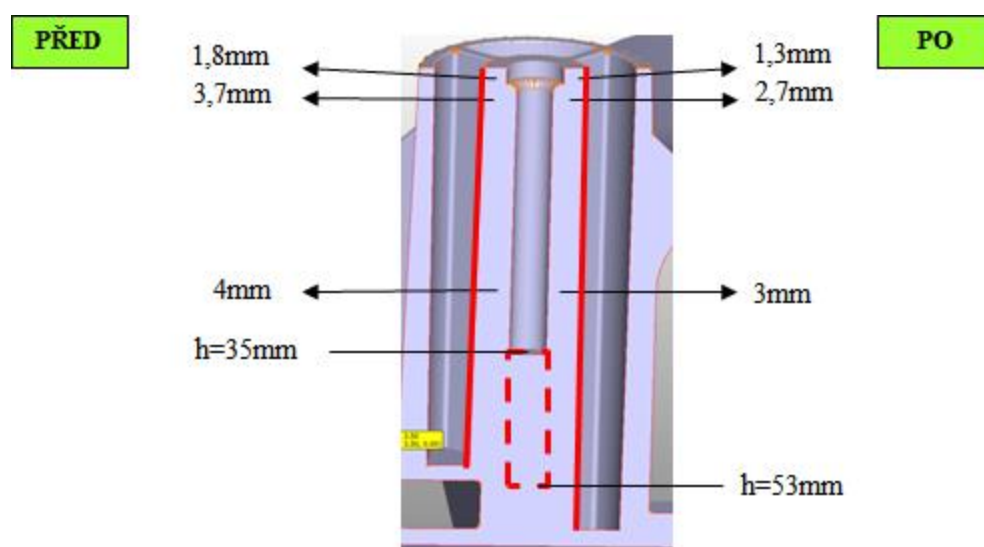


Obr. 3.33 Řez RPS bodu na levém dílu před optimalizací chlazení formy a po optimalizaci [18]

U pravého RPS bodu byly výsledky srovnatelné s výsledky po změně technologických parametrů. U levého se podařilo docílit menšího defektu, než při testu změny technologických parametrů. Z výsledků řezů bylo patrné, že toto řešení z velké části pomohlo odstranit problém s deformacemi, ale nepomohlo ho řešit zcela. Proto bylo nutné provést další opatření a úpravy. Vzhledem k tomu, že z hlediska modifikace formy k lepšímu chlazení RPS bodů byly využity všechny dostupné možnosti, muselo dojít ke změně konstrukce výlisku.

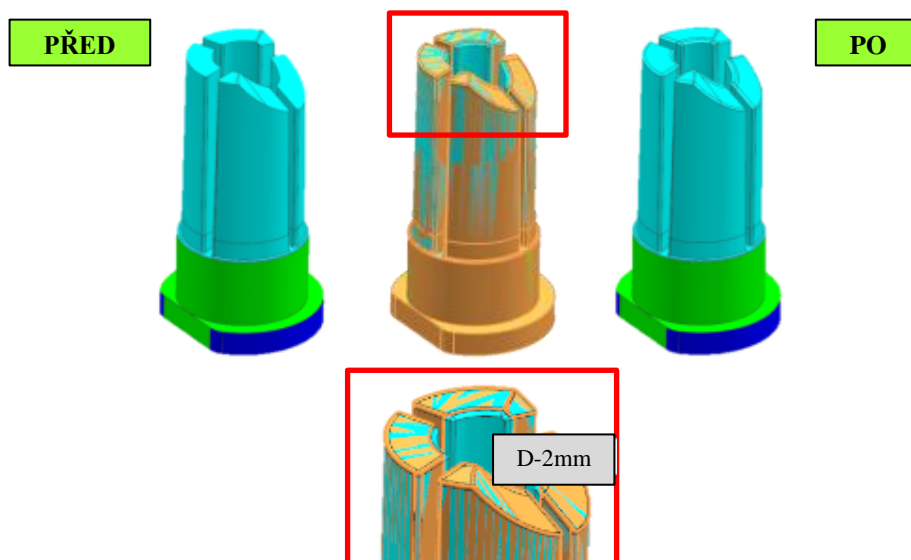
3.9 Odstranění defektu pomocí optimalizace chlazení formy a změny tloušťky stěny výlisku

Dalším krokem k odstranění defektů v RPS bodech, a to především na levém dílu, je snížení tloušťky stěny a prodloužení hloubky otvoru RPS bodu. V tomto třetím ladícím kole dojde ke kombinaci optimalizace chlazení formy a optimalizace pomocí snížení tloušťky stěny. A to za účelem odstranění akumulace tepla a lepšího uchlazení celého tvaru. Touto změnou však dojde ke změně konstrukce RPS bodu. Proto je tato cesta volena až jako poslední. Na obr. 3.34 je znázorněn návrh změny tloušťky stěny RPS bodu na levém dílu. Pokud ale dojde ke změně tloušťky stěny na levém dílu, musí dojít i ke stejné změně RPS bodu na pravém dílu, přestože ten je již v tuto chvíli bez defektu. Je totiž nutné, u obou bodů, zachovat stejnou tloušťku stěny. Když byla změna povolena ze strany designového oddělení DMCZ, mohlo dojít k její realizaci.

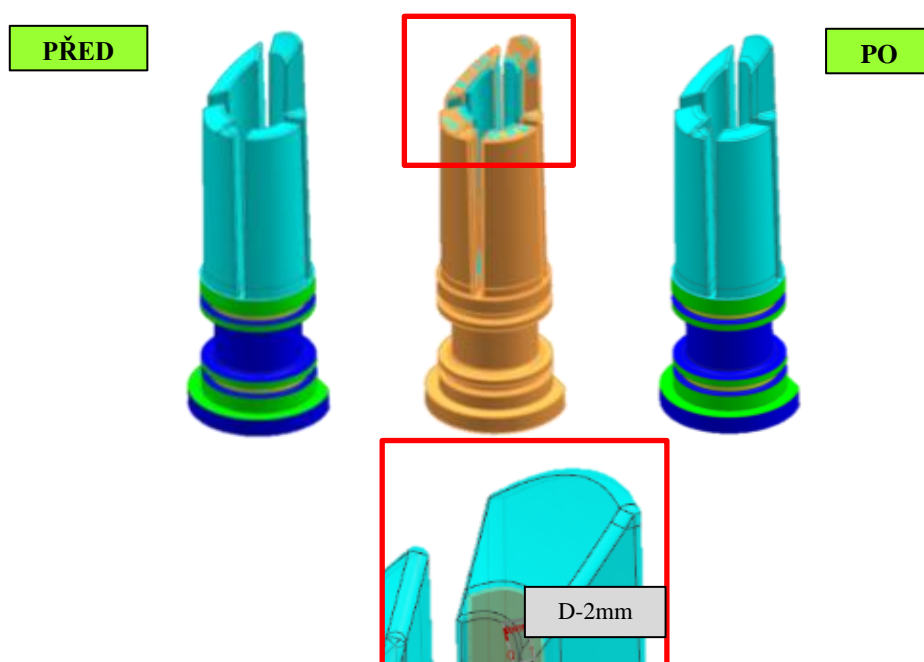


Obr. 3.34 Změna tloušťky stěny RPS bodu [18]

Změna vnějšího průměru pravého RPS bodu se realizovala na vstřikovací formě změnou vnitřního průměru na Insertu_R (obr. 3.35). Zároveň byly zachovány nové materiály s lepším odvodem tepla, které byly implementovány v předešlém řešení (kapitola 3.8). Na levém díle se změna vnějšího průměru RPS bodu realizovala změnou vnitřního průměru Insertu_L1 (obr. 3.36). U obou to byla změna o 2mm na průměru. To znamená, že maximální tloušťka stěny se zredukovala o 1mm, a to ze 4mm na 3mm. Byl zde také použit koncept z přechozího řešení, a to změna materiálu obou insertů a přívod chladicího média k Insertu_L1.

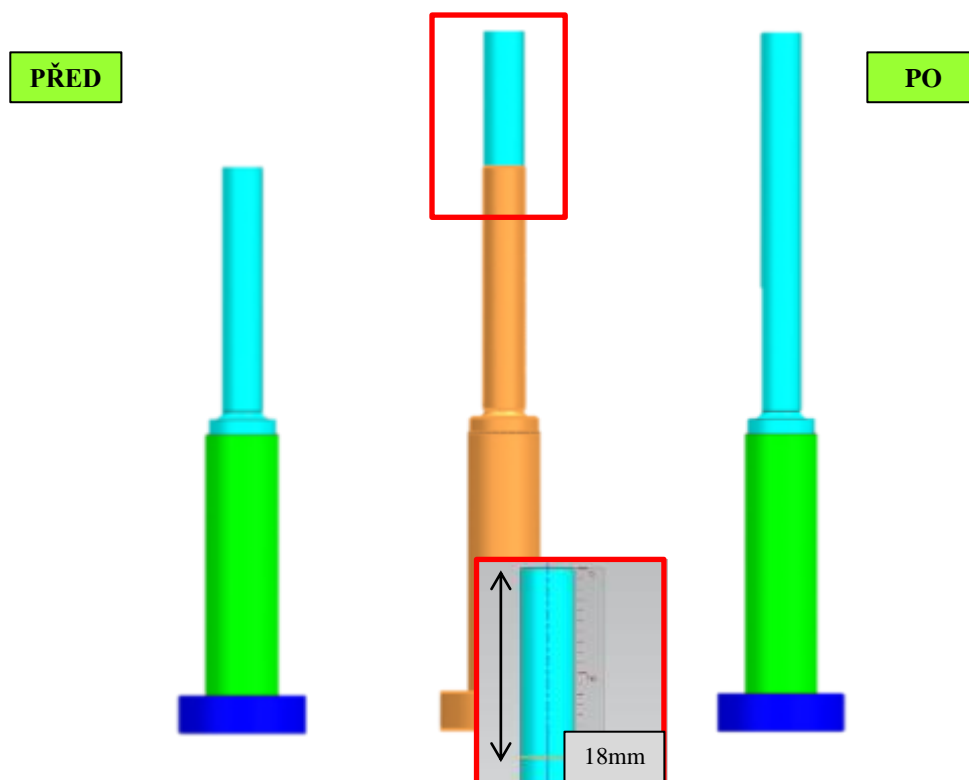


Obr. 3.35 Změna vnitřního průměru Insertu_R pro pravý díl [18]



Obr. 3.36 Změna vnitřního průměru Insertu_L1 pro levý díl [18]

U levého bodu také došlo k prodloužení vnitřního otvoru, a to o 18mm. Ovšem původní funkční hloubka otvoru, která je 35mm, zůstala zachována. Hodnota 18mm byla volena tak, aby došlo k co nejvíce možnému úběru materiálu a akumulace tepla byla snížena na minimum. Také byla tato hodnota konzultována z designovým oddělením DMCZ. Na vstřikovací formě tato změna znamenala výrobu nového Pinu_L a to o 18mm delšího. Na obr. 3.37 je názorně ukázána změna pinu. Zároveň s touto změnou byla spojena obava z prohýbání se pinu. Jehož funkcí část vytváří otvor RPS bodu, a je nyní 53mm dlouhá. Po zkušenostech z jiných výrobků, vyráběných v DMCZ, nebyla tato obava nutná. U jiných výrobků je totiž délka pinů podobného průměru ještě větší a k prohýbání nedochází.



Obr. 3.37 Prodloužený Pin_L o 18mm [18]

Po vyrobení nových dílů a jejich spasování do formy, mohl následovat výrobní test. Vstřikovací parametry byly voleny stejné, jako při standardní sériové výrobě na této formě. Během výroby nebyly pozorovány žádné abnormality.

Během lisování probíhalo měření teplot RPS bodu. Měření probíhalo po vylisování osmi kusů, kvůli stabilitě procesu a po 52 vteřinách od vyjmutí vylisku z dutiny formy, než vylisek dojel po dopravníku na pozici operátora. Měření probíhalo na deseti vzorcích a průměrné naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 3.4.

Tab. 3.4 Naměřené teploty RPS bodů po změně tloušťky stěny

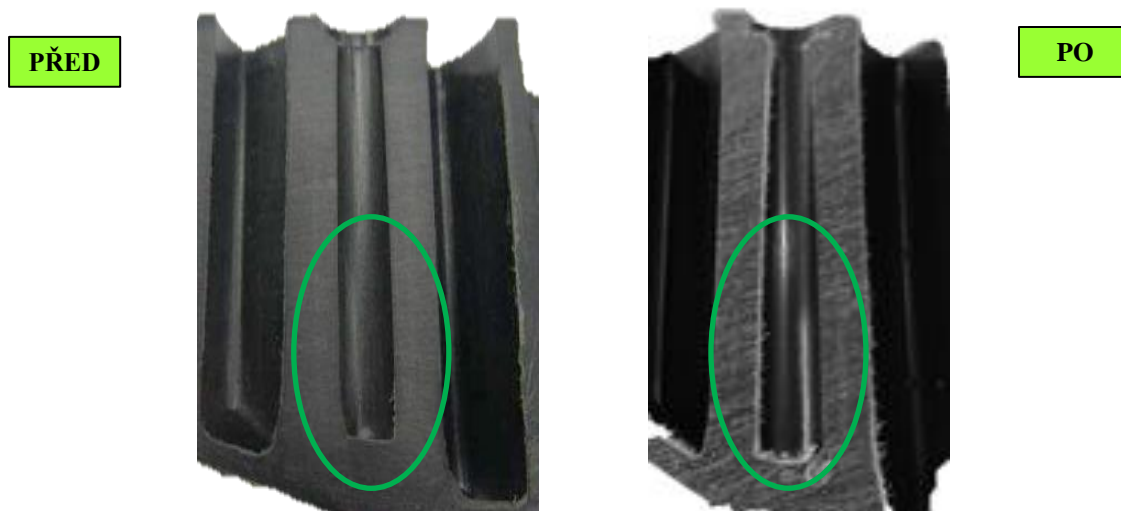
| Pravý díl | | Levý díl | |
|-----------|--------|----------|--------|
| Vzorek | T [°C] | Vzorek | T [°C] |
| 1 | 88 | 1 | 93 |
| 2 | 89 | 2 | 95 |
| 3 | 85 | 3 | 98 |
| 4 | 88 | 4 | 93 |
| 5 | 90 | 5 | 92 |
| 6 | 91 | 6 | 95 |
| 7 | 88 | 7 | 93 |
| 8 | 86 | 8 | 91 |
| 9 | 91 | 9 | 94 |
| 10 | 85 | 10 | 90 |
| Průměr | 88±2 | Průměr | 93±2 |

Před úpravou tloušťky stěny byla naměřena průměrná teplota pravého RPS bodu $98\pm 3^{\circ}\text{C}$. Po úpravě tloušťky stěny pak byla naměřena průměrná teplota $88\pm 2^{\circ}\text{C}$. To znamená, že došlo ke snížení teploty o 10°C .

Na levém RPS bodu byla před úpravou naměřena průměrná teplota $105\pm 2^{\circ}\text{C}$. Nyní po změně byla naměřena teplota $93\pm 2^{\circ}\text{C}$. Došlo tedy ke snížení teploty o 12°C .

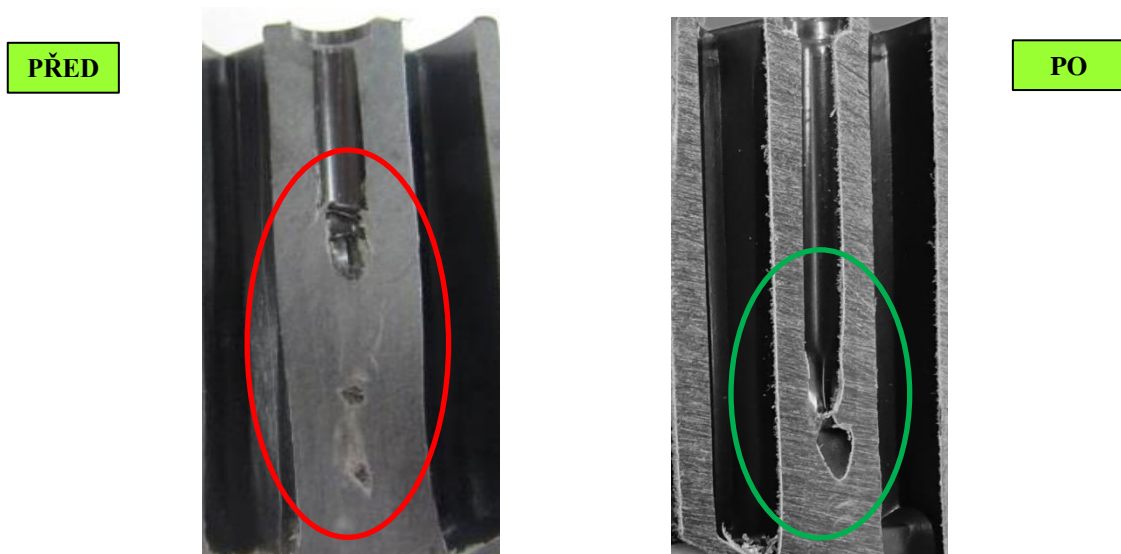
Dále následovala kontrola pomocí kontrolního jigu. Kontrolou bylo zjištěno, že na pravém dílu NOGO strana jigu nelze vložit do otvoru a GO strana naopak spadne vlastní vahou až na dno. U levého dílu NOGO strana jigu neprošla a GO strana prošla, což bylo žádané. Zde ale nešlo hodnotit, zda je otvor v pořádku po celé své délce, protože došlo k jeho prodloužení. Tento původní jig nemohl dosáhnout až na dno otvoru. Pouze šlo hodnotit to, že celá GO část jigu bylo možné vlastní vahou zastrčit do otvoru. To znamenalo, že ve funkční hloubce otvoru RPS bodu je průměr v pořádku.

Následovaly řezy bodů, aby se prokázalo, zda došlo k eliminaci defektů. Celkem bylo říznuto deset vzorků. Na pravém dílu bylo dosaženo stejně dobrých výsledků, jako při minulém testu (obr. 3.38.) Jak již ale bylo řečeno výše, zde nebyla provedena úprava tloušťky stěny kvůli odstranění defektu, ale z důvodu toho, aby konstrukce obou RPS bodů byla stejná. Proto jsou rozhodující výsledky, o úspěchu této modifikace, závislé na výsledcích levého dílu.



Obr. 3.38 Řez RPS bodu na pravém dílu před změnou tloušťky stěny a po změně [18]

Na obr. 3.39 je řez levého dílu. Jak je vidět, došlo k prodloužení vnitřního otvoru. Zároveň ale nedošlo k úplnému odstranění defektu. Na dně je vidět, že dochází stále k deformacím otvoru a tvorbě bublin. Tento defekt je však mimo funkční oblast RPS bodu, která je do hloubky původních 35 mm. Došlo k přesunu deformace do místa, v které funkčně nevadí.



Obr. 3.39 Řez RPS bodu levém dílu před změnou tloušťky stěny, hloubky otvoru a po změně [18]

3.10 Ověření kvality RPS bodů po optimalizaci chlazení

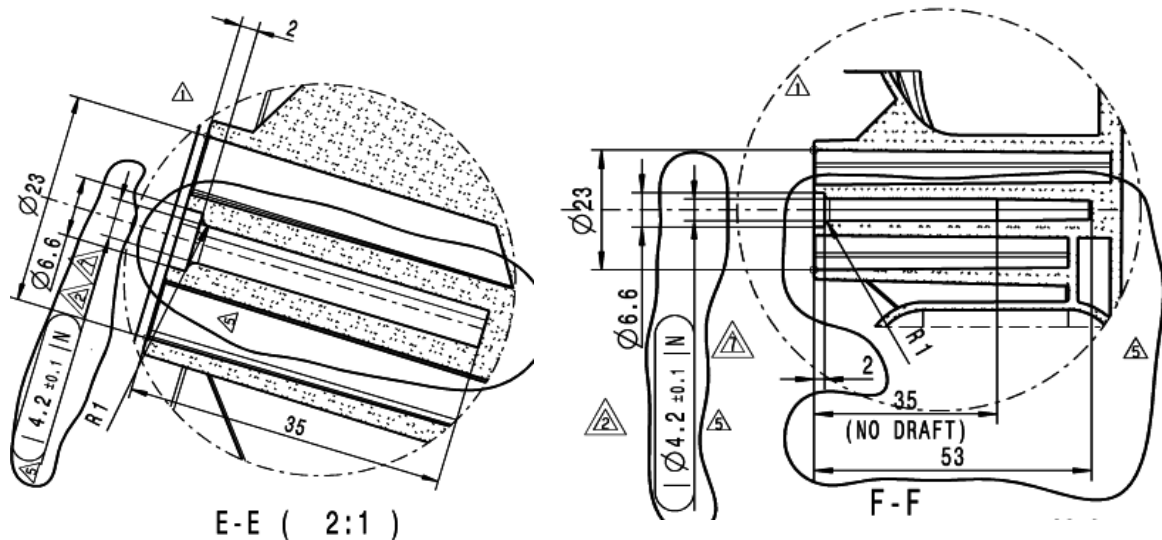
1) Měření rozměrů RPS bodů

Vzhledem k tomu, že došlo ke změně konstrukce RPS bodu, bylo nutné prověřit, zda jsou splněny podmínky na jeho kvalitu. Jednou z nich je, požadovaný rozměr. Vzhledem k tomu, že došlo ke změně podmínek chlazení, mohlo dojít i k jinému smrštění RPS bodu. Proto bylo nutné provést měření požadovaného průměru a hloubky. Měření průměru bylo provedeno pomocí kalibračních válečků, s přesností na setiny milimetru. A hloubka byla měřena pomocí posuvného měřítka. Na obr. 3.40 jsou zobrazeny kalibrační válečky.



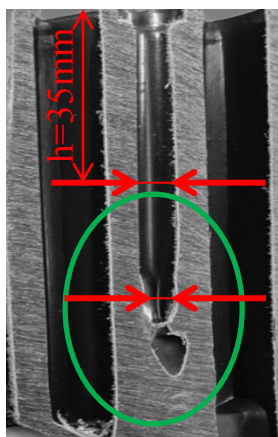
Obr. 3.40 Kalibrační válečky [18]

Výkresový průměr oboru RPS bodů má hodnotu $4,2 \pm 0,1$ mm. Hloubka otvoru je pro RPS bod na pravém dílu $35 \pm 0,38$ mm a pro levý díl je nově max hloubka $53 \pm 0,38$ mm, avšak funkční oblast je do hloubky $35 \pm 0,38$ mm (obr. 3.41). Měření bylo provedeno celkem na deseti vzorkách. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 3.5.



Obr. 3.41 Výkresový detail pravého (vlevo) a levého (vpravo) RPS bodu [18]

Měření probíhalo tak, že se volily postupně jednotlivé průměry kalibračních válečků a ty se zkoušely vkládat do otvoru. Podmínka byla, aby se váleček dotkl až dna. Z řezů levého dílu je však patrné, že se ve spodní části nachází deformované a zúžené místo. Proto byly u levého dílu provedeny měření dvě. Prvním bylo měření průměru pomocí válečků, které dosednou až dno otvoru. Druhým měřením bylo měření průměru do hloubky 35mm (obr. 3.42). Protože to je funkční oblast.



Obr. 3.42 Měřené oblasti kalibračními válečky [18]

Tab. 3.5 Naměřené hodnoty průměrů RPS bodů

| Pravý díl | | | Levý díl | | | | | |
|---------------|--------|--------|---------------|--------|--------|-----------------|--------|--------|
| Na dno otvoru | | | Na dno otvoru | | | Do hloubky 35mm | | |
| Vzorek | d [mm] | h [mm] | Vzorek | d [mm] | h [mm] | Vzorek | d [mm] | h [mm] |
| 1 | 4,14 | 35,23 | 1 | 3,35 | 52,89 | 1 | 4,16 | 35,00 |
| 2 | 4,14 | 35,23 | 2 | 3,26 | 53,25 | 2 | 4,15 | 35,00 |
| 3 | 4,14 | 35,24 | 3 | 3,10 | 52,09 | 3 | 4,15 | 35,00 |
| 4 | 4,13 | 35,24 | 4 | 3,26 | 52,13 | 4 | 4,16 | 35,00 |
| 5 | 4,14 | 35,23 | 5 | 3,10 | 52,53 | 5 | 4,15 | 35,00 |
| 6 | 4,14 | 35,23 | 6 | 3,45 | 52,92 | 6 | 4,15 | 35,00 |
| 7 | 4,14 | 35,24 | 7 | 3,53 | 53,27 | 7 | 4,15 | 35,00 |
| 8 | 4,13 | 35,23 | 8 | 3,21 | 52,45 | 8 | 4,16 | 35,00 |
| 9 | 4,13 | 35,24 | 9 | 3,46 | 53,22 | 9 | 4,15 | 35,00 |
| 10 | 4,14 | 35,23 | 10 | 3,37 | 51,99 | 10 | 4,15 | 35,00 |

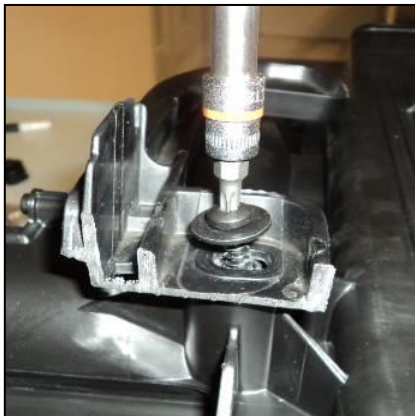
Červeně jsou vyznačeny hodnoty, které jsou mimo předepsanou výkresovou tolerance. Dle naměřených hodnot je patrné, že pravý RPS bod splňuje výkresový rozměr. U RPS bodu na levém dílu je dle náměrů vidět, že u dna otvoru není vždy splněna výkresová tolerance jak na průměr otvoru, tak i na hloubku. Co se týče rozměrů do hloubky 35mm, splňují rozměry všechny vzorky.

Po konzultaci s oddělení kvality v DMCZ jsou tyto výsledky jak řezů, tak rozměrů v pořádku. Avšak z jejich pohledu je nutné zavést 100% kontrolu těchto RPS bodů během sériové výroby pomocí kontrolního jigu. A to operátorem, který díly skládá k sobě (levý díl, střední díl a pravý díl). Je sice splněna podmínka, že funkční část otvoru je bez defektu

a po rozměrové stránce v pořádku. Ale v bodě se stále nachází deformace, které se potvrdila ve všech řezaných dílech. Proto je nutné, držet tento důležitý RPS bod pod kontrolou.

2) Měření kroutícího momentů při šroubování

Dalším kritériem kvality RPS bodu je, aby se během montáže šroub neprotočil. To by pak znamenalo menší tuhost celého uchycení v automobilu. Proto je nutné v laboratorních podmínkách změřit, aby se šroub, který se do RPS bodu šroubuje, při určitém kroutícím momentu, neprotočil. Proto následovaly testy s několika typy zátěže. Prvním testem, označením jako Set_1, bylo vyzkoušeno 10x zašroubovat a 10x vyšroubovat šroub, který se do RPS bodu šroubuje. Druhým testem – Set_2, se zkoušela velikost momentu potřebného ke stržení závitu. Obsahem testu Set_3 bylo 2x zašroubovat šroub, 2x ho vyšroubovat a poté strhnout závit. Set_4 obsahoval zkoušku 3x zašroubovat, 3x vyšroubovat a poté strhnout závit. Zákaznická specifikace pro nastavení šroubováku je $4,5 \pm 0,5 \text{ N}\cdot\text{m}$. Při našem testování byl však šroubovák nastaven na vyšší hranici, a to $5,75 \div 5,0 \text{ N}\cdot\text{m}$. Otáčky pak byly nastaveny na 400 ot/min. Při testech šroubování byl vždy použit i protikus, který se šroubuje s RPS bodem, viz. obr. 3.43. Použitým zařízením byl Torque Driver ERD5J. Na obr. 3.44 je možné vidět ukázkou strhnutého závitu RPS bodu. V tab. 3.6 je možné vidět výsledky těchto testů.



Obr. 3.43 Test s originálním protikusem[18] **3.44** Ukázka strhnutého závitu RPS bodu [18]

Tab. 3.6 Měření velikosti momentů

| Naměřené kroučící momenty [N*m] | | | | | | | | | |
|---------------------------------|----|------------------------------------|-----------|-------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------|
| Testování | | SET_1 | | SET_2 | | SET_3 | | SET_4 | |
| | | 10x zašroubovat 10x vyšroubovat | | Stržení závitu | | 2x zašroubovat 3-stržení závitu | | 3x zašroubovat 4-stržení závitu | |
| | | Levý díl | Pravý díl | Levý díl | Pravý díl | Levý díl | Pravý díl | Levý díl | Pravý díl |
| Zašroubování číslo | 1 | 4,83 | 4,87 | | | 4,83 | 4,80 | 4,86 | 4,85 |
| | 2 | 4,83 | 4,91 | | | 4,81 | 4,87 | 4,83 | 4,81 |
| | 3 | 4,87 | 4,85 | | | | | 4,93 | 4,87 |
| | 4 | 4,85 | 4,81 | | | | | | |
| | 5 | 4,92 | 4,88 | | | | | | |
| | 6 | 4,89 | 4,96 | | | | | | |
| | 7 | 4,89 | 4,88 | | | | | | |
| | 8 | 4,90 | 4,90 | 5,50 | 5,52 | 5,33 | 4,75 | 5,64 | 5,35 |
| | 9 | 4,86 | 4,92 | Stržení závitu | Stržení závitu | Stržení závitu | Stržení závitu | Stržení závitu | Stržení závitu |
| | 10 | 4,86 | 4,96 | | | | | | |

Výsledky testu Set 1 vyšly dobře. Je vidět, že nedošlo k protočení šroubu ani při desátém zašroubování. V testu Set 2 se testoval maximální moment potřebný ke stržení závitu. Ke stržení závitu došlo při hodnotě 5,50N*m na levém dílu a na pravém dílu při hodnotě 5,52N*m. Takže specifikace byla splněna. Dále pak test Set3 i Set 4 vyšly také v požadované specifikaci. S ohledem na výsledky lze i toto kritéria považovat za splněná.

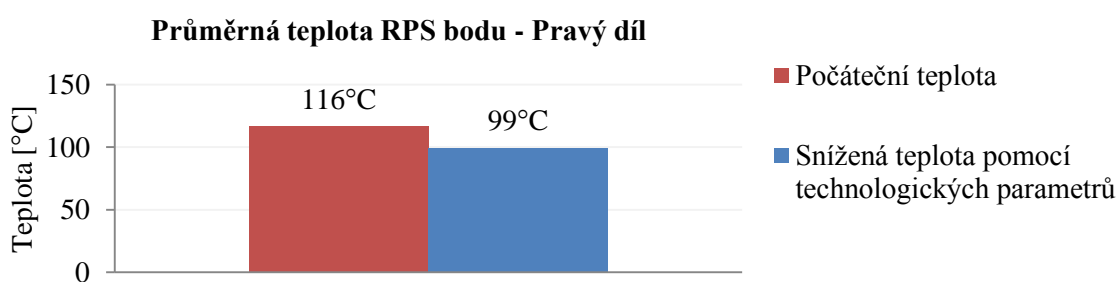
Testy provedené v bodě 1) a 2) byly podmínkou pro splnění a uvolnění nové konstrukce RPS bodu. Tyto body byly splněny v požadovaných specifikacích, včetně bodu 1), který je doplněn požadavkem z oddělení kvality DMCZ. A to takovým, že musí být zavedena 100% kontrola RPS bodů operátorem pomocí kontrolního jigu.

4 DISKUSE VÝSLEDKŮ

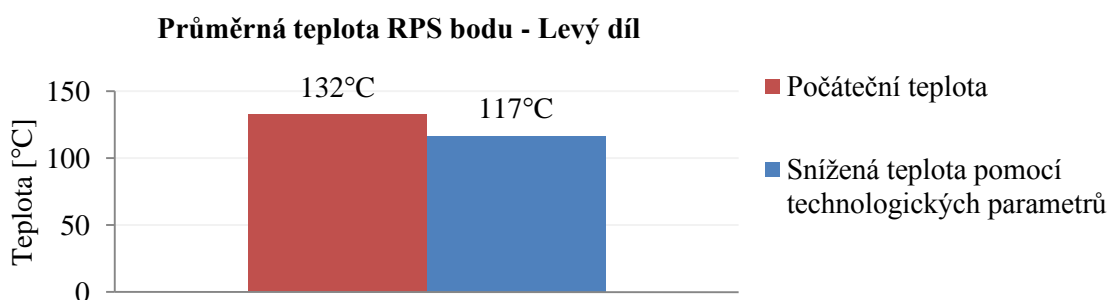
Vlivem implementace designové změny RPS bodu na pravém i na levém dílu výměňkové skříně, došlo k vytvoření kritického místa (defektu) u obou těchto dílů, a to v důsledku nedostatečného chlazení. Cílem této diplomové práce bylo odstranění těchto kritických míst pomocí optimalizace chlazení.

1) Odstranění defektu pomocí technologických parametrů

V prvním testu, za cílem eliminace defektů, bylo provedení optimalizace chlazení pomocí změny technologických parametrů. A to proto, že u tohoto řešení jsou viditelné výsledky téměř okamžitě, a zároveň nevyžaduje žádné počáteční náklady. Došlo k prodloužení doby chlazení o 11sec a snížení teploty chladicího média o 5°C. Tím však došlo k prodloužení doby vstřikovacího cyklu o 11 vteřin. Výsledkem tohoto řešení bylo snížení průměrné teploty RPS bodů po vylisování u pravého dílu o 17°C, a to ze 116°C na 99°C (obr. 4.1). U levého dílu došlo ke změně průměrné teploty ze 132°C na 117°C (obr. 4.2), to je o 15°C. Dále došlo u pravého dílu k eliminaci bublin v RPS bodu (obr. 3.26) a ke snížení deformací RPS bodu na levém dílu (obr. 3.27). Zde se ale nepodařilo odstranění deformace zcela. Z těchto důvodů se toto řešení jeví jako nedostatečné. Zároveň nebylo požadováno, aby zůstala prodloužená doba vstřikovacího cyklu trvalá, protože negativně ovlivňuje produktivitu formy. Proto musely být hledány jiné vhodné alternativy, jak eliminovat tyto defekty.



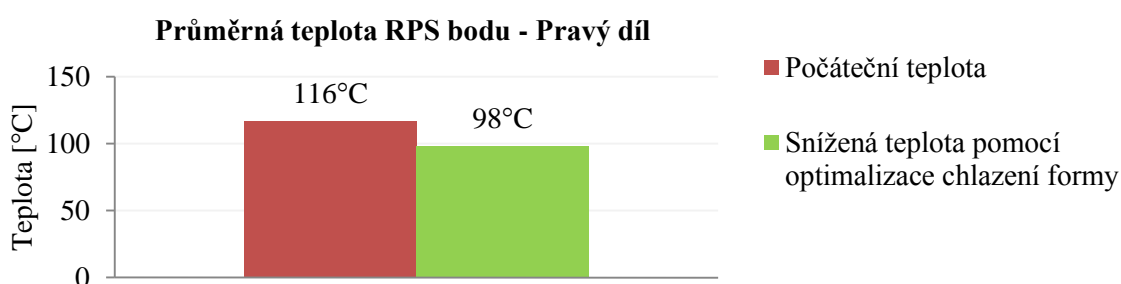
Obr. 4.1 Průměrná teplota RPS bodu na pravém dílu po změně technologických parametrů



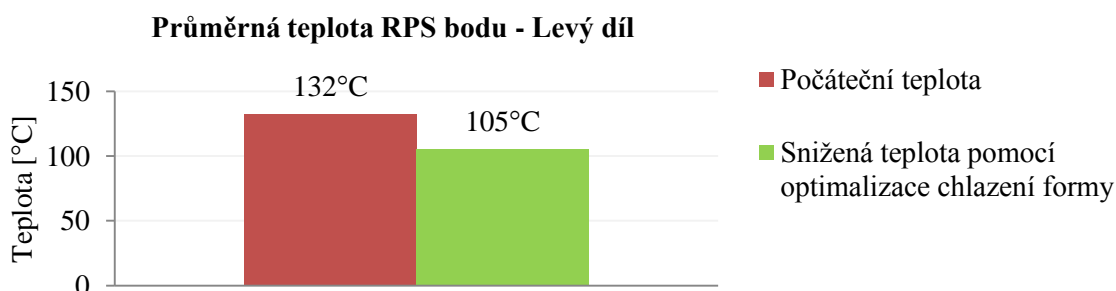
Obr. 4.2 Průměrná teplota RPS bodu na levém dílu po změně technologických parametrů

2) Odstranění defektu pomocí optimalizace chlazení vstřikovací formy

Při změně technologických parametrů nebylo dosaženo požadovaného odstranění deformací u levého dílu. Zároveň došlo k prodloužení doby vstřikovacího cyklu. Proto byl navrhnout jiný způsob řešení. Přistoupilo se k tzv. pasivním prostředkům, které ovlivňují tepelný režim formy, a to svými fyzikálními vlastnostmi. Jedná se o vysoce tepelně vodivé slitiny s výbornou schopností odvodu tepla. Zároveň byl vytvořen efektivnější způsob chlazení v případě RPS bodu levého dílu. A to přívod chladícího média přímo do vložky Insert_L1. Tyto změny optimalizace chlazení byly velice účinné. Podařilo se snížit teplotu pravého RPS bodu o 18°C, ze 116°C na 98°C (obr. 4.3) a také eliminovat bubliny (obr. 3.32). V RPS bodu na levém díle, došlo ke snížení teploty o 27°C, ze 132°C na 105°C (obr. 4.4). Na tomto díle se však nepodařilo odstranit deformaci RPS bodu zcela. Stále přetrvávala deformace uvnitř otvoru (obr. 3.33). Z tohoto důvodu bylo nutné navrhnout další řešení pro odstranění defektu.



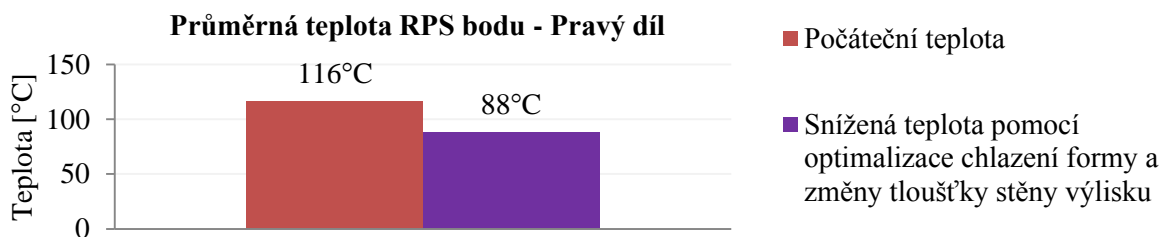
Obr. 4.3 Průměrná teplota RPS bodu na pravém dílu po optimalizace chlazení formy



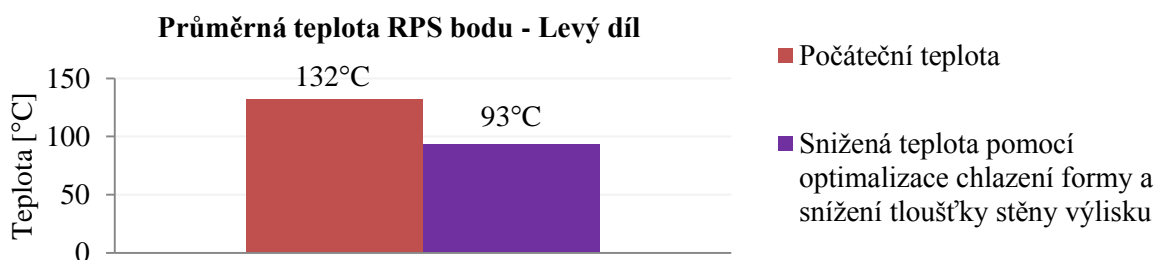
Obr. 4.4 Průměrná teplota RPS bodu na levém dílu po optimalizace chlazení formy

3) Odstranění defektu pomocí optimalizace chlazení formy a změny tloušťky stěny výlisku

V RPS bodu na levém dílu se po optimalizace chlazení formy nacházela deformace. Vzhledem k tomu, že byly již využity všechny možnosti jak zmodifikovat formu s cílem lepšího chlazení, a dobu chlazení nebylo možné prodloužit, nabízela se možnost změny konstrukce výlisku. A to tím způsobem, že se upravila tloušťka stěny ze 4mm na 3mm. To znamená o 2mm na průměru. Také došlo k prodloužení hloubky vnitřního otvoru z 35mm na 53mm. Tedy o 18mm. Toto řešení bylo voleno jako poslední, protože s úpravou takto důležitého montážního místa, je spojeno mnoho testů a souhlas zákazníka. V tomto případě, však nebylo jiné řešení, bez dopadu na dobu chlazení. A protože oba RPS body musí mít stejnou konstrukci a stejnou tloušťku stěny, muselo dojít i k úpravě RPS bodu na pravém díle, přestože zde se již defekt nenacházel. U pravého dílu se jednalo pouze o úpravu tloušťky stěny, protože hloubka otvoru již byla maximální. Došlo tedy ke kombinaci dvou řešení pro odstranění defektu. A to optimalizace chlazení formy a optimalizace pomocí snížení tloušťky stěny. Výsledky těchto změn na výlisku byly pozitivní. Došlo ke snížení průměrné teploty pravého RPS bodu o 28°C, ze 116°C na 88°C (obr. 4.5). U levého bodu došlo ke snížení o 39°C, ze 132°C na 93°C (obr. 4.6). U pravého bodu bylo docíleno stejně kladných výsledků jako v předchozím řešení. U levého bodu nedošlo po implementaci k úplnému odstranění defektu. Na dně otvoru RPS bodu stále dochází k deformacím otvoru a tvorbě bublin. Tento defekt je však mimo funkční oblast RPS bodu, která je do hloubky původních 35 mm. Modifikací délky otvoru na 53mm bylo docíleno přesunutí oblasti defektu do oblasti, v které funkčně nevádí.

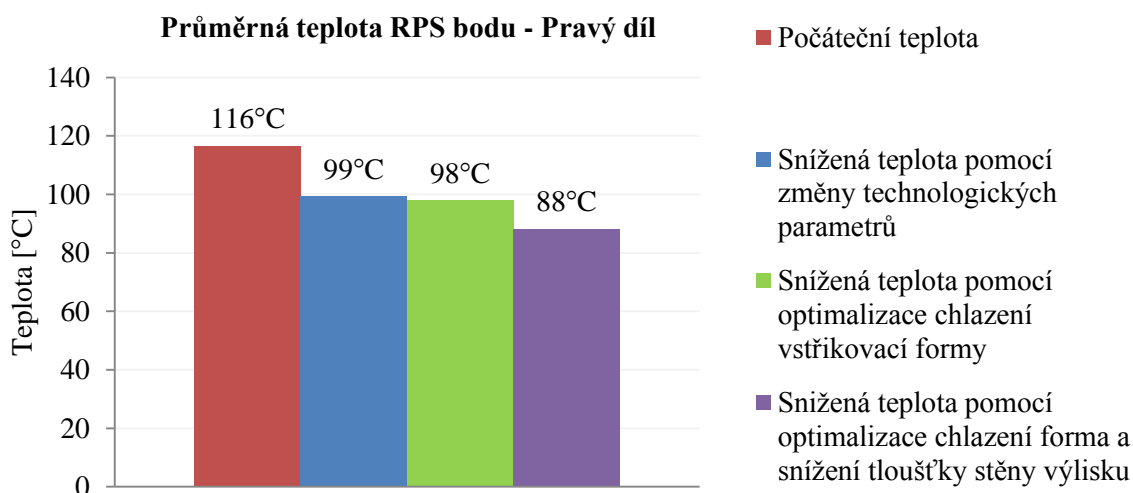


Obr. 4.5 Průměrná teplota RPS bodu na pravém dílu po optimalizaci chl. formy a změně tl.stěny

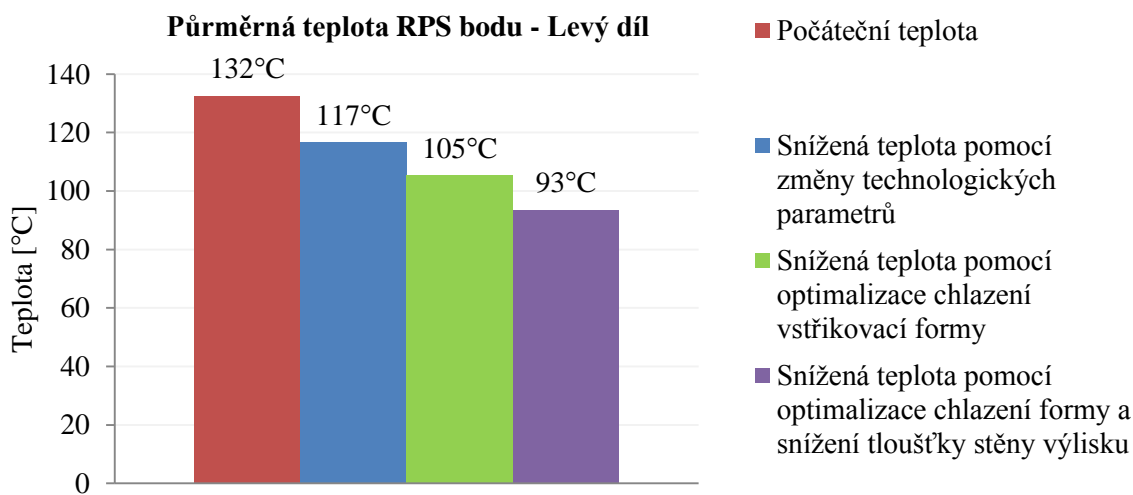


Obr. 4.6 Průměrná teplota RPS bodu na levém dílu po optimalizaci chl. formy a změně tl. stěny

V obr. 4.7 a obr. 4.8 je možné vzájemně porovnat dopady jednotlivých aktivit, tak jak šly po sobě. Je zřejmé, že velký účinek měla optimalizace chlazení vstříkovací formy. Jak již bylo řečeno výše, nedošlo k odstranění defektů u obou dílů. Proto byla tato metoda řešení doplněna o změnu tloušťky stěny výlisku v oblasti RPS bodu a prodloužení vnitřního otvoru RPS bodu. Tím bylo dosaženo uspokojivého finálního výsledku.

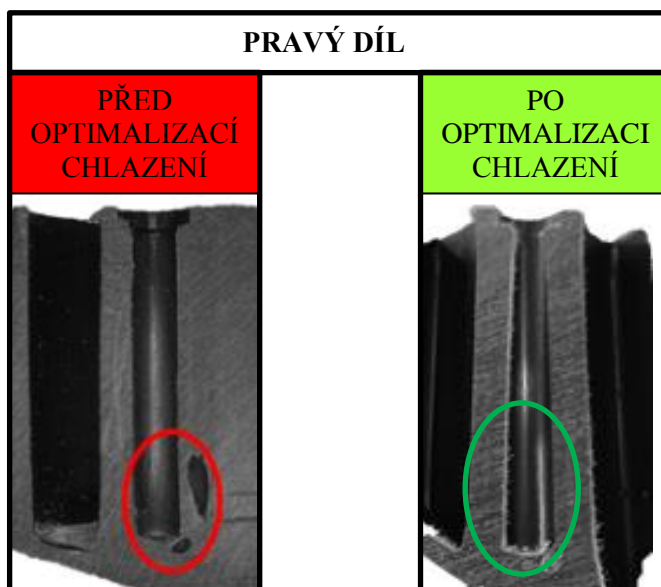


Obr. 4.7 Porovnání průměrných teplota RPS bodu na pravém dílu

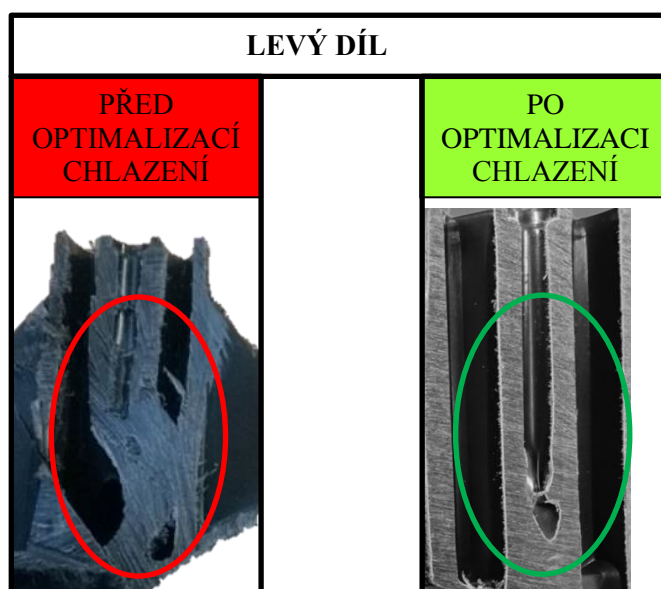


Obr. 4.8 Porovnání průměrných teplota RPS bodu na levém dílu

Postupně tedy touto cestou, došlo k odstranění defektu. Na obr. 4.9 a obr. 4.10 je možné vidět shrnutí toho, jakých výsledků se podařilo dosáhnout pomocí optimalizace chlazení kritického místa výstřiku v řezech RPS bodů.



Obr. 4.9 Stav RPS bodu na pravém dílu před a po optimalizaci chlazení



Obr. 4.10 Stav RPS bodu na levém dílu před a po optimalizaci chlazení [18]

5 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo odstranění kritického místa vstřikovaného dílu, pomocí optimalizace chlazení.

Kritickým místem byly defekty v tzv. RPS bodech umístěných na skříní výměníku. Funkce těchto bodů je, že slouží jako montážní prvky celé klimatizační jednotky v automobilu. Kritická místa vznikla v důsledku implementace designové změny konstrukce RPS bodů, kterou požadoval zákazník firmy Denso. Jedná se o tvarové deformace, bubliny neboli lukry, které se nacházely uvnitř RPS bodů. Tyto defekty, vznikly v důsledku objemového smrštění a nedostatečného uchlazením tvaru.

Za cílem odstranění defektu byly provedeny tři kroky. V první kroku byla vyzkoušena změna technologických parametrů při vstřikování. Jednalo se o úpravu teploty chladicího média – vody, z 20°C na 15°C a prodloužení doby chlazení o 11sec. Tato metoda řešení částečně vyřešila tento problém. Podařilo se zcela odstranit bubliny v RPS bodu na pravém díle výměňkové skříně a v RPS bodu na levém díle se podařilo pouze eliminovat deformace tvaru. Tímto testem se prokázalo, že změnou technologických parametrů nelze dosáhnout odstranění defektů. Také došlo k prodloužení doby vstřikovacího cyklu o 11sec, a tím ke snížení produktivity této formy.

V druhém kroku byla implementována optimalizace chlazení vstřikovací formy. A to pomocí změny materiálů formy, v oblasti RPS bodů, za materiály s vyšší schopností odvodu tepla. Zároveň byl navrhnut efektivnější způsob chlazení v případě RPS bodu levého dílu. Byl jím přívod chladicího média přímo do tvarové vložky. V RPS bodu na pravém díle došlo ke stejně dobrým výsledkům jako při testu technologických parametrů. Tedy k odstranění bublin. V RPS bodu na levém díle došlo k částečné eliminaci deformací bodu, ale ne k jejich odstranění.

Proto došlo k návrhu třetího kroku. Bylo jím snížení tloušťky stěny RPS bodů a prodloužení hloubky jeho otvoru, v kombinaci s optimalizací chlazení formy, které bylo implementováno v předchozím kroku. Snížením tloušťky stěny ze 4mm na 3mm, prohloubením otvoru o 18mm, se dosáhlo uspokojivých výsledků. Pravý RPS bod již neobsahuje žádné defekty. U levého RPS bodu opět nedošlo k úplnému odstranění defektu, ale vlivem prodloužení hloubky otvoru, došlo k jeho přesunu mimo funkční oblast bodu.

Tento třetí krok se ukázal jako nejlepším řešením problému s kritickým místem. RPS body se podařilo dostat na úroveň kvality, která je akceptovatelná.

Seznam použité literatury

- [1] Denso ČR. [online]. 2007-2016 [cit. 2016-03-23]. Dostupné z: <http://www.denso.cz/>
- [2] Autoform. [online]. 2016 [cit. 2016-03-23]. Dostupné z: <http://www.autoform.cz/klima.htm>
- [3] LENFELD, Petr. Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti. [online]. 2016 [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
- [4] KREBS, Josef. *Teorie zpracování nekovových materiálů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2006. ISBN 80-7372-133-3.
- [5] BĚHÁLEK, Luboš. Termoplasty [online]. 2006 [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/vip/VIP%20PLASTY.pdf
- [6] BĚHÁLEK, Luboš. Vliv obsahu talku v PP na mechanické a reologické vlastnosti. [online]. 2004-2005 [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/vip/p2/Talek.pdf
- [7] NAVRÁTILOVÁ, Věra. Materiály na bázi PP v automobilovém průmyslu-bakalářská práce.[online]. 2011 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/16907/navr%C3%A1tilov%C3%A1_2020_11_bp.pdf?sequence=1
- [8] LENFEL, Petr. *Technologie vstřikování*. Liberec, 2015. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Impresum.html>
- [9] SEIDL, Martin. *Technologie injekčního vstřikování* [online]. 2015 [cit. 2015-09-06]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/02.html>
- [10] KŘÍŽ, Antonín. Plasty. [online]. 2006 [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <http://www.ateam.zcu.cz/plasty.pdf>
- [11] Engel. [online]. 2016 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.engelglobal.com/cs/cz/>
- [12] BOBEK, Jiří. Základní principy konstrukce plastových dílů. [online]. 2015 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/10.html>
- [13] MM spektrum. *Principy konstrukce plastových výlisků* [online]. 2013 [cit. 2015-09-06]. Dostupné z: www.mmspektrum.com
- [14] Blueteam. [online]. 1996-2013 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.blueteam.cz/klimatizace-a-chlazení/princip-klimatizace.html>
- [15] ŽÁK. Tvářecí nástroje. [online]. 2016 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn__tvareci_nastroje

- [16] HYNEK, Martin. Horké vtoky. [online]. 2013 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <https://www.kks.zcu.cz>
- [17] BĚHÁLEK, Luboš. Teorie zpracování nekovových materiálů. [online]. [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/8.pdf
- [18] Interní materiály firmy Denso
- [19] Moldmax XL. *Materion*. [online]. 2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://materion.com/~media/Files/PDFs/Alloy/DataSheets/MoldMAX/AD0058-0311%20MoldMAX%20XL.pdf>
- [20] Ampcoloy 940. *Ampcometal*. [online]. 2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: http://www.ampcometal.com/documents/datasheets/en/A940_EX_E.pdf
- [21] Moldmax V. *Bucanada*. [online]. 2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: http://www.bucanada.ca/media/MOLDMAX_V.pdf

Seznam příloh

Příloha 1: Vstřikovací forma experimentu

Příloha 2: Materiálový list - Moldmax XL

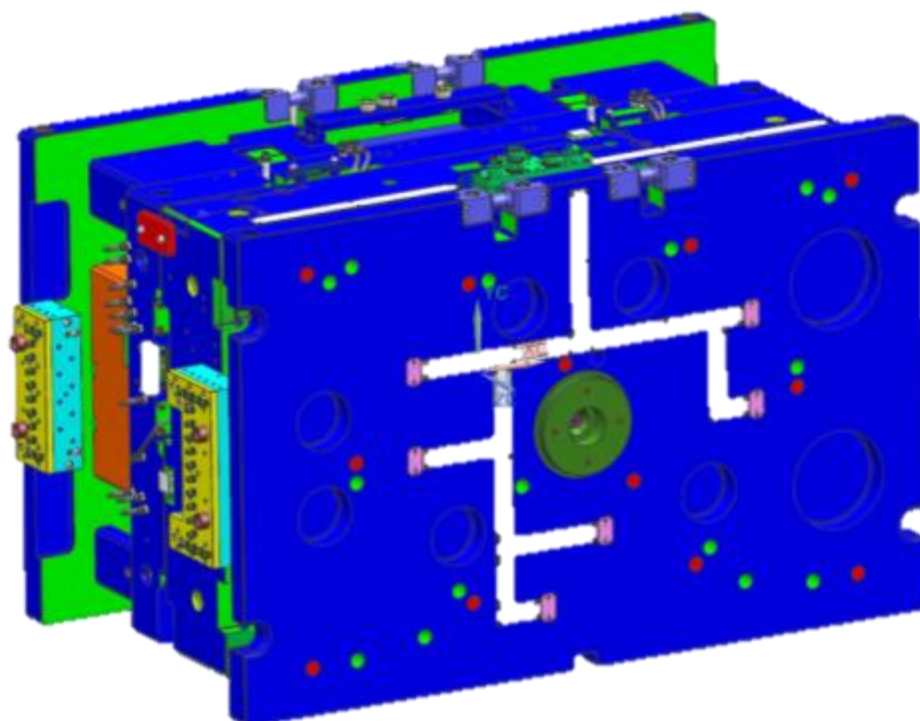
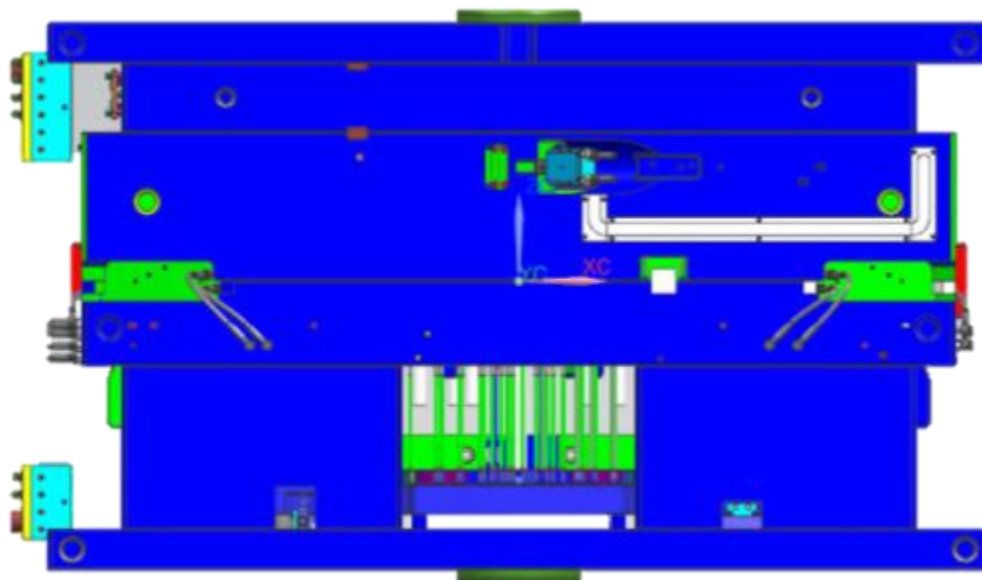
Příloha 3: Materiálový list - Ampcoloy 940

Příloha 4: Materiálový list - Moldmax V

Příloha 5: Parametry vstřikovacího stroje pro experiment

Příloha 6: Materiálový list vstřikovaného materiálu Sabic PPT20

Příloha 1: Vstřikovací forma experimentu



Příloha 2: Materiálový list - Moldmax XL [19]

CHEMICAL COMPOSITION (weight percent)

| Alloy | Nickel | Tin | Copper |
|------------------|-----------|-----------|---------|
| MoldMAX XL Alloy | 8.5 – 9.5 | 5.5 – 6.5 | Balance |

PHYSICAL PROPERTIES

| Elastic Modulus | Melting Point (Solidus) | Density | Thermal Expansion | Thermal Conductivity (100 °C) | Heat Capacity (100 °C) |
|-----------------------|-------------------------|--|---|-------------------------------|--------------------------------|
| 17,000 ksi 120 GPa | ~1695 °F ~925 °C | 0.322 lb/in ³ 8.90 g/cm ³ | 9.0x10 ⁻⁶ in/in °F 16.2 x 10 ⁻⁶ °C ⁻¹ | 40 BTU/hr·ft·°F 70 W/m·°C | 0.093 BTU/lb·°F 0.39 J/g·°C |

TYPICAL MECHANICAL PROPERTIES*

| 0.2% Offset Yield Strength (nominal) | Ultimate Tensile Strength | Fatigue Strength 10 ⁷ Cycles (R=-1) | Elongation | Impact Strength | Hardness |
|--------------------------------------|---------------------------|--|------------|------------------|----------|
| 105 ksi 720 MPa | 115 ksi 790 MPa | 35 ksi 240 MPa | 6% | 15 ft·lb 20 J | 30 HRC |

*Properties may vary by shape and thickness.

Příloha 3: Materiálový list - Ampcoloy 940 [20]

Nominal composition:

| | | |
|----------|------|-----------|
| Nickel | (Ni) | 2.5% |
| Silicium | (Si) | 0.7% |
| Chromium | (Cr) | max. 0.4% |
| Copper | (Cu) | balance |

Nearest international specifications:

| | | |
|------------|--------------|----------------|
| D | DIN | |
| F | AFNOR | |
| GB | BS | |
| USA | RWMA | Class 3 |

| Mechanical and physical properties | Units | ≤ 25 mm | 25 - 50 mm | > 50 mm |
|---|-------------------------|----------------|-------------------|-------------------|
| Tensile strength Rm | MPa | 689 | 669 | 662 |
| Yield strength Rp 0.5 | MPa | 517 | 517 | 510 |
| Elongation A5 | % | 13 | 13 | 13 |
| Brinell hardness | HBW 10/3000 | 210 | 210 | 210 |
| Rockwell hardness | HRB | 95 | 95 | 95 |
| Reduction of area ψ | % | 20 | 20 | 20 |
| Compressive strength, 0.1 % perm. set | MPa | 552 | 552 | 552 |
| Modulus of elasticity | GPa | 131 | 131 | 131 |
| Density ρ | g / cm ³ | 8.71 | | |
| Coefficient of expansion α | 10 ⁻⁶ / K | 17.5 | | |
| Thermal conductivity λ | W / m · K | 208 | | |
| Electrical conductivity γ | m / Ω · mm ² | 28 | | |
| Electrical conductivity | % I.A.C.S. | 48 | | |
| Specific heat Cp | J / g · K | 0.38 | | |

Assurances given with respect to properties or uses are subject to written approval from AMPCO METAL.

Příloha 4: Materiálový list - Moldmax V [21]

CHEMICAL COMPOSITION (weight percent)

| Alloy | Nickel | Silicon | Chromium | Copper |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|---------|
| MoldMAX [®] V | 6.5 - 7.5 | 1.5 - 2.5 | 0.6 - 1.2 | Balance |

PHYSICAL PROPERTIES

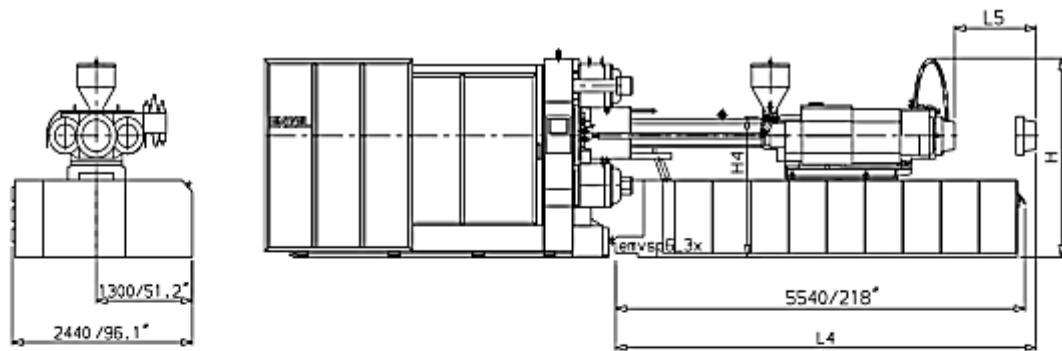
| Elastic Modulus | Melting Point (Solidus) | Density | Thermal Expansion | Thermal Conductivity (100°C) | Heat Capacity (100°C) |
|-----------------------|-------------------------|---|--|------------------------------|------------------------------|
| 18,500 ksi 130 GPa | ~1800 °F ~980 °C | .314 lb/in ³ 8.69 g/cm ³ | 9.72 x 10 ⁻⁶ °F ⁻¹ 17.5 x 10 ⁻⁵ °C ⁻¹ | 92 BTU/hr-ft °F 160 W/m-K | .098 BTU/lb °F 0.41 J/g-K |

TYPICAL MECHANICAL PROPERTIES*

| 0.2% Offset Yield Strength | Ultimate Tensile Strength | Fatigue Strength 10 ⁷ Cycles (R=-1) | Elongation | Impact Strength (CVN) | Hardness |
|----------------------------|---------------------------|--|------------|-----------------------|---------------------|
| 105 ksi 725 MPa | 125 ksi 860 MPa | 40 ksi 275 MPa | 7% | 5 ft-lb 7 J | 270 HBR (28 HRC) |

*Hardness is tested via Brinell Test Method at 3000 Kgf load and equivalent Rc values converted per ASTM-E-140, Table 1. Properties may vary by shape and thickness.

Příloha 5: Parametry vstříkovacího stroje pro experiment [11]



| Machine designation | Weight injection unit | | L4 | | L5 | | H | | H4 | |
|---|--------------------------------|---------|---------------|-----|----------------------|----|-------------------------|-----|------|----|
| | to | US tons | mm | in | mm | in | mm | in | mm | in |
| DUO 11050 / 1300 | 18 | 19.8 | 5540 | 218 | 950 | 38 | 2640 | 104 | 1930 | 76 |
| Speed-controlled electric screw drive (Option) | | | Normal | | Increased rpm | | Increased torque | | | |
| Power | kW | | 97 | | 109 | | 97 | | | |
| | hp | | 130 | | 146 | | 130 | | | |
| RPM | min ⁻¹ | | 120 | | 140 | | 85 | | | |
| Torque | Nm @ 60% ED | | 8600 | | 8600 | | 12300 | | | |
| | lb _r -ft @ 60% Duty | | 6300 | | 6300 | | 9100 | | | |
| Cooling water consumption | m ³ /h | | 1.4 | | 1.4 | | 1.4 | | | |
| | US gal/min | | 6.2 | | 6.2 | | 6.2 | | | |

SABIC® PPcompound 3320EH Provisional

PP compound MF for Automotive injection moulding

Description:

SABIC® PPcompound 3320EH is a high flow talcum filled Polypropylene. The stiffness, low emission and heat aging performance make it suited for use in applications at elevated temperatures and emission requirements.

SABIC® PPcompound 3320EH is a designated automotive grade.

IMDS ID: 136528742

| Typical values | | Revision 20100811 | |
|--|-------------------|-------------------|--------------|
| Properties | Unit (SI) | Values | Test methods |
| Polymer properties | | | |
| Melt flow rate (MFR) at 230 °C and 2.16 kg | g/10 min | 20 | ISO 1133 |
| Density | kg/m ³ | 1040 | ISO 1183 |
| Coeff. of linear thermal expansion 23 °C to 80 °C | 1) µm/mK | 90 | ASTM D 698 |
| -30 °C to 30 °C | µm/mK | 50 | |
| Mould shrinkage 24 hours after injection moulding | 1) % | 1,1 | SABIC method |
| Mechanical properties | | | |
| Tensile test | 2) | | ISO 527 |
| stress at yield | MPa | 30 | |
| stress at break | MPa | 25 | |
| strain at break | % | 15 | |
| Flexural test | 3) | | ASTM D 790 |
| Flexural modulus | MPa | 2600 | |
| Izod impact notched | 4) | | ISO 180/4A |
| at 23 °C | kJ/m ² | 2,7 | |
| at 0 °C | kJ/m ² | 2,2 | |
| at -20 °C | kJ/m ² | - | |
| Charpy impact notched | 5) | | ISO 179/1eA |
| at 23 °C | kJ/m ² | - | |
| Charpy impact unnotched | | | ISO 179/1eU |
| at -40 °C | kJ/m ² | - | |
| Hardness Shore D | - | 72 | ISO 868 |
| Thermal properties | | | |
| Heat deflection temperature at 0.45 MPa (HDT/B) | °C | 120 | ISO 75/B |
| Vicat softening temperature at 10 N (VST/A) | °C | 150 | ISO 306/A |