

# Návrh vstřikovací formy pro výrobu součásti světloometu

Bc. Filip Kollár

---

Diplomová práce  
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Filip Kollár**  
Osobní číslo: **T12437**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh vstřikovací formy pro výrobu součásti světlometu**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Připravte 3D model plastového dílu.
3. Provedte konstrukci vstřikovací formy pro zadaný díl.
4. Ověřte návrh pomocí tokových analýz.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

dle zadání vedoucího DP

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Michal Staněk, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

10. února 2014

Termín odevzdání diplomové práce:

12. května 2014

Ve Zlíně dne 10. února 2014

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



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

Příjmení a jméno: .....

Obor: .....

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně .....

.....

---

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá konstrukcí vstřikovací formy a tokové analýzy pro výrobu části světlometu.

Teoretická část popisuje problematiku vstřikování ve dvou samostatných kapitolách. První kapitola je zaměřena na vstřikování plastů a popis vstřikovacího stroje. Následující kapitola se věnuje samotné konstrukci vstřikovací formy.

V praktické části je navržena vstřikovací forma pro plastový díl. Návrh formy byl proveden v programu Catia V5R19. V poslední části diplomové práce je provedena analýza vstřikovacího procesu v programu Autodesk Simulation Moldflow Synergy 2013.

Klíčová slova: vstřikování, vstřikovací forma, polymer, vstřikovací stroj

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the construction injection mold and flow analysis for production of the headlight.

The theoretical part describes the injection in two separate chapters. The first chapter focuses on plastic injection molding and injection molding machine description. The following chapter deals with the actual design of injection mold.

In the practical part is designed injection molds for plastic parts. Mold design was done in Catia V5R19. In the last part of the thesis is an analysis of the injection molding process in Autodesk Simulation Moldflow Synergy 2013.

Keywords: injection molding, injection mold, polymer, injection molding machine

Touto cestou bych rád poděkoval za cenné připomínky, odborné vedení a návrhy k vypracování svému vedoucímu diplomové práce Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D.

Poděkování také patří Ing. Zdeňku Rajchovi. Za možnost provedení diplomové práce děkuji firmě Promens, a.s.

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

## OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>11</b>
<b>1 VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ.....</b>	<b>12</b>
1.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS .....	12
1.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	13
1.2.1 Vstřikovací jednotka .....	15
1.2.2 Uzavírací jednotka .....	16
1.3 MATERIÁLY PRO VSTŘIKOVÁNÍ .....	16
<b>2 VSTŘIKOVACÍ FORMA .....</b>	<b>18</b>
2.1 VTOKOVÉ SYSTÉMY .....	19
2.1.1 Studené vtokové systémy .....	20
2.1.2 Vtokový kanál .....	21
2.1.3 Rozváděcí kanály .....	21
2.1.4 Vtokové ústí .....	22
2.1.5 Horké vtokové systémy.....	23
2.2 VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	24
2.2.1 Vyhazovací síla .....	25
2.2.2 Vyhození vtokového zbytku .....	25
2.2.3 Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků .....	25
2.2.4 Vyhazování pomocí šikmých vyhazovačů.....	26
2.2.5 Pneumatické vyhazování.....	27
2.2.6 Vyhazování stírací deskou .....	28
2.3 ODVZDUŠNĚNÍ FOREM.....	29
2.4 TEMPEROVÁNÍ FOREM .....	29
2.5 MATERIÁLY PRO VÝROBU FOREM.....	31
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>33</b>
<b>3 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>34</b>
<b>4 POUŽITÉ PROGRAMY .....</b>	<b>35</b>
4.1 CATIA V5R19 .....	35
4.2 AUTODESK SIMULATION MOLDFLOW INSIGHT 2013.....	35
<b>5 SPECIFIKACE VÝROBKU .....</b>	<b>36</b>
5.1 VSTŘIKOVANÝ DÍL .....	36
5.2 MATERIÁL VÝROBKU .....	37
<b>6 VSTŘIKOVACÍ FORMA .....</b>	<b>38</b>
6.1 PRAVÁ STRANA VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	39
6.2 LEVÁ STRANA VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	39
6.3 VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	40
6.4 TVÁRNICE .....	42
6.5 TVÁRNÍK .....	43
6.6 TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	44
6.7 VTOKOVÝ SYSTÉM .....	47
<b>7 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....</b>	<b>48</b>



<b>8</b>	<b>ANALÝZA VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU.....</b>	<b>49</b>
8.1	PROCESNÍ PODMÍNKY .....	49
8.2	FILL TIME – ČAS PLNĚNÍ .....	50
8.3	PRESSURE AT V/P SWITCHOVER – TLAK PŘI PŘEPNUTÍ NA DOTLAK .....	51
8.4	CLAMP FORCE - UZAVÍRACÍ SÍLA .....	52
8.5	AIR TRAPS – VZDUCHOVÉ KAPSY.....	53
8.6	WELD LINES – STUDENÉ SPOJE .....	55
8.7	SHEAR RATE – RYCHLOST SMYKOVÉ DEFORMACE.....	56
8.8	TEMPERATURE AT FLOW FRONT – TEPLOTA ČELA TAVENINY.....	57
8.9	CIRCUIT COOLANT TEMPERATURE – TEPLOTA MÉDIA V TEMPERAČNÍM OBVODU .....	58
8.10	CIRCUIT REYNOLDS NUMBER – REYNOLDSOVO ČÍSLO .....	61
8.11	CIRCUIT HEAT REMOVAL EFFICIENCY - EFEKTIVITA ODVODU TEPLA CHLADÍČÍHO OBVODU .....	63
8.12	TIME TO REACH EJECTION TEMPERATURE, PART – ČAS K DOSAŽENÍ VYHAZOVACÍ TEPLoty, DÍL.....	65
8.13	DEFLECTION, DIFFERENTIAL COOLING – DEFORMACE ZPŮSOBENA CHLAZENÍM .....	67
8.14	DEFLECTION, DIFFERENTIAL SHRINKAGE – DEFORMACE ZPŮSOBENA SMRŠTĚNÍM .....	70
8.15	DEFLECTION, ALL EFFECTS - CELKOVÁ DEFORMACE VÝSTŘIKU.....	71
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>75</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>76</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>78</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>79</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>81</b>

## ÚVOD

Polymerní materiály zaujímají dnes nenahraditelnou škálu použitelnosti v mnoha aplikacích, díky svým vlastnostem (nízká cena, nízká hmotnost, dobré fyzikální, mechanické a chemické vlastnosti), dostupností a docela snadnému zpracování. Kvůli tomu mají silnou pozici v mnoha oborech. Díky nim lze vyrobit komplikované produkty, které by byly naprosto nemožné, nebo obtížně vyrobitelné konvenčními způsoby.

Polymery lze zpracovat mnoha technologiemi. Nejpoužívanější technologie je metoda vstřikování. Charakterizuje ji velká efektivnost výroby, přesnost bez nutnosti dodatečných úprav a velkou tvarovou složitostí.

Konstrukce a samotná výroba vstřikovacích forem je časově i finančně náročná. Možnost jak tyto oba prvky optimalizovat je využít normálí od firem, které se zabývají jejich výrobou. Návrh a výroba nástroje a vstřikovaného výrobku se neobejde v dnešní době bez CAD, CAE a CAM aplikací. Použitím těchto vysoce specializovaných programů se zabrání chybám při výrobě formy a předejde se vadám na výrobcích. Výsledkem je kvalitnější a rychlejší výroba při nižším počtu dodatečných úprav na vyrobené formě, to má za důsledek úspor finančních prostředků a tím vyšší zisky.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

Vstřikováním se vyrábějí výrobky, které mají charakter konečného výrobku a nebo díly pro další zkompletování celku. Výrobky se vyznačují velmi dobrou tvarovou i rozměrovou přesností a vysokou reprodukovatelností fyzikálních a mechanických vlastností. Technologie vstřikování je nejrozšířenější pro zpracování plastů, je to proces cyklický a diskontinuální. Vstřikováním lze zpracovávat skoro všechny druhy termoplastů. V určité míře se vstřikují i některé kaučuky a reaktoplasty. [1]

Vstřikování je určitý způsob tváření plastů, u kterého je dávka zpracovávaného materiálu z tlakové komory vstříknuta do uzavřené dutiny formy, kde ztuhne v konečný výrobek. Tlaková komora je součástí vstřikovacího stroje a zásoby vstřikovaného materiálu se v ní neustále doplňují během cyklu. Výhodami vstřikování jsou schopnosti vyrábět složité součásti s dobrými tolerancemi rozměrů, krátký čas cyklu a dobrá povrchová úprava. Nevýhodami oproti ostatním metodám zpracování plastů jsou vysoké prvotní náklady, dlouhé doby výroby forem a potřeba používat stroje, které jsou neúměrně velké v porovnání s vstřikovaným dílem. [1]

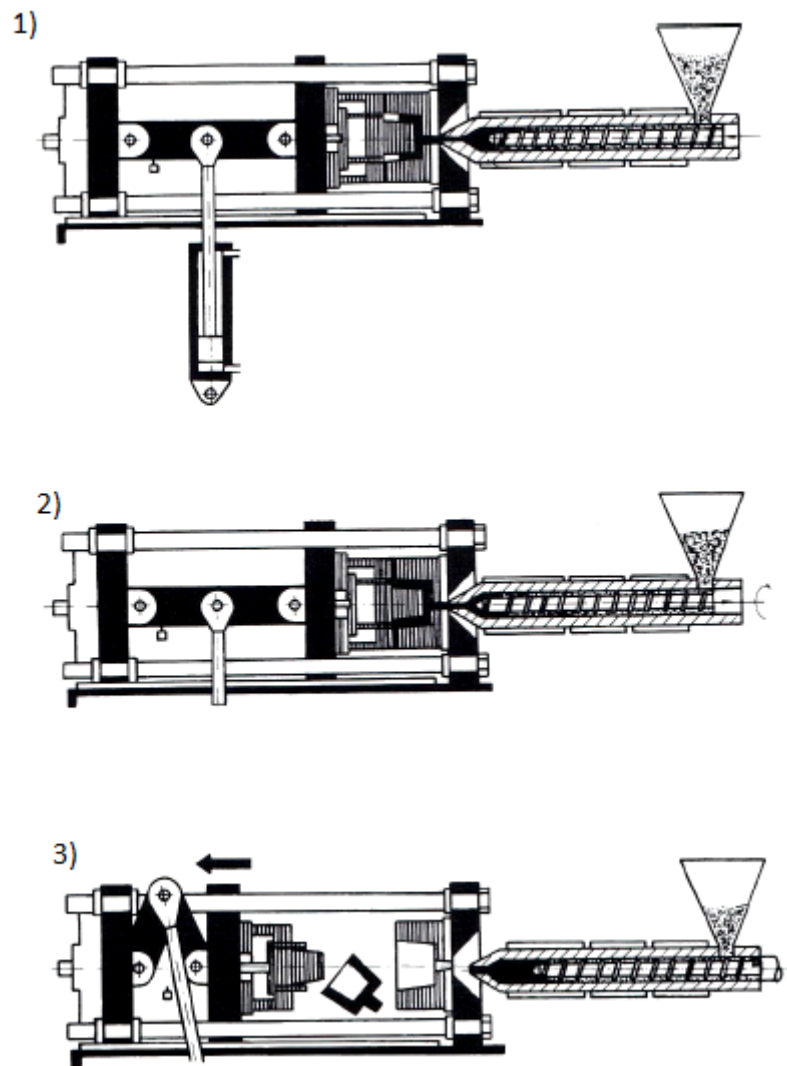
## 1.1 Vstřikovací cyklus

Postup vstřikování je následující: plastikace materiálu v tavicí komoře, vstříknutí materiálu do dutiny formy, dotlak a chlazení taveniny ve formě. Po zchladnutí materiálu nastává otevření formy, vyhození výstřiku a uzavření formy. [2]

Upnutá a vytemperovaná forma ve stroji je uzavírací silou uzavřena. Velikost uzavírací síly musí být volena tak, aby se forma nepootevřela při vstřikování. Uzavření formy je velmi rychlý proces, pouze před stykem obou polovin se zpomalí. Po uzavření dojde k přísunu vstřikovací jednotky a následné vstříknutí taveniny do dutiny formy. Po skončení vstříknutí a dotlaku se jednotka vrací do původní polohy. [2]

Čas vstřikování nelze stále zkracovat, i když je výrobek ochlazen. Z důvodu, že v průběhu chlazení musí proběhnout odjezd vstřikovací jednotky od formy, následné dávkování granulátu a plastikace pro další vstřik. [2]

Jednotlivé parametry se nastaví při zkušebním provozu podle požadovaných hodnot plastu, ze zkušenosti a s ohledem na tvar formy, výrobku i celého vstřikovacího cyklu. Následně se upravují podle dosahovaného výsledku. [2]



Obr. 1. Vstřikovací cyklus [3]

- 1) vstříknutí taveniny do dutiny formy; 2) dotlak, chlazení ve formě a plastikace; 3) otevření formy a vyhození výrobku

## 1.2 Vstřikovací stroj

Proces vstřikování probíhá na moderních strojích již plně automaticky, takže se dosahuje vysoké produktivity práce. Bohužel pořizovací cena vstřikovací formy a strojního zařízení je značně vysoká. Technologie vstřikování je proto vhodná pro hromadnou a velkosériovou výrobu.

Vstřikovací stroj (Obr. 3) se skládá z uzavírací jednotky, vstřikovací jednotky a z řízení a regulace. Všichni výrobci vstřikovacích strojů jsou schopni dovybavit vstřikovací

stroj o manipulátory, temperačním zařízením, roboty, dávkovacím a mísícím zařízením, dopravníky, sušárnami, atd.



Obr. 2. Ukázka vstřikovacího stroje Arburg Allrounder 470 H 1000 – 400 na Ústavu výrobního inženýrství [19]

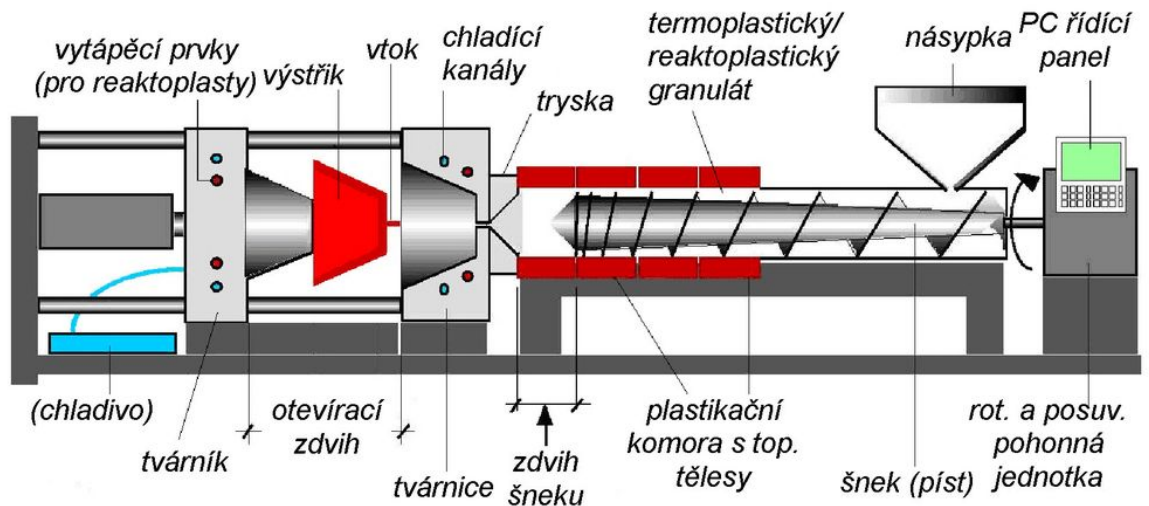
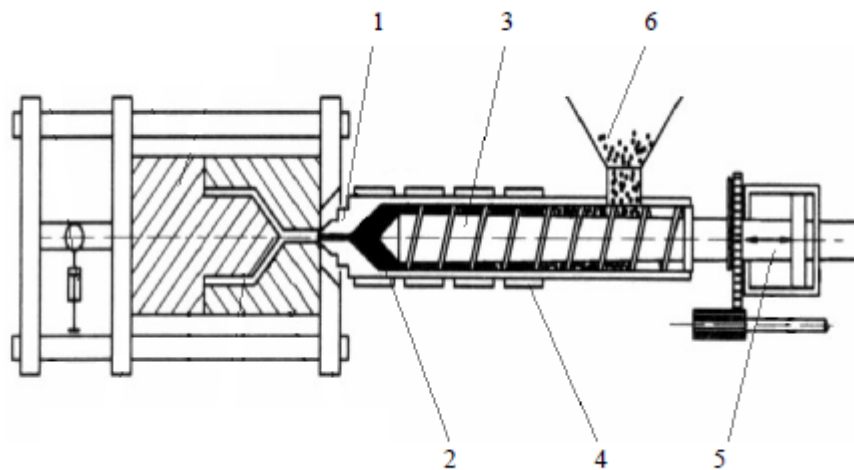


Schéma vstříkovacího stroje

Obr. 3. Vstříkovací stroj [16]

### 1.2.1 Vstříkovací jednotka

Vstříkovací jednotka (Obr. 4) plní především dva úkoly: přeměňuje plastový granulát na taveninu o určité viskozitě a vstříkuje taveninu pod velkým tlakem a vysokou rychlostí do dutiny formy.

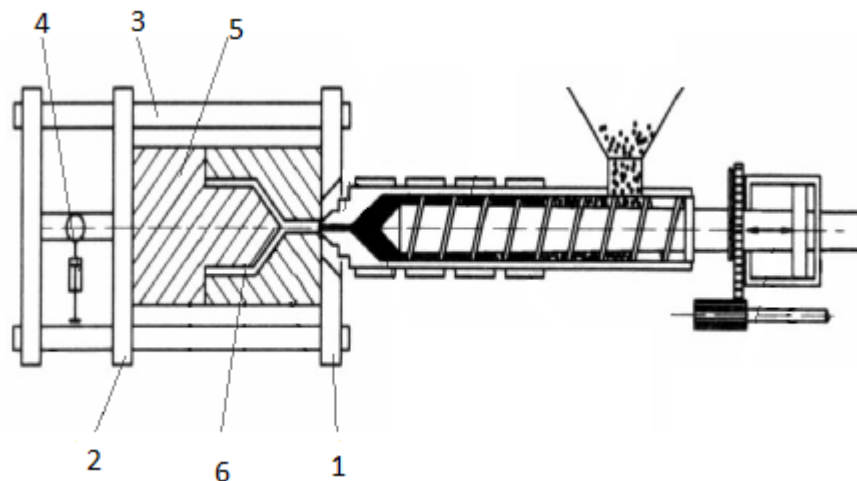


Obr. 4. Popis vstříkovací jednotky [4]

- 1) vstříkovací tryska; 2) pracovní válec; 3) šnek; 4) topení;
- 5) píst; 6) násypka

### 1.2.2 Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky (Obr. 5) je otevírat a zavírat formu podle procesu vstřikování a zajistit uzavření formy, aby se při vstříknutí taveniny forma neotevřela. Při činnosti formy je nutno rozlišovat sílu uzavírací  $F_u$  a sílu přisouvající  $F_p$ . Dnešní moderní stroje mají programovatelnou sílu a rychlost uzavírání vstřikovací formy.



Obr. 5. Popis uzavírací jednotky [4]

- 1) upínací deska pevná; 2) upínací deska pohyblivá; 3) vodící sloupy; 4) uzavírací hydraulický válec; 5) forma; 6) dutina formy

### 1.3 Materiály pro vstřikování

Vstřikováním lze zpracovávat termoplasty, reaktoplasty a kaučukové směsi. U termoplastů je interval pro tváření neomezený u dalších dvou případů je tento interval omezen probíhajícím síťováním. Termoplasty pro vstřikování mají zpravidla lepší tokové vlastnosti než typy pro vytlačování. Lze vstřikovat lehčené i vyztužené materiály. [5]

Polymerní struktura je tvořena makromolekulárními řetězci oproti kovům (tvořena krystalickou mřížkou). Dělí se na tři základní druhy:

- termoplasty jsou polymerní materiály, které při procesu zahřívání přecházejí do stavu plastického, kde se dají snadno tvářet a zpracovávat rozličnými technologiemi. Do tuhého stavu přecházejí ochlazením pod teplotu tání ( $T_m$ ) (semikrystalické plasty) a teplotu viskózního toku ( $T_f$ ) (amorfní plasty). Při zahřívání nedochází ke změně chemické struktury, je možno proces měknutí a následného tuhnutí opakovat bez



omezení. Jde pouze o fyzikální proces. K termoplastům patří polyethylen (PE), polystyren (PS), polyamid (PA), polypropylen (PP), polyvinylchlorid (PVC), atd.,

- reaktoplasty jsou polymerní materiály, které v první fázi zahřívání rovněž měknou a jdou tvářet, pouze omezenou dobu. Dalším zahříváním dochází k chemické reakci (prostorové zesíťování struktury- vytvrzování). Ochlazování reaktoplastů se provádí mimo nástroj, z důsledku obtížného zajištění rychlého ohřevu formy pro vytvrzení a následného rychlého ochlazení materiálu. Dochází k nevratnému ději a vytvrzené plasty není možno rozpustit ani roztavit, dalším zahříváním dojde k degradaci. Patří sem epoxidové pryskyřice, fenolformaldehydové hmoty, polyesterové hmoty, apod.,
- kaučuky, pryže a elastomery jsou polymerní materiály, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, pouze omezenou dobu. Dalším zahříváním dochází k chemické reakci (prostorové zesíťování struktury - vulkanizace). U elastomerů na bázi termoplastů nevzniká změna chemické struktury, a proto proces měknutí a následného tuhnutí lze opakovat bez omezení, jedná se zde pouze o fyzikální děj.

Nejrozšířenější z jednotlivých skupin plastů jsou termoplasty. Tyto rozvětvené či lineární polymery, jejichž řetězec tvoří pouze jeden druh základní chemické skupiny, se nazývají homopolymery. Ty, které jsou složeny ze dvou, a více druhů základních chemických skupin nazýváme kopolymery. Termoplasty se dělí z hlediska vnitřní struktury na:

- amorfnní plasty, kde jsou jejich řetězce nepravidelně prostorově uspořádány,
- semikrystalické plasty, které vykazují určitý stupeň uspořádání a tvoří tak krystalické útvary. Nikdy nedosáhnou 100% uspořádání, proto zbytek tvoří amorfnní část. [5]

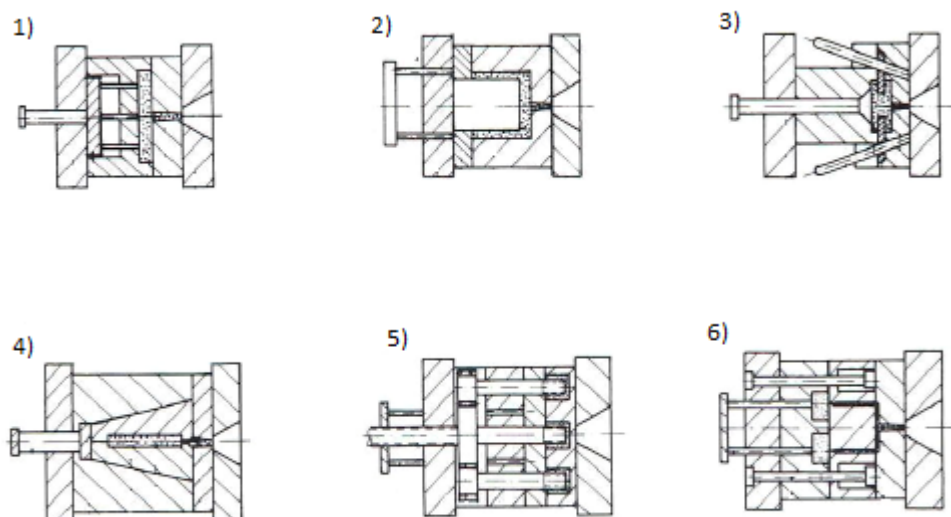
Použitelnost amorfnních plastů je v oblasti pod teplotou skelného přechodu ( $T_g$ ). Zvýšením teploty na  $T_g$  přechází plast do stavu plastického až viskózního, z důvodu slábnutí kohézních sil mezi makromolekulami, v této oblasti lze zpracovávat. Zvýšením teploty narůstá objem polymeru. [5]

U semikrystalických plastů zvyšováním teploty se nejdřív uvolní část makromolekul z oblasti amorfnní, potom i ostatní. Tím vzniká velký objemový nárůst. Použití semikrystalických plastů je v oblasti nad teplotou  $T_g$ , z důvodu výhodné kombinaci houževnatosti a pevnosti. [5]

## 2 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma je nástroj, jehož použitím vznikne výrobek z polymeru na speciálním vstřikovacím stroji. Dnešní používané formy jsou poměrně technicky komplikované zařízení, na která jsou kladeny vysoké nároky z hlediska produktivity, kvality, automatizace výroby a spolehlivosti. [6]

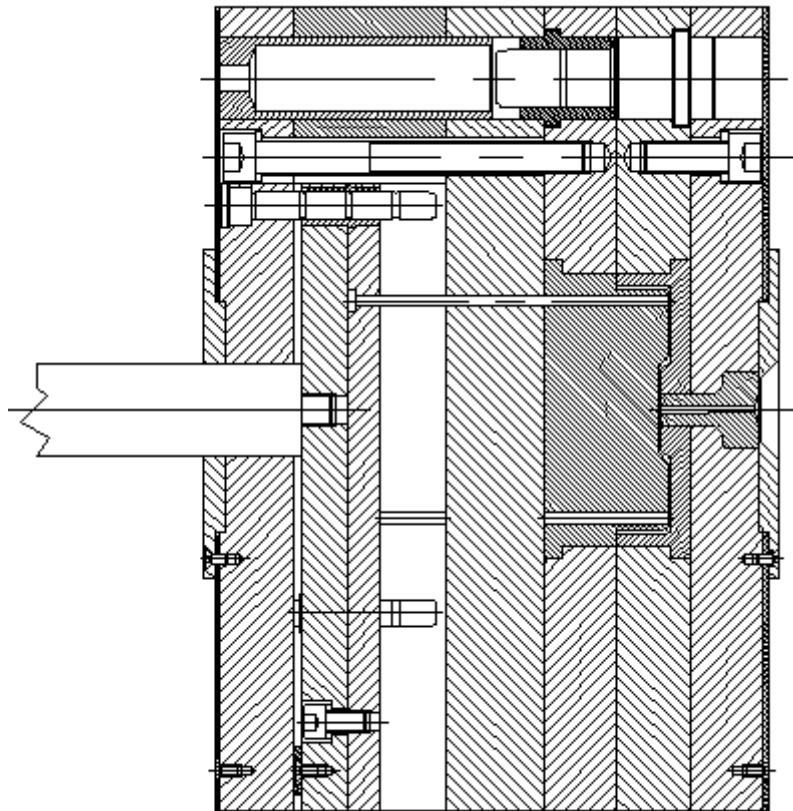
Z praktických důvodů se vstřikovací forma dělí na dvě základní oblasti. Jedna je tvarová dutina, tj. prostor, kam bude na vstřikovacím stroji za vysokého tlaku a teploty vstříknut polymer, který po ztuhnutí v dutině získá svůj konečný tvar výrobku. Konstrukční řešení dutiny jsou velmi rozmanitá a jejich tvar se kromě několika málo technologických pravidel řídí především tvarovými, funkčními a vzhledovými požadavky na výrobek. Druhá oblast je konstrukční stavba nástroje, která vykazuje ve většině případů prvky podobnosti. [4]



Obr. 6. Základní typy vstřikovacích forem [3]

- 1) standardní vstřikovací forma; 2) vstřikovací forma se stírací deskou;
- 3) vstřikovací forma se šikmými čepy; 4) klínová vstřikovací forma; 5) vstřikovací forma s vyšroubovatelnými jádry; 6) třídesková vstřikovací forma

Dnešní formy se sestavují převážně ze stavebnicového systému standardních komponentů, které jsou dostupné na trhu. Nejznámější systém v dnešní době je HASCO. [4]



Obr. 7. Řez vstříkovací formou

Konstrukční stavba forem je složena ze skupiny paralelních desek s odlišnou funkcí a z další řady v nich vložených, nebo připojených součástí k nim, jakou jsou vodící pouzdra, vodící sloupky, spojovací součásti, vyhazovací a chladicí systém apod. Stavebnicový systém se používá z důvodu, že není nutno vyrábět každý jednotlivý díl formy zvlášť. [4]

## 2.1 Vtokové systémy

Vtokový systém formy zajišťuje průtok polymerní taveniny ze vstříkovací trysky do dutiny formy. Zatuhlý materiál ve vtokovém systému se nazývá vtokový zbytek. Vtokový zbytek by měl být co nejmenší nebo případně žádný. Z tohoto důvodu se vyvinula řada vtokových systémů. [6]

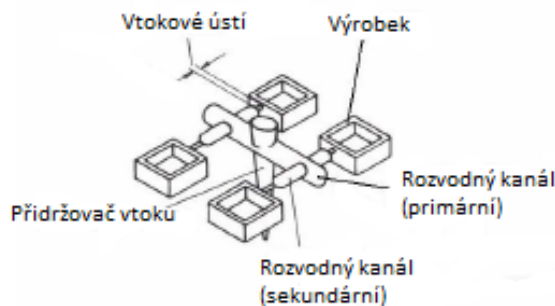
Základní rozdělení:

- studený - má vtokový zbytek,
- horký - bez vtokového zbytku

Rozměry, tvar a umístění vtokového ústí ovlivňují:

- spotřeba materiálu,
- náročnost opracování výrobku pro jeho začištění,
- vzhled, rozměry a vlastnosti výrobku,
- energetická náročnost výroby,
- zbytkové (reziduální) napětí,
- zamezení vzniku studených spojů. [6]

Vtokový systém se skládá z více částí. Obr. 8 znázorňuje složení vtokového kanálu, vtokového ústí, rozvodných kanálů a přídržovače vtoku. [3]

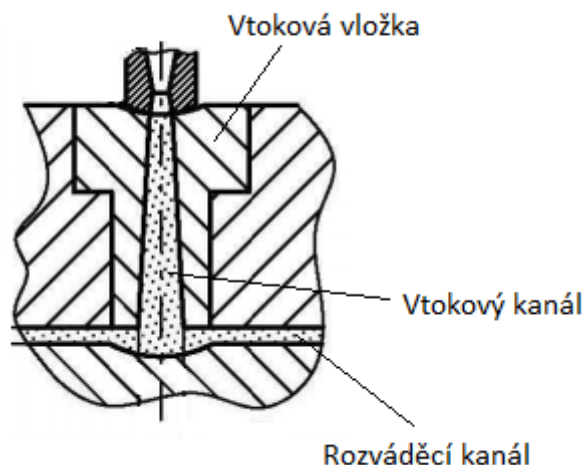


Obr. 8. Vtokový systém [3]

### 2.1.1 Studené vtokové systémy

Při volbě vtokového systému se vychází z předpokladu, že se tavenina vstříkuje vysokou rychlostí do studené formy. Při průtoku vtokovým systémem viskozita taveniny prudce roste na vnějším povrchu, nejnižší je uprostřed toku. Vysoká viskozita potřebuje vysoké tlaky v systému (40 až 200 MPa). [6]

Ztuhlá vrstva na povrchu taveniny vytváří tepelnou izolaci vnitřnímu proudu polymerní taveniny. Tímto stavem se zaplní celá dutina formy. Ve chvíli zaplnění nastane vysoký růst odporu a sníží se průtok. V dutině nastává postupné chladnutí taveniny odvodem tepla do stěn formy. Další doplnění taveniny nastává dotlakem. Jakmile stroj není schopen překonat tlakové ztráty, dojde k poklesu rychlosti vstříku taveniny a ochlazení plastu v dutině formy a ve vtokovém systému. [7]



Obr. 9. Studený vtok [8]

Při proudění polymerní taveniny studeným vtokovým systémem dochází vlivem tření k vývinu tepla, které se soustředí do míst s nejvyšším smykovým napětím. Zde může docházet k výraznému zvýšení teploty. Toto zvýšení je sice krátkodobé, ale u citlivých plastů může docházet k degradaci. Tepelná vodivost plastů je nízká, proto není velké ohřátí v těchto místech. [4]

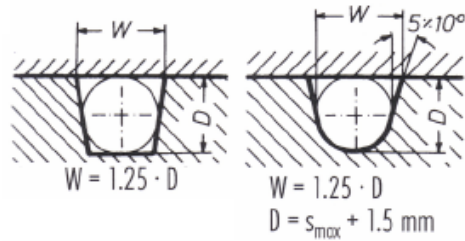
### 2.1.2 Vtokový kanál

Vtokový kanál je vytvořený uvnitř vtokové vložky a nejobvykleji bývá kuželový. Vede buď do výstřiku, nebo do rozváděcích kanálů. Vtoková vložka s vtokovým kanálem se vyrábí z houževnaté, pevné, ořezuvzdorné oceli a je tepelně zpracována. [5]

### 2.1.3 Rozváděcí kanály

Rozváděcí kanály (Obr. 10) spojují tvářecí dutinu se vtokovým kanálem. Délka rozváděcích kanálů je dána typem formy. Velikost průřezů určuje mnoho činitelů, kteří se ovlivňují navzájem. Jejich volba je s ohledem na:

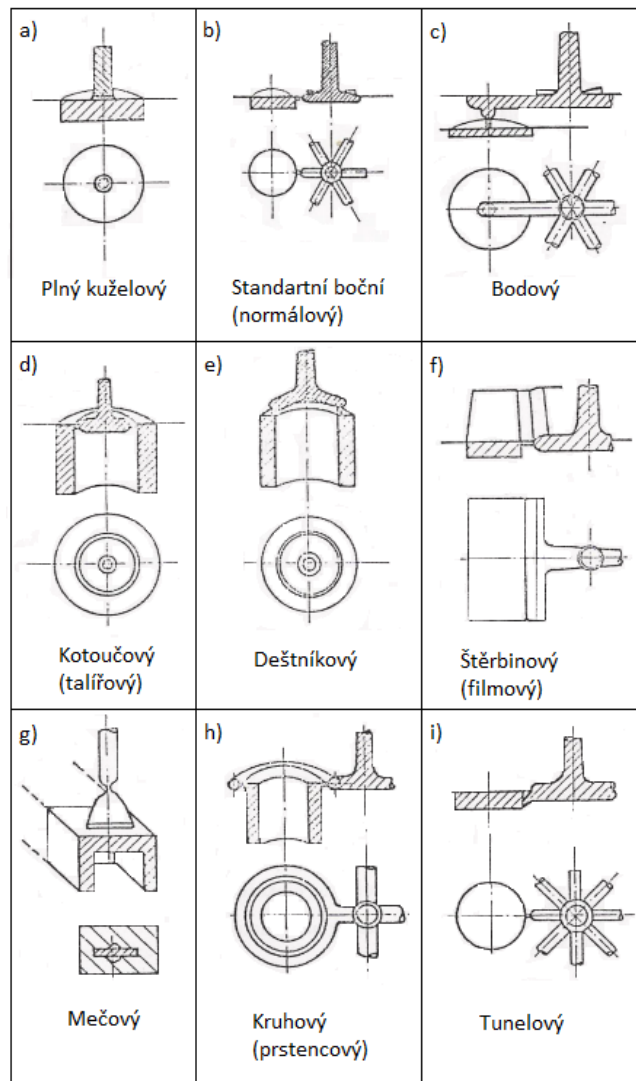
- reologické a tepelné vlastnosti taveniny, hlavně její tepelnou vodivost, viskozitu apod.,
- charakter výstřiku, především předpokládanou dobu dotlaku a tloušťku stěn,
- vstříkovací stroj, vstříkovací rychlost a tlak atd.. [10]



Obr. 10. Průřezy rozvodných kanálů [3]

### 2.1.4 Vtokové ústí

Vtokové ústí (Obr. 11) se vytvoří zúžením rozvodného kanálu. Díky zúžení se zvýší teplota taveniny před vstupem do tvarové dutiny. Omezí se vytváření povrchových defektů, díky zredukování strhávání chladných vrstev z obvodu vtoku. [10]

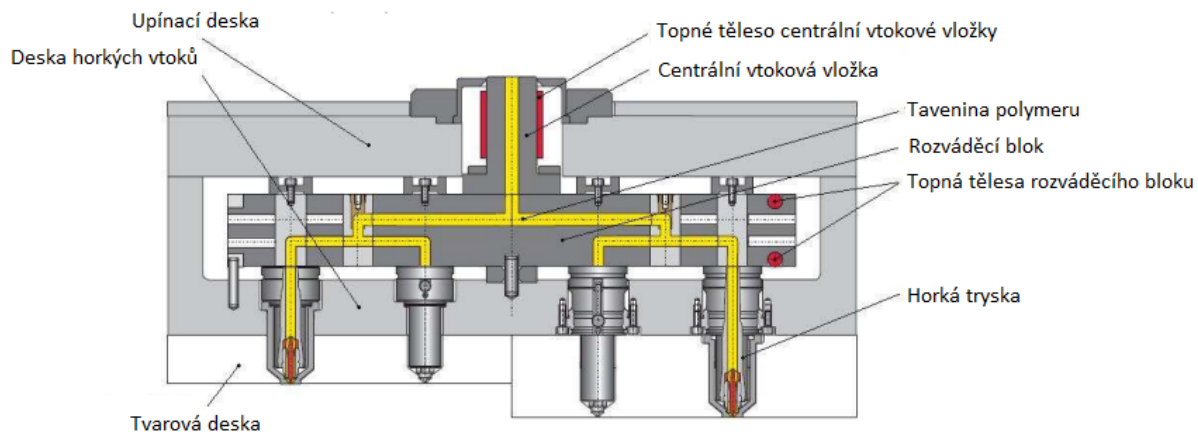


Obr. 11. Typy vtokových ústí [8]

### 2.1.5 Horké vtokové systémy

Úspora práce i materiálu vedla k jiné metodě vstřikování, a to bez vtokového zbytku. Provádí se pomocí vyhřívaných vtokových soustav. [6]

V dnešní době je nejčastějším řešením uložení rozváděcích kanálů do desky nebo do ohřívaného rozváděcího bloku. Rozváděcí blok je vložen mezi upínací a tvarovou desku formy. Tavenina proudí rozváděcími kanály. Teplo je přiváděné do bloku pomocí topných těles a vstupuje do taveniny stěnami rozváděcího kanálu. [6]

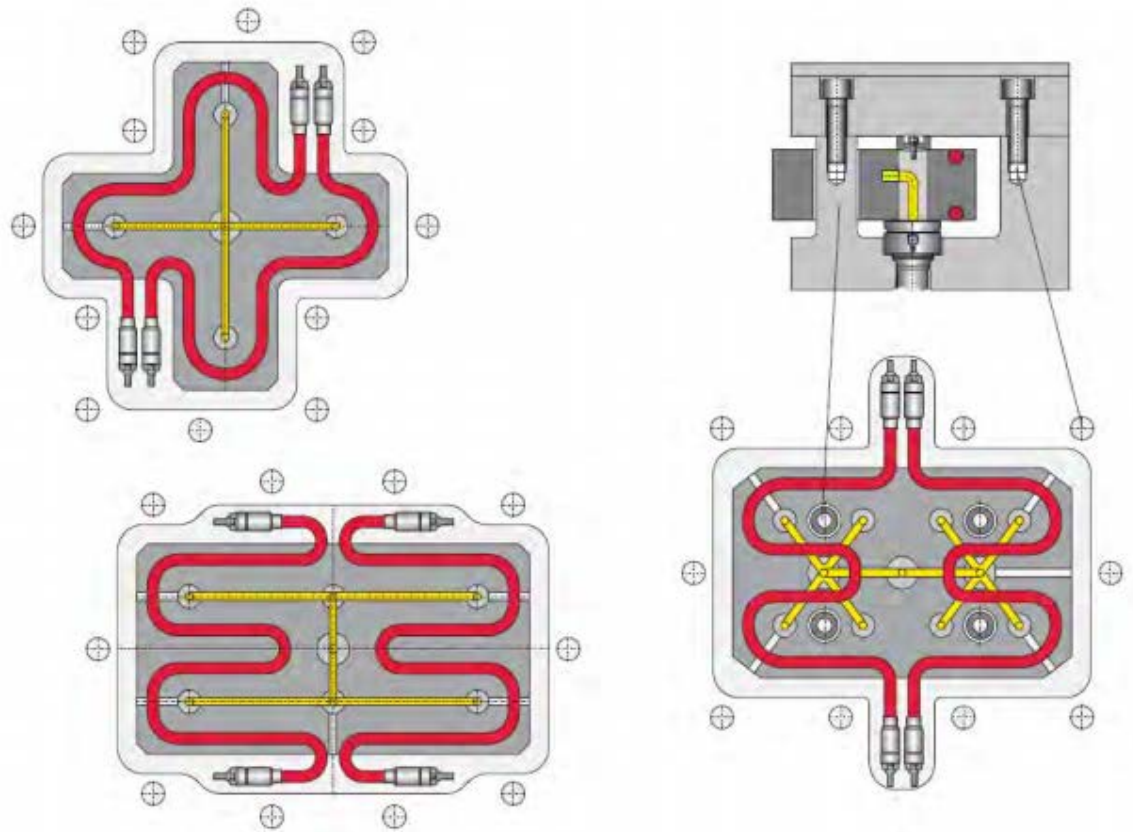


Obr. 12. Horký vtokový systém [9]

Ohřívání rozváděcího bloku:

- topnými deskami,
- válcovými topnými tělesy,
- topnými tyčemi zalitými v bloku. [5]

Vyrábí se ve tvaru I, X, H, Y, hvězdice apod. (Obr. 13)



Obr. 13. Příklady rozvodných bloků [9]

Nevýhodou vyhřívaného vtokového systému je nutnost vypočítat délkové roztažnosti bloku, z důvodu přesného umístění trysky proti vtoku. Umožňuje to použít pouze bodové ústí malého průřezu, které je pro širokou oblast výrobků vhodné. Všechny bezvtokové způsoby vstřikování musí mít zahloubení v místě vyústění. Celá soustava má snadnou montáž, demontáž i čištění. [5]

## 2.2 Vyhazovací systém

Vyhazovací systémy se používají k odstranění výstřiku z otevřené formy a zajišťují svojí funkcí automatický výrobní cyklus. Konstrukční řešení vyhazovacího systému je rozmanité, záleží na velikosti, tvaru a materiálu výstřiku.

Pracuje ve dvou fázích:

- pohyb vpřed (vlastní vyhazování),
- pohyb vzad (návrat vyhazovacího systému do své původní polohy).



### 2.2.1 Vyhazovací síla

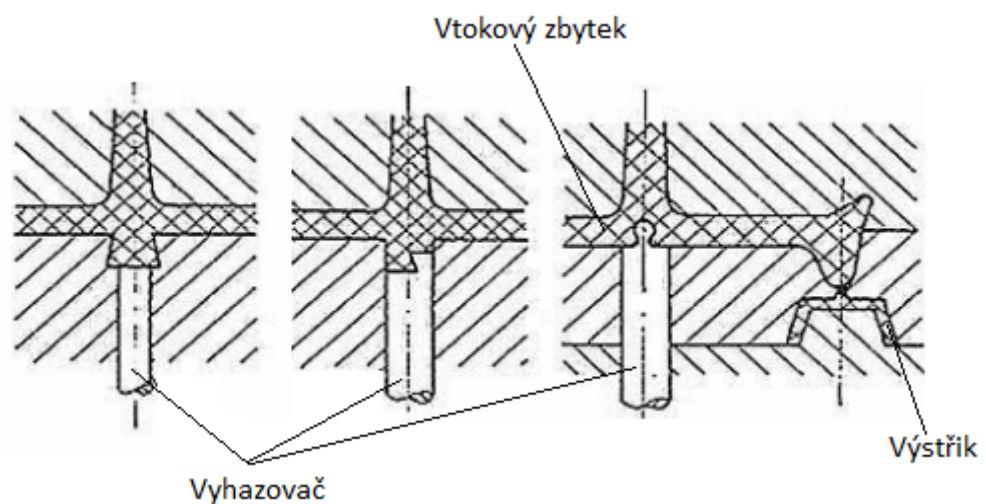
Vhodný vyhazovací systém, který je použit, musí vyvolat potřebnou vyhazovací sílu pro vyhození výstřiku z otevřené formy. Výstřik zůstává vlivem smrštění po otevření formy obvykle na tvárníku, může i na tvárnici. Proto je nutné zajistit, aby zůstal v té části formy, kde se nachází vyhazovače. [7]

Velikost vyhazovací síly je závislá na:

- jakosti povrchu funkčních ploch formy a členitosti výstřiku,
- velikosti smrštění ve formě,
- pružných deformací formy,
- technologických podmínek vstřikování (teplota, tlak, doba chlazení). [7]

### 2.2.2 Vyhození vtokového zbytku

Při otvírání formy je potřeba zajistit, aby vtokový zbytek byl přidržen na straně vyhazovacího systému, dokud není vytažen vtok z vtokové vložky. Potom je vyhazovacím systémem vyhozen výstřik i s vtokovým zbytkem. Použití způsobu přidržení se odvíjí od funkce vtokového zbytku a koncepce formy.

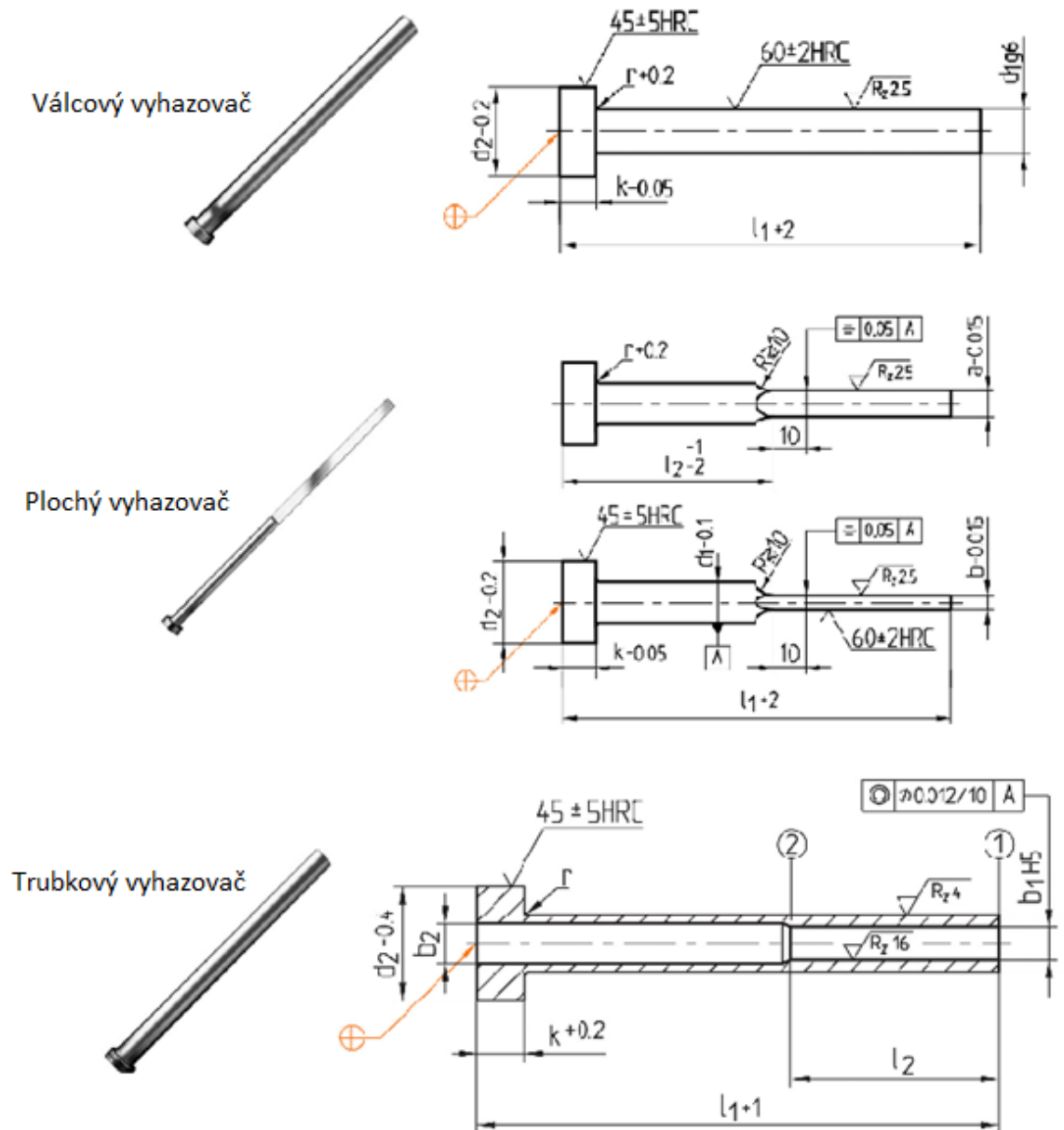


Obr. 14. Způsoby přidržení a vyhození vtokového zbytku [8]

### 2.2.3 Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků

Nejlevnější a nejčastější způsob kvůli své výrobní jednoduchosti a to se zaručenou funkčností. Užívá se tam, kde je možné umístit vyhazovací kolíky proti ploše výstřiku ve směru vyhazování.

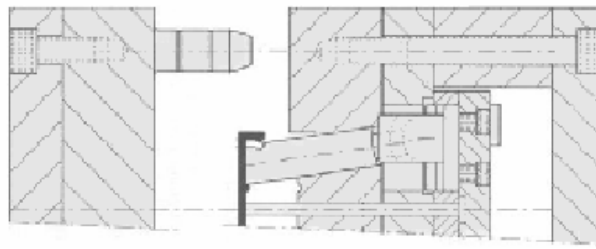
Uložení kolíků ve formě bývá nejčastěji v tolerancích H7/g6, H7/h6, H7/j6 podle teplotnosti plastu a požadované funkce. Díky tomuhle uložení se získá dostatečná vůle, která slouží pro odvzdušnění.



Obr. 15. Typy vyhazovačů

### 2.2.4 Vyhazování pomocí šikmých vyhazovačů

Jedná se o speciální způsob vyhazování, kolíky jsou umístěny vůči dělicí rovině pod různými úhly. Používá se u středních a malých výstřiků, které mají mělký vnější nebo vnitřní zápich.



Obr. 16. Šikmé vyhazovače

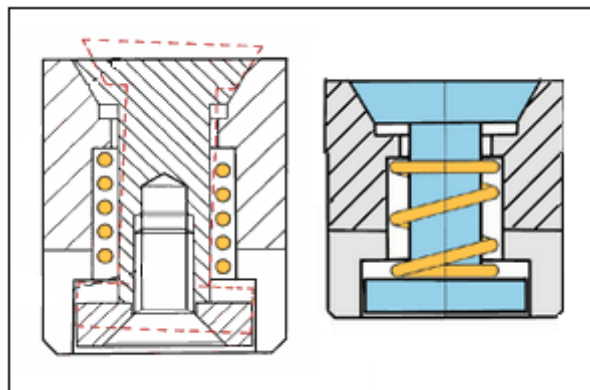
### 2.2.5 Pneumatické vyhazování

Pneumatický vyhazovací systém je nejvhodnější pro tenkostěnné díly větších rozměrů, nejčastěji ve tvaru nádob, které se musí při vyhazování odvzdušnit, aby nedocházelo k deformaci. Běžně používané mechanické vyhazování používané u větších výstřiků vyžaduje velký zdvih vyhazovače a tím větší délku formy.

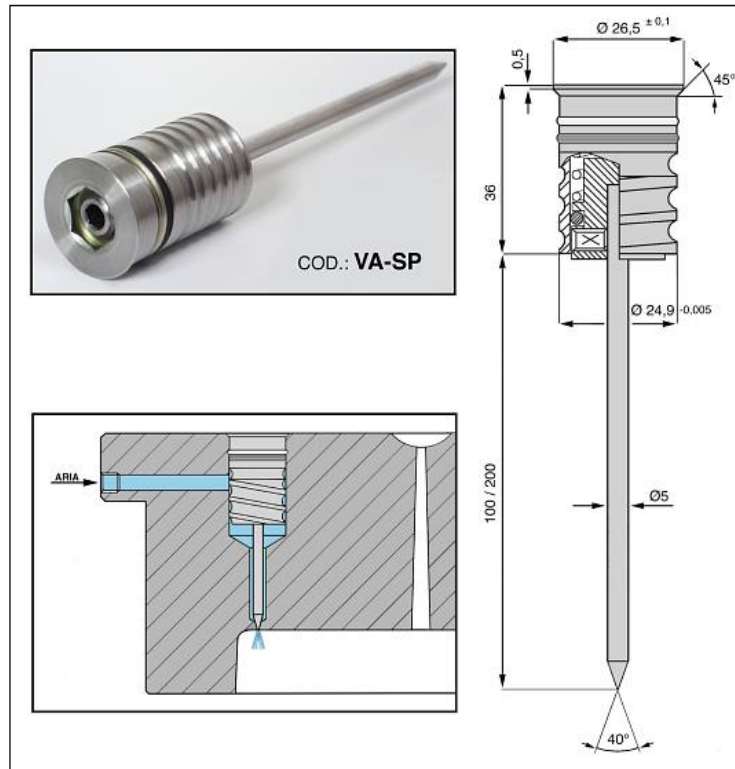
Pneumatické vyhazování přivádí stlačený vzduch mezi líc formy a výstřik. Tím se dosáhne rovnoměrného oddělení výstřiku od formy a nevzniknou stopy po vyhazovačích. Použití je omezeno pouze na určité tvary.

Pneumatické vyhazování je ovládáno mechanismem vstřikovacího stroje nebo formy.

Vzduch se přivádí do formy přes ventily (Obr. 17, Obr. 18). Otevření ventilu je řízeno tlakem a jeho zavření pomocí pružiny.



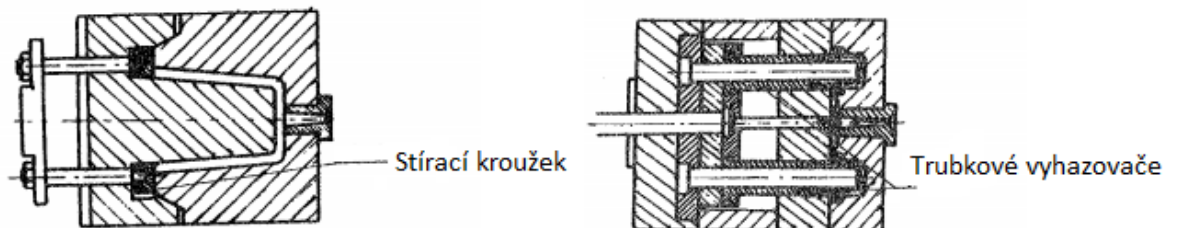
Obr. 17. Vzduchový ventil [17]



Obr. 18. Vzduchový ventil s jehlou [18]

### 2.2.6 Vyhazování stírací deskou

Vyhazování stírací deskou funguje na principu stírání výstřiku po celém jeho obvodu. Tento způsob je použit u výstřiků, na kterých by stopa po vyhazovačích vadila. Kvůli velké stykové ploše nezanechá stopu a způsobuje minimální deformace výstřiku. Je použit zejména u tenkostěnných výstřiků, kde by mohla nastat velká deformace díky vyhazovači, a tam kde je požadovaná velká vyhazovací síla. Jediné kritérium pro použití je, aby výstřík dosedal v rovině případně v mírně zakřivené ploše na stírací desku. Speciální případ je trubkový vyhazovač. [7]



Obr. 19. Vyhazování stírací deskou [8]

### 2.3 Odvzdušnění forem

Odvzdušnění tvarových dutin forem nepatří k hlavním problémům při navrhování formy. Jeho důležitost většinou vyplyne až při zkouškách hotového nástroje, kdy špatné odvzdušnění může být příčinou nízkých mechanických vlastností nebo nekvalitního vzhledu výstřiku. Někdy lze snadno zhotovit, jindy je jeho řešení velmi obtížné. [7]

Tvarová dutina formy je před vstřikováním vždy naplněna vzduchem. Při jejím postupném plnění je potřeba zajistit únik vzduchu. Čím větší vstřikovací rychlost, tím musí být účinnější odvzdušnění. [7]

Nejobvyklejším jevem při rychlém plnění je stlačení vzduchu, který se v důsledku vysokého tlaku silně ohřívá a způsobuje Dieselův jev (spálené místo na výstřiku). Z pevnostních a vzhledových důvodů to není přípustné. Proto musí být odvzdušnění účinné. [4]

Při pomalém plnění nastává tvoření a uvolňování ztuhlého polymeru ze stěn formy a strhávání do proudící taveniny. Tyhle částice potom působí jako heterogenní vměstky a nepříznivě ovlivňují vlastnosti výstřiku. Dále zvyšují riziko vzniku studených spojů v místech styku dvou, nebo více proudů taveniny. Negativně působí na mechanické vlastnosti výstřiků, zvláště u amorfních plastů. [4]

Při větších tloušťkách stěn výstřiku a určitém stavu technologických parametrů, může vzduch, který není z formy vytlačen, vniknout do taveniny a po zchladnutí zůstane jako bublina. Ve výstřiku jsou rozloženy na protilehlé straně vtoku. Bubliny vzniklé z jiných důvodů (vlhkost nebo přehřátí polymeru), jsou rozloženy po celém výstřiku po zchladnutí. Tím se od sebe liší. [4]

### 2.4 Temperování forem

Temperace slouží k udržení konstantního teplotního režimu formy. Cílem je dosažení optimálně krátkého pracovního cyklu vstřikování při zachování ostatních technologických požadavků. Uskutečňuje se tak ochlazováním nebo vyhříváním formy nebo její části. [3]

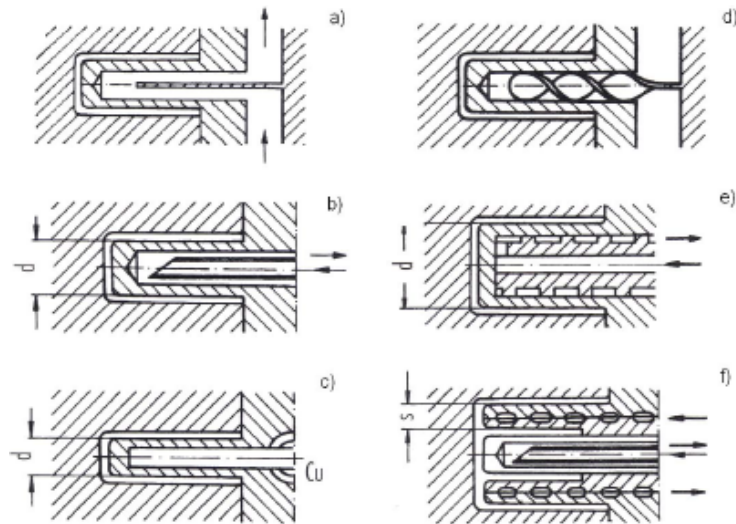
Tab. 1. Požadované teploty formy a taveniny [8]

Termoplast	Teplota taveniny [°C]	Teplota formy [°C]
ABS	190-250	50-85
PA 6	230-290	40-120
PC	280-320	85-120
HDPE	180-270	20-60
LDPE	180-270	20-60
PMMA	200-250	50-80
POM	180-220	50-120
PP	170-280	20-100
PS	180-260	55-80
PVC tvrdé	190-220	30-60
SAN	200-260	50-85
PSU	340-400	120-160
PAEK	380-430	160-220
LCP	310-360	65-95

V průběhu vstřikování se do formy přivádí polymerní tavenina, která se v dutině ochlazuje na vyhazovací teplotu. Temperování ovlivňuje plnění tvarové dutiny formy a obstarává optimální tuhnutí polymeru. Forma se ohřívá při každém vstřiku. Každý výstřik je potřeba vyrobit při stanovené teplotě. Proto je zapotřebí toto přebytečné teplo v průběhu pracovního cyklu odvést temperační soustavou. I před zahájení výroby je nutné nejdříve vyhřát formu na pracovní teplotu, jinak by nebyla zaručena požadovaná kvalita výstřiku. [3]

Úkol temperace:

- odvést teplo z dutiny formy naplněné taveninou, aby byl pracovní cyklus ekonomický,
- zajistit optimální teplotu formy po celém jejím povrchu. [3]



Obr. 20. Příklady temperačních kanálů [3]

- a) přepážka; b) trubka; c) tepelně vodivá tyč z Cu;  
d) vložka se šroubovicí; e,f) kombinované způsoby

## 2.5 Materiály pro výrobu forem

Formy jsou velice nákladné nástroje sestavené z funkčních a pomocných dílů. Při výrobě výstřiků se od nich požaduje dosažení určité kvality, nízkých pořizovacích nákladů a životnosti. [7]

Hlavním činitelem pro splnění těchto podmínek je použitý materiál forem, který je ovlivňován provozními podmínkami výroby, určené:

- přesnosti výstřiku,
- druhem vstřikovaného plastu,
- podmínkami vstřikování,
- vstřikovacím strojem. [7]

Pro výrobu forem se používají materiály, které splňují provozní požadavky. Je dána přednost univerzálním typům materiálů s širokým rozsahem užitečných vlastností. Tyhle druhy představují:

- oceli vhodných jakostí,
- neželezné slitiny kovů (Al, Cu, atd.),
- ostatní materiály (tepelně nevodivé, izolační, aj.). [7]

Je třeba věnovat pozornost i ostatním druhům materiálům. Některé jejich vlastnosti (izolační, tepelně vodivé, apod.) je předurčují pro speciální použití na různé díly forem. Bylo by těžké se bez nich obejít. [7]

Z hlediska technologie výroby má materiál funkčních dílů zajišťovat speciální požadavky na kvalitu struktury:

- zvýšená odolnost proti otěru,
- dobrá leštitelnost a obrousitelnost,
- odolnost proti chemickým vlivům plastu a korozi,
- vyhovující kalitelnost a prokalitelnost,
- vhodné fyzikální vlastnosti,
- stálost rozměrů a minimální deformace při kalení. [7]

Jednotlivé díly forem mají různé funkce. Proto vyžadují specifické požadavky na volbu materiálu, ze kterého budou vyrobeny. Správný výběr má odpovídat určité funkci, s ohledem na životnost a opotřebení. [7]

Na použité materiály pro výrobu forem se vyžaduje především:

- dobrá obrobiteľnosť,
- dostatečná mechanická pevnosť. [7]



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

### 3 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Pro původní díl (Obr. 21) byla vytvořena forma a vstříkován polykarbonátem od firmy Chi Mei typu Wonderlite PC – 122 U, následně vystříknuté díly vykazovaly velké smrštění, které bylo způsobeno použitým polykarbonátem. Nevyhovující materiál byl nahrazen PC Lexan 121, který vykazoval nižší smrštění než předchozí, jeho tokové vlastnosti byly podobné jako u předchozího a splňoval všechny požadavky pro jeho použití, dále byla vytvořena forma a provedena analýza.



Obr. 21. Ukázka původního dílu

## **4 POUŽITÉ PROGRAMY**

### **4.1 Catia V5R19**

Catia je multiplatformní PLC/CAD/CAM/CAE komerční software, který je vyvíjený společností Dassult Systèmes. Patří mezi historicky první a dodnes je komerčně nejúspěšnější 3D CAD software pro návrh výrobku. Jako první produkt na trhu podporoval trend digitálního prototypu výrobku a digitální továrny, dále řízení procesů, údajů a dokumentace o výrobku v průběhu celého životního cyklu výrobku, tzn. PLM (Product Lifecycle Management). Pomocí těchto nástrojů mohou firmy využívat produkty DS a pokrýt kompletní životní cyklus výrobku, tzn. od koncepčního návrhu designu, přes vlastní konstrukci, simulace, různé analýzy a optimalizace až po tvorbu dokumentace a NC programů pro výrobu. [20]

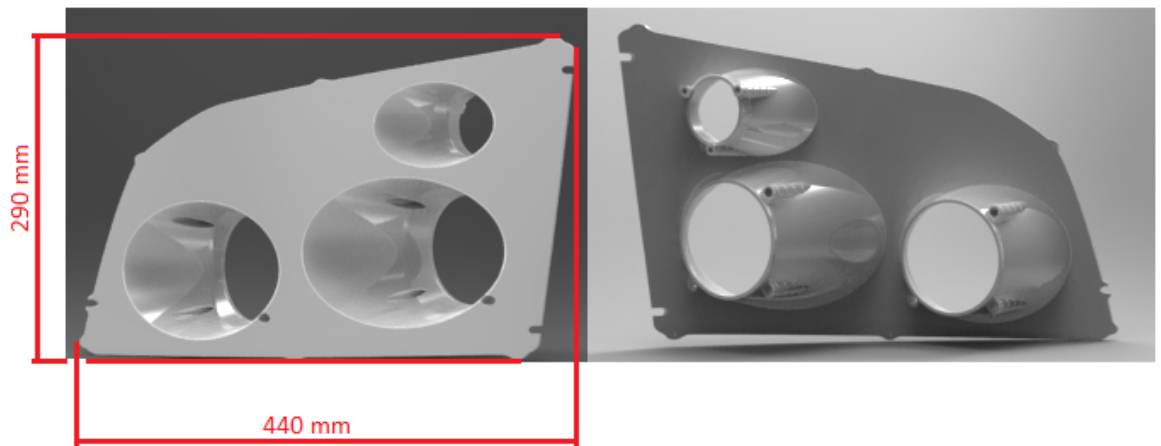
### **4.2 Autodesk Simulation Moldflow Insight 2013**

Autodesk Moldflow Insight je nástroj pro simulaci vstřikovacího procesu na digitálním prototypu. Tento software poskytuje možnost hloubkově řešit, vyhodnocovat a optimalizovat vstřikovací formu i plastový díl a tím napomáhá ke studiu vstřikovacích procesů, užívaných v současné době. Autodesk Moldflow využívají přední světový výrobci v automobilovém průmyslu, zdravotního materiálu i obalů k tomu i v odvětví spotřební elektroniky, aby jim ušetřili náklady. [21]

## 5 SPECIFIKACE VÝROBKU

### 5.1 Vstříkovaný díl

Vstříkovaný plastový díl je součástí světlometu stavebního stroje Volvo o průměrné tloušťce 3 mm. Má obdélníkový tvar s jedním zakulaceným rohem a třemi otvory. Díl je přichycen pomocí šroubů, které lze vidět po obvodu dílu. Celkový objem činí 372 cm<sup>3</sup>.



Obr. 22. Vstříkovaný díl



Obr. 23. Volvo A35G, A40G FS dumper

## 5.2 Materiál výrobku

Zvolený materiál pro výrobu výstřiku je polykarbonát (PC) Lexan. Vyniká svou vysokou nárazovou odolností a stálostí od  $-40\text{ °C}$  do  $+120\text{ °C}$  a má nízkou hmotnost. Lexan má díky svým vlastnostem široké využití v mnoha oblastech např. ve stavebnictví, zemědělství atd.

Tab. 2. Vlastnosti vstřikovaného materiálu PC Lexan 121

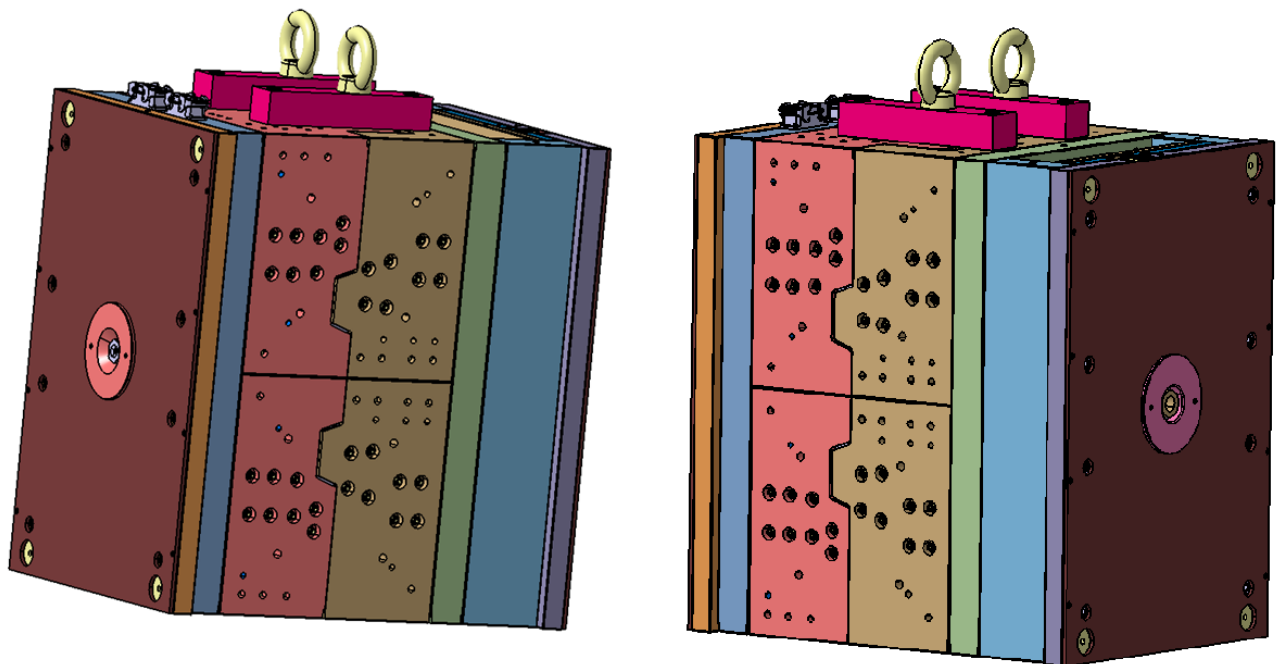
Minimální teplota taveniny	280 °C
Maximální teplota taveniny	305 °C
Degradační teplota	350 °C
Teplota pro vyhození z formy	160 °C
Maximální smykové napětí	0,5 MPa
Maximální rychlost smykové deformace	40 000 1/s
Hustota taveniny polymeru	1,0521 g/cm <sup>3</sup>
Hustota při pokojové teplotě	1,1915 g/cm <sup>3</sup>
Poissonova konstanta	0,417
Modul pružnosti ve smyku	804 MPa
Modul pružnosti v tahu	2280 MPa
Smrštění	0,5-0,7 %

## 6 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Z důvodu velikosti samotného dílu je forma dvojnásobná a vstříkuje se zároveň levý a pravý díl světlometu. Forma má jednu dělicí rovinu a skládá se z pravé nepohyblivé části, levé pohyblivé strany a vyhazovacího systému. Vtokový systém je kombinací horkého a studeného vtoku. Forma je opatřena horkým rozvodným blokem s dvěma tryskami. Vtok je zakončen čtyřmi bodovými vtoky na každé straně formy. Díl je vyhozen pomocí devíti vyhazovačů, z nichž jsou tři trubkové a zbytek tvoří válcové vyhazovače. Vtokový zbytek je vyhozen pěti vyhazovači, které ho zároveň přidržují při otevírání formy.

Tab. 3. Rozměry formy

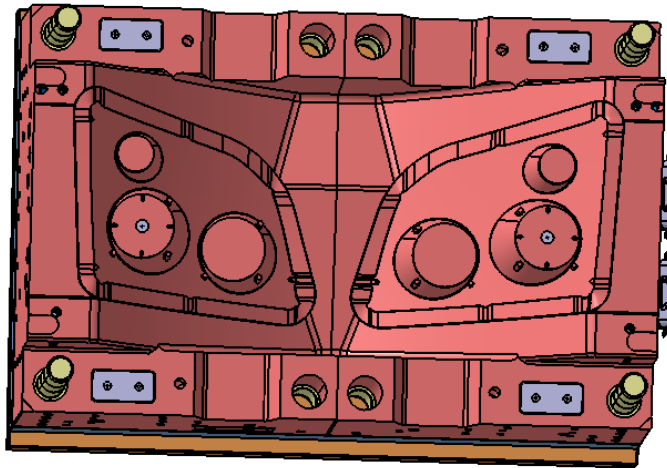
Rozměry [mm]	
Osa X	646
Osa Y	996
Osa Z	929



Obr. 24. Vstřikovací forma

## 6.1 Pravá strana vstřikovací formy

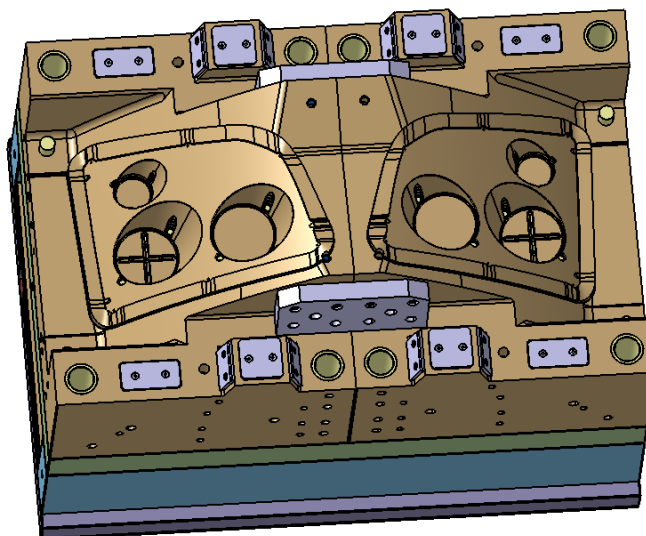
Nepohyblivá strana formy je tvořena tvárnici, vodícími prvky, ohřivaným rozvodným blokem, upínací deskou, na které je upevněna izolační deska (zamezuje tepelným ztrátám do rámu vstřikovacího stroje) a středící kroužek pro přesné usazení formy na vstřikovací stroj. Součástí pravé strany jsou čtyři temperační okruhy.



Obr. 25. Pohled na pravou stranu formy

## 6.2 Levá strana vstřikovací formy

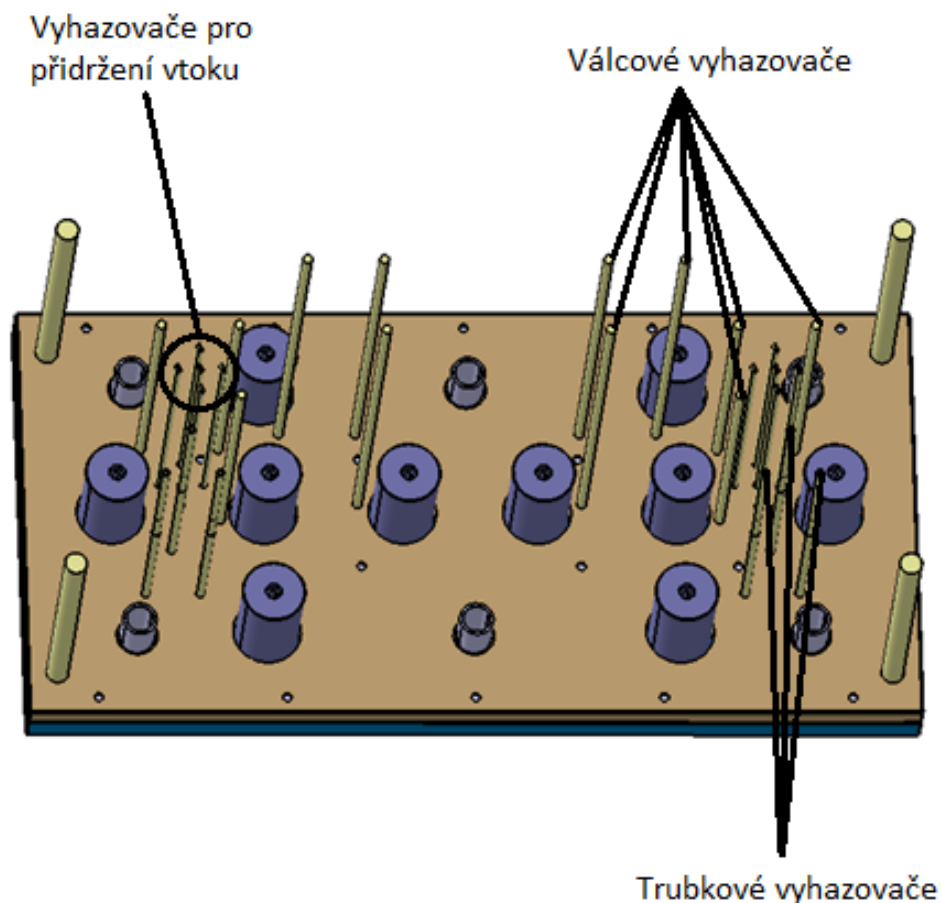
Pohyblivá strana formy je tvořena tvárníkem, vodícími prvky, opěrnou deskou, rozpěrkami, upínací deskou, na které je připevněna izolační deska a středícím kroužkem. V levé části formy jsou čtyři temperační okruhy.



Obr. 26. Pohled na levou stranu formy

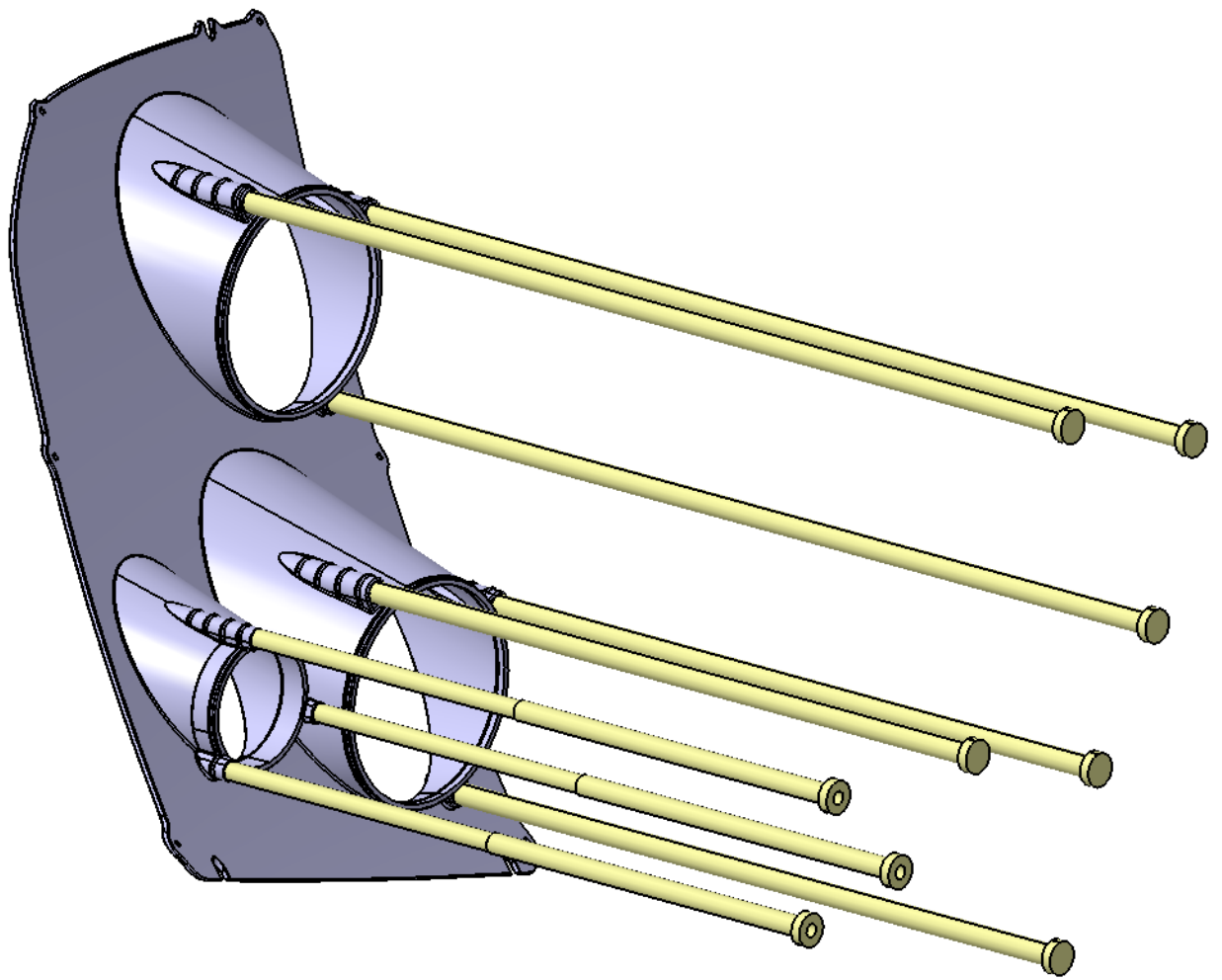
### 6.3 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém je tvořen válcovými, trubkovými a speciálními vyhazovači, z toho je dvanáct válcových, šest trubkových a deset speciálních vyhazovačů, které mají za úkol přidržet vtokový zbytek při otevírání formy a následně ho vyhodit. Vyhazovače jsou ukotveny v kotevní vyhazovací desce, která je spojena s opěrnou vyhazovací deskou pomocí osmnácti šroubů. Celý vyhazovací systém je řízen tahem, který je vyvozován silou vstřikovacího stroje. Pro celkové vyhození výstřiku by výška zdvihu vyhazovačů měla být větší, než je samotný výrobek. V praxi se běžně používá, že se cyklus pohybu vyhazovačů opakuje 2x.



Obr. 27. Pohled na vyhazovací systém

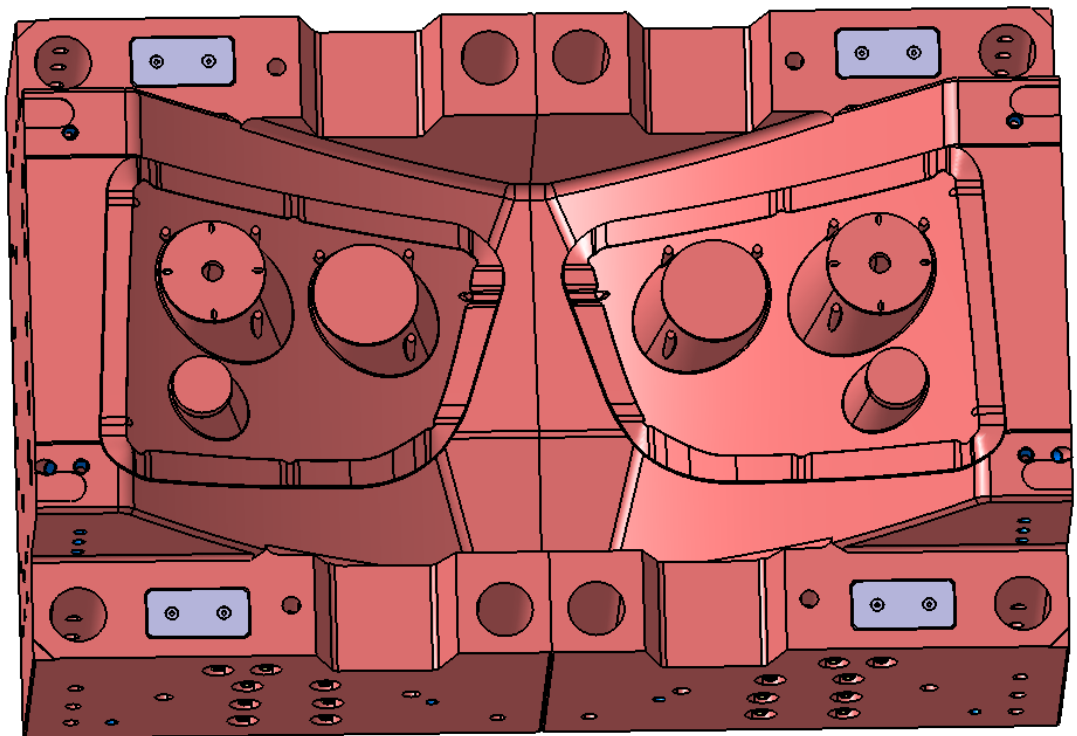




Obr. 28. Rozmístění vyhazovačů

## 6.4 Tvárnice

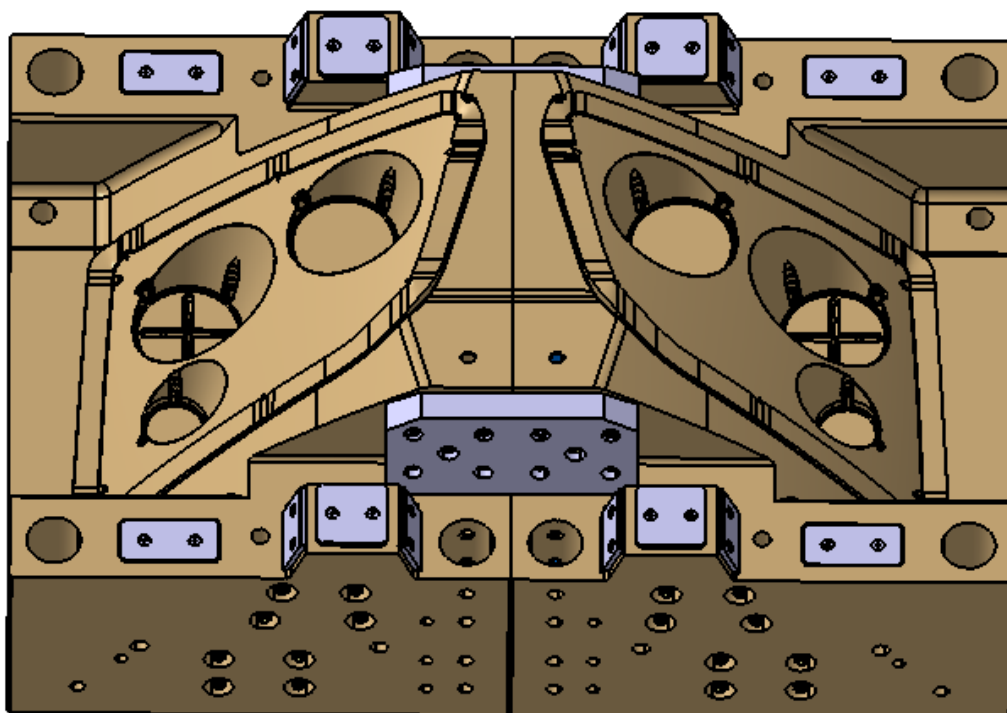
Tvárnice pro dvojnásobnou formu je tvořena ze dvou samostatných částí, pro lepší vyměnitelnost opotřebovaných ploch (např. abrazí). Tvoří pohledovou část výrobku, proto je potřeba, aby materiál na jeho její výrobu byl dobře obrobitelný a měl dobré mechanické vlastnosti. Do tvárnice jsou vyvrtány otvory pro čtyři temperační okruhy. V tvárnici je zakončení vtokové soustavy, při otevření formy dojde k odstřížení bodového vtoku.



Obr. 29. Tvárnice

## 6.5 Tvárník

Tvárník je stejně jako tvárnice tvořen ze dvou kusů, pro lepší vyměnitelnost opotřebovaných ploch. V tvárníku je vyfrézována drážka pro rozvodný kanál U-tvaru, oba rozvodné kanály jsou přidrženy pěti přidržovači. Tvárník má čtyři temperační okruhy.



Obr. 30. Tvárník

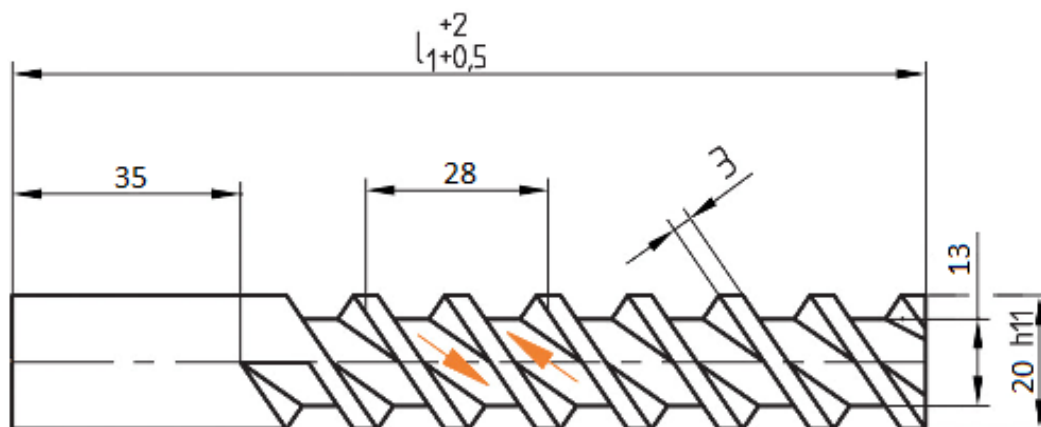
## 6.6 Temperační systém

Pro temperaci tvarových částí formy byl vytvořen jeden návrh, který byl následně modifikován.

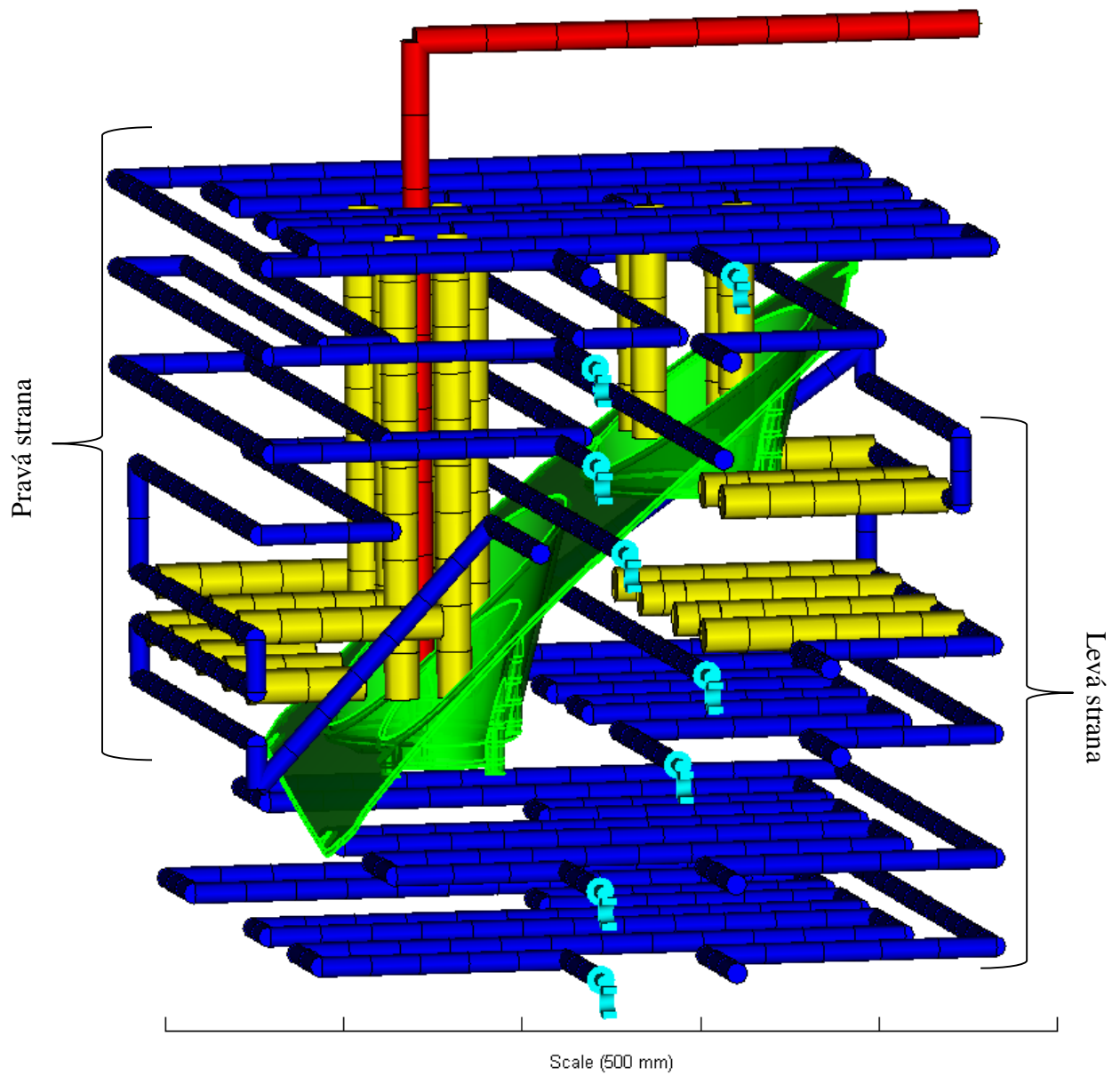
Forma je temperovaná osmy nezávislými okruhy. Na levé straně formy jsou čtyři okruhy a je použito sedm přepážek, které mají za úkol se lépe dostat ke stěnám výrobku a tím je rychleji ochladit na vyhazovací teplotu. Pravá strana formy potřebuje velmi intenzivní chlazení, z důvodu použití horké vtokové soustavy. Zde se nacházejí čtyři okruhy, z nichž ve dvou jsou přepážky k intenzivnějšímu chlazení. Spodní okruh tvoří soustavu deseti přepážek, které jsou vedeny až do otvorů výrobku a tím chladí vnitřní stěny, tyhle přepážky byly následně vyměněny za spirály a provedena opět analýza. Touto změnou se zjistí, zdali dojde k účinnějšímu odvodu tepla z dutiny formy. V tabulce jsou uvedeny parametry temperace.

Tab. 4. Temperace

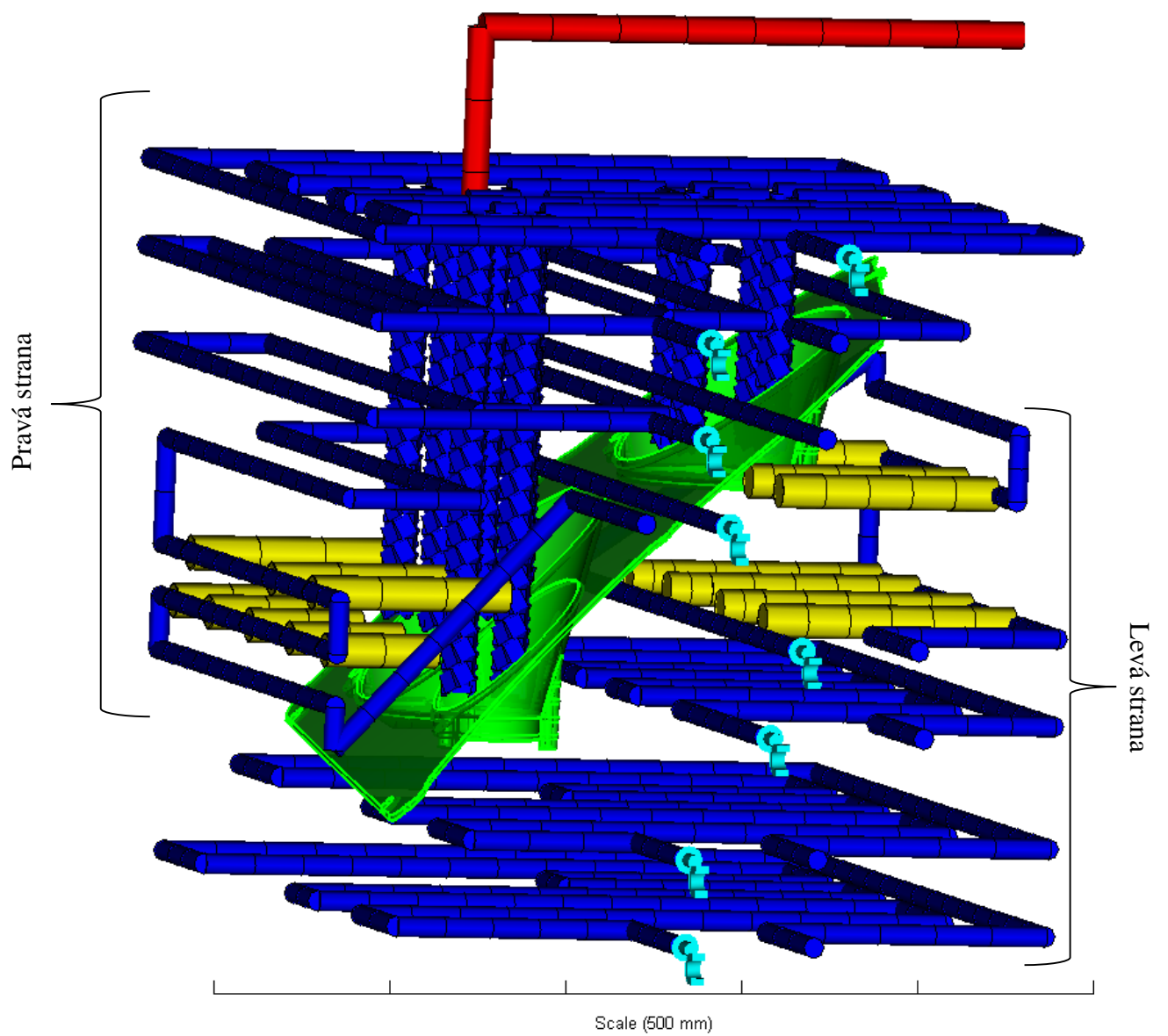
Parametry temperace	
Průměr kanálů	12 mm
Průměr přepážek a spirál	20 mm
Použité chladicí médium	Voda
Teplota chladicího média	85 °C
Průtok	15 lit. / min



Obr. 31. Parametry spirály



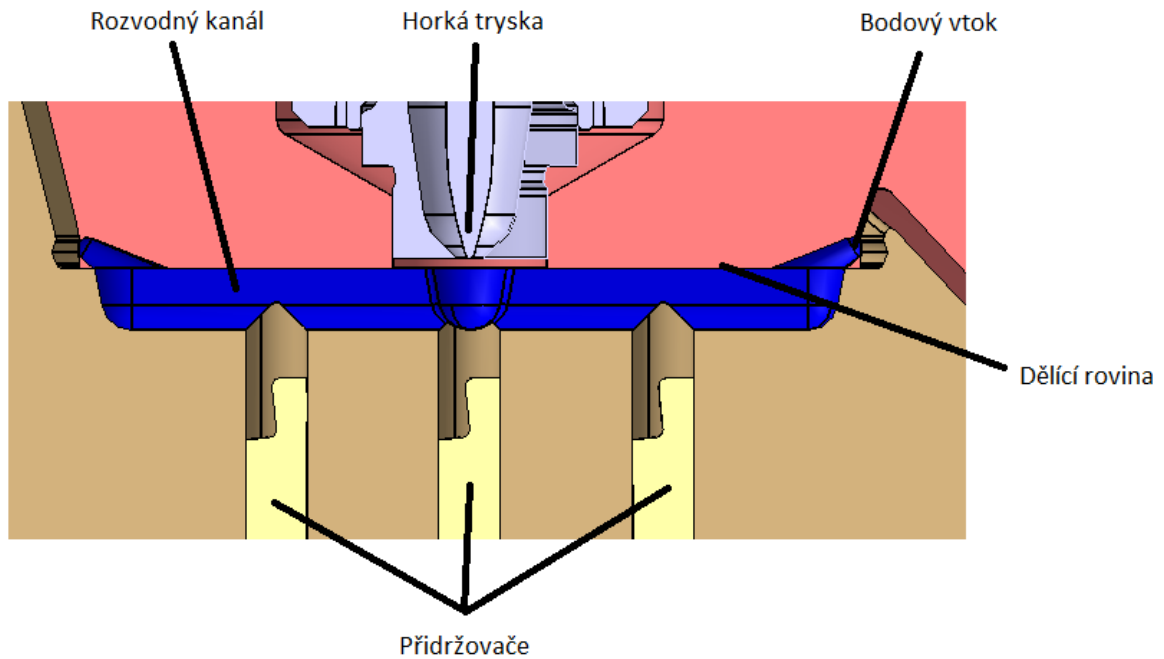
Obr. 32. Temperace 1



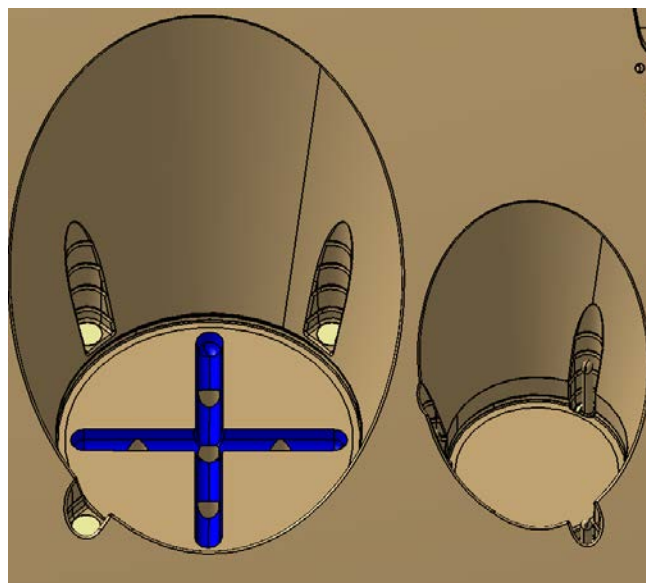
Obr. 33. Temperace 2

## 6.7 Vtokový systém

Vtokový systém je kombinací horké trysky a studeného rozvodného kanálu. Horká tryska má průměr 16 mm. Čtyři větve studeného rozvodného kanálu jsou umístěny na straně tvárníku. V tvárnici jsou pak vytvořeny bodové vtoky. Vtokový zbytek je při otevření formy přidržován na levé straně formy pomocí pěti přidržovačů. Při vyhazování je vtokový zbytek odstříhnut od výstřiku o ostrou hranu ve vtokovém ústí.



Obr. 34. Popis rozvodného kanálu



Obr. 35. Detail umístění rozvodného kanálu

## 7 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Pro vstřikování je používán vstřikovací stroj firmy Ferromatik Milacron typu Maxi-  
ma 1000/SE6610 – V24, V30. Tento stroj splňuje všechny procesní i rozměrové parametry.



Obr. 36. Vstřikovací stroj Ferromatik Milacron

Tab. 5. Parametry vstřikovacího stroje a programu Moldflow

	Vstřikovací stroj	Moldflow
Průměr šneku	100 mm	100 mm
L/D	22,2	-
Maximální zprac. objem	3456 cm <sup>3</sup>	523 cm <sup>3</sup>
Maximální uzavírací síla	1000 tun	451,2 tun
Uzavírací jednotka	Hydraulická	-
Vzdálenost mezi vodícími sloupky	1550 x 1200 mm	996 x 646 mm
Minimální výška formy	500 mm	929 mm
Maximální délka otevření formy	1300 mm	1150 mm



## 8 ANALÝZA VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU

### 8.1 Procesní podmínky

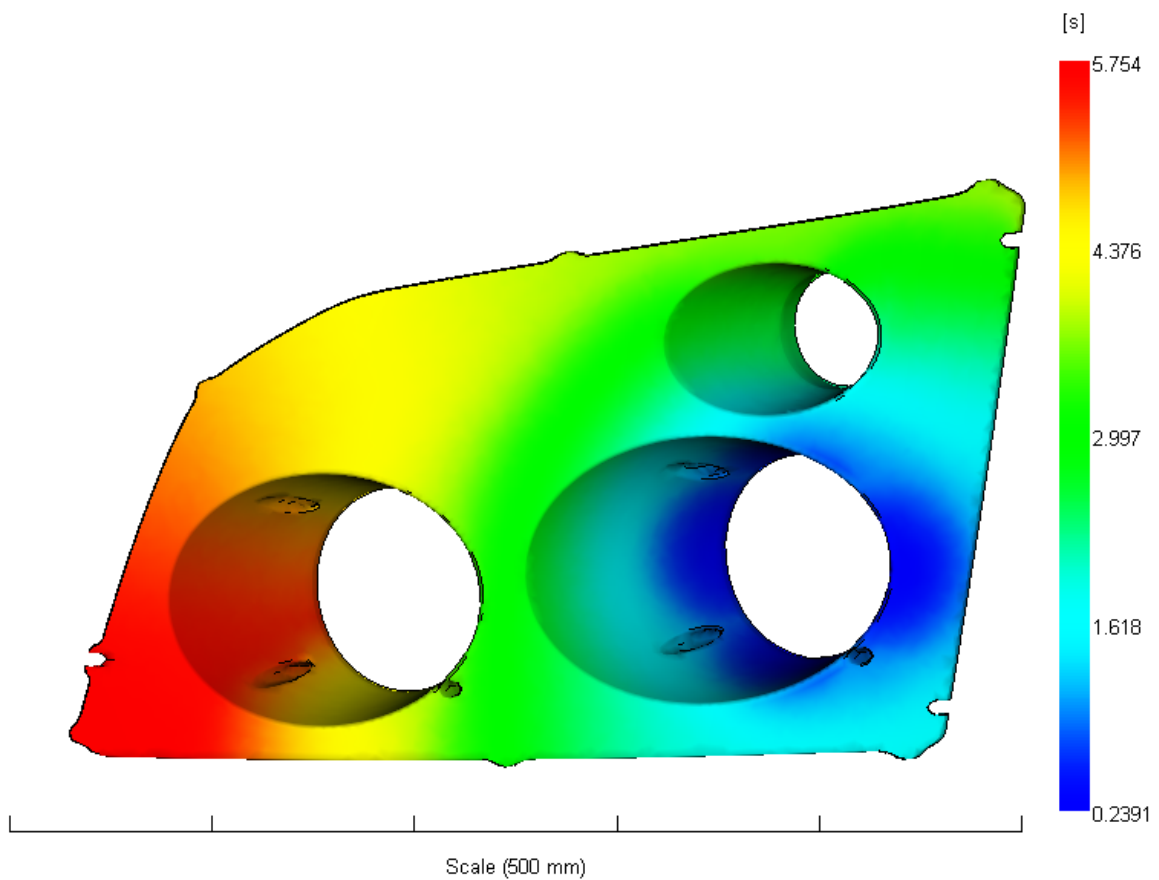
Volba procesních podmínek je velice důležitá a je dána použitým polymerem. Vhodným výběrem procesních podmínek lze odstranit některé vady (deformace výstřiku, nedotečení taveniny) nebo se může příznivě ovlivnit ekonomika výroby (zkrácení doby cyklu, snížení nákladů)

Tab. 6. Procesní podmínky

Procesní podmínky	
Teplota formy	90 °C
Teplota taveniny	290 °C
Čas otevření formy	4 s
Čas cyklu	80 s
Čas vstřiku	5 s
Přepnutí na dotlak při zaplnění dutiny formy z	99 %
Dotlaková fáze	25 s
Teplota chladícího média	85 °C
Průtok chladícího média	15 lit. /min
Teplota horkého vtoku	290 °C

## 8.2 Fill time – čas plnění

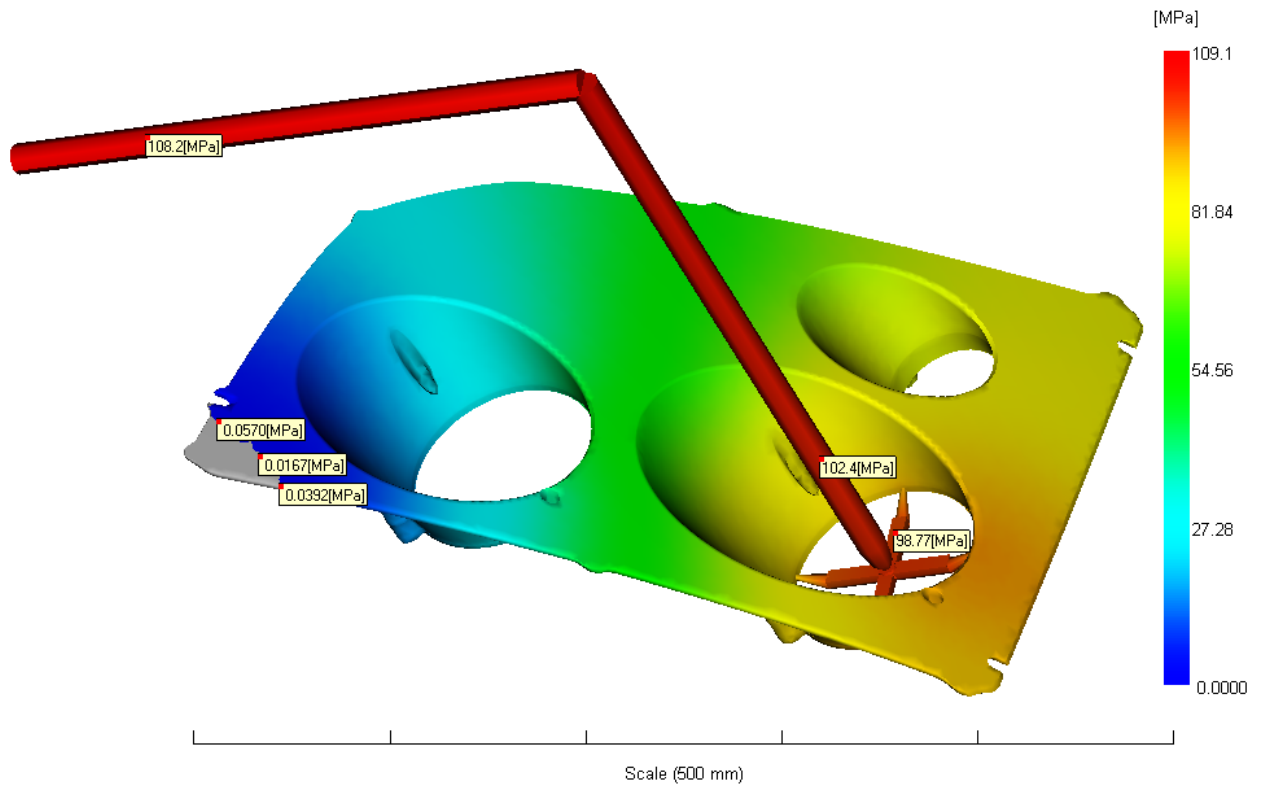
Analýza ukazuje dobu plnění dutiny formy taveninou. Plnění je znázorněno barevným spektrem, kde červená barva představuje poslední místa zatečení taveniny. Čas plnění byl nastaven na 5 s, ale reálný čas podle analýzy je 5,754 s. Pokud by některé části výstřiku byly šedé, jednalo by se o nedotečená místa. Odstranění tohoto problému lze řešit zvýšením teploty taveniny a tím se sníží odpor proti tečení, tím se zaplní i méně dostupná místa u tvarově složitých dutin. Nesmí se překročit kritická teplota taveniny, jinak by docházelo k její degradaci.



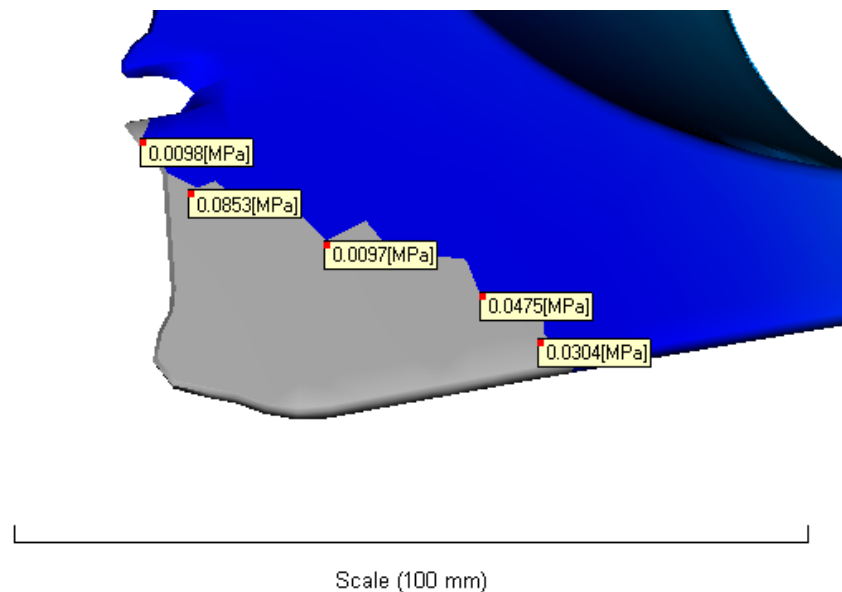
Obr. 37. Čas plnění

### 8.3 Pressure at V/P switchover – tlak při přepnutí na dotlak

Tlak při přepnutí na dotlak ukazuje rozložení tlaku prostřednictvím průtoku taveniny uvnitř formy při přepnutí z rychlosti plnění na řízení tlaku. Tlak by měl být nulový na konci jednotlivých trajektorií při konci plnění. Hodnota při přepnutí na dotlak je rovna 109,1 MPa.



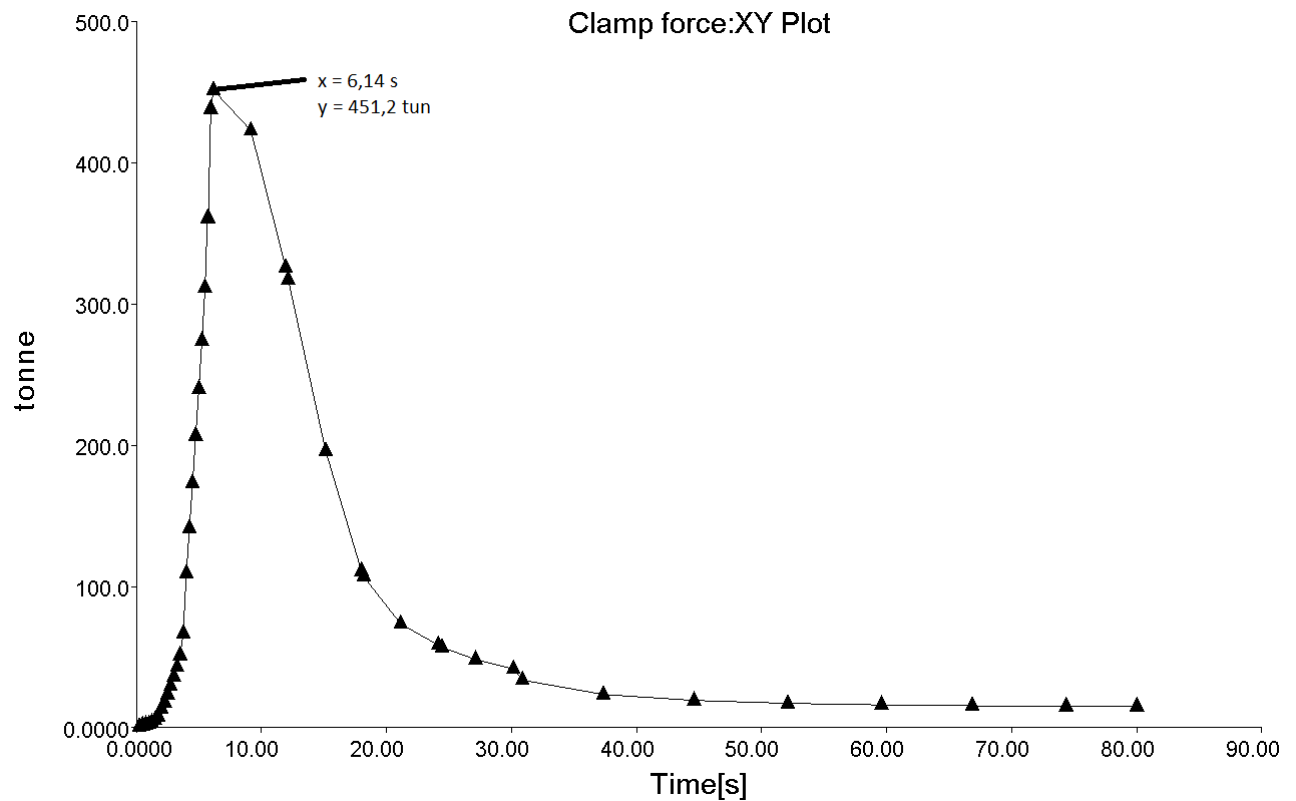
Obr. 38. Tlak při přepnutí na dotlak



Obr. 39. Detail – tlak při přepnutí na dotlak

## 8.4 Clamp force - uzavírací síla

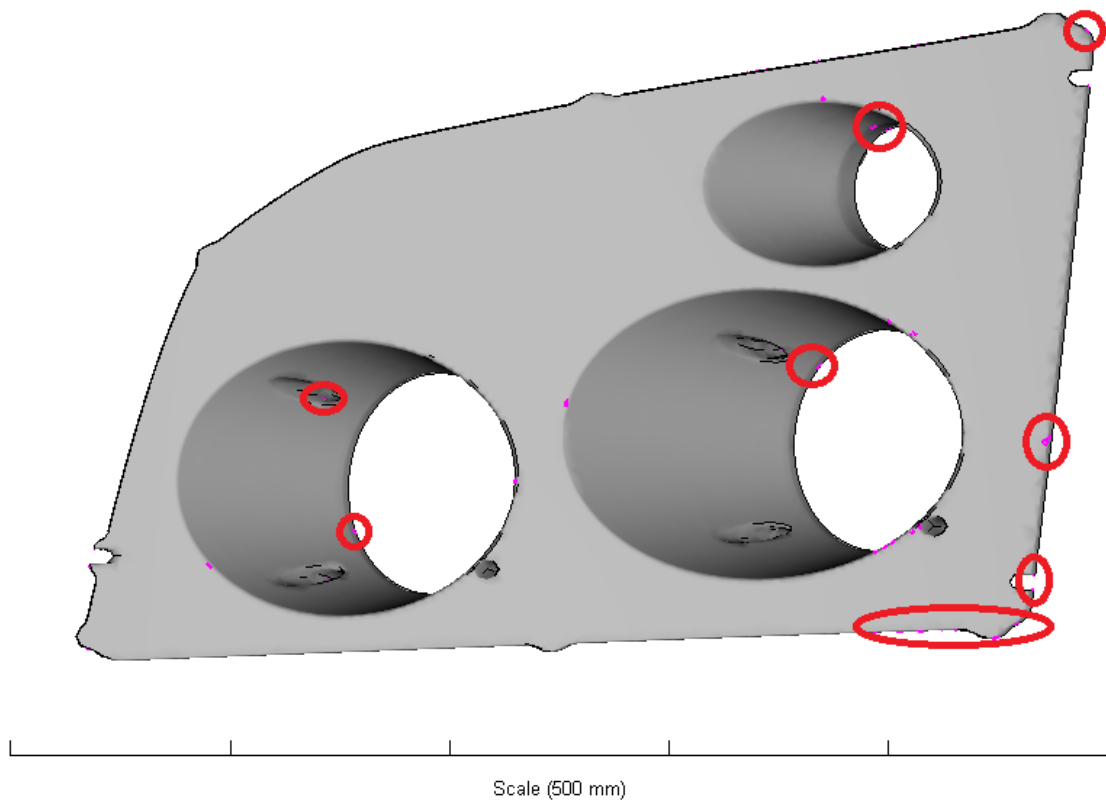
Z níže uvedeného grafu lze zjistit, jak velká je uzavírací síla v rovině XY (dělicí rovina). Tento údaj je potřebný k volbě správného vstřikovacího stroje. Maximální uzavírací síla musí být menší nebo rovna 80% limitu stroje, zbývajících 20% je bezpečnostní koeficient. Maximální uzavírací síla je 451,2 tun v čase 6,14 s.



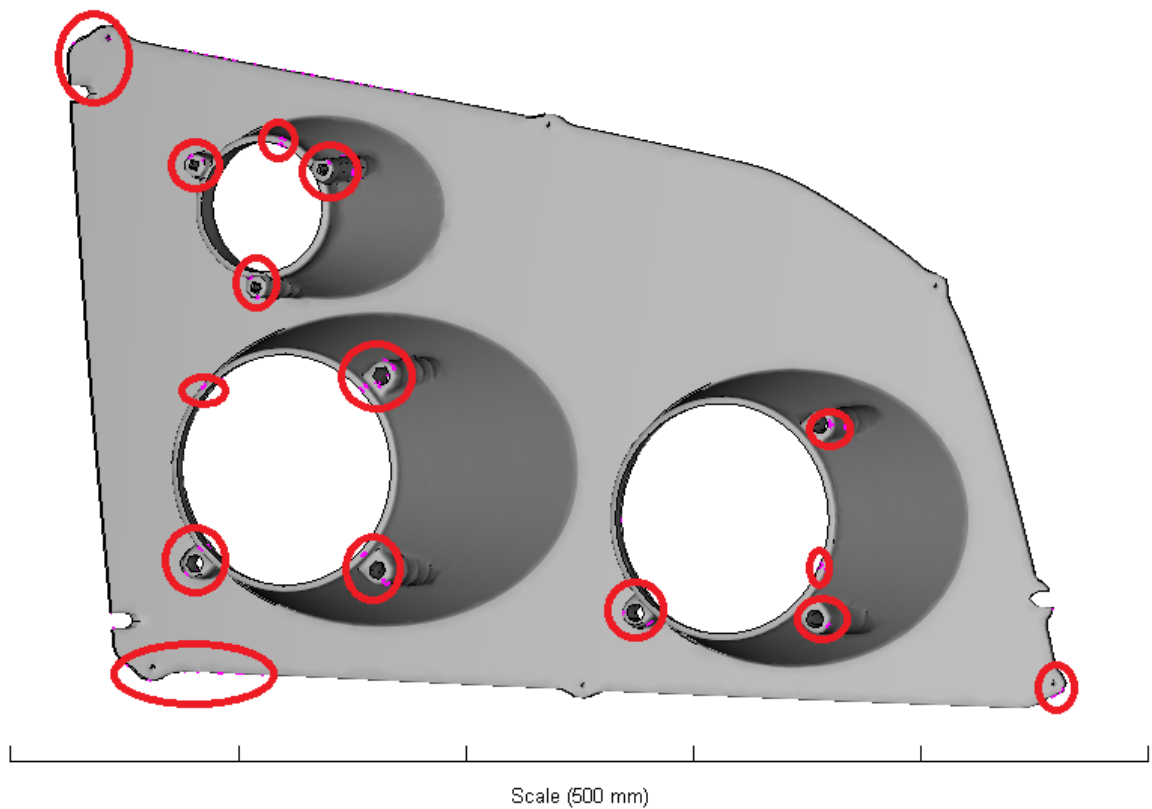
Obr. 40. Průběh uzavírací síly

## 8.5 Air traps – vzduchové kapsy

Analýza vzduchových kapes určuje, kde se bude v průběhu vstřikování uzavírat a stlačovat vzduch. Místa znázorněna fialovými ostrůvky jsou kritická. Uzavření vzduchu dochází v místech, kde se spojí dvě čela taveniny anebo v místech, kde tavenina končí svůj tok. Stlačený vzduch zvýší svoji teplotu a tím by vznikla spálená místa na výrobku. Tento jev se označuje jako Dieselův efekt.



Obr. 41. Vzduchové kapsy – pohledová strana

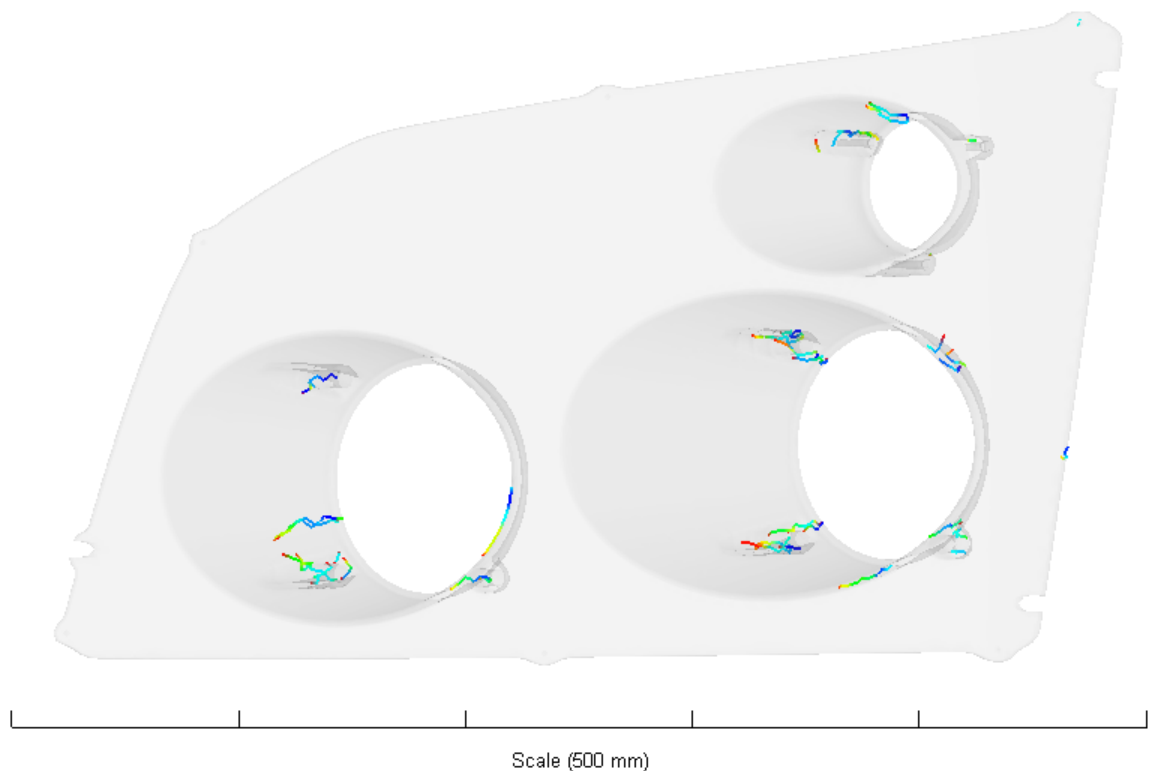


Obr. 42. Vzduchové kapsy – obrácená strana

V místech, která jsou vyznačena na obrázcích, uzavírání vzduchu nehrozí. Jedná se o místa ležící blízko vyhazovačů nebo v dělicí rovině, kde se vzduch odvede vůlemy mezi součástmi formy. U zbývajících míst, kdyby docházelo k vadám na výrobku, by se musely udělat odvzdušňovací kanálky.

## 8.6 Weld lines – studené spoje

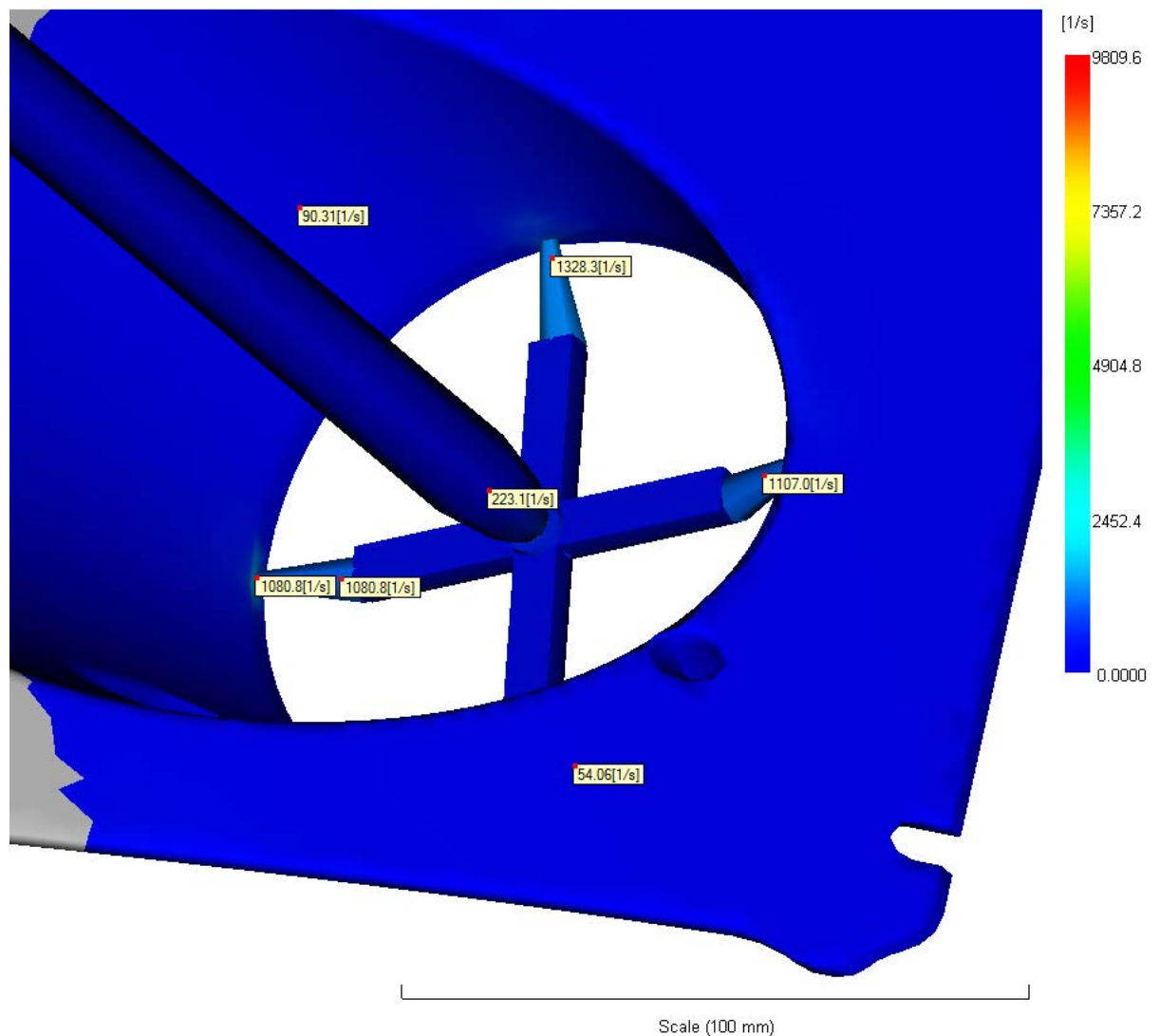
Studené spoje jsou slabá místa nebo viditelné prasklinky vytvořené, když se dvě nebo více tokových cest spojí během procesu plnění. Odstranit studené spoje není vždy možné, ale lze je posunout do míst, která jsou z hlediska použitelnosti méně důležitá. Řešení je hlavně změnou umístění vtoku. Pokud jsou kladeny na výrobek vysoké nároky i v těchto místech, musí se zajistit vznik kvalitnějšího studeného spoje. Zvýšením teploty taveniny, dotlaku nebo rychlostí vstříku.



Obr. 43. Studené spoje

## 8.7 Shear rate – rychlost smykové deformace

Rychlost smykové deformace je mírou, jak rychle se jednotlivé vrstvy taveniny polymeru pohybují po sobě. Jestliže je rychlost příliš vysoká, řetězce se lámou a materiál degraduje. Smyková rychlost lze snížit změnou materiálu na méně viskózní nebo zvýšit teplotu taveniny. Materiál PC Lexan 121 nesmí podle materiálového listu překročit hodnotu  $40\,000\text{ s}^{-1}$ . Podle analýzy dosahují maximální hodnoty  $9809,6\text{ s}^{-1}$ .



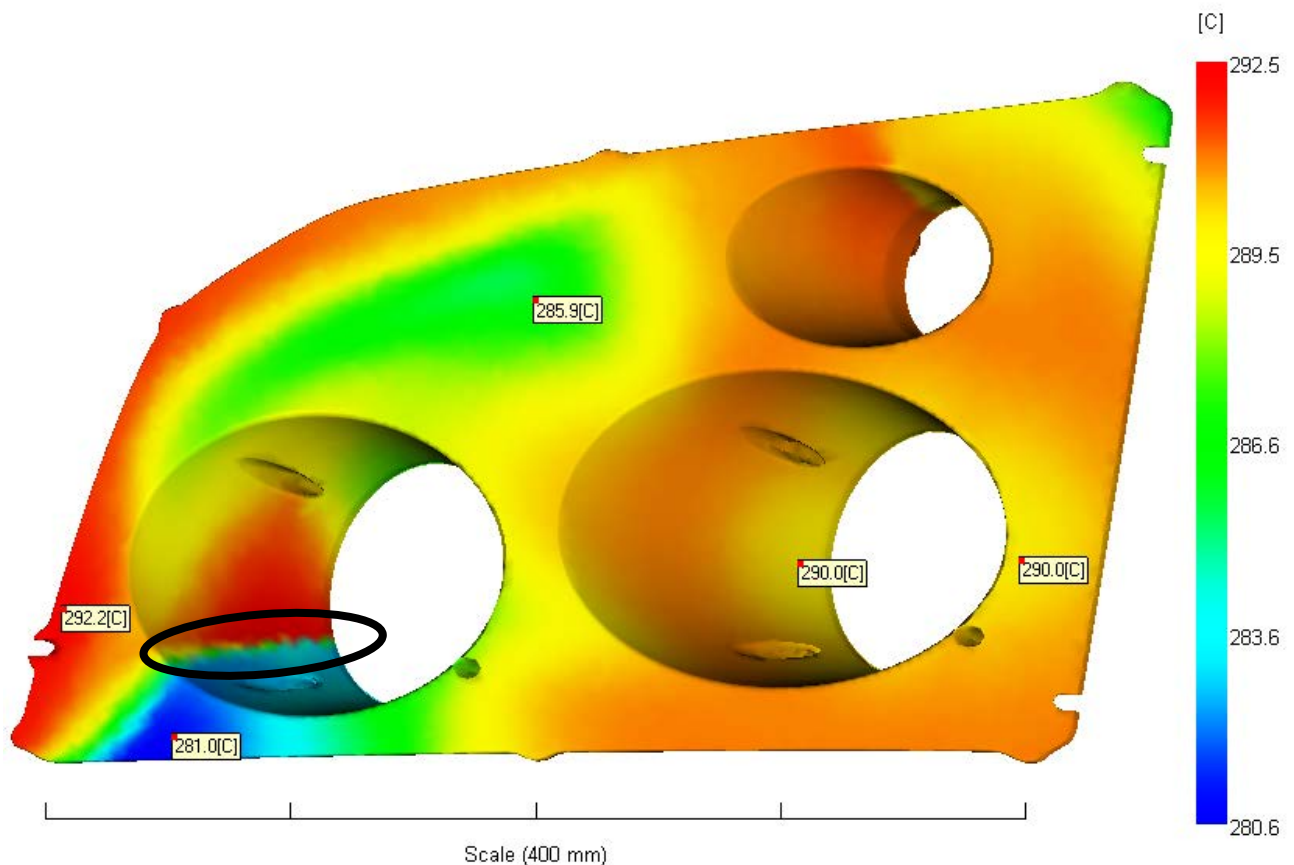
Obr. 44. Smyková rychlost



## 8.8 Temperature at flow front – teplota čela taveniny

Teplota čela taveniny ukazuje teplotu polymeru, když čelo taveniny dosáhne stanoveného bodu ve středu průřezu výstřiku. Jak je znázorněno na Obr. 45, teplota čela taveniny je znázorněna barevným spektrem, které označují oblasti s nejnižší teplotou v modré až po oblast nejvyšší teploty v červené barvě. Výsledek ukazuje změny v teplotě čely taveniny během plnění.

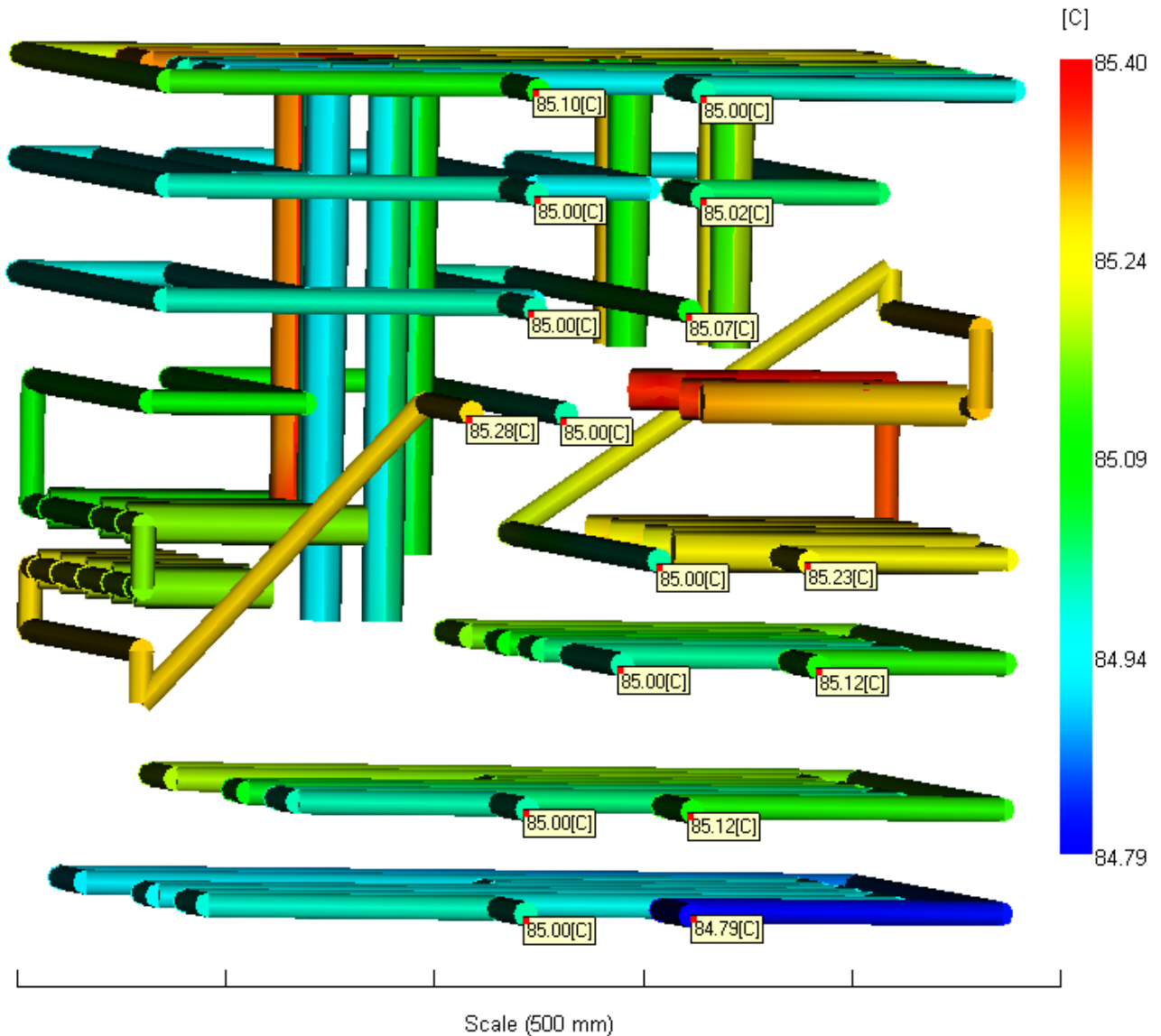
Nejvyšší teplota taveniny je 292,5 °C, degradace materiálu nehrozí, protože kritická hodnota pro polymer je 350 °C. Nejnižší teplota v průběhu toku je 280,6 °C. Nejnižší dovolená teplota pro použitý polymer je 280 °C. Nemělo by docházet k zamrznutí čela taveniny. V místech s nízkou teplotou čela taveniny mohou vzniknout studené spoje. S porovnáním Obr. 43 lze vidět místo, kde vzniká studený spoj, kvůli nízké teplotě čela taveniny.



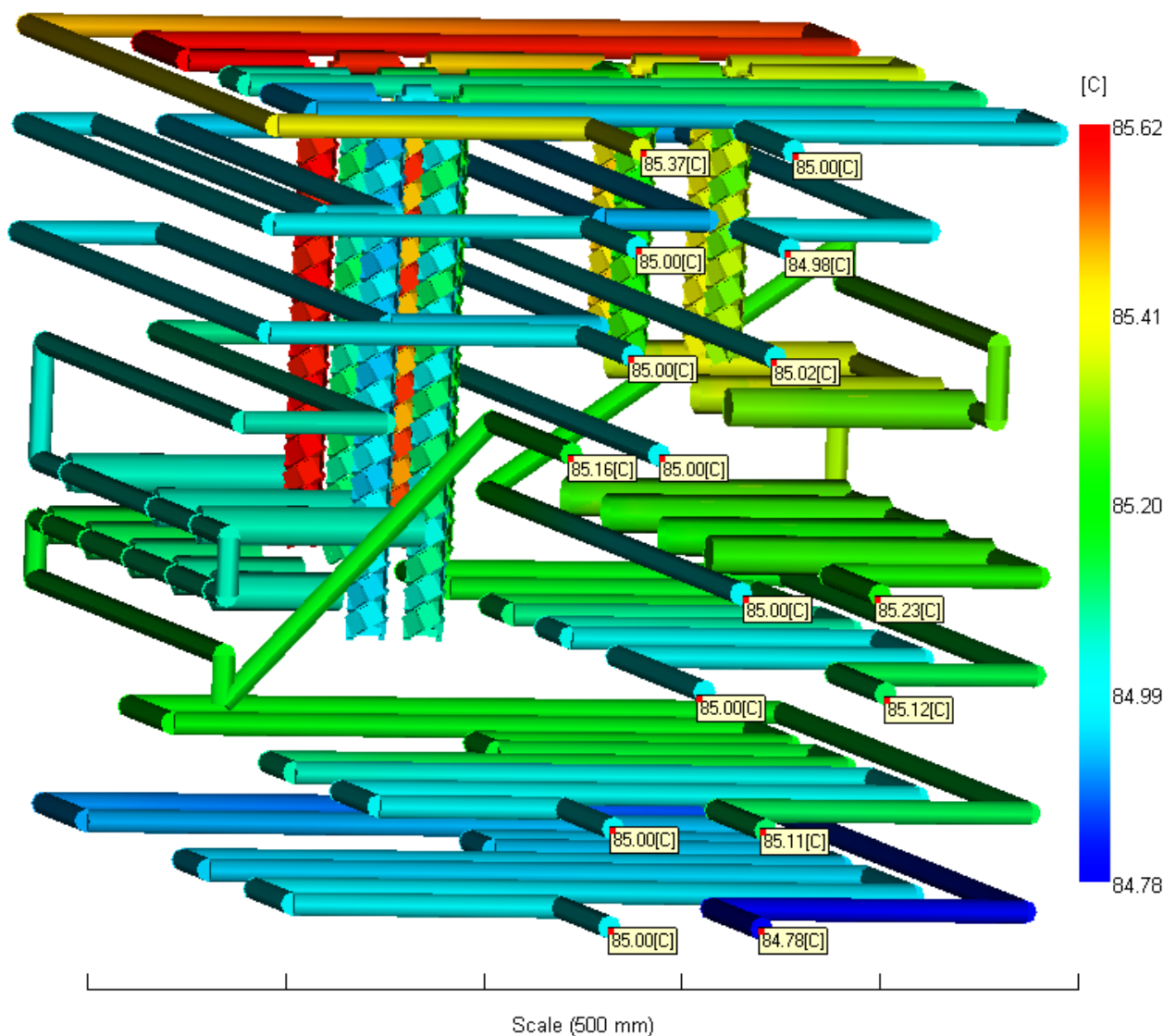
Obr. 45. Teplota na čele taveniny

### 8.9 Circuit coolant temperature – teplota média v temperačním obvodu

Analýza popisuje výkyvy teploty chladicího média z místa vstupu do místa výstupu. Rozdíl teplot by neměl být větší než 5 °C. Jestliže se docílí tohoto výsledku, zaručí se rovnoměrný odvod tepla ze všech míst.



Obr. 46. Teplota temperačního média 1



Obr. 47. Teplota temperačního média 2

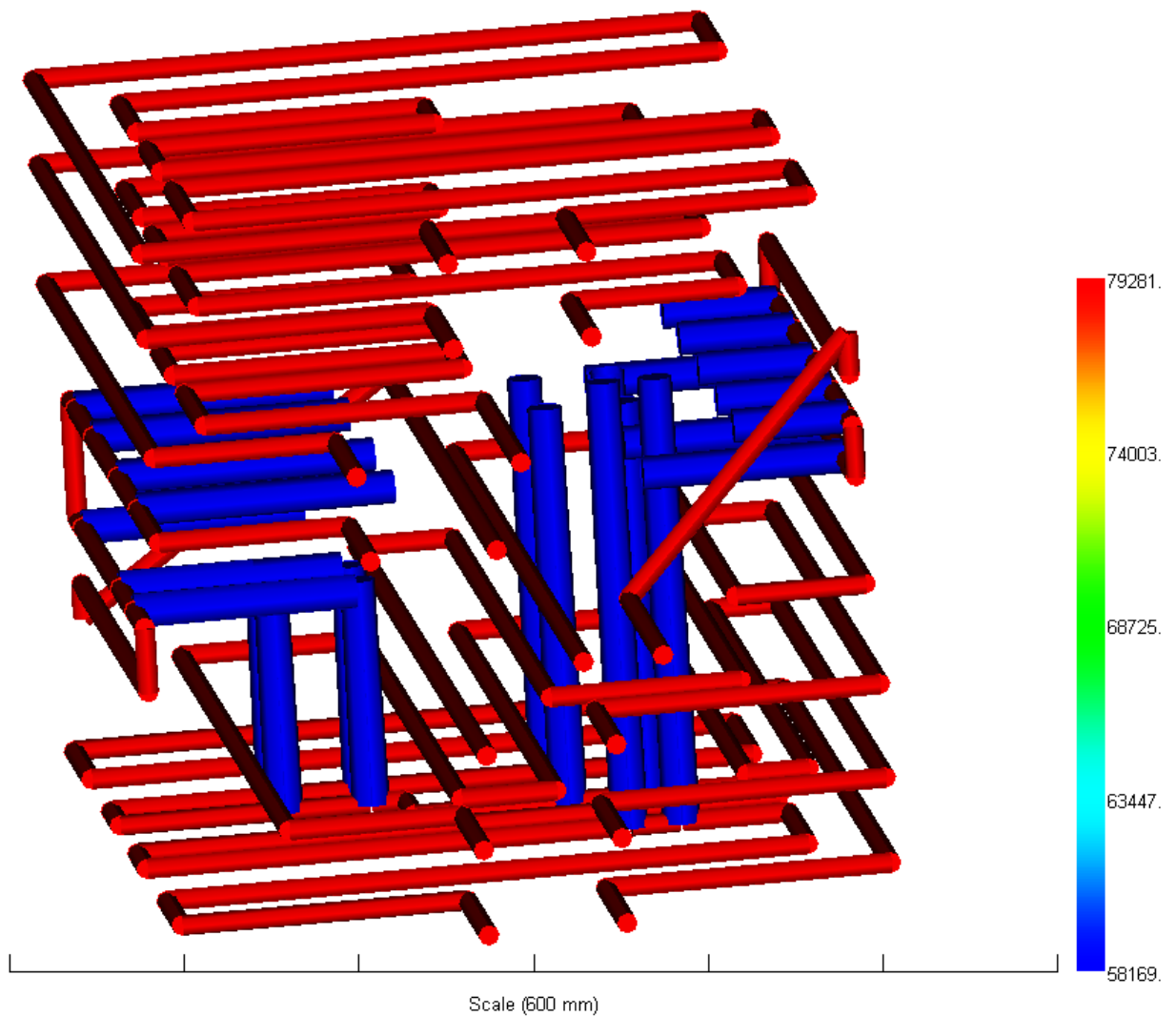
V temperačních okruzích u obou typů není překročen rozdíl mezi vstupem a výstupem chladícího média hodnotou 0,4 °C. Malé změny teplot v temperačních okruzích jsou dány vysokým průtokem. V Tab. 7 jsou uvedeny výstupní hodnoty teplot pro pravý i levý okruh temperace. Vstupní teplota temperačního média je u všech okruhů 85 °C.

Tab. 7. Teploty temperačních médií na výstupech

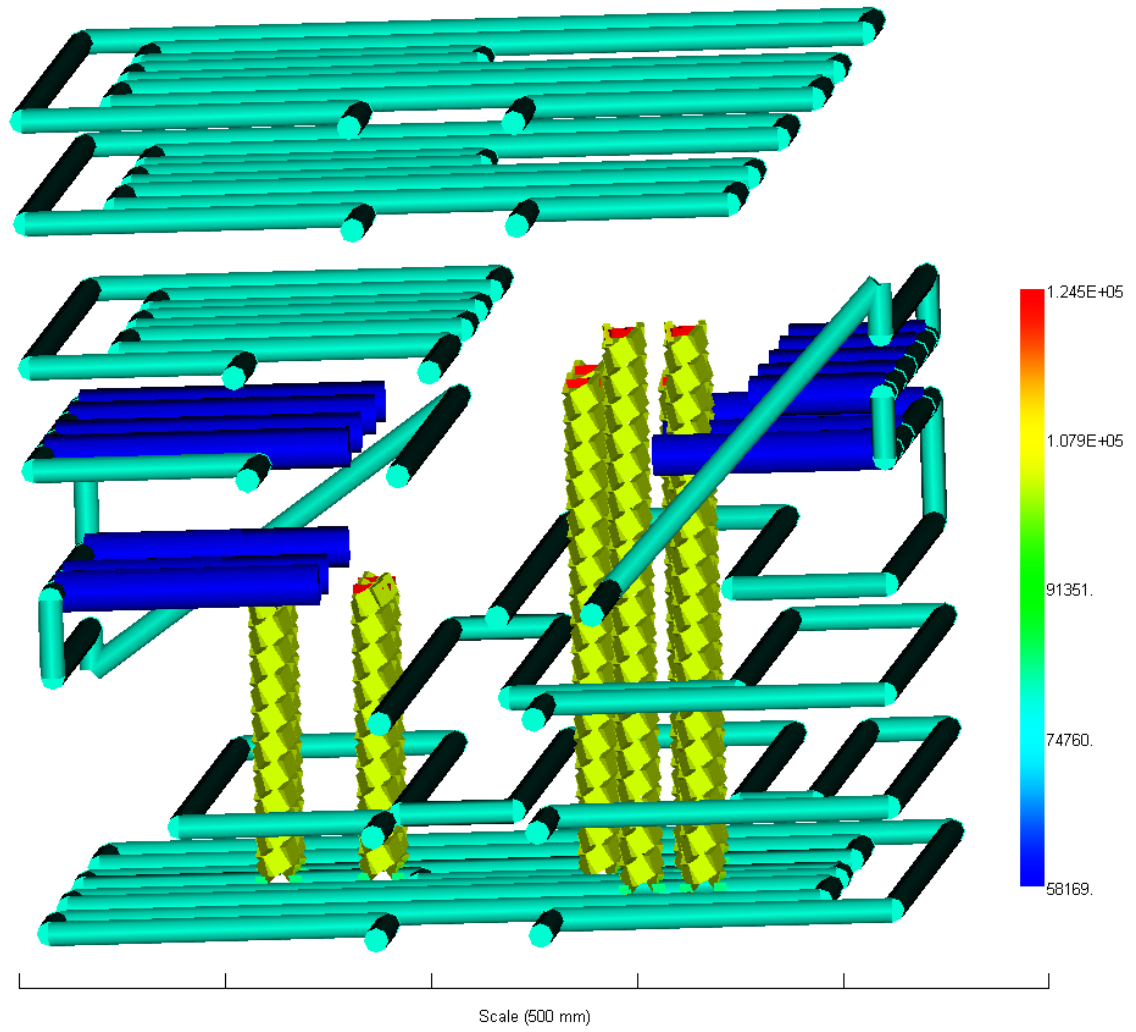
	Temperace 1	Temperace 2
Výstupní teplota pravého okruhu [°C]	85,10	85,37
	85,02	84,98
	85,07	85,02
	85,28	85,16
Výstupní teplota levého okruhu [°C]	85,23	85,23
	85,12	85,12
	85,12	85,11
	84,79	84,78

## 8.10 Circuit Reynolds number – Reynoldsovo číslo

Charakterizuje jednotlivé režimy proudění, které mohou v obvodu nastat. Počátek turbulence ve vodě je mezi 2300 – 4000. Reynoldsovo číslo 4000 nebo vyšší představuje turbulentní proudění a toto proudění je výhodné pro aplikace chlazení. K dosažení vyššího Reynoldsova čísla je zapotřebí zvýšení tlaku nebo průtoku v temperačním systému. Zaručené číslo pro chladicí okruhy je 10 000. Zvyšováním průtoků v temperačních médiích v oblasti turbulentního proudění se účinnost temperace zvyšuje nepatrně.



Obr. 48. Reynoldsovo číslo pro temperaci 1

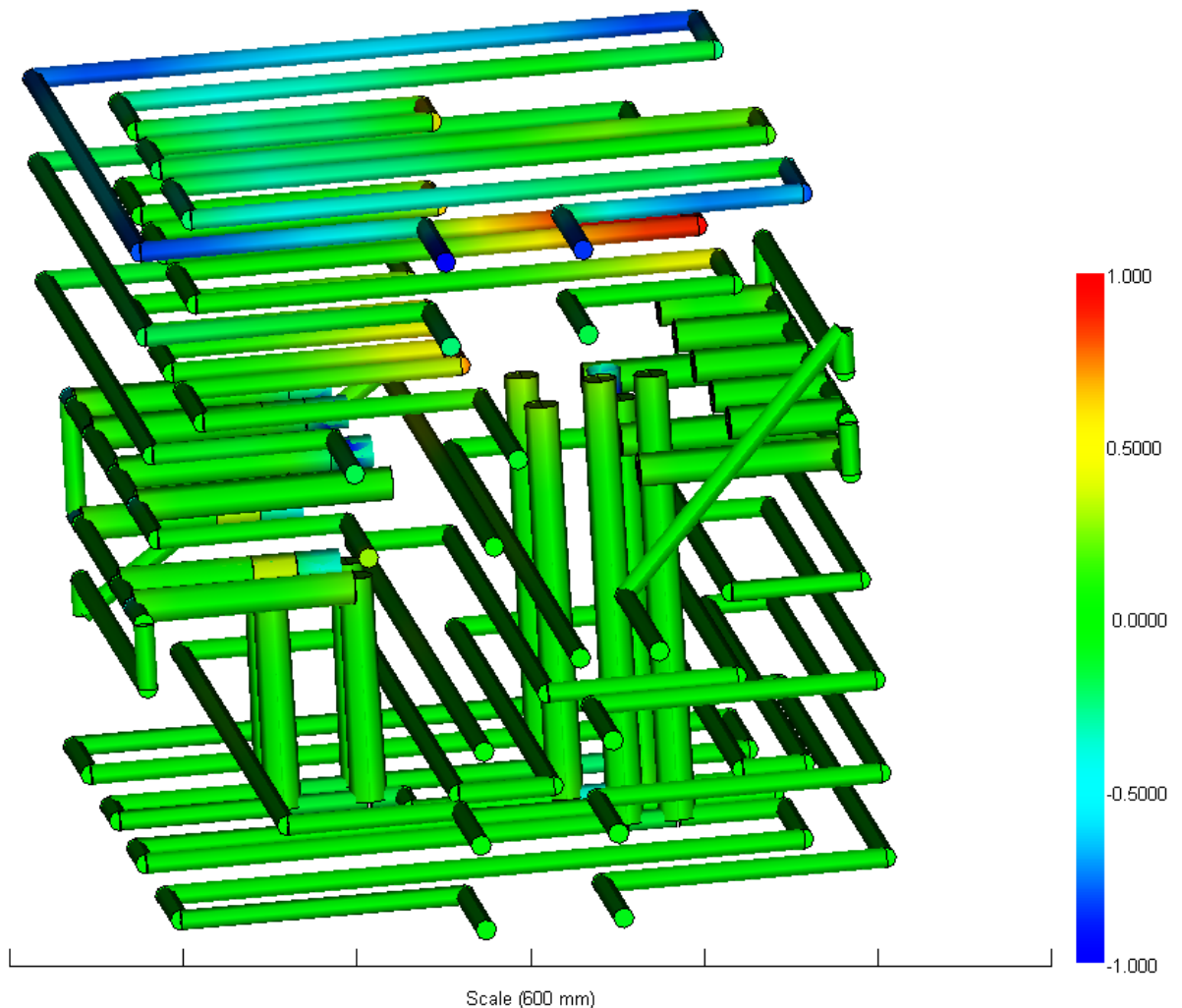


Obr. 49. Reynoldsovo číslo pro teplotě 2

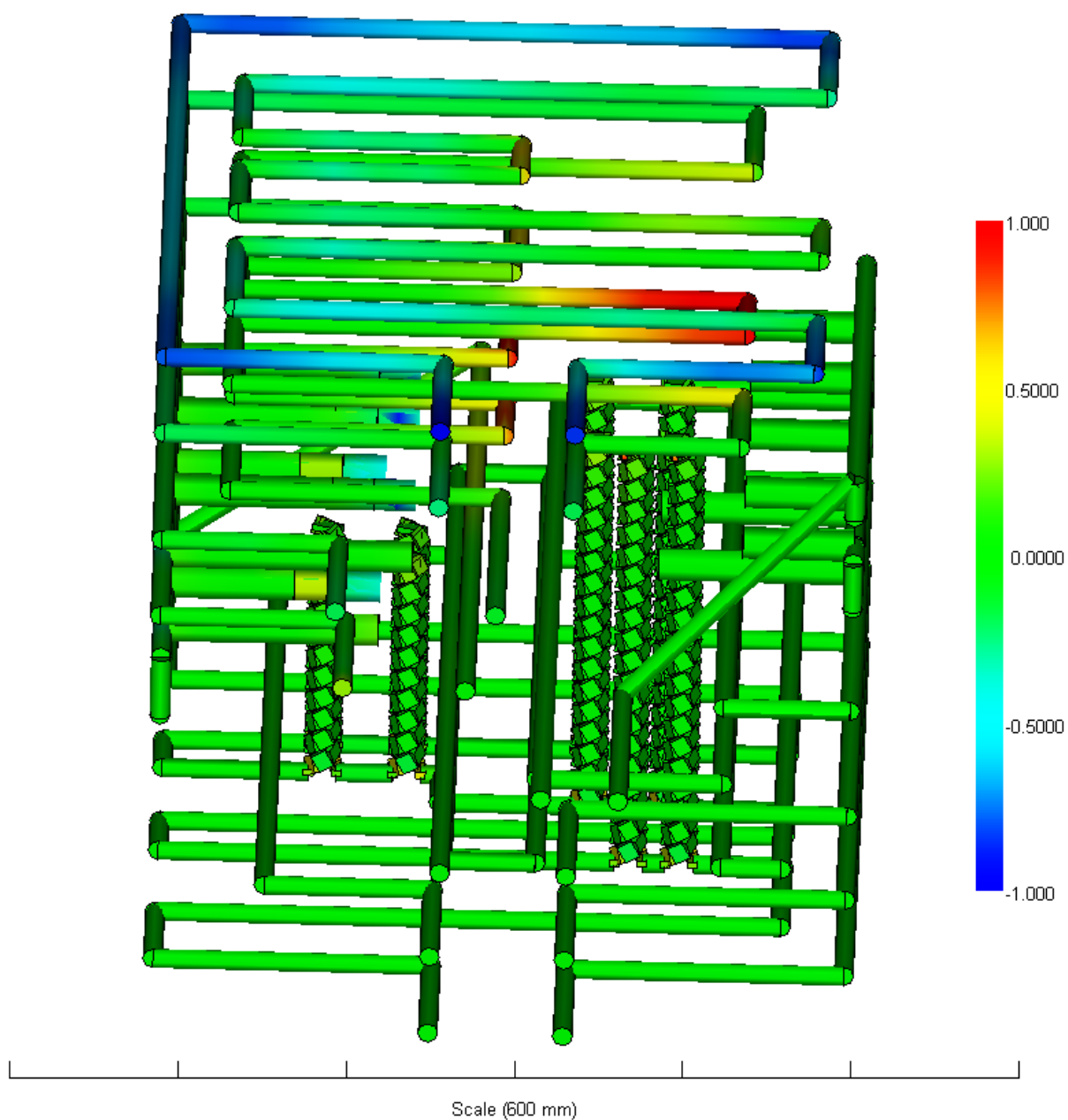
## 8.11 Circuit heat removal efficiency - efektivita odvodu tepla chladicího obvodu

Efektivita odvodu tepla chladicího obvodu je měřítkem účinnosti každého chladicího obvodu v odebrání tepla z formy v průběhu cyklu. Toto množství ukazuje relativní účinnost uvnitř chladicího systému.

Ve většině případů, chladicí okruhy chladí formu. Části s nejvyšší účinností je přiřazena hodnota 1. V některých případech jsou chladicí okruhy ohřívány formou. Části okruhu, která nejvíce ohřívá formu, je přiřazena hodnota -1. U obou typů temperace je účinnost odvodu tepla chladicími okruhy rovnoměrná.



Obr. 50. Efektivita odvodu tepla pro temperaci 1



Obr. 51. Efektivita odvodu tepla pro temperaci 2



## 8.12 Time to reach ejection temperature, part – čas k dosažení vyhazovací teploty, díl

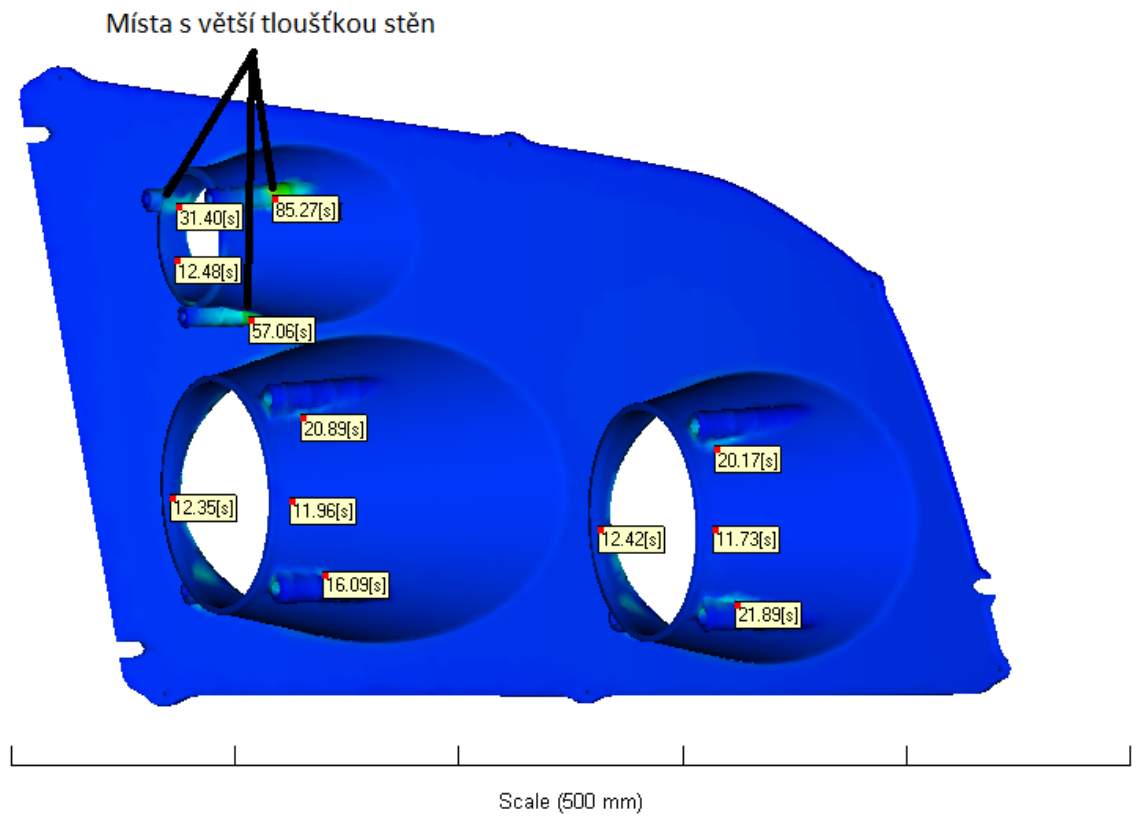
Výsledná analýza zobrazuje potřebný čas k dosažení vyhazovací teploty pro výrobek. Čas se měří od počátku vstřikování. Červená barva zobrazuje místa, která se ochladí nejpозději, oproti tomu modrá barva zobrazuje nejrychleji ochlazená místa na vyhazovací teplotu.

Hodnoty v Tab. 8 nejsou opravdovými časy potřebnými k dosažení vyhazovací teploty. Vyznačují malá místa, u kterých ještě polymer nedosáhl vyhazovací teploty, ale i přesto je lze zanedbat. Při přítomnosti větších ploch by bylo zapotřebí zvětšit intenzitu chlazení.

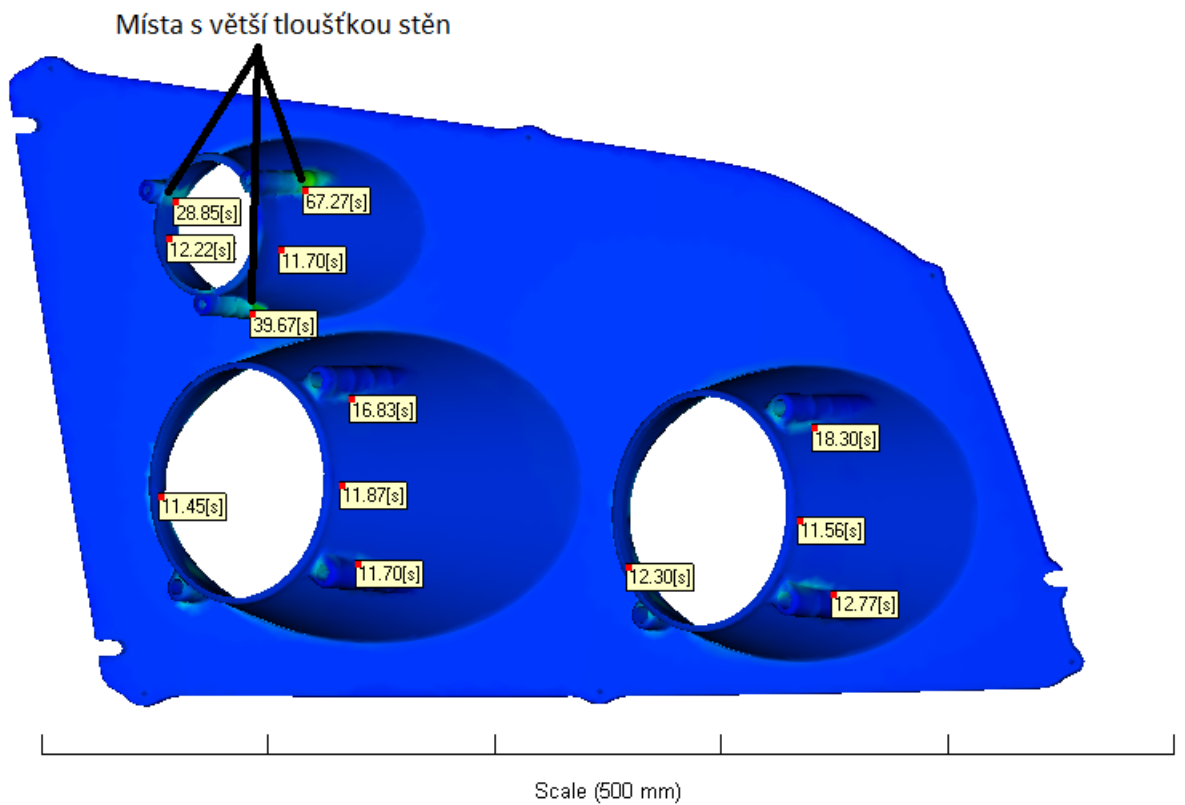
Tab. 8. Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty - výsledek

	Temperace 1	Temperace 2
Čas k dosažení vyhazovací teploty	130 s	128 s

Z obrázků (Obr. 52 a Obr. 53) je patrné, že k dosažení vyhazovací teploty u většiny ploch na dílci stačí přibližně 20 s. Výrobek musí být natolik zchlazen, aby se nedeformoval při vyhazování z formy. U obou teperací jsou nejvíce problematickými místy otvory pro šrouby s větší tloušťkou stěny. Tyto místa by šla rychleji chladit použitím lépe tepelně vodivého materiálu u použitých jader. Jak je z níže uvedených obrázků (Obr. 52 a Obr. 53) viditelné u teperace se spirály se dosáhne vyhazovací teploty o pár sekund dříve než u teperace s přepážkami.



Obr. 52. Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty pro temperaturaci 1



Obr. 53. Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty pro temperaturaci 2

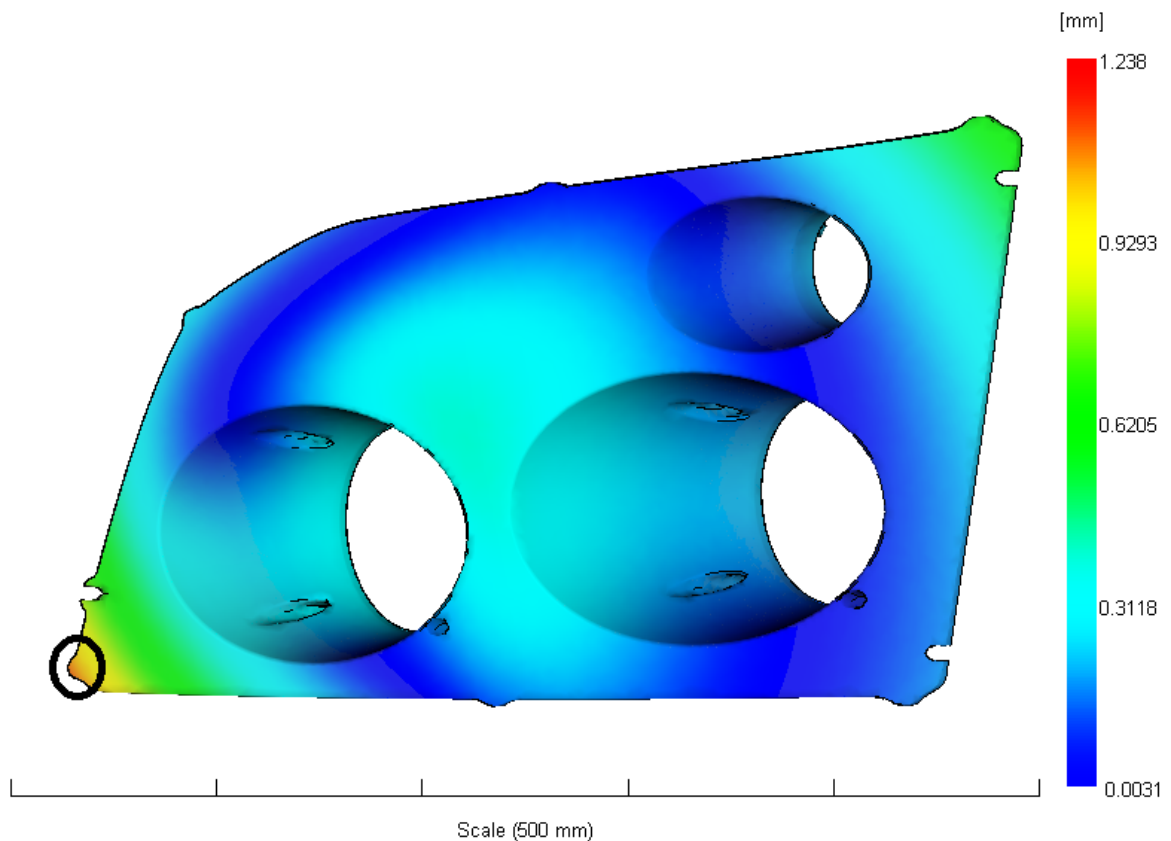
### 8.13 Deflection, differential cooling – deformace způsobena chlazením

Analýza zobrazuje celkové odchylky ve všech směrech os (X, Y a Z). Podle barevného spektra jsou dány velikosti odchylek způsobeny temperací formy. V Tab. 9 jsou znázorněny hodnoty deformací, které byly zapříčiněny temperací.

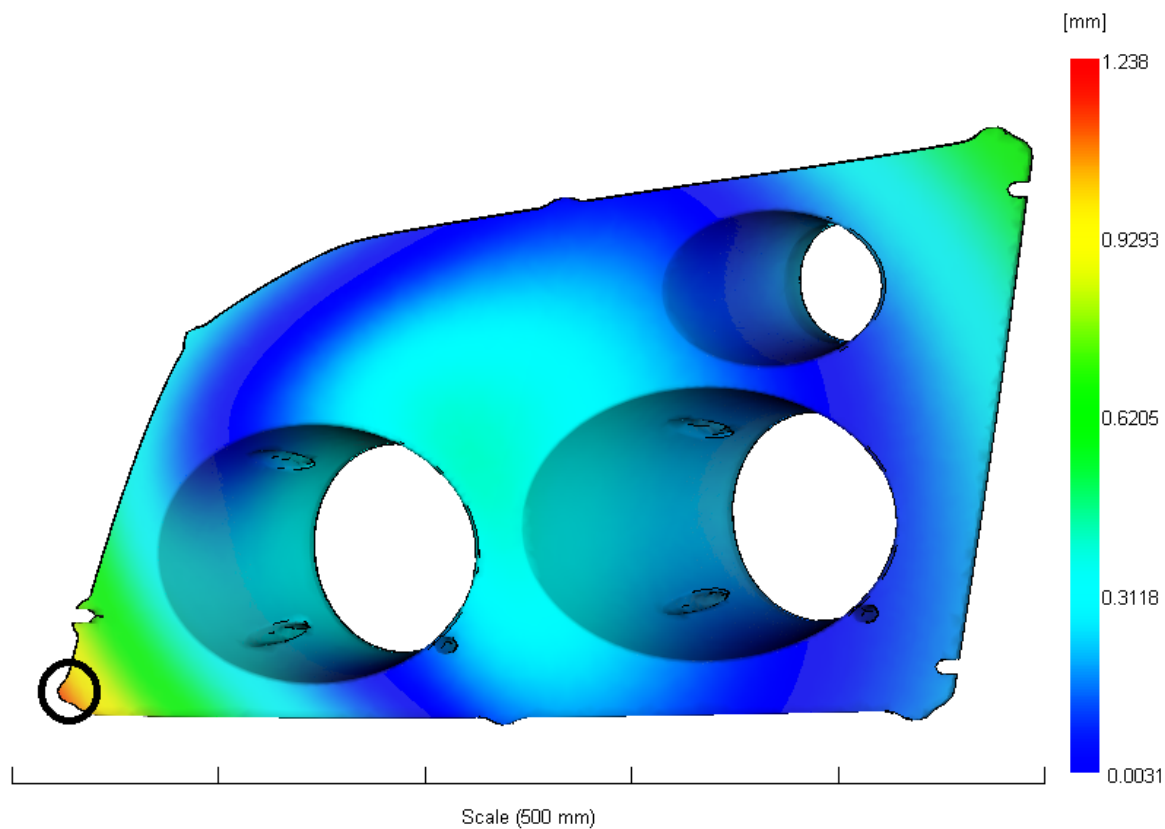
Tab. 9. Velikosti celkových odchylek způsobeny chlazením

	Lexan 121 – temperace 1	Lexan 121 – temperace 2	PC – 122 U
Největší odchylka [mm]	1,1110	1,1330	1,2380
Nejmenší odchylka [mm]	0,0045	0,0046	0,0031

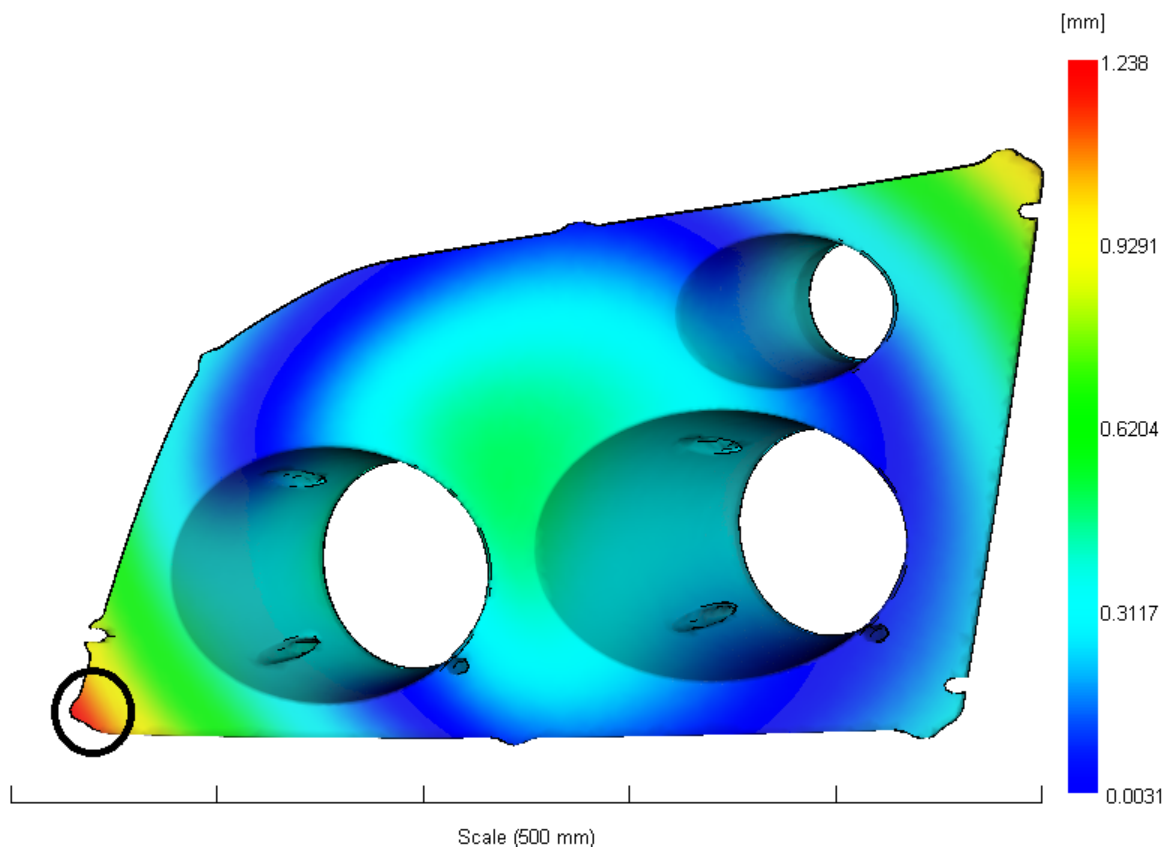
Na níže uvedených obrázcích je nastavena na stupnici největší a nejmenší odchylka pro jejich lepší srovnání. Z obrázků je patrné, že se nejvíce deformuje rohová část na výrobku.



Obr. 54. Odchylky – Lexan 121 – temperace 1



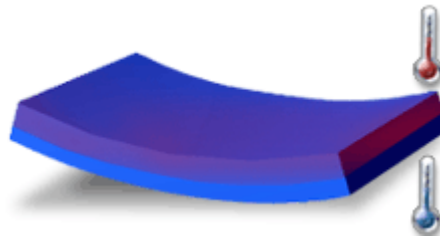
Obr. 55. Odchylky – Lexan 121 – temperace 2



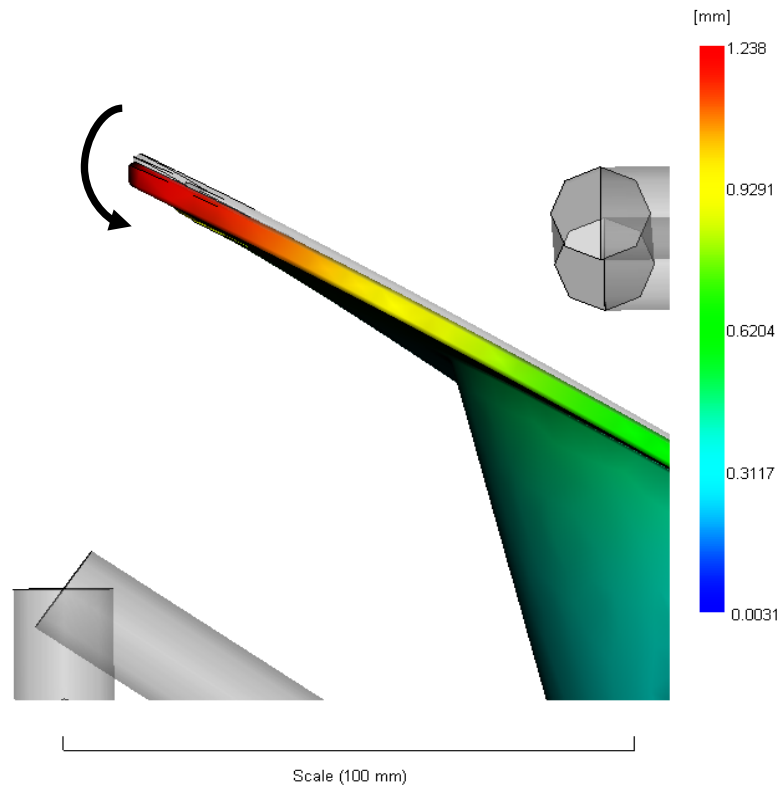
Obr. 56. Odchylky – PC – 122 U

Odlišnosti v deformacích jsou způsobeny nerovnoměrným chlazením na různých místech povrchu výrobku a také nerovnoměrným chlazením levé a pravé části formy. Chování desky při nerovnoměrném chlazení je znázorněno na Obr. 57.

Při vysoké účinnosti chlazení spodní strany desky polymer rychle zatuhne a nestačí se plně projevit výrobní smrštění. Oproti tomu u vrchní strany je účinnost chlazení menší a tím je smrštění vyšší. Na vrchní straně desky se objeví tahová a u spodní desky tlaková napětí, která způsobují ohyb.



Obr. 57. Nerovnoměrné chlazení [22]



Obr. 58. Průhyb dílce

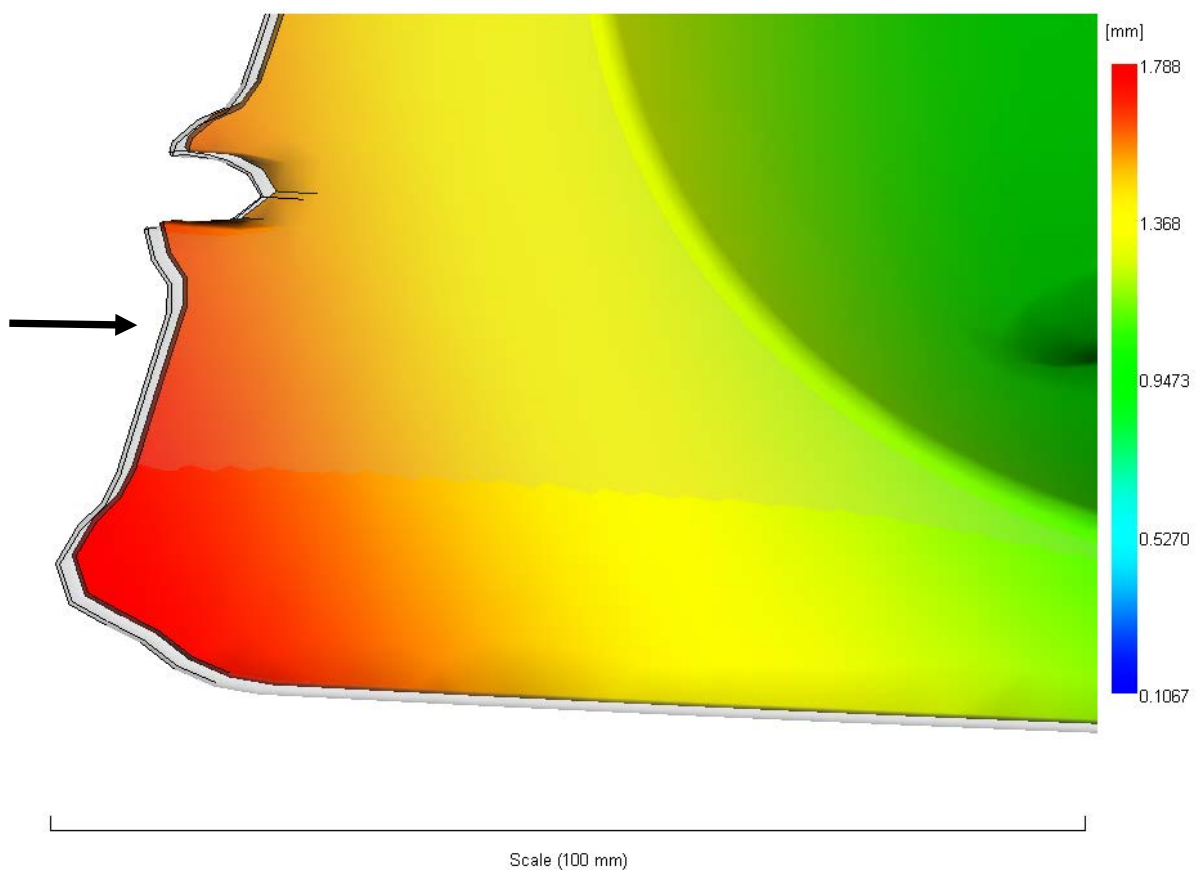
### 8.14 Deflection, differential shrinkage – deformace způsobena smrštěním

Analýza zobrazuje celkové odchylky ve všech směrech os (X, Y a Z). Podle barevného spektra jsou dány velikosti odchylek způsobeny smrštěním polymeru v průběhu chlazení v dutině formy.

Tab. 10. Velikosti celkových odchylek způsobeny smrštěním

	Lexan 121 – temperace 1	Lexan 121 – temperace 2	PC – 122 U
Největší odchylka [mm]	1,7850	1,7880	1,003
Nejmenší odchylka [mm]	0,1069	0,1067	0,0688

Deformace způsobeny smrštěním u materiálu Lexan 121 jsou zhruba o jednu třetinu větší než deformace způsobené chlazením (Tab. 9).



Obr. 59. Deformace způsobena chlazením

### 8.15 Deflection, all effects - celková deformace výstřiku

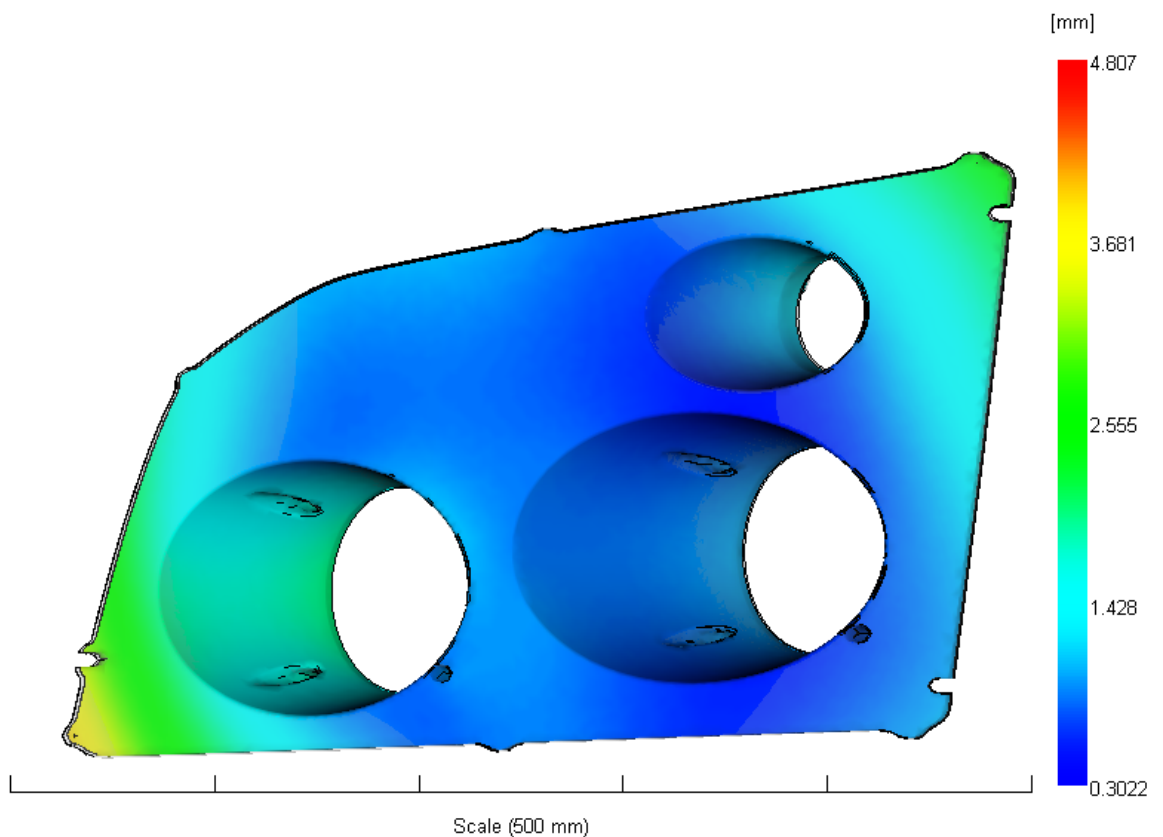
Analýza zobrazuje celkové odchylky ve všech směrech os (X, Y a Z). Podle barevného spektra jsou dány velikosti odchylek způsobeny všemi vlivy.

Tab. 11. Celkové deformace

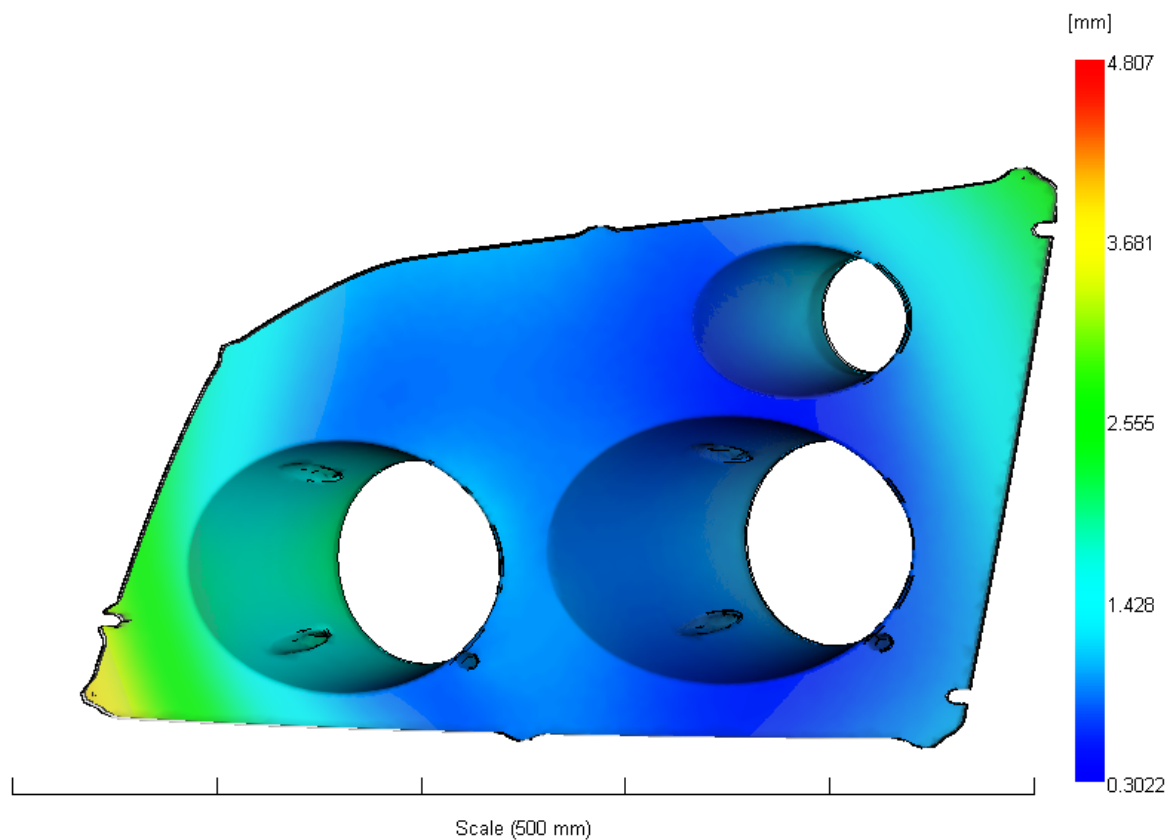
	Lexan 121 – temperace 1	Lexan 121 – temperace 2	PC – 122 U
Největší odchylka [mm]	3,9710	3,9720	4,8070
Nejmenší odchylka [mm]	0,5046	0,5079	0,3022

Analýza zobrazuje celkové odchylky ve všech směrech os (X, Y a Z). Podle barevného spektra jsou dány velikosti odchylek způsobeny všemi vlivy.

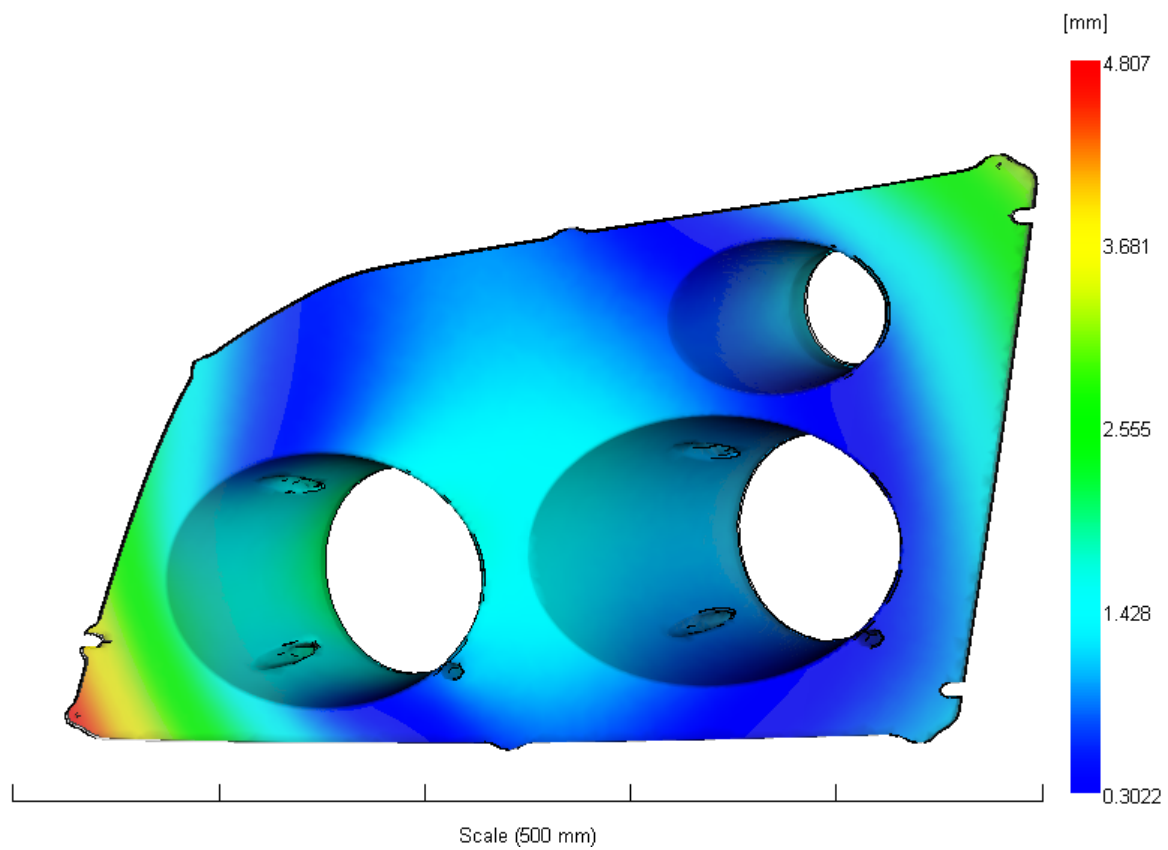
Z Tab. 11 je zřejmé, že největší celkovou deformaci má materiál PC – 122 U, který se používal při vstřikování předešlého dílu. Nově vybraný materiál má menší celkovou deformaci.



Obr. 60. Celková deformace – Lexan 121 – temperace 1



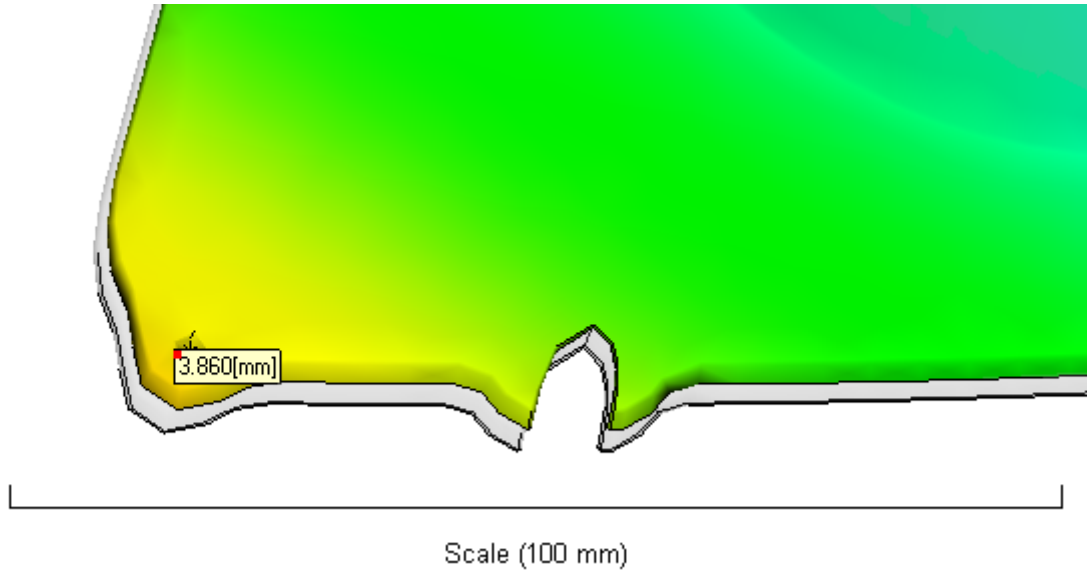
Obr. 61. Celková deformace – Lexan 121 – temperace 2



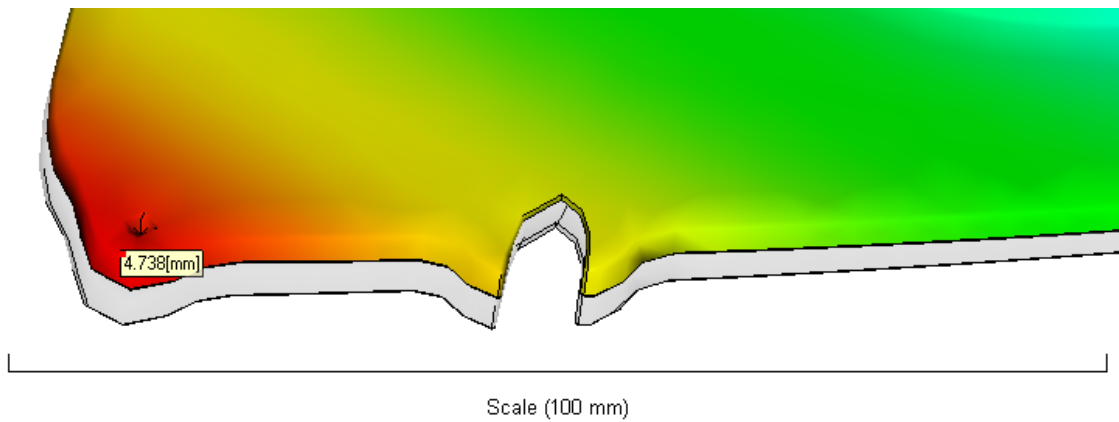
Obr. 62. Celková deformace – PC – 122 U



Na níže uvedených obrázcích lze vidět rozdíl mezi použitými materiály. Pozice díry, která slouží pro upevnění dílce, má rozdíl 1 mm, což může mít za následek lepší pozici díry pro materiál Lexan 121.



Obr. 63. Detail: celková deformace Lexan 121



Obr. 64. Detail: celková deformace PC – 122 U

Tab. 12. Celková deformace vyjádřena v %

	Lexan 121	PC – 122 U
Celková deformace [%]	-	o 19 % vyšší

## DISKUZE VÝSLEDKŮ

Při vypracování diplomové práce se vycházelo z daných požadavků oficiálního zadání. Byla navrhována forma pro součást světlometu. Pro konstrukci formy byl použit program Catia V5R19.

Vzhledem k velikosti samotného dílu, je forma dvojnásobná. Konstrukce vstřikovací formy se odvíjela od modelu výrobku. Tvarové části formy jsou negativem výrobku zvětšené o smrštění.

Pro temperaci formy byl vytvořen jeden návrh, který byl následně modifikován. Temperační systém poloviny formy je tvořen z osmi samostatných okruhů. Čtyři okruhy na každé straně. Vyšší počet okruhů je dán velikostí výstřiku a také použitím horkého vtokového systému. Pro chlazení otvorů výrobku jsou použity přepážky, které byly následně vyměněny za spirály, které zabezpečují efektivní odvod tepla.

Analýza vstřikovaného výrobku byla provedena v programu Autodesk Simulation Moldflow Synergy 2013. Z tokových analýz vyplývá, že vtokový systém dopravuje taveninu polymeru spolehlivě do dutiny formy a umožňuje celkové zaplnění.

Výsledky analýz souvisejících s použitím nového materiálu oproti původnímu polykarbonátu a navržených temperačních systémů jsou shrnuty v následující tabulce.

Tab. 13. Vybrané závěry z analýzy

Výsledek:	Lexan 121 – tem. 1	Lexan 121 – tem. 2	PC – 122 U
Čas k dosažení vyhazovací teploty	nejdelší	nejkratší	
Účinnost odvodu tepla	rovnoměrná	rovnoměrná	
Deformace vlivem chlazení	nejmenší		největší
Deformace vlivem smrštění		největší	nejmenší
Celková deformace	nejmenší		největší

Z výsledků analýz vyplývá, že modifikace temperace pomocí záměny přepážek, které jsou vedeny do otvorů u výrobku, za spirály, nepřinesla očekávaný efekt, proto výsledky chlazení pro oba typy temperace byly téměř totožné.

Pro nevyhovující materiál, který byl následně nahrazen novým, byly provedeny analýzy. Z nich vyplývá, že nově použitý materiál vykazuje o 19 % nižší celkové deformace.

## ZÁVĚR

V teoretické části diplomové práce jsou uvedeny poznatky, které se týkají procesu vstřikování a popis vstřikovacích strojů. Dále jsou zde popsány zásady pro návrh konstrukce vstřikovacích forem a použití jejich materiálů.

V praktické části byla vytvořena forma pro součást světlometu stavebního stroje Volvo a v poslední části je provedena analýza. Je zde provedena analýza i pro první použitý materiál, která dokazuje, že deformace je větší než u nově používaného materiálu a to o 19 %. Dále byla provedena modifikace temperace, tím že se přepážky, které jsou vedeny do otvorů u výrobku, vyměnily za spirály stejného průměru. Tato změna se neprojevila výrazně v rychlosti chlazení ani na výsledných deformacích.

Konstrukce byla prováděna v programu Catia V5R19 a analýzy v programu Autodesk Simulation Moldflow Synergy 2013.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] ŠTĚPEK J. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*, Praha: SNTL, 1988.
- [2] KOLOUCH, Jan. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. 1. Vyd. Praha: SNTL, 1986. 229s.
- [3] MENGES, Georg., MICHAELLI, Walter., MOHREN, Paul. *How to Make Injection Molds*. 3rd. ed. Munich: Hanser Publisher, 2001. 612 s. ISBN 3-446-21256-6.
- [4] PÖTSCH, Gerd., MICHAELLI, Walter., *Injection Molding- An Introduction*. Munich: Hanser Publisher, 1995. 195 s. ISBN 1-56990193.
- [5] BOBČÍK. Ladislav. a Kol. *Formy pro zpracování plastů I. díl – Vstřikování termoplastů*. 2. opr. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 133 s.
- [6] TOMIS, František., HELŠTÝN, Josef. *Formy a přípravky*. Brno: VUT, 1985. 278 s.
- [7] BOBČÍK. Ladislav. a Kol. *Formy pro zpracování plastů II. díl – Vstřikování termoplastů*. 1. opr. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 214 s.
- [8] KREBS, Josef., SOVA, Miloš. *Termoplasty v praxi: praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů*. 5. Aktualizované vydání. Praha: Verlag Dashöfer, 1999-2000. 1 CD-ROM. ISBN 80-86229-15-7
- [9] EWIKON. [Online] 2013. <http://www.ewikon.com>
- [10] GASTROW, Hans. *Injection Molds: 130 proven designs*. 3rd ed. Munich: Hanser Publisher, 2002. 313 s. ISBN 3-446-21448-8.
- [11] TRES, P. A. *Designing plastic parts for assembly*. 5th ed. Munich: Hanser Publisher, 2003. 280 s. ISBN 3-446-22456-4.
- [12] BEAUMONT, J. P. *Runner and gating design handbook*. 1st ed. Munich: Hanser Publisher, 2004. 286 s. ISBN 3-446-22672-9.
- [13] LINDER, E., UNGER, O. *Injection molds*. 3rd ed. Munich: Hanser Publisher, 2002. 249 s. ISBN 3-446-21448-8.
- [14] REES, H. *Mold engineering*. Munich: Hanser Publisher, 1995. 612 s. ISBN 3-446-17729-9.
- [15] MANZIONE, L. T. *Applications of computer aided engineering in injection molding*, Munich: Hanser Publisher, 1987. 302 s. ISBN 3-446-14703-9.

- [16] [www.ksp.tul.cz](http://www.ksp.tul.cz) [online]. [cit. 2014-2-2]. Dostupný z WWW:  
[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/04-vstrikovani%20plastu/06-vstrikovaci%20stroj%20schema.jpg](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04-vstrikovani%20plastu/06-vstrikovaci%20stroj%20schema.jpg)
- [17] Jan Svoboda s.r.o. [online]. [cit. 2014-2-2]. Dostupný z WWW:  
<http://pokus.jansvoboda.cz/vzduchovy-ventil>
- [18] Jan Svoboda s.r.o. [online]. [cit. 2014-2-2]. Dostupný z WWW:  
<http://pokus.jansvoboda.cz/vzduchovy-vyhazovac-s-jehlou>
- [19] Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně [online]. [cit. 2014-2-2]. Dostupný z WWW:  
<http://www.utb.cz/ft/struktura/arburg-allrounder-470-h-pro-podporu-uvi>
- [20] Technodat [online]. [cit. 2014-2-2]. Dostupný z WWW: <http://www.technodat.cz>
- [21] Smartplast [online]. [cit. 2014-2-2]. Dostupný z WWW: <http://smartplast.cz>
- [22] Autodesk [online]. [cit. 2014-2-2]. Dostupný z WWW:  
<http://knowledge.autodesk.com/>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

PC	Polykarbonát
PLM	Product Lifecycle Management – správa životního cyklu výrobku
DS	Dassult Systèmes.
CAD	Computer aided design – počítačem podporované konstruování
CAM	Computer aided manufacturing – počítačová podpora obrábění
CAE	Computer aided engineering – inženýrství pomocí počítače
PLC	Programmable logic controller – programovatelný logický automat

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. Vstřikovací cyklus [3] .....	13
Obr. 2. Ukázka vstřikovacího stroje Arburg Allrounder 470 H 1000 – 400 na Ústavu výrobního inženýrství [19] .....	14
Obr. 3. Vstřikovací stroj [16].....	15
Obr. 4. Popis vstřikovací jednotky [4].....	15
Obr. 5. Popis uzavírací jednotky [4] .....	16
Obr. 6. Základní typy vstřikovacích forem [3] .....	18
Obr. 7. Řez vstřikovací formou .....	19
Obr. 8. Vtokový systém [3] .....	20
Obr. 9. Studený vtok [8] .....	21
Obr. 10. Průřezy rozvodných kanálů [3].....	22
Obr. 11. Typy vtokových ústí [8] .....	22
Obr. 12. Horký vtokový systém [9] .....	23
Obr. 13. Příklady rozvodných bloků [9] .....	24
Obr. 14. Způsoby přidržení a vyhození vtokového zbytku [8].....	25
Obr. 15. Typy vyhazovačů.....	26
Obr. 16. Šikmé vyhazovače .....	27
Obr. 17. Vzduchový ventil [17] .....	27
Obr. 18. Vzduchový ventil s jehlou [18] .....	28
Obr. 19. Vyhazování stírací deskou [8] .....	28
Obr. 20. Příklady temperačních kanálů [3].....	31
Obr. 21. Ukázka původního dílu.....	34
Obr. 22. Vstřikovaný díl .....	36
Obr. 23. Volvo A35G, A40G FS dumper .....	36
Obr. 24. Vstřikovací forma .....	38
Obr. 25. Pohled na pravou stranu formy.....	39
Obr. 26. Pohled na levou stranu formy .....	39
Obr. 27. Pohled na vyhazovací systém .....	40
Obr. 28. Rozmístění vyhazovačů.....	41
Obr. 29. Tvárnice .....	42
Obr. 30. Tvárník.....	43
Obr. 31. Parametry spirály .....	44

Obr. 32. Temperace 1 .....	45
Obr. 33. Temperace 2 .....	46
Obr. 34. Popis rozvodného kanálu .....	47
Obr. 35. Detail umístění rozvodného kanálu .....	47
Obr. 36. Vstřikovací stroj Ferromatik Milacron .....	48
Obr. 37. Čas plnění .....	50
Obr. 38. Tlak při přepnutí na dotlak .....	51
Obr. 39. Detail – tlak při přepnutí na dotlak .....	51
Obr. 40. Průběh uzavírací síly .....	52
Obr. 41. Vzduchové kapsy – pohledová strana .....	53
Obr. 42. Vzduchové kapsy – obrácená strana .....	54
Obr. 43. Studené spoje .....	55
Obr. 44. Smyková rychlost .....	56
Obr. 45. Teplota na čele taveniny .....	57
Obr. 46. Teplota temperačního média 1 .....	58
Obr. 47. Teplota temperačního média 2 .....	59
Obr. 48. Reynoldsovo číslo pro temperaci 1 .....	61
Obr. 49. Reynoldsovo číslo pro temperaci 2 .....	62
Obr. 50. Efektivita odvodu tepla pro temperaci 1 .....	63
Obr. 51. Efektivita odvodu tepla pro temperaci 2 .....	64
Obr. 52. Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty pro temperaci 1 .....	66
Obr. 53. Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty pro temperaci 2 .....	66
Obr. 54. Odchylky – Lexan 121 – temperace 1 .....	67
Obr. 55. Odchylky – Lexan 121 – temperace 2 .....	68
Obr. 56. Odchylky – PC – 122 U .....	68
Obr. 57. Nerovnoměrné chlazení [22] .....	69
Obr. 58. Průhyb dílce .....	69
Obr. 59. Deformace způsobena chlazením .....	70
Obr. 60. Celková deformace – Lexan 121 – temperace 1 .....	71
Obr. 61. Celková deformace – Lexan 121 – temperace 2 .....	72
Obr. 62. Celková deformace – PC – 122 U .....	72
Obr. 63. Detail: celková deformace Lexan 121 .....	73
Obr. 64. Detail: celková deformace PC – 122 U .....	73



**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1. Požadované teploty formy a taveniny [8].....	30
Tab. 2. Vlastnosti vstřikovaného materiálu PC Lexan 121 .....	37
Tab. 3. Rozměry formy .....	38
Tab. 4. Temperace .....	44
Tab. 5. Parametry vstřikovacího stroje a programu Moldflow.....	48
Tab. 6. Procesní podmínky .....	49
Tab. 7. Teploty temperačních médií na výstupech .....	60
Tab. 8. Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty - výsledek .....	65
Tab. 9. Velikosti celkových odchylek způsobeny chlazením.....	67
Tab. 10. Velikosti celkových odchylek způsobeny smrštěním.....	70
Tab. 11. Celkové deformace .....	71
Tab. 12. Celková deformace vyjádřena v % .....	73
Tab. 13. Vybrané závěry z analýzy.....	74

## **PŘÍLOHY**

PI. Kusovník

PII. Řez formou

PIII. DVD disk obsahující:

- diplomovou práci;
- 3D sestavu formy;
- analýzu vstříkovaného výrobku;
- řez formou;
- kusovník.

## PŘÍLOHA I: KUSOVNÍK

Poz.	Název	Výkres - Norma	Materiál	ks
1.	Středící kroužek pravý	PRT-0012951		1
2.	Izolační deska		S. pryskyřice	2
3.	Upínací deska pravá		11 600	1
4.	Rozpěrná deska		11 600	1
5.	Horký rozvod		11 600	1
6.	Tvárnice levá		19 512 kal. HRC 52-54	1
7.	Tvárnice pravá		19 512 kal. HRC 52-54	1
8.	Středící kroužek levý	PRT-0012950		1
9.	Upínací deska levá		11 600	1
10.	Operná deska		11 600	1
11.	Kotevní deska		11 600	1
12.	Rozpěrka		11 600	2
13.	Podpěrná deska		11 600	1
14.	Tvárník levý		19 512 kal. HRC 52-54	1
15.	Tvárník pravý		19 512 kal. HRC 52-54	1
16.	Destička 1		11 600	4
17.	Destička 2		11 600	8
18.	Destička 3		11 600	8
19.	Destička 4		11 600	2
20.	Kolík Ø10x50	CSN02340		4
21.	Středící trubka Ø54x80	PRT-0016937		4
22.	Čep Ø54x503	PRT-0015942		4
23.	Pouzdro Ø54x98	PRT-0016943		4
24.	Pouzdro Ø54x236	PRT-0016964		8
25.	Středící trubka Ø54x280	PRT-0016950		4
26.	Čep Ø25x349	PRT-0015965		4
27.	Čep Ø30x250	PRT-0015968		4
28.	Vedení Ø30x110	PRT-0018964		4
29.	Pouzdro Ø38x55	PRT-0016960		4
30.	Podpěra	PRT-0014957		10
31.	Trám	PRT-0011970		2
32.	Konektor	PRT-0010970		2
33.	Šroub M20x130	CSN021143		8
34.	Šroub M20x80	CSN021143		16
35.	Šroub M5x16	CSN021143		8
36.	Šroub M5x20	CSN021143		4
37.	Šroub M20x300	CSN021143		8

38.	Šroub M12x50	CSN021143		12
39.	Šroub M12x45	CSN021143		18
40.	Šroub M5x12	CSN021143		20
41.	Podložka	PRT-0013970		20
42.	Adapter	PRT-0016951		1
43.	Destička 5		11 600	2
44.	Šroub M10x20	CSN021143		8
45.	Vložka	PRT-0013969		6
46.	Vyhazovač trubkový	PRT-0019970		6
47.	Vyhazovač válcový	PRT-0019981		12
48.	Přidržovač vtoku	PRT-0019972		10
49.	Výustek	PRT-0020105		32
50.	Šroub M6x20	CSN021143		40
51.	Přepážka	PRT-0022795		48
52.	Ucpávka Ø12x16	PRT-0021110		164
53.	Ucpávka Ø12x8	PRT-0021107		232
54.	Zámek	PRT-0016955		