Konstrukce vstřikovací formy

Bc. Martin Tomaštík

Diplomová práce
2012

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

nascannované zadání s. 1

nascannované zadání s. 2

Příjmení a jméno: Tomaštík Martin Obor: Konstrukce technologických zařízení

P R O H L Á Š E N Í

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 [1)];
- 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 [2)];
- beru na vědomí, že podle § 60 [3)] 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 [3)] 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 ....

[1] *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 nevýdělečně 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.

[2] *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 vzdělávacího zařízení (školní dílo).

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

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

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

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem a konstrukcí vstřikovací formy pro zadaný plastový díl. Celá práce je rozdělena do dvou hlavních částí.

V teoretické části je popsána technologie vstřikování, která se zaměřuje především na vtokový systém a temperaci formy. Dále jsou zde popsány polymery pro vstřikování a základní zásady, kterých je třeba dbát při konstrukci vstřikovacích forem.

Praktická část se zabývá návrhem a konstrukcí vstřikovací formy pro plastový díl, kterým je těleso bočního ofukovače do osobního automobilu. Pro danou vstřikovací formu jsou navrženy dvě varianty temperace (konvenční a nekonvenční způsob). Celý návrh vstřikovací formy je ověřen pomocí tokových analýz.

Klíčová slova: vstřikování, výstřik, temperace, tvarová vložka, konstrukce, vstřikovací forma

ABSTRACT

This thesis describes a design of injection mold for specified plastic part. The thesis is divided into two main parts.

The theoretical part describes an injection molding technology and primarily is focused on gating and cooling system. There are also described polymers for injection molding and basic principles to be observed in the construction of injection molds.

The practical part deals with the design of injection mold for plastic part, which is a housing of side blower from personal car. For the injection mold are designed two variants of cooling systems (conventional and unconventional). The whole design of injection mold is verified with flow analysis.

Keywords: injection molding, plastic part, cooling system, cavity insert, design, injection mold

Velmi rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. za odborné vedení, poskytnuté rady, čas a trpělivost, kterou mi věnoval při vypracování této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Štěpánu Šandovi za poskytnuté rady, ochotu a čas, který mi věnoval.

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

Ve Zlíně . . . . . .

. . . . . .

Podpis

OBSAH

ÚVOD **11**
I TEORETICKÁ ČÁST **12**
1 POLYMERY PRO VSTŘIKOVÁNÍ **13**
1.1 PLASTY 14
1.1.1 Termoplasty 14
1.1.2 Reaktoplasty 15
1.2 ELASTOMERY 15
2 VSTŘIKOVÁNÍ **17**
3 VSTŘIKOVACÍ STROJ **18**
3.1 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA 19
3.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA 20
4 VSTŘIKOVACÍ FORMA **21**
4.1 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ 21
4.1.1 Zaformování výstřiku, dělící rovina 21
4.1.2 Volba násobnosti vstřikovací formy 22
4.1.3 Smrštění 23
5 STUDENÝ VTOKOVÝ SYSTÉM (SVS) **25**
5.1 PLNÝ KUŽELOVÝ VTOK 26
5.2 BODOVÝ VTOK 26
5.3 TUNELOVÝ VTOK 27
5.4 BOČNÍ VTOK 28
5.5 FILMOVÝ VTOK 29
6 VYHŘÍVANÝ VTOKOVÝ SYSTÉM (VVS) **31**
6.1 VYTÁPĚNÉ ROZVODNÉ BLOKY 32
6.2 VYHŘÍVANÉ TRYSKY 34
7 TEMPEROVÁNÍ FOREM **37**
7.1 OBECNÉ ZÁSADY VOLBY TEMPERAČNÍCH KANÁLŮ 37
7.1.1 Umístění temperačních kanálů v blízkosti hran tvárníků a tvárnic 38
7.2 TEMPERAČNÍ PROSTŘEDKY 39
7.3 CHLAZENÍ TVÁRNIC A DESEK 41
7.4 CHLAZENÍ TVÁRNÍKŮ A JADER 43
8 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VLASTNOSTI A KVALITU VÝSTŘIKU **44**
II PRAKTICKÁ ČÁST **45**
9 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE **46**
10 CHARAKTERISTIKA VSTŘIKOVANÉHO DÍLCE **47**
10.1 MATERIÁL VSTŘIKOVANÉHO DÍLCE 48
11 PŘEDBĚŽNÁ ANALÝZA VSTŘIKOVANÉHO DÍLCE **49**
12 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY **50**

12.1 NÁSOBNOST VSTŘIKOVACÍ FORMY 51
12.2 ZAFORMOVÁNÍ VSTŘIKOVANÉHO DÍLCE A DĚLÍCÍ ROVINA 51
12.2.1 Tvarová část - pravá 53
12.2.2 Tvarová část - levá 53
12.2.3 Tvarová část - přední, zadní a spodní 54
12.2.4 Tvarová část - horní 56
12.2.5 Vnitřní tvarové části 58
12.3 VTOKOVÝ SYSTÉM 59
12.4 ODVZDUŠNĚNÍ 61
12.5 TEMPERAČNÍ SYSTÉM (1.VARIANTA) 61
12.5.1 Temperace pravé tvarové vložky 62
12.5.2 Temperace levé tvarové vložky 63
12.5.3 Temperace přední tvarové vložky 64
12.5.4 Temperace zadní tvarové vložky 64
12.5.5 Temperace spodní tvarové vložky 65
12.5.6 Temperace horní tvarové vložky 66
12.6 TEMPERAČNÍ SYSTÉM (2.VARIANTA) 68
12.6.1 Temperace pravé tvarové vložky 70
12.6.2 Temperace levé tvarové vložky 70
12.6.3 Temperace přední tvarové vložky 71
12.6.4 Temperace zadní tvarové vložky 72
12.6.5 Temperace spodní tvarové vložky 72
12.6.6 Temperace horní tvarové vložky 73
12.7 VYHAZOVACÍ SYSTÉM 73
12.8 MANIPULACE S FORMOU 75
12.9 CELKOVÁ KONSTRUKCE FORMY 76
13 TOKOVÉ ANALÝZY 78
13.1 TYPY SÍTÍ V PROGRAMU MOLDFLOW 78
13.2 MODEL VÝROBKU 79
13.2.1 Tvorba sítě 79
13.2.2 Kontrola sítě 80
13.2.3 Úprava sítě 81
13.3 VTOKOVÝ SYSTÉM 82
13.4 TEMPERAČNÍ SYSTÉM 83
13.4.1 Temperační médium 84
13.5 PROCESNÍ PODMÍNKY 85
13.5.1 Vstřikovací stroj 85
14 VÝSLEDKY TOKOVÝCH ANALÝZ 88

14.1 VHODNOST UMÍSTĚNÍ VTOKU (GATING SUITABILITY) 88
14.2 ČAS PLNĚNÍ (FILL TIME) 89
14.3 SMYKOVÁ RYCHLOST (SHEAR RATE) 91
14.4 TEPLOTA TAVENINY NA KONCI FÁZE PLNĚNÍ (BULK TEMPERATURE AT END OF FILL) 92
14.5 UZAVÍRACÍ SÍLA (CLAMP FORCE: XY PLOT) 93
14.6 TEPLOTA TEMPERAČNÍHO MÉDIA V PRŮBĚHU KANÁLŮ (CIRCUIT COOLANT TEMPERATURE) 94
14.7 HODNOTA REYNOLDSOVA ČÍSLA (CIRCUIT REYNOLDS NUMBER) 96
14.8 ČAS POTŘEBNÝ K DOSAŽENÍ VYHAZOVACÍ TEPLOTY (TIME TO REACH EJECTION TEMPERATURE, PART) 97
14.9 DEFORMACE VÝSTŘIKU OD VŠECH PŮSOBÍCÍCH VLIVŮ (DEFLECTION, ALL EFFECTS: DEFLECTION) 99
15 DISKUZE VÝSLEDKŮ 101
ZÁVĚR 103
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 104
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 106
SEZNAM OBRÁZKŮ 107
SEZNAM TABULEK 111
SEZNAM PŘÍLOH 112

ÚVOD

Vstřikování je v dnešní době jedna z nejrozšířenějších technologií výroby přesných plastových výrobků. Jedná se o složitý proces, který se provádí na vstřikovacím stroji. Umožňuje vyrábět jak výrobky miniaturní, tak i výrobky velkých rozměrů. Vyznačuje se přesností tvarů a rozměrů, vzhledu a mechanických vlastností. Je celá řada postupů, která nám umožňuje vyrábět složité výrobky. K tomu, aby vznikl výrobek s tak vysokými požadavky, vede dlouhá cesta od prvních designérských návrhů, přes návrh konstrukce výrobku, návrh a konstrukci vstřikovací formy až po vlastní výrobu. Nesmí se zapomenout ani na velké množství analýz, které výrobě nástroje předcházejí.

Konstrukce a samotná výroba forem je finančně i časově velmi náročná. Jednou z možností, jak oba tyto prvky optimalizovat je použití normálií od firem, které se jejich výrobou zabývají. Mezi nejznámější patří např. HASCO, DME, STRACK.

Při konstrukci vstřikovací formy se již neobejde bez aplikací CAD, CAM a CAE aplikací, čímž dochází k menšímu množství úprav na vyrobené formě a k ušetření finančních prostředků.

Široké využití termoplastů se týká hlavně automobilového průmyslu. V elektronickém průmyslu se využívá zejména dobrých elektroizolačních vlastností plastů. Efektivně se využívá použití lehčených plastů ve stavebnictví, jelikož mají výborné tepelně izolační vlastnosti. Nesmíme zapomenout ani na odolnost plastů proti korozi a chemikáliím, což má velké využití ve strojírenství. Díky velkým možnostem využití termoplastů je tato technologie i nadále velmi perspektivní.

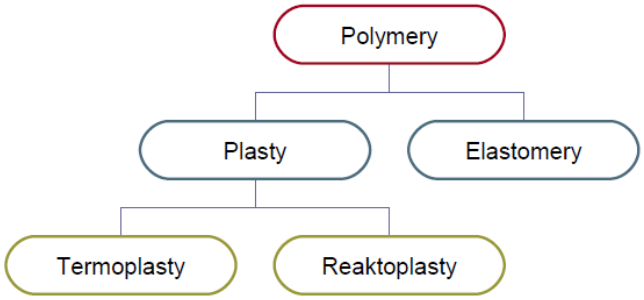
Kromě klasického vstřikování se tato technologie rozšířila na její další modifikace, mezi které lze zařadit vícekomponentní vstřikování, vstřikování dutých a tlustostěnných výrobků s pomocí vody nebo plynu (WIT, GIT), vstřikování strukturně lehčených plastů nebo kaskádové vstřikování.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY PRO VSTŘIKOVÁNÍ

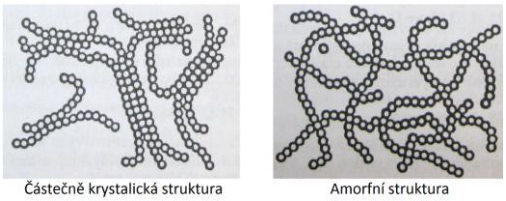
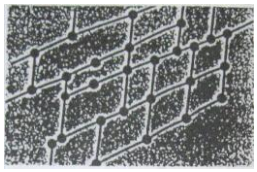
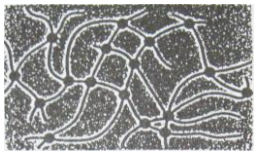
Plasty jsou materiály složené z makromolekulárních látek, polymerů. Teplem a tlakem je možné měnit jejich formu a tvar, tedy tvářet je či tvarovat. Polymery jsou přírodní nebo syntetické sloučeniny, v jejichž veliké molekule tzv. makromolekule se jako článek řetězce mnohokrát opakuje základní monomerní jednotka. Představují tedy chemickou stavebnici, která umožňuje neobyčejnou proměnlivost struktur i vlastností výsledných látek. Plastem se polymer stává až poté, co se smísí s nezbytnými přísadami a je převeden do formy vhodné k dalšímu technologickému zpracování. [8]

Polymery se dělí na plasty a elastomery:



Obr. 1 Rozdělení polymerů [25]

Tab. 1 Rozdělení a definice polymerů [5]

Termoplasty  	Materiály, které mění tvar působením tepla a smykovými silami. Po ochlazení je možné je opět působením tepla převést do taveniny.
Reaktoplasty 	Plasty s pevně propojenými řetězci vytvořenými síťováním. Řetězce nelze teplem rozpojit.
Elastomery 	Spoje mezi řetězci jsou aktivovány teplem – vulkanizace. Okolo spojů se řetězce mohou pohybovat – elasticita.

1.1 Plasty

Plasty jako materiál jsou látky, jejichž struktura je tvořena makromolekulárními řetězci (oproti kovům, které mají strukturu tvořenou krystalickými mřížkami). Jsou rozděleny na dva základní druhy: termoplasty a reaktoplasty. [1]

1.1.1 Termoplasty

Jedná se o polymerní materiály, které při zahřívání přecházejí do plastického stavu, do stavu vysoce viskózních nenewtonských kapalin, kde je lze snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi. Do tuhého stavu přejdou ochlazením pod teplotu tání T_m (semikrystalické plasty), resp. teplotu viskózního toku T_f (amorfní plasty). Protože při zahřívání nedochází ke změnám chemické struktury, lze proces měknutí a následného tuhnutí opakovat teoreticky bez omezení. Jedná se o fyzikální proces. [6]

Z hlediska vnitřní struktury se termoplasty dělí na:

- amorfní – nepravidelné uspořádání řetězců,
- semikrystalické – podstatná část řetězců je pravidelně a těsně uspořádána a tvoří krystalické útvary. [1]

Tab. 2 Základní vlastnosti termoplastů

Základní vlastnosti termoplastů	
Amorfní	**Semikrystalické**
• Tvrdé, • křehké, • průhledné, • vysoká pevnost, • dobře rozpustné v organických rozpouštědlech, • transparentní (řetězce jsou nepravidelně prostorově uspořádány), • PS, ABS, SAN, PMMA, PC, PVC,…	• Houževnaté, • mléčně zakalené až neprůhledné, • pevnost se zvyšuje s rostoucí krystalinitou, • špatně rozpustné v organických rozpouštědlech, • pravidelné uspořádání řetězců, • PE, PP, POM, PBT, PA6,…

Tab. 3 Zpracovatelské teploty základních termoplastů [17]

Polymer	Teplota taveniny [°C]	Teplota formy [°C]
ABS	190 – 250	50 – 85
HDPE	180 – 270	20 – 60
LDPE	180 – 270	20 – 60
PA6	230 – 290	40 – 120
PC	280 – 320	85 – 120
PMMA	200 – 250	50 – 80
POM	180 – 220	50 – 120
PP	170 – 280	20 – 100
PS	180 – 260	55 – 80
SAN	200 – 260	50 – 85

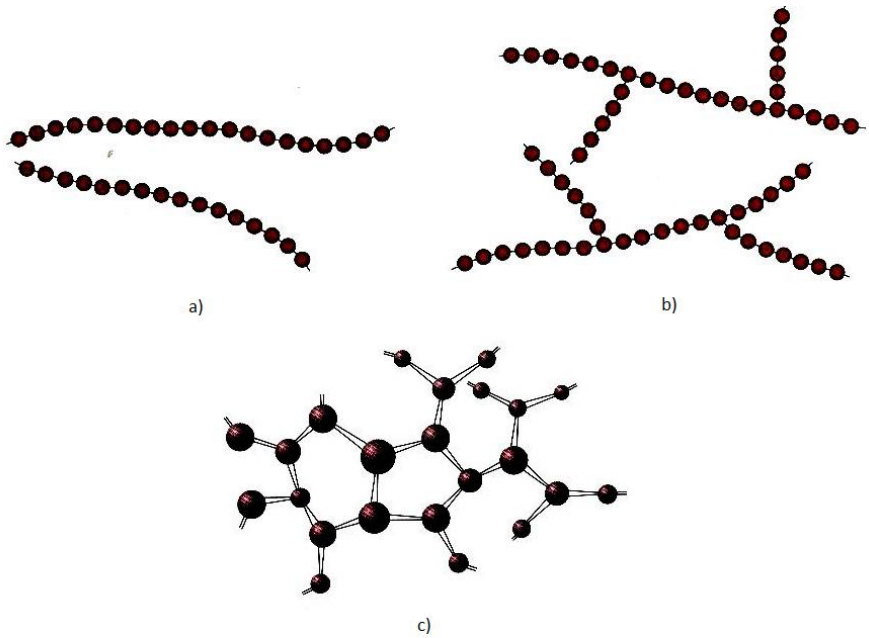
1.1.2 Reaktoplasty

Jedná se o polymerní materiály, dříve nazývané termosety, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, k tzv. vytvrzování. Výrobek je možno považovat za jednu velkou makromolekulu. Ochlazování reaktoplastů probíhá mimo nástroj, neboť zajištění rychlého ohřevu formy pro vytvrzení a následné rychlé ochlazení materiálu by bylo obtížné. Tento děj je nevratný a vytvrzené plasty nelze roztavit ani rozpustit, dalším zahříváním dojde k rozkladu hmoty (degradaci). Patří sem fenol-formaldehydové hmoty, epoxidové pryskyřice, polyesterové hmoty, apod. [6]

1.2 Elastomery

Elastomer je vysoce elastický polymer, který lze za běžných podmínek malou silou značně deformovat bez porušení. Tato deformace je převážně vratná. Dominantní skupinou elastomerů jsou kaučuky, z nichž se vyrábí pryže. [25]

Kaučuk je elastomer, který se po smíchání se síťovými činidly a dalšími látkami stává gumou, která má schopnost být vulkanizací převedena na pryž. [9]

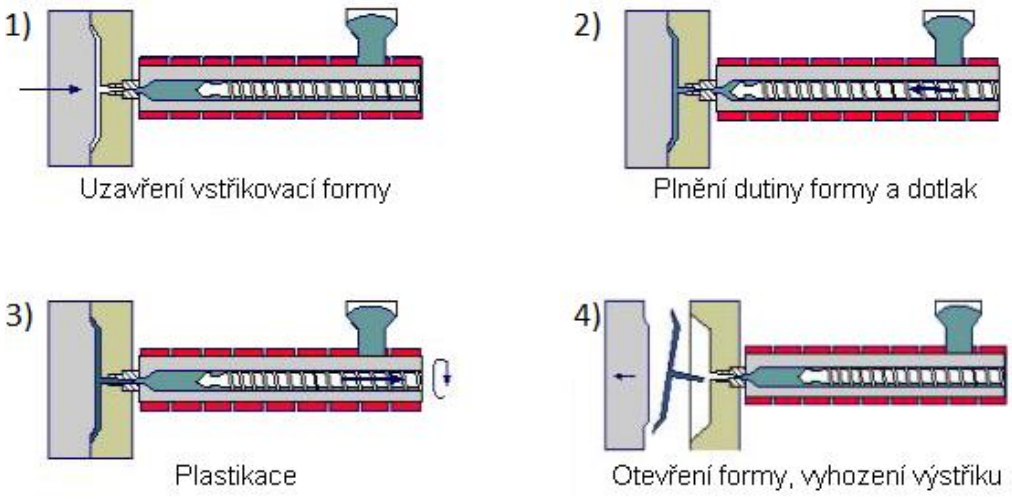


Obr. 2 Makromolekulární sítě [10]
a) lineární, b) rozvětvené, c) prostorově zesíťované

2 VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je způsob tváření plastů, při kterém je dávka zpracovávaného materiálu z pomocné tlakové komory vstříknuta velkou rychlostí do uzavřené dutiny kovové formy, kde ztuhne ve finální výrobek. Tlaková komora je součástí vstřikovacího stroje a zásoba vstřikovaného materiálu se v ní stále doplňuje během cyklu. Výhody vstřikování jsou krátký čas cyklu, schopnost vyrábět složité součásti s dobrými tolerancemi rozměrů a velmi dobrou povrchovou úpravou, ale i konstrukční flexibilita, která umožňuje odstranění konečných úprav povrchu a montážních operací. Hlavní nevýhodou v porovnání s ostatními metodami zpracování plastů jsou vysoké investiční náklady, dlouhé doby nutné pro výrobu forem a potřeba používat strojní zařízení, které je neúměrně velké v porovnání s vyráběným dílem. [2]

Postup vstřikování je následující: plast v podobě granulí je nasypán do násypky, z níž je odebírán pracovní částí vstřikovacího stroje (šnekem, pístem), která hmotu dopravuje do tavící komory, kde za současného účinku tření a topení plast taje a vzniká tavenina. Tavenina je následně vstřikována do dutiny formy, kterou zcela zaplní a zaujme její tvar. Následuje tlaková fáze pro snížení smrštění a rozměrových změn. Plast předává formě teplo a ochlazováním ztuhne ve finální výrobek. Potom se forma otevře a výrobek je vyhozen a celý cyklus se opakuje. [2]



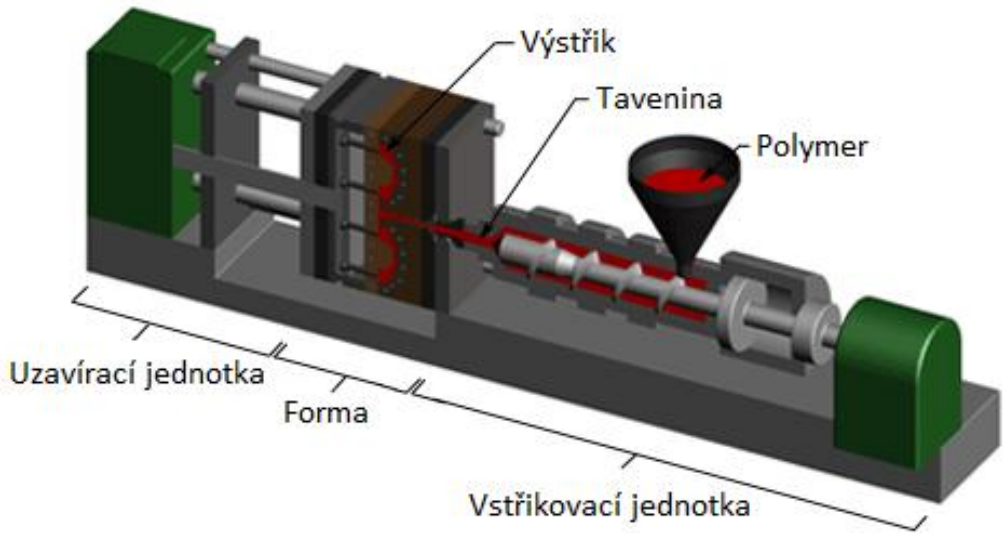
Obr. 3 Postup vstřikování [2]

3 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Na vstřikovacích strojích se dají zpracovávat plasty i kaučukové směsi. Vstřikování zaznamenalo v poslední době nejbouřlivější rozvoj ze všech technologií zpracování plastů a elastomerů. Na vstřikovacích strojích lze vyrábět i výrobky velmi složitých tvarů v úzkých výrobních tolerancích a v obrovských sériích. Vstřikované výrobky nacházejí využití v domácnostech, ve spotřebním průmyslu, strojírenském, automobilovém průmyslu, elektrotechnice a elektronice i v optice. [4]

V současné době existuje velký počet různých konstrukcí strojů, které se od sebe liší svým provedením, stupněm řízení, stálostí a reprodukovatelností jednotlivých parametrů, rychlostí výroby, snadnou obsluhou i cenou. Konstrukce stroje je charakterizována podle:

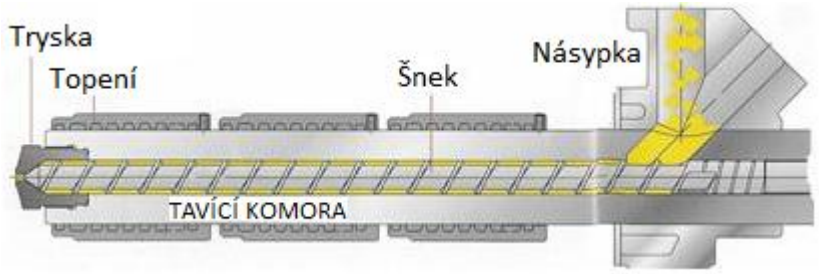
- vstřikovací jednotky,
- uzavírací jednotky,
- ovládání a řízení stroje. [1]



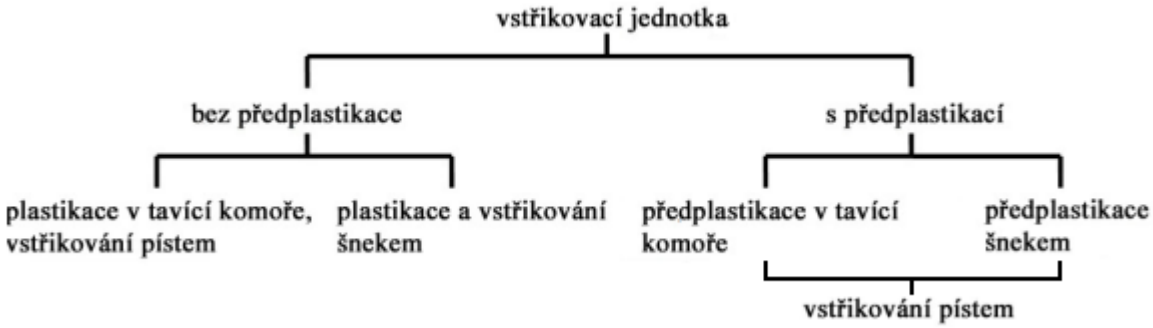
Obr. 4 Vstřikovací stroj [7]

3.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka plní dva hlavní úkoly: přeměňuje granulát plastu na homogenní taveninu o dané viskozitě, vstřikuje taveninu vysokou rychlostí a velkým tlakem do dutiny formy. [2]



Obr. 5 Vstřikovací (plastikační) jednotka [2]



Obr. 6 Rozdělení vstřikovacích jednotek [4]

Pohyb plastu v komoře je u pístových strojů zajišťován pístem a u šnekových strojů šnekem. Konstrukcí šnekových vstřikovacích strojů byly s úspěchem vyřešeny všechny hlavní nedostatky pístových strojů. [2]

Mezi největší přednosti šnekových strojů patří:

- spolehlivá plastikace a dobrá homogenizace roztaveného plastu,
- zabránění přehřívání materiálu v tavicí komoře,
- vysoký plastikační výkon i velký zdvihový objem, takže velikost výstřiku lze teoreticky libovolně zvyšovat,
- odstranění potíží při čištění komory při výměně materiálu,
- zaručené přesné dávkování hmoty,
- nízké ztráty tlaku během pohybu hmoty,

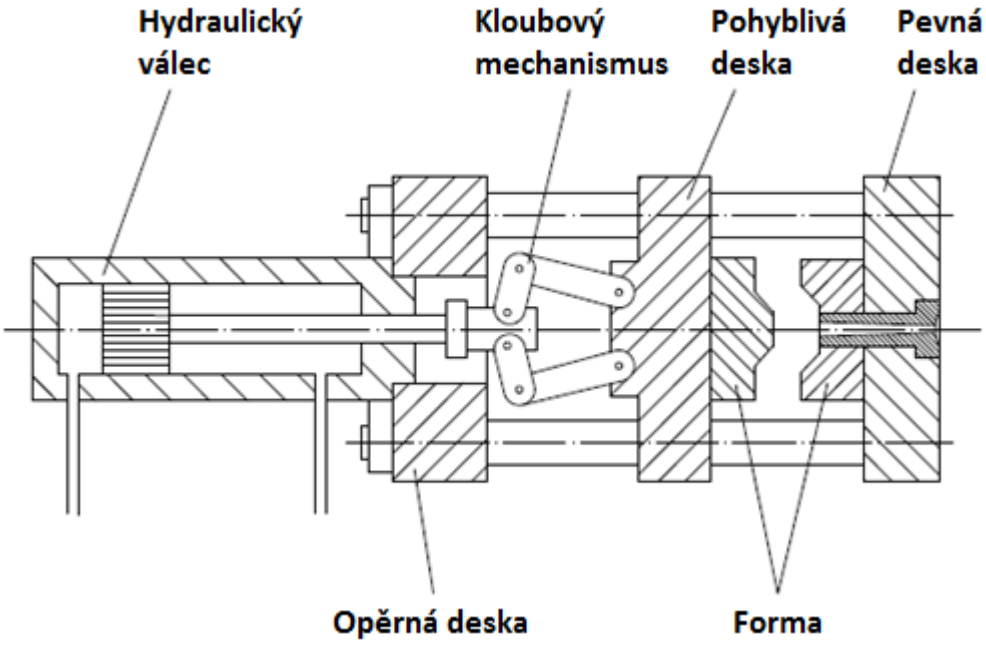
- vyšší účinnost zásahu do vstřikovacího procesu, např. řízením dotlaku. [2]

3.2 Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky je zavírat a otevírat formu dle procesu vstřikování a zajistit uzavření formy takovou silou, aby se při vstříknutí tlakem taveniny forma neotevřela. [2]

Uzavírací jednotka se skládá z těchto hlavních částí: opěrné desky pevně spojené s ložem stroje, pohyblivé desky, na kterou je upnuta pohyblivá část formy, upínací desky s otvorem pro trysku stroje, na kterou se připevní nepohyblivá část vstřikovací formy, vedení pro pohyblivou desku, z uzavíracího a přidržovacího mechanismu. [2]

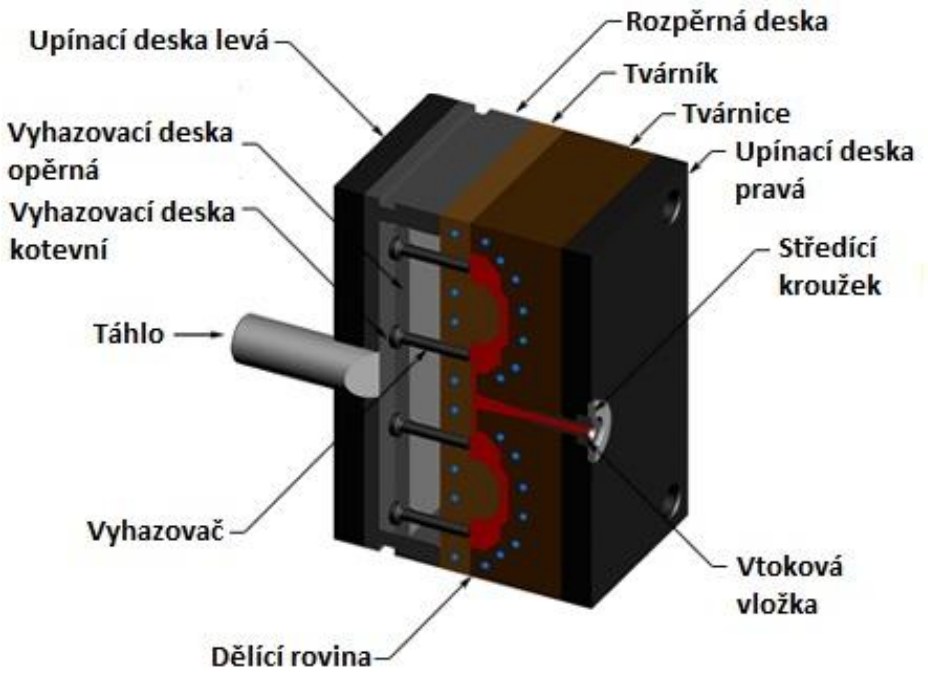
Obr. 7 Rozdělení vstřikovacích strojů [4]



Obr. 8 Schéma hydraulicko-mechanické uzavírací jednotky [1]

4 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací formy se řeší vždy s ohledem na technologický projekt příslušného výstřiku. Při řešení je třeba vzít v úvahu především druh vstřikovaného polymeru a velikost výrobní série. Dále je třeba přihlédnout k možnostem navrhovaného výrobního zařízení a k požadavkům na kvalitu výrobků i produktivity práce. V závislosti na velikosti série se posuzuje stupeň mechanizace forem, aby případné dokončovací operace podstatně neovlivnily ekonomii výroby. [11]



Obr. 9 Vstřikovací forma [7]

4.1 Konstrukce vstřikovaných dílů

4.1.1 Zaformování výstřiku, dělící rovina

Správné zaformování výstřiku a vhodná volba dělící roviny patří k rozhodujícím zásadám konstrukce formy. Umožňuje dodržet tvar a rozměry výstřiku i ekonomiku výroby. Vychází z konstrukčního řešení vyráběného dílu. [1]

Dělící rovina je plocha, ve které na sebe dosedají části formy při uzavření dutiny formy. Dělící rovina se umísťuje vzhledem k výrobku tak, aby se usnadnilo jeho vyjímání

z dutiny formy a aby stopa po dělící rovině nezpůsobila funkční nebo vzhledové vady výrobku. S ohledem na umístění dělící roviny rozlišujeme hlavní a vedlejší dělící rovinu. [11]

Za hlavní dělící rovinu se zpravidla považuje dělící rovina, která je kolmá ke směru uzavírání formy. Ostatní dělící roviny jsou pak vedlejší, jsou nutné u výrobků s bočními otvory, zápichy, nálitky, apod. [11]

Nepřesnost v dělící rovině může způsobit nedovření formy během plnění. To má za následek vznik otřepů nebo zvetšení rozměrů výstřiku ve směru uzavírání formy. Proto je třeba, aby dělící rovina:

- umožnila snadné vyjímání výstřiku z formy,
- byla pravidelná, jednoduchého geometrického tvaru, snadno vyrobitelná a dobře slícovaná,
- probíhala v hranách výrobku,
- byla umístěna tak, aby splňovala požadavek výroby přesných rozměrů, směr technologických úkosu a souosost výstřiku, pokud je v obou polovinách formy,
- stopa po dělící rovině nesmí být příčinou funkčních nebo vzhledových vad,
- u více dělících rovin volit koncepci s ohledem na jejich nejmenší počet.

Pozitivní úlohu hraje dělící rovina při odvzdušňování dutiny formy. [1]

4.1.2 Volba násobnosti vstřikovací formy

Optimální volba násobnosti formy vyžaduje správné vyhodnocení jednotlivých činitelů, kteří ji ovlivňují. Posuzují se z hlediska:

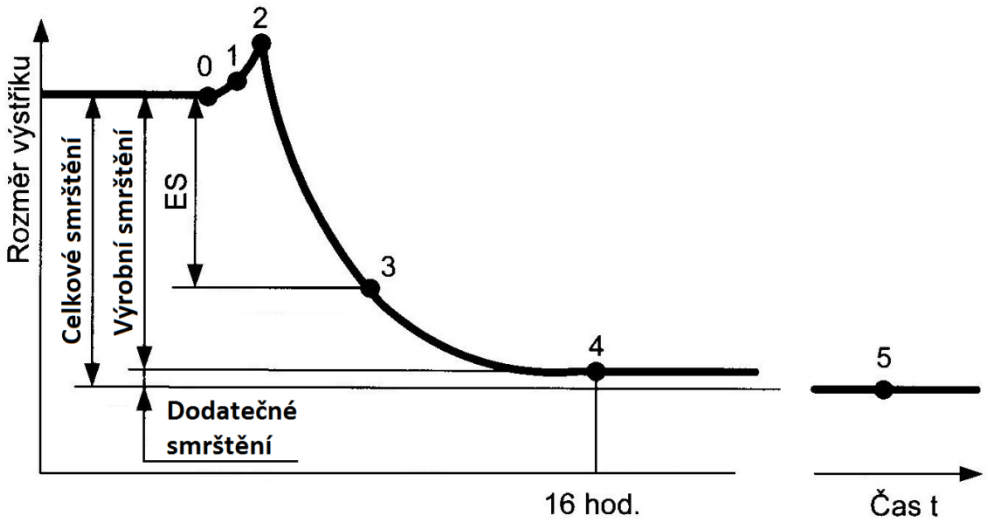
- charakteru a přesnosti výstřiku,
- požadovaného množství výrobků,
- velikosti a kapacitě vstřikovacího stroje,
- požadovaného termínu dodávky,
- ekonomiky výroby.

Součásti tvarově náročné, které vedou ke složité formě, jako i velkorozměrové výstřiky se většinou vyrábí v jednonásobných formách. [1]

4.1.3 Smrštění

Velikost smrštění je rozdíl mezi rozměrem dutiny formy a skutečným rozměrem výrobku. Smrštění závisí jak na druhu zpracovaného materiálu, tak také na technologických parametrech a čase. U amorfních termoplastů je smrštění i jeho rozptyl menší, než u krystalických termoplastů vzhledem ke změnám struktury. Plněné polymery mají analogicky smrštění menší než polymery neplněné, protože plniva se zpravidla smršťují méně než samotný polymer. [1], [11]

Smrštění se rozděluje do dvou časových fází. Výrobní smrštění se stanoví 24 hod. po výrobě součásti a představuje až 90 % z celkové hodnoty smrštění. Zbytek je dodatečné smrštění, které probíhá poměrně dlouho v závislosti na typu polymeru. Smrštění lze urychlit temperací (stabilizace výrobku). [1]



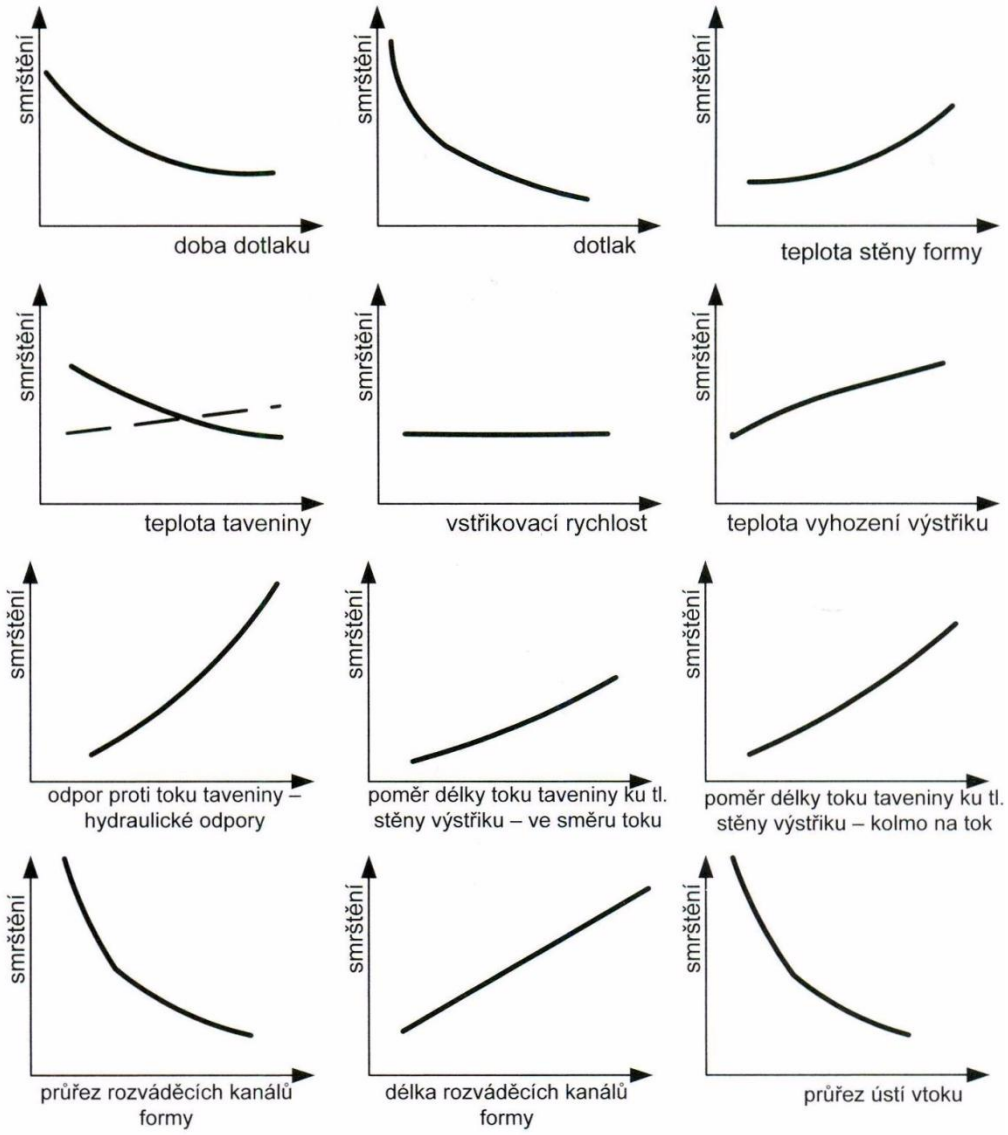
Obr. 10 Průběh smršťování výstřiku [5]

0 – rozměr ve studené formě, 1 – rozměr ve vytemperované formě, 2 – rozměr v uzavřené formě po dotlaku, 3 – rozměr výstřiku při vyhození z formy, 4 – doba měření výrobního smrštění (DIN 16 901 – 16hod.), 5 – rozměr po delším čase, ES – smrštění při vyhození výstřiku z formy

Smrštění nemusí být ve všech směrech stejné, záleží na směru proudění taveniny, orientaci makromolekul, plnivu, druhu polymeru, tvaru výrobku, temperaci, apod. Smrštění se zpravidla udává dvěma hodnotami, kolmo na směr toku a ve směru toku. [9]

Na výsledné smrštění působí velké množství ovlivňujících parametrů, přičemž mezi základní je možné počítat:

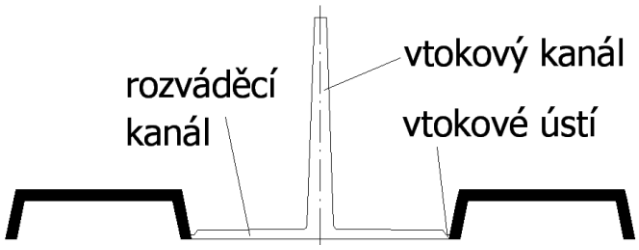
- procesní parametry výroby – tlaky, teploty, časy,
- typ a vlastnosti zpracovávaného termoplastu – amorfní, částečně krystalické materiály, jejich pvT chování, plněné, neplněné plasty, druh a obsah plniva,
- konstrukce výstřiku, resp. formy – zejména tloušťka stěn výstřiku, tvary ovlivňující smrštění, apod. [5]



Obr. 11 Vliv vybraných procesních parametrů na průběh smrštění [5]

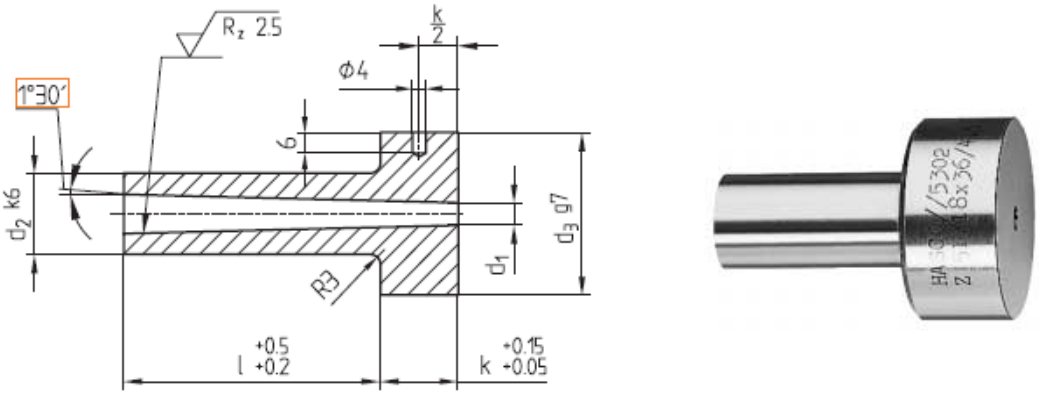
5 STUDENÝ VTOKOVÝ SYSTÉM (SVS)

Vtokový systém vstřikovací formy zajišťuje při vstřiku vedení proudu taveniny z plastikační jednotky do dutiny vstřikovací formy. Naplnění dutiny má proběhnout v co nejkratším možném čase a s minimálním odporem. [9]



Obr. 12 Studený vtokový systém [9]

Při volbě určitého vtokového sytému se vychází z toho, že tavenina se vstřikuje velkou rychlostí do relativně studené formy. Během průtoku studeným vtokovým systémem viskozita taveniny na vnějším povrchu prudce roste, nejnižší je uprostřed. Vysoká viskozita vyžaduje vysoké tlaky v systému (40 až 200 MPa). Ztuhlá povrchová vrstva taveniny vytváří tepelnou isolaci vnitřnímu proudu taveniny. Za tohoto stavu se zaplní celá dutina. V okamžiku zaplnění vzroste prudce odpor a poklesne průtok. V dutině formy nastává postupné tuhnutí taveniny odvodem tepla do stěn formy. Další doplňování taveniny může nastat jen jejím elastickým stlačením. Ve vtokových ústích ještě v tomto okamžiku dochází k vývinu tepla vlivem tlaku a tím oddálení ztuhnutí taveniny. V případě, že již stroj není schopen překonat tlakové ztráty, dochází k poklesu rychlosti vstřiku a celkovému ochlazení plastu ve vtokovém systému i v dutině formy. [1]

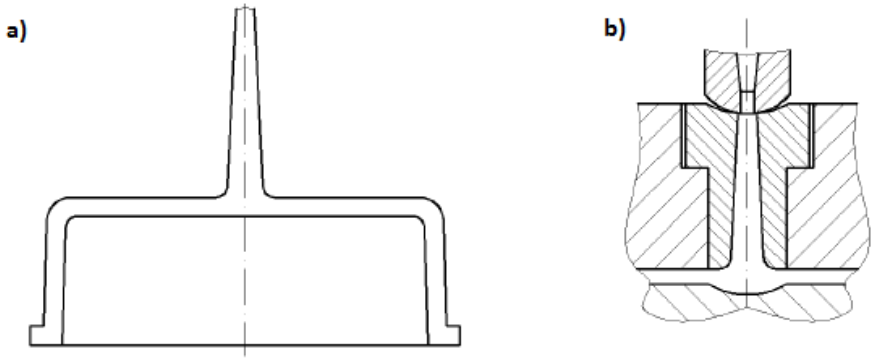


Obr. 13 Vtoková vložka HASCO Z51 [14]

5.1 Plný kuželový vtok

Plný kuželový vtok přivádí taveninu do tvarové dutiny formy bez zúženého vtokového ústí. Používá se převážně u jednonásobných forem se symetricky uloženou dutinou nebo pro tlustostěnné výstřiky. Z hlediska působení dotlaku je velmi účinný, protože vtok tuhne ve formě poslední. [1]

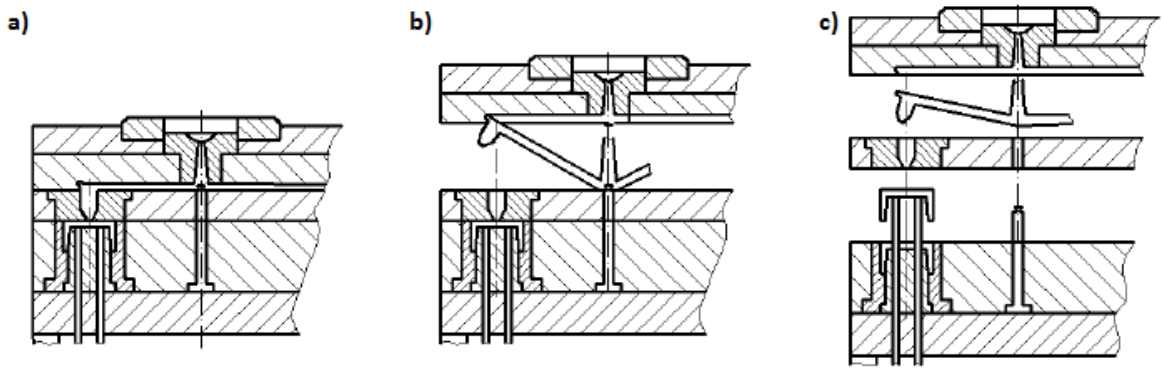
Jeho odstranění je pracné a zanechává vždy stopu na výstřiku. Pro určení jeho průměru platí, že ústí vtoku má být o 1 až 1,5 mm větší, než je tloušťka stěny výstřiku. Pro menší tloušťky stěn výstřiku je vhodné vytvořit proti ústí čočkovité zahloubení. [1]



Obr. 14 Plný kuželový vtok [1]
a) výstřik s plným kuželovým vtokem
b) čočkovité vybrání v dutině výstřiku

5.2 Bodový vtok

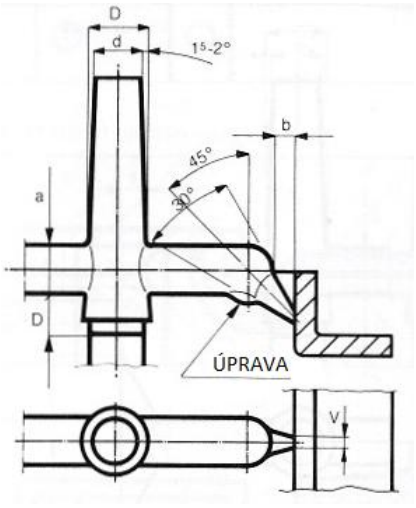
Je nejznámější typ zúženého vtokového ústí, zpravidla kruhového průřezu, který leží mimo nebo i v dělící rovině. Může vycházet přímo z vtokového kanálu, z předkomůrky nebo z rozváděcích kanálů. Vyžaduje systém třídeskových forem. U tohoto typu vtoku musí být zajištěno, aby nejprve došlo k odtržení vtokového ústí a teprve potom k otevření formy v dělící rovině s tvarovou dutinou. [1]



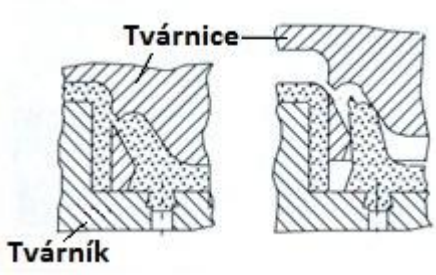
Obr. 15 Způsob vyhazování vtoku a výrobku u třídeskové formy [1]
a) po vstřiku, b) utržení vtoku, c) vyhození vtoku a výstřiku

5.3 Tunelový vtok

Je zvláštním případem bodového vtoku, který má tu výhodu, že vtokový zbytek může ležet v téže dělící rovině jako výstřik. Umístění může být v pevné i v pohyblivé části formy. Není proto nutné konstruovat formy s více dělícími rovinami. Předpokladem dobré funkce tunelových vtoků je existence ostré hrany, která odděluje při odformování vtokový zbytek od výstřiku. To je třeba zvážit u vzhledově náročných výstřiků. Není-li zaústění do boku výstřiku možné, využívá se zaústění do vnitřního nálitku, žebra apod. Může se případně vytvořit i nálitek, pokud to funkci výstřiku nevadí. Oddělení vtokového zbytku se provádí buď při otevírání formy, nebo při vyhazování výstřiku. Tento typ vtoku není vhodný pro křehké materiály. [1]

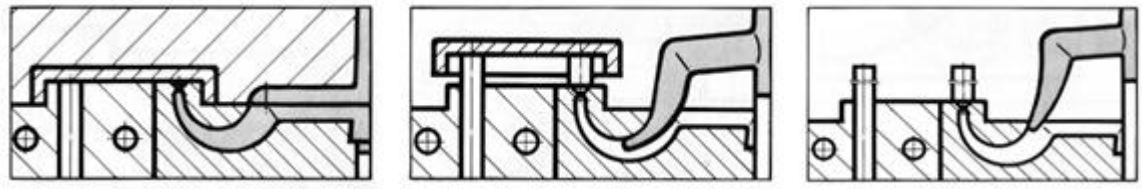


Obr. 16 Tunelový vtok [9]



Obr. 17 Tunelový vtok – oddělení výstřiku od vtokového zbytku [16]

Zvláštním typem tunelového vtoku je srpkovitý vtok, který umožňuje umístit vtokové ústí do části výstřiku, ve kterém nepůsobí rušivě. Takový vtok je vhodný jen pro plasty s vysokou elasticitou. [1]

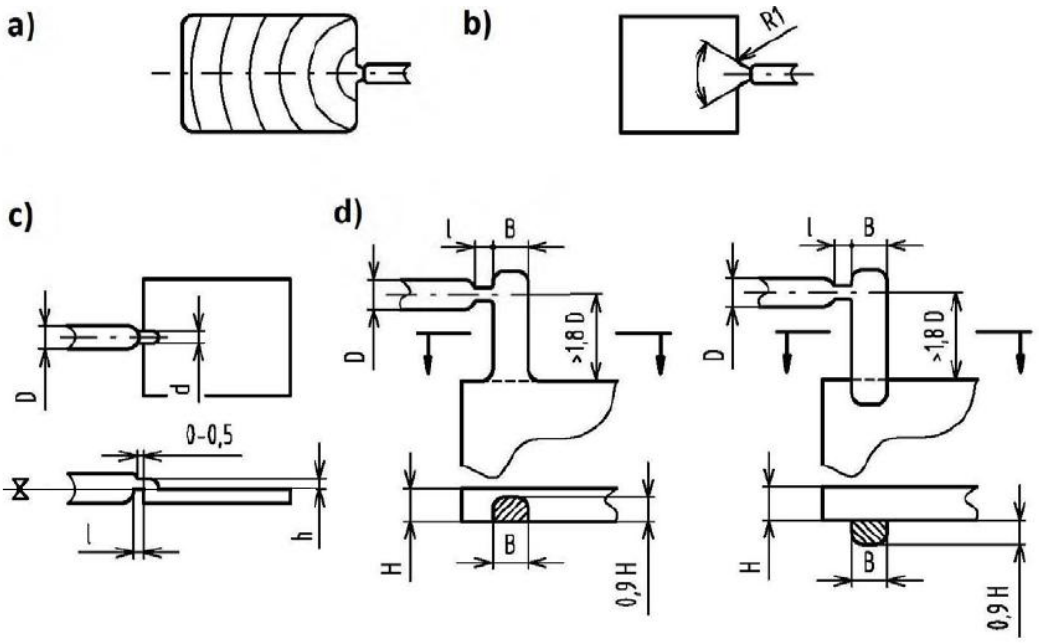


Obr. 18 Srpkovitý vtok [9]

Obr. 19 Normalizované vložky srpkovitých vtoků [15]

5.4 Boční vtok

Je také typ vtoku se zúženým vtokovým ústím, které leží v dělící rovině. Průřez bývá obvykle obdélníkový, ale může být i jiný (kruhový, lichoběžníkový). Je nejrozšířenějším a nejpoužívanějším vtokovým ústím. Při odformování zůstává zpravidla výstřik od vtokového zbytku neoddělený. Při automatickém cyklu se řeší jeho oddělování zvláštním odřezávacím zařízením, které je součástí formy. Vtokové ústí bývá napojeno na rozváděcí kanál zúžením průtokového průřezu. V tomto místě pak dochází ke zvýšení teploty taveniny. [1]

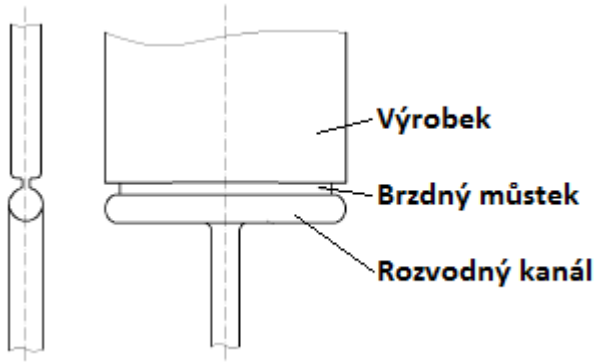


Obr. 20 Boční vtok [12]

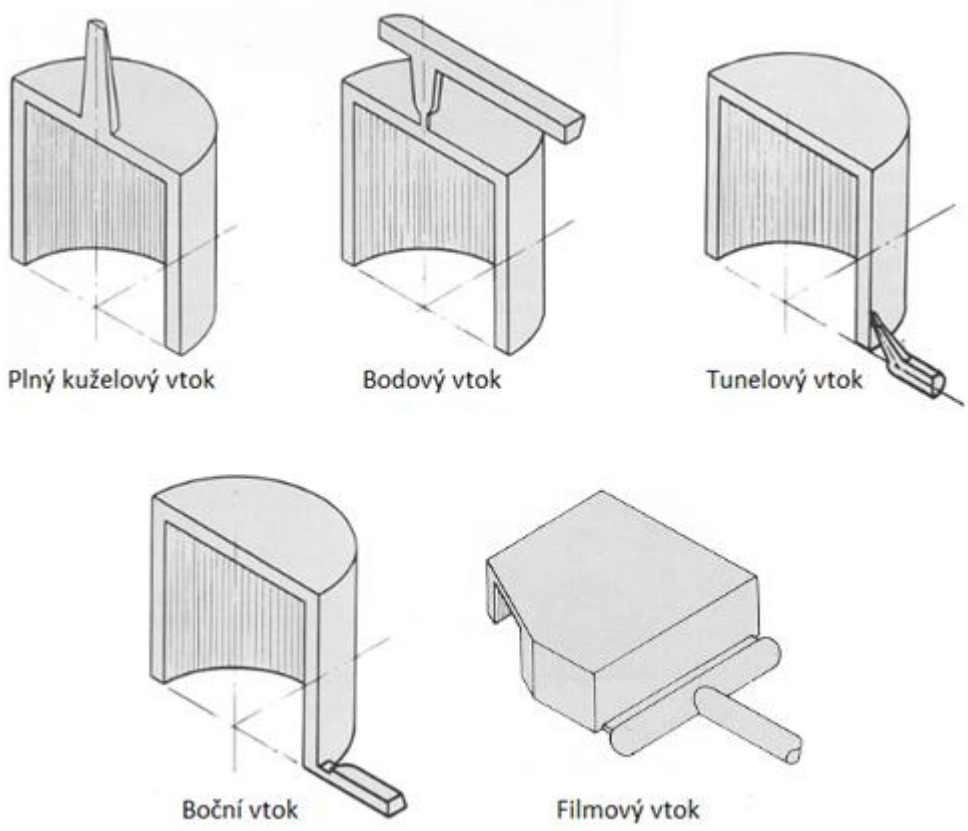
a) běžný, b) vějířový, c) s překrytím, d) nepřímé vtoky

5.5 Filmový vtok

Je nejpoužívanější ze skupiny bočních vtokových ústí a používá se hlavně k plnění kruhových a trubicových dutin s vyššími požadavky na kvalitu. K nim se řadí také vtoky diskové, prstencové a deštníkové. Tloušťka, délka a tvar vtokového ústí se volí podle stejných zásad jako u bočního ústí. Vzhledem k obtížím s odřezáváním vtokového zbytku se volí co nejmenší tloušťka. Její hodnota bývá 0,3 mm, u plněných plastů 0,5 mm. [1]



Obr. 21 Filmový vtok [13]

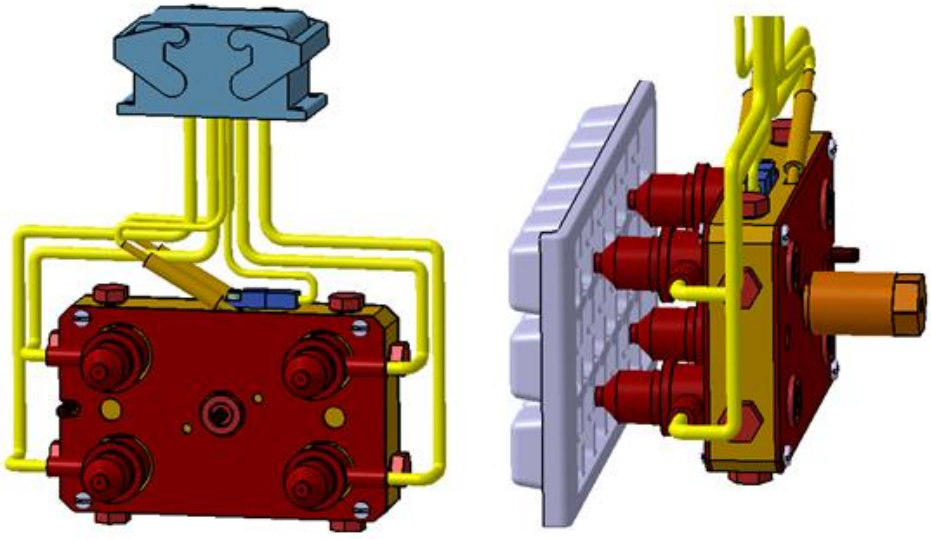


Obr. 22 Přehled uvedených vtoků [9]

6 VYHŘÍVANÝ VTOKOVÝ SYSTÉM (VVS)

Snaha po úsporách plastu i práce vedla k metodě vstřikování bez vtokového zbytku. Realizuje se za pomoci vyhřívaných vtokových soustav (VVS). Dříve než se došlo k současným typům VVS, předcházela jim řada jednodušších systémů, které se postupně zdokonalovaly. Nejprve se zesílenými vtoky, isolovanými vtokovými soustavami s předkomůrkami apod. Dnešní vyhřívané vtokové soustavy mají vyhřívané trysky, které jsou charakterizovány minimálním úbytkem tlaku i teploty v systému s optimálním tokem taveniny. To umožnila především výroba vysokovýkonných a minimálních topných těles a některých dalších jejích dílů. [1]

Od forem s běžnými studenými soustavami se liší především tím, že dnešní typy VVS se nakupují od specializovaných výrobců. Jednotlivá konstrukční provedení i rozsah jejich použití jsou rozdílné. Proto je nutné při použití určitého systému vyžádat si od daného výrobce potřebné podklady, případně i technickou konzultaci. Doporučuje se zavádět především systémy, které jsou v ČR zastoupeny (HASCO, DME, STRACK, …). [1]



Obr. 23 Vyhřívaný vtokový systém

Hlavní výhody VVS:

- zkracuje výrobní cyklus,
- snižuje spotřebu plastu (vstřikuje se bez vtokových zbytků),
- snižuje náklady na dokončovací práce s odstraňováním vtokových zbytků
- odpadá problematika recyklace vtokových zbytků. [1]

Technologie vstřikování s použitím VVS spočívá v tom, že tavenina po naplnění dutiny formy zůstává v celé oblasti vtoku až do ústí formy v plastickém stavu. To umožňuje použít jen bodové vyústění malého průřezu, které je vhodné pro širokou oblast vyráběných výstřiků. I přes malý průřez vtoku je možné částečně pracovat s dotlakem. Součástí systému je regulace teploty VVS i formy. Celá soustava umožňuje snadnou montáž, demontáž, vyčištění a znovu nasazení do provozu. [1]

Technologie vstřikování s použitím VVS spočívá v tom, že po naplnění dutiny vstřikovací formy zůstává polymer v celé oblasti vtoku až do ústí formy stále taveninou. To umožňuje použít jen bodové vyústění malého průřezu, které je vhodné pro širokou oblast vyráběných výstřiků. I přes malý průřez vtoku je možné částečně pracovat s dotlakem. V místě vstřiku je vhodné vytvořit zahloubení, aby nevystupoval případný nepatrný vtokový zbytek. Součástí systému je regulace teploty VVS i formy. Celá soustava umožňuje snadnou montáž, demontáž, vyčištění a znovu nasazení do provozu. [1]

6.1 Vytápěné rozvodné bloky

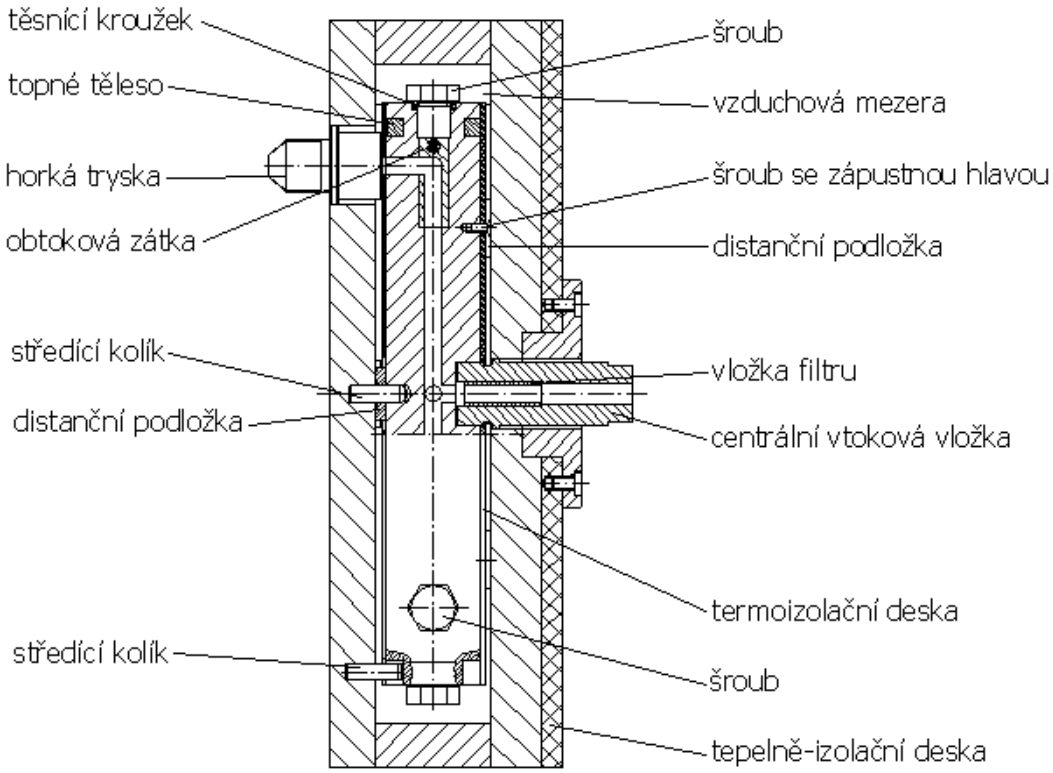
Vstřikovací formy s rozvodným blokem se používají v kombinaci s vyhřívanými nebo i isolovanými tryskami s předkomůrkami. Slouží k rozvodu taveniny do tvarových dutin u vícenásobných forem. Jeho dobrá funkce je podmíněna rovnoměrným vytápěním. V opačném případě negativně ovlivní tokové chování taveniny. [1]

Ocelový rozváděcí blok je uložen mezi upínací a tvarovou deskou v pevné části formy. Jeho tvar je konstrukčně přizpůsoben potřebné poloze rozváděcích kanálů směrem k vyústění i k uložení trysek. Vyrábí se ve tvarech I, H, X, Y, hvězdice apod. Rozváděcí blok musí být tepelně isolován od ostatních částí formy. [1]

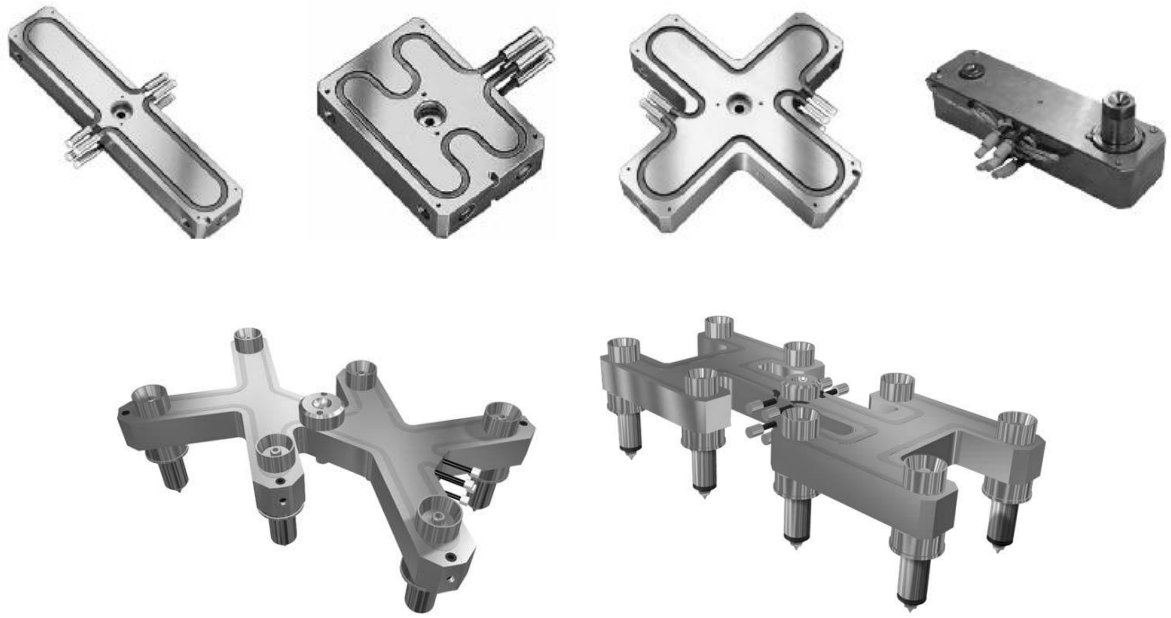
Vytápění je nejčastěji řešeno elektrickým odporovým topením pomocí topných hadů zalitých v mědi nebo topnými patronami.

Kanály pro proudící taveninu musí být pečlivě provedeny, protože nikde nesmí vzniknout ostré hrany a přechody s mrtvými kouty taveniny. Vytápěný rozvodný blok musí být koncipován tak, aby se dosáhlo:

- rychlého ohřevu,
- dostatečné teploty pro optimální tok taveniny v bloku i případně v trysce,
- eliminace tepelných ztrát (vodivostí, prostupem, vyzařováním). [1]



Obr. 24 Vyhřívaný vtokový systém [14]



Obr. 25 Různé provedení VVS [14],[28]

6.2 Vyhřívané trysky

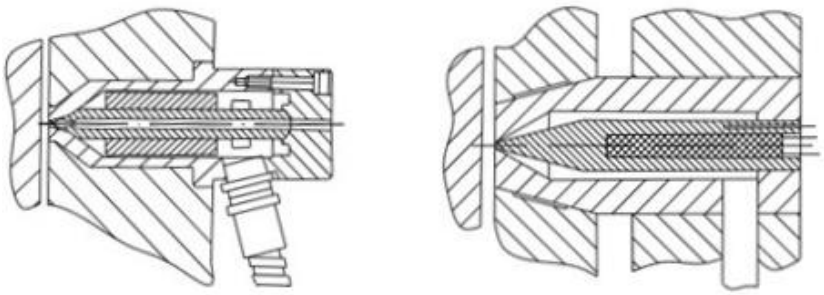
Konstrukce vyhřívané trysky umožňuje propojení vstřikovacího stroje s dutinou formy, při dokonalé teplotní stabilizaci. Tryska má vlastní topný článek i s regulací, nebo je ohřívána jiným zdrojem vtokové soustavy. Vyhřívané trysky umožňují výrazně zlepšit technologické podmínky vstřikování. Nepřímo ohřívané trysky mají dvě provedení:

- dotápěná tryska s izolovaným rozvodem vtoku. Je charakterizována miniaturním topným tělesem, které je zabudováno do ocelového pouzdra, jehož špička zasahuje do vyústění vtoku. U tohoto typu trysky je nutné dodržovat poměrně rychlý pracovní cyklus,
- dotápěná tryska rozvodovým blokem se vyznačuje přenosem tepla z vyhřívaného rozvodu vtoků na trysku. Je dokonalejší oproti předchozímu způsobu. Používá se pro vícenásobné formy. [1]

Konstrukční provedení přímo ohřívaných trysek je charakterizováno dvěma základními principy:

- trysky s vnějším topením, kde tavenina proudí vnitřním otvorem tělesa trysky. Těleso je vyrobeno z tepelně vodivého materiálu,

- trysky s vnitřním topením, kde tavenina obtéká vnitřní vyhřívanou vložku (torpedo), která je zhotovena také z tepelně vodivého materiálu. [1]



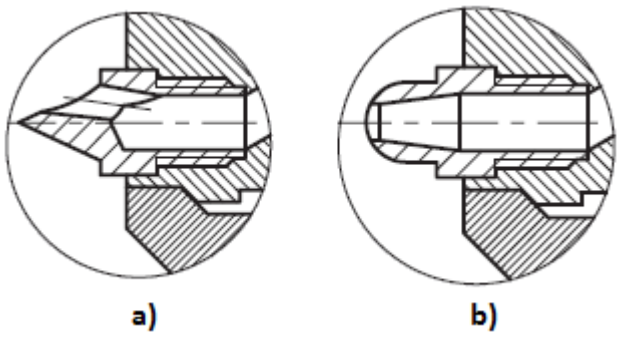
Obr. 26 Vyhřívaná tryska [17]
a) s vnějším vytápěním, b) s vnitřním vytápěním

Oba typy trysek jsou konstrukčně upraveny tak, že ústí je:

- otevřené pro plast, který netáhne vlas (PE),
- se špičkou (s hrotem), pro plast náchylný k tažení vlasu (PS, ABS, PP),
- s uzavírací jehlou,
- speciálně tvarované. [1]

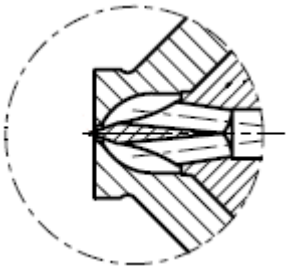
Vlastní vyústění vtoku do dutiny formy muže být provedeno:

- jedním otvorem přímo proti vtokovému kanálu. U toho typu trysky však při rychlejším pracovním cyklu někdy tavenina nestačí zatuhnout a na výstřiku zůstane stopa ve tvaru výstupku nebo se „tahá vlas“,



Obr. 27 Ústí trysky [14]
a) tryska s hrotem, b) tryska bez hrotu

- více otvory, kde je odstraněna nevýhoda popisovaná u předešlého způsobu. Obvykle se vyrábí dva nebo tři otvory o průřezu 1 až 3 mm, podle hmotnosti výstřiku. Otvory bývají skloněny k ose vtokové vložky pod úhlem 15° až 30°.



Obr. 28 Tryska s více otvory [14]

Obr. 29 Různé typy trysek od výrobce HASCO [14]

7 TEMPEROVÁNÍ FOREM

Temperace slouží k udržování konstantního teplotního pole formy. Cílem je dosáhnout optimálně krátkého pracovního cyklu vstřikování při zachování všech technologických požadavků na výrobu. Děje se tak ochlazováním, případně vyhříváním celé formy, nebo její části. [3]

V průběhu vstřikování se do formy přivádí roztavený polymer, který se v její dutině ochlazuje na teplotu vhodnou pro vyjmutí výstřiku. Temperace tedy ovlivňuje plnění tvarové dutiny formy a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí plastu. Při každém vstřiku se forma ohřívá. Každý další výstřik je třeba vyrobit zase při stanovené teplotě. Proto je nutné toto přebytečné teplo během pracovního cyklu odvést temperačním systémem formy. [3]

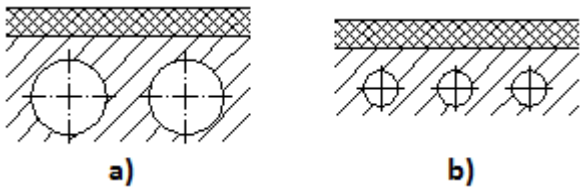
Některé plasty se zpracovávají při vyšších teplotách formy (PC 100 - 120°C). V takovém případě jsou tepelné ztráty formy větší, než její ohřátí taveninou a musí se naopak ohřívat. Také při zahájení výroby je nutné nejprve vyhřát formu na pracovní teplotu. [3]

Úkolem temperace je:

- zajistit rovnoměrné teplotní pole formy po celém povrchu tvarové dutiny, v závislosti na druhu zpracovávaného plastu,
- zajistit odvod tepla z dutiny formy naplněné taveninou tak, aby celý pracovní cyklus měl ekonomickou délku. [3]

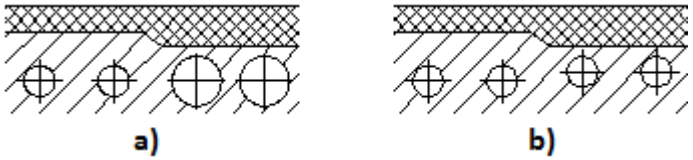
7.1 Obecné zásady volby temperačních kanálů

- Temperační systém je tvořen soustavou kanálů a dutin, za pomoci kterých je odváděno (nebo přiváděno) teplo z formy vhodným médiem (nejčastěji kapalinou),
- rozměry a rozmístnění temperačních kanálů i dutin, se volí s ohledem na celkové řešení formy,
- vzdálenost kanálu od tvarové dutiny má být optimální. Je třeba dbát na dostatečnou pevnost a tuhost stěny tvarové dutiny,
- je vhodnější použít větší počet menších kanálů s malými roztečemi, než naopak,



Obr. 30 Vliv rozmístění temperačních kanálů [17]
a) chybně, b) správně

- kanály se kolem tvarové dutiny rozmísťují rovnoměrně a všude ve stejné vzdálenosti. V oblasti tlustší stěny výstřiku, případně v jiném místě o vyšší teplotě, se kanály přiblíží k dutině formy,

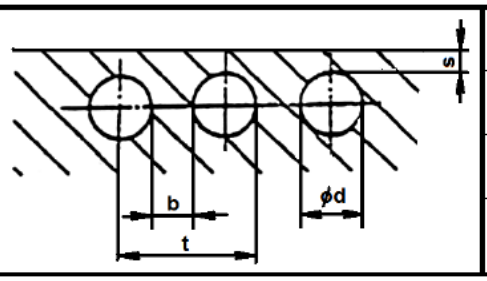


Obr. 31 Chlazení výstřiku o různé tloušťce stěny [17]
a) chybně, b)správně

- průřez kanálu se volí podle velikosti výstřiku, druhu plastu a rámu formy. Nejběžnější průřez je kruhový,
- zbytečně se nemá průměr zvětšovat, protože intenzita výměny tepla se zvýší jen nepatrně. Zato ale stoupá potřebné množství temperačního média. Také tuhost formy se sníží,
- kromě kruhových kanálů se používají i kanály s obdélníkovými průřezy (vyfrézované drážky). Ty se vodotěsně překryjí, nebo se do nich mohou uložit tenkostěnné měděné trubky, které se pro dobrý tepelný styk zalijí nízkotavitelným kovem (Sn, Zn, ...). [3]

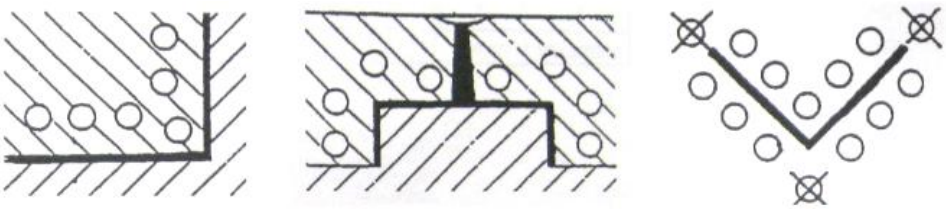
7.1.1 Umístění temperačních kanálů v blízkosti hran tvárníků a tvárnic

Minimální vzdálenost temperačních kanálů od dutin formy je dána pevností a tuhostí materiálu na jedné straně a vstřikovacím tlakem na straně druhé. [3]



Ød [mm]	6	8	10	12	14	16	18	20
s [mm]	4	6	8	12	15	20	25	30
t [mm]	10	14	17	20	24	27	30	34
b [mm]	4	5	7	8	10	11	12	14

Obr. 32 Vzdálenost temperačních kanálů od dutiny formy pro ocel s $E=2,1*10^5$MPa a vstřikovacím tlakem 100 MPa [12]



Obr. 33 Umístění temperačních kanálů v blízkosti hran tvárníků a tvárnic [17]

7.2 Temperační prostředky

Temperační prostředky představují média, která svým působením umožňují formě pracovat v optimálních tepelných podmínkách. [3]

Rozdělují se na:

- *aktivní*, které působí přímo na formě. Teplo do formy přivádí, nebo naopak odvádí.
- *pasivní*, které svými fyzikálními vlastnostmi ovlivňují tepelný režim formy. [3]

Mezi aktivní prostředky patří:

- *kapaliny*, které proudí nuceným oběhem temperačními kanály vytvořenými uvnitř formy. Dochází k přestupu tepla mezi formou a kapalinou,

Tab. 4 Vlastnosti kapalin jako temperačních prostředků [3]

Typ	**Výhody**	**Nevýhody**	**Poznámka**
voda	- vysoký přestup tepla, - nízká viskozita, - nízká cena, - ekologická nezávadnost	- použitelné do 90°C, - vznik koroze, - usazování kamene	- v tlakových okruzích je možné vodu použít i při vyšších teplotách
oleje	- možnost temperace i nad 100°C - omezení koroze a ucpávání systému	- zhoršený přestup tepla - stárnutí - cena	
glykoly	- omezení koroze a ucpávání systému	- stárnutí, - znečišťování prostředí	

- *vzduch,* kterého se využívá buď jako volné proudění (při odvodu tepla z povrchu formy a při chlazení tvarových částí po čas otevření formy), nebo nuceného proudění působením přetlaku či podtlaku. Vzhledem k malé účinnosti se chlazení vzduchem využívá pouze v případech, kdy použití kapaliny není pro nedostatek prostoru možné (chlazení tenkých tvárníků, jader a vyhazovačů),
- *topné elektrické články,* které se používají především k temperaci forem s požadovanou vyšší teplotou v případě, kdy ztráty do okolí jsou větší, než teplo dodané vstřikovaným plastem. Používají se většinou topné patrony a prstencová topná tělesa s větší povrchovou zátěží, které umožňují v relativně malých objemech předat značné množství energie do vytápěné části formy. Při jejich instalaci je třeba dbát na to, aby aktivní povrch topného tělesa byl vždy v těsném kontaktu s povrchem formy. [3]

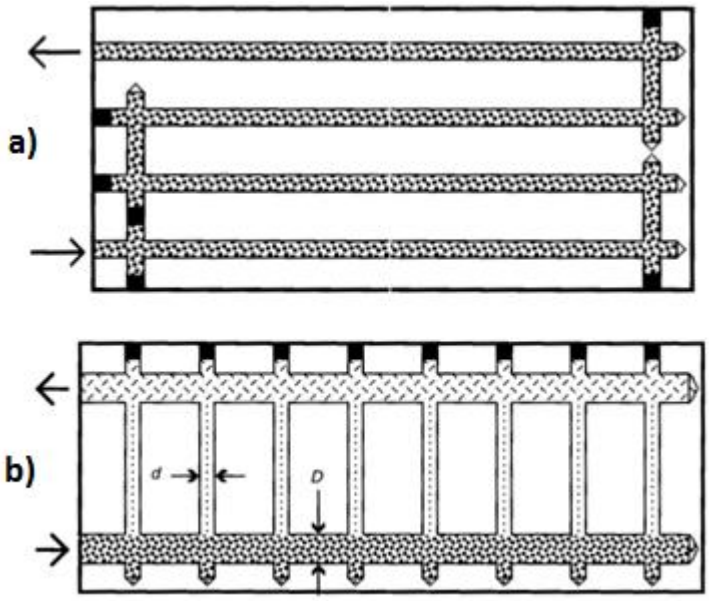
Temperační prostředky pasivní lze rozdělit na:

- *tepelně izolační materiály*, které se využívají především pro omezení přestupu tepla do upínacích ploch stroje a to v případech, kdy požadujeme vysokou teplotu formy. Volí se různé pevnostně a tepelně odolné materiály na bázi vyztužených reaktoplastů či nekovových anorganických látek. Používá se např. Sklotextit ARV, Sklotextit SI, popřípadě azbestocementové desky. Boky forem lze tepelně izolovat běžnými izolačními materiály (azbest, skleněné rohože apod.). Pro omezení ztrát tepla vyzařováním (týká se jen vysokých teplot povrchů) se doporučuje povrch leštit (u nerez materiálů), chromovat, niklovat nebo pokrýt hliníkovou folií.

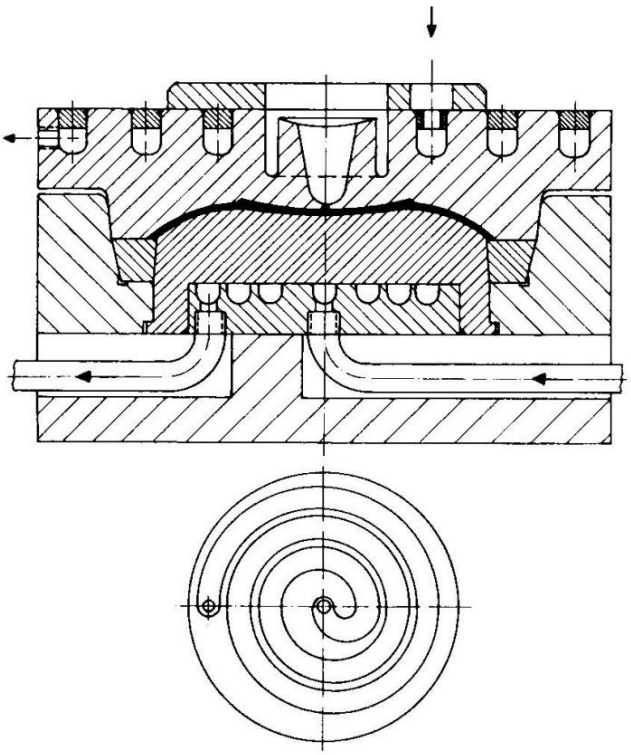
- *tepelně vodivé materiály*, které se využívají k odvodu, resp. přívodu tepla z míst jiným způsobem obtížně temperovatelných (tenké tvárníky, vtokové trysky) do míst, kde lze již odvod, resp. přívod tepla zajistit obvyklým způsobem. Používá se měď a její slitiny nebo hliník a jeho slitiny. Nejúčinnějším způsobem jsou tepelné trubice, které využívají výparného tepla látky, cirkulující uvnitř v důsledku teplotního spádu. Tímto způsobem lze zvýšit odvod tepla až o řád, ve srovnání s čistou mědí. [3]

7.3 Chlazení tvárnic a desek

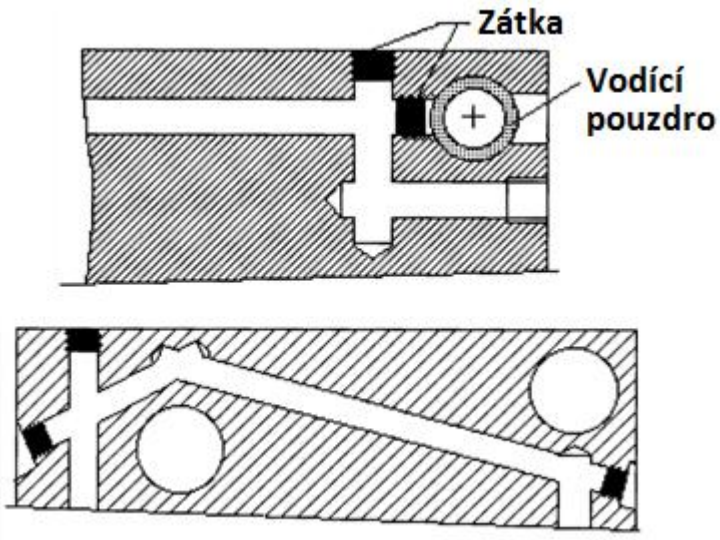
Pro chlazení desek se v praxi nejčastěji využívá soustava vrtaných kanálů, méně potom frézované drážky. Pro součásti kruhového průřezu se nejčastěji používá chlazení pomocí spirály.



Obr. 34 Chlazení desky vrtanými kanály [16]
a) sériové chlazení, b) paralelní chlazení



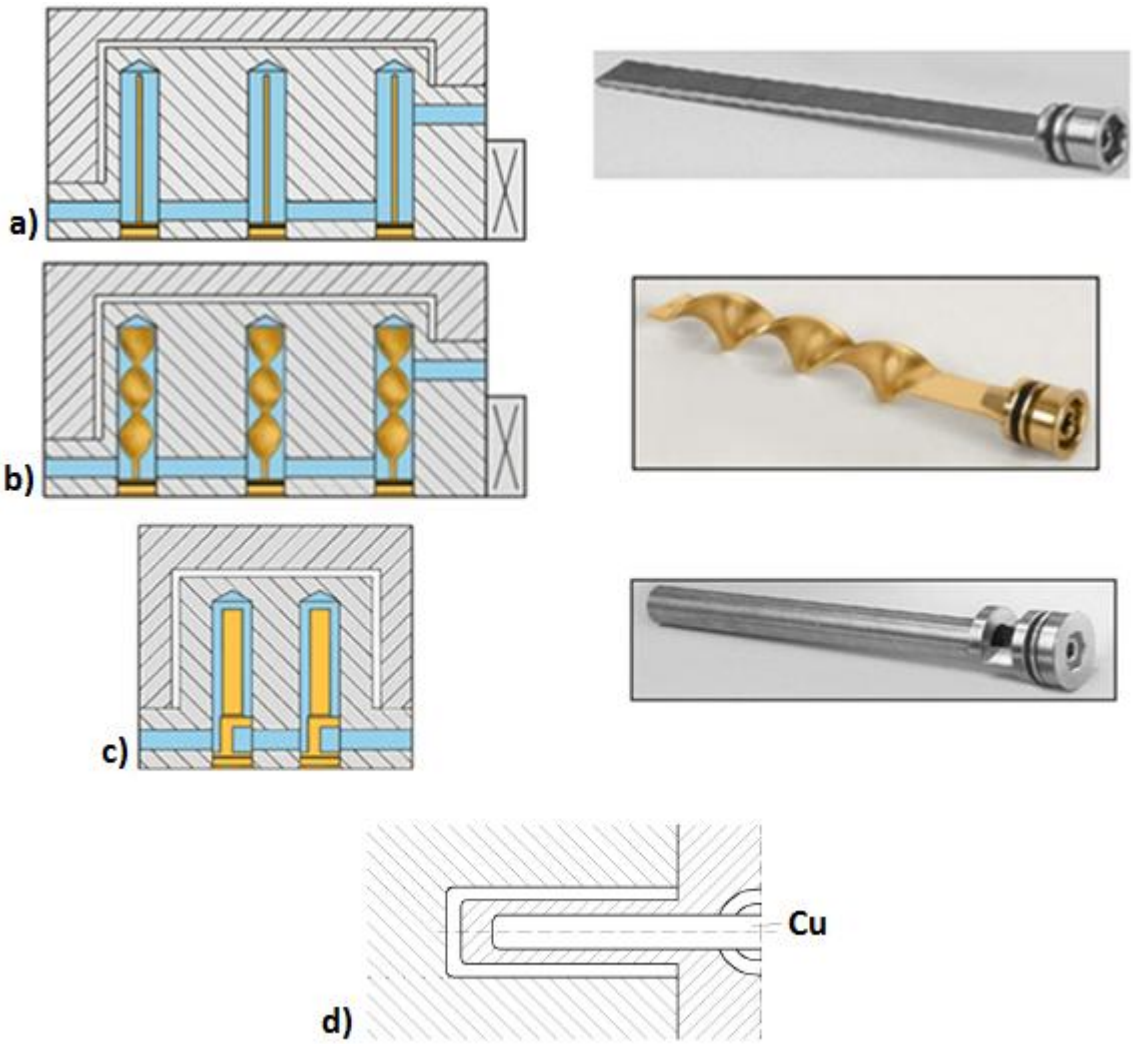
Obr. 35 Chlazení spirálou [19]



Obr. 36 Chlazení desky při obcházení překážek [16]

7.4 Chlazení tvárníků a jader

Temperace tvárníků a to především s malým průřezem lze zajistit pomocí temperačních vložek. Ty se obvykle vyrábí z materiálu s velkou tepelnou vodivostí, které snadněji odvádí teplo z nepřístupných míst přímo do temperačního média. V současné době se využívá několika základních konstrukčních provedení. [3]



Obr. 37 Chlazení tvárníků a jader [18],[19]
a) plochou přepážkou, b) spirálovou přepážkou, c) otevřeným chladícím trnem (tzv. fontánka), d) tepelně vodivou tyčí z Cu

8 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VLASTNOSTI A KVALITU VÝSTŘIKU

O mechanických a fyzikálních vlastnostech výstřiku a o jeho kvalitě rozhoduje druh plastu, technologické parametry, konstrukce formy a volba stroje. Jednotlivé parametry nepůsobí samostatně, ale vždy se ovlivňují navzájem. Z hlediska volby druhu plastu má na vlastnosti výstřiku vliv: [2]

- rychlost plastikace polymeru, která by měla být co nejkratší,
- tekutost (reologické vlastnosti) plastu, která má být dostatečná a nesmí se měnit s teplotou příliš rychle, a která je ovlivňována technologickými parametry,
- dostatečná tepelná stabilita plastu v rozsahu zpracovatelských teplot, která by měla být co nejširší,
- uvolňování těkavých látek,
- velikost vnitřního pnutí, které má být co nejnižší,
- smrštění plastu v jednotlivých směrech výrobku, které je ovlivněno technologickými podmínkami. [2]

Z technologických parametrů, které se mezi sebou výrazně ovlivňují, má na vlastnosti výstřiku a jednotlivé fáze vstřikování největší vliv: [2]

- vstřikovací tlak (ovlivňuje rychlost plnění, uzavírací sílu, vnitřní pnutí, smrštění, orientaci – tj. narovnávání makromolekul do směru toku, atd.),
- teplota taveniny (konkrétní teplota závisí na druhu plastu a ovlivňuje tekutost plastu, vstřikovací tlak, dobu chlazení a tedy dobu cyklu, smrštění, tlakové ztráty, dotlak, atd.)
- teplota formy (konkrétní teplota závisí na druhu plastu a na charakteru výrobku, ovlivňuje tekutost plastu, rychlost plnění, dobu chlazení, lesk výrobku, povrch výrobku, teplotu taveniny, dotlak, vnitřní pnutí, smrštění, atd. – z technologického hlediska má být co nejvyšší, hlavně u semikrystalických plastů),
- rychlost plnění dutiny formy má být co nejvyšší, je však nutné kontrolovat teplotu taveniny, aby nedošlo k degradaci hmoty, nevýhodou je i vysoká orientace makromolekul,
- výše a doba trvání dotlaku (ovlivňuje hlavně rozměry výrobku, smrštění a vnitřní pnutí). [2]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

9 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

V diplomové práci byly stanoveny následující cíle:

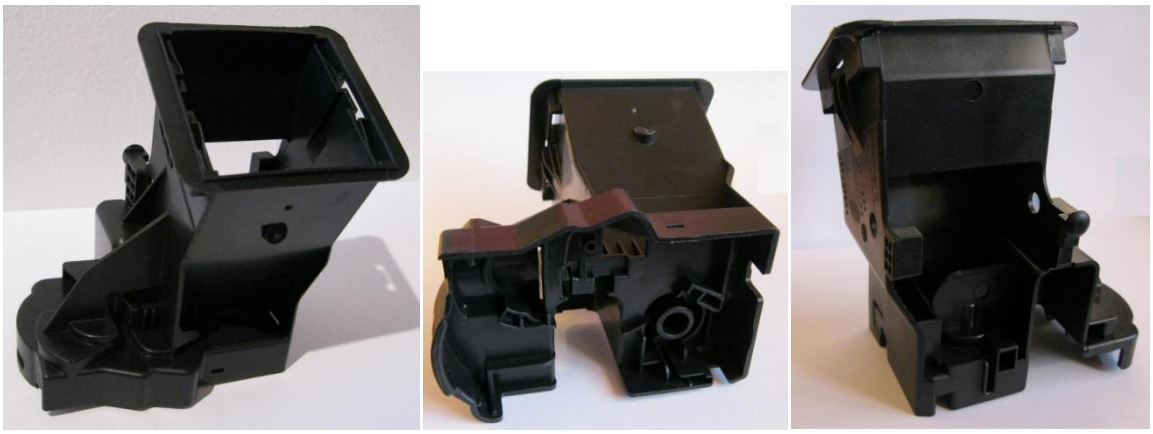
- vypracovat literární studii na dané téma,
- vymodelovat 3D model vstřikovaného dílce,
- provést návrh a konstrukci vstřikovací formy pro daný díl,
- navrhnout dvě varianty temperace pro vstřikovací formu,
- návrh formy, temperace, vtokového systému a procesních parametrů vstřikování ověřit pomocí analýz,
- pro navrženou vstřikovací formu vytvořit výkres sestavy včetně kusovníku.

V teoretické části byla popsána technologie vstřikování, která se zaměřuje především na vtokový systém a temperaci forem. Dále jsou zde popsány polymery pro vstřikování, vstřikovací stroje a základní zásady, kterých je třeba dbát při konstrukci vstřikovacích forem.

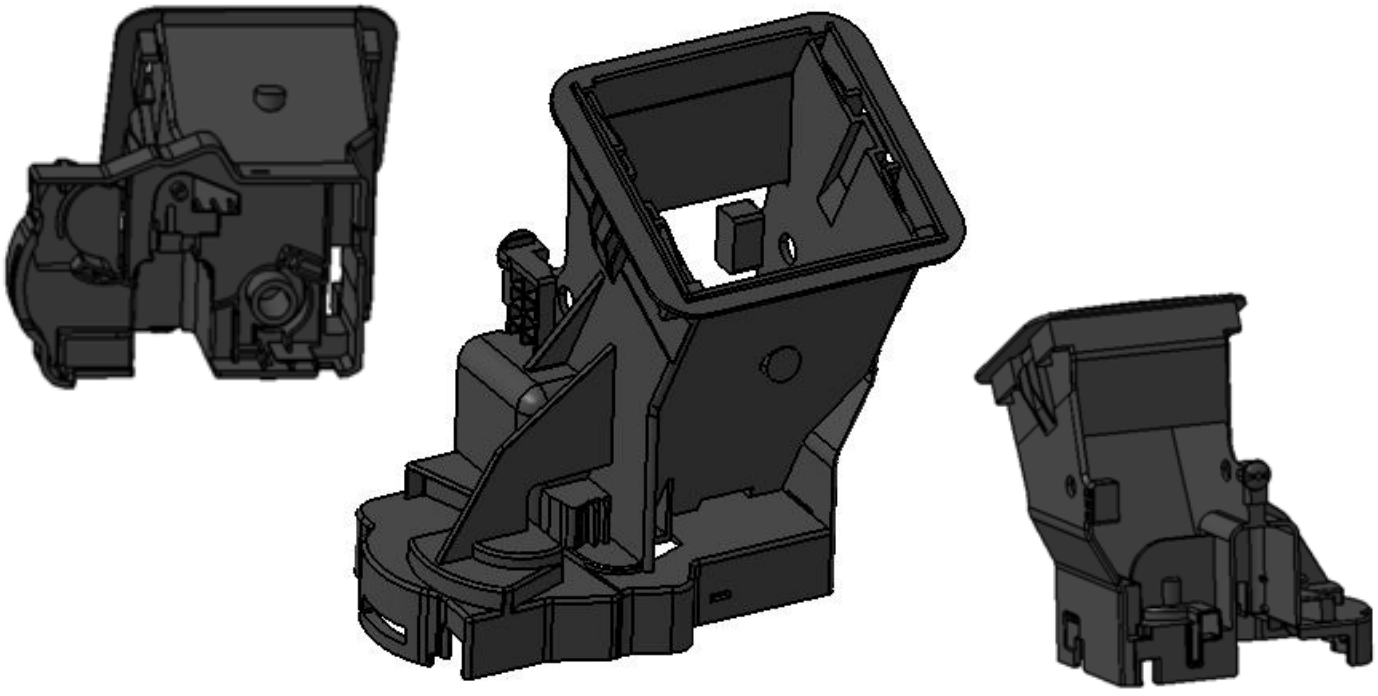
V praktické části bude nejdříve vytvořen 3D model plastového dílce, kterým je těleso bočního ofukovače do osobního automobilu. Následně bude pro tento díl navržena a zkonstruována vstřikovací forma ve 3D. Pro vstřikovací formu mají být navrženy dvě varianty temperace (konvenční a nekonvenční způsob). Kompletní návrh vstřikovací formy včetně obou variant temperace bude ověřen pomocí tokových analýz. Nakonec bude pro vybranou variantu temperace vytvořena 2D sestava celé vstřikovací formy s opozicováním jednotlivých dílů včetně kusovníku.

10 CHARAKTERISTIKA VSTŘIKOVANÉHO DÍLCE

Vstřikovaným dílcem je těleso bočního ofukovače do osobního automobilu. Výrobek je tvarově složitý a rozmanitý a je tvořen z jednoho kusu. Na výrobek nejsou kladeny vzhledové požadavky, protože ofukovač je umístěn pod palubní deskou v automobilu. Výrobek by měl odolávat běžným venkovním teplotám, tedy přibližně -20°C až +70°C.



Obr. 38 Vstřikovaný dílec



Obr. 39 Model vstřikovaného dílce

Tab. 5 Charakteristika výrobku

	Jednotka	Hodnota
Rozměry	mm	122x114x83
Objem	cm^3	54,9
Hmotnost	g	61,5

10.1 Materiál vstřikovaného dílce

Vzhledem k použití vstřikovaného dílce byl zvolen materiál polypropylen plněný 30% skelnými vlákny (PP-GF30) od výrobce Borealis s obchodním označením Daplen K65G3 Xmod.

PP je semikrystalický termoplast ze skupiny polyolefinů a patří mezi nejvíce používané plasty. Vyznačuje se svou houževnatostí, dobrou chemickou a mechanickou odolností, je odolný vůči olejům, organickým rozpouštědlům a alkoholům. Je použitelný v širokém rozsahu teplot a má mimořádnou odolnost proti stárnutí.

Plněním skelnými vlákny se zvýší jeho pevnost, tuhost a také odolnost vůči vyšším teplotám.

Tab. 6 Charakteristické vlastnosti materiálu (PP Daplen K65G3 Xmod) [20],[21]

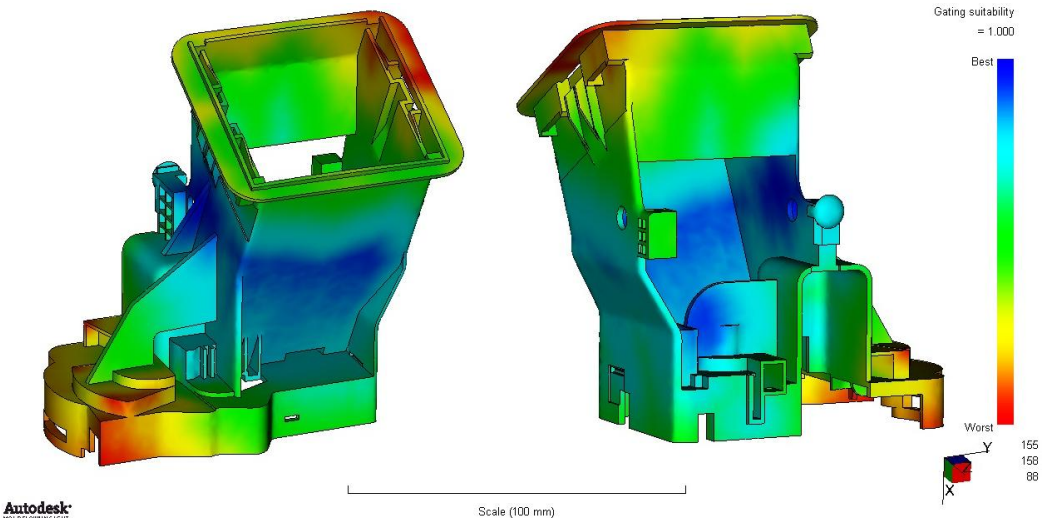
Vlastnost	**Jednotka**	**Hodnota**
Hustota polymerní taveniny	g/cm^3	0,928
Hustota ztuhlého polymeru	g/cm^3	1,139
Index toku taveniny	g/10min	6
Teplota taveniny při zpracování	°C	200-260
Teplota formy při zpracování	°C	20-60
Doporučená teplota vyhození výstřiku	°C	124
Smrštění ve směru toku	%	0,156
Smrštění kolmo na směr toku	%	1,095

11 PŘEDBĚŽNÁ ANALÝZA VSTŘIKOVANÉHO DÍLCE

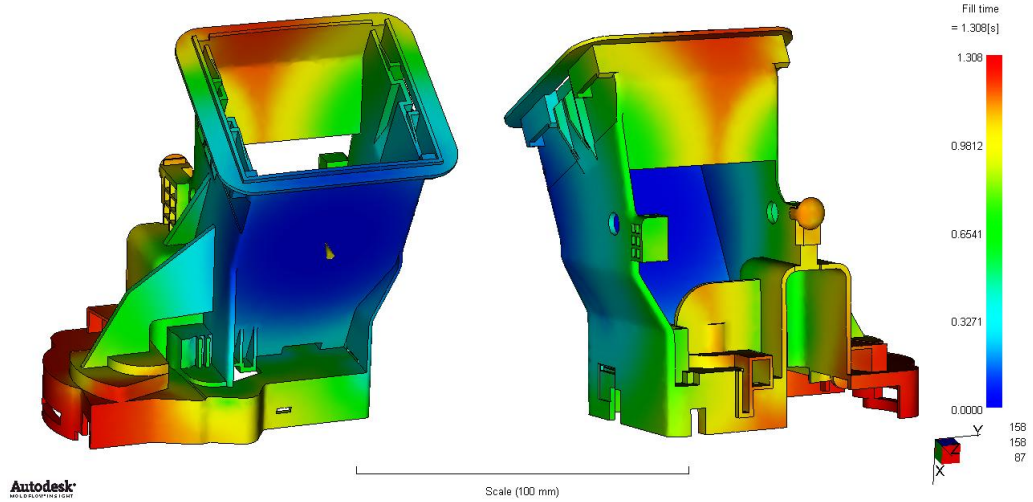
Nejdříve byla provedena předběžná analýza pro zjištění vhodného místa pro umístění vtoku na výrobku a také pro zjištění vhodného materiálu.

Důležitým parametrem při vstřikování plastových výrobků je smrštění materiálu. Dutina vstřikovací formy musí být tedy zvětšena o tuto hodnotu.

Každý plast má různé smrštění a proto bylo nutné hned na začátku zvolit vhodný materiál, aby se předem vyhnulo tomu, že po dokončení vstřikovací formy by se musela předělávat celá dutina vstřikovací formy, která je složena z mnoha částí.



Obr. 40 Výsledek předběžné analýzy vhodnosti umístění vtoku

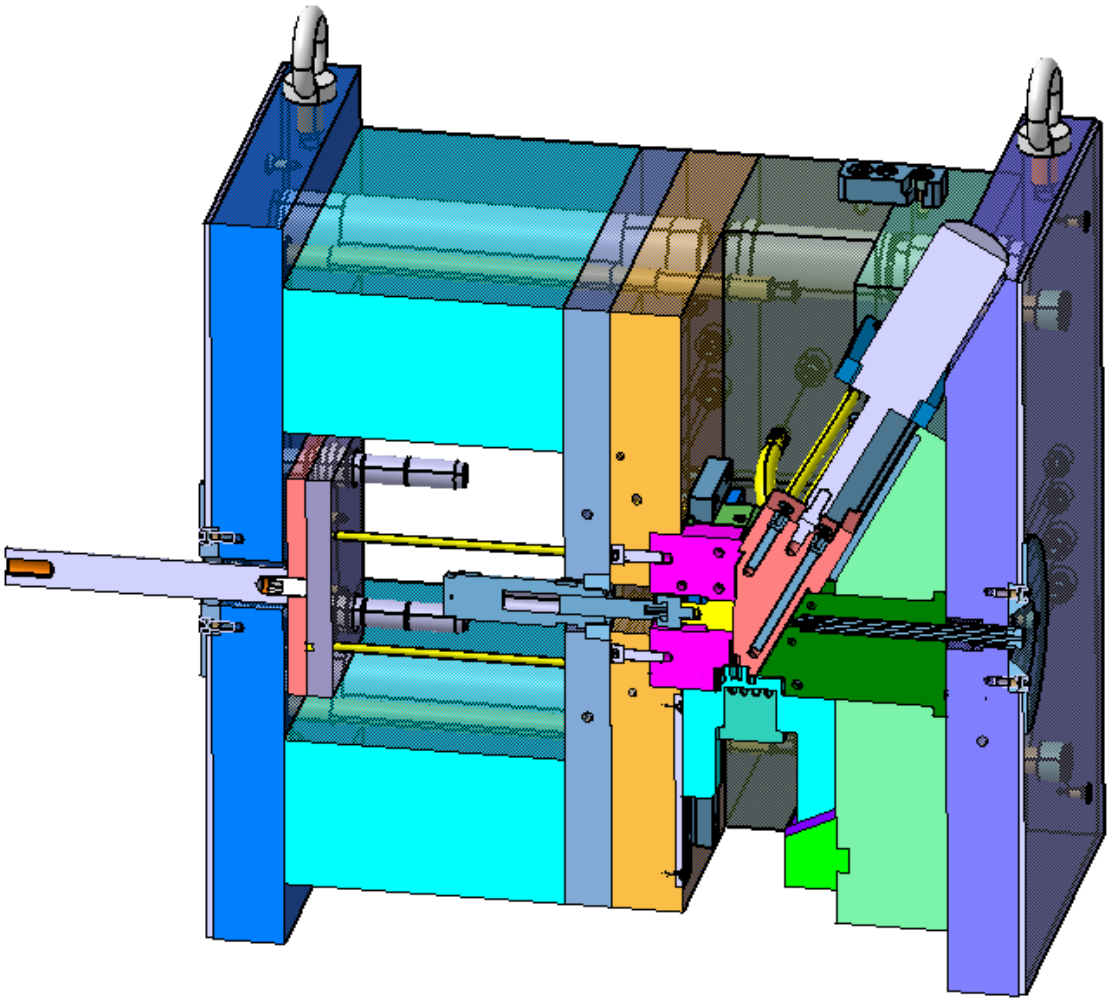


Obr. 41 Výsledek předběžné analýzy plnění

12 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Úkolem bylo navrhnout vstřikovací formu s horkým vtokovým systémem pro zadaný plastový dílec, kterým je těleso bočního ofukovače do osobního automobilu. Konstrukce byla provedena v programu CATIA V5R18. Při konstrukci bylo využito normálií HASCO, které byli vkládány z katalogu HASCO DAKO Modul přímo do CATIE. Použitím normálií dochází ke zjednodušení konstrukce forem, urychlení výroby a také snížení nákladů. Kompletní návrh vstřikovací formy byl řešen s pomocí tokových analýz v programu Autodesk Moldflow Insight.

Jednotlivé problémy budou řešeny postupně v následujících kapitolách.



Obr. 42 Řez vstřikovací formou

12.1 Násobnost vstřikovací formy

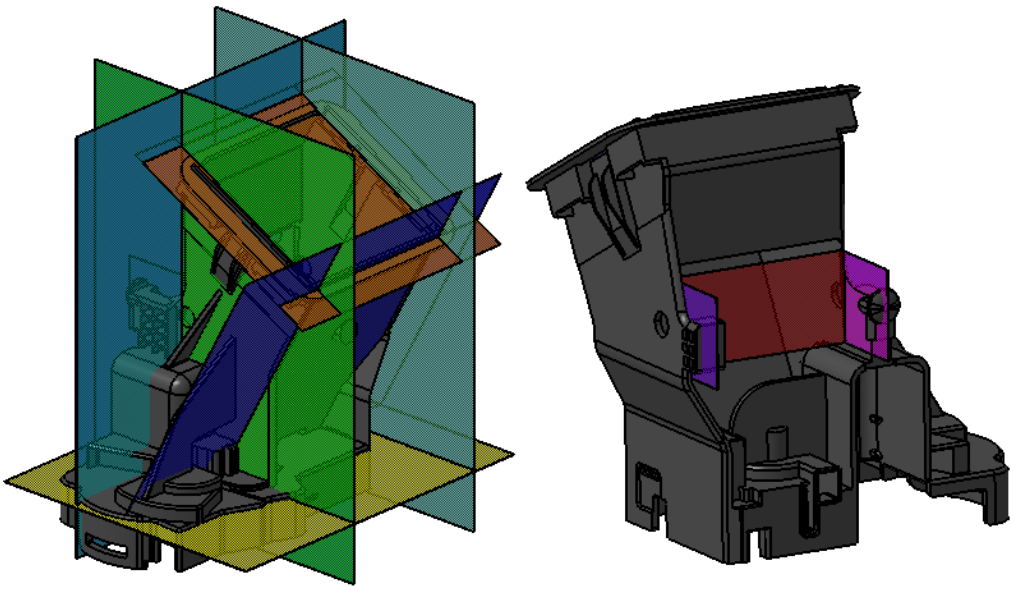
Násobnost vstřikovací formy se volí především podle požadovaného množství výstřiků, jeho charakteru a složitosti, velikosti, kvality a velikosti a kapacity vstřikovacího stroje.

Vzhledem k tvarové složitosti a rozmanitosti výstřiku a následné velikosti vstřikovací formy byla zvolena jednonásobná vstřikovací forma.

12.2 Zaformování vstřikovaného dílce a dělící rovina

Zaformování výstřiku a vhodná volba dělící roviny (dělících rovin) patří k rozhodujícím zásadám konstrukce vstřikovací formy, kterými je zároveň určen vtokový a vyhazovací systém, odvzdušnění i temperace.

Tvarová složitost výstřiku vyžaduje devět dělících rovin.



Obr. 43 Dělící roviny

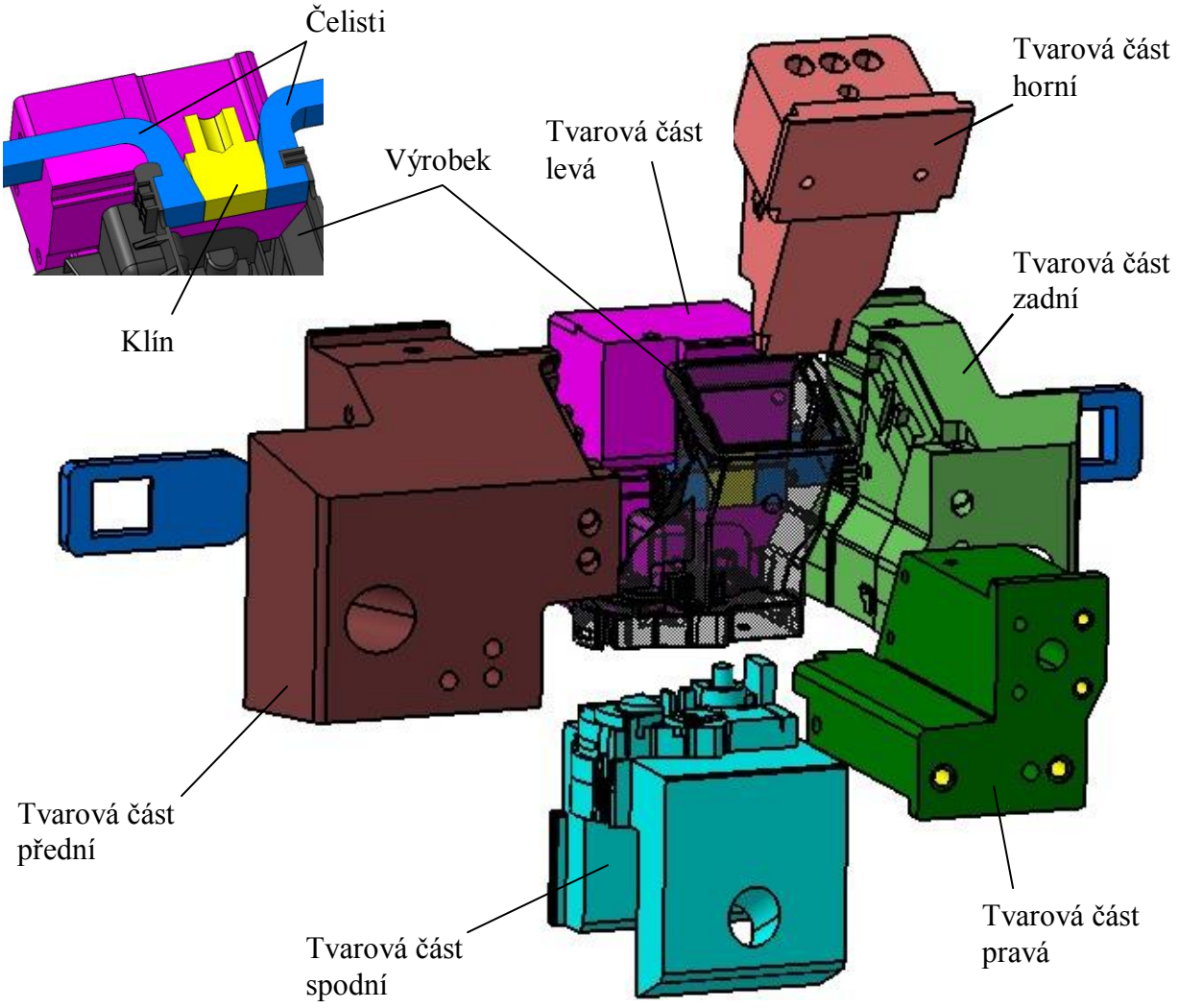
Zaformování výstřiku tvoří celkem devět tvarových částí, šest základních tvarových vložek, dvě čelisti a klín. Dvě pevné tvarové části (pravá a levá) jsou konstruovány jako výměnné tvarové vložky uchycené v pravé a levé tvarové desce.

Tři posuvné tvarové části (přední, zadní a spodní) zůstávají při otevření formy na její levé straně, kde jsou uchyceny ve vodících lištách a pomocí šikmých čepů uchycených v pravé straně formy se při otevírání (uzavírání) formy pohybují.

Další, šestá posuvná tvarová část je uchycena na pravé straně formy ve vodících lištách a její pohyb je zajištěn hydraulickým válcem.

Poslední tři tvarové části, klín a dvě posuvné čelisti jsou uloženy v levé části formy.

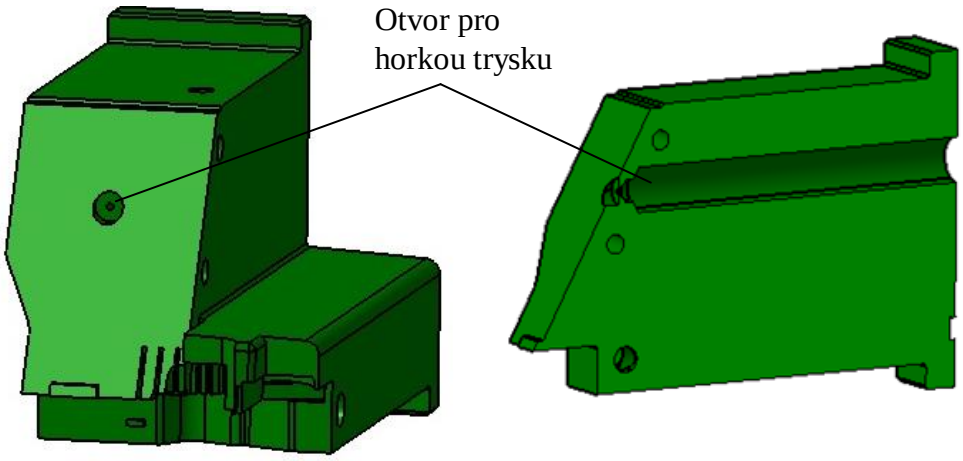
Všech devět tvarových částí je vyrobeno z nástrojové oceli a tepelně zpracováno na tvrdost 55-60 HRC.



Obr. 44 Zaformování výstřiku

12.2.1 Tvarová část - pravá

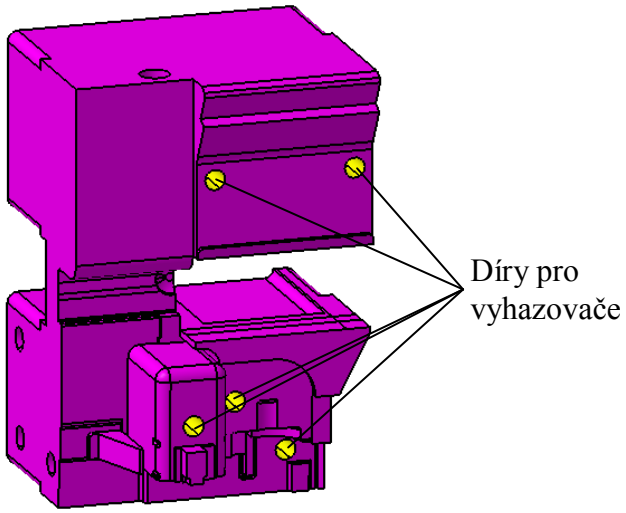
Pravá tvarová část výstřiku je konstruována jako výměnná tvarová vložka, která je uložena v pravé tvarové desce a zajištěna opřením o pravou upínací desku. Ve tvarové vložce se nachází díra pro umístění horké trysky.



Obr. 45 Pravá tvarová vložka

12.2.2 Tvarová část - levá

Levá tvarová část je konstruována také, jako výměnná tvarová vložka, která je uchycena pomocí čtyř šroubů do levé tvarové desky. Ve vložce se nachází pět děr pro vyhazovače, které slouží k vyhození výstřiku z formy.

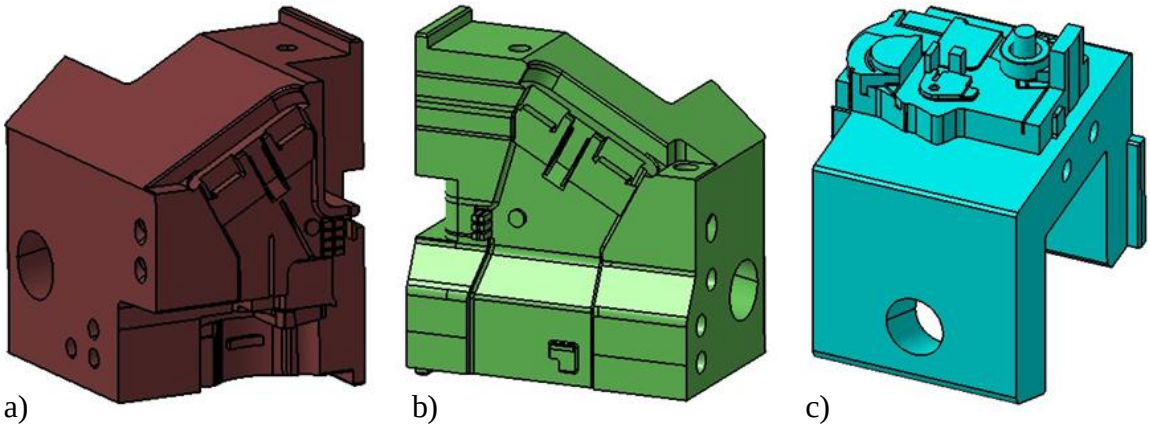


Obr. 46 Levá tvarová vložka

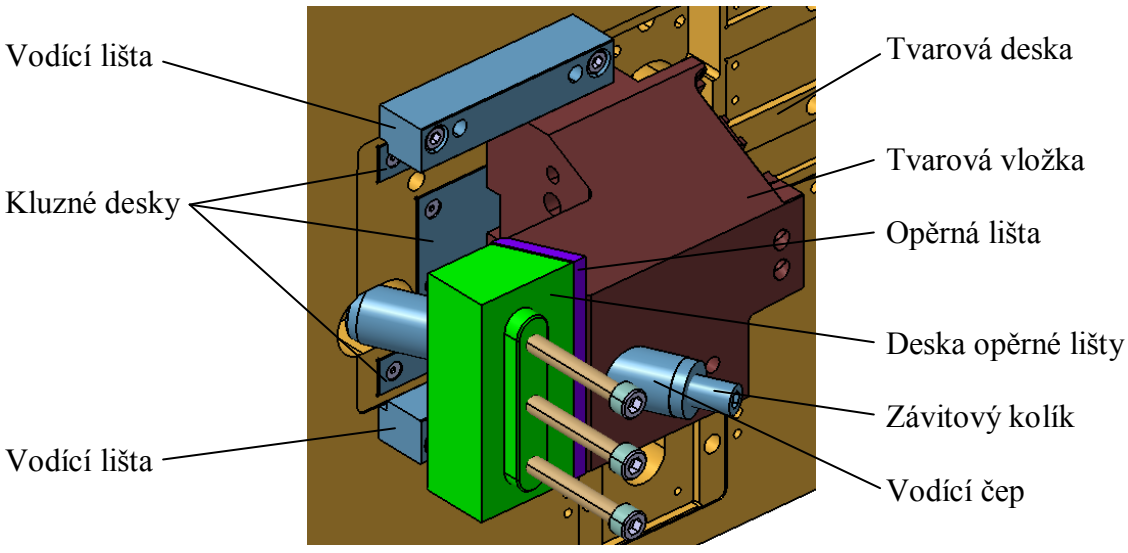
12.2.3 Tvarová část - přední, zadní a spodní

Tyto tři tvarové části jsou konstruovány jako posuvné tvarové vložky, které jsou uchyceny na levé straně formy ve vodících lištách. Pro usnadnění pohybu se tvarové vložky posunují po kluzných deskách. Posuv tvarových vložek je zajištěn šikmými čepy, které jsou uloženy v pravé straně formy pomocí závitových kolíků.

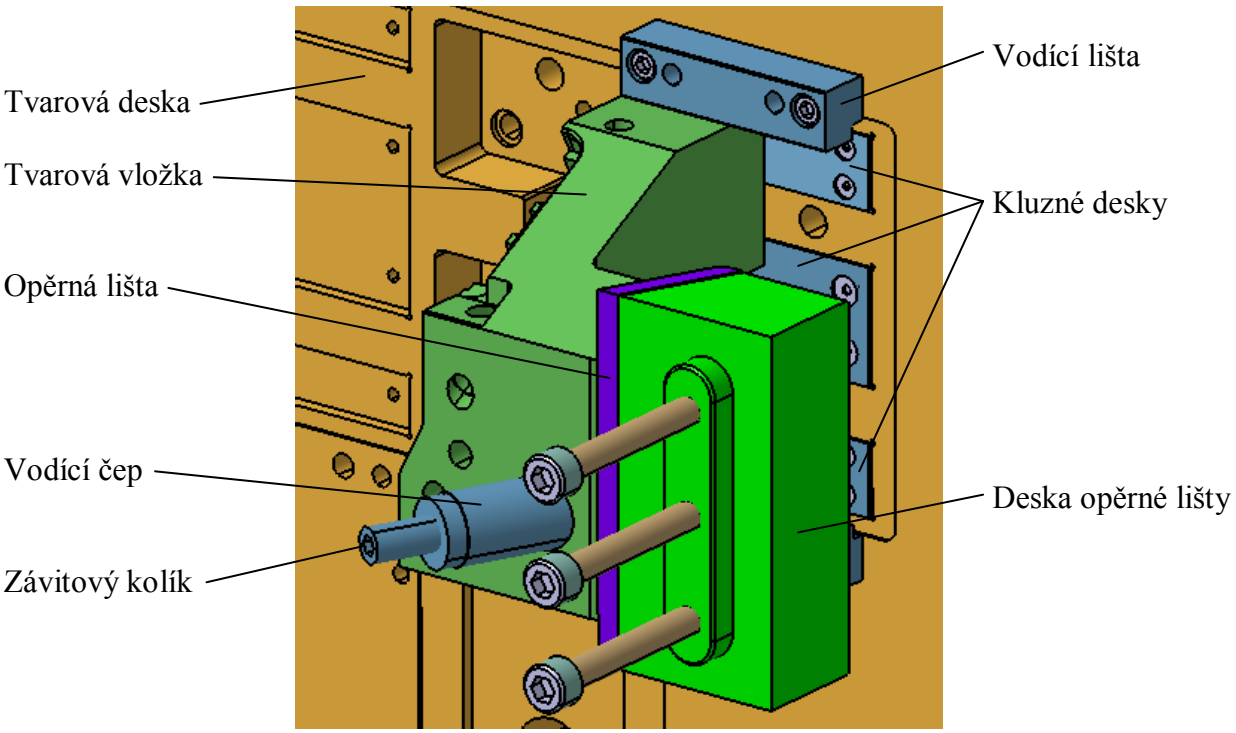
Při otevírání (uzavírání) formy se tvarová vložka posunuje po šikmém čepu. Po vyjetí vložky ze šikmého čepu je vložka zajištěna proti pohybu pružícím přítlačným kusem. V průběhu vstřikování, tedy při uzavřené formě, je tvarová vložka pevně opřena svou vnější zkosenou částí o opěrnou lištu, která je uchycena v pravé části formy. Tím se zachytí síly vyvolané vstřikovacím tlakem.



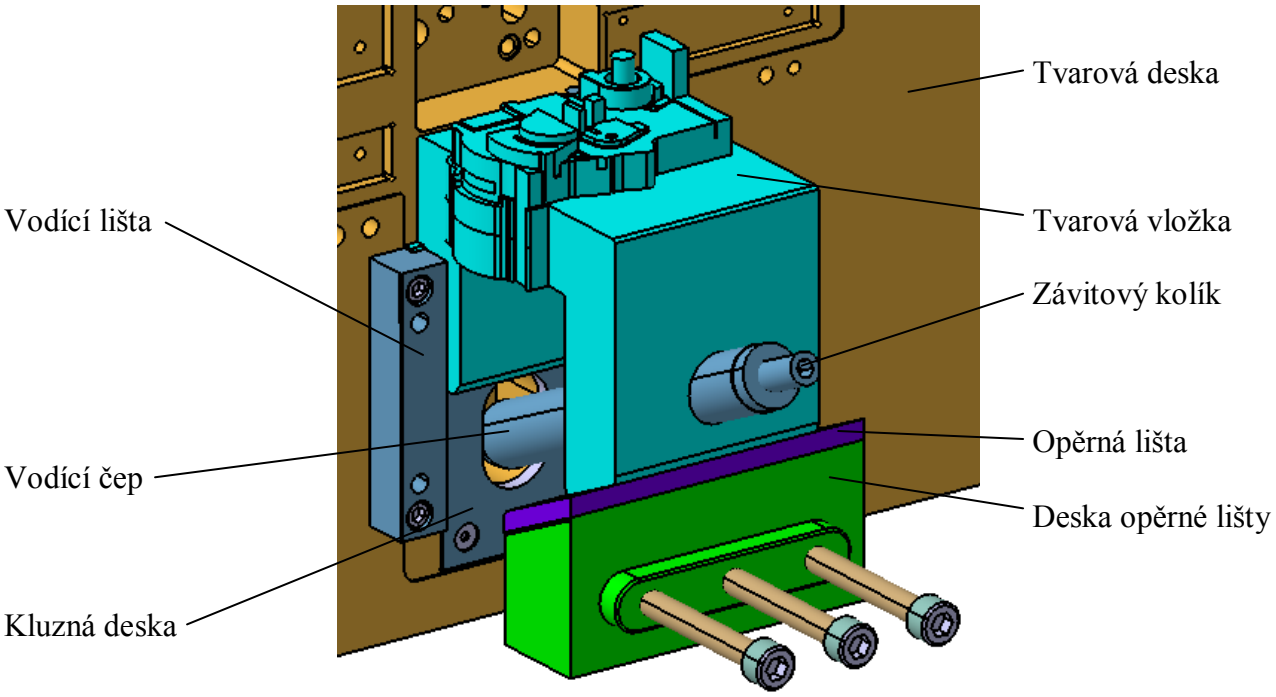
Obr. 47 Tvarová vložka
a) přední, b) zadní, c) spodní



Obr. 48 Odformování přední tvarové vložky



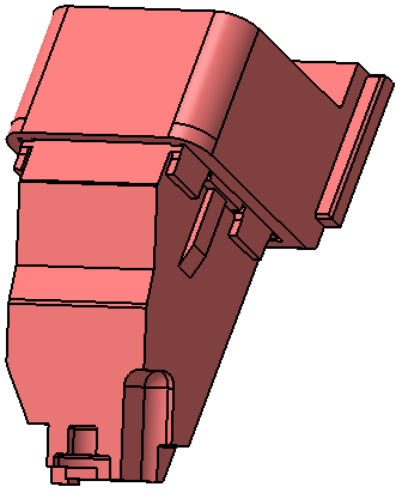
Obr. 49 Odformování zadní tvarové vložky



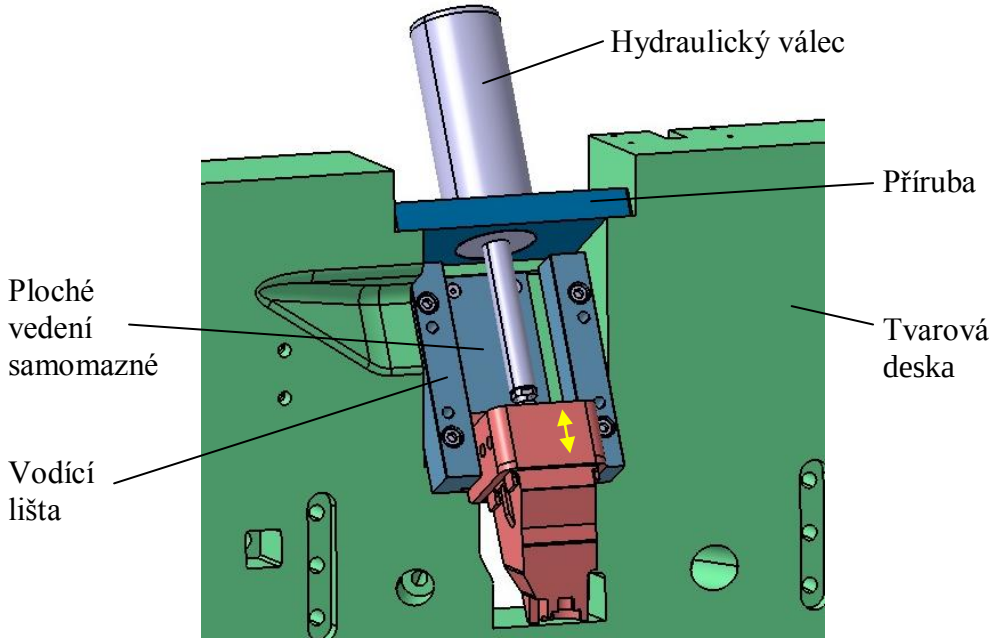
Obr. 50 Odformování spodní tvarové vložky

12.2.4 Tvarová část - horní

Horní tvarová část je konstruována jako posuvná vložka uchycená na pravé straně formy. Její vedení je zajištěno vodícími lištami a svou spodní stranou se posouvá po kluzné desce, která je přišroubována ke tvarové desce. Samotný pohyb vložky je realizován hydraulickým válcem. Tento válec je uchycen v přírubě, která je přišroubovaná ke tvarové desce. Odformování této vložky neprobíhá kolmo ke směru otevírání formy, nýbrž pod úhlem 61°.



Obr. 51 Horní posuvná vložka

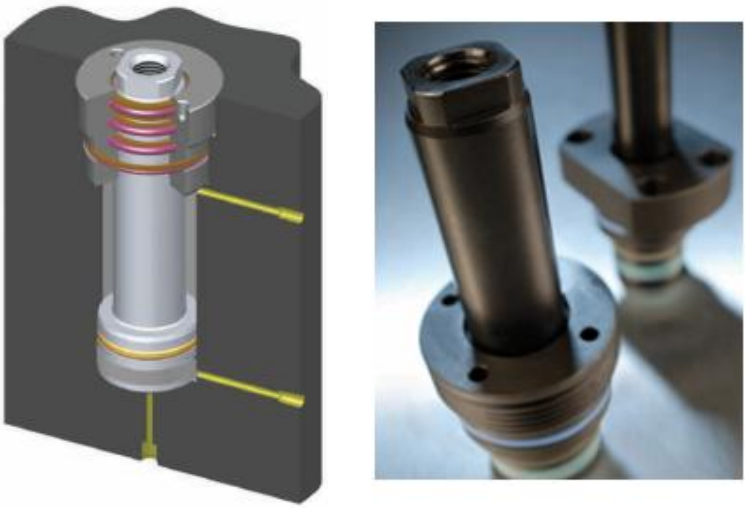


Obr. 52 Odformování horní tvarové vložky

Vzhledem k vysokému zdvihu válce, který je 100 mm a jeho nutnému uložení pod úhlem k ose formy, musel být brán zřetel na to, aby válec nevyčníval z boční strany formy a tím nedošlo ke kolizi válce s upínací plochou vstřikovacího stroje.

Z těchto důvodů byl zvolen hydraulický válec V400CL od firmy VEGA. Tato firma se zabývá mimo jiné také výrobou hydraulických válců pro vstřikovací formy, které vyžadují minimální zástavbové prostory.

Průměr pístu a pístnice, který také ovlivnil velikost válce, především jeho průměr, byl zvolen podle požadované nosnosti. Celková hmotnost tvarové vložky včetně přepážek a ostatních částí chlazení je 3,14 kg. Z tohoto důvodu byl zvolen válec s využitelnou hmotností 4kg.



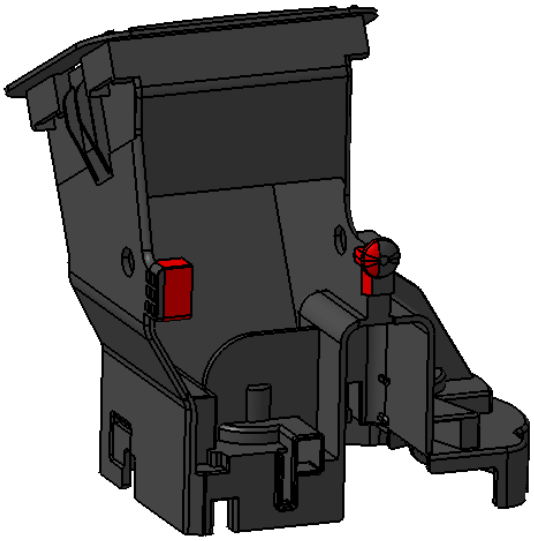
Obr. 53 Hydraulický válec VEGA V400CL [26]

Tab. 7 Technické a provozní údaje hydraulického válce VEGA V400CL [26]

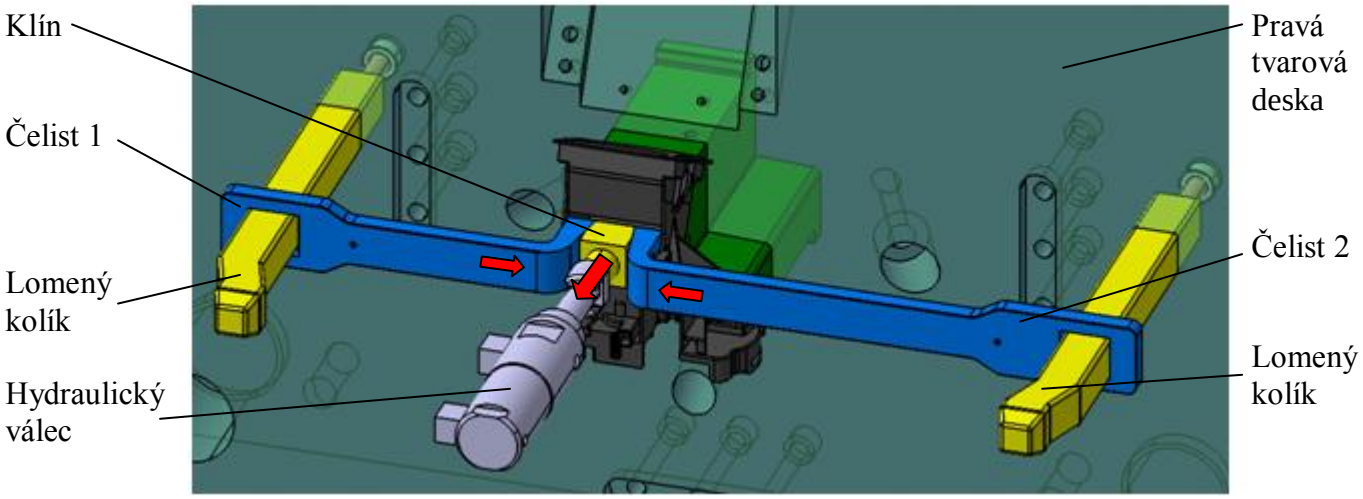
	Jednotka	**Hodnota**
Průměr pístu	mm	25
Průměr pístnice	mm	18
Zdvih	mm	100
Maximální provozní tlak	bar	360
Maximální využitelná hmotnost	kg	4
Maximální rychlost pístu	m/s	0,1

12.2.5 Vnitřní tvarové části

Vzhledem k tvaru výstřiku je nutné odformování dvou částí (viz Obr. 53) směrem dovnitř výrobku, což vyžaduje odformování pomocí klínu a dvou posuvných čelistí. Odsunutí klínu je řešeno pomocí hydraulického válce. Mechanické vysunutí klínu nebylo vzhledem k tvaru výrobku a jeho zaformování možné. Pohyb čelistí je zajištěn pomocí lomených kolíků při otevírání (uzavírání) formy, které jsou umístěné v pravé části formy. Vysunuté posuvné čelisti jsou zajištěny proti pohybu pružícím přítlačným kusem.

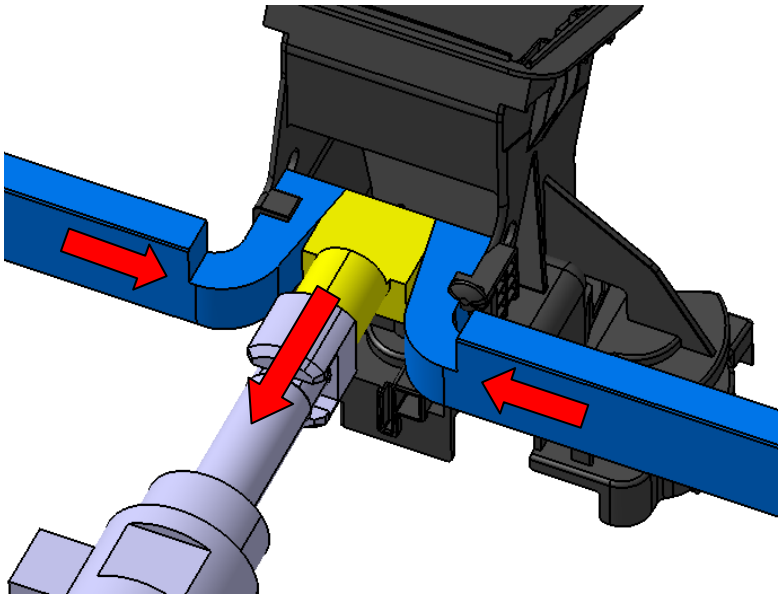


Obr. 54 Výrobek s vyznačenými místy pro vnitřní tvarové vložky



Obr. 55 Odformování klínu a čelistí

Při odformování dojde nejdříve k vysunutí klínu hydraulickým válcem, čímž vznikne prostor pro čelisti. Poté se při otevírání formy pomocí lomených kolíků odsunou čelisti a umožní tak výstřiku, aby byl vyhozen z formy.



Obr. 56 Detail odformování klínu a čelistí

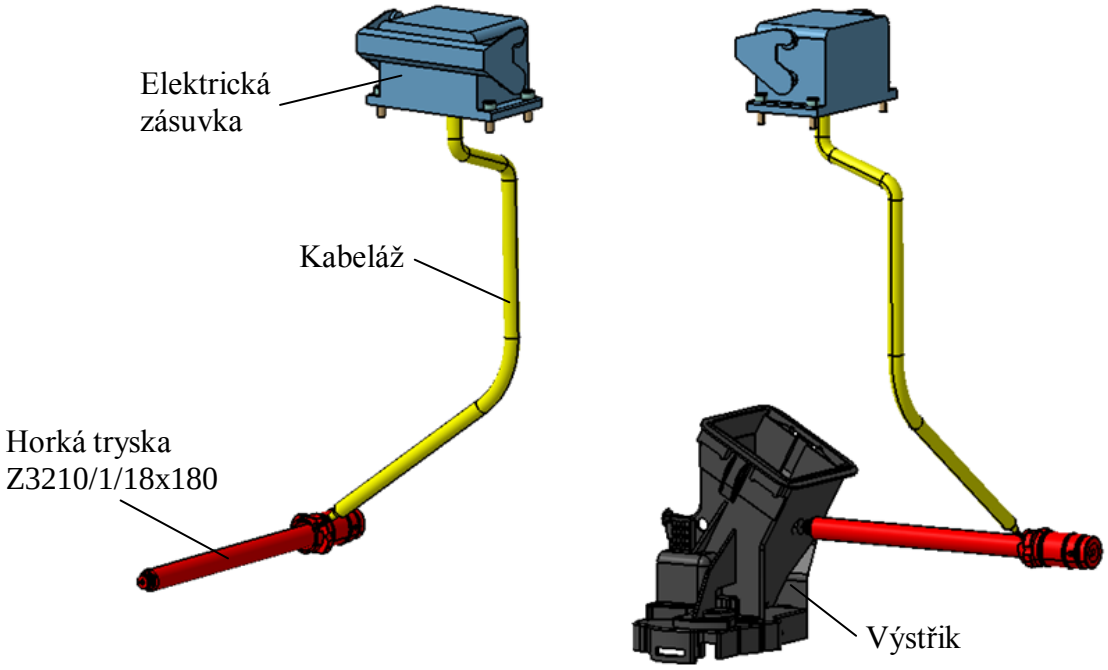
Pro vysunutí klínu byl zvolen hydraulický válec HASCO Z2301/16x40 se zdvihem 40 mm.

Obr. 57 Hydraulický válec HASCO Z2301/16x40 [14]

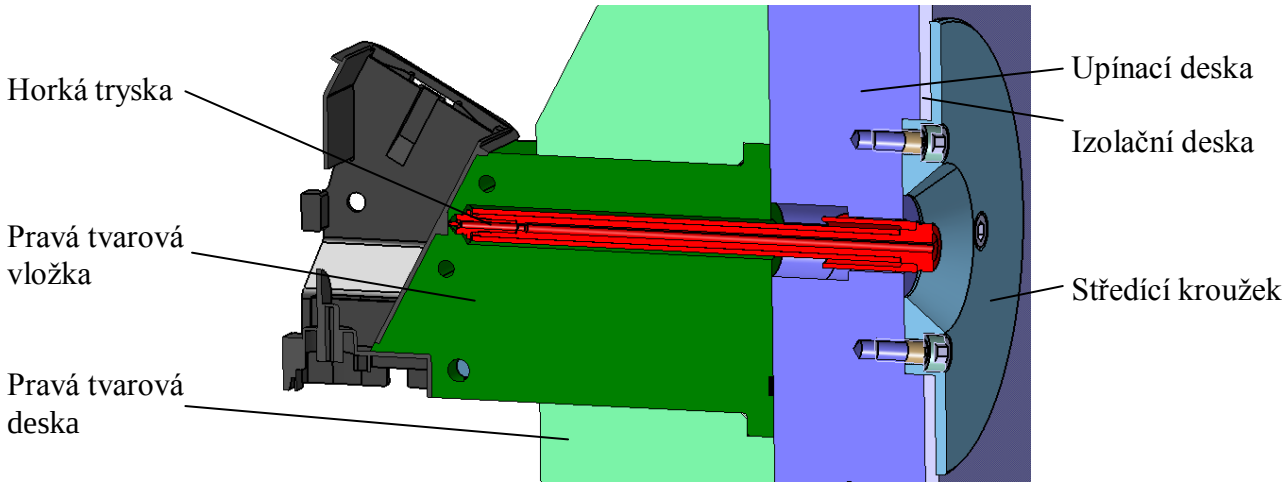
12.3 Vtokový systém

Vtokový systém je konstruován jako vyhřívaný, což znamená, že po zaplnění dutiny formy zůstává polymer po celé délce vtokového systému taveninou.

Vyhřívaný vtokový systém (VVS) je tvořen horkou tryskou, kabeláží a elektrickou zásuvkou. Tavenina je dopravována z plastikační jednotky vstřikovacího stroje do horké trysky VVS a přes její bodové ústí proudí do dutiny formy. Celý VVS je od výrobce HASCO.



Obr. 58 Horký vtokový systém (VVS)



Obr. 59 Uložení horké trysky v pravé části formy

12.4 Odvzdušnění

Při plnění dutiny formy taveninou dochází ke stlačování vzduchu čelem taveniny. Proto je nutné tento vzduch odvézt. V opačném případě se mohou na výstřiku vyskytovat různé vady, jako jsou např. spálená místa (tzv. Dieselův efekt), stříbrné pruhy, lunkry nebo propadliny.

Vzhledem ke konstrukci vstřikovací formy se předpokládá, že vzduch stihne uniknout velkým počtem dělících rovin a vůlemi kolem vyhazovačů. V případě, že by odvzdušnění v některých místech nebylo dostačující, musela by se tato místa opatřit odvzdušňovacími kanály.

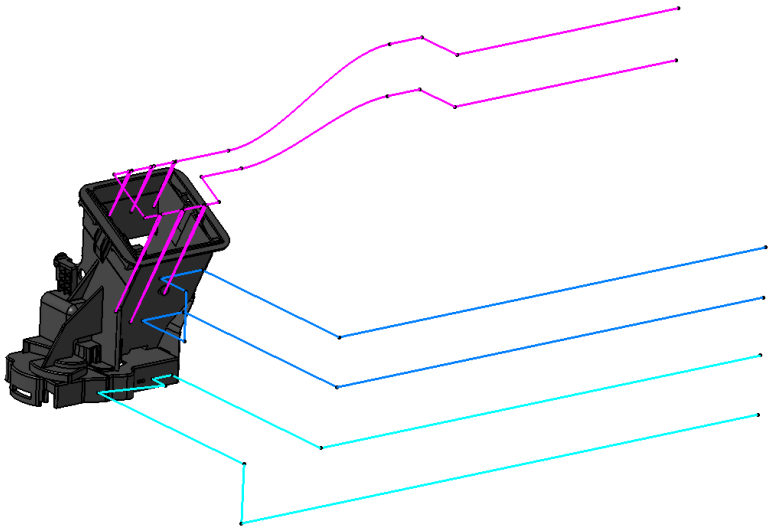
12.5 Temperační systém (1.varianta)

Úkolem temperace je zajistit rovnoměrné teplotní pole vstřikovací formy, tedy zajistit optimální délku vstřikovacího cyklu při dodržení technologických požadavků tak, aby to bylo ekonomické.

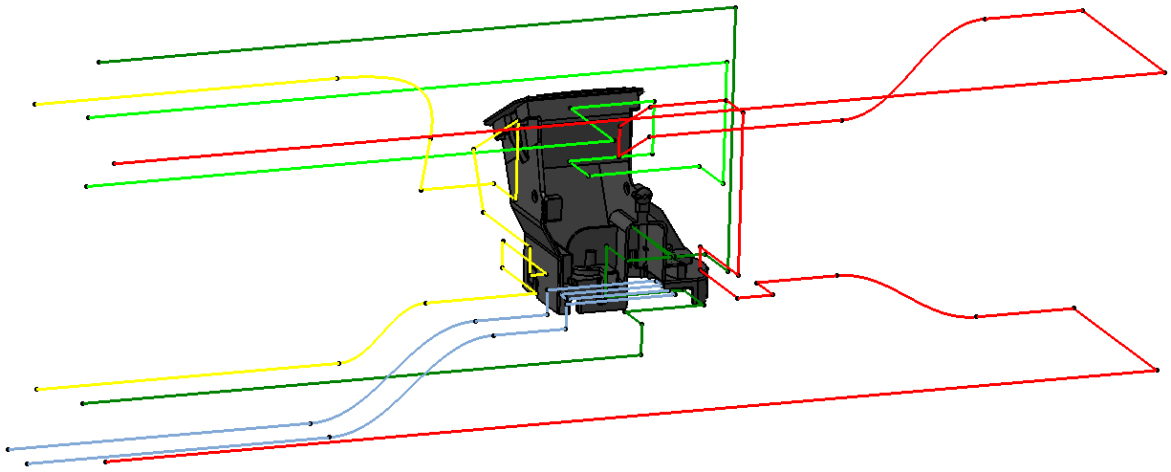
První varianta temperačního systému je vyrobená konvenčním způsobem obrábění. Temperační systém tvoří osm samostatných okruhů, z čehož tři okruhy jsou umístěny v pravé části formy a pět okruhů v levé části formy. Celý temperační systém je tvořen soustavou vrtaných kanálů o průměru 6 mm a 8 mm, frézovanou drážkou a sedmi přepážkami. Přebytečné kanály jsou utěsněny uzavíracími zátkami, aby nedošlo k unikání temperačního média. Pro vstup a výstup temperačního média je každý temperační okruh opatřen dvěma připojovacími nátrubky, kde jedním temperační médium vstupuje a druhým vystupuje. Ostatní díry jsou na svých koncích uzavřeny uzavíracími šrouby.

Temperační okruhy jsou umístěny ve dvou pevných tvarových vložkách a ve čtyřech posuvných. Zbylé tvarové části, tedy klín a dvě posuvné čelisti nejsou vzhledem k jejich malým rozměrům chlazeny.

Všechny vstupní a výstupní připojovací nátrubky pro temperační médium jsou z bezpečnostních i provozních důvodů umístěny ze zadní strany formy.



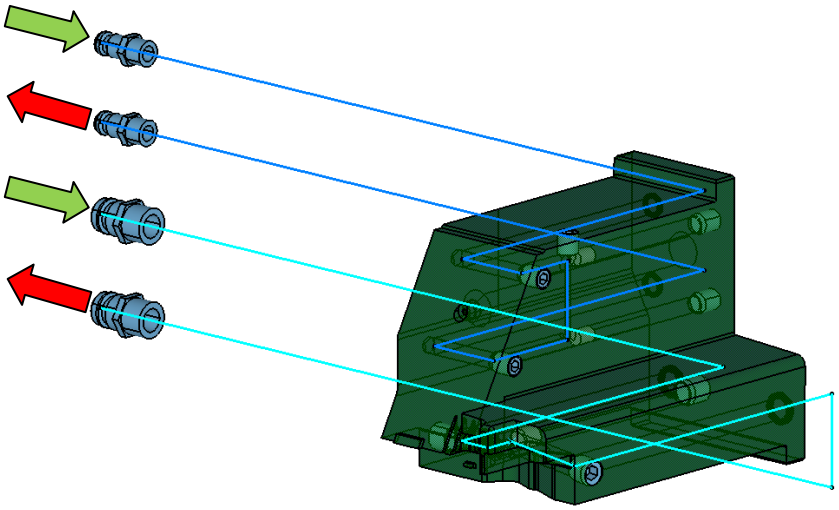
Obr. 60 Dráhy temperačních kanálů – pravá strana formy



Obr. 61 Dráhy temperačních kanálů – levá strana formy

12.5.1 Temperace pravé tvarové vložky

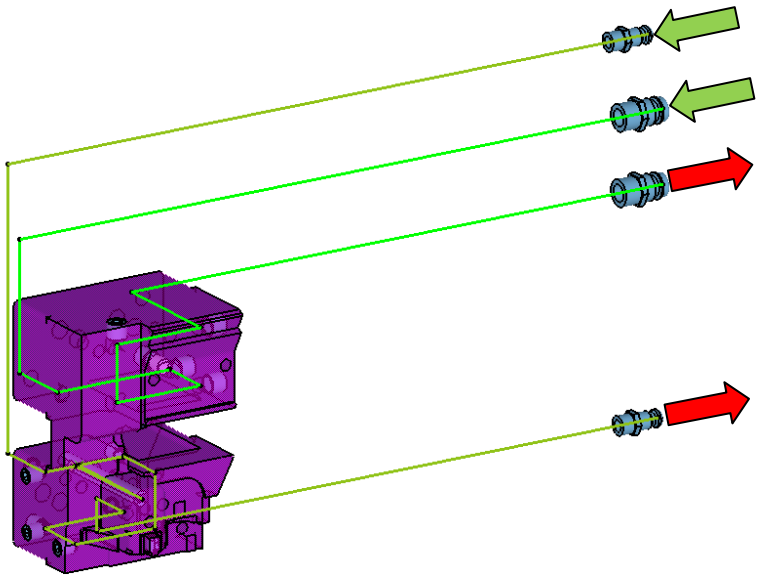
Temperace pravé tvarové vložky je tvořena dvěma samostatnými okruhy, kde dolní okruh má průměr kanálů 8 mm a horní okruh 6 mm. Chladící kapalina protéká do tvarové vložky přes pravou upínací desku, ve které jsou umístěny připojovací nátrubky pro vstup a výstup kapaliny. Mezi tvarovou vložkou a upínací deskou jsou umístěny kolem každého kanálu těsnění (o-kroužky), aby nedošlo k úniku kapaliny do prostoru formy.



Obr. 62 Temperace pravé tvarové vložky

12.5.2 Temperace levé tvarové vložky

Temperace levé tvarové vložky je tvořena také dvěma samostatnými okruhy, které mají průměr 6 mm (dolní) a 8 mm (horní). V dolním okruhu je umístěno obtokové jádro pro chlazení vyčnívajícího jádra z tvarové vložky. Chladící kapalina proudí temperačním kanálem přes levou tvarovou desku do tvarové vložky a zpět protéká opět tvarovou deskou. Mezi tvarovou vložkou a tvarovou deskou jsou umístěna těsnění (o-kroužky) proti unikání chladící kapaliny do prostoru formy. Pro vstup a výstup kapaliny jsou temperační okruhy opatřeny připojovacími nátrubky.

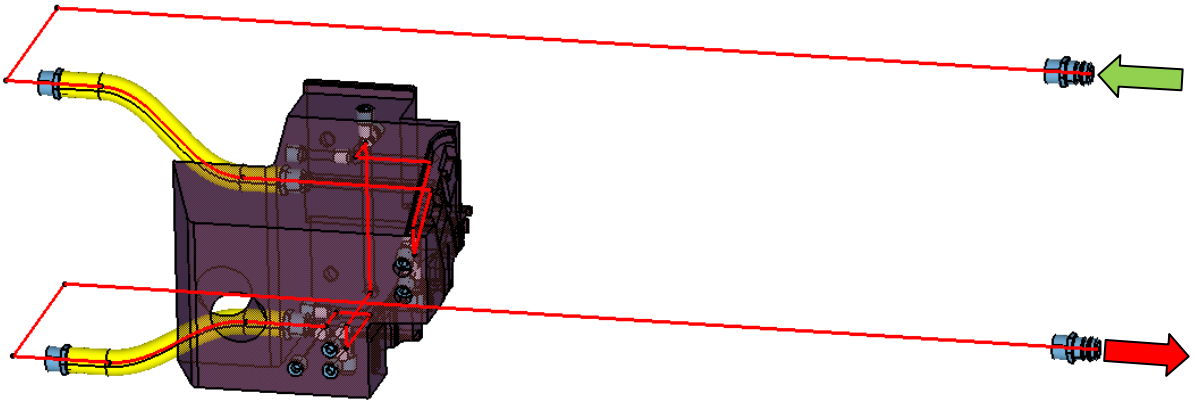


Obr. 63 Temperace levé tvarové vložky

12.5.3 Temperace přední tvarové vložky

Tato posuvná tvarová vložka je temperována chladící kapalinou, která protéká temperačními kanály o průměru 8 mm. Kapalina vstupuje přes připojovací nátrubek do opěrné desky, dále protéká skrz tvarovou desku, boční desku a přes hadici protéká do tvarové vložky. Zpět kapalina vytéká stejným způsobem druhým temperačním kanálem.

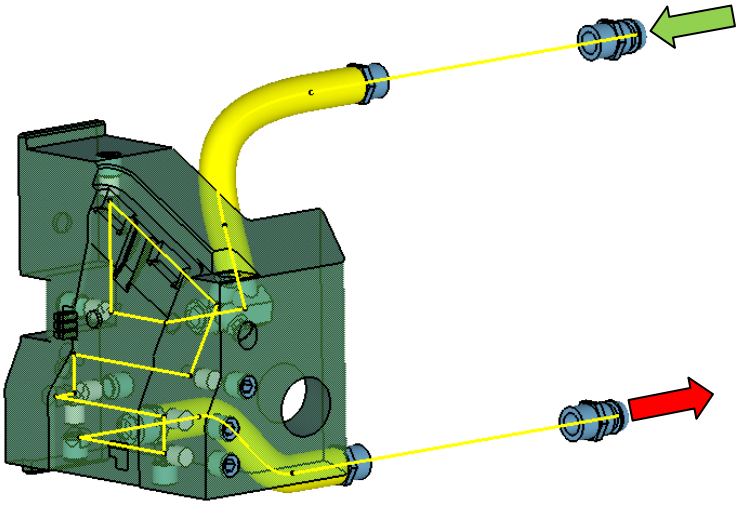
Tento temperační okruh je opatřen šesti připojovacími nátrubky. Dva z nich slouží pro vstup a výstup kapaliny z temperačního okruhu a zbylé čtyři slouží k propojení tvarové vložky s boční deskou pomocí hadice. Hadice je použita z důvodu posuvu tvarové vložky.



Obr. 64 Temperace přední tvarové vložky

12.5.4 Temperace zadní tvarové vložky

Temperace zadní posuvné tvarové vložky je tvořena soustavou kanálů o průměru 8 mm. Kapalina vstupuje do systému přes připojovací nátrubek do boční desky a přes hadici proudí do tvarové vložky. Z tvarové vložky se kapalina vrací zpět přes druhou hadici, boční desku, a přes připojovací nátrubek vytéká z formy. K propojení dvou hadic mezi tvarovou vložkou a boční deskou bylo použito čtyř připojovacích nátrubků.

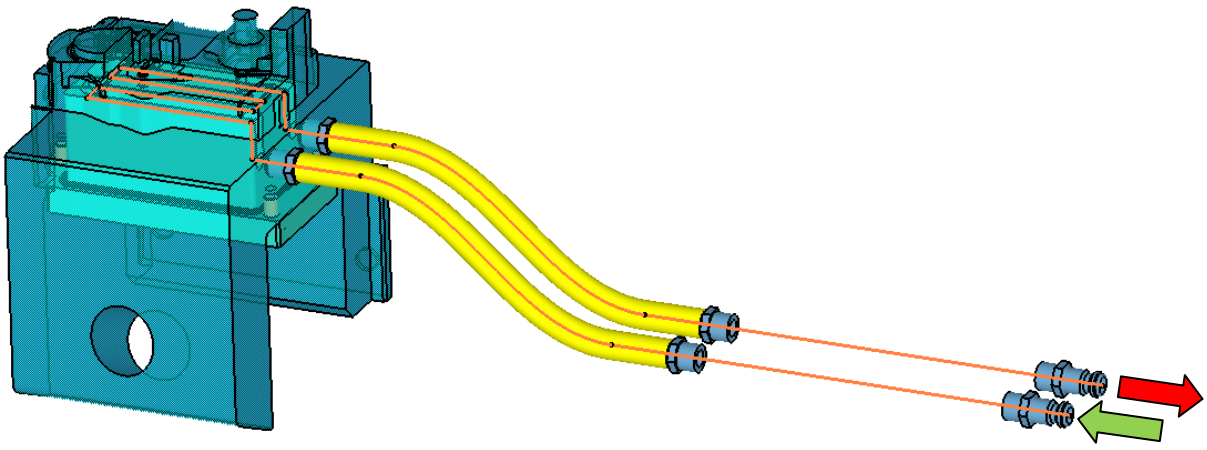


Obr. 65 Temperace zadní tvarové vložky

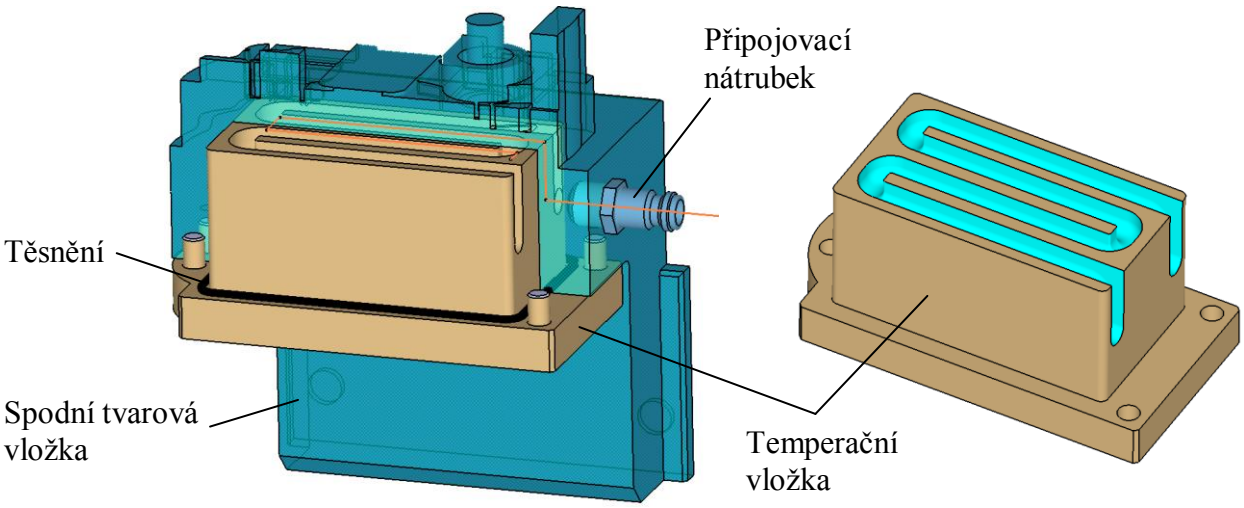
12.5.5 Temperace spodní tvarové vložky

Temperace spodní posuvné tvarové části je řešena pomocí temperační vložky, ve které je vyfrézována drážka půlkruhového průřezu. Touto drážkou protéká temperační kapalina. Temperační vložka je vložena do spodní tvarové vložky a zajištěna čtyřmi šrouby. Mezi dvěma vložkami je vloženo těsnění, aby nedošlo k úniku kapaliny.

Kapalina je do tvarové vložky přivedena přes boční desku formy a přes hadici vstupuje do tvarové vložky. Po protečení frézovanou drážkou vytéká kapalina druhou hadicí a přes boční desku vystupuje z formy. Temperační okruh této části je opatřen šesti připojovacími nátrubky. Čtyři z nich slouží k propojení boční desky s tvarovou vložkou pomocí hadice, a zbylé dva jsou použity pro vstup a výstup kapaliny z temperačního okruhu.



Obr. 66 Temperace spodní tvarové vložky

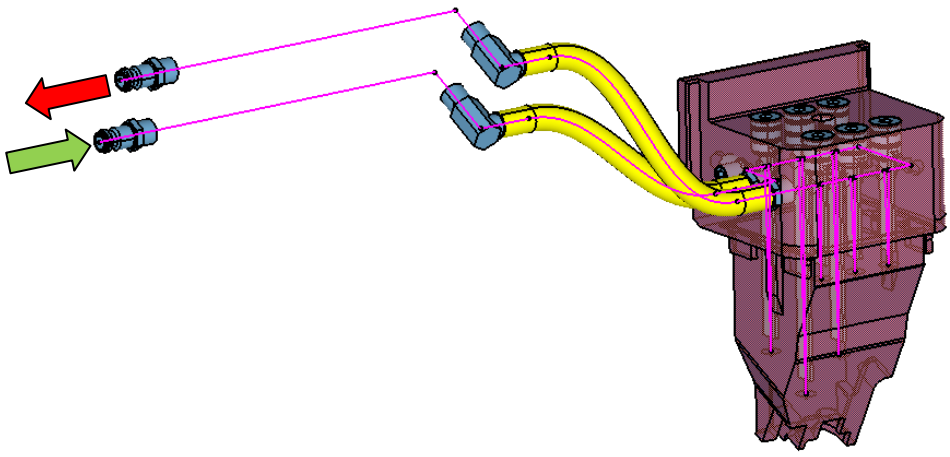


Obr. 67 Temperace spodní tvarové vložky – temperační vložka

12.5.6 Temperace horní tvarové vložky

Temperační systém posuvné horní tvarové vložky je řešen pomocí šesti vrtaných otvorů o průměru 8 mm, do kterých jsou vloženy přepážky. Těchto šest otvorů je v sériovém zapojení spojeno vrtanými kanály o průměru 6 mm.

Temperační kapalina vstupuje do systému prostřednictvím připojovacího nátrubku, protéká kanálem v pravé upínací desce a přes hadici pokračuje do tvarové vložky. Po protečení kolem všech přepážek vystupuje kapalina přes hadici a upínací desku ven z formy. Pro vstup a výstup kapaliny a propojení hadic mezi tvarovou vložkou a upínací deskou je temperační okruh opatřen šesti připojovacími nátrubky.



Obr. 68 Temperace horní tvarové vložky

Při konvenčním způsobu temperačního systému byly využity normálie od výrobce HASCO uvedené v následující tabulce (Tab. 8).

Tab. 8 Normálie HASCO použité při konvenčním způsobu temperace [14]

Normálie HASCO	Množství	Náhled
Připojovací nátrubek Z81	29x	
Připojovací nátrubek Z81/90	3x	
Uzavírací zátka Z942	24x	
Uzavírací šroub Z940	47x	
Obtokový můstek Z965	6x	
Obtokové jádro Z967	1x	
O-kroužek Z98	25x	

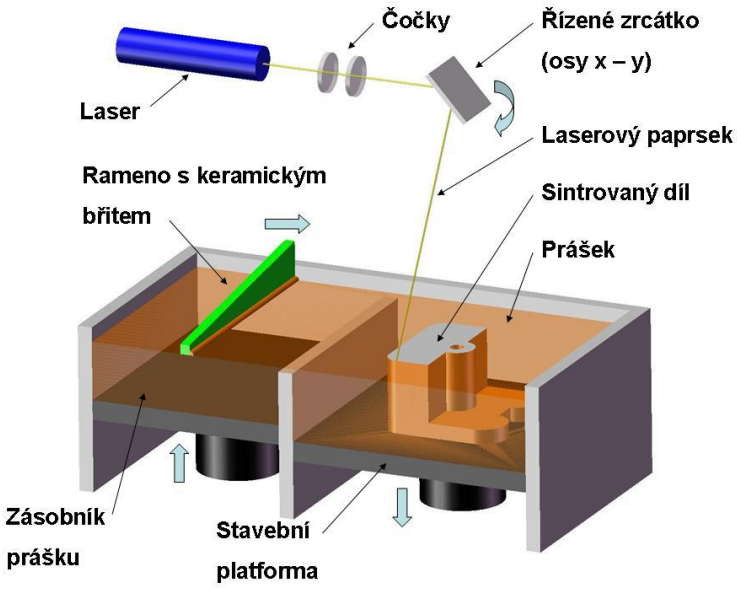
12.6 Temperační systém (2.varianta)

Druhá varianta temperačního systému byla navržena nekonvenčním způsobem obrábění pomocí technologie DMLS (Direct Metal Laser Sintering).

Tato technologie umožňuje výrobu plně funkčních kovových dílů přímo z 3D CAD dat, přičemž odpadá investice do výrobních nástrojů a technologií. To přináší značnou úsporu nákladů a času. Kovové díly vyrobené touto technologií jsou z hlediska mechanických vlastností plně srovnatelné s obráběnými či odlévanými díly. Platí, že čím je geometrie dílu tvarově složitější, tím je technologie DMLS ekonomicky efektivnější. [22]

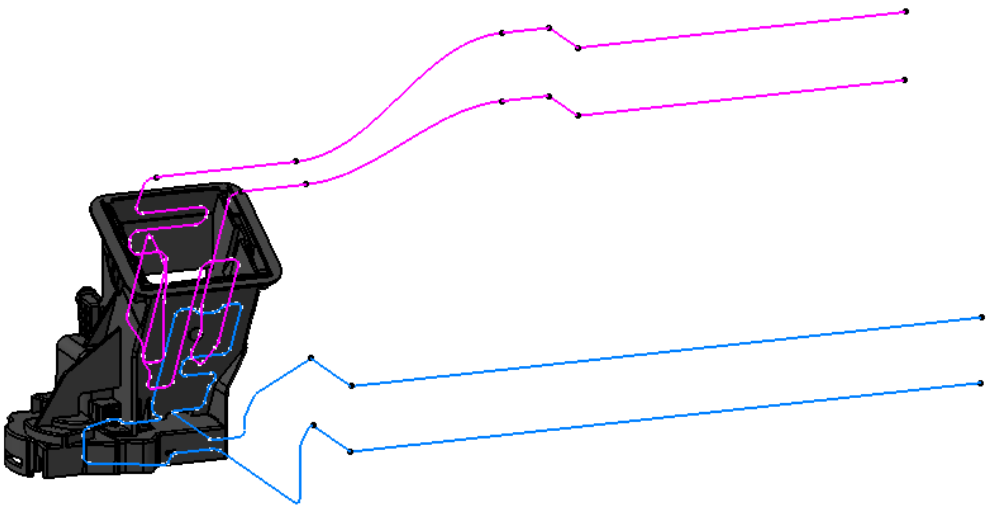
DMLS je technologie založená na postupném tavení velmi jemných vrstev kovového prášku pomocí laserového paprsku. 3D CAD model výrobku je nejprve rozdělen na jednotlivé vrstvy, díl je pak stavěn vrstvu po vrstvě. Energie laserového paprsku lokálně taví kovový prášek pouze v konturách řezu. V průběhu stavby dílu je nezbytná fixace správné polohy dílu pomocí podpůrné struktury, která je ukotvena k základní ocelové platformě. Podpůrné prvky jsou stavěny vrstva po vrstvě zároveň s výrobkem. Minimální tloušťka vrstvy je 0,02 mm. Laser důkladně taví kov ve formě prášku a tím je zajištěno dokonalé spojení jednotlivých vrstev. Tato technologie umožňuje výrobu dílů malé až střední velikosti v rozmezí několika hodin či dnů oproti dnům až týdnům při využití tradičních technologií. Nezbytnou součástí výrobního procesu jsou dokončovací operace. Nejprve je nutné odstranit podpůrnou strukturu z povrchu dílu, povrch je možné dále brousit, leštit či obrábět stejným způsobem, jako klasický kovový materiál. [22]

DMLS nachází využití v mnoha odvětvích, včetně letectví, automobilového či elektronického průmyslu a medicíny. Široké pole uplatnění získává v oblasti výroby forem a nástrojů pro výrobu plastových, keramických či kovových výrobků (prototypové formy, malosériové formy, tvarově složité vložky, jádra s chladícími kanály optimalizovanými dle tvaru a složitosti dutiny pro rychlejší odvod tepla). Zejména při zpracování plastů lze vhodnou aplikací DMLS dosáhnout zvýšení produktivity procesu, zkrácení vstřikovacího cyklu a lepší kvality dílů. [22]

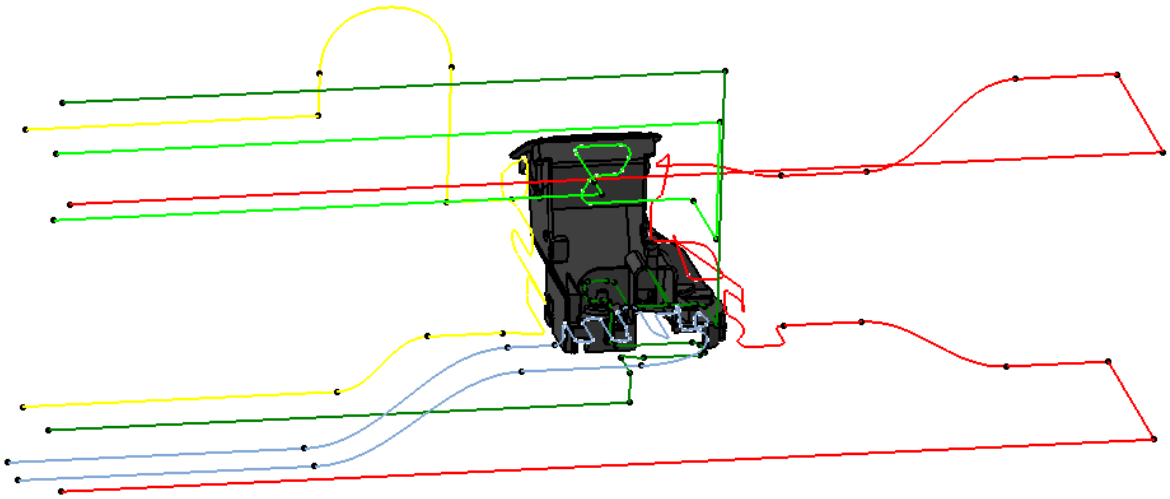


Obr. 69 Schéma technologie DMLS [24]

Tento temperační systém tvoří sedm samostatných okruhů. Dva z nich jsou umístěny na pravé straně formy a pět na její levé straně. Nekonvenčním způsobem jsou vyrobeny kanály všech tvarových částí. Přívodní kanály, které prochází pravou upínací deskou, levou tvarovou deskou, opěrnou deskou a dvěma bočními deskami zůstali stejné jako při první variantě temperace. Také propojení všech posuvných tvarových částí s pevnou částí formy je řešeno stejným způsobem, tedy pomocí hadic přes připojovací nátrubky. Pro vstup a výstup temperačního média je každý temperační okruh opatřen dvěma připojovacími nátrubky, kde jedním temperační médium vstupuje a druhým vystupuje.



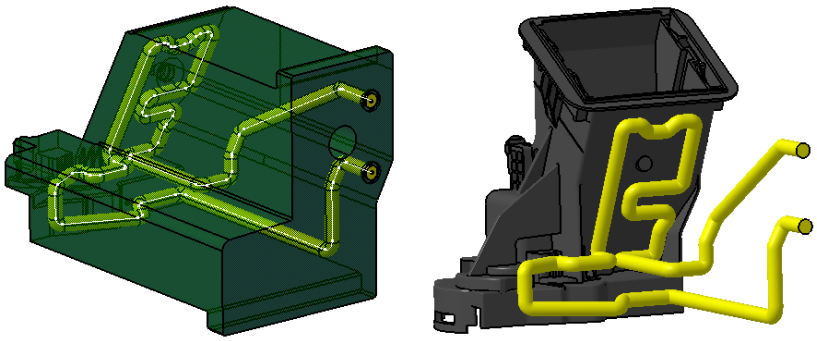
Obr. 70 Dráhy temperačních kanálů – pravá strana formy



Obr. 71 Dráhy temperačních kanálů – levá strana formy

12.6.1 Temperace pravé tvarové vložky

Temperace pravé tvarové vložky je tvořena jedním temperačním kanálem o průměru 6 mm, na rozdíl od první varianty temperace, kde byla tato vložka tvořena dvěma temperačními okruhy. Přívodní a odvodní kanál do tvarové vložky prochází přes pravou upínací desku. Mezi tvarovou vložkou a upínací deskou jsou v místě kanálů umístěny těsnění (o-kroužky) pro zamezení úniku kapaliny.

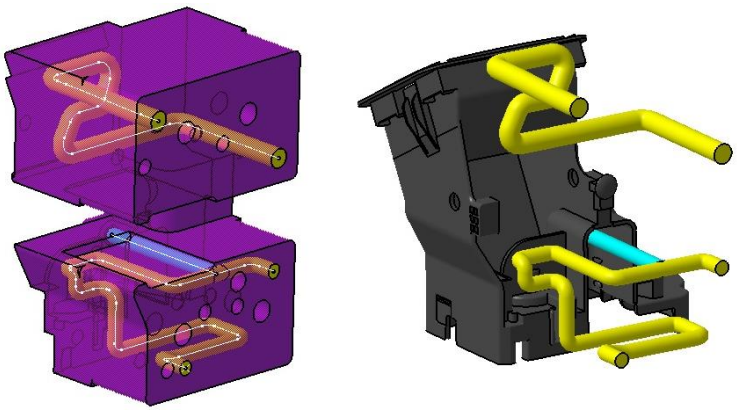


Obr. 72 Temperace pravé tvarové vložky

12.6.2 Temperace levé tvarové vložky

Temperace levé tvarové vložky je tvořena dvěma temperačními kanály o průměru 6 mm (dolní) a 8 mm (horní). I přesto, že se jedná o nekonvenční typ temperace, je v dolním okruhu umístěno obtokové jádro pro chlazení vyčnívajícího jádra z tvarové vložky.

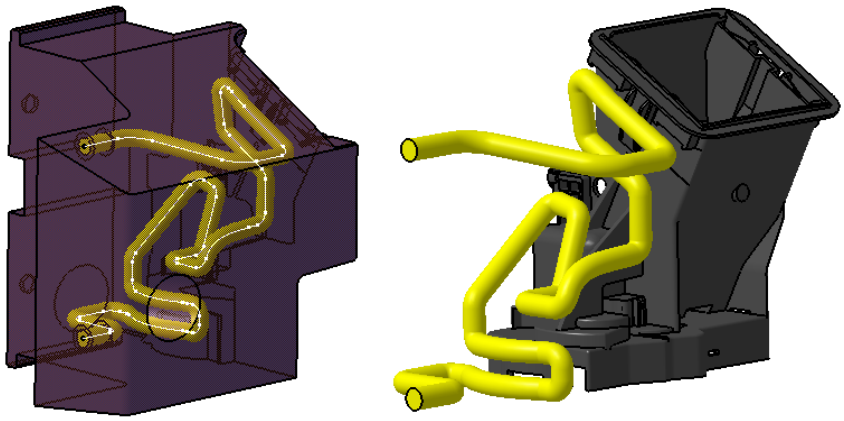
Chladící kapalina proudí temperačním kanálem přes levou tvarovou desku do tvarové vložky a zpět protéká opět tvarovou deskou. Mezi tvarovou vložkou a tvarovou deskou jsou umístěna těsnění (o-kroužky) proti unikání chladící kapaliny do prostoru formy.



Obr. 73 Temperace levé tvarové vložky

12.6.3 Temperace přední tvarové vložky

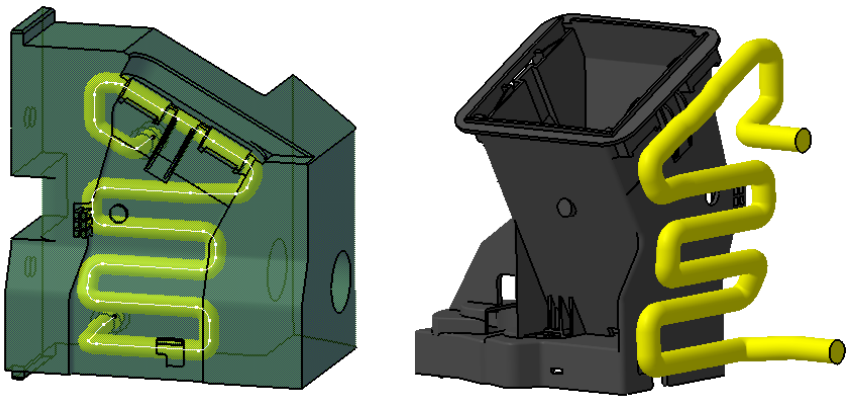
Temperace posuvné přední tvarové vložky je tvořena temperačním kanálem o průměru 6 mm. Chladící kapalina vstupuje do systému přes připojovací nátrubek a protéká opěrnou deskou, levou tvarovou deskou, boční deskou a přes hadici je spojena s tvarovou vložkou. Po protečení kanálem ve tvarové vložce kapalina vystupuje druhým kanálem vedeným skrz stejné desky, jako byla přivedena.



Obr. 74 Temperace přední tvarové vložky

12.6.4 Temperace zadní tvarové vložky

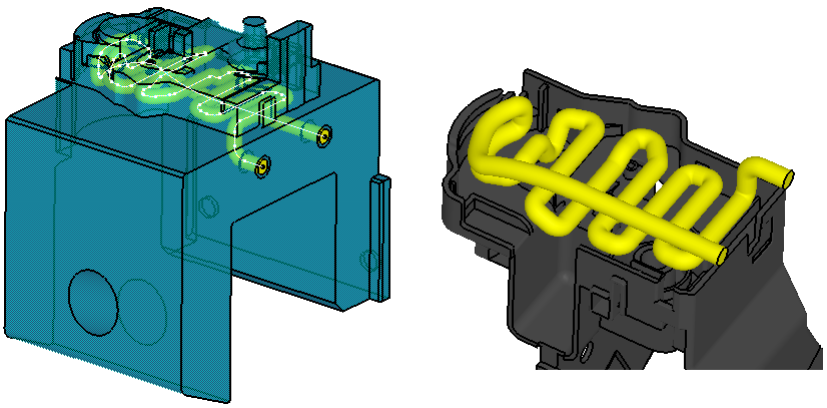
Temperace posuvné zadní tvarové vložky je tvořena temperačním kanálem o průměru 8 mm. Kapalina vstupuje do systému přes připojovací nátrubek do boční desky a přes hadici proudí do tvarové vložky. Z tvarové vložky se kapalina vrací zpět přes druhou hadici, boční desku, a přes připojovací nátrubek vytéká z formy.



Obr. 75 Temperace zadní tvarové vložky

12.6.5 Temperace spodní tvarové vložky

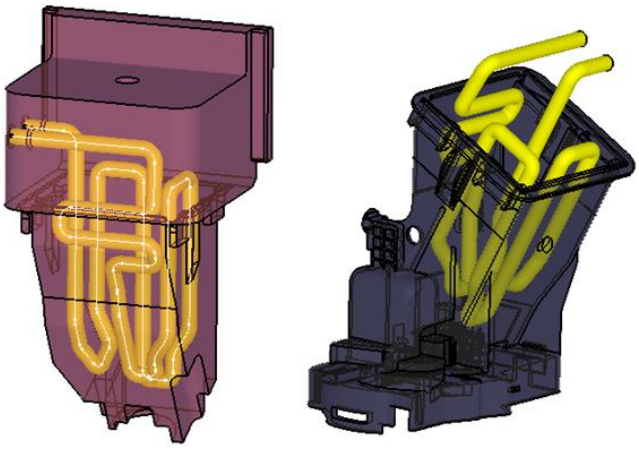
Temperace posuvné spodní tvarové vložky je tvořena temperačním kanálem o průměru 6 mm. Kapalina je do tvarové vložky přivedena přes boční desku formy a přes hadici vstupuje do tvarové vložky. Po protečení kanálem vytéká kapalina druhou hadicí a přes boční desku vystupuje z formy.



Obr. 76 Temperace zadní tvarové vložky

12.6.6 Temperace horní tvarové vložky

Tato posuvná tvarová vložka je temperována chladící kapalinou, která protéká kanálem o průměru 6 mm. Temperační kapalina vstupuje do systému prostřednictvím připojovacího nátrubku, protéká kanálem v pravé upínací desce a přes hadici pokračuje do tvarové vložky. Po protečení kanálem ve tvarové vložce vystupuje kapalina přes hadici a upínací desku ven z formy.



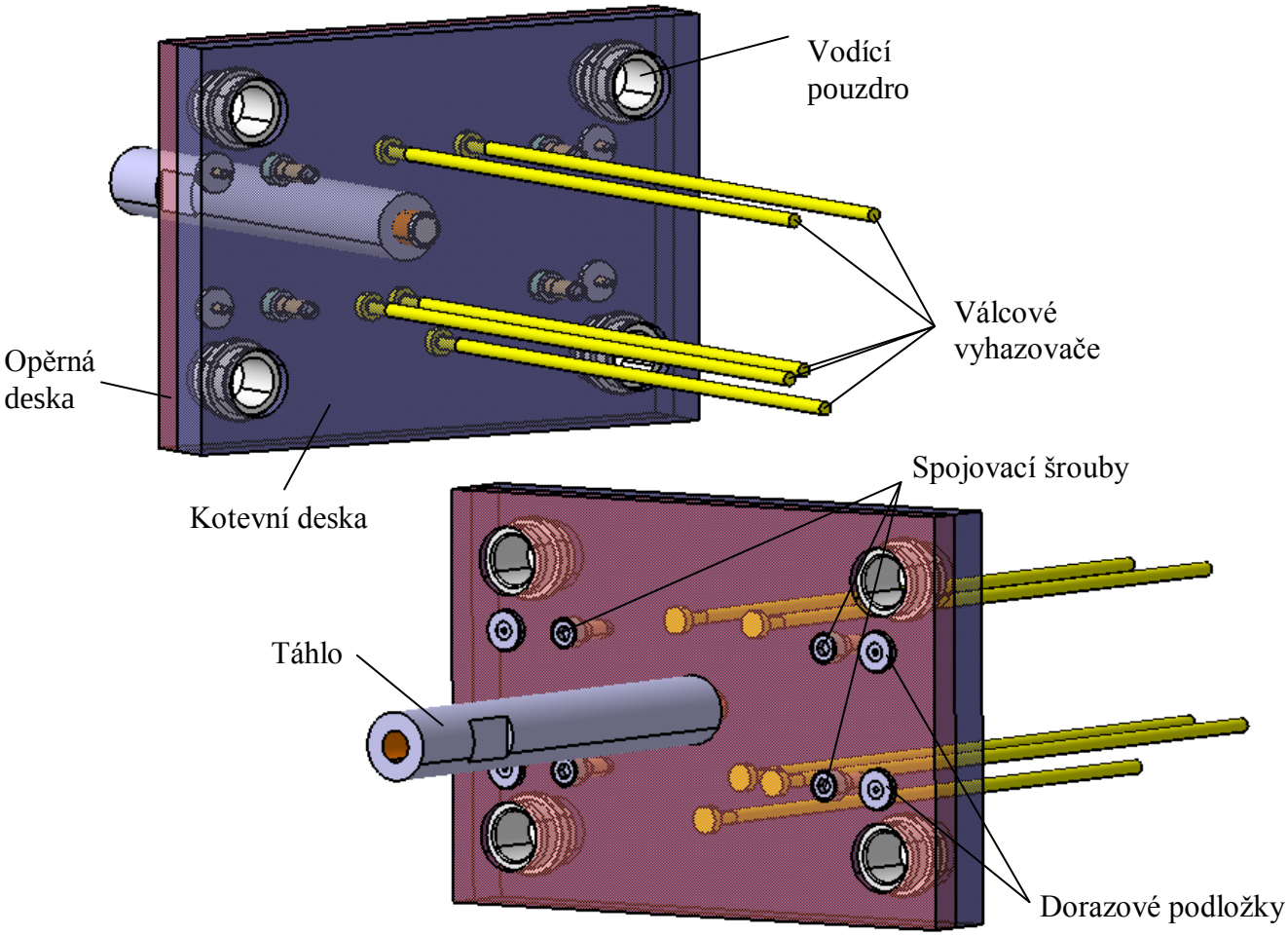
Obr. 77 Temperace horní tvarové vložky

12.7 Vyhazovací systém

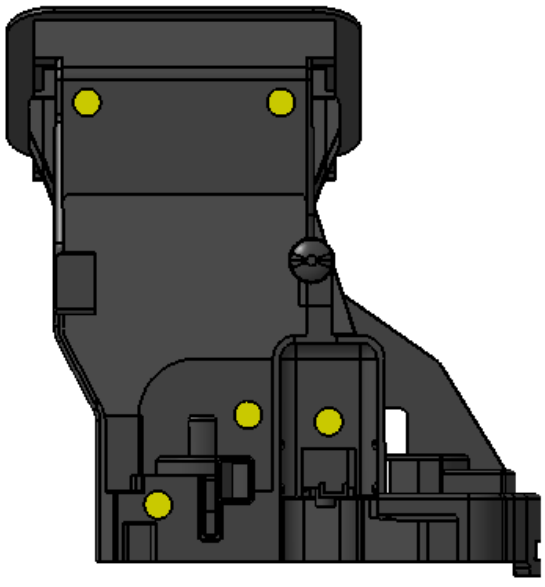
Vyhození výstřiku z dutiny formy je realizováno pomocí pěti válcových vyhazovačů o průměru 6 mm, které jsou uchyceny v kotevní desce vyhazovacího systému a zajištěny opěrnou deskou vyhazovacího systému. Tyto dvě desky jsou vzájemně sešroubovány. Vyhazovače jsou rozmístěny tak, aby působili rovnoměrně na plochu vyhazovaného dílce.

Pohyb celého vyhazovacího systému je uskutečněn hydraulickým systémem vstřikovacího stroje pomocí táhla, které je přes závitový kolík upevněno v opěrné desce. Vedení celého vyhazovacího systému je zajištěno pomocí vodících čepů upevněných v levé části rámu vstřikovací formy a vodících pouzder, které jsou uloženy mezi kotevní a opěrnou deskou vyhazovacího systému. V opěrné desce jsou uchyceny dorazové podložky, jimiž celý vyhazovací systém dosedá na upínací desku formy.

Všechny části vyhazovacího systému kromě opěrné a kotevní desky jsou normálie HASCO.



Obr. 78 Vyhazovací systém



Obr. 79 Rozmístění vyhazovačů na výstřiku

Po vyhození (vytlačení) výstřiku z dutiny formy vyhazovacím systém bude výstřik odebrán průmyslovým robotem z prostoru vstřikovací formy. Běžné vypadnutí výstřiku ze vstřikovací formy není možné, protože konstrukce výrobku vyžaduje odformování i z jeho spodní strany pomocí posuvné tvarové vložky, a při vypadnutí by výstřik narazil na tuto tvarovou vložku.

12.8 Manipulace s formou

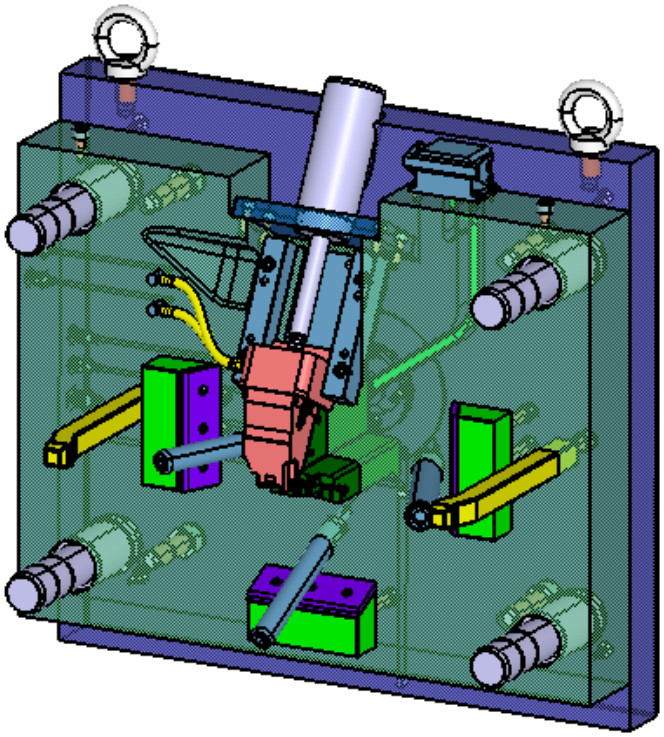
Pro manipulaci a přemísťování je forma opatřena čtyřmi závěsnými šrouby, které jsou uchyceny v upínacích deskách formy. Vzhledem k hmotnosti vstřikovací formy, která činí 1210 kg, byly zvoleny šrouby M20. Maximální nosnost jednoho šroubu je 860 kg. Pro manipulaci s formou byly tedy zvoleny šrouby s bezpečností 284 %.

Proti otevření formy v dělicí rovině při přemísťování je forma opatřena pojistným zámkem.

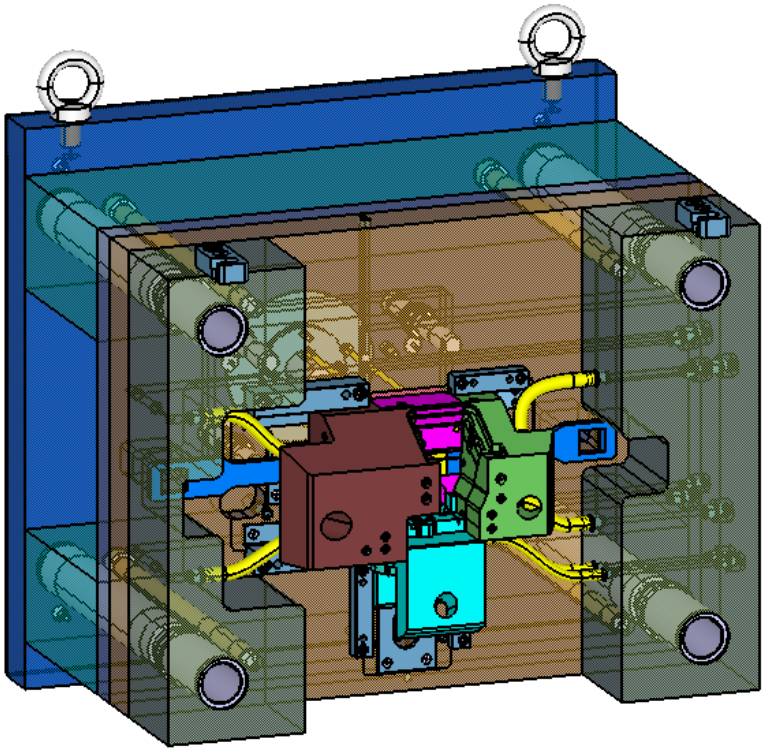
Obr. 80 Závěsný šroub HASCO Z710/20 [14]

Obr. 81 Zajištění formy HASCO Z73/20x32x80 [14]

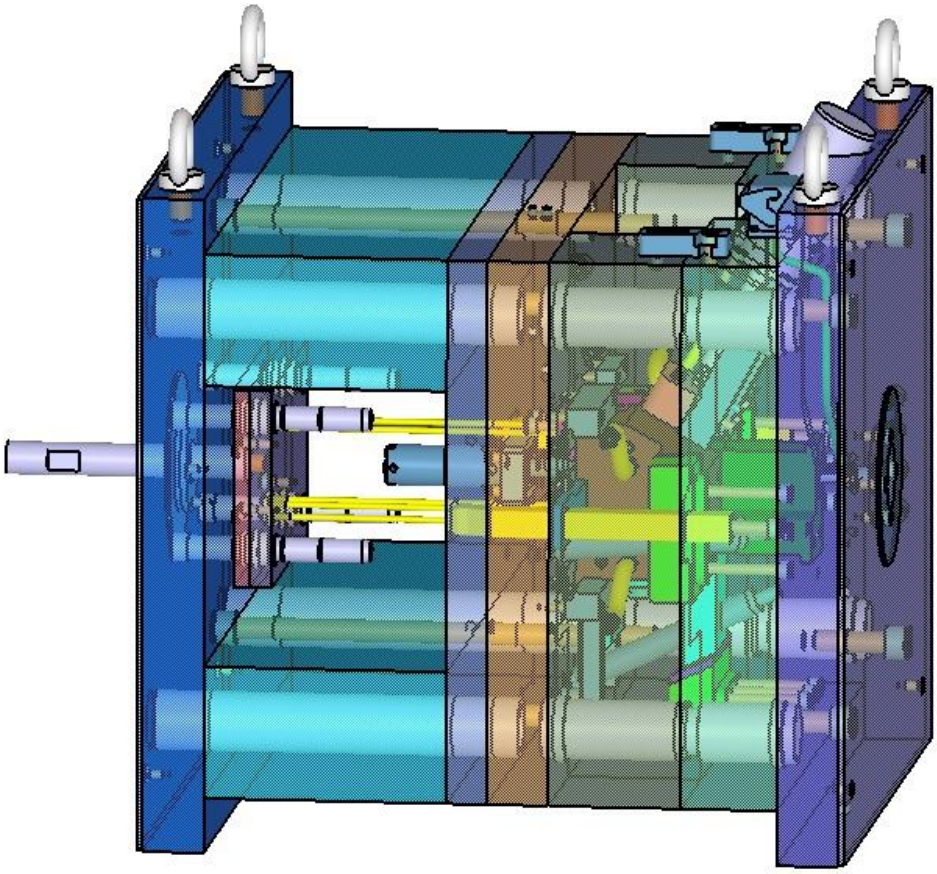
12.9 Celková konstrukce formy



Obr. 82 Pravá strana vstřikovací formy



Obr. 83 Levá strana vstřikovací formy včetně vyhazovacího systému



Obr. 84 Vstřikovací forma

13 TOKOVÉ ANALÝZY

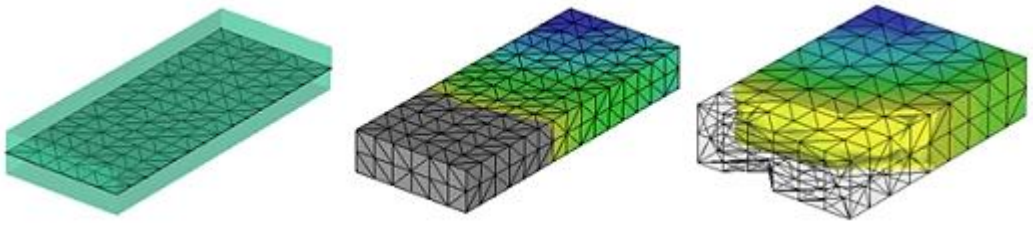
Tokové analýzy byly provedeny v programu Autodesk Moldflow Insight 2011 (dále jen Moldflow).

Před samotnou analýzou je třeba připravit model výrobku, u něhož je velmi důležitá kvalita jeho sítě, a dráhy vtokového a temperačního systému. Dále je nutné zvolit vhodný materiál výrobku a procesní podmínky vstřikování včetně volby vstřikovacího stroje.

Výsledky analýz jsou ovlivněny především zadanými vstupními procesními parametry a kvalitou sítě výrobku.

13.1 Typy sítí v programu Moldflow

Použitý typ sítě konečných prvků významně ovlivňuje výsledek analýzy, zvláště v případě dílů, kde je velká tloušťka stěn a kde jsou velké změny průřezu a tvaru. U 2D sítě (Mildplane) probíhá výpočet pouze na síti střednicové plochy. Při 2,5D (Dual Domain) analýze je objem modelu představován vrstvami 2D sítě proložené rovnoběžně po celé tloušťce modelu. 3D síť je tvořena objemovými elementy (tzv. tetrahedrony), a výpočet tedy probíhá po celé tloušťce výrobku. Použitím 3D sítě se dosáhne nejpřesnějších výsledků, avšak tento výpočet zabere také nejvíce času. Z tohoto důvodu je důležité zvolit patřičnou síť pro výpočet, která bude pro popis daného výrobku dostačující. [27]

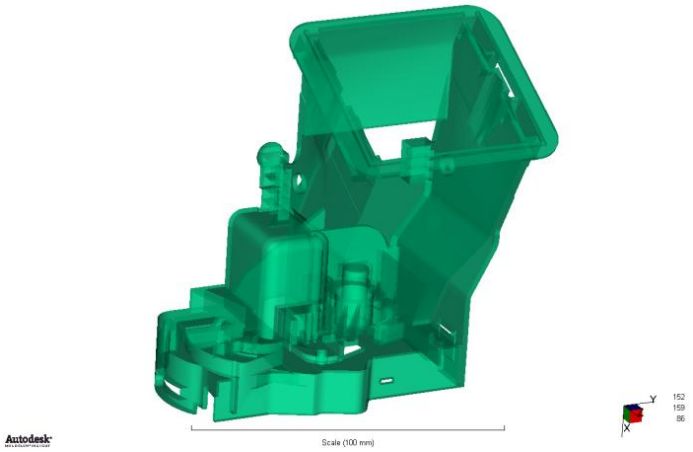


Obr. 85 Síťě konečných prvků [27]
a) Mildplane (2D síť), b) Dual Domain (2,5D síť), c) 3D síť

Vzhledem k tomu, že se jedná o tenkostěnný výrobek, je zvoleným typem sítě Dual Domain.

13.2 Model výrobku

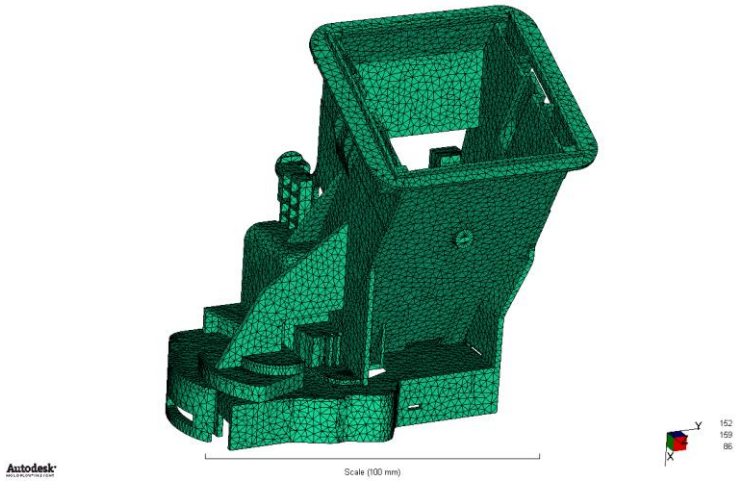
Předem připravený model výrobku vytvořený v programu CATIA byl uložen ve formátu *.stl a následně importován do programu Moldflow. U tohoto modelu byly odstraněny technologické rádiusy a zkosení menší jak 2 mm. Odstraněním těchto rádiusů a zkosení se dosáhne lepšího vysíťování modelu, čímž se docílí přesnějších výsledků analýzy.



Obr. 86 Model výrobku v programu Moldflow

13.2.1 Tvorba sítě

Zvolený typ sítě je Dual Domain. Jedná se o rovinné síťování 3D modelu pomocí rovnostranných trojúhelníků.

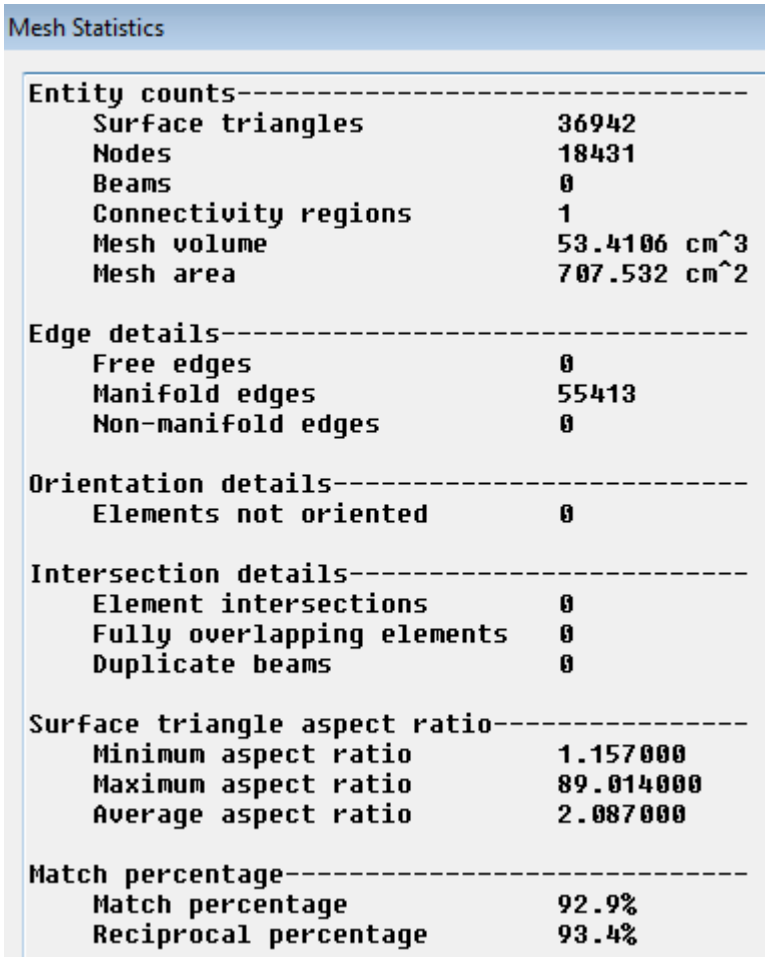


Obr. 87 Vysíťovaný model výrobku

13.2.2 Kontrola sítě

Po vysíťování modelu je nutné zkontrolovat kvalitu sítě. Na kvalitě sítě závisí přesnost výsledků analýzy. Její kvalitu popisuje ,,Mesh Statistics,, (Obr. 86)

Je nutné zajistit, aby se na modelu nevyskytovaly žádné volné hrany (Free edges), duplicitní hrany (Non-manifold edges), špatně orientované elementy (Elements not oriented), protínající se elementy (Element intersections) a překrývající se elementy (Fully overlapping elements).

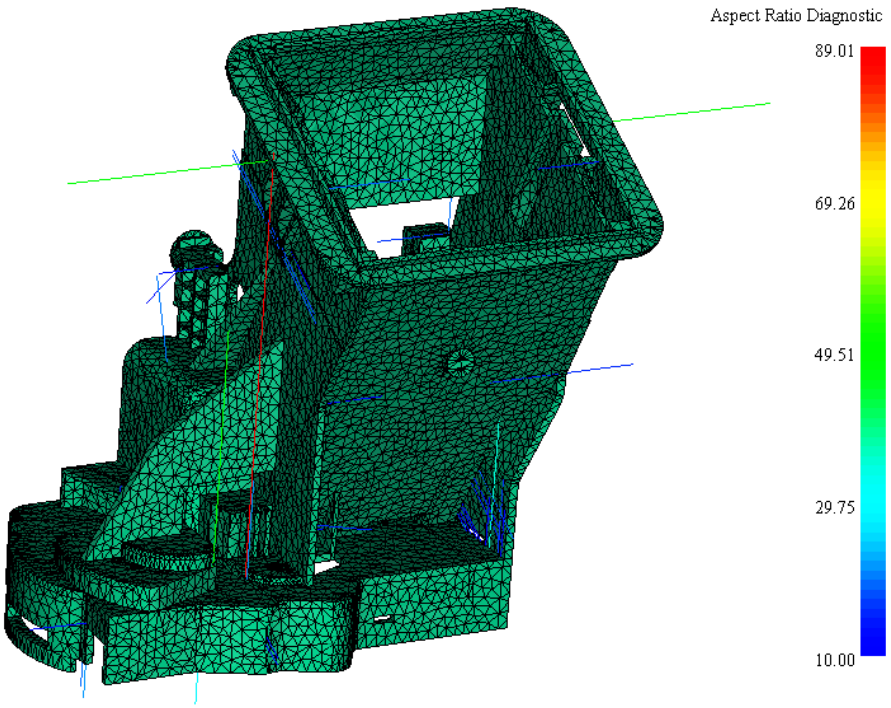


Obr. 88 Mesh Statistics

Dále se kontroluje poměr stran trojúhelníka (Maximum aspect ratio), který nesmí překročit hodnotu 30. Optimální hodnota poměru stran je 6-15.

Velmi důležitým parametrem je také Match percentage, který vyjadřuje „jak přesně se povedlo model vystihnout“. Pro přesné výsledky analýzy „Cool+Fill+Pack+Warp“ by měla být jeho hodnota 90 % a vyšší. Dosažená hodnota tohoto modelu je 92,9 %.

13.2.3 Úprava sítě



Obr. 89 Aspect Ratio Diagnostic

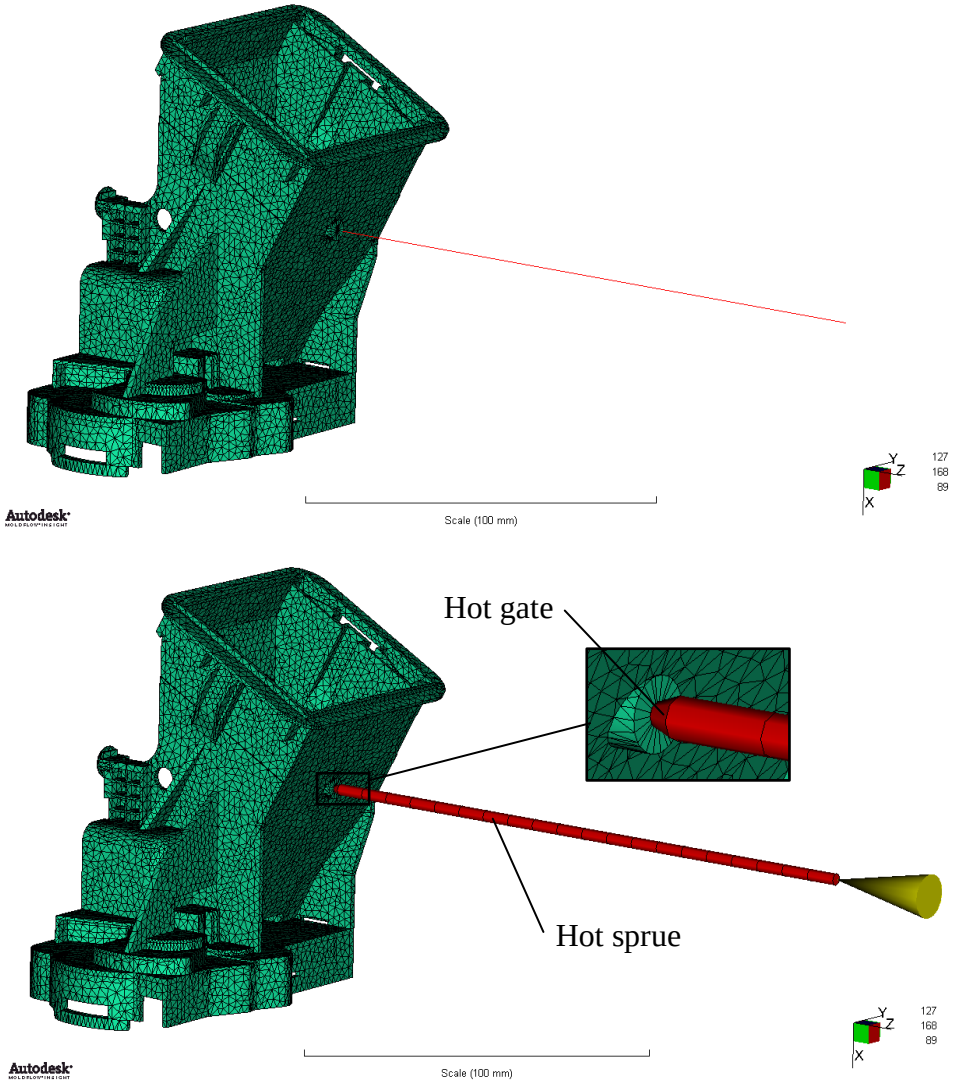
Úpravou sítě byl snížen maximální poměr stran trojúhelníka (Maximum aspekt ratio) z původních 89,01 na 9,98.

```
Surface triangle aspect ratio--------------
    Minimum aspect ratio          1.157000
    Maximum aspect ratio          9.979000
    Average aspect ratio          2.050000
```

Obr. 90 Maximum aspekt ratio

13.3 Vtokový systém

Základem pro tvorbu vtokového systému v programu Moldflow jsou předem vytvořené trajektorie, které tvoří dráhu toku taveniny. Trajektorie dráhy toku taveniny byla vytvořena v programu CATIA, ve kterém byla uložena do formátu *.igs. Vytvořená trajektorie se vloží do programu Moldflow a následně jsou jí nadefinovány rozměry vtokového kanálu a vtokového ústí. Takto připravená trajektorie se vysíťuje a vznikne síť „Beam“ elementů.

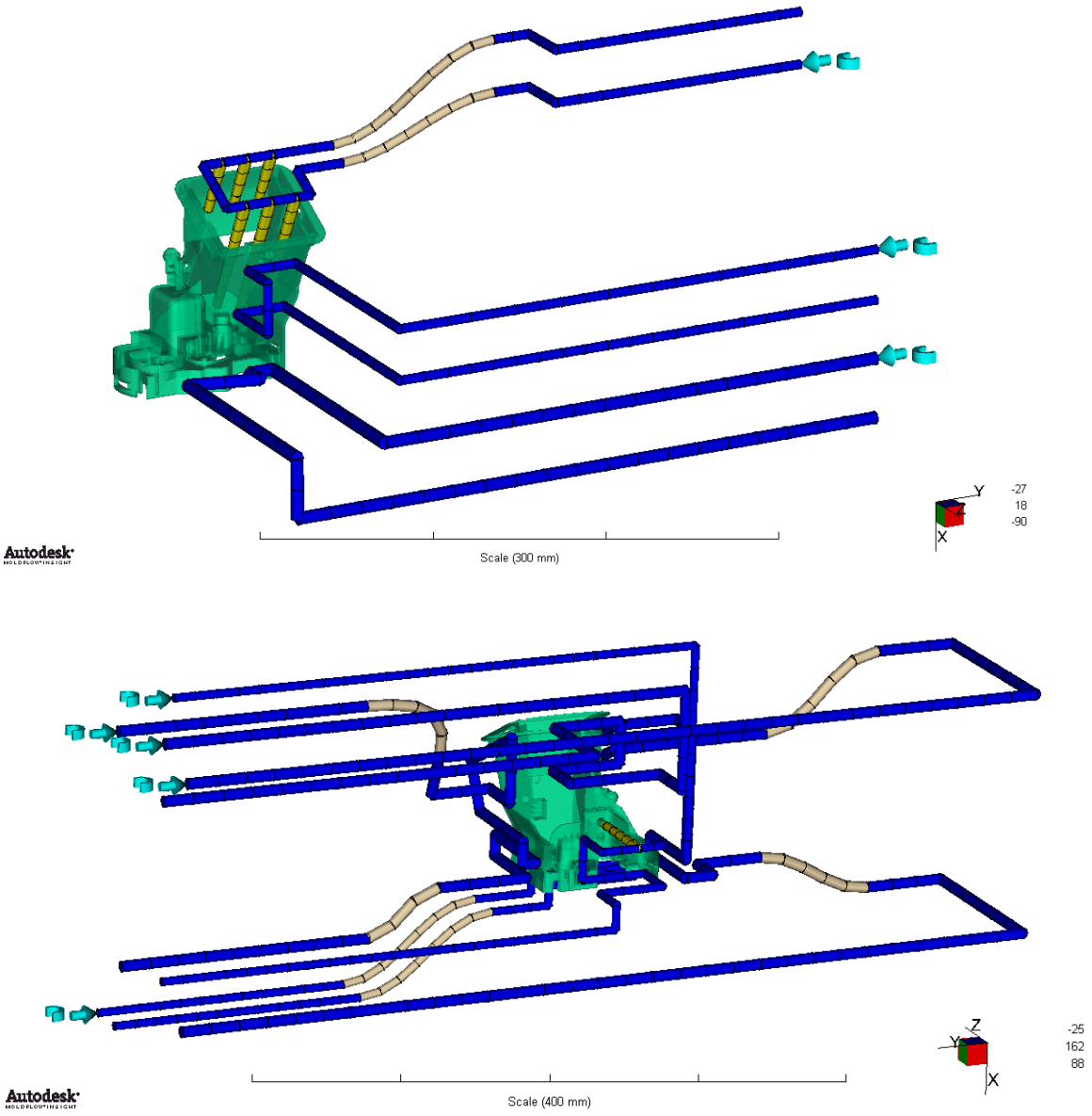


Obr. 91 Vtokový systém

13.4 Temperační systém

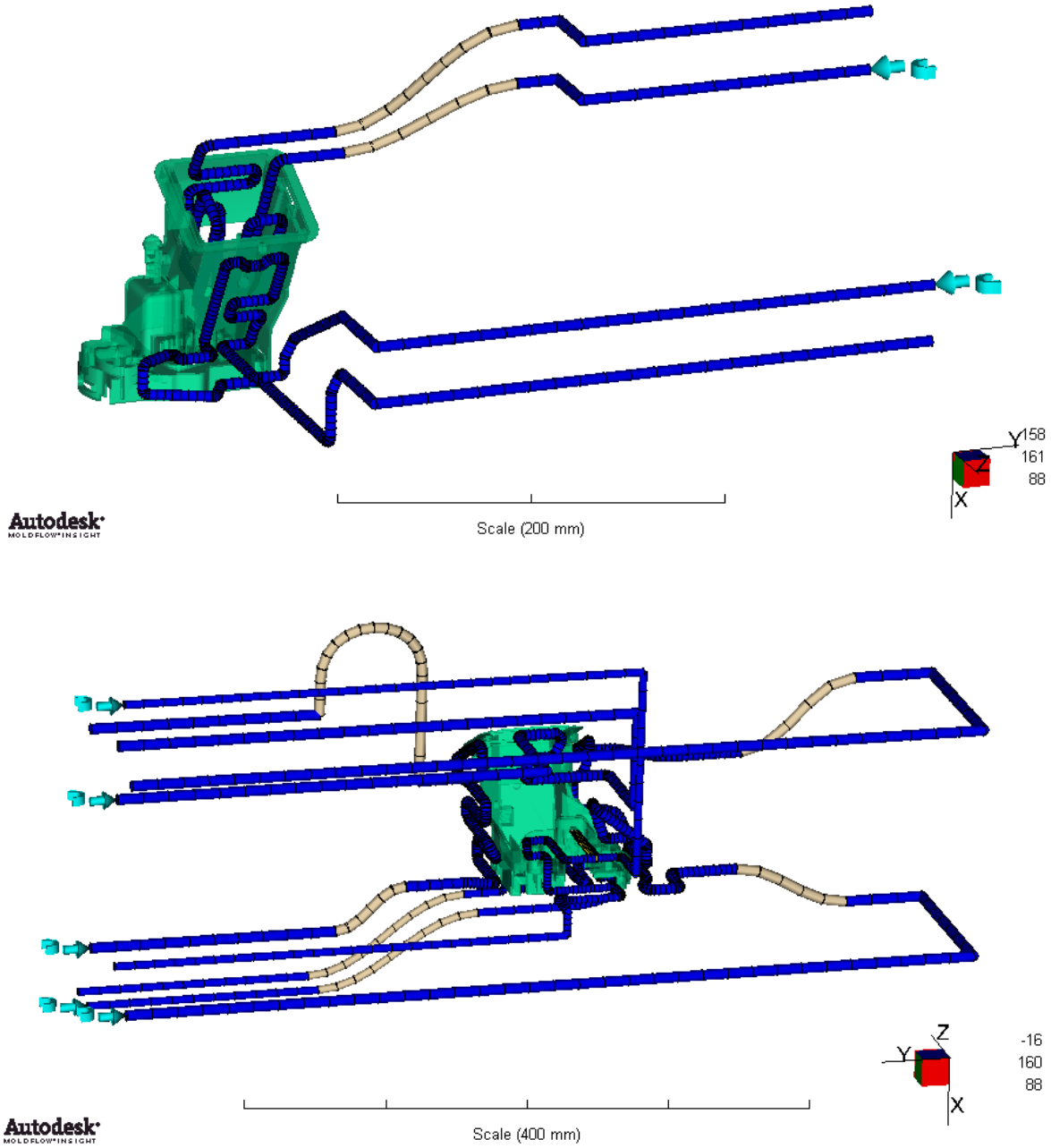
Obdobně jako u vtokového systému se předem připravená soustava čar v programu CATIA ve formátu *.igs vloží do programu Moldflow. Jednotlivým čarám jsou zde nadefinovány vlastnosti a rozměry kanálů. Připravená trajektorie se vysíťuje a dojde k vytvoření „Beam“ elementů.

Vstup kapaliny do jednotlivých temperačních okruhů je označen modrou šipkou. Tmavě modré okruhy představují temperační kanály, světlé hnědé okruhy znázorňují hadice a žluté okruhy jsou přepážky.



Obr. 92 Temperační systém (1.varianta)

nahoře – pravá strana formy, dole – levá strana formy



Obr. 93 Temperační systém (2.varianta)

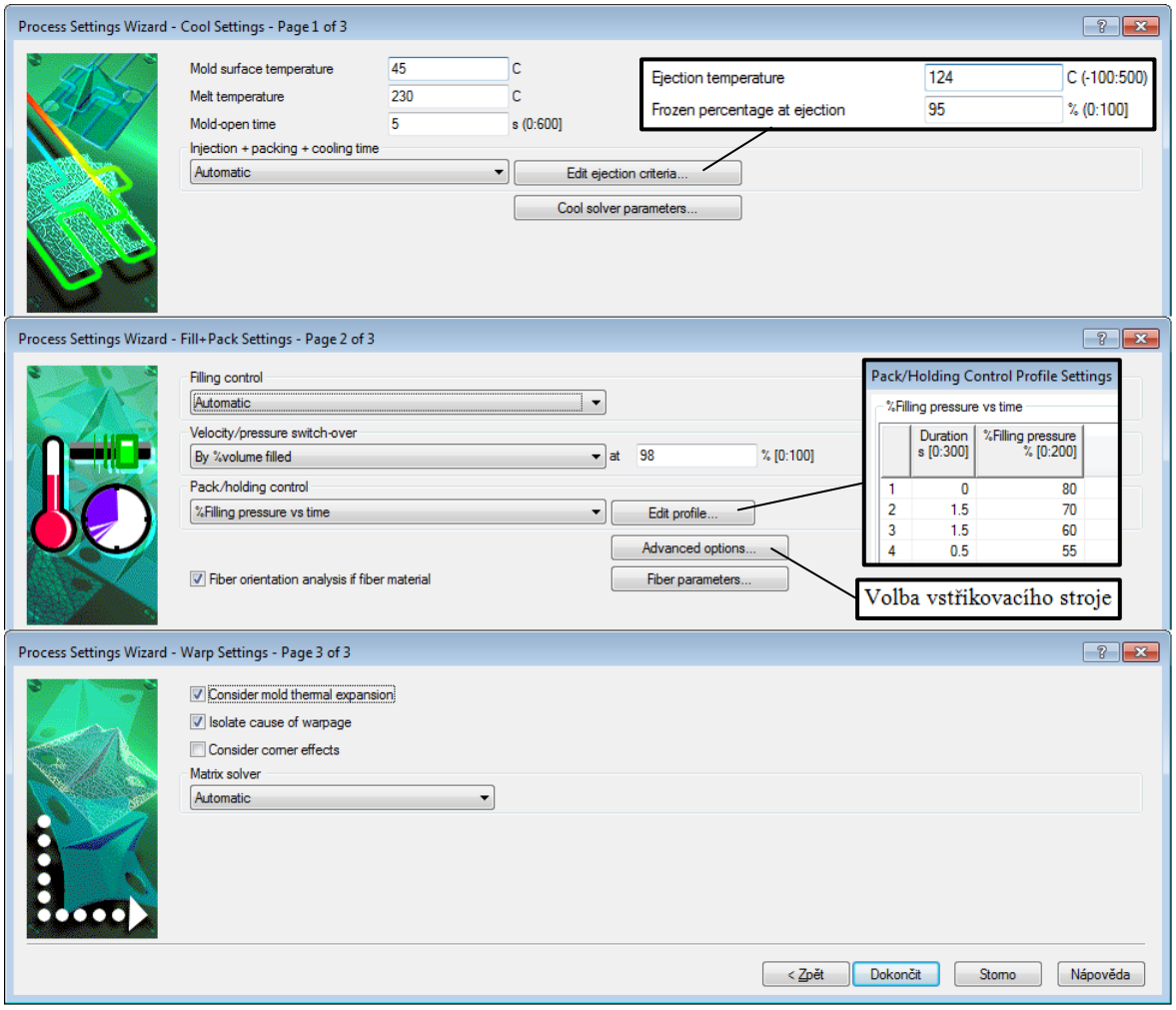
nahoře – pravá strana formy, dole – levá strana formy

13.4.1 Temperační médium

Temperačním systémem proudí temperační médium. Temperačním médiem byl zvolen etylen glykol s vodou v poměru 20:80. Temperační médium má na vstupu teplotu 40°C a průtok 10 l/min.

13.5 Procesní podmínky

Před spuštěním analýzy je nutno nastavit procesní podmínky včetně zvolení vhodného vstřikovacího stroje. Kompletní nastavení procesních podmínek je zobrazeno na Obr. 94.



Obr. 94 Procesní podmínky

13.5.1 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroj byl zvolen podle tří základních kritérií:

- Maximální vstřikovací objem stroje
- Uzavírací síla stroje
- Vzdálenost mezi vodícími sloupy

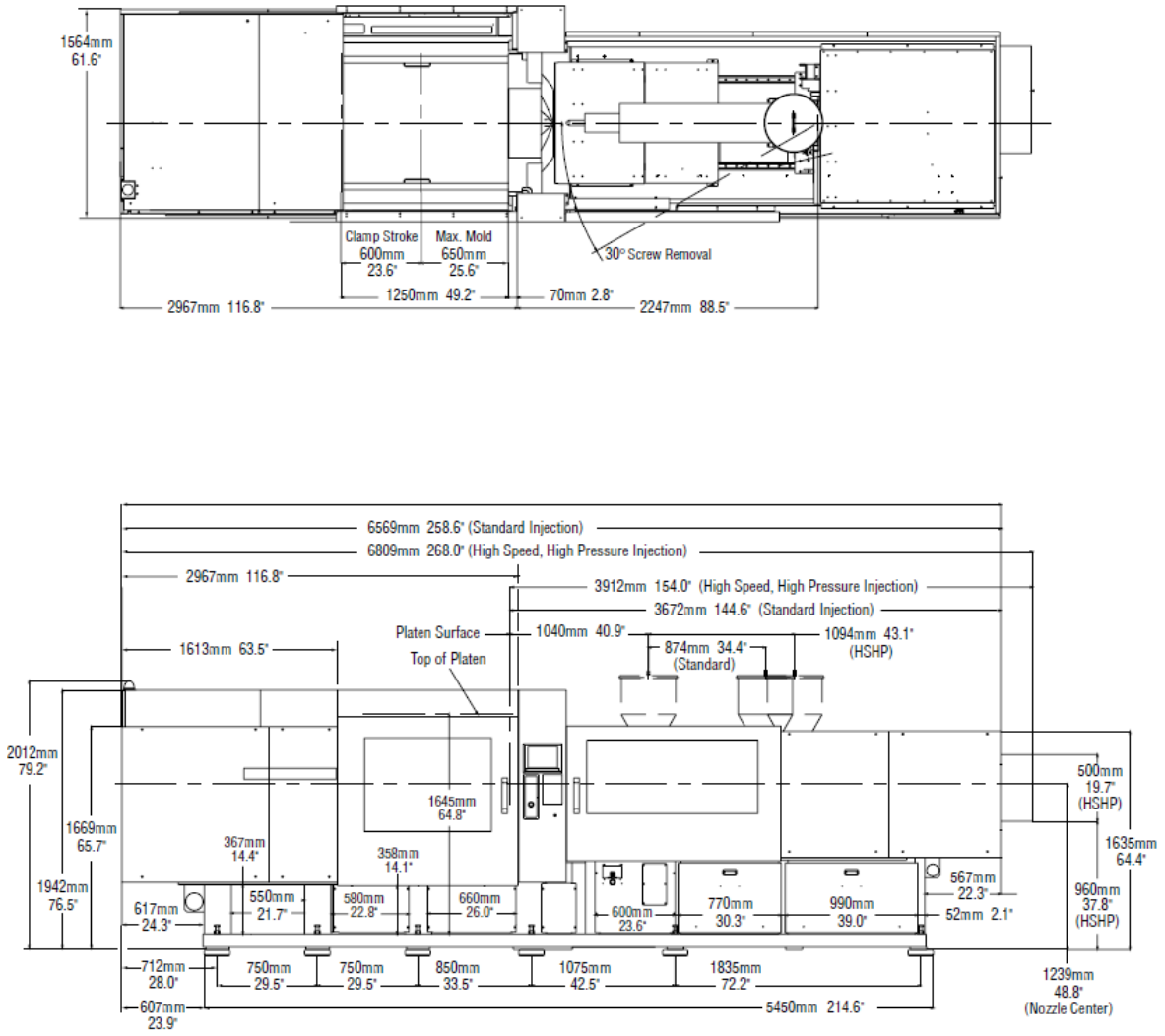
Zvolený vstřikovací stroj je Roboshot 330i od firmy Milacron. Jeho uzavírací síla je 330 tun (3300kN), maximální vstřikovací objem 267,6 cm^3 a vzdálenost mezi vodícími sloupy 710x710 mm. Vzhledem k velikosti vstřikovací formy musel být zvolen daný typ stroje, i přestože kapacita plastikační jednotky i uzavírací síla jsou mnohem vyšší, než potřebná hodnota.

Tab. 9 Základní parametry vstřikovacího stroje ROBOSHOT 330i [23]

	Jednotka	Hodnota
Vzdálenost mezi vodícími sloupy	mm	710x710
Rozměr vstřikovací formy	mm	646x596
Kapacita plastikační jednotky	cm^3	267,6
Objem výstřiku	cm^3	54,9
Maximální uzavírací síla stroje	kN	3300
Potřebná uzavírací síla	kN	320,2

Podrobnější parametry vstřikovacího stroje lze najít na internetovém odkazu viz. použitá literatura [23].

Obr. 95 Vstřikovací stroj Roboshot 330i [23]



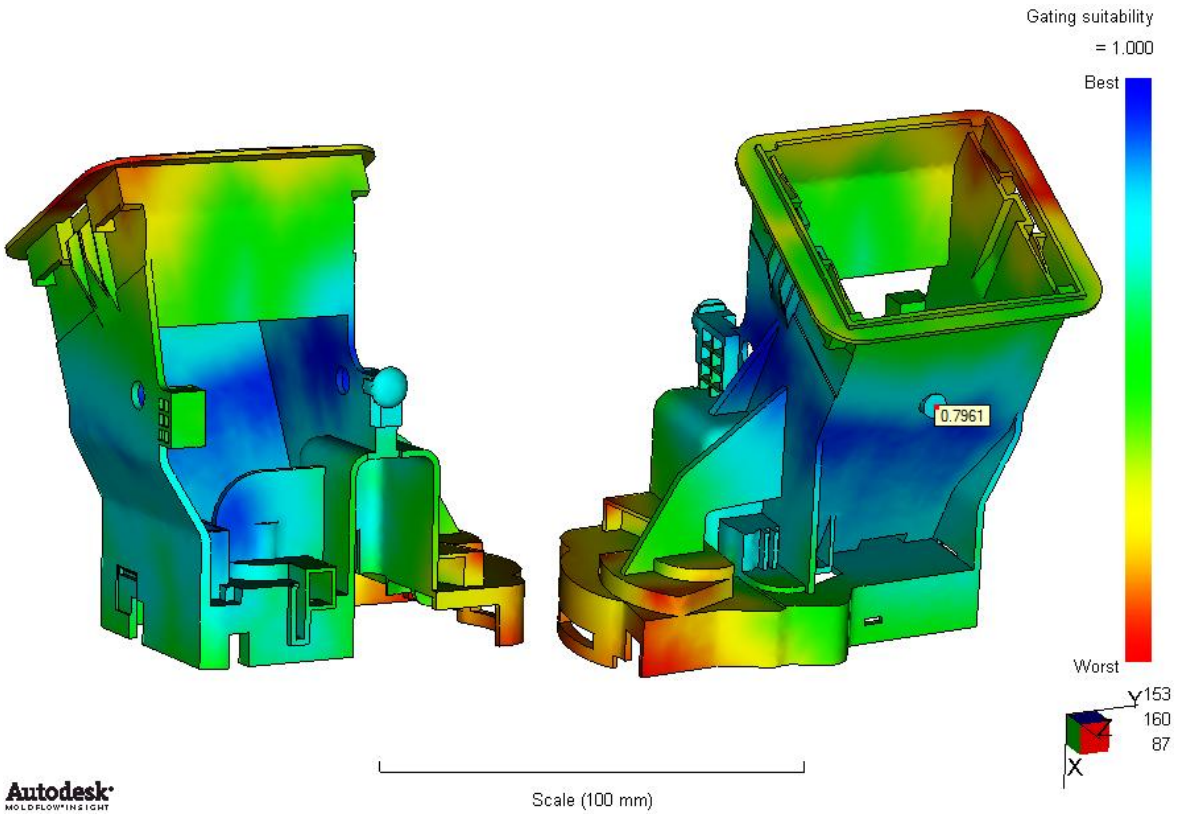
Obr. 96 Schéma vstřikovacího stroje Roboshot 330i [23]

14 VÝSLEDKY TOKOVÝCH ANALÝZ

14.1 Vhodnost umístění vtoku (Gating suitability)

Tato analýza zobrazuje vhodnost umístění vtoku na výrobku. Modrá barva zobrazuje nejvhodnější místo, červené místa jsou nejméně vhodné. Při volbě umístění vtoku se musí brát v úvahu také konstrukce formy, aby bylo možné následně výrobek odformovat.

Vzhledem ke konstrukci výrobku a jeho zaformování bylo zvoleno umístění vtoku uprostřed zešikmené stěny výrobku, na které byl vytvořen malý nálitek z důvodu vyústění horké trysky. Vhodnost umístění vtoku na tomto místě je 79,6 %.



Obr. 97 Vhodnost umístění vtoku

14.2 Čas plnění (Fill time)

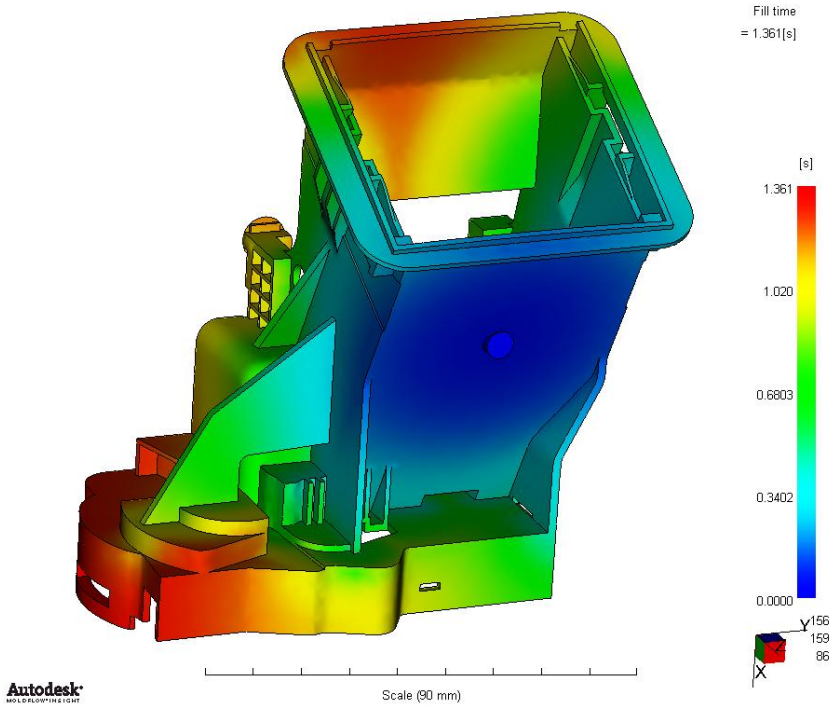
Čas potřebný k vyplnění dutiny taveninou. Na obrázku je zobrazeno, které místo je zaplněné ve kterém čase. Modrá barva zobrazuje místa zaplněná nejdříve, naopak červená místa jsou zaplněna jako poslední.

Obecně platí zásada zaplnit dutinu formy v co nejkratším čase s minimálním odporem. Na druhou stranu příliš vysoká rychlost vstřikování způsobuje namáhání polymeru, což může způsobit vady na výrobku (např. spálená místa, viditelný paprsek taveniny,…). Z tohoto důvodu je nutné zvolit optimální dobu plnění.

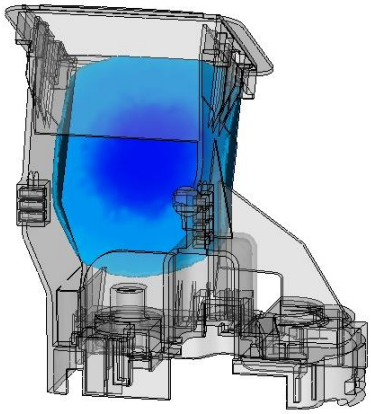
Tab. 10 Čas plnění

Temperace	1.varianta	2.varianta
Čas [s]	1,361	1,335

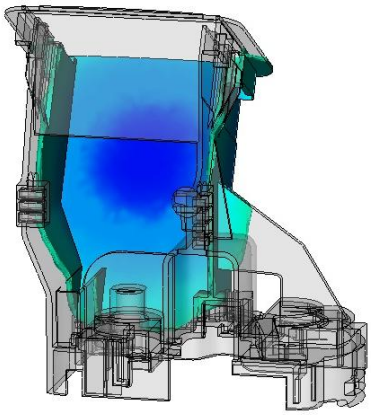
Dutina formy je u první varianty temperace zaplněna za 1,361 s a u druhé varianty temperace za 1,335 s. Obě hodnoty jsou velmi podobné. Účinnější temperace zvyšuje viskozitu polymerní taveniny, čímž dojde ke zhoršení zatékavosti a tím k prodloužení doby plnění. Vzhledem ke krátké době plnění má intenzita temperace minimální vliv.



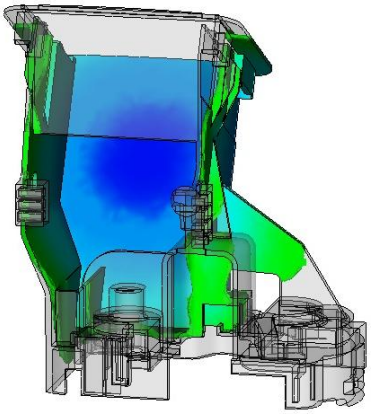
Obr. 98 Čas plnění (1.varianta temperace)



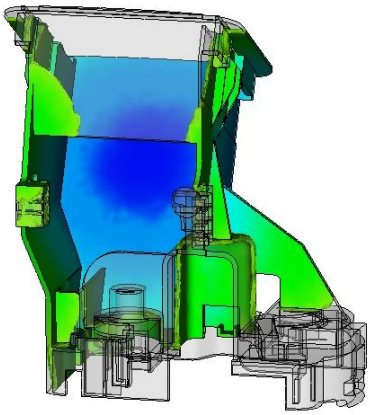
Čas 0,21 s



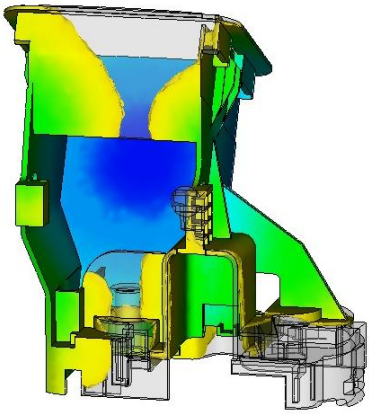
Čas 0,43 s



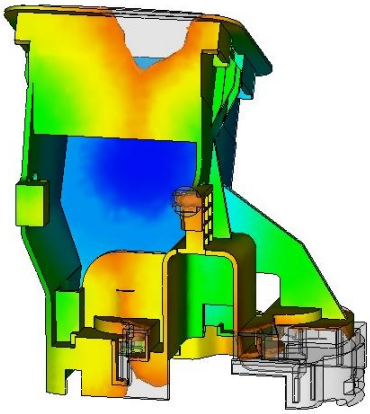
Čas 0,64 s



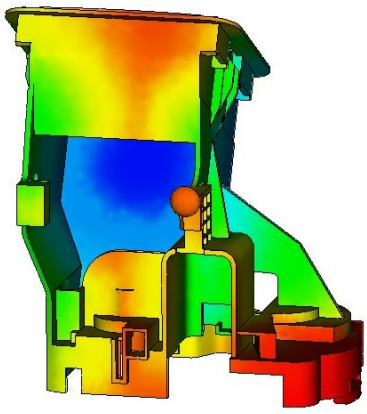
Čas 0,80 s



Čas 1,02 s



Čas 01,13 s



Čas 1,36 s

Obr. 99 3D plnění výstřiku (1.varianta temperace)

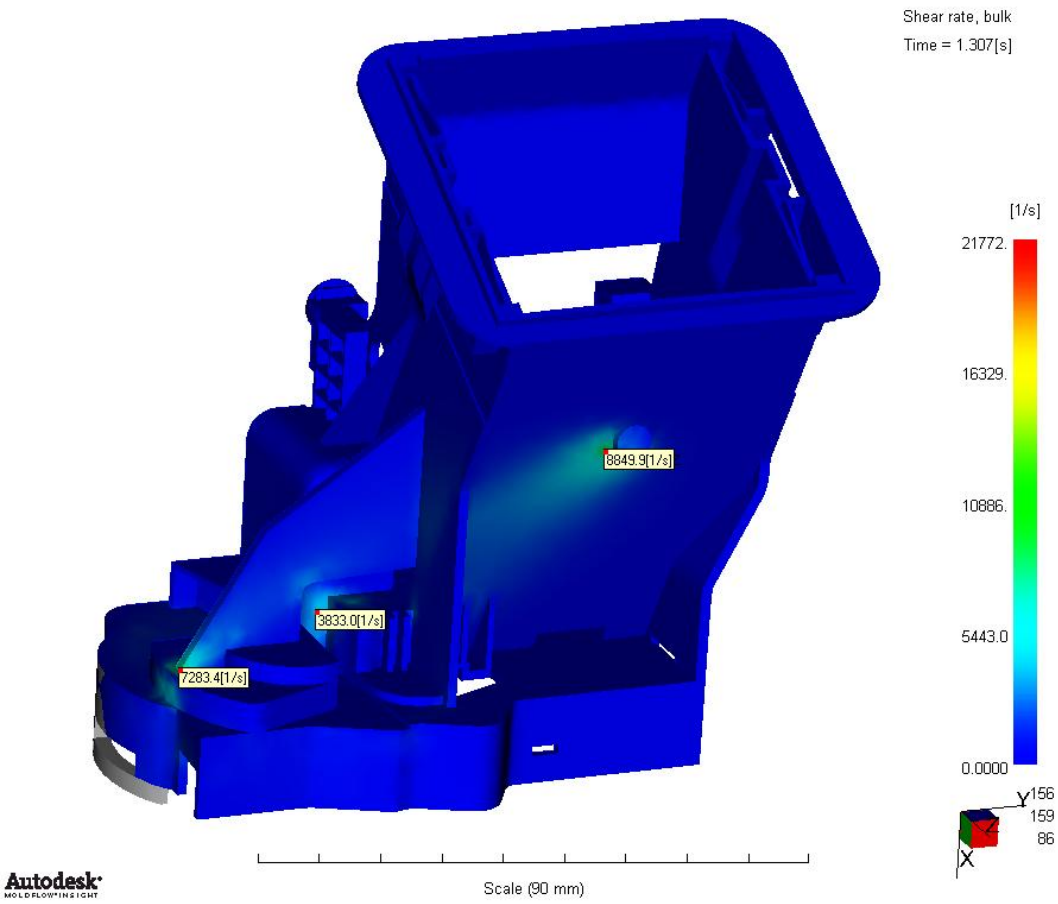
14.3 Smyková rychlost (Shear rate)

Rychlost smykové deformace dosahuje maximální hodnoty 21 772 s^{-1} pro první variantu temperace, a 21 774 s^{-1} pro druhou variantu. Pro zvolený materiál PP Daplen K65G3 Xmod je maximální dovolená hodnota smykové rychlosti 100 000s^{-1}.

Největší pravděpodobnost výskytu míst, kde může dojít k překročení dovolené hodnoty rychlosti smykové deformace je v místech, které mají zmenšený průřez (např. vtoková ústí). V případě, že by došlo k překročení dovolené smykové rychlosti, by bylo potřeba zvětšení průřezu v problémové oblasti nebo snížení vstřikovací rychlosti.

Tab. 11 Smyková rychlost

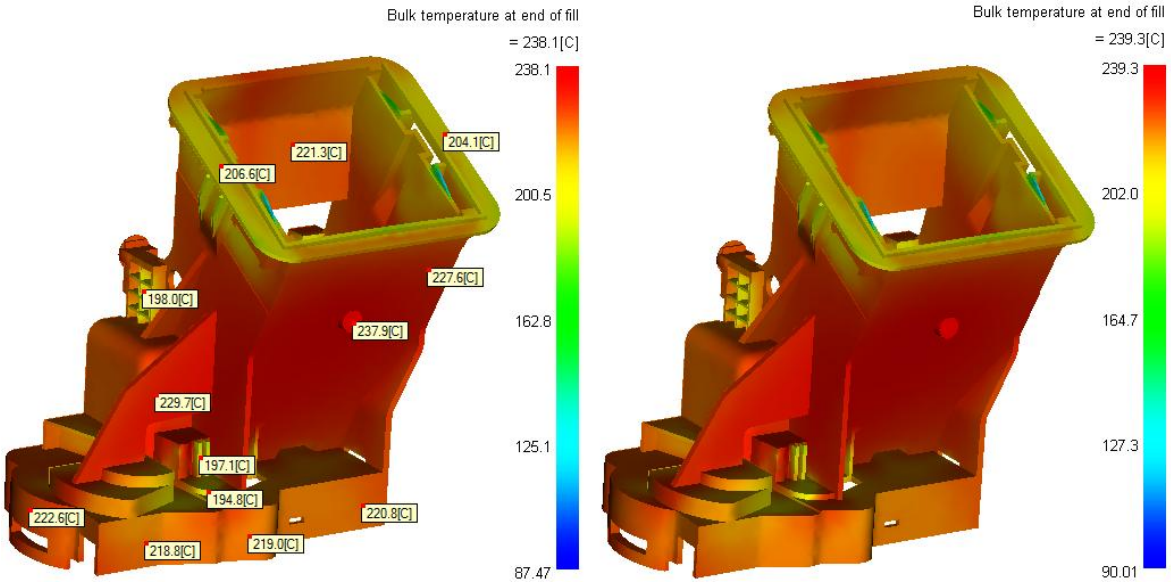
Temperace	1.varianta	2.varianta
Smyková rychlost [s^{-1}]	21 772	21 774



Obr. 100 Smyková rychlost (1.varianta temperace)

14.4 Teplota taveniny na konci fáze plnění (Bulk temperature at end of fill)

Na obrázku je zobrazena teplota taveniny na konci fáze plnění. Podle zpracovatelských podmínek materiálu by měla být teplota taveniny 200-260°C. Teplota taveniny na konci fáze plnění by neměla klesnout výrazně pod 200°C, jinak by došlo k tuhnutí polymerní taveniny a v dané části výstřiku by nebyl možný následný dotlak, který po této fázi následuje. Jak lze vidět z obrázku, teplota na většině části výstřiku je 200-230°C, což je optimální. Teplota taveniny také nesmí výrazně překročit teplotu 260°C, jinak by mohlo dojít k nežádoucím jevům, jako např. spálená místa, stříbrné pruhy nebo propadliny. Teplota dílce tuto hodnotu nepřekračuje, ani se k ní nepřibližuje.

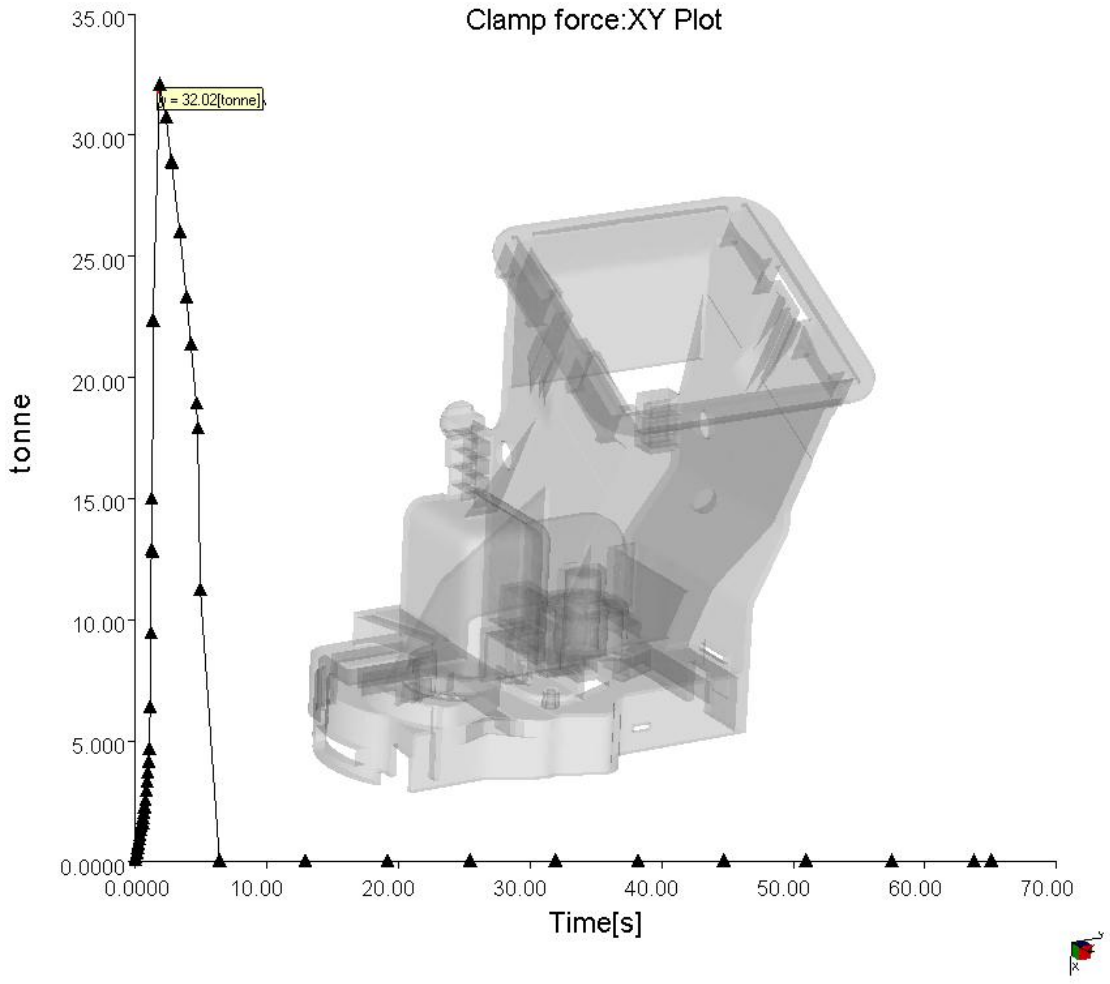


Obr. 101 Teplota taveniny na konci fáze plnění

(vlevo – 1.varianta temperace, vpravo – 2.varianta temperace)

14.5 Uzavírací síla (Clamp force: XY Plot)

Výsledek analýzy zobrazuje průběh uzavírací síly v průběhu celého cyklu. Jak je vidět z grafu, maximální hodnota uzavírací síly dosahuje 32 tun (320 kN). Tato hodnota je velmi důležitá při volbě vstřikovacího stroje, který musí mít dostatečnou uzavírací sílu, nejlépe s 20 % rezervou z důvodu bezpečnosti. V případě nedostatečné uzavírací síly by mohlo dojít při vstříknutí taveniny do dutiny formy k pootevření formy (tzv. dýchnutí) a tím zatečení polymerní taveniny do dělící, čímž vznikne přetok.



Obr. 102 Uzavírací síla (1.varianta chlazení)

14.6 Teplota temperačního média v průběhu kanálů (Circuit coolant temperature)

Tato analýza zobrazuje rozdíl teplot temperačního média na vstupu a na výstupu temperačního systému. Na začátku temperačního kanálu vstupuje médium o určité teplotě, v průběhu kanálu se ohřívá a na konci vystupuje ohřáté o určitou teplotu. V tomto případě, vzhledem k relativně dlouhé délce přívodních kanálů teplota kapaliny poklesne o malou hodnotu, než doteče ke tvarové dutině formy.

Teplotní rozdíl by měl být co nejmenší. Hodnoty jednotlivých okruhů pro první typ temperace jsou uvedeny v Tab. 12, a pro druhý typ temperace v Tab.13.

Tab. 12 Teplota temperačního média v průběhu kanálů (1.varianta temperace)

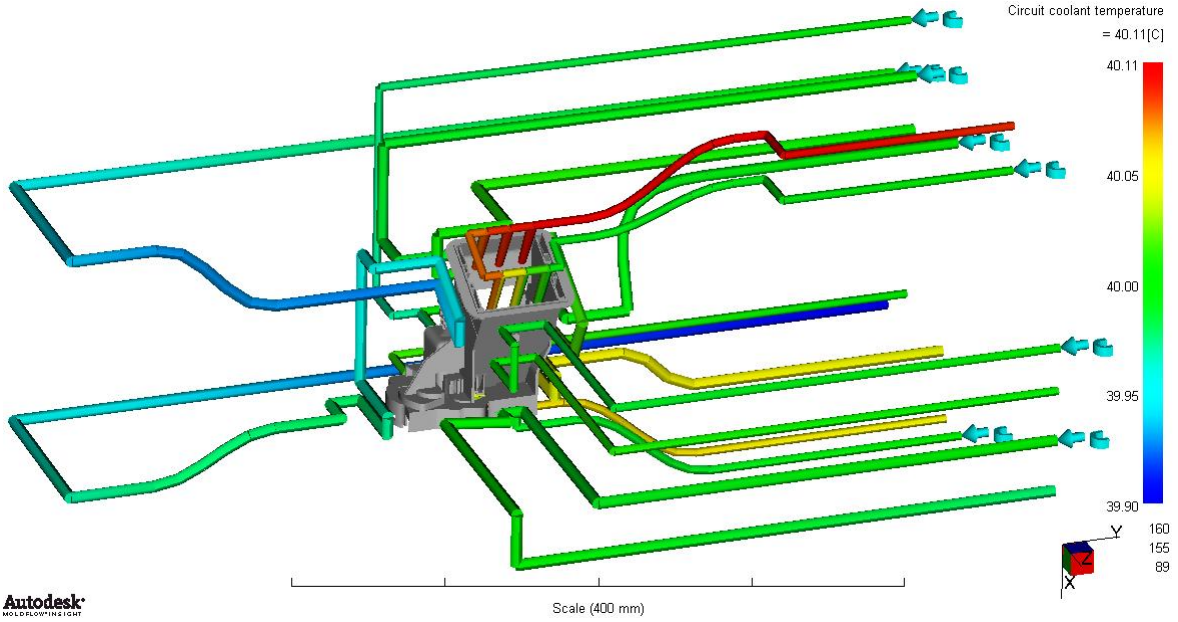
Temperační okruh:	Teplota temperačního média		
	Od	Do	Rozdíl
Pravý (horní)	39,98	40,01	0,03
Pravý (spodní)	39,98	40,01	0,03
Levý (horní)	39,99	40,01	0,02
Levý (spodní)	39,97	40,02	0,05
Přední	39,90	40,00	0,1
Zadní	39,99	40,05	0,06
Spodní	39,99	40,06	0,07
Horní	39,99	40,11	0,12

Největší rozdíl teplot mezi vstupem a výstupem kapaliny vykazuje horní temperační okruh, a to 0,12°C, což je zanedbatelná hodnota a z tohoto hlediska je temperační systém navržen správně.

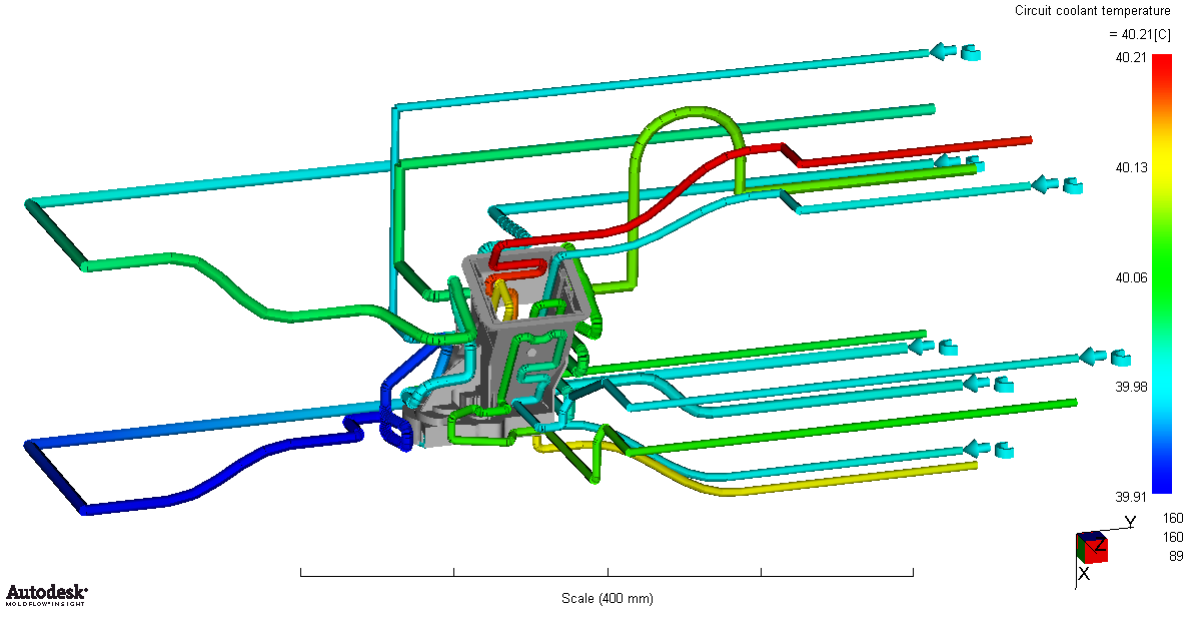
Tab. 13 Teplota temperačního média v průběhu kanálů (2.varianta temperace)

Temperační okruh:	Teplota temperačního média		
	Od	Do	Rozdíl
Pravý	39,98	40,09	0,11
Levý (horní)	39,99	40,03	0,04
Levý (spodní)	39,97	40,05	0,08
Přední	39,91	40,03	0,12
Zadní	39,99	40,09	0,1
Spodní	39,99	40,13	0,14
Horní	39,99	40,21	0,22

U druhé varianty temperace vykazuje největší rozdíl teplot taktéž horní temperační okruh. Jak lze vidět z Tab.12 a Tab.13, u druhé varianty temperace jsou všechny kanály více ohřívány, a odvádí tedy více tepla. Největší rozdíl teplot mezi vstupem a výstupem kapaliny činí 0,22°C, což je velmi přijatelná hodnota a temperační okruh je z tohoto hlediska navržen správně.



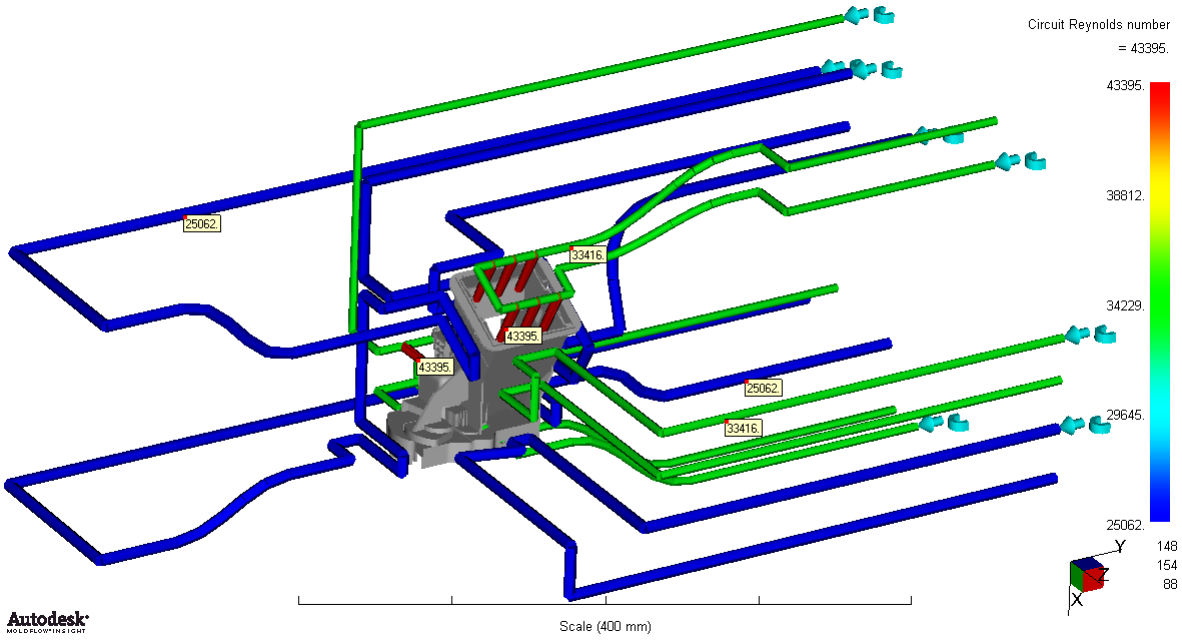
Obr. 103 Teplota temperačního média v průběhu kanálů (1.varianta temperace)



Obr. 104 Teplota temperačního média v průběhu kanálů (2.varianta temperace)

14.7 Hodnota Reynoldsova čísla (Circuit Reynolds number)

Výsledek zobrazuje hodnotu Reynoldsova čísla v jednotlivých temperačních okruzích, která charakterizuje typ proudění. Nejvyšší intenzity chlazení se dosáhne turbulentním prouděním kapaliny. Turbulentní proudění vzniká při hodnotě Reynoldsova čísla Re≥10 000. Zvyšováním hodnoty Reynoldsova čísla v oblasti turbulentního proudění se zvýší intenzita chlazení jen nepatrně.

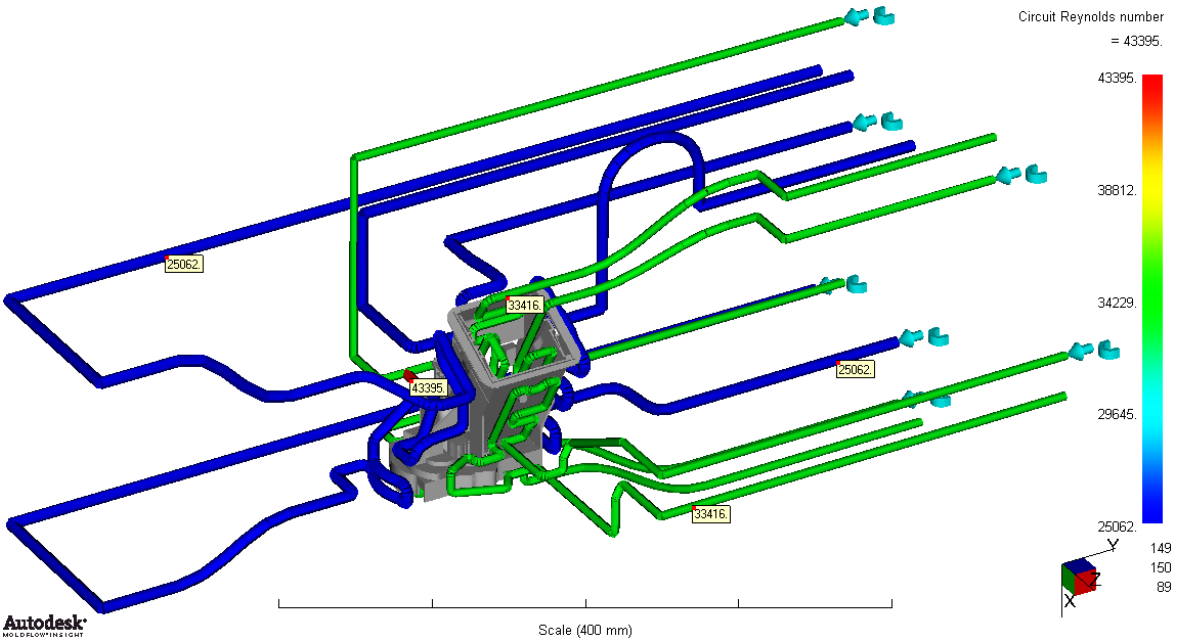


Obr. 105 Hodnota Reynoldsova čísla (1.varianta temperace)

Hodnota Reynoldsova čísla je pro první variantu temperace 25 062 – 43 395, čímž bylo dosaženo turbulentního proudění kapaliny v kanálech. Z obrázku je vidět, že při konstantním průměru kanálu zůstává i hodnota Reynoldsova čísla stejná po celé délce kanálu. Kanály průměru 8mm mají hodnotu Re=25 062, kanály průměru 6 mm mají Re=33 416 a v přepážkách, kde dochází ke zmenšení průřezu, dosahuje Re nejvyšší hodnoty 43 395.

U druhé varianty temperace je hodnota Reynoldsova čísla úplně stejná jako u první varianty, a to z toho důvodu, že průměry příslušných kanálů jsou stejné. Vstupní parametry temperační kapaliny (průtok a teplota) zůstaly také stejné.

Pro zvýšení Reynoldsova čísla by bylo potřeba zvýšit průtok kapaliny na vstupu nebo zmenšit průřez kanálu.



Obr. 106 Hodnota Reynoldsova čísla (2.varianta temperace)

14.8 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature, part)

V ideálním případě by měl být čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty ve všech místech výrobku stejný. Jak je vidět na obrázku (Obr. 105), velká část výrobku je ochlazena přibližně ve stejném čase. Místa označené modrou barvou jsou ochlazeny nejdříve, naopak červená místa jsou ochlazeny jako poslední. V červených oblastech, tedy v místech ochlazených jako poslední, by bylo vhodné zvětšit intenzitu chlazení, případně zmenšit tloušťku stěny v problémovém místě, pokud to konstrukce výrobku dovolí. Tím by se dosáhlo zkrácení celkového času potřebného k dosažení vyhazovací výrobku.

Analýza ukazuje čas, kdy je na vyhazovací teplotu ochlazena poslední část výrobku. V praxi se muže tedy výrobek vyhodit i dříve, záleží na množství zatuhlých vrstev při vyhození výrobku. Především musí být dodrženo, aby místa, na které působí vyhazovače, byla dostatečně ochlazena.

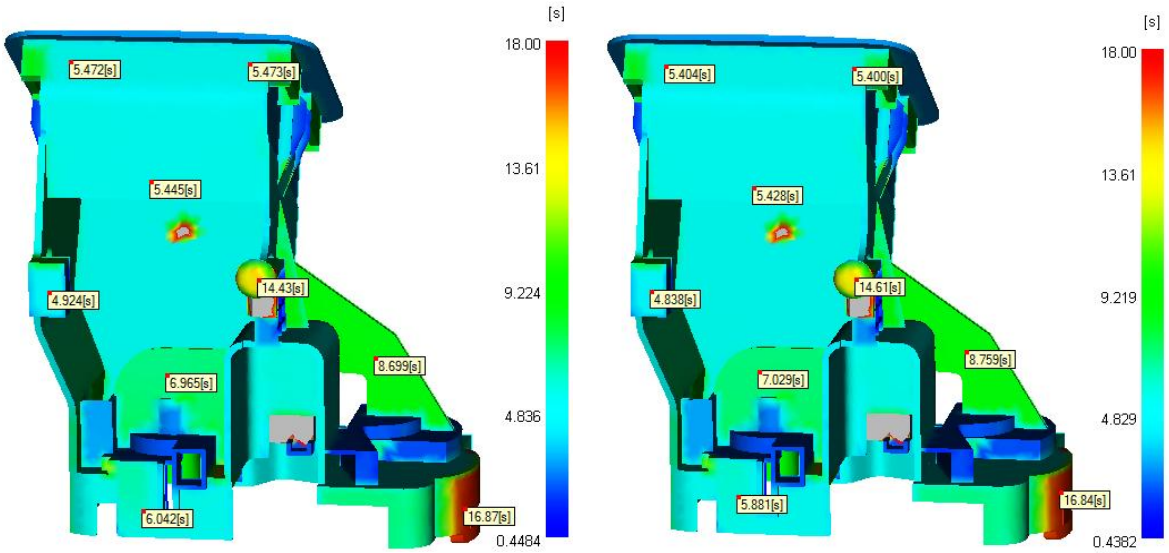
Poslední ochlazená místa u první varianty temperace jsou v čase 42,82 s, u druhé varianty temperace je to v čase 42,12 s.

Tab. 14 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty

Temperace	1.varianta	2.varianta
Čas [s]	42,82	42,12

Obr. 107 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty (1.varianta temperace)

Na obrázku (Obr. 106) je nastaven stejný čas pro obě varianty temperace. Jak je vidět z daného obrázku, veškerá většina výrobku je ochlazena na vyhazovací teplotu již při 18 s. Ostatní místa, která nejsou na obrázku vybarvena (šedá místa) můžou být dochlazeny mimo formu.



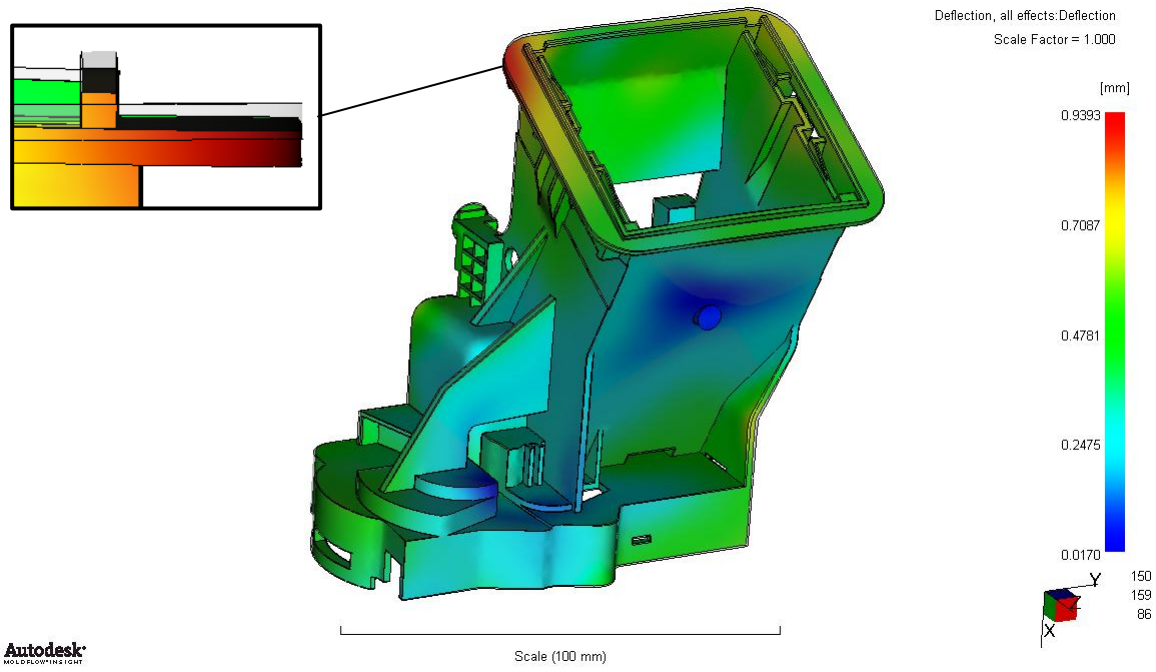
Obr. 108 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty
(vlevo – 1.varianta temperace, vpravo – 2.varianta temperace)

Vzhledem k tomu, že u obou typů temperace vyšel čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty výrobku přibližně stejný, jsme došli k tomu, že použití druhého typu temperace, tedy temperace vytvořené nekonvenční technologií, by bylo ekonomicky nevýhodné. Z tohoto důvodu se jeví vhodnější první typ temperace vytvořený konvenčním způsobem obrábění.

14.9 Deformace výstřiku od všech působících vlivů (Deflection, all effects: Deflection)

Deformace výstřiku od všech působících vlivů je zobrazena na Obr. 108. Maximální hodnota deformace výstřiku je 0,94 mm a na výrobku je označena červenou barvou.

Největší vliv na celkovou deformaci výstřiku má vliv smrštění a orientace plniv. Naopak deformace vlivem účinků temperace má na celkovou deformaci výstřiku vliv minimální. Konkrétní hodnoty jednotlivých deformací, které ovlivňují celkovou deformaci výstřiku jsou uvedeny v Tab.15. Nesmí se zapomenout na to, že před konstrukcí vstřikovací formy byla dutina zvětšena o hodnotu smrštění vstřikovaného termoplastu, které tuto celkovou deformaci kompenzuje, takže výsledná hodnota celkové deformace bude ve skutečnosti menší.



Obr. 109 Deformace výstřiku od všech působících vlivů (1.varianta temperace)

Tab. 15 Deformace výstřiku

Temperace	1.varianta	2.varianta
Deformace vlivem účinků temperace [mm]	0,0196	0,0255
Deformace způsobená vlivem smrštění [mm]	0,7047	0,7065
Deformace způsobená orientací plniv [mm]	0,6509	0,6439
Deformace výstřiku od všech působících vlivů [mm]	0,9393	0,9389

15 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Prvním úkolem bylo vymodelovat 3D model zadaného plastového dílce, kterým je těleso bočního ofukovače do osobního automobilu. Poté byla provedena předběžná analýza pro zjištění vhodnosti umístění vtoku na výrobku, na kterém závisí způsob zaformování. Před konstrukcí vstřikovací formy bylo nutné zvolit vhodný materiál vstřikovaného dílce, kvůli hodnotě smrštění, o kterou bude dutina vstřikovací formy zvětšena.

Největším problémem při návrhu této formy bylo určit vhodné zaformování výrobku. Jeho tvarová složitost si vyžádala celkem devět dělících rovin. Dutina vstřikovací formy je složena celkem z devíti tvarových částí. Dvě pevné tvarové části, které jsou umístěné v pravé a levé tvarové desce. Zbylých sedm tvarových částí jsou pohyblivé. Pohyb tří tvarových částí je zajištěn pomocí šikmých čepů vlivem otevírání (zavírání) formy, další dvě tvarové části jsou ovládány dvěma hydraulickými válci a pohyb posledních dvou tvarových částí je řešen pomocí lomených kolíků vlivem otevírání (zavírání) formy.

Pro zaplnění dutiny vstřikovací formy taveninou byl zvolen horký vtokový systém, který má tu výhodu, že po zaplnění dutiny formy zůstává polymer po celé délce vtokového systému stále taveninou a nevzniká tak žádný odpad ve formě vtokových zbytků. Další výhodou použití horkého vtokového systému je výrazné zlepšení technologických podmínek vstřikování. Naopak nevýhodou je energetická náročnost vstřikovací formy a vyšší pořizovací náklady. Vzhledem k tomu, že se jedná o jednonásobnou formu, je horký vtokový systém tvořen pouze jednou horkou tryskou, a není tak třeba použití horkého rozvodného bloku.

Pro vstřikovací formu byly navrženy dva typy temperace. První temperační systém je tvořen soustavou vrtaných kanálů, které jsou pro správnou funkci utěsněny pomocí uzavíracích zátek a uzavíracích šroubů. Jedná se tedy o temperační systém vyrobený konvenčním způsobem obrábění. Tento temperační systém je tvořen osmi samostatnými okruhy. Druhý temperační systém je vyroben nekonvenčním způsobem obrábění pomocí technologie DMLS (Direct Metal Laser Sintering). Tato technologie je opakem konvenčního způsobu obrábění, při kterém nedochází k odebírání materiálu, ale naopak vytváření materiálu vrstvu po vrstvě. Technologií DMLS lze vyrobit kanály takového tvaru, které konvenčním způsobem (např. vrtáním) vyrobit nelze. Tento temperační systém je tvořen sedmi samostatnými okruhy. V obou případech temperace vstupuje do každého temperačního okruhu temperační médium o teplotě 40°C a průtoku 10 l/min.

Vyhození výstřiku z formy je řešeno jednoduchým vyhazovacím systémem, který je tvořen pěti válcovými vyhazovači o průměru 6 mm. Vyhazovače jsou rozmístěny tak, aby působili rovnoměrně na plochu vyhazovaného dílce. Pohyb celého vyhazovacího systému je uskutečněn hydraulickým systémem vstřikovacího stroje přes táhlo.

Celá vstřikovací forma je opatřena čtyřmi závěsnými šrouby pro manipulaci s ní a pro bezpečné přemísťování je zajištěna pojistným zámkem, aby nedošlo k samovolnému rozevření formy v hlavní dělící rovině.

Navržená vstřikovací forma byla podrobena tokovým analýzám. Nejdříve došlo k nastavení a optimalizování procesních parametrů (teplota taveniny, teplota vstřikovací formy, výše dotlaku, doba působení dotlaku, atd.) včetně vhodné volby vstřikovacího stroje, jehož hlavním omezujícím kritériem byla velikost formy. Podle výsledků analýz dojde k zaplnění dutiny vstřikovací formy za 1,36 s pro první typ temperace a 1,34 s pro druhý typ temperace. Oba výsledky jsou si velmi podobné a tak typ temperace nemá v našem případě výrazný vliv na tuto dobu. Typ temperace výrazně neovlivnil ani dobu potřebnou k dosažení vyhazovací teploty. Obě hodnoty jsou si také velmi blízké, pro první typ temperace je to 42,82 s a pro druhý typ temperace je to 42,12 s. Také hodnoty celkové deformace od všech působících vlivů jsou si velmi blízké, liší se pouze v tisícinách mm, a tak po zaokrouhlení na setiny je tato hodnota pro oba typy temperace 0,94 mm. Z těchto důvodů se pro náš případ použití nekonvenčního způsobu temperace nevyplatí. Z ekonomického hlediska se tedy jeví jako vhodnější řešení konvenční způsob temperace. Další vybrané výsledky analýz jsou popsány a diskutovány v kap.14.

Nakonec byla pro vybraný typ temperace vytvořena 2D sestava celé vstřikovací formy s opozicováním jednotlivých dílů včetně kusovníku.

Konstrukce dílce i vstřikovací formy byla provedena v programu CATIA. Při konstrukci bylo využito normálií HASCO, které byly vkládány z katalogu HASCO DAKO Modul přímo do CATIE. Pro ověření návrhu vstřikovací formy pomocí tokových analýz bylo použito programu Autodesk Moldflow Insight.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout vstřikovací formu pro zadaný plastový dílec, kterým bylo těleso bočního ofukovače do osobního automobilu.

V teoretické části byla popsána technologie vstřikování, která byla zaměřena především na vtokové systémy a temperaci forem. Dále zde byly popsány polymery pro vstřikování, vstřikovací stroje a základní zásady pro konstrukci vstřikovacích forem.

V praktické části byl nejdříve vymodelován 3D model zadaného plastového dílce, pro který byla následně navržena a zkonstruována vstřikovací forma. Je zde popsán celý postup návrhu formy, od způsobu zaformování výstřiku, což bylo nejobtížnější částí celé konstrukce formy, přes volbu vtokového systému, temperačního systému, až po samotné vyhození výstřiku z formy. Pro vstřikovací formu byly navrženy dva typy temperačního systému, první typ vyrobitelný konvenčním způsobem obrábění a druhý typ vyrobitelný nekonvenčním způsobem obrábění. Kompletní návrh vstřikovací formy byl podroben tokovým analýzám. Z výsledků vyplývá, že z ekonomického hlediska je výhodnější použití prvního typu temperace, tedy temperace vyrobitelné konvenčním způsobem obrábění. U vstřikovací formy s prvním typem temperace dojde k zaplnění dutiny za 1,3 s a vyhození výstřiku z formy je možné v čase 18 s. Další vybrané výsledky analýz jsou popsány a diskutovány v kap. 14. Všechny uvedené výsledky analýz jsou závislé na zadaných vstupních parametrech, které jsou uvedeny v kap. 13.3.1 a kap. 13.4. Nakonec byla pro první typ temperace vytvořena 2D sestava celé vstřikovací formy s opozicováním jednotlivých dílů včetně kusovníku.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů: I.díl - Vstřikování termoplastů*. 2.vydání – Brno: Uniplast, 1999. 134s.

[2] LENFELD, P. *Technologie II.-Vstřikování plastů*, Technická univerzita Liberec, Katedra strojírenské technologie. [online]. [2012-01-15]. Dostupná z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm

[3] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů: II.díl - Vstřikování termoplastů*. 1.vydání – Brno: Uniplast, 1999. 214s.

[4] MAŇAS, M.; HELŠTÝN, J. *Výrobní stroje a zařízení: Gumárenské a plastikářské stroje II*. Brno: 1990. 199 s.

[5] ZEMAN, L. *Vstřikování plastů*; 1.české vydání – BEN-technická literatura: Praha, 2009. 248s. ISBN 978-80-7300-250-3

[6] LENFELD, P. *Technologie II.-Vstřikování plastů*, Technická univerzita Liberec, Katedra strojírenské technologie. [online]. [2012-01-15]. Dostupná z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm

[7] *CUSTOMPART.NET* [online]. [2012-01-15]. Dostupné z: http://www.custompartnet.com/wu/InjectionMolding

[8] BRIMUS, J. *Vliv koncentrované energie laserového paprsku na různé polymerní materiály*; Zlín, 2007.180s. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati.

[9] STANĚK, M. *přednášky* T5KF

[10] *JAN KAŠNÍK – DIXI Výroba plastových obalů.* [online]. [2012-02-18]. Dostupné z: http://www.dixi.cz/technologie.html

[11] TOMIS, F., HELŠTÝN, J. *Formy a přípravky*. 2.vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1985. 374 s. ISBN 414-33580

[12] *Odbor technologie tváření kovů a plastů FSI VUT v Brně* [online]. [2012-02-18]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn__tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy__zak.pdf

[13] B.DYM, J. *Injection Molds and molding: a Practical Manual*. 2nd ed. Central and South America: Kluwer Academic Publishers, 2001. 612 p. ISBN 0-442-21785-4.

[14] *HASCO* [online]. [2012-04-18]. Dostupné z: http://www.hasco.com/

[15] *Cecho* [online]. [2012-02-18]. Dostupné z: http://www.cecho.cz/data/vlozky-tunelovych-vtoku.pdf

[16] REES, H. *Mold engineering*. 2nd ed. Munich: Hanser, 2002. 688 p. ISBN 3-446-21659-6

[17] SOVA, M.; KREBS, J. *Termoplasty v praxi* 1.vyd. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. 2 sv. 425 s. ISBN 80-86229-15-7

[18] *SVOBODA* [online]. [2012-04-08]. Dostupné z: http://www.jansvoboda.cz/chladici-systemy

[19] MENGES, G.; MICHAELI, W.; MOHREN,P. *How to Make Injection Molds*. 3nd. ed. Munich: Hanser cincinannti, 2000. 612 p. ISBN 3-446-21256-6.

[20] *BOREALIS* [online]. [2012-04-18]. Dostupné z: http://www.borealisgroup.com/datasheets/10014735

[21] *Autodesk Moldflow Insight* [online]. [2012-05-08]. Dostupné z: usa.autodesk.com/moldflow

[22] *DMLS - Direct Metal Laser Sintering* [online]. [2012-05-06]. Dostupné z: http://www.dmls.cz/

[23] *The Branford GROUP* [online]. [2012-05-06]. Dostupné z: http://www.thebranfordgroup.com/Sales/BETT0909/Roboshot.pdf

[24] *Innomia* [online]. [2012-05-06]. Dostupné z: http://www.innomia.cz/cs/home

[25] *Oddělení povrchového inženýrství* [online]. [2012-01-15], Dostupné z: http://www.ateam.zcu.cz/download/plasty.pdf

[26] *SVOBODA* [online]. [2012-04-08]. Dostupné z: http://www.jansvoboda.cz/files/userfiles/image/jansvoboda/vega/05-V400CL-betaverze-2010.pdf

[27] *iSTROJÍRENSTVÍ.CZ* [online]. [2012-05-10]. Dostupné z: http://www.istrojirenstvi.cz/it/precist.php?nazev=snizovani-vyrobnich-nakladu-pomoci-autodesk-moldflow-analyzy&id=21

[28] *Cecho* [online]. [2012-02-18]. Dostupné z: http://www.cecho.cz/data/katalog-orycon-108-cz.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PP	Polypropylen
PE	Polyetylen
PA	Polyamid
POM	Polyoxymetylen
PBT	Polybutylentereftalát
PS	Polystyren
ABS	Akrylonitril-butadien-styren
PMMA	Polymetyl metakrylát
PC	Polykarbonát
PVC	Polyvinylchlorid
SVS	Studený vtokový systém
VVS	Vyhřívaný vtokový systém
T_m	Teplota tání
T_f	Teplota viskózního toku
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAE	Computer Aided Engineering
WIT	Vstřikování plastů s podporou vody
GIT	Vstřikování plastů s podporou plynu
Sn	Cín
Zn	Zinek
Cu	Měď
DMLS	Direct Metal Laser Sintering

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Rozdělení polymerů [25] 13
Obr. 2 Makromolekulární sítě [10] 16
Obr. 3 Postup vstřikování [2] 17
Obr. 4 Vstřikovací stroj [7] 18
Obr. 5 Vstřikovací (plastikační) jednotka [2] 19
Obr. 6 Rozdělení vstřikovacích jednotek [4] 19
Obr. 7 Rozdělení vstřikovacích strojů [4] 20
Obr. 8 Schéma hydraulicko-mechanické uzavírací jednotky [1] 20
Obr. 9 Vstřikovací forma [7] 21
Obr. 10 Průběh smršťování výstřiku [5] 23
Obr. 11 Vliv vybraných procesních parametrů na průběh smrštění [5] 24
Obr. 12 Studený vtokový systém [9] 25
Obr. 13 Vtoková vložka HASCO Z51 [14] 25
Obr. 14 Plný kuželový vtok [1] 26
Obr. 15 Způsob vyhazování vtoku a výrobku u třídeskové formy [1] 27
Obr. 16 Tunelový vtok [9] 27
Obr. 17 Tunelový vtok – oddělení výstřiku od vtokového zbytku [16] 28
Obr. 18 Srpkovitý vtok [9] 28
Obr. 19 Normalizované vložky srpkovitých vtoků [15] 28
Obr. 20 Boční vtok [12] 29
Obr. 21 Filmový vtok [13] 29
Obr. 22 Přehled uvedených vtoků [9] 30
Obr. 23 Vyhřívaný vtokový systém 31
Obr. 24 Vyhřívaný vtokový systém [14] 33
Obr. 25 Různé provedení VVS [14],[28] 34
Obr. 26 Vyhřívaná tryska [17] 35
Obr. 27 Ústí trysky [14] 35
Obr. 28 Tryska s více otvory [14] 36
Obr. 29 Různé typy trysek od výrobce HASCO [14] 36
Obr. 30 Vliv rozmístění temperačních kanálů [17] 38
Obr. 31 Chlazení výstřiku o různé tloušťce stěny [17] 38

*Obr. 32 Vzdálenost temperačních kanálů od dutiny formy pro ocel s E=2,1*10^{5}MPa a vstřikovacím tlakem 100 MPa [12]* 39
Obr. 33 Umístění temperačních kanálů v blízkosti hran tvárníků a tvárnic [17] 39
Obr. 34 Chlazení desky vrtanými kanály [16] 41
Obr. 35 Chlazení spirálou [19] 42
Obr. 36 Chlazení desky při obcházení překážek [16] 42
Obr. 37 Chlazení tvárníků a jader [18],[19] 43
Obr. 38 Vstřikovaný dílec 47
Obr. 39 Model vstřikovaného dílce 47
Obr. 40 Výsledek předběžné analýzy vhodnosti umístění vtoku 49
Obr. 41 Výsledek předběžné analýzy plnění 49
Obr. 42 Řez vstřikovací formou 50
Obr. 43 Dělící roviny 51
Obr. 44 Zaformování výstřiku 52
Obr. 45 Pravá tvarová vložka 53
Obr. 46 Levá tvarová vložka 53
Obr. 47 Tvarová vložka 54
Obr. 48 Odformování přední tvarové vložky 54
Obr. 49 Odformování zadní tvarové vložky 55
Obr. 50 Odformování spodní tvarové vložky 55
Obr. 51 Horní posuvná vložka 56
Obr. 52 Odformování horní tvarové vložky 56
Obr. 53 Hydraulický válec VEGA V400CL [26] 57
Obr. 54 Výrobek s vyznačenými místy pro vnitřní tvarové vložky 58
Obr. 55 Odformování klínu a čelistí 58
Obr. 56 Detail odformování klínu a čelistí 59
Obr. 57 Hydraulický válec HASCO Z2301/16x40 [14] 59
Obr. 58 Horký vtokový systém (VVS) 60
Obr. 59 Uložení horké trysky v pravé části formy 60
Obr. 60 Dráhy temperačních kanálů – pravá strana formy 62
Obr. 61 Dráhy temperačních kanálů – levá strana formy 62
Obr. 62 Temperace pravé tvarové vložky 63
Obr. 63 Temperace levé tvarové vložky 63

Obr. 64 Temperace přední tvarové vložky 64
Obr. 65 Temperace zadní tvarové vložky 65
Obr. 66 Temperace spodní tvarové vložky 65
Obr. 67 Temperace spodní tvarové vložky – temperační vložka 66
Obr. 68 Temperace horní tvarové vložky 66
Obr. 69 Schéma technologie DMLS [24] 69
Obr. 70 Dráhy temperačních kanálů – pravá strana formy 69
Obr. 71 Dráhy temperačních kanálů – levá strana formy 70
Obr. 72 Temperace pravé tvarové vložky 70
Obr. 73 Temperace levé tvarové vložky 71
Obr. 74 Temperace přední tvarové vložky 71
Obr. 75 Temperace zadní tvarové vložky 72
Obr. 76 Temperace zadní tvarové vložky 72
Obr. 77 Temperace horní tvarové vložky 73
Obr. 78 Vyhazovací systém 74
Obr. 79 Rozmístění vyhazovačů na výstřiku 74
Obr. 80 Závěsný šroub HASCO Z710/20 [14] 75
Obr. 81 Zajištění formy HASCO Z73/20x32x80 [14] 75
Obr. 82 Pravá strana vstřikovací formy 76
Obr. 83 Levá strana vstřikovací formy včetně vyhazovacího systému 76
Obr. 84 Vstřikovací forma 77
Obr. 85 Síťě konečných prvků [27] 78
Obr. 86 Model výrobku v programu Moldflow 79
Obr. 87 Vysíťovaný model výrobku 79
Obr. 88 Mesh Statistics 80
Obr. 89 Aspect Ratio Diagnostic 81
Obr. 90 Maximum aspekt ratio 81
Obr. 91 Vtokový systém 82
Obr. 92 Temperační systém (1.varianta) 83
Obr. 93 Temperační systém (2.varianta) 84
Obr. 94 Procesní podmínky 85
Obr. 95 Vstřikovací stroj Roboshot 330i [23] 86
Obr. 96 Schéma vstřikovacího stroje Roboshot 330i [23] 87

Obr. 97 Vhodnost umístění vtoku 88
Obr. 98 Čas plnění (1.varianta temperace) 89
Obr. 99 3D plnění výstřiku (1.varianta temperace) 90
Obr. 100 Smyková rychlost (1.varianta temperace) 91
Obr. 101 Teplota taveniny na konci fáze plnění 92
Obr. 102 Uzavírací síla (1.varianta chlazení) 93
Obr. 103 Teplota temperačního média v průběhu kanálů (1.varianta temperace) 95
Obr. 104 Teplota temperačního média v průběhu kanálů (2.varianta temperace) 95
Obr. 105 Hodnota Reynoldsova čísla (1.varianta temperace) 96
Obr. 106 Hodnota Reynoldsova čísla (2.varianta temperace) 97
Obr. 107 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty (1.varianta temperace) 98
Obr. 108 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty 98
Obr. 109 Deformace výstřiku od všech působících vlivů (1.varianta temperace) 99

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Rozdělení a definice polymerů [5] 13
Tab. 2 Základní vlastnosti termoplastů 14
Tab. 3 Zpracovatelské teploty základních termoplastů [17] 15
Tab. 4 Vlastnosti kapalin jako temperačních prostředků [3] 40
Tab. 5 Charakteristika výrobku 48
Tab. 6 Charakteristické vlastnosti materiálu (PP Daplen K65G3 Xmod) [20],[21]..... 48
Tab. 7 Technické a provozní údaje hydraulického válce VEGA V400CL [26] 57
Tab. 8 Normálie HASCO použité při konvenčním způsobu temperace [14] 67
Tab. 9 Základní parametry vstřikovacího stroje ROBOSHOT 330i [23] 86
Tab. 10 Čas plnění 89
Tab. 11 Smyková rychlost 91
Tab. 12 Teplota temperačního média v průběhu kanálů (1.varianta temperace)..... 94
Tab. 13 Teplota temperačního média v průběhu kanálů (2.varianta temperace)..... 94
Tab. 14 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty 97
Tab. 15 Deformace výstřiku 100

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: Výkresová dokumentace

PŘÍLOHA P II: DVD disk obsahující:

- diplomovou práci,
- 3D model vstřikovaného dílce,
- 3D sestavu vstřikovací formy,
- 2D sestavu vstřikovací formy včetně kusovníku,
- tokové analýzy.