

Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu poklice automobilu

Bc. David Svozil

Diplomová práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. David Svozil**
Osobní číslo: **T11172**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu poklice automobilu**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Provedte konstrukci 3D modelu vstřikovaného dílu.
3. Navrhněte vstřikovací formu pro zadaný díl.
4. Vhodnost návrhu ověřte pomocí analýz.
5. Nakreslete 2D řez vstřikovací formou včetně příslušných pohledů a kusovníku.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

dle zadání vedoucího DP

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Michal Staněk, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

8. února 2013

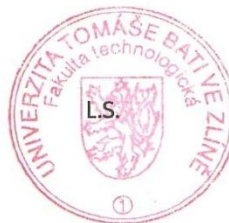
Termín odevzdání diplomové práce:

10. května 2013

Ve Zlíně dne 11. února 2013



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan





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

Příjmení a jméno: ŠVOZIL DAVID

Obor: KTZ

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby 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 10.5.2013

Švozil David

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

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

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

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 obsahuje dvě části; teoretickou a praktickou část. Teoretická část popisuje materiály ke vstřikování, technologii vstřikování, zásady správného návrhu formy, popis vtokových, temperačních a vyhazovacích systémů. V závěru je zkrácený popis o softwaru, ve kterém byla zkonstruována celá vstřikovací forma a provedené analýzy.

V praktické části je za pomoci softwaru CATIA V5 R18 vymodelován 3D dílec a navržena vstřikovací forma. Následně je provedena kontrola vhodnosti návrhu pomocí tokových analýz v softwaru Autodesk Simulation Moldflow Synergy 2013. Posledním úkolem bylo zhotovení výkresové dokumentace a 2D řezu vstřikovací formou s pozicemi a kusovníkem.

Klíčová slova: vstřikovací forma, temperační systém, vyhazovací systém, konstrukce, analýza

ABSTRACT

The thesis contains two parts, theoretical and practical. The theoretical part describes the materials for injection, technology of injection, the principles of correct mold draft, description of cooling and ejection systems. The end of the theoretical part covers shortened description of software, which has been used for construction of whole injection mold and in which the analyses were carried out.

The practical part contains 3D component made with cooperation of CATIA V5 R18 software and a model of injection mold. Subsequently, a control of suitability of the design by means of inflow analysis was carried out using Autodesk Simulation Moldflow Synergy 2013. The last task was a production of 2D documentation of sectional view of the injection mold with positions and bill of material.

Keywords: injection mold, cooling system, ejection system, design, analysis

Touto cestou bych velice rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D za cenné rady a připomínky při realizaci celé práce. Velice si vážím jeho ochoty, trpělivosti a času, který mi věnoval při konzultacích.

Také bych rád poděkoval všem zaměstnancům Ústavu výrobního inženýrství, kteří mě provázeli po celou dobu mého studia na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně.

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

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 POLYMERNÍ MATERIÁLY	13
1.1 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ.....	13
1.2 TERMOPLASTY	14
1.2.1 Amorfnní termoplasty	14
1.2.2 Semikrystalické termoplasty	15
1.3 REAKTOPLASTY	16
1.4 PŘÍPRAVA MATERIÁLŮ PŘED VSTŘIKOVÁNÍM.....	17
1.4.1 Sušení	17
1.4.2 Barvení plastů.....	18
1.4.3 Recyklace plastů.....	18
1.4.4 Doprava materiálu	18
1.5 VOLBA VHODNÉHO POLYMERNÍHO MATERIÁLU	19
2 VSTŘIKOVÁNÍ	20
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS.....	20
2.2 VZNIKLÉ VADY PŘI VSTŘIKOVÁNÍ.....	22
2.3 VSTŘIKOVACÍ STROJ	24
2.3.1 Vstřikovací jednotka	25
2.3.2 Uzavírací jednotky	27
2.3.3 Řízení a ovládání.....	29
2.4 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE.....	30
3 VSTŘIKOVACÍ FORMY	31
3.1 NÁSOBNOST FORMY	33
3.2 ROZMĚRY DUTINY FORMY	33
3.3 ZAFORMOVÁNÍ VÝSTŘIKU.....	34
3.4 VTOKOVÝ SYSTÉM.....	34
3.4.1 Studený vtokový systém (SVS).....	35
3.4.2 Horký vtokový systém (VVS).....	40
3.5 TEMPERAČNÍ SYSTÉM	42
3.5.1 Temperační prostředky.....	44
3.5.2 Obecné zásady volby temperačních kanálů.....	45
3.6 VYHAZOVACÍ SYSTÉM	45
3.6.1 Mechanické vyhazování	46
3.6.2 Pneumatické vyhazování	47
3.6.3 Hydraulické vyhazování	47

4	KONSTRUKCE VÝSTŘIKU.....	48
4.1	TLOUŠŤKA STĚN	48
4.2	ZAOBLENÍ HRAN	49
4.3	ÚKOSY A PODKOSY.....	49
4.4	ŽEBRA A VÝZTUHY	49
5	POUŽITÝ SOFTWARE	50
5.1	CATIA V5R18	50
5.2	WORLDCAT-CIF.....	50
5.3	AUTODESK SIMULATION MOLDFLOW INSIGHT 2013.....	50
II	PRAKTICKÁ ČÁST	51
6	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	52
7	VSTŘIKOVANÝ DÍL.....	53
7.1	MATERIÁL VSTŘIKOVANÉ POKLICE.....	54
8	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	56
8.1	ZJIŠTĚNÍ NEJVHODNĚJŠÍHO UMÍSTĚNÍ VTOKU.....	56
8.2	VSTŘIKOVACÍ FORMA	57
8.3	ZAFORMOVÁNÍ A ODFORMOVÁNÍ DÍLCE.....	58
8.3.1	Výpočet délky šikmých kolíků	62
8.4	PRINCIP ODFORMOVÁNÍ	63
8.5	VTOKOVÝ SYSTÉM.....	64
8.6	TEMPERAČNÍ SYSTÉM	65
8.6.1	Temperace pravé strany.....	65
8.6.2	Temperace levé strany	66
8.7	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	69
8.8	MANIPULAČNÍ PRVKY FORMY.....	70

9	TOKOVÉ ANALÝZY.....	72
9.1	DÍLEC NA ANALÝZU.....	72
9.2	NADEFINOVÁNÍ VTOKOVÉHO SYSTÉMU	75
9.3	NADEFINOVÁNÍ TEMPERAČNÍHO SYSTÉMU	76
9.4	PROCESNÍ PODMÍNKY	78
9.5	ANALÝZA PLNĚNÍ	79
9.6	PŘEPNUTÍ NA DOTLAK	80
9.7	VZDUCHOVÉ KAPSY.....	81
9.8	RYCHLOST SMYKOVÉ DEFORMACE	82
9.9	TEPLOTA TAVENINY	83
9.10	STUDENÉ SPOJE	84
9.11	TEPLOTA V TEMPERAČNÍCH KANÁLECH.....	85
9.12	ČAS POTŘEBNÝ PRO VYHOZENÍ.....	86
9.13	CELKOVÁ DEFORMACE	87
9.14	TLAK V PRŮBĚHU VSTŘIKOVÁNÍ.....	89
9.15	UZAVÍRACÍ SÍLA	90
9.16	VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	91
	DISKUZE VÝSLEDKŮ	92
	ZÁVĚR	95
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	96
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	98
	SEZNAM OBRÁZKŮ	99
	SEZNAM TABULEK.....	102
	SEZNAM PŘÍLOH.....	103

ÚVOD

V současnosti plastové materiály nahrazují ve značné míře materiály, které jsou ekonomicky náročné, mají horší vlastnosti. Jejich výhodou je, že se vyznačují dobrou pevností, jsou tvarovatelné, mají malou hustotu, jsou dobrými izolátory elektrického proudu a tepla. Také dobře odolávají chemikáliím a na vzduchu jsou stálé.

Každým rokem roste podíl plastových součástí v průmyslu, asi největší zastoupení je v automobilovém průmyslu, dále také v potravinářství, textilním odvětví atd.

Požadavky uživatelů u automobilů se neustále mění směrem k vyšší bezpečnosti, lepšímu vzhledu, hospodárnějšímu provozu. Polymerní materiály se objevovaly v automobilech hned po jejím uvedení na trh. Z různých plastů jsou nejvíce zastoupeny typy jako PP (35%), PA (14%), PE (10%) a polymer ABS (7%).

K požadovaným tvarům se plasty zpracovávají různými technologiemi (vstřikování, vyfukování, vytlačování apod.). Vstřikování je technologie, u které dochází k výrobě součástí velmi složitého tvaru, malých nebo velkých rozměrů. Je to cyklický proces, na kterém se podílí vstřikovací stroj, plastikační jednotka a nástroj (vstřikovací forma). Na trhu je několik celosvětově známých výrobců vstřikovacích strojů, např. ENGEL, ARBURG, DEMAG.

Samotná výroba nástroje tedy vstřikovací formy je poměrně složitá, jak časově, tak finančně, ale i technologicky. Při jejích výrobě se nejedná o sériovou výrobu. Každá vyráběná forma je svým způsobem originál. Ke zkrácení výrobních časů a hlavně snížení ceny, je využíváno pomocných softwarů CAD, CAE, CAM. Za pomoci těchto aplikací je možnost optimalizovat tok polymerní taveniny a udělat větší konstrukční zásah ve formě.

I. TEORETICKÁ ČÁST

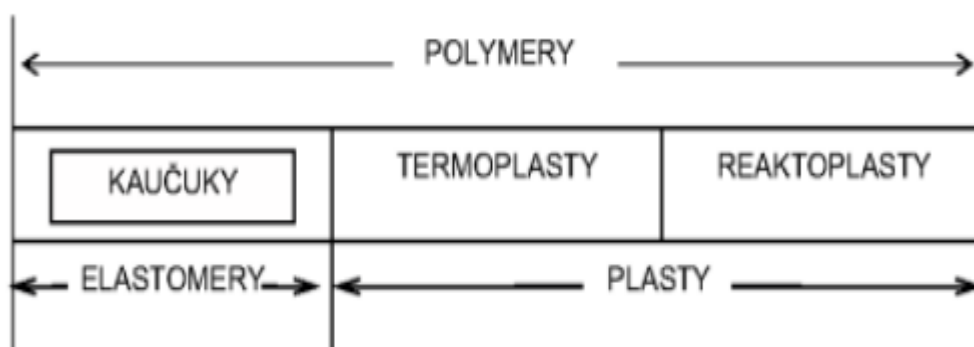
1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Polymerní materiály patří do konstrukčních materiálů s velkým rozsahem použití, která je dána jejich specifickými mechanickými vlastnostmi. Jsou to syntetické makromolekulární látky vznikající spojováním základní jednotky – mer, odvozené od výchozí molekuly - monomer. Jsou to řetězce opakujících se merů, které se mohou dělit na lineární, rozvětvené a síťované. Jejich chemické složení, druh atomů a způsob jejich spojení chemickými vazbami udává finální chemické a fyzikálně-chemické vlastnosti jednotlivých polymerů. Makromolekuly obsahují několik set až tisíc atomů uhlíku, vodíku, kyslíku, často dusíku, chloru i jiných prvků. [1], [2]

1.1 Rozdělení polymerů

Polymerní materiály dělíme:

- termoplasty – amorfní, semikrystalické,
- reaktoplasty – melaminové, epoxidové, polyesterové,
- elastomery – NR, SBR, NBS a další. [2]



Obr. 1. Rozdělení polymerů [1]

Termoplasty, jsou látky opakovaně tavitelné, ve kterých neprobíhá chemická změna složení. Reaktoplasty, jsou skupinou látek opakovaně netavitelných. Důvodem je změna chemického složení a vznik prostorových vazeb, za procesu vytvrzování. Elastomery, látky opakovaně netavitelné, kde za procesu vulkanizace vznikne prostorová síť. [1]

1.2 Termoplasty

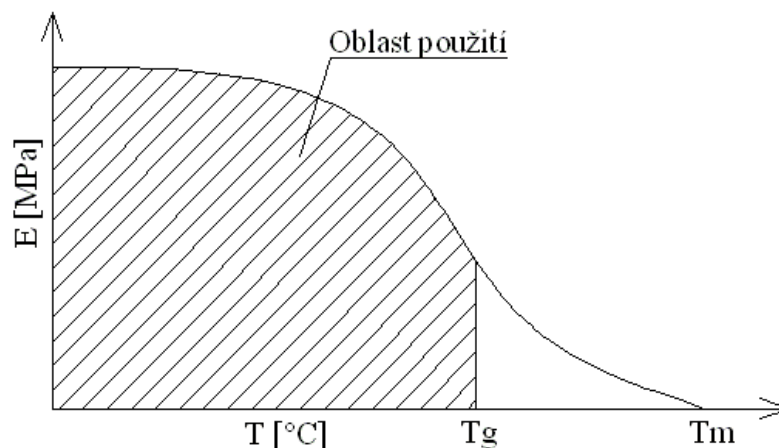
Polymerní látka, které se dodaným teplem dovede do plastického stavu. Po snížení teploty (ochlazení) se plastický stav změní na pevný. Mezi makromolekulami vznikají fyzikální vazby. Jednotlivé řetězce mohou být rozvětvené nebo lineární. Termoplasty jsou amorfní nebo semikrystalické. Z hlediska zpracovatelského se řadí mezi nejvíce zastoupený druh plastů, který se využívá při použití technologie vstřikování. Tvoří kolem 93% objemu používaných materiálů v plastikářském průmyslu. Mezi nejčastější se řadí PE, PP, PVC, PA, PET. [1]

Vyznačují se těmito vlastnostmi:

- významné elektrické (dielektrické) vlastnosti,
- odolnost vůči korozi a chemická odolnost,
- mechanická pevnost při krátkodobé nebo dlouhodobé statické i dynamické zátěži,
- optické vlastnosti,
- reologické vlastnosti při toku,
- výrobní přesnost (vycházející ze smrštění). [5]

1.2.1 Amorfní termoplasty

Jejich řetězce jsou nepravidelně prostorově uspořádány. Jsou charakteristické svou tvrdostí, křehkostí, mají vysokou pevnost, jsou dobře rozpustné v rozpouštědlech, jsou průhledné (transparentní). Patří sem např. PS, ABS, SAN, PMMA, PC. [3]



Obr. 2. Oblast použití amorfních termoplastů [3]

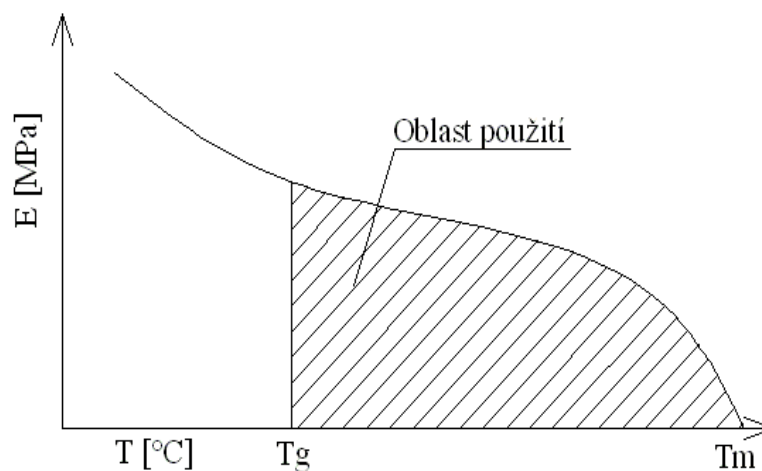
U výrobků z amorfních materiálů je použitelnost pod teplotou skelného přechodu (T_g). Materiál je v tomto stavu pevný a se zvyšující se teplotou nad T_g přechází materiál do plastické oblasti až do viskózního stavu. [3]

Tab. 1. Teploty T_g [3]

Amorfní plasty	T_g [°C]
PS	90-100
ABS	105-115
PMMA	100
PC	144

1.2.2 Semikrystalické termoplasty

Velká část je pravidelně uspořádána, tvoří krystalické části. Zbytek je amorfní. Vyznačují se svojí houževnatostí, pevnost se zvyšuje s rostoucí krystalitu, v organických rozpouštědlech jsou obtížně nebo vůbec rozpustné, jsou mléčné. Mezi nejčastější semikrystalické termoplasty patří např. PE, PP, PBT, PA6. [3]



Obr. 3. Oblast použití semikrystalických termoplastů [3]

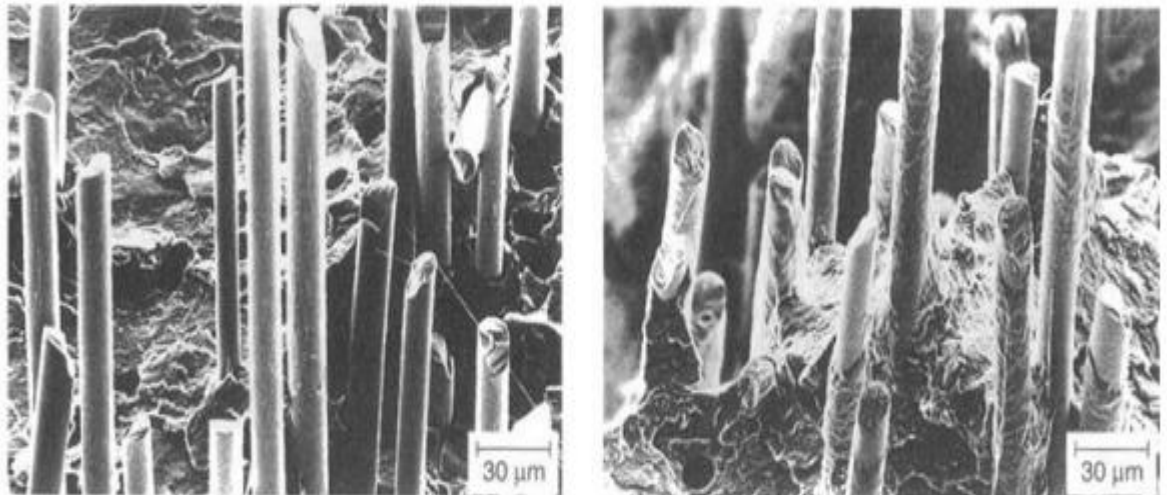
Tab. 2. Teploty T_g [3]

Semikrystalické plasty	T_g [°C]
PE	-80
PP	-20
PBT	60
PA6	45

Využitelnost semikrystalických polymerů je nad teplotou skelného přechodu T_g , jejich výhodou je dobrá pevnost a houževnatost nad teplotou T_g . [3]

1.3 Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou makromolekulární látky, u kterých nastává při zpracování tzv. zesíťování makromolekul – vytvrzení. Zesíťovaný reaktoplast je již netavitelný. Při dosažení a překročení určité teploty uhelnatí. Reaktoplasty se používají taktéž u vstřikování. Vstřikovací reaktoplasty obsahují příslušnou syntetickou pryskyřici a plnivo. Mají výbornou tuhost a tvrdost, teplotní odolnost, tvarovou stálost za tepla, odolnost proti korozi oproti termoplastům. Modul pružnosti není tak závislý na teplotě, takže není tolik závislý na teplotě jako u termoplastů. Mechanické vlastnosti nejsou v rozmezí používaných teplot příliš proměnlivé. Nevýhodou je nepatrná tažnost, tekutost, která závisí na druhu pryskyřice a charakteru plniva. Při zpracování reaktoplastů vstřikováním nastává silná orientace plniva, anizotropie vlastností a vzniká velké vnitřní pnutí, které vzhledem ke křehkosti reaktoplastů může někdy vést až k prasknutí výstřiku. Vstřikovací reaktoplasty jsou většinou ve formě granulátu a výrobní cykly jsou delší. [1]



Obr. 4. Struktura reaktoplastu plněného skelnými vlákny [1]

1.4 Příprava materiálů před vstřikováním

Mezi výhody vstřikování je zahrnuto i to, že je možné vyrobit součást, která už nevyžaduje žádné nebo jenom minimální opracování. Při volbě vhodného termoplastu se musí uvažovat, jakou funkci bude daná součást plnit a proto zvolit materiál s požadovanými vlastnostmi. Nejčastější způsob přípravy je sušení, mísení s přísadkou rozdrčeného odpadu, barvení granulátu s nadouvadlem. Veškeré uvedené způsoby upravují polymerní granulát do takového stavu, aby jeho zpracování bylo bez potíží finální aplikace, vyhověla požadavkům na výrobek. [2]

1.4.1 Sušení

Některé materiály jsou navlhavé a před zpracováním se musí sušit. Zbavit se vlhkosti v materiálu, neboť přítomnost vody se projevuje poklesem mechanických vlastností, zhoršením kvality povrchu.

Materiál může absorbovat vlhkost buď:

- nasákavosti - příjem vlhkosti z kapalné fáze,
- navlhavosti - příjem vlhkosti z plynné fáze.

Materiál může mít tyto vlastnosti v závislosti na vodě:

- hydrofilní - schopnost vázat vodu (PA, PUR),
- hydrofobní - schopnost odpuzovat vodu (PS, PP). [6]

Tab. 3. Teploty sušení [6]

Plast	PS	PP	ABS	PC	PMMA
Teplota sušení [°C]	80	80	80	120 -130	70 - 80
Doba sušení [hod]	3	0,5 - 1	3	4 - 20	2 - 4

Sušení a navlhání jsou vratné děje a vysušený materiál je nutno chránit před vlhkostí, proto do násypky vstřikovacího stroje se může dát takové množství, které se zpracuje do 30 minut. Násypky některých strojů jsou vyhřívány a teplota materiálu se udržuje na potřebné výši proudem teplého vzduchu. [6]

1.4.2 Barvení plastů

Vstříkované výrobky vyžadují určitý jakostní povrch a také požadovaný barevný odstín. Plasty dodávané výrobcí disponují jen určitou řadou barevných odstínů. Samostatné barvení se provádí dávkovacím zařízením na vstříkovacím stroji, nebo se granulát zbarvuje před vstříkáváním. To probíhá tak, že se barvivo ve vytlačovacím stroji smíchá s granulátem, kde se zpracuje do plastu. Barviva do určité míry ovlivňují vlastnosti materiálu i technologické vlastnosti při zpracování. Dalším způsobem jak lze získat potřebné zbarvení výstřiku je tzv. lakování plastů. Jedná se o vytvoření tenkého organického povlaku na povrchu plastových dílů. Nanesená hmota vytváří po zaschnutí pevnou povrchovou vrstvu tzv. film. Nátěr musí plnit dvě základní funkce, a to estetickou a ochranou. Záleží na podmínkách použitelnosti, která funkce bude převládat. [6], [3]

1.4.3 Recyklace plastů

Vadné výrobky, odpady, vtoky vzniklé při vstříkování se mohou několikrát zpracovávat. Neznečištěný plastový odpad se drtí obvykle v nožových mlýnech následně se smíchá s čistým granulátem a opět se zpracuje. Výsledné vlastnosti takto smíchaného polymeru má jsou odlišné od původních vlastností. Dochází ke snížení fyzikálně-mechanických vlastností i povrchového vzhledu. Velikost poklesu závisí na podílu drceného odpadu v původním granulátu. Transparentní a silně namáhané plasty se míchat nemohou. [3]

1.4.4 Doprava materiálu

Doprava materiálu slouží k dodání požadovaných surovin až ke zpracovatelským zařízením. Materiál přichází nejčastěji ve formě granulátu (PE, PP, PS), nebo prášku (plniva, saze, PVC). Manipulace s materiálem je velmi jednoduchá a nemá žádný vliv na kvalitu plastu. Zpracovatelské firmy mají k dispozici zásobníky (sila) až o objemu 20 t. Volba dopravního zařízení závisí na typu materiálu (granule, prášek). U pneumatické dopravy se využívají buď, vakuové nebo tlakové systémy. Vyrůstající spotřeba plastů vede výrobce k dopravě polymerů buď automaticky pro každý stroj zvlášť ze zásobníku u strojů, nebo centrálně k jednotlivým strojům do plnicího zařízení nad násypkou. [6]

1.5 Volba vhodného polymerního materiálu

Při volbě vhodného termoplastu pro vstřikovaný dílec, je třeba uvažovat konkrétní podmínky jejího provozního zatížení i celkové využití. Taková součást musí mít mimo požadovaných fyzikálních a mechanických vlastnosti. Jednotlivé vlastnosti polymerních materiálů jsou obsaženy v materiálových listech (tabulkách, grafech) jsou ovšem pouze střední a průměrné hodnoty získané při optimálních zpracovatelských podmínkách. [3]

Pro zvolení vhodného druhu polymeru se hodnotí:

Funkční hledisko:

- mechanická pevnost,
- elektrická vodivost,
- chemická odolnost,
- optické vlastnosti (průhlednost, barva, lesk).

Zpracovatelské hledisko: [3]

- tekutost, ovlivňuje tloušťku stěny výrobku, koncepci zaformování, velikost vtoku, temperaci formy,
- smrštění: určuje výrobní přesnost výrobku,
- citlivost na procesní podmínky.

Mezi nejčastěji používané termoplasty patří: [3]

- polyolefiny – PE, PP, PB,
- vinilové polymery – PVC,
- styrenové polymery – PS, ABS, SAN,
- polyestery – PET, PC,
- polyamidy – PA,
- akrylové polymery – PMMA.

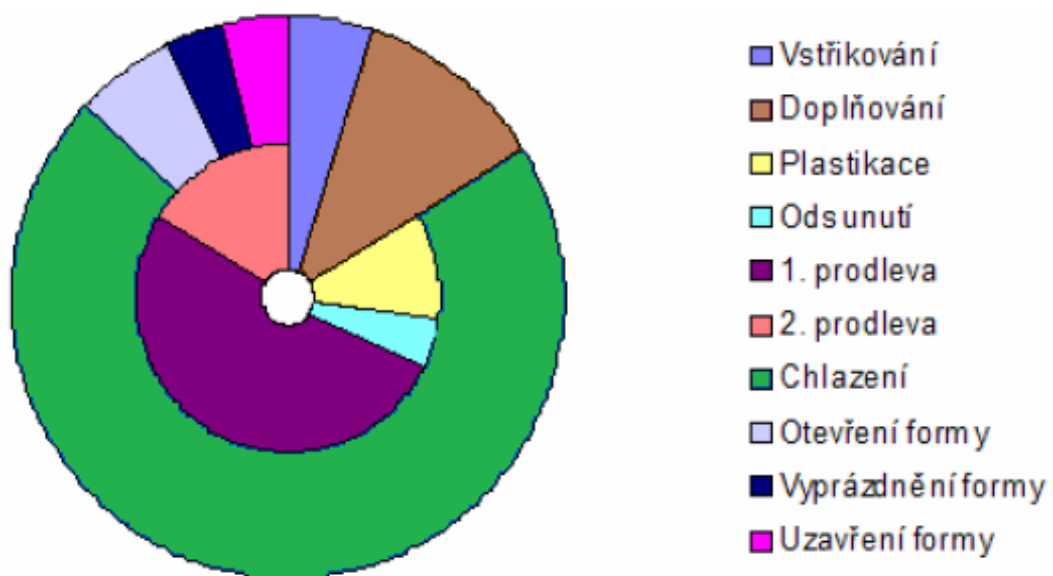
2 VSTŘIKOVÁNÍ

Technologie vstřikování je jedním nejrozšířenějším způsobem výroby plastových výrobků. Vyznačuje se složitým fyzikálním procesem, na kterém se podílí vstřikovací stroj a vstřikovací forma. Vstřikováním se vyrábějí takové výrobky, které mají buď charakter konečného výrobku, a nebo jsou polotovary. Výstřiky se vyznačují velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesností a vysokou reprodukovatelností mechanických a fyzikálních vlastností. Touto technologií lze zpracovat téměř všechny druhy termoplastů a v omezené míře se vstřikují reaktoplasty a kaučuky.

Vstřikování je způsob tváření plastů, při kterém je dávka zpracovaného materiálu z tlakové komory (plastikační jednotky) vstříknuta velkou rychlostí do uzavřené dutiny formy, kde ztuhne ve finální výrobek. Plastikační jednotka je součástí vstřikovacího stroje a polymerní materiál se v ní neustále doplňuje během cyklu. [6]

2.1 Vstřikovací cyklus

Technologie vstřikování je jednou z nejrozšířenějších na zpracování plastů, je to proces diskontinuální, cyklický.

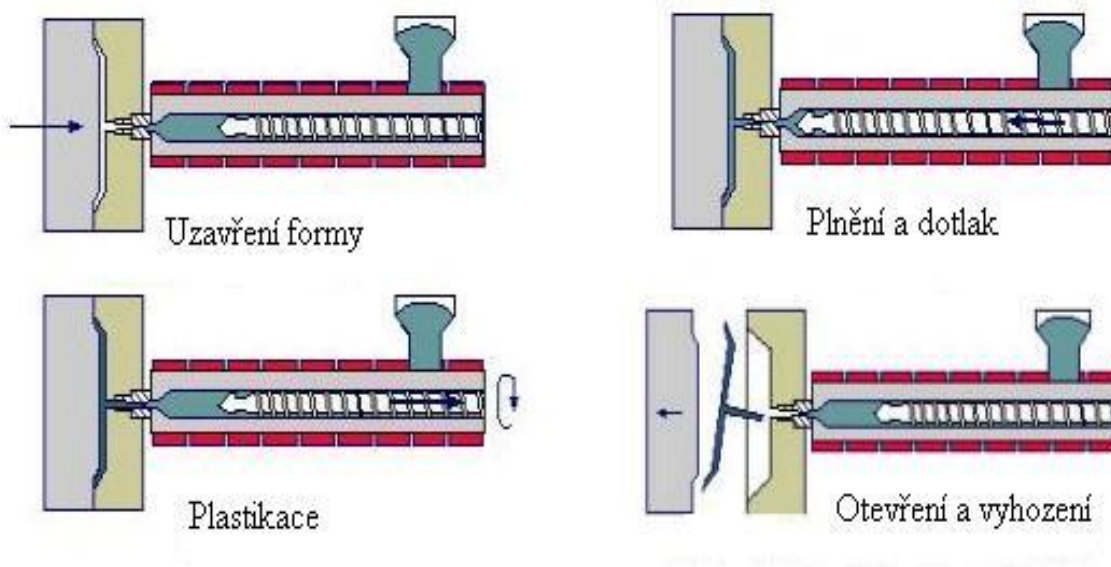


Obr. 5. Vstřikovací cyklus [19]

Vstřikovací cyklus tvoří sled přesně specifikovaných operací. Jde o proces, kdy plastový granulát prochází teplotním cyklem, který ho mění z granulátu na taveninu a následně ztuhlou hmotu. Na počátku cyklu dojde k uzavření vstřikovací formy. Z násypky vstřikovacího stroje se granulát dostává mezi šnek a válcový pracovní prostor, který je vyhříván topnými pásy. Díky vzniklému tření a topení dochází k tání granulátu. Plastikační jednotka je rozdělena do třech částí:

- vstupní část – přísun granulátu z násypky,
- přechodová část – roztavení granulátu,
- výstupní část – přechod z plastikační jednotky do dutiny formy.

Tavenina je vstříknuta do dutiny formy, kterou zcela zaplní a zaujme tvar. Následuje dotlaková fáze pro snížení smrštění a rozměrových změn. Dotlaková fáze nemusí být zařazena do vstřikovacího cyklu. Během plnění dochází předávání tepla vstřikovací formě a ochlazením pomocí temperačního systému ztuhne výstřik. Po dosažení vyhazovací teploty se forma otevře a výrobek je vyhozen a celý cyklus se opakuje. [6]



Obr. 6. Fáze během vstřikování [6]

V průběhu vstřikování se musí zvolit celá řada parametrů:

- velikost a doba působení vstřikovacího tlaku musí umožnit spolehlivé naplnění dutiny formy taveninou,
- chladicí čas je doba, po kterou je tavenina v dutině formy ochlazována bez působení vstřikovacího tlaku. Závisí na teplotě zpracovaného plastu,
- vstřikovací rychlost je ovlivněna vstřikovacím tlakem a časem,
- velikost dávky je zvolena tak, aby došlo k naplnění tvarových dutiny formy i vtokového rozvodu.

Jednotlivé zpracovatelské parametry se při zkušebním provozu nastaví podle materiálem požadovaných hodnot s korekcí a ze zkušeností a s ohledem na tvar výstřiku, formy i celého vstřikovacího cyklu. [6], [3]

2.2 Vzniklé vady při vstřikování

I přes značné znalosti o polymerních materiálech jejich reologických vlastnostech, zvyšující se úrovní vstřikovacích strojů použitím počítačových programů, při návrhu výstřiků nemůžeme vyloučit vady vzniklé během vstřikování a to i přesto, že v současné době jsou k dispozici více kvalitnější simulační programy pro předpověď procesu.

Výroba pomocí technologie vstřikování je velmi složitý proces, na kterém se podílí řada činitelů, ne vždy v optimální míře a v důsledku toho dochází k závadám, které se projevují nejrozličnějším způsobem. Rozumí se tím odlišný vzhled, rozměry a tvar, vlastnosti od předem stanoveného normálu, specifikovaným výkresem. Zdroje vad mohou být ve zpracovávaném plastu, v konstrukci výrobku nebo formy, apod. Vady můžeme rozdělit na zjevné nebo skryté.

Zjevné vady jsou ty, které lze zjistit vizuálním porovnáním a jsou to např. propadliny, nedostříknuté místa, přetoky a otřepy, vrásnění nebo otřepy, deformace dílu vlivem nevhodných parametrů vstřikování či nesprávné konstrukci formy, stříbření, matná místa, stopy po studeném spoji, tokové čáry, stopy po vlhkosti a další. [3]

Deformace dílce jsou způsobeny, nedostatečná doba chlazení, příliš velký podkos, orientace plniv.

Černé skvrny mohou být způsobeny: příliš dlouhý prostoj stroje, dlouho vypnutý válec, vtlačené nečistoty.

Stříbrné pruhy: příliš nízký tlak při vstřikování, teplota formy příliš nízká, příliš náhlý přechod ze slabé do silné stěny.

Spálená místa (dieselův efekt): teplota taveniny příliš vysoká, přehřátí při tření ve válci nebo v tokovém systému, nedostatečné odvětrání.

Skryté vady jsou takové, které lidským okem nelze odhalit, ovlivňují však negativně vlastnosti výstřiku. U termoplastů je nutno počítat:

- nerovnoměrná orientace makromolekul nebo vláken,
- vnitřní pnutí,
- degradační proces vedoucí ke snížení pevnosti a houževnatosti,
- vnitřní defekty (u netransparentních či barevných typů), jakou jsou lunkry, uzavřený vzduch aj.

Nejjednodušším a nejméně nákladným způsobem odstranění vad je změnou jednoho nebo více technologických parametrů. V případě, že závadu nelze takto odstranit, je nutno identifikovat příčinu v konstrukci výstřiku, formy, vstřikovacího stroje nebo zpracovávaném plastu. Obecně lze říci, že každý druh plastu je více či méně odlišně náchylný ke tvorbě vad. Pro by se měla před použitím daného plastu provést vstupní kontrola, která nám stanoví chemicko – analytické složení (molární hmotnost), mechanické vlastnosti (pevnost, tažnost), fyzikální vlastnosti (viskozita, tepelné a ele. vlastnosti). [3]

2.3 Vstřikovací stroj

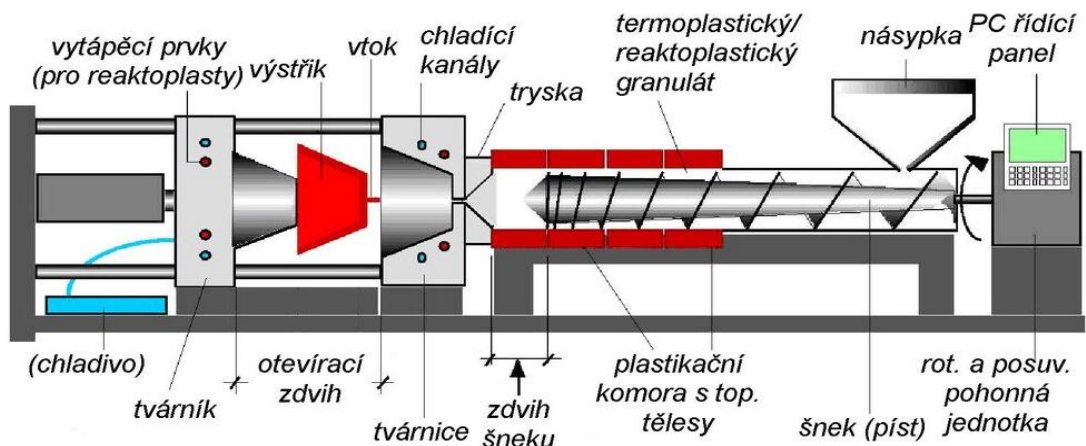
Na vstřikovacích strojích se zpracovávají plasty i kaučukové směsi. Lze vyrábět i výrobky, které jsou charakteristické tvarovou složitostí v obrovských sériích. Vstřikovací proces probíhá většinou na moderních strojích, kde výroba je zcela automatická. Minimální zásah lidského faktoru. [7]



Obr. 7. Vstřikovací stroj [15]

Konstrukce stroje:

- vstřikovací jednotka,
- uzavírací jednotka,
- řízení a ovládání.



Obr. 8. Schéma vstřikovacího stroje [6]

2.3.1 Vstřikovací jednotka

Hlavním úkolem vstřikovací jednotky je dopravení naplastikovaného množství taveniny do dutiny formy pod určitým tlakem. Hodnota tlaku do značné míry závisí na tloušťce stěny výrobku. U tlustostěnných výrobků se vyžaduje relativně malých tlaků, kdežto u tenkostěnných výrobků je tlak vyšší, kvůli tomu, aby tavenina nezatuhla ještě dříve, než se vyplní celá dutina formy. [8]

První vstřikovací jednotky, které byly použity, byly jednotky pístové. V současné době jsou zcela vytlačeny jednotkami šnekovými. V dnešní době je jejich využití velmi minimální. Rozdíl obou typů je dán konstrukcí tavicí komory. Jejím úkolem je převést do plastického stavu v co nejkratší době co největší množství hmoty a zajistit maximální teplotní homogenitu taveniny. [6]



Obr. 9. Řez válce [6]

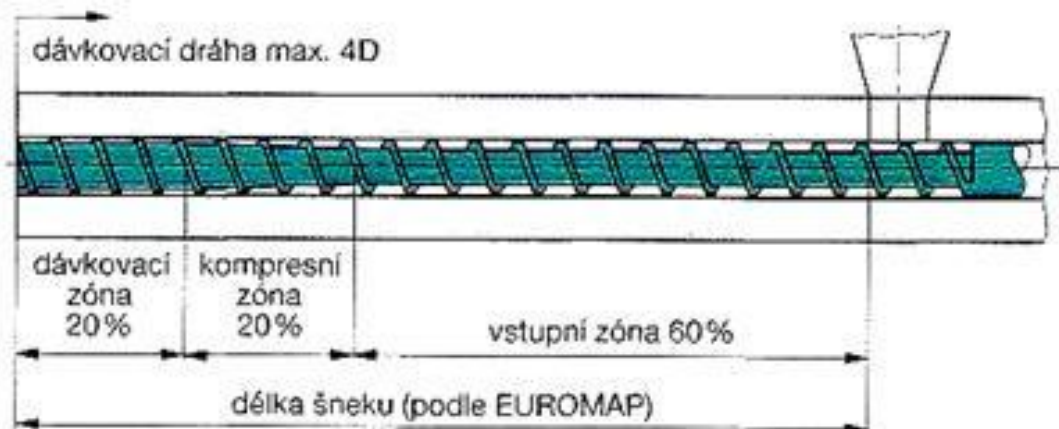
Výhody šnekových jednotek:

- zabránění přehřívání materiálu v tavicí komoře,
- spolehlivá plastikace a dobrá homogenizace roztaveného plastu,

- vysoký plastikační výkon i velký zdvihový objem,
- přesné dávkování hmoty,
- vyšší účinnost zásahu do vstřikovacího procesu, např. řízení dotlaku. [6]

Vhodná konstrukce šneku je přizpůsobena činnosti, které šnek musí vykonat, tj. plastikační, hnětení a vstříknutí do formy, dávkování. Využívá se tzv. diferenciálního šneku, který je typický kompresním poměrem. Je definován jako poměr objemu šnekového profilu ve vstupní části pro jedno stoupání závitu k objemu profilu ve výstupní části. Bývá v rozmezí od 1,5 do 4,5. [6]

Rozlišují se tři základní pásma šneku. Pod násypkou je šnekový kanál nejhlubší a průměr jádra šneku nejmenší – vstupní nebo také doprání. Granulát je zde stlačován, čímž se vytěsňuje vzduch, ohříván a na konci této části začíná tát. V prostředním pásmu - přechodovém se jádro šneku zvětšuje a hloubka šnekového kanálu se zmenšuje. Dochází k nejintenzivnějšímu tání granulátu. Vzniklá tavenina je zatím teplotně nehomogenní. Homogenizace je úkolem posledního pásma šneku u trysky – výstupní pásmo. Hloubka šnekového kanálu je po celé délce konstantní, ale je menší než ve vstupním pásmu. [6]

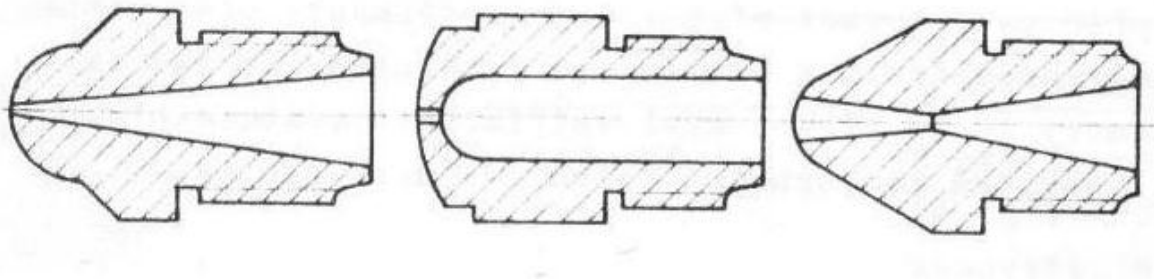


Obr. 10. Pásma šneku [6]

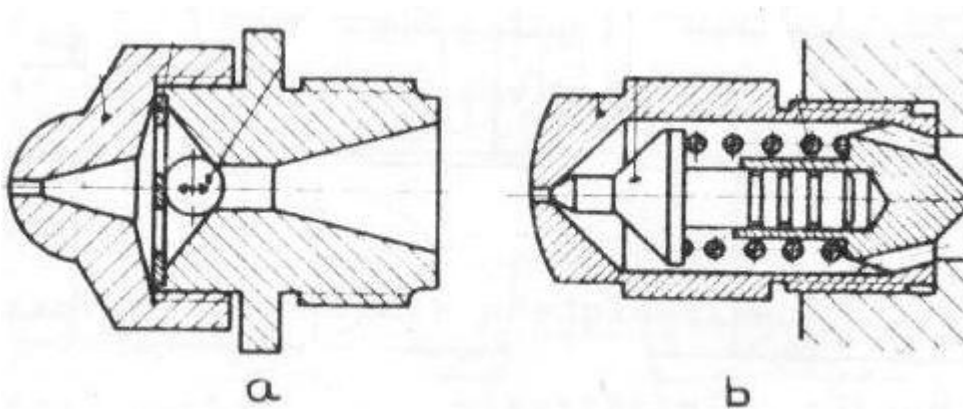
Velmi důležitou částí je zakončení šneku, jelikož tavenina má při vstřikování snahu téci směrem zpět k násypce. Délka šneku u termoplastů bývá obvykle 15 až 20 D. Teplo potřebné k zahřátí a roztavení polymerního materiálu pochází z odporových topných pásů a disipací, přeměnou mechanické energie na tepelnou. Teploty po celé délce šneku jsou roz-

dílné. V části pod násypkou nesmí být teplota příliš vysoká, aby nedošlo k předčasnému natavení a následnému spečení granulátu. Tím by docházelo vytvoření tzv. zátky ve šnekovém profilu a zamezil by se přísun dalšího materiálu do kompresní části šneku. Proto se prostor pod násypkou chladí. [6]

Plastikační jednotka dosedá ke vstřikovací formě díky trysce. Toto spojení je dočasné a musí být dokonale těsné. Konstrukční provedení závisí na druhu zpracovaného materiálu a jsou buď volně průtočné, nebo uzavíratelné. Volně průtočné trysky jsou vhodné pro krátké vstřikovací cykly a materiály s vyšší viskozitou. Uzavíratelné trysky se používají při vstřikování nízkoviskozních tavenin. [7]



Obr. 11. Volně průtočné trysky [7]



Obr. 12. Uzavíratelné trysky [7]

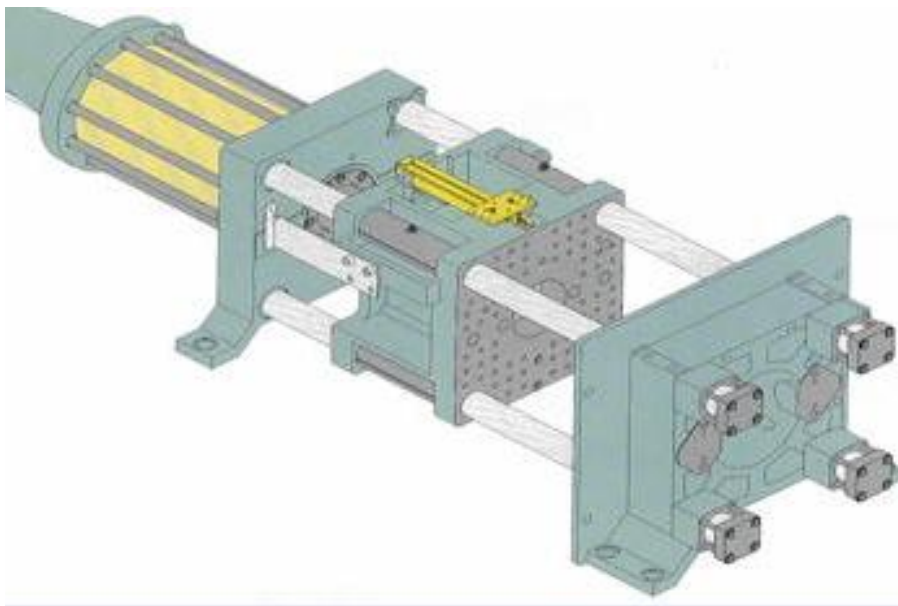
2.3.2 Uzavírací jednotky

Nosná konstrukce vstřikovacích strojů bývá obvykle sloupová. U menších strojů vystačí dvousloupová u větších čtyřsloupová. Nosné sloupy spojují jednotlivé části stroje a záro-

veň slouží k vedení pohyblivých částí. Úkolem uzavírací jednotky je zavírat a otevírat formu a zajistit uzavření formy takovou silou, aby se při vstříknutí tlakem taveniny forma neotevřela. Je potřeba rozlišovat dvě síly a to přísouvací sílu a uzavírací sílu. Současné moderní stroje mají programovatelnou rychlost a sílu uzavírání. [6], [7]

Hlavní části uzavírací jednotky:

- opěrná deska pevná – pevně spojena s ložem stroje,
- vodící sloupy – dvou-sloupové nebo čtyř-sloupové,
- upínací deska s otvorem pro trysku,
- uzavírací mechanismus. [3]



Obr. 13. Uzavírací jednotka [6]

Vstřikovací stroje používají v současné době různé uzavírací systémy, které např. mohou být konstruovány jako hydraulické, mechanické, kombinace hydraulického a mechanického způsobu a elektrické. Uzavírací síla je závislá na velikosti plochy průřezu výstřiku v dělicí rovině a na velikosti vstřikovacího tlaku. Plastikační a uzavírací jednotky mají vůči sobě dané umístění, nejčastěji je to horizontální poloha. Vstřikování probíhá kolmo na dělicí rovinu.

Nejčastěji používané systémy ovládaní uzavíracích jednotek jsou hydraulické obvody. Výhodou je jednoduchost, dosažení velkých uzavíracích sil jsou však zapotřebí velké rozměry hydraulických válců a zajištění dostatečné množství kapaliny. [6], [7]

2.3.3 Řízení a ovládání

Řízení a ovládání je jedna z hlavních součástí funkce vstřikovacích strojů. Pod těmito pojmy se rozumí snímání a sledování strojních a technologických parametrů spolu s jejich regulací. Podle typu řízení a obsluhy stroje je dána kvalita stroje. Řízení se musí zajistit vhodnými řídicími a regulačními prvky. V současné době veškeré vstřikovací stroje se neobejdou bez výkonné procesové techniky.

Všechny vstupní hodnoty a změny se zadávají pomocí ovládacích dotykových panelů. Na strojích se obvykle nastavuje teplota jednotlivých zón vstřikovacího válce a formy, vstřikovací tlak, dotlak, časové úseky pracovního cyklu, vstřikovací rychlost, uzavírací a dosedací rychlost formy. Ovládání se dnes děje elektronicky pomocí mikroprocesorů na základě připraveného programu uloženého v paměti.



Obr. 14. Ovládací panel [15]

Samozřejmě, že nastavení stroje je řídicím systémem také kontrolováno (zpětná vazba). Snahou je omezit v procesu vstřikování lidský faktor na nejmenší míru. [3], [7]

2.4 Volba vstřikovacího stroje

Vstřikovací stroj je významnou složkou pro dosažení kvalitních výstřiků. Volí se tedy podle:

- požadované přesnosti a kvality výstřiku,
- hmotnosti a rozměru vyráběného dílu,
- velikosti formy (vzdálenost mezi vodícími sloupy a minimální i maximální otevření vstřikovacího stroje).

Proto stroj musí splňovat:

- dostatečnou kapacitou, tzv. plastikační výkon, který se pohybuje v rozmezí 10 – 90%,
- vhodnou koncepci,
- dostatečný uzavírací tlak.

Velikost plastikační jednotky se určí podle celkové hmotnosti dílců a hmotnosti vtoků, pak množství hmoty musí být menší, než je kapacita vstřikovací jednotky při jednom zdvihu.

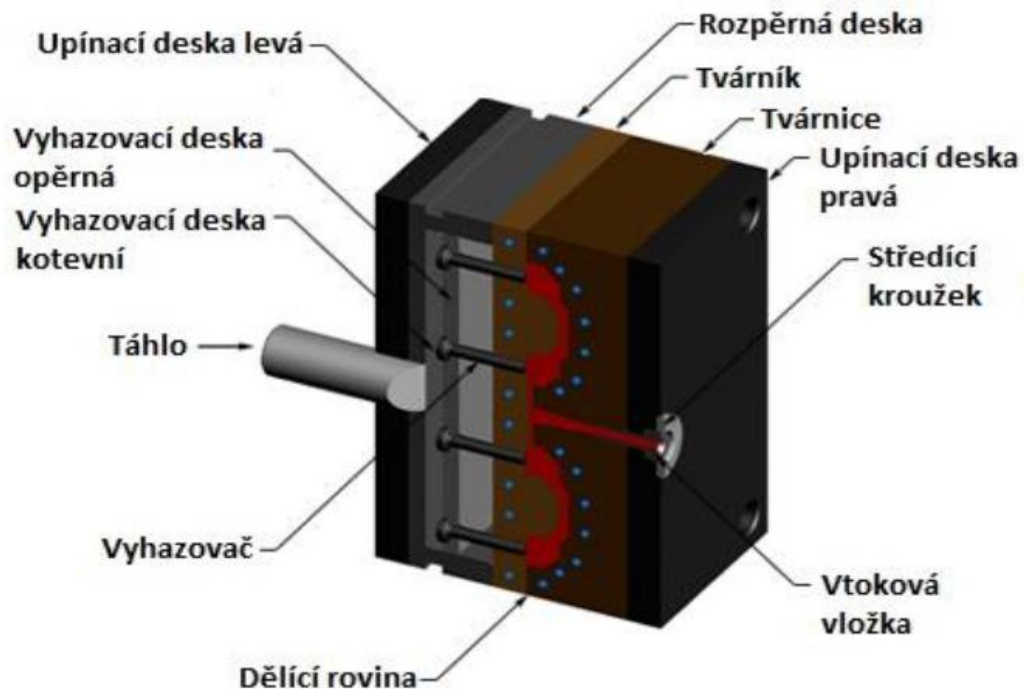
Maximální vstřikované množství by z pravidla nemělo překročit 90% hranici plastikačního výkonu, protože ve stroji je nutná rezerva hmotového polštáře, pro případné doplnění hmoty při jejím úbytku smrštěním. [3]

3 VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací formy tedy nástroje pro výrobu plastových výrobků musí odolávat vysokým tlakům, zajistit bezproblémové vyjmutí výstřiku, poskytnout výrobky o přesných rozměrech bez viditelných problémů a musí pracovat automaticky po celou dobu své životnosti. Konstrukční řešení vstřikovacích forem je vždy podmíněno složitostí vstřikovaného dílce a násobností. Také je zapotřebí brát v úvahu druh vstřikovaného materiálu, podle kterého se volí typ materiálu formy a velikost výrobní série.

Vstřikovací formy můžeme rozdělit podle mnoho kritérii:

- podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení – dvoudeskové, třídeskové, etážové, vytáčeční, apod.,
- podle násobnosti – jednonásobné a vícenásobné,
- podle konstrukce vstřikovacího stroje – se vstřikem kolmo na dělicí rovinu nebo se vstřikem do dělicí roviny. [6]



Obr. 15. Popis vstřikovací formy [16]

Postup při konstrukci vstřikovací formy

- posouzení výkresu výrobku z hlediska tvaru, rozměrů,
- zvolení hlavních a vedlejších dělicích rovin,
- dimenzování tvarových desek (tvárník, tvárnice) a jejich uspořádání ve formě,
- optimální umístění vtokového a temperačního a vyhazovacího systému, odvzdušnění,
- navržení rámu vstřikovací formy,
- volba vhodného středění a uspořádání formy s ohledem na bezpečnost práce,
- kontrola funkčních parametrů, hmotnost výrobku, jeho průmětná plocha, vstřikovací tlak, uzavírací síla, apod.

Konstrukci a výrobu vstřikovacích forem obvykle zajišťují specializované firmy - Nástrojárny, které disponují velmi drahými přístroji potřebné k výrobě.

Správě navržená forma splňuje tyto požadavky:

- technické – správná funkce formy (vhodný temperační a vtokový systém, vyhazování, apod.), maximální tuhost a pevnost, vysoká přesnost funkčních ploch, snadná manipulace.,
- ekonomické – nízká pořizovací cena, optimální životnost formy,
- společenskoekonomické – bezpečné pracovní prostředí a bezpečnostní zásady při výrobě a konstrukci.

Vstřikovací forma se skládá z mnoha dílů a systémů, které lze rozdělit na konstrukční části zabezpečující správnou činnost nástroje a funkční části, které se stýkají s taveninou a udávají požadovaný tvar výstřiku. [3], [6]

3.1 Násobnost formy

Násobnost vstřikovacích forem se hodnotí z několika hledisek a z jednotlivých činitelů, kteří ji ovlivňují:

- velikost a kapacita vstřikovacího stroje,
- množství výstřiku,
- přesnosti výstřiku,
- termín dodávky,
- ekonomika výroby.

Pro výrobky tvarově složité a velkorozměrové, malé nebo ověřovací série se vyrábí jednonásobné jednoduché formy s předpokladem minimálních nákladů na jejich výrobu.. Z hlediska kvality a přesnosti je žádoucí, aby násobnost byla co nejmenší. U hromadné výroby je nutno vypracovat technický a ekonomický rozbor o volbě násobnosti formy v několika možnostech. Požadavek ekonomiky jak výroby formy, tak i výroby výstřiku je jednoznačný pro větší počet tvarových dutin. Zajistí se tím snadněji požadovaný počet kusů při nižších výrobních nákladech, ale také s menší přesností výrobku. [8]

3.2 Rozměry dutiny formy

Návrh tvarových dutin se odvíjí od výkresové dokumentace vstřikovaného dílce. Dutina je určena tvarem s danými rozměry výrobku, ale také jakostí jejího povrchu. Jednotlivé rozměry a tolerance dutiny formy a výrobku se od sebe liší o hodnotu smrštění.

Smrštění rozeznáváme výrobní (90% celkového smrštění) a dodatečné (10% celkového smrštění). Toto smrštění není ve všech směrech stejné, jelikož záleží na směru proudění taveniny, orientaci makromolekul, plnivu, taru výrobku. Musí se však brát zřetel, že smrštění je orientační hodnota, tudíž není snadné správně nadimenzovat rozměry dutiny vstřikovací formy.

Smrštění se udává dvěma hodnotami, které můžeme nalézt v materiálových listech:

- smrštění ve směru toku (parallel),
- smrštění kolmo na směr toku (perpendicular). [3]

3.3 Zaformování výstřiku

Optimální zaformování výstřiku a správná volby dělicí plochy patří k hlavním a rozhodujícím zásadám konstrukce formy. Umožňuje dodržet tvar a rozměry výstřiku i ekonomiku výroby. Dělicí plocha (rovina) bývá jako rovina rovnoběžná s upínáním formy. Může však být i šikmá, nebo různě tvarovaná, případně vytváří u výstřiků s bočními otvory hlavní a vedlejší dělicí plochy. Taková koncepce vstřikovací formy způsobuje obtížnější výrobu. Vždy je snaha se nějakým vhodným způsobem vyhnout takovým složitým tvarům. Nepřesnost v dělicí rovině může mít za následek nedovření formy během plnění. Díky tomu dochází ke vzniku otřepů nebo zvětšení rozměrů výstřiku ve směru uzavírání formy.

Požadavky na dělicí plochu:

- umožnit snadné vyjmutí výstřiku z formy,
- procházet v hranách výstřiku,
- byla pravidelná, jednoduchého geometrického tvaru, snadno vyrobitelná,
- stopa po dělicí rovině nesmí být příčinou funkčního nebo vzhledových závad.

[3]

3.4 Vtokový systém

Vtokový systém zajišťuje průtok taveniny ze vstřikovací trysky do dutiny formy. Zatuhlý polymerní materiál ve vtokovém systému se nazývá vtokový zbytek. Snahou je tento vtokový zbytek minimalizovat, případně zcela odstranit. Proto se postupně vyvinula řada různých vtokových systémů.

Vtoková soustava je navrhována podle počtu tvarových dutin, podle jejich rozmístění a podle toho, zda bude konstruována jako studený nebo horký rozvod. Konstrukční řešení vtokového systému závisí na konkrétním tvaru a výstřiku a na násobnosti. Důležitým faktorem při vstřikování termoplastů je správné umístění vtoku, který má podstatný vliv na proudění taveniny, vytváří tzv. studené spoje, orientaci makromolekul a plniva, anizotropii vlastností. Proto má být vtok řešen tak, aby tavenina naplnila formu nejkratší cestou bez velkých teplotních a tlakových ztrát, co nejrychleji a pokud možno všude ve stejném čase.

[6], [9]

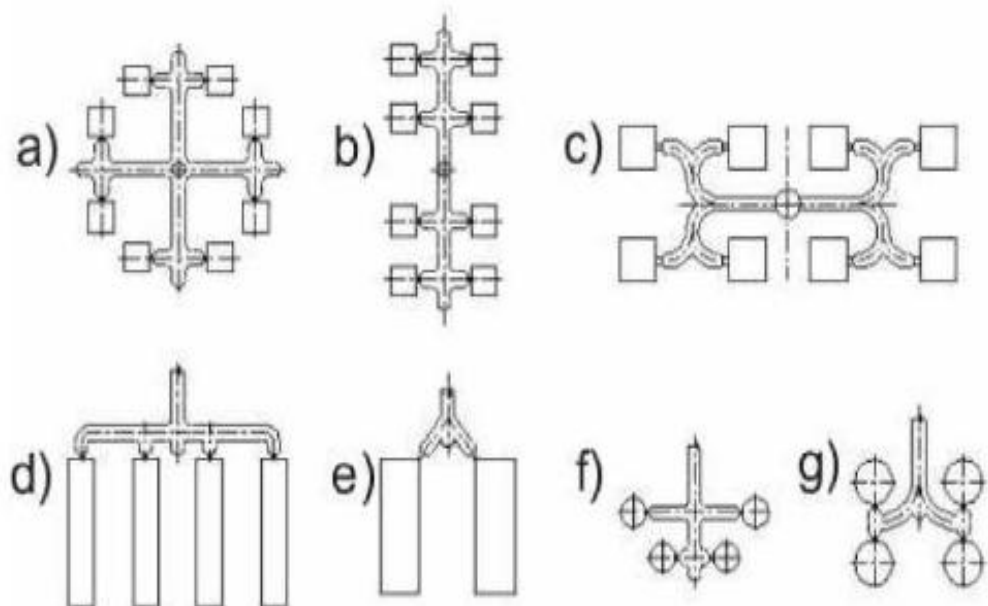
Jsou dva základní druhy vtokových systémů:

- studený vtokový systém (SVS),
- horký vtokový systém (VVS).

Vtokový systém zabezpečuje spojení mezi dutinou formy a vstřikovací tryskou. Nejjednodušším případem vtokového systému je případ přímého vtoku s přímým ústím. Vtoková vložka má rozměry podle velikosti výstřiku a rozměru vstřikovací trysky, která je součástí plastikační jednotky. [9]

3.4.1 Studený vtokový systém (SVS)

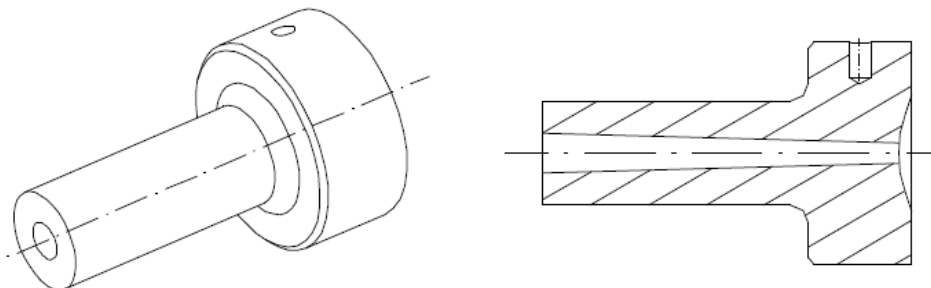
Zásadní rozdíly mezi SVS jsou v celkovém uspořádání, které závisí na konstrukci vstřikovací formy a její násobnosti. Průtok taveniny vtokovým systémem je provázen složitým tepelně-hydraulickými poměry (=poměr průřezu a obvodu). U vícenásobných forem musí tavenina dorazit ke všem dutinám ve stejnou chvíli (současně) a mít při tom stejný tlak tzv. vyvážený vtokový systém. Nesmíme však zapomenout, že tavenina se vstřikuje velkou rychlostí a do relativně studené formy. Během průtoku SVS roste viskozita taveniny, tedy zvyšuje se tlak. [3], [9]



Obr. 16. Konstrukční řešení SVS [3]

Vtoková ústí musí být umístěna, tak aby v dutině formy tokem taveniny nevznikaly studené spoje. Studený vtokový systém se skládá z 3 hlavních částí: vtokový kanál, rozváděcí ka-

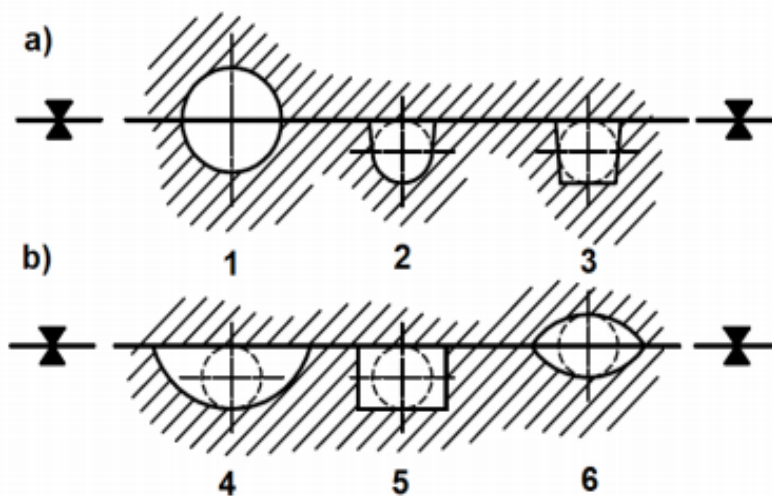
nál, vtokové ústí. První část SVS vtokový kanál nejčastěji bývá tvořen z vtokové vložky, která má kuželovou díru. Jedná se o nejjednodušší případ vtokového systému, který proudí přímo do dutiny formy nebo je spojen se soustavou rozváděcích kanálů.



Obr. 17. Vtoková vložka [16]

Rozměry se volí podle hmotnosti výstřiku a rozměru vstřikovací trysky, která je součástí plastikační jednotky. Ve formě se vtoková vložka zalisovává nebo se ukládá jako odpružená. Ztuhlý zbytek ve vtokové vložce se nazývá vtoková stopka a musí se od výstřiku oddělovat mechanicky. Nevýhodou je, že po odstranění zůstává na výstřiku stopa. Vtoková vložka je velmi tepelně a mechanicky namáhaná. Je vyrobena z otěruvzdorné nástrojové oceli na tvrdost (55 – 60) HRC. Průměr kanálu by měl být min. o 1.5mm větší než je největší tloušťka stěny výrobku. [9], [10]

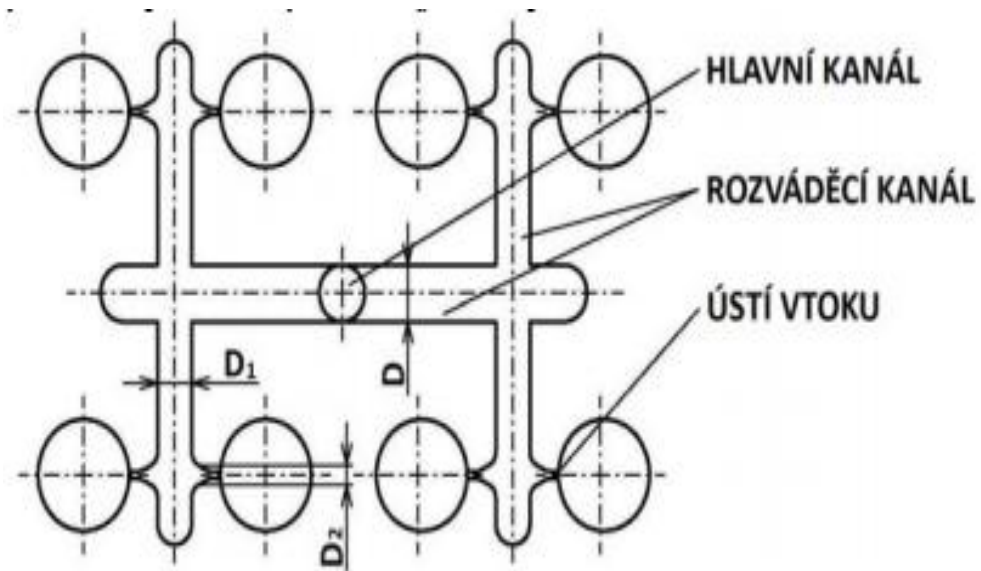
Rozváděcí kanály spojují vtokový kanál s ústím vtoku a tvářecí dutinou. Mohou mít různý průřez, nejvhodnějším typem je kruhový nebo lichoběžníkový průřez, protože má největší hydraulický poloměr.



Obr. 18. Průřezy rozváděcích kanálů [3]

Zabezpečují nejmenší teplotní i tlakové ztráty a nejnižší hodnoty průtok odporu. Avšak kanál s kruhovým průřezem se obtížně zhotovuje, neboť zasahuje do obou polovin formy. Umístění kanálu pouze do jedné poloviny formy sice zhoršuje hydraulický poměr, ale výroba je jednodušší. Ploché průřezy kanálů jsou nevhodné, protože tavenina v nich může snadno zatuhnout. [9], [10]

U vícenásobných forem je vhodné odstupňování průřezů kanálů z důvodu rychlosti taveniny a rovnoměrného plnění dutiny formy. Při dimenzování rozváděcích kanálů je třeba myslet na zásadu, že při použití krystalických polymerů jsou zpravidla průřezy větší, než u amorfních polymerů. [3], [9]



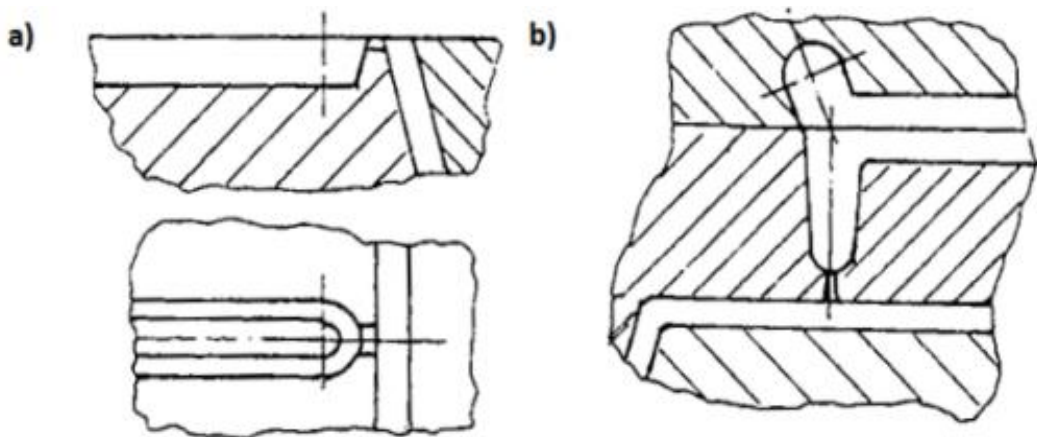
Obr. 19. Odstupňování průřezu [3]

Velikost průřezů ovlivňuje řada činitelů:

- charakter výrobku (tloušťka stěn a doba dotlaku),
- tepelné a reologické vlastnosti taveniny (viskozita, tepelná vodivost.),
- vstříkovací stroj (vstříkovací tlak, vstříkovací rychlost.).

Stanovení rozměrů je velmi obtížná záležitost, při kterých se využívá složitých výpočtů. Konstrukteři proto využívají své zkušenosti a empirické vztahy. [3]

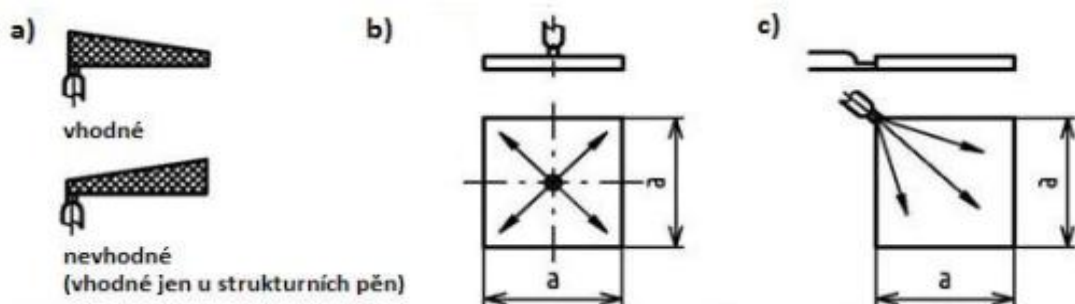
Vtokové ústí je zúžená část rozváděcího kanálu. Průřez zúžení bývá nejčastěji kruhový nebo hranatý. U kruhového průřezu se také užívá označení bodové ústí vtoku, zatímco v druhém případě štěrbinové ústí vtoku. Zúžením se zvýší teplota taveniny před vstupem do dutiny formy. Jeho velikost musí být co nejmenší kvůli snadnému začištění vtoku, ale také musí zajistit spolehlivé naplnění dutiny formy. [9], [11]



Obr. 20. A) štěrbinové ústí, B) kruhové ústí [11]

Rozhodující vliv na vzhled a kvalitu vtokového ústí má jeho umístění na výstřiku a proto se umisťují:

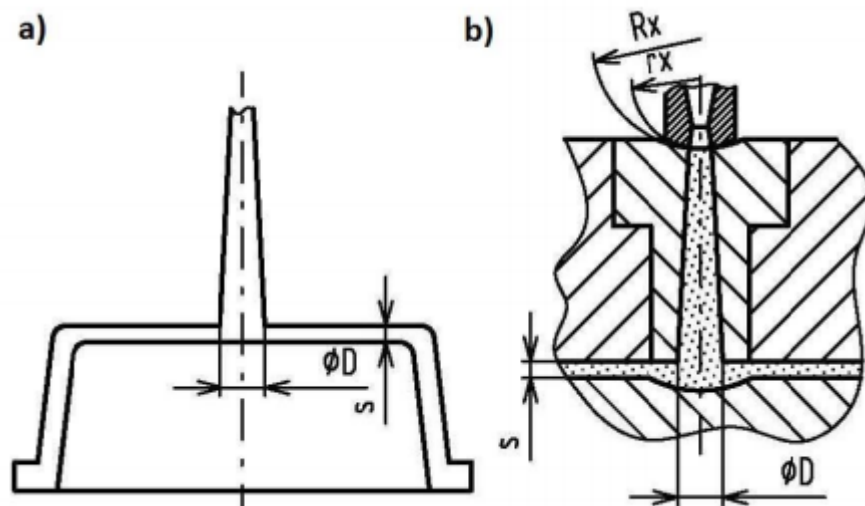
- do nejtlustšího místa stěny výstřiku (tavenina má vždy téct z většího místa do menšího),
- ve směru orientace žeber,
- mimo více namáhaných nebo opticky činných ploch,
- u obdélníkových tvarů ve směru delší hrany,
- do geometrického středu dutiny (aby tavenina zatékala do všech míst rovnoměrně).



Obr. 21. Umístění vtoku [11]

Kuželový vtok

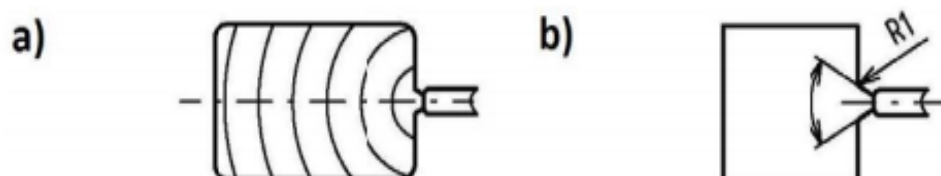
Tavenina je do dutiny formy přivedena bez zúžení vtokového ústí. Jeho využití se aplikuje u jednonásobných forem pro symetrické tlustostěnné výstřiky. Z hlediska dotlaku je velmi účinný, protože vtok tuhne ve formě poslední. Nevýhodou je jeho odstranění, které je pracné a zanechává vždy stopu po na výstřiku. U výrobků s menší tloušťkou stěn je vhodné vytvořit čočkovité zhloubení. [3]



Obr. 22. Kuželový vtok a čočkovité zhloubení [11]

Boční vtok

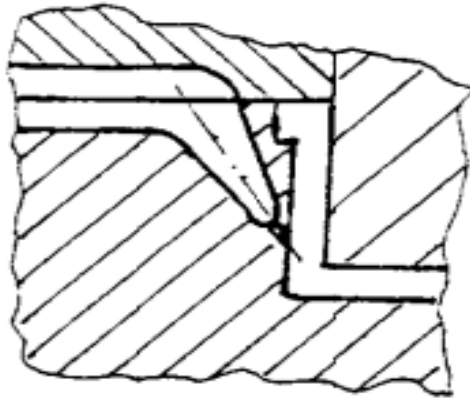
Při odformování zůstává vtokový zbytek spojen s výstřikem. V praxi se vtokový zbytek odstraňuje ručně ulamováním. Vtokové ústí se často upravuje kvůli zamezení volného vstřikování taveniny do dutiny. Upravuje se buď do tvaru vějíře (Obr. 25.) nebo se řeší jako boční vtok. I v tomto případě zůstává po odstranění vtokového zbytku stopa na spodní části výstřiku. Nepřímé boční vtoky se používají u optických prvků, který zamezí vznik vnitřních pnutí. [11]



Obr. 23. Boční a vějířový boční vtok [11]

Tunelový vtok

Je zvláštním případem zúženého ústí. Je umístěn pod dělicí rovinu, umožňuje snazší odvzdušnění dutiny formy a spolehlivé oddělení vtokového zbytku při otevření formy. Použitím tohoto typu vtoků lze vyřešit některé vzhledové problémy u náročných výstřiků. Z výrobních důvodů lze také umístit kanály na posuvný trn nebo pevné jádro. [9]



Obr. 24. Tunelový vtok [11]

3.4.2 Horký vtokový systém (VVS)

V současné době se využívají systémy s vyhřívanými tryskami, které zajišťují minimální úbytek tlaku i teploty a zajišťují optimální tok taveniny. Výhodou těchto systémů je snížení množství polymerních materiálů potřebných na výrobu výstřiku, vstřikování je bez vtokového zbytku. Vstřikování s použitím vyhříváné vtokové soustavy spočívá v tom, že tavenina po naplnění formy zůstává v tekutém stavu v celém vtokovém systému. Díky tomu je možné použít jen bodové vyústění s malým průřezem, které je vhodné pro širokou oblast vyráběných výstřiků.

Mezi VVS patří:

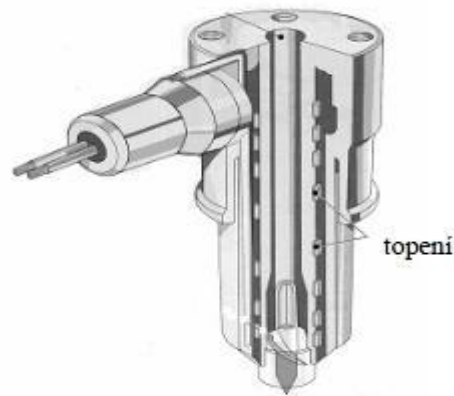
- vyhřívané trysky,
- vytápěné rozváděcí bloky,
- izolované vtokové soustavy (v dnešní době velmi ojedinělé). [10], [11]

Vyhřívání trysky

Jejich konstrukční řešení nám umožňuje propojení vstřikovacího stroje s dutinou formy, při optimální teplotní stabilizaci. Trysky mají vlastní topné články i s regulací, nebo může být ohřívána jiným zdrojem.

Trysky s vlastním topným článkem mají dvě konstrukční provedení:

- trysky s vnějším topením, kde tavenina proudí vnitřním otvorem tělesa trysky – těleso trysky je vyrobeno z vysoce vodivého materiálu a z vnějšku je kolem něj umístěno topení., [10], [11]



Obr. 25. Tryska s vnějším topením [14]

- trysky s vnitřním topením, kde tavenina obtéká vnitřní vyhřívanou vložku tzv. torpédo z vysoce tepelně vodivého materiálu.



Obr. 26. Tryska s vnitřním topením [14]

Vytápěné rozváděcí bloky

Mohou se používat v kombinaci s vyhřívanými nebo izolovanými tryskami s předkomůrkou k rozvodu taveniny u vícenásobných forem. Umístění rozvodného bloku je mezi tvarovou a upínací deskou formy. Mají různé tvary I, H, X, Y apod. Jejich vytápění je zajištěno vnějším nebo vnitřním elektrickým odporovým topením. Toto teplo vstupuje do taveniny přes stěny rozváděcího bloku. Při použití rozvodných bloků musí být proveden výpočet délkové roztažnosti, aby po zahřátí na provozní teplotu byly přesně proti vtoku. [9], [11]



Obr. 27. Rozvodné bloky [14]

Výhodou je, že celá soustava umožňuje snadnou montáž, demontáž, vyčištění a znovu nasazení do provozu. [9]

3.5 Temperační systém

Jedná se o systém kanálů a dutin, umožňující přestup a prostup tepla z taveniny do formy a temperovací kapaliny. Slouží nám k udržování konstantního teplotního pole vstřikovací formy. Teplota formy při vstřikování termoplastů bývá zpravidla mezi 30 až 120°C, ve zvláštních případech může být uvedený teplotní interval i širší. Požadované teploty formy je dosaženo pomocí chladicího média, které protéká soustavou chladících kanálů. V průběhu vstřikování se do formy přivádí polymer, který se v její dutině ochlazuje na teplotu vhodnou pro vyjmutí výstřiku, tedy teplota ovlivňuje plnění tvarové dutiny formy a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí polymeru. S ohledem na vlastnosti výrobku by bylo

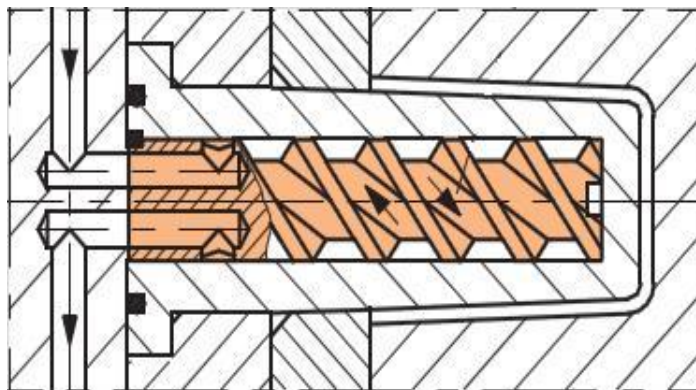
žádoucí, aby se hmota ochlazovala ve všech místech stejnou rychlostí. Teplota forem má značný vliv na smrštění a tvarové změny, jakost povrchu a mechanické vlastnosti výstřiku. [9]

Na optimální řešení temperačního systému má vliv,

- druh vstřikovacího materiálu,
- velikost a tvar výstřiku,
- požadavky na přesnost výstřiku,
- materiál formy.

Rozmístění temperačních kanálů a jejich rozměry je nutno navrhnout s přihlédnutím k celkovému řešení formy, např. umístění vtokové soustavy, vyhazovacího systému, tvarových vložek a jiných dílů. Vzdálenost kanálů od dutiny formy má být navržena, tak aby nedošlo k porušení povrchu tvarové dutiny formy a aby v tvarové dutině nevznikala podchlazená místa. Hlavní pravidlo při navrhování temperačního systému je, větší počet malých kanálů, než menší počet velkých kanálů. Temperační okruhy se zpravidla zapojují do série. Paralelní zapojení nezaručuje rovnoměrnost průtoku. Průřez kanálů se volí kruhový a bývá 6 až 20 mm. Celková délka kanálů má být taková, aby rozdíl teplot temperační kapaliny na vstupu a na výstupu byl maximálně 3 až 5 °C. [6], [9]

Hlavním úkolem je dosažení optimální délky vstřikovacího cyklu, při zachování technologických požadavků na výrobu, za pomoci ochlazování nebo ohřívání některé části formy tak, aby to bylo ekonomické.



Obr. 28. Temperace tvárníku [14]

3.5.1 Temperační prostředky

Představují média, která svým působením umožňují formě pracovat v optimálních teplotních podmínkách.

Rozdělují se na:

- aktivní, které působí přímo na formě. Teplo přivádí, nebo naopak odvádí. (voda, olej, elektrický článek),
- pasivní jako takové, které svými fyzikálními vlastnostmi ovlivňují tepelný režim formy (tepelná trubice).

Jejich volba je ovlivněna především koncepcí formy a požadavky na technologii výroby výstřiku. Používají se obvykle ve vzájemné vazbě. [4]

Aktivní prostředky

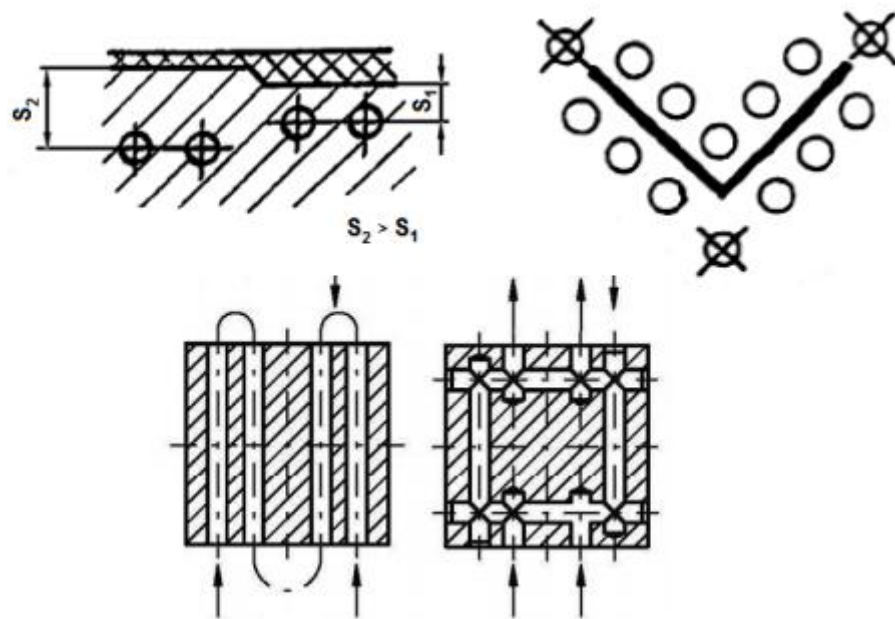
Mezi aktivní temperační prostředky patří kapaliny, vzduch, topné elektrické články. Při použití kapaliny dochází k přestupu tepla mezi formou a kapalinou. Médium proudí nuceným oběhem temperačních kanálů vytvořeny uvnitř formy. U vzduchu se používá buď volného proudění, nebo nuceného proudění působením přetlaku či podtlaku. Vzhledem k malé účinnosti je chlazení vzduchem pouze v případech, kdy použití kapaliny není pro nedostatek prostoru možné. [4]

Pasivní prostředky

Do skupiny pasivních temperačních prostředků jsou zařazeny tepelně izolační materiály, které se využívají především pro omezení přestupu tepla do upínacích desek vstřikovacího stroje. Volí se různé pevnostně a teplotně odolné materiály na bázi vyztužených reaktoplastů, nebo nekovových anorganických látek např. sklotextil ARV. Dále do této skupiny patří tepelně vodivé materiály tzv. tepelné trubice. Jsou vyrobeny z mědi a její slitin. Umožňují intenzivní přenos tepla, z oblasti o vyšší teplotě do oblasti s nižší teplotou i při malém teplotním rozdílu mezi nimi. Trubice je uzavřená na obou svých koncích zátkami a naplněna vhodnou teplotnosnou látkou. [4]

3.5.2 Obecné zásady volby temperačních kanálů

Rozměry a rozmístění kanálů se volí tak, aby vzdálenost kanálů od funkční dutiny příliš nesnížila tuhost a pevnost stěn dutiny formy. Kanály se umisťují a dimenzují tak, aby teplo bylo intenzivně odváděno z míst, kde je forma ve styku s proudem vstříkované taveniny, tedy vtoku. Průtok chladicího média se musí regulovat tak, aby při chlazení médium proudilo od nejteplejšího k nechladnějšímu místu formy. Rozmístění kanálů se volí s ohledem na tvar výstřiku a neumisťují se v blízkosti hran výstřiku. [4], [11]



Obr. 29. Zásady temperačních kanálů [11]

3.6 Vyhazovací systém

Při dosažení vyhazovací teploty na výstřiku následuje otevření formy a vyhození výstřiku z dutiny formy. K tomu slouží vyhazovací kolíky, stírací desky, stlačený vzduch nebo kombinace uvedených prvků.

Vyhazovací systém pracuje ve dvou fázích:

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

Aby byla zaručená správná činnost vyhazovacího systému je zapotřebí, aby měl výstřik hladký povrch a stěny měly úkoso minimálně $0^{\circ}30'$. Výstřik musí být vyhazován rovnoměrně, aby se zamezilo přičení a tím vzniku trvalým deformacím nebo poškození formy.

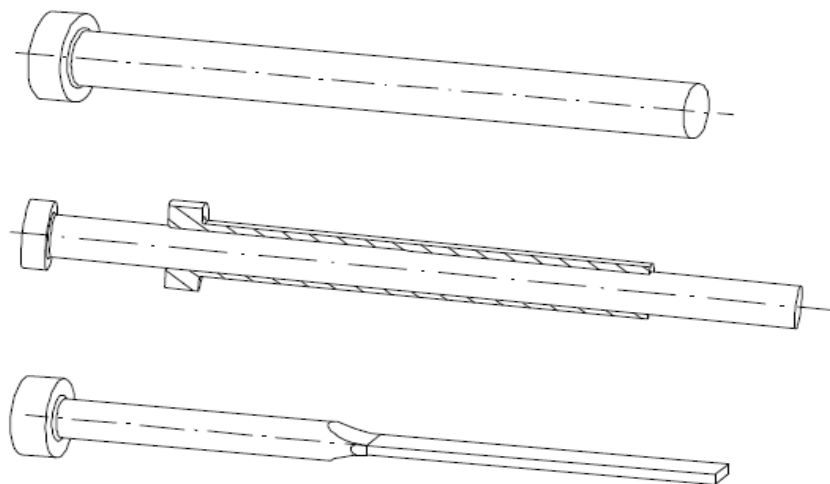
Rozhodujícím faktorem pro volbu vyhazovacího systému je velikost potřebné vyhazovací síly, která závisí na:

- na smrštění výstřiku,
- adhezi plastu k dutině formy,
- na podtlaku vznikajícím při vyhazování,
- na pružných deformacích formy.

Velikost vyhazovací síly se stanoví z podmínky, že smrštění vyvolá mezi výrobkem a formou tlak p , který způsobí tření a velikost třecí síly musí být menší než velikost vyhazovací síly. Síla vyhazovací síly je v praxi vždy předdimenzovaná. Jednotlivé velikosti vyhazovacích sil, např. při hydraulickém nebo mechanickém systému vyhození, se pro správnou funkci odzkouší. [11], [13]

3.6.1 Mechanické vyhazování

Patří mezi jedno z nejrozšířenějších systémů vyhazování buď pomocí vyhazovacích kolíků (Obr. 32.) nebo pomocí stírací desky, stíracích kroužků apod. V řadě případů se jednotlivé způsoby kombinují.



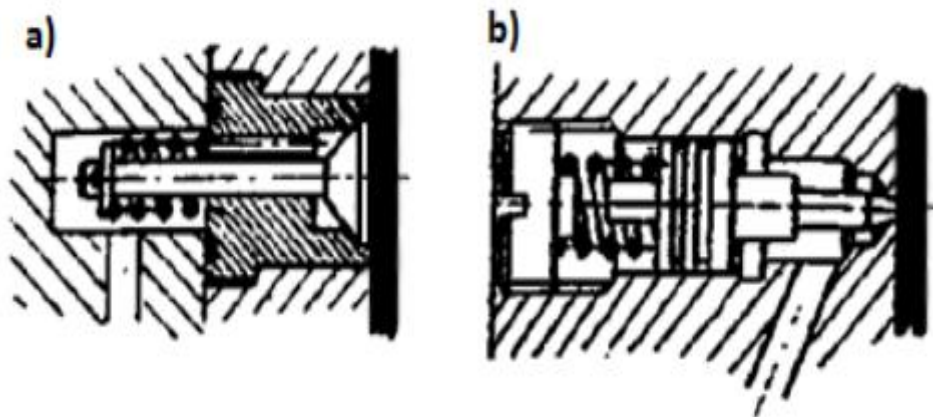
Obr. 30. Válcový, trubkový, prizmatický vyhazovač [16]

Vyhazovací kolíky jsou nejčastěji válcového průřezu o průměru 3 – 20 mm. Jsou zajištěny proti natočení a zakotveny v deskách vyhazovacího systému. Kolíky jsou lícovány pouze na části, která je ve formě, všude jinde je uložen s vůlí v desetinách mm. Kolík by se měl opírat o nepohledovou stěnu nebo žebro výrobku, které se nesmí při vyhození bortit. Pozor se musí dát na množství a umístění vyhazovacích kolíků kvůli temperaci.

U rozměrných a tenkostěnných výrobků, které vyžadují velkou vyhazovací sílu a více - násobných forem se využívá stírací desky. Působí na výrobek po celém jeho obvodě (velká styčná plocha), nezanechává na výrobku po vyhození žádné stopy, deformace je minimální a stírací síla veliká. Však použití stírací desky je omezeno tvarem výstřiku. [11]

3.6.2 Pneumatické vyhazování

U pneumatického vyhazování se mezi líc formy a výstřik přivádí stlačený vzduch. Tímto způsobem se umožní rovnoměrné oddělení výstřiku, vyloučí se místní přetížení a odstraní se stopy po vyhazovačích na výstřiku. Nevýhodou je omezené použití pneumatického vyhazování jen na některé tvary výstřiku.



Obr. 31. Pneumatické vyhazování [11]

3.6.3 Hydraulické vyhazování

Hydraulický vyhazovač se vyrábí jako uzavřená hydraulická jednotka, která se umístí přímo do připraveného místa ve formě. Využívá se hlavně pro ovládání mechanických vyhazovačů, jakou jsou kolíky, stírací desky apod. Výhodou je jejich rychlejší pohyb, větší vyhazovací síla a kratší a pomalejší zdvih. [13]

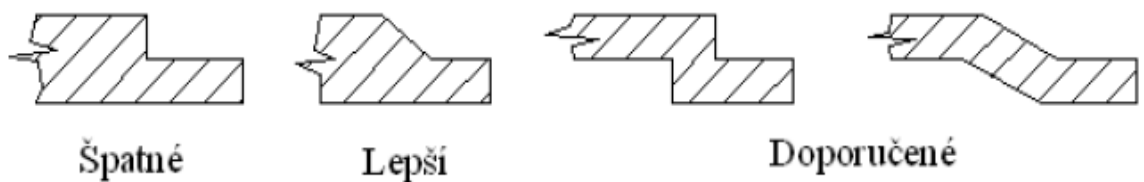
4 KONSTRUKCE VÝSTŘIKU

Zásady konstruování pastových výrobků se řídí jinými požadavky, než u součástí kovových. Při jeho konstrukci musí konstruktér předem zvažovat, co všechno se při vstřikování bude dít, vzhledem tomu je nutnost znát technologii jejich zpracování. Pro realizaci plastových součástí jsou dány určité meze tvarů a jejich vlastnosti, které by se neměly překročit, jinak vzniknou při výrobě problémy. Základní pravidlo je čím jednodušší součást, tím výhodnější jsou její pevnostní podmínky, snadnější dodržení rozměrů, levnější výroba formy. Konstrukce výrobku musí zohledňovat vhodnou polohu dělicí roviny, tedy správné zaformování, vtokový a vyhazovací systém, odvzdušnění, úkosy, přesnost apod. Je zapotřebí brát na ohled na ostré hrany, náhlé přechody v tloušťce stěn, tloušťka stěn by neměla překročit 0,8 násobek tloušťky hlavní stěny a u tlustých stěn, pokud jsou nutné využít lehčení.

[4]

4.1 Tloušťka stěn

Ekonomické faktory vedou k co nejmenší tloušťce stěny, jelikož ve výrobních nákladech činí materiálová položka významný podíl. S tloušťkou stěny souvisí vytvrzovací doba, chlazení, což bezprostředně ovlivňuje délku výrobního cyklu.



Obr. 32. Vhodná tloušťka stěny [4]

Značné rozdíly v průřezích mohou mít za následek rozdíly ve smrštění, které vyvolá u pružných plastů deformace. Také se musí počítat s propadlinami a lunkry. Podobné problémy se vyskytují i v místech, kde se nahromadí velké množství polymeru, kde je nutné provést vybrání, čímž se sníží tuhost výstřiku, která se kompenzuje návrhem žeber. [4]

4.2 Zaoblení hran

Zaoblení hran usnadňuje tok taveniny a zabraňuje koncentraci napětí v těchto místech. Zaoblením lze také dosáhnout příslušného estetického účinku, lze zvýšit tuhost výstřiku. Rozdíl ve velikosti rádiusů (vnější/vnitřní) je tloušťka výstřiku. Zaoblení však nesmí být spojeno s nahromaděním materiálu.

4.3 Úkosy a podkoso

Úkosem se nazývá mírný sklon stěn v dutině formy, kterým se usnadňuje vyhazování výstřiku. Musí být na všech místech kolmých k dělicí rovině a to jak na vnějších tak i vnitřních plochách. Na vnitřních plochách je úkosovitost přibližně dvojnásobná než na plochách vnějších. Velikost úkosu souvisí také s použitým typem vyhazování. Je-li na vnější ploše nulový úkos, je zapotřebí použít na vyhození výstřiku kolíky nebo stírací desku, popřípadě stlačený vzduch.

Podkoso jsou opakem úkosu a zabraňují vyjímání výrobku z formy. Někdy se volí záměrně tak, aby výstřik zůstal na jedné straně formy, kde je pak zajištěno vyhození. [4]

4.4 Žebra a výztuhy

Žebra a výztuhy dávají výrobku příslušnou tuhost. Rozdělujeme žebra na technická, technologická a ozdobná. První zmiňované žebra technická zabezpečují pevnost tuhost, případně jejich technickou formu. Výška žebra má být co největší. Plocha se vyztužuje žebry tak, aby se materiál nehromadil. Technologická žebra se na výrobku umísťují ke zlepšení výroby.

Hlavním úkolem:

- umožnit lepší tok hmoty v dutině formy,
- bránit zborcení výrobku,
- zakrýt povrchové vady výrobku. [4]

5 POUŽITÝ SOFTWARE

5.1 CATIA V5R18

K návrhu formy bylo využito programu CATIA V5 R18. CATIA (Computer-Aided Three-Dimensional Interactive Application) je integrovaný systém počítačového návrhu, konstruování a výroby (CAD/CAM/CAE), vyvinutý francouzskou firmou Dassault Systèmes a užívaný hlavně v leteckém a automobilovém průmyslu. [13]

Páce probíhala v několika modulech, kterými je CATIA V5R18 vybavena. Zadaný dílec byl zhotoven PART DESING, samotná 3D sestava vstříkovací formy je za pomoci MOLD TOOLING DESING a ASSEMBLY DESING, byla vytvořena i výkresová dokumentace v DRAFTING modulu. [17]

5.2 WORLDCAT-CIF

Jde o aplikaci s knihovnou 3D normálií vyráběné společností HASCO. Tato aplikace importuje požadované normalizované 3D díly. Nabízí celou řadu rozměrů daného produktu, popis dílce, výkresovou dokumentaci, informace o umístění ve formě a cenu výrobku. Pro lepší orientaci má každý normalizovaný dílce své označení. [17]

5.3 Autodesk Simulation Moldflow Insight 2013

Software Autodesk Simulation Moldflow Insight 2013 (dále jenom Moldflow), poskytuje možnost hloubkově řešit, vyhodnocovat a optimalizovat plastový díl i vstříkovací formu a tím napomáhá ke studiu vstříkovacích procesů, užívaných v současné praxi. Software Moldflow využívají přední světoví výrobci v automobilovém průmyslu, v odvětví spotřební elektroniky, zdravotního materiálu i obalů k tomu, aby jim ušetřil náklady.

Cílem Autodesku v této produktové řadě je poskytnout širokou škálu nástrojů pro simulaci vstříkovacího procesu a umožnit tak designérům, konstruktérům dílů a forem i výrobcům forem vytvořit co nejpřesnější digitální prototyp a přinést tak na trh lepší výrobek s vynaložením nižších nákladů. [12]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma,
2. Proved'te konstrukci 3D modelu vstřikovaného dílu,
3. Navrhňte vstřikovací formu pro zadaný díl,
4. Vhodnost návrhu ověřte pomocí analýz,
5. Nakreslete 2D řez vstřikovací formou včetně příslušných pohledů a kusovníku.

Cílem diplomové práce je navrhnout 3D model vstřikovací formy ke zvolenému plastovému dílcí. V první řadě byly prostudovány veškeré informace vztahující se k problematice vstřikováním a sepsány v teoretické části.

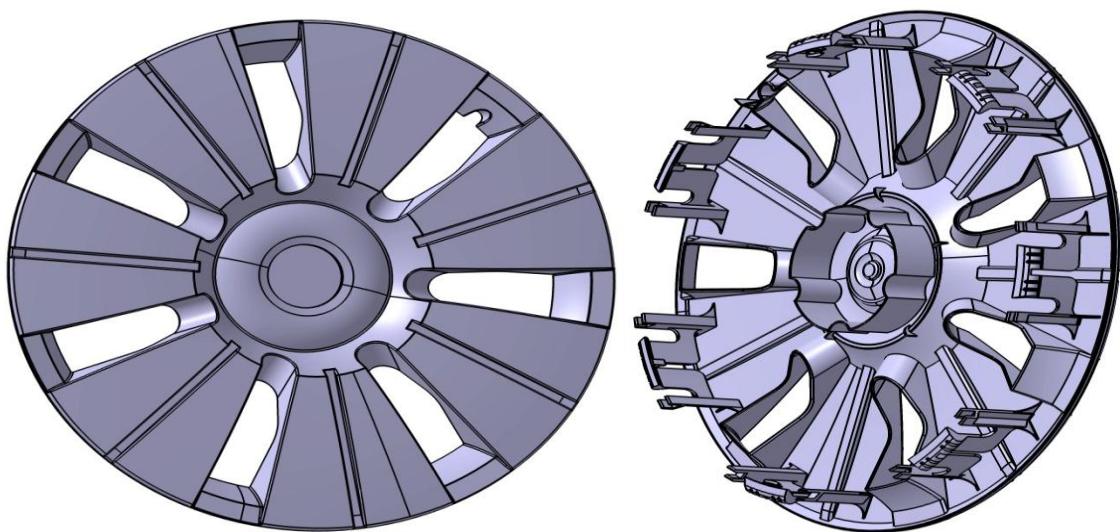
V praktické části bude nejprve vymodelován 3D dílec a následně proveden návrh vstřikovací formy. Vhodnost návrhu se podrobí tokovým analýzám. Součástí je i zhotovení výkresové dokumentace s příslušnými řezy a kusovníkem.

7 VSTŘIKOVANÝ DÍL

Ke konstrukci vstřikovací formy byla zadána plastová poklice na kola automobilu o velikosti 14", značky Škoda Auto. Tento díl byl vybrán kvůli tvarové rozmanitosti, složitosti a vyřešení způsobu odformování zadních přítlačných zobáčků. Zde je umístěn ocelový drát, zajišťující dostatečně pevné uchycení a snadnou montáž na standardní plechový disk kola. Výrobek je z celé přední části pohledový, tudíž musel být vyřešen i problém, aby nebyla vidět stopa po vtokovém ústí, jelikož plnění bude probíhat z této strany. Do prostoru, kde bude dílec plněn, je připevněn znak Škoda Auto a tím kryje tuto nežádoucí stopu. Poklice je poměrně velkého rozměru (Tab. 4).



Obr. 33. Poklice na plechový disk automobilu



Obr. 34. Vymodelovaný 3D dílec

Tab. 4. Rozměry dílce

Název	Hodnota	Jednotky
Průměr	378	[mm]
Šířka	44	[mm]
Objem	304	[cm ³]

7.1 Materiál vstříkované poklice

Na výrobu krytů kol se využívají plněné polymerní materiály. Plněné minerálem nebo skelnými vlákny. Ve značné míře se využívají v automobilovém průmyslu, na kryty přístrojů, elektronická zařízení atd. Byly vybrány dva materiály PA66 M17% plněný minerálem (mastek) a směs ABS+PA6 GL20% plněný sklem. Oba dva materiály byly podrobeny analýze a následně byl vybrán materiál s lepšími výsledky, které jsou popsány níže.

PA66 je semikrystalický až krystalický materiál, který má jednu z nejvyšších teplot tání mezi všemi komerčně dostupnými polyamidy. Po tvarování nepohlcuje vlhkost, zadržení vody však není tak vysoké jako u PA6. Vyznačují se pevností a tuhostí, která je zachována i při zvýšených teplotách. Viskozita PA66 je malá, proto dobře teče, což umožňuje tvarování tenkých komponent. Viskozita závisí na teplotě. Smrštění bývá 0,01-0,02 mm/mm [1-2%]. Minerální plnidla zajišťují izotropnější tvary.

ABS/PA6 jedná se o směs amorfního polymeru a semikrystalického polymeru, ve kterých mohou být výhody obou typů polymeru v kombinaci. Tvoří vyšší bod tání a dobrou chemickou odolnost PA6, zatímco ABS snižuje absorpci vlhkosti. Vyznačuje se dobrou odolností proti rázu. V tabulkách jsou zobrazeny jejich vybrané vlastnosti (Tab. 5.; Tab. 6.).

Tab. 5. Materiál PA66 M17%

Název	Hodnota	Jednotky
Výrobce	DuPont	
Mat. označení	Zytel CDV808 BK409	
Teplota formy	70-100	[°C]
Teplota taveniny	270-300	[°C]
Vyhazovací teplota	197	[°C]
Smyková rychlost	60000	[1/s]
Smrštění	1-2	[%]
Plnivo minerál (mastek)	17	[%]

Tab. 6. Materiál ABS/PA6 GL20%

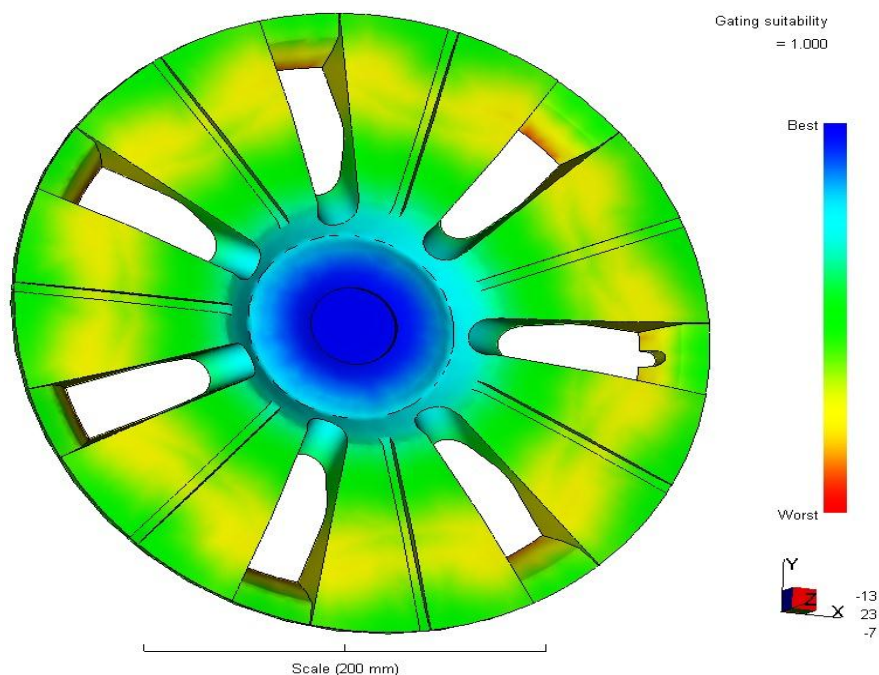
Název	Hodnota	Jednotky
Výrobce	BASF	
Mat. označení	Terblend N NG-04	
Teplota formy	40-80	[°C]
Teplota taveniny	240-280	[°C]
Vyhazovací teplota	95	[°C]
Smyková rychlost	100000	[1/s]
Smrštění	0,38	[%]
Plnivo sklo	20	[%]

8 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Před samotnou konstrukcí byly prostudovány potřebné informace ke zhotovení správně fungující vstřikovací formy. Byla spuštěna i předběžná analýza ke zjištění nejvíce vhodného umístění vtoku. Při konstruování byl kladen důraz, aby bylo použito co nejvíce normalizovaných součástek, z důvodu zkrácení výrobního času a z ekonomického hlediska. Díky aplikaci WordCat-CIF, která umožňuje importovat normalizované mechanismy, šrouby, trysky atd. jsou z větší části použité díly od společnosti Hasco. Vzhledem k tomu, že některé normalizované součástky nevyhovovaly, díky svým rozměrům, byly proto upraveny nebo použity i nenormalizované dílce.

8.1 Zjištění nejvhodnějšího umístění vtoku

Výsledek prvotní analýzy je zobrazen na (Obr. 35.) a udává nejvhodnější umístění vtoku pro kompletní zaplnění celé dutiny formy. Výsledek je spíše orientační, jelikož vybírá místo vtoku na základě matematického výpočtu. Může se tedy stát, že umístění vtoku bude na nejméně vhodném místě např. pohledové ploše, kde je nežádoucí mít stopy po vtoku. V tomto případě je nejvhodnější umístění ze strany pohledové, ale vzhledem k tomu, že do prostoru, kde se má nacházet vtok, bude nalepen znak Škoda Auto, je toto umístění vtoku vyhovující.



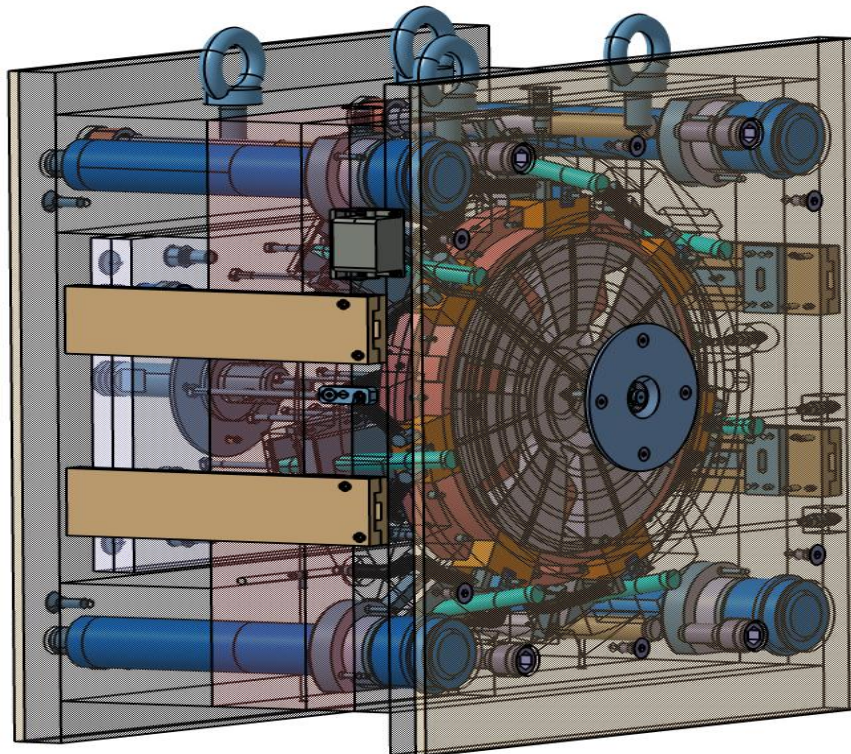
Obr. 35. Zjištění umístění vtoku

8.2 Vstřikovací forma

Velikost vstřikovací formy je odvozena od násobnosti, velikosti výstřiku a způsobu odformování. Skládá se z pravé (nepohyblivé) části a z levé (pohyblivé) části. Je opatřena horkým vtokovým systémem, vyhazovacím systémem, temperačními okruhy jak pro tvárnici, tvárník a pohyblivé kostky. Celá forma je složena ze sedmi jednotlivých desek z toho dvě postraní desky jsou izolační. Celkové rozměry formy v uzavřeném stavu jsou znázorněny v (Tab. 7.). Vzhledem k velikosti vstřikovaného dílce a způsobu odformování je vstřikovací forma jednonásobná. U jednonásobných forem je potřeba počítat s delším celkovým časem na výrobu požadovaného množství. Vstřikovaný dílec se ve většině případů na českém trhu prodává v sadě 4 ks.

Tab. 7. Rozměry vstřikovací formy

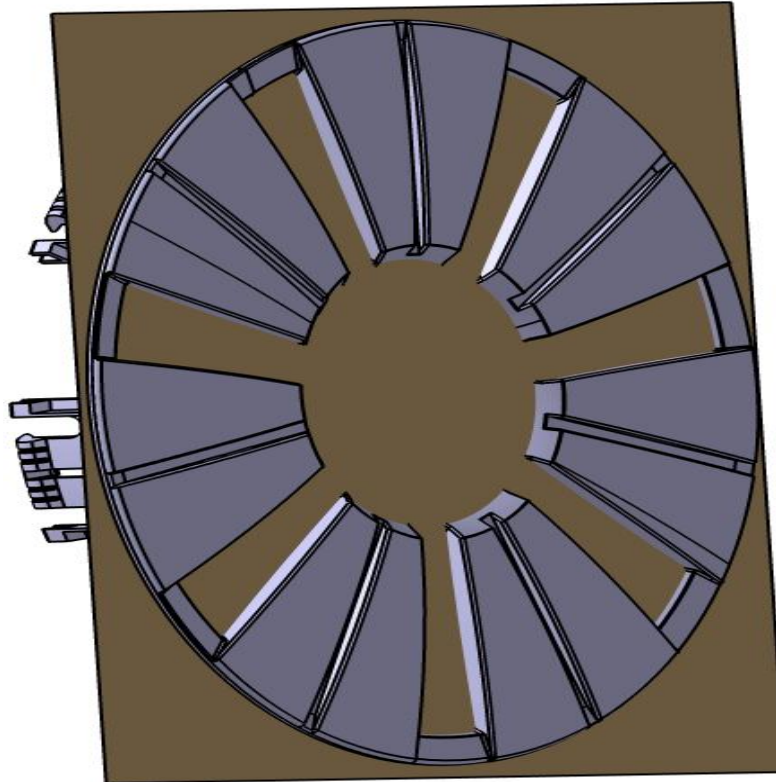
Název	Hodnota	Jednotky
Šířka	696	[mm]
Výška	796	[mm]
Délka	407	[mm]



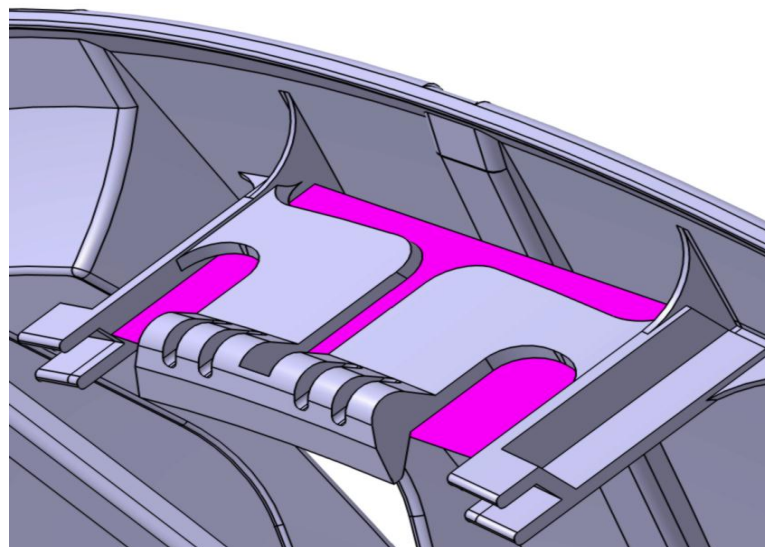
Obr. 36. Vstřikovací forma

8.3 Zaformování a odformování dílce

Pro správnou funkci vstřikovací formy je důležité vhodné zaformování dílce. Tedy určit hlavní dělicí rovinu (Obr. 37.) a 7 vedlejších dělicích rovin (Obr. 38.), které jsou nutné pro odformování zadních přítlačných zobáčků.

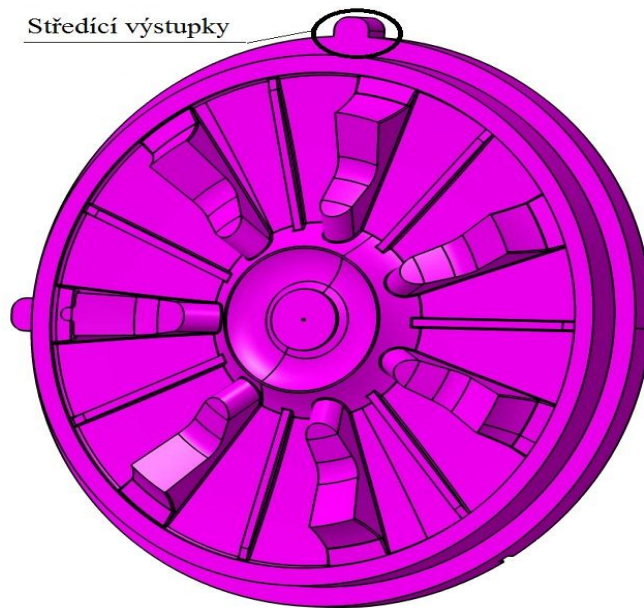


Obr. 37. Hlavní dělicí rovina



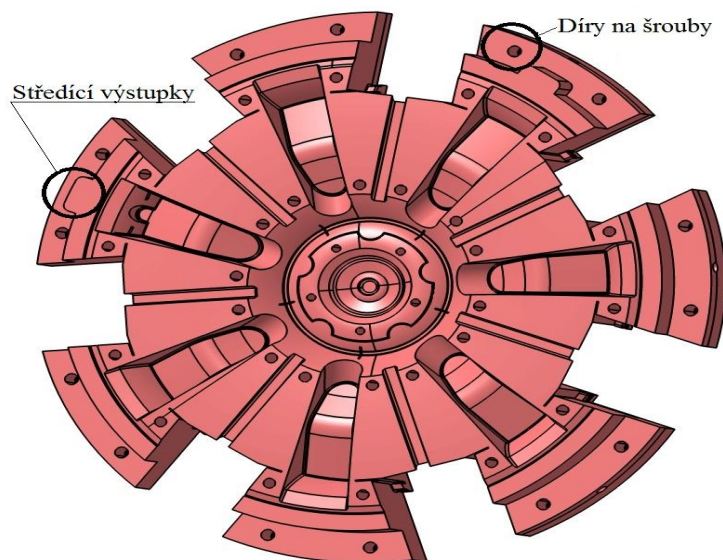
Obr. 38. Vedlejší dělicí rovina

Celkové zaformování dílce tvoří 16 tvarových částí. Na pravé (nepohyblivé) straně je tzv. tvárnice (Obr. 39.), která je umístěna v desce s označením KOTEVNÍ_P. Jejímu pohybu ve směru osy Z ji brání vyfrézované osazení. Ze zadní části se opírá o desku s označením OPĚRNÁ_P, vzhledem k tomu, že tvárnice je kruhového průřezu a má symetrický tvar, je opatřena dvěma středícími výstupky a tím je zajištěno její správné umístění při montáži.



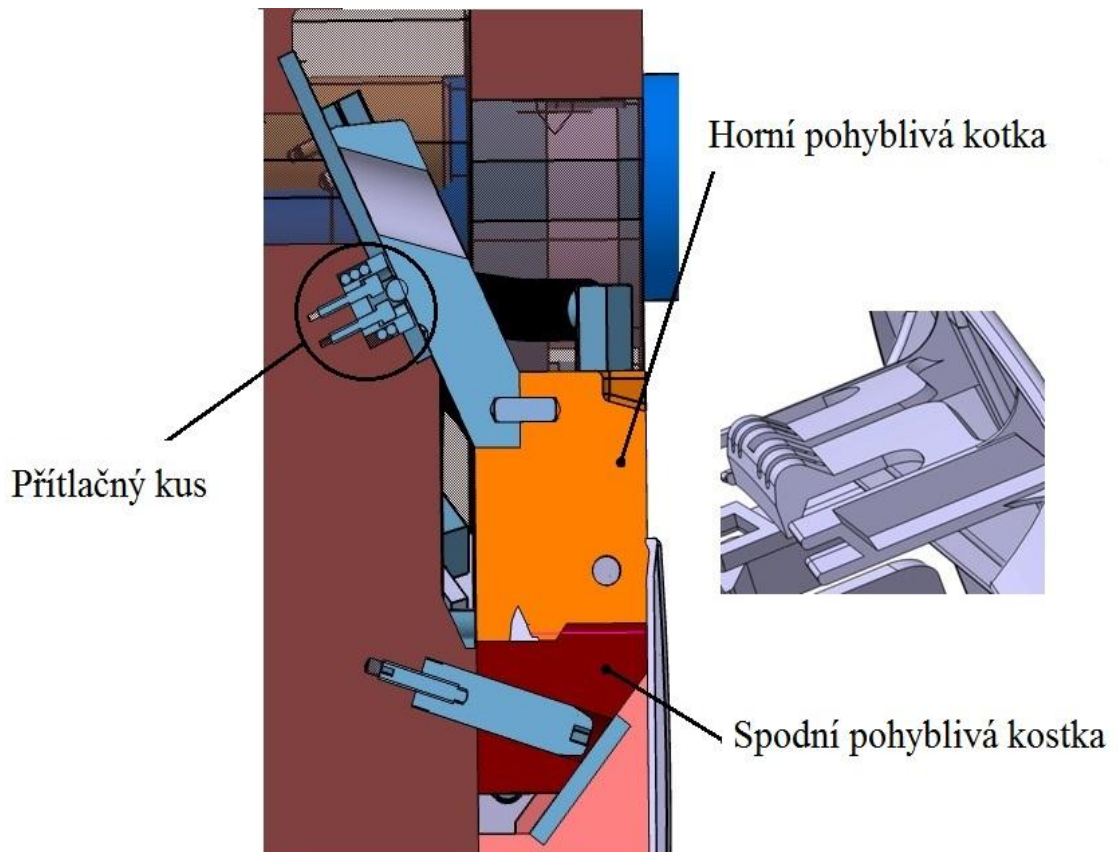
Obr. 39. Tvárnice

Na levé (pohyblivé) části je upevněn v desce (KOTEVNÍ_L) tvárník. Usazení tvárníku je řešeno podobným způsobem, jak na pravé straně s tím rozdílem, že je pevně upnut pomocí šroubů ke kotevní desce. Pro správné osazení je také opatřen středícími výstupky.



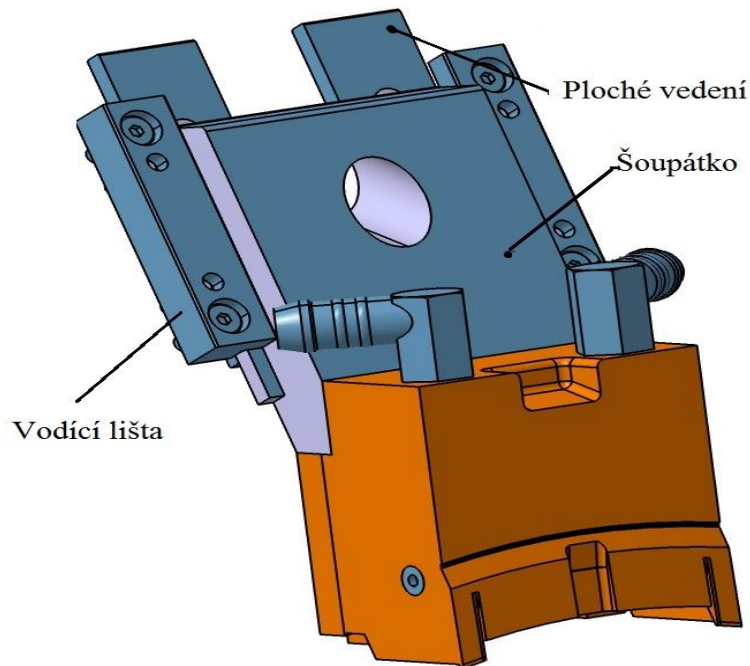
Obr. 40. Tvárník

Toto řešení uchycení vyplynulo z celkového způsobu odformování, které bude detailněji popsáno níže. Zbývajících 14 tvarových částí je umístěno v tvárníku, kvůli odformování zadních zobáčků, na kterých se nachází plochy pod úhlem ke směru vyhození. Skládá se z horní pohyblivé kostky a spodní (Obr. 41.).



Obr. 41. Horní a spodní pohyblivé kostky

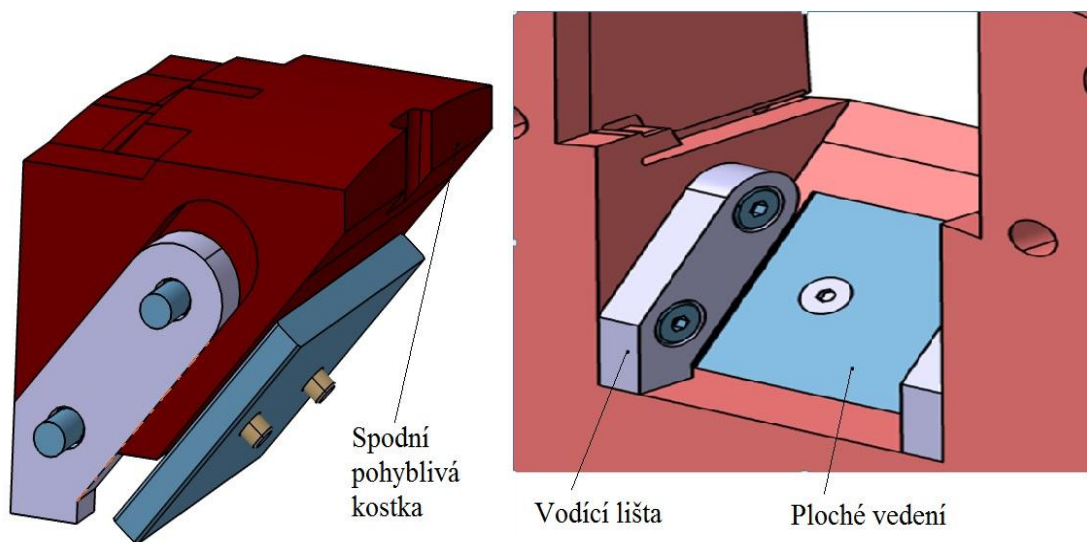
Pohyb horní pohyblivé kostky je zajištěn pomocí šikmých kolíků upevněných na pravé straně formy. Celý odformovací mechanismus je umístěn na opěrné desce, ve které jsou vyfrézovány plochy pro umístění kluzného plochého vedení a vodících lišt. Horní kostka je spojena šrouby a středícím kolíkem se šoupátkem, které se pohybuje po vedení (Obr. 41.).



Obr. 42. Horní odformování

Při vysunutí do požadované vzdálenosti je zpětný pohyb zajištěn přítlačným pružinovým kusem (Obr. 41.). Na pravé straně pod šikmým kolíkem je přišroubován zámek proti pohybu (Obr. 53.). Tím je zabráněno vychýlení kostky ze své polohy v průběhu plnění.

Odformovací mechanismus pro spodní kostku (Obr. 43.), je umístěn přímo v tvárníku. Po stranách otvoru jsou přichyceny vodící kluzné lišty a pod ní se nachází ploché kluzné vedení. Její pohyb je také řízen pomocí šikmých kolíků, které jsou upevněny v opěrné desce (Obr. 41.).

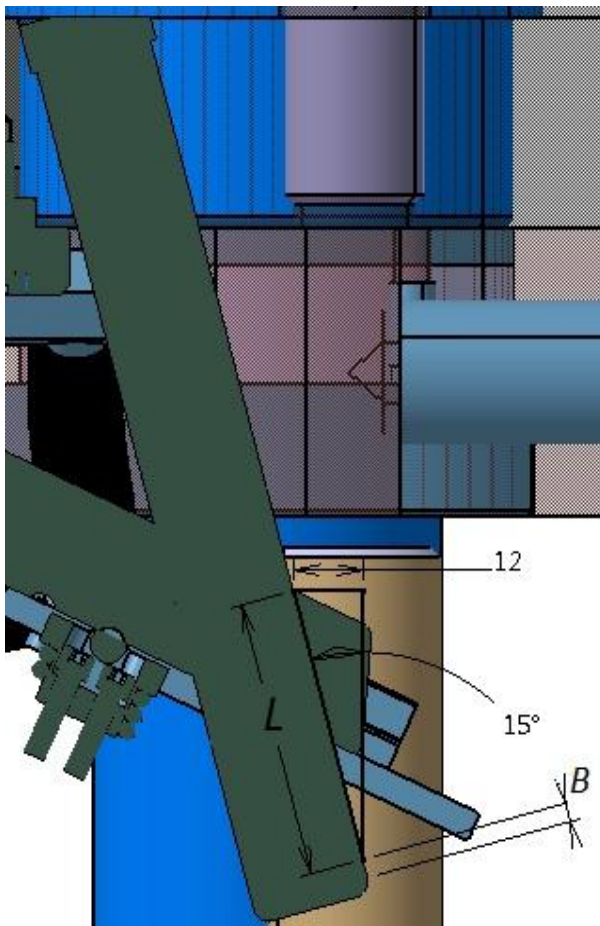


Obr. 43. Spodní pohybová kostka

V době působení vstřikovacího tlaku je spodní kostka taktéž zabezpečena proti vychýlení opřením zadní části o opěrnou desku a dosedacími plochami, které se stýkají s horní kostkou.

8.3.1 Výpočet délky šikmých kolíků

Vysouvání horní a spodní kostky je realizováno šikmými válcovými čepy. Podle zásad správné konstrukce vstřikovací formy bývá vůle mezi čepem a otvorem 0,2 mm a sklon v rozmezí 15°-25°. Potřebná délka kolíků se tedy vypočítá z některých goniometrických funkcí a z důvodu bezpečnosti se tato hodnota zvětší o 0,2-2,5mm.



potřebný zdvih kostky.... $a = 12 \text{ mm}$

úhel sklonu kolíku..... $\alpha = 15^\circ$

potřebná délka kolíku ... $L = ?$

bezpečnostní přídavek $B = 2 \text{ mm}$

Výpočet:

$$\sin \alpha = \frac{a}{L} \Rightarrow L \quad (1)$$

$$L = \frac{a}{\sin \alpha} \quad (2)$$

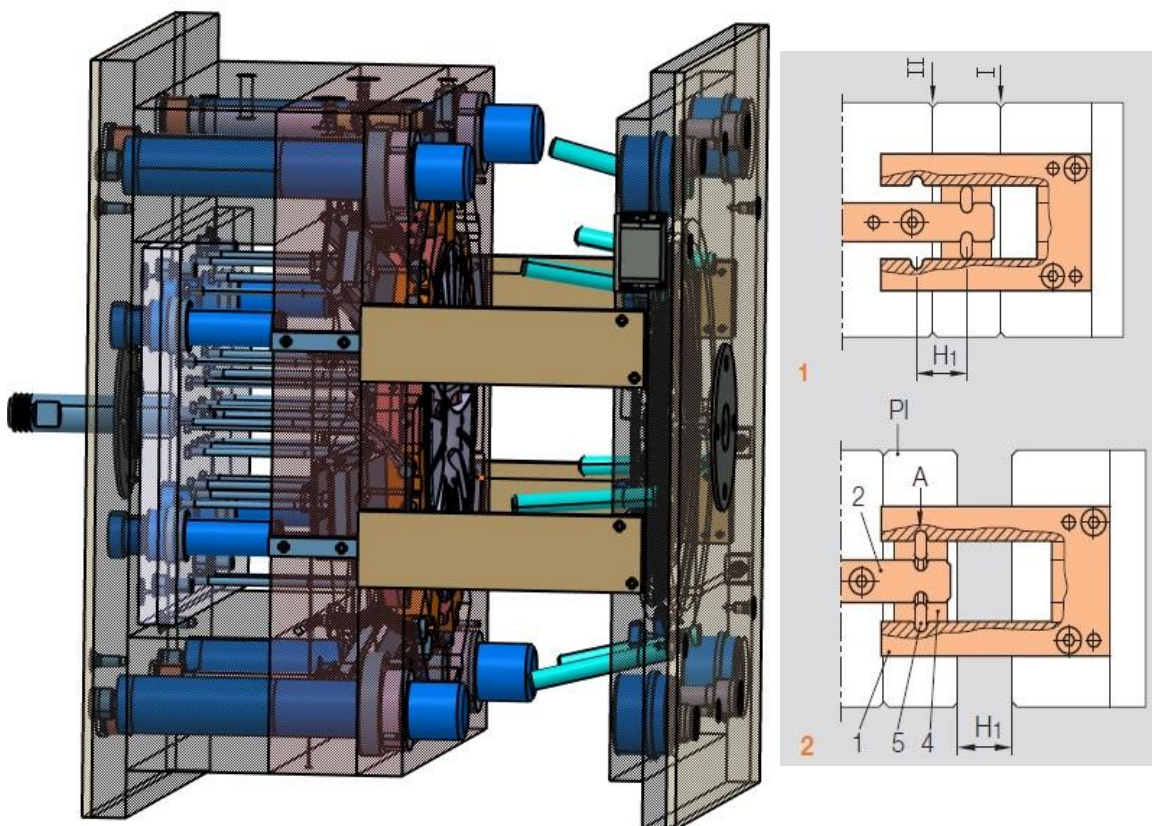
$$L = \frac{12}{\sin 15} = \frac{12}{0,26} = 46,2 \text{ mm} \quad (3)$$

Obr. 44. Výpočet délky kolíku

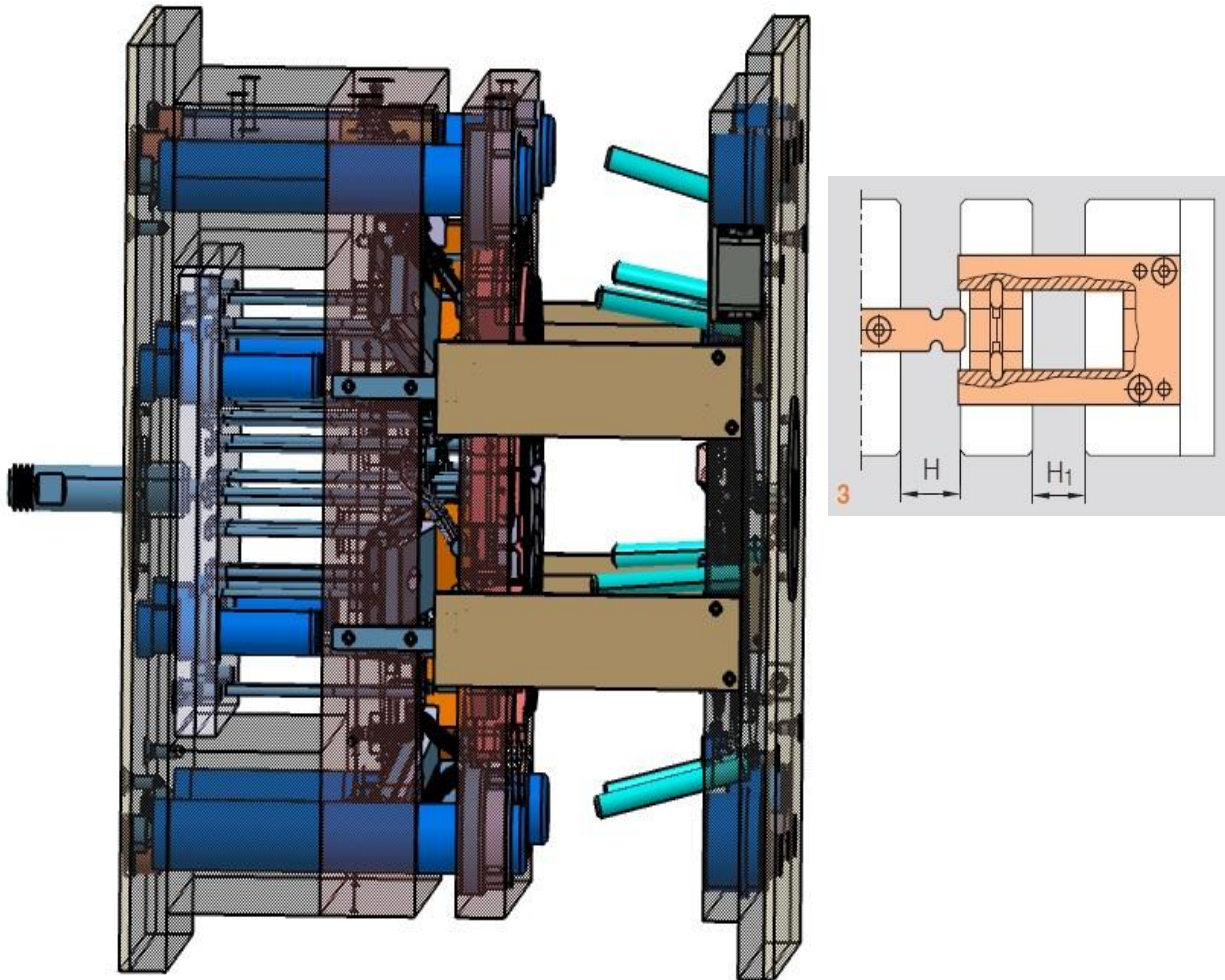
Potřebná funkční délka kolíku je po zvětšení o bezpečnostní přídavek 48mm.

8.4 Princip odformování

Po zaplnění dutiny taveninou a ochlazení výstřiku na vyhazovací teplotu, může dojít k otevření formy. Prvním krokem je pohyb celé levé strany. Díky válcovým kolíkům dochází k odformování horní části zadních zobáčků. Pohyb není kolmý ke směru vyhození, ale je pod úhlem 65° k ose Z. Horní kostky se musí zdvihnout z nulové pozice o 12 mm, aby nedošlo ke kolizi při vyhazování. Otevírání formy probíhá až do vzdálenosti $H_1 = 208$ mm. Druhým krokem je odformování spodní části zobáčků. Po stranách rámu formy jsou přišroubovány čtyři západkové tažné mechanismy, které slouží pro odpojení levé kotevní desky. Tím pádem zůstane stát a zbytek levé strany pokračuje v otevírání. Vzdálenost mezi kotevní deskou a opěrnou musí dosáhnout $H = 20$ mm. Zamezením pohybu kotevní desce dojde k odformování spodní části, jelikož v ní je umístěn tvárník s celým odformovacím systémem. Na levé straně jsou také čtyři čepy o průměru 60 mm. Slouží pro vystředění jednotlivých desek a také jako vodící čepy pro pohyb kotevní desky. V desce jsou uložena vodící pouzdra, pro zlepšení třecích vlastností. Celý popis odformování je znázorněn na obrázcích níže (Obr. 45.; Obr. 46.).



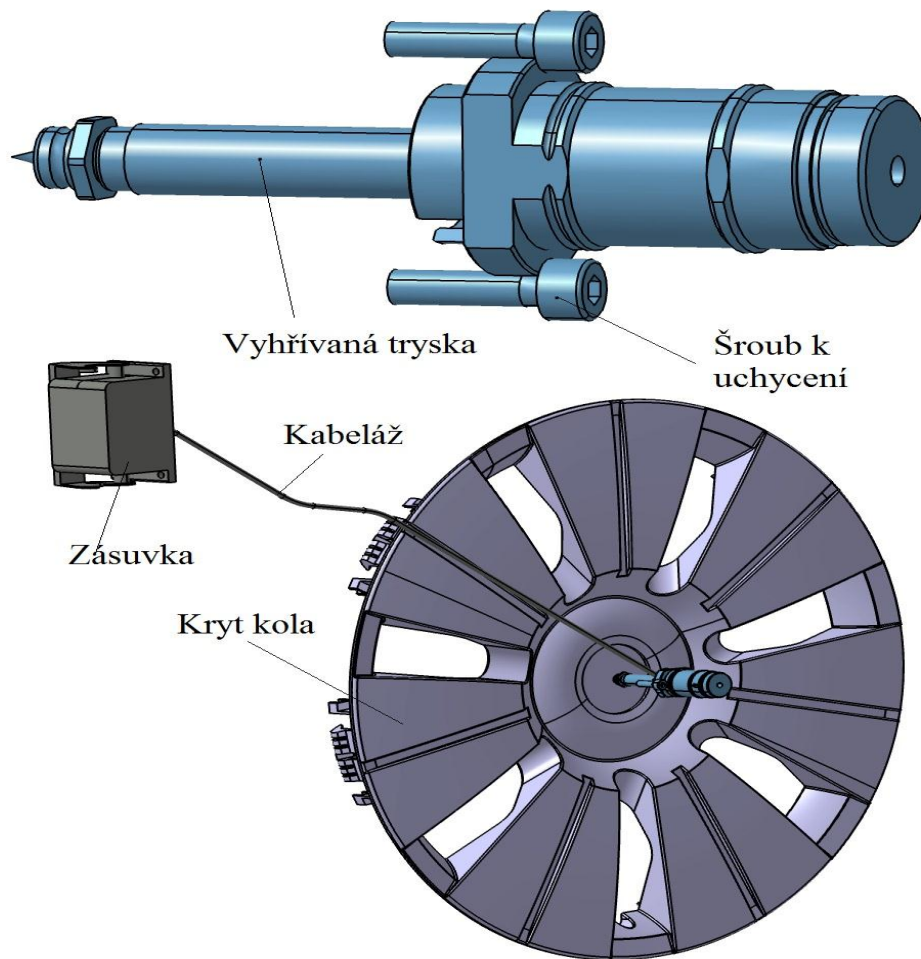
Obr. 45. První krok odformování



Obr. 46. Druhý krok odformování

8.5 Vtokový systém

Forma je vybavena vyhřívaným vtokovým systémem. Tento systém byl zvolen na základě svých předností, kterými disponuje (snížení spotřeby polymeru, snadná montáž, automatizace výroby). Jeho hlavní výhodou však je, že po vystříknutí dílce nezůstává vtokový zbytek. Vzhledem k tomu, že dílec je poměrně větších rozměrů a dráhy toku jsou poměrně dlouhé, je tedy dobré mít taveninu déle vyhřívanou. Samotné plnění probíhá jedním místem ve středu krytu kola. Umístění vtokového ústí bylo zjištěno pomocí prvotní analýzy. Vtokový systém se tedy skládá z vyhřívané trysky, která je spojena elektrickou kabeláží se zásuvkou pro připojení k elektrické síti. Uložení trysky se nachází na pravé straně formy, je upevněna dvěma šrouby v kotevní desce.



Obr. 47. Vtokový systém

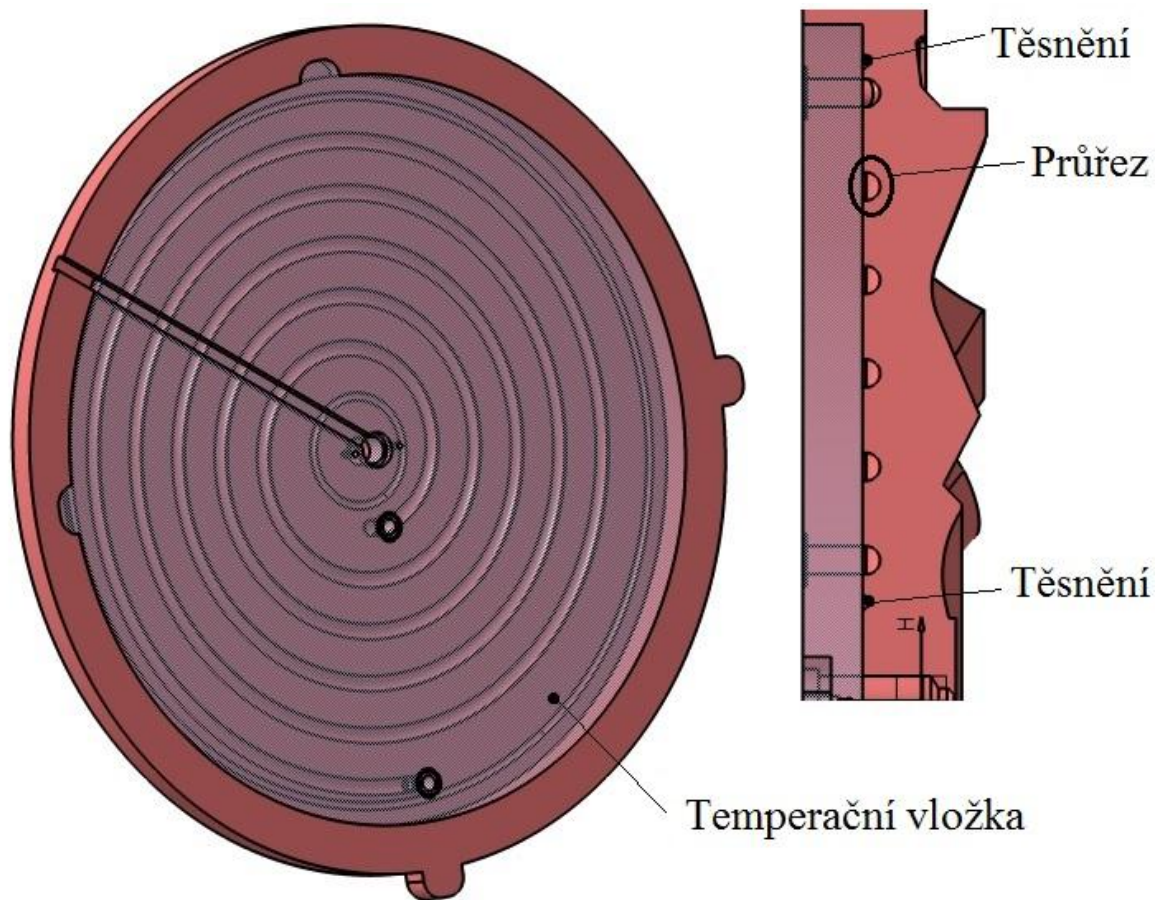
8.6 Temperační systém

Temperační systém slouží k udržování konstantního teplotního pole, aby byl zajištěn optimálně krátký vstřikovací cyklus a k tomu byly zachovány všechny technologické požadavky na výrobu výstřiku. Kompletní temperační systém disponuje třemi samostatnými okruhy.

8.6.1 Temperace pravé strany

Realizace temperačních kanálů na pravé straně formy byla lehkou záležitostí, vzhledem k tomu, že se tvárnice skládá z jednoho dílu. Ze zadní strany je vyfrézován otvor a zde je vložena temperační těsnicí vložka. Jelikož přední část dílce má křivkový charakter, nevy-

kazuje žádné rovinné plochy je vzdálenost kanálů od dutiny formy 9 mm a je vztažena od nejvyššího bodu dutiny tvárnice.



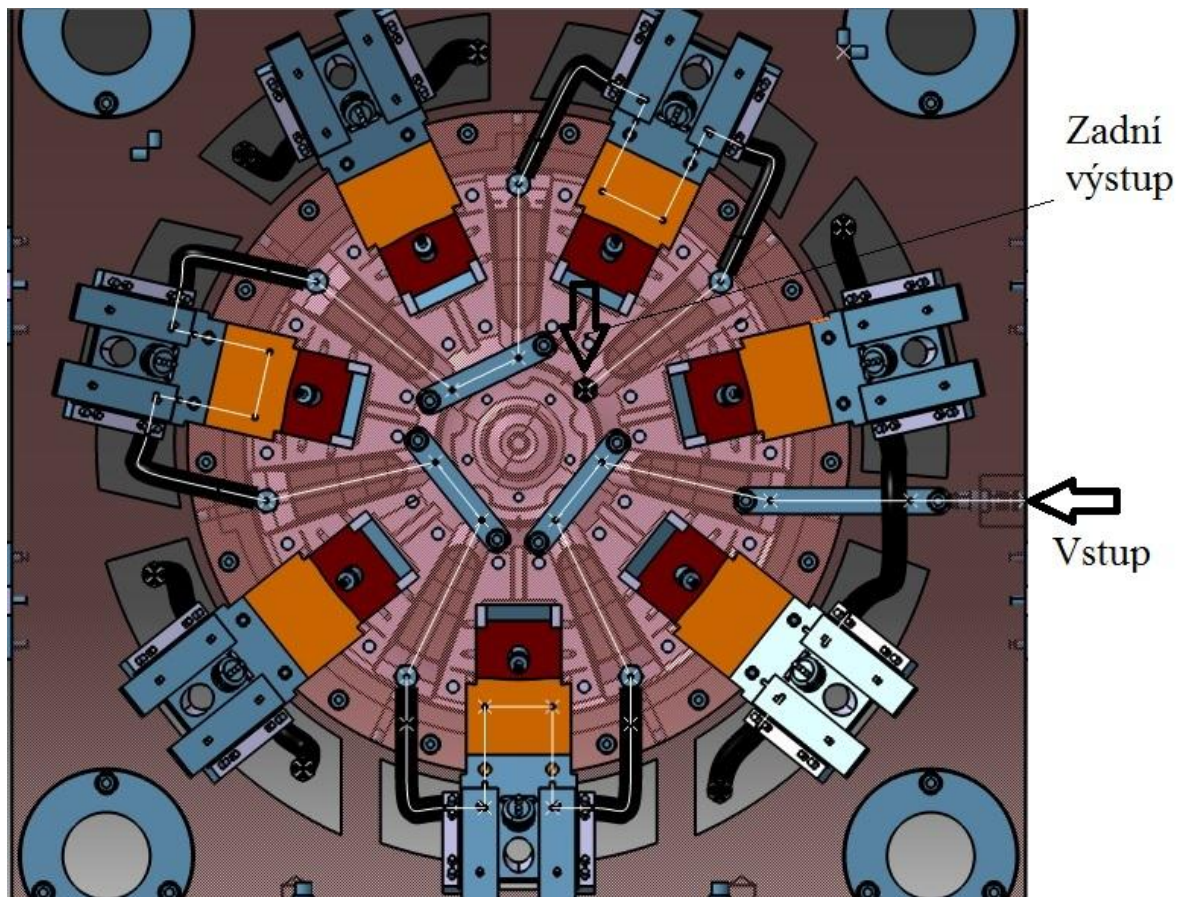
Obr. 48. Temperace tvárnice

Trajektorie kanálů má spirálový charakter. Temperační médium vstupuje do kanálů 40 mm od středu formy, jelikož v těchto místech bude nárůst teploty co největší díky vyhřívané trysce. Profil kanálů je půlkruhovitý o průměru 8 mm. Vyrvané přívodní a odvodní kanály mají stejný průměr 8 mm. Tyto kanály procházejí přes upínací desku, temperační těsnicí vložku do tvárnice. Přechody mezi nimi jsou utěsněny O-kroužky. Temperační těsnicí vložka má na svém okraji podobné středící výstupky jako tvárnice, pro její správné umístění. Všechny desky jsou spojeny čtyřmi šrouby M24x40.

8.6.2 Temperace levé strany

Temperování levé strany formy je poměrně náročnější problém z hlediska komplikovanějšího propojení temperačních kanálů, vzhledem ke zvolenému způsobu odformování dílce a

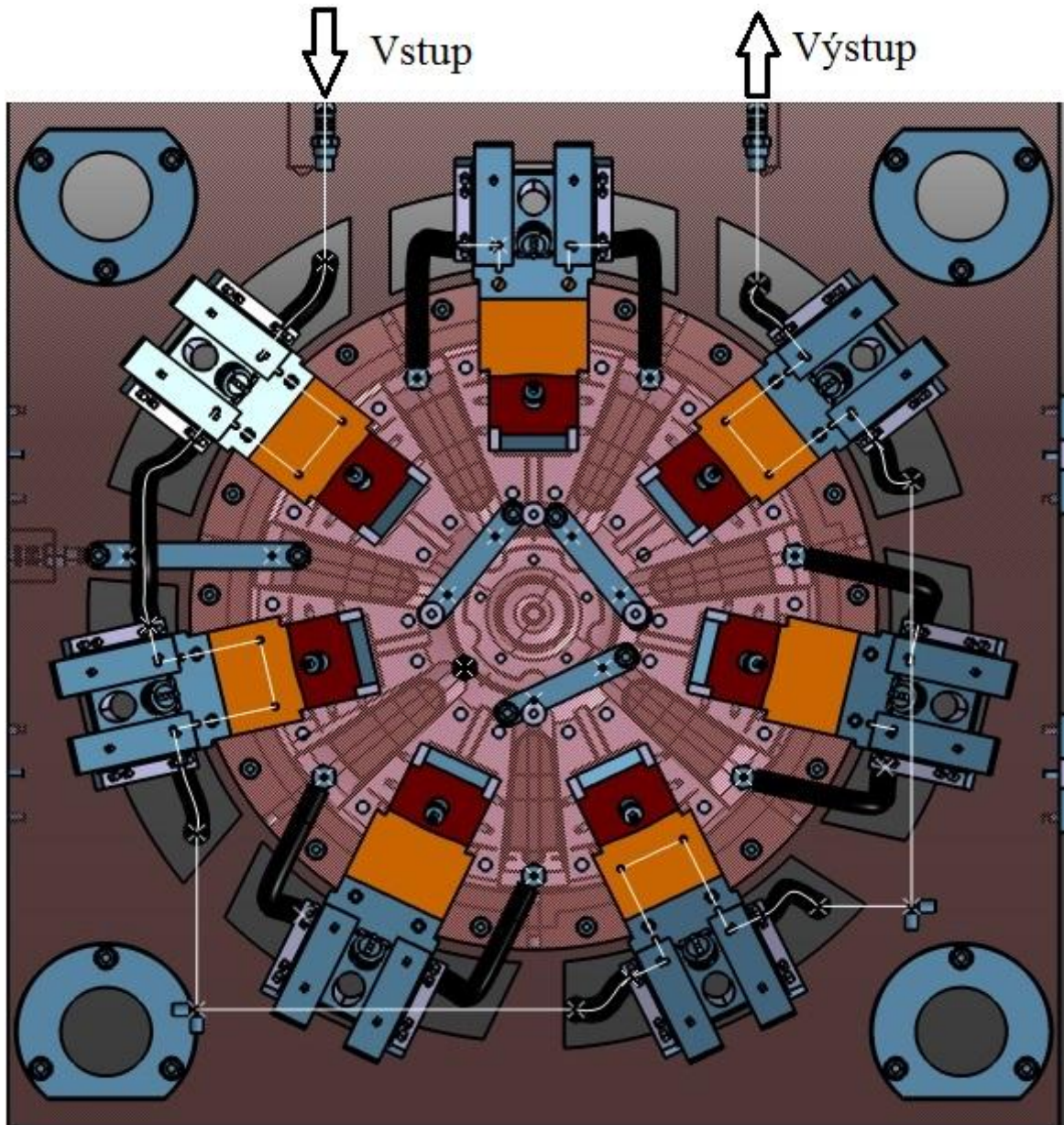
vyhazovacího systému. Vše je řešeno tak, aby byla zajištěna bezproblémová funkce vstříkací formy. Temperace levé strany se skládá ze dvou samostatných okruhů.



Obr. 49. Trajektorie prvního okruhu

Přívod temperačního média začíná v rychlospojce našroubované v kotevní desce, dále pokračuje vrtaným kanálem o průměru 8 mm přes obtokový element do tvárníku. Tento obtokový element je vybaven těsnícími prostředky, tedy nemůže dojít ke ztrátě temperačního média mezi přechodem kotevní desky a tvárníku. Vyvrtané trajektorie kanálů jsou rozmístěny mezi zadní zobáčky, aby docházelo k chlazení i vystouplých profilů. První okruh je napojen na tři horní pohybové kostky. Propojení je realizováno pomocí hadic. Každá hadice má dostatečně potřebnou délku k tomu, aby nedošlo při pohybu horní kostky k vytržení z přípojek. Na zadní výstup je při montáži napojena hadice z temperační jednotky. Hadice má dostatečný prostor pro svůj pohyb mezi vyhazovacím systémem a výstupem.

Tento způsob propojení se dotýká pouze třech horních kostek. Zbývající čtyři kostky jsou napojeny na druhý samostatný okruh, který je opět vzájemně propojen hadicemi. (Obr. 50.).



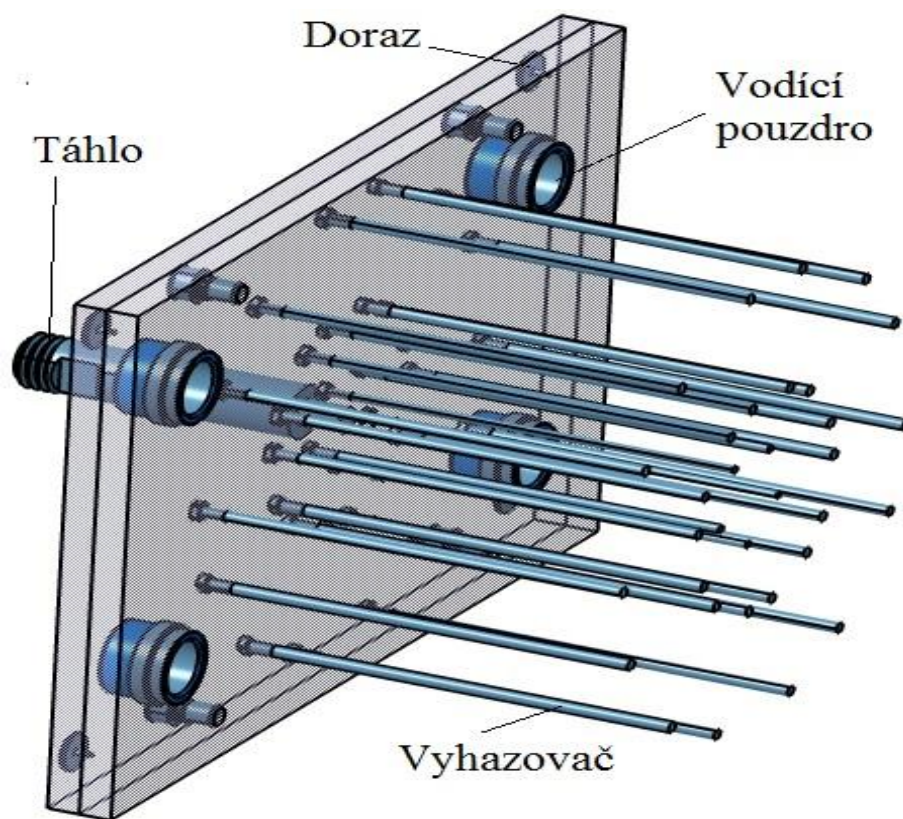
Obr. 50. Trajektorie druhého okruhu

Je použito i vnitřních ucpávek k dosažení požadované dráhy, tak aby se nevytvořily mrtvé místa v kanálech. V deskách jsou vyfrézovány dostatečně velké otvory pro umístění propojovacích hadic a jejich pohyb.

Jako temperační médium, byla zvolena voda na základě zvoleného vstřikovaného materiálu a procesních podmínek (teplota taveniny, teplota formy). Temperační systém byl podroben tokové analýze a podrobnější popis bude uveden níže.

8.7 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém je navržen tak, aby dílec z dutiny formy byl vytlačen rovnoměrně a nedocházelo k nežádoucím deformacím dílce. Je složen ze dvou vyhazovacích desek kotevní a opěrné. V kotevní desce jsou umístěny válcové vyhazovače (Obr. 51.).



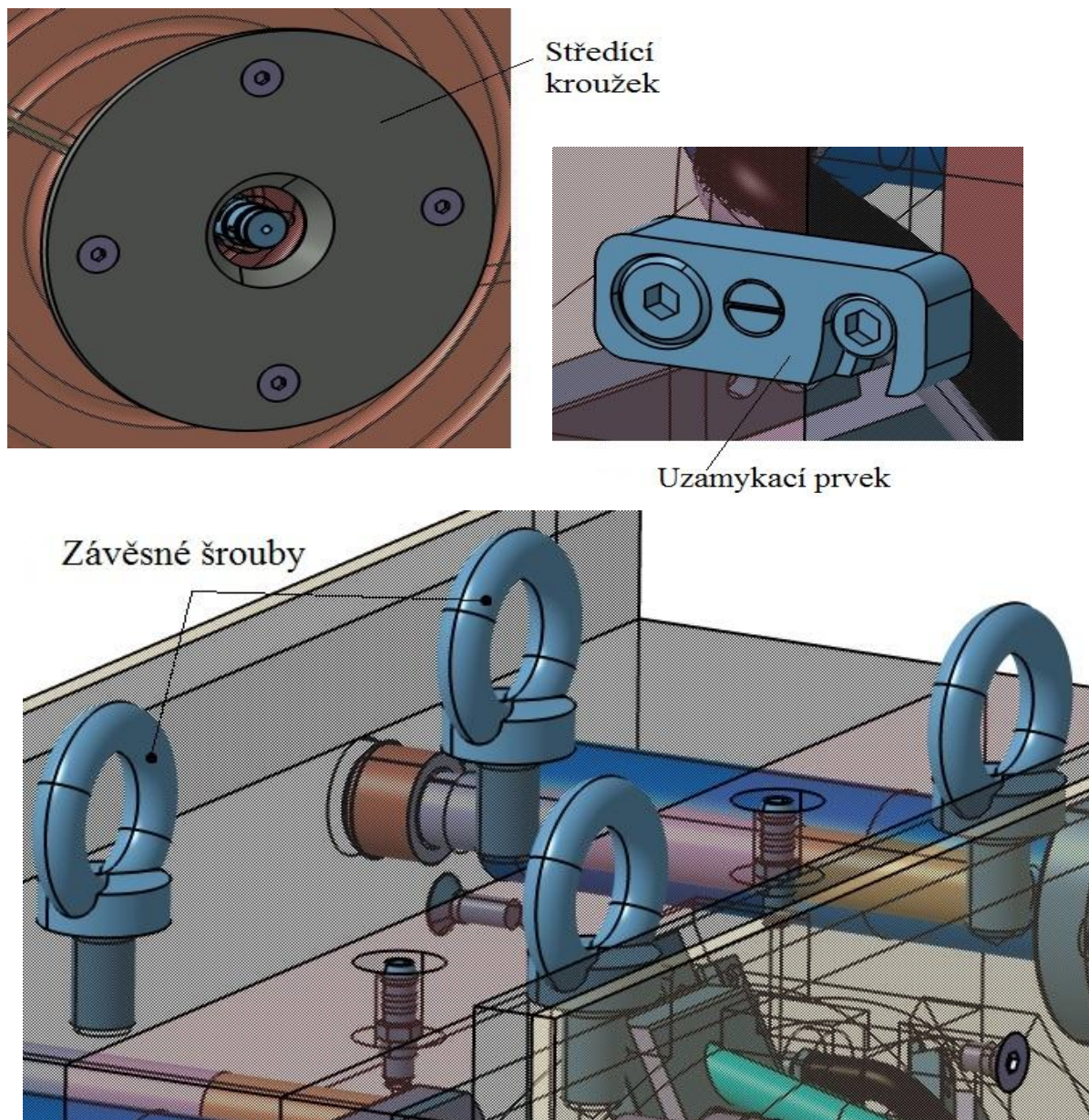
Obr. 51. Vyhazovací systém

Rozvržení vyhazovačů je umístěno na třech roztečných kružnicích. Na prvních dvou je 27 válcových vyhazovačů o průměru 8 mm a na poslední je 5 vyhazovačů průměru 6 mm. Konce vyhazovačů jsou obrobeny na požadovaný profil styčné plochy. Kvůli této úpravě je zapotřebí také vyfrézovat středící plochy na osazení, aby nedocházelo k pootočení a k následným deformacím výstřiku. Ze zadní strany opěrné vyhazovací desky jsou přišroubovány v rozích čtyři dorazové kroužky. Celý systém je spojen šrouby M16x22 a pohybuje se na vodících čepech ukotvených v upínací desce. Pohyb, který je pouze dopředný a vratný

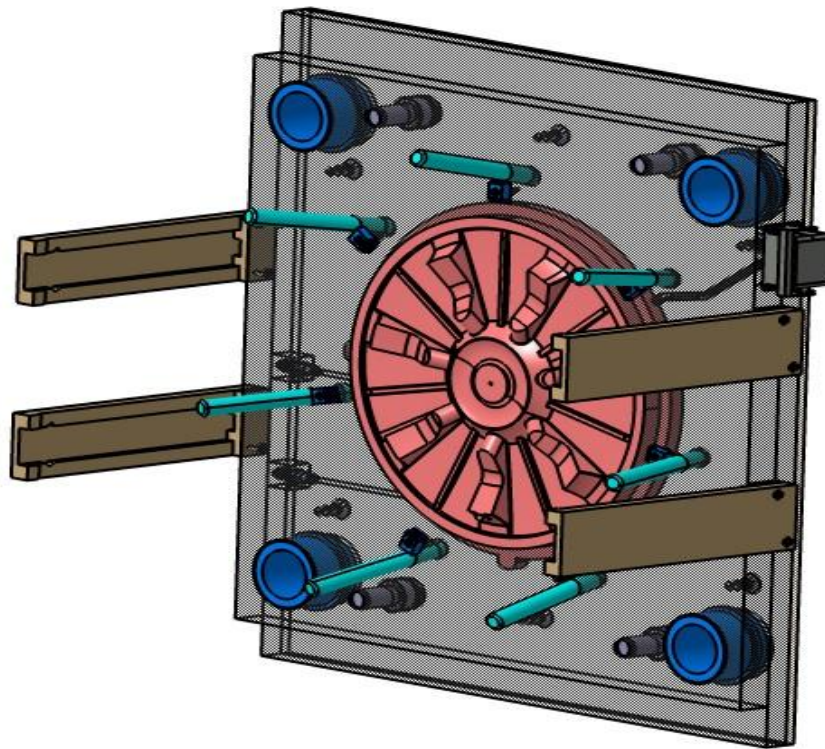
je zajišťován táhlem. Dílec z formy pak bude odebrán robotem s přísavkami, položen na vodící pás směřující na další technologické zpracování.

8.8 Manipulační prvky formy

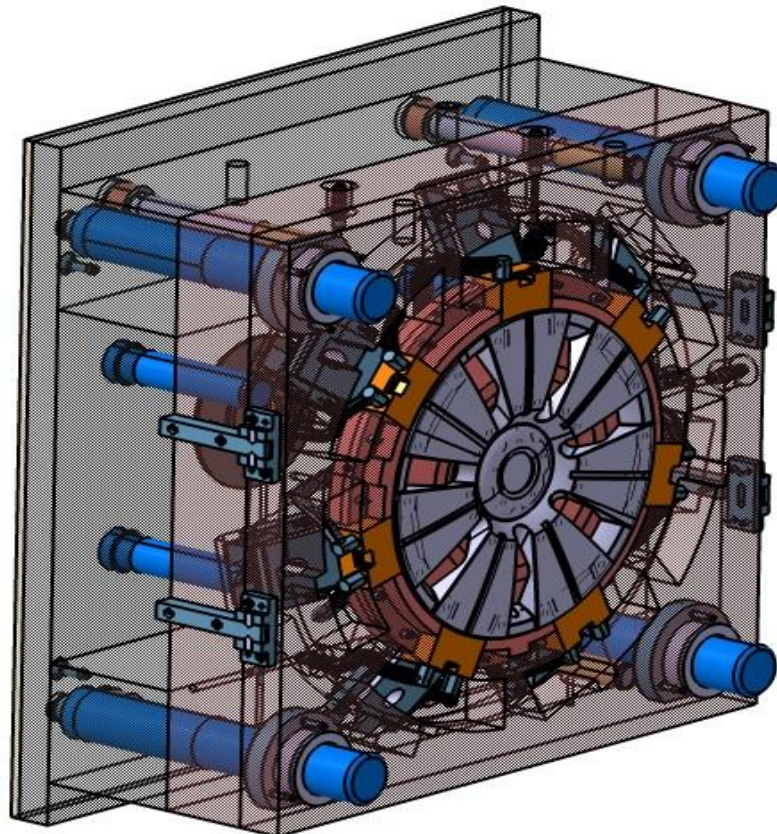
Vstřikovací forma je opatřena i prvky zajišťující snadnou a bezpečnou přepravu formy jeřábem. Na levé straně jsou přišroubovány v kotevní desce a v rozpěrce závěsné šrouby. Slouží k přepravě ke vstřikovacímu stroji ze skladu. Dále z boční strany je přišroubováno uzavírací zařízení, aby nedošlo k nežádoucímu otevření, při manipulaci. Pro vystředění na vstřikovacím stroji slouží středící kroužky o průměru 175 mm.



Obr. 52. Manipulační prvky formy



Obr. 53. Pravá strana formy



Obr. 54. Levá strana formy

9 TOKOVÉ ANALÝZY

Tokové analýzy a kontrola vhodnosti navržené vstřikovací formy proběhl v softwaru Moldflow, který napomáhá vyhodnotit a optimalizovat konstrukci plastových dílů a vstřikovacích forem. Zjišťuje potenciální vady za pomoci predikce chování taveniny uvnitř tvarové dutiny. Součástí softwaru je také databáze polymerních materiálů, charakteristických pro technologii vstřikování. Analýza nám slouží pro simulaci celého procesu, kde jsou řešeny problémy plnění, temperance, tečení a deformací.

Výsledky analýzy v Moldflow:

- výsledky toku (plnění, dotlak, studené spoje, vzduchové kapsy, atd.),
- výsledky temperance (teplota temperačních kanálů, teplota dílce, atd.),
- výsledky deformací (celková deformace, smrštění, atd.).

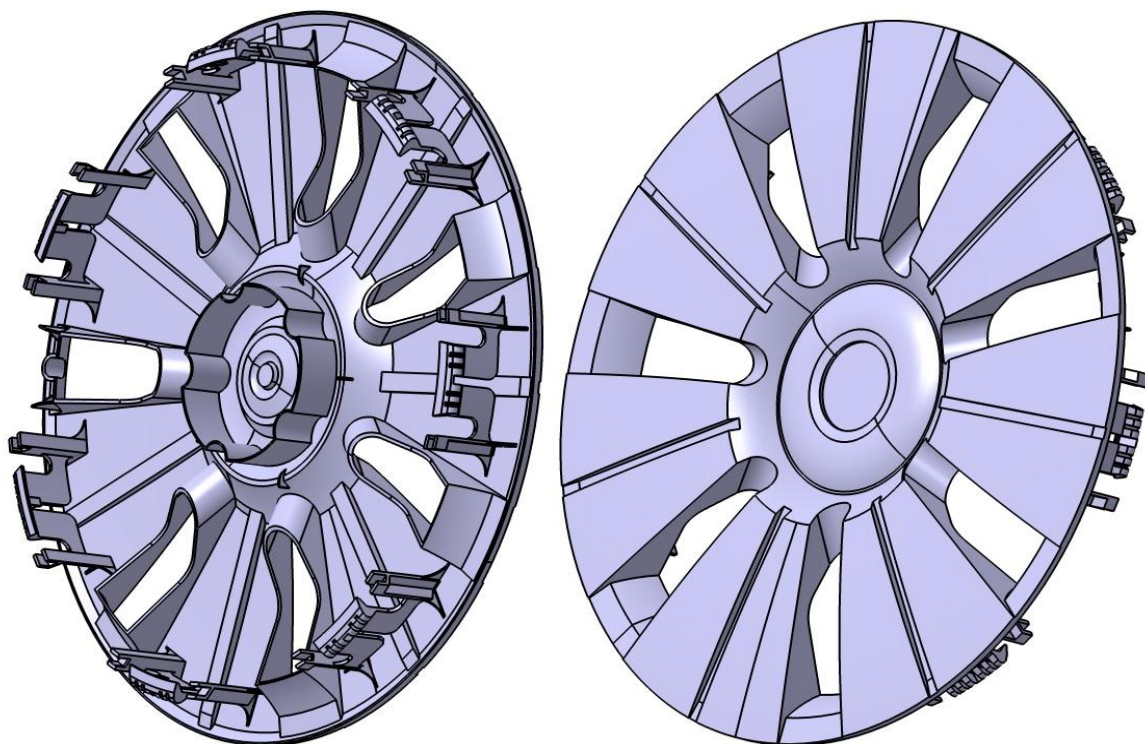
Konkrétní výsledky jsou zobrazeny a popsány níže. Rychlost výpočtu je závislá na počtu elementů vygenerovaných při tvorbě sítě modelu, tedy čím více elementů, tím déle bude výpočet probíhat, ale výsledky budou o něco přesnější.

9.1 Dílec na analýzu

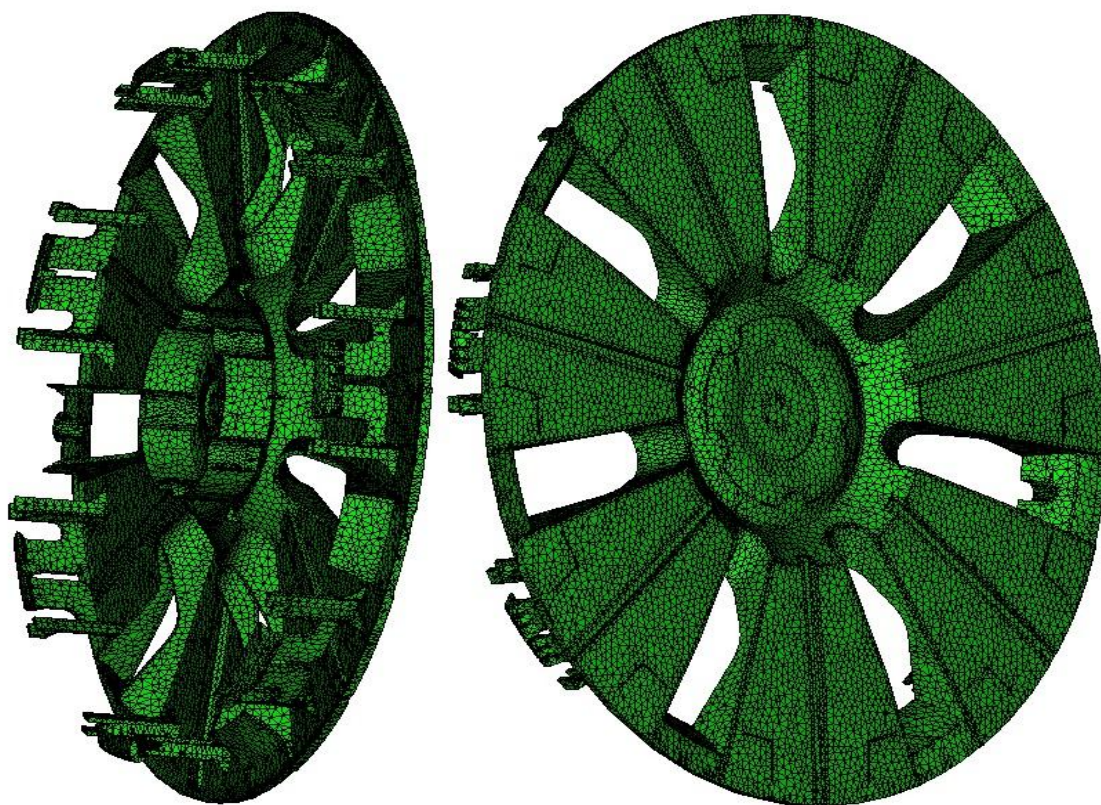
Vymodelovaný dílec a patřičně upraven pro analýzu (Obr. 55.), byl přeuložen s příponou *.STL, kvůli zajištění bezproblémového importu do softwaru Moldflow. Zde byla vytvořena Dual Domain síť (Obr. 56.) s velikostí elementu 2,5 mm. Vygenerovaná síť se musela upravit, tak aby Aspect ratio nepřekračovala dovolenou hodnotu 15. Po úpravě sítě se hodnota aspekt ratioa přiblížila číslu 7,9 s procentuální podobností 91,6%, která je vyhovující ke spuštění analýzy Cool + Fill + Pack + Warp.

V programu CATIA V5R18 byl vymodelován výrobek ve třech verzích:

- I. verze uložení: model bez úprav (kopie zadaného výrobku),
- II. verze uložení: model pro vytvoření tvarové dutiny (zvětšený o smrštění),
- III. verze uložení: model pro CAE aplikaci (bez rádiusů, sražených hran, apod.).

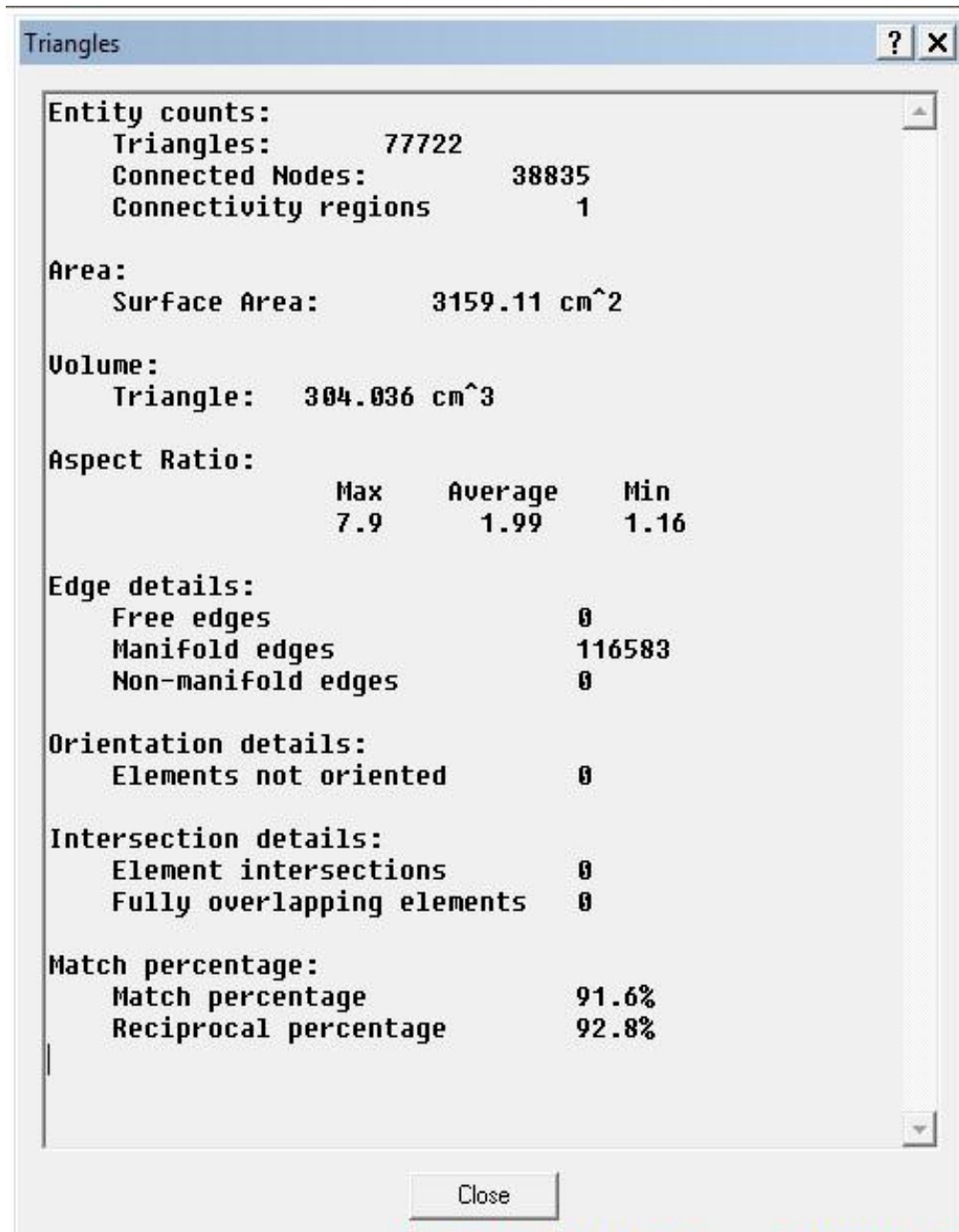


Obr. 55. 3D dílec pro analýzu



Obr. 56. Vygenerovaná dual domain síť

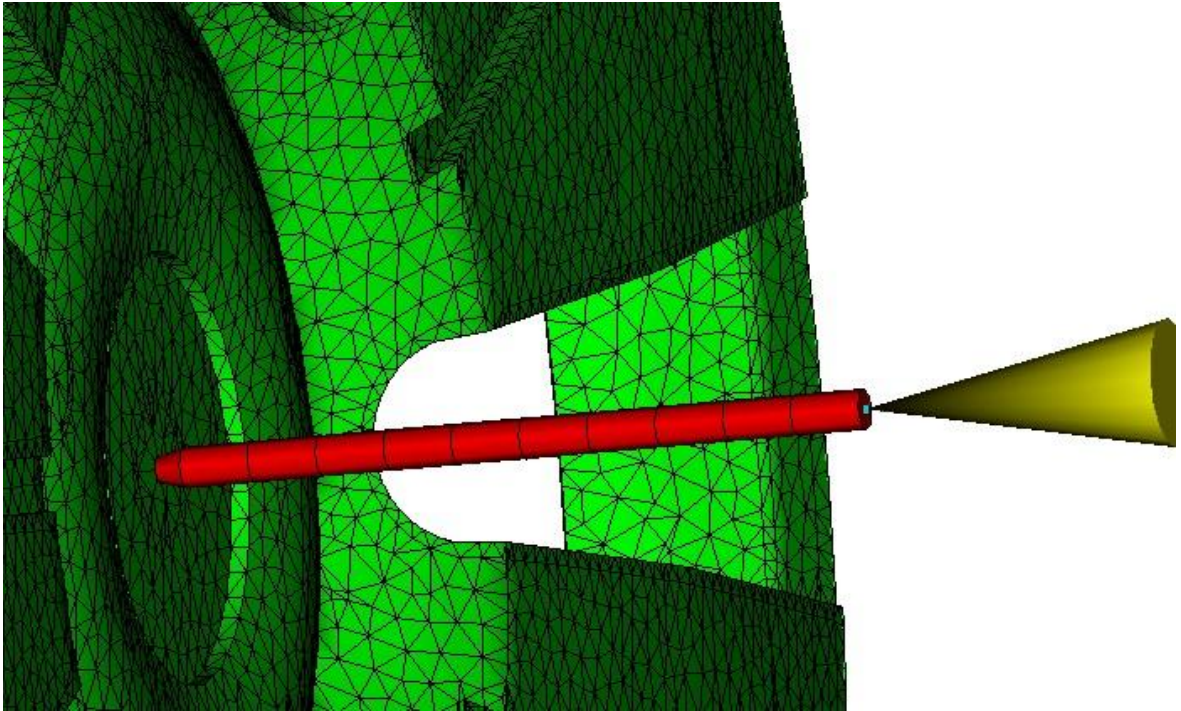
Vygenerovaná síť se následně podrobí kontrole její kvality. Kvalita sítě je velmi důležitá z hlediska přesnosti výpočtu. K tomu, abychom se mohla považovat síť za vyhovující je potřeba dodržet následující podmínky: Free edges (volné hrany), elements not oriented (nevhodně orientované elementy), element intersections (protínající se elementy) a fully overlapping elements (překrývající se elementy) u těchto zmíněných bodů se musí vyskytovat nula.



Obr. 57. Statistika sítě

9.2 Nadefinování vtokového systému

Trajektorie vtokového systému je vytvořena pomocí křivky, která zobrazuje střednici vyhřívané trysky. Přeuloženy s příponou *.IGS, pro kompatibilitu se softwarem. Rozměry a délka dráhy trysky jsou nadefinovány podle rozměrů z katalogu HASCO.



Obr. 58. Vtokový systém pro analýzu

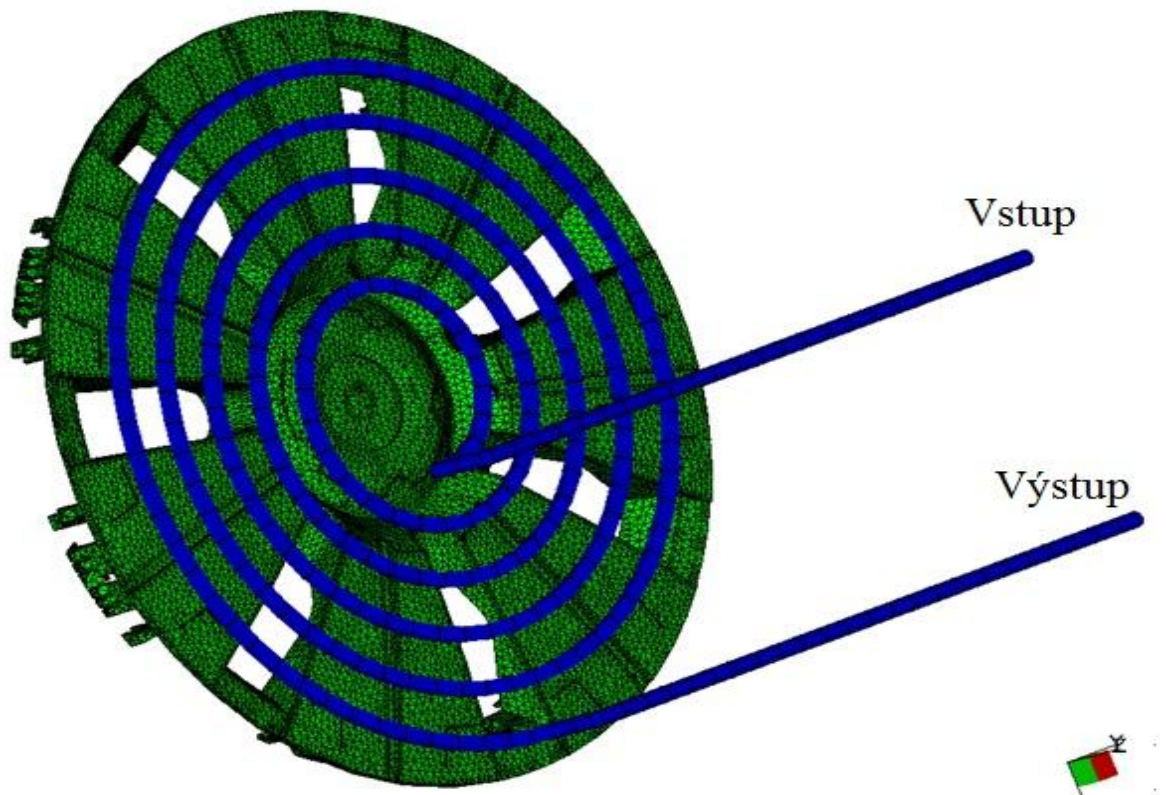
Připravená trajektorie je vysítována beam elementy a části vtoku správně nadefinovány. Ústí vtoku jako (hot gate) a rozvodný kanál (hot sprue). V následující tabulce jsou zobrazeny patřičné rozměry.

Tab. 8. Rozměry trysky

Název	Hodnota	Jednotky
Délka	80	[mm]
Rozvodný kanál	4,5	[mm]
Vtokové ústí	2,8	[mm]

9.3 Nadeřinování temperačního systému

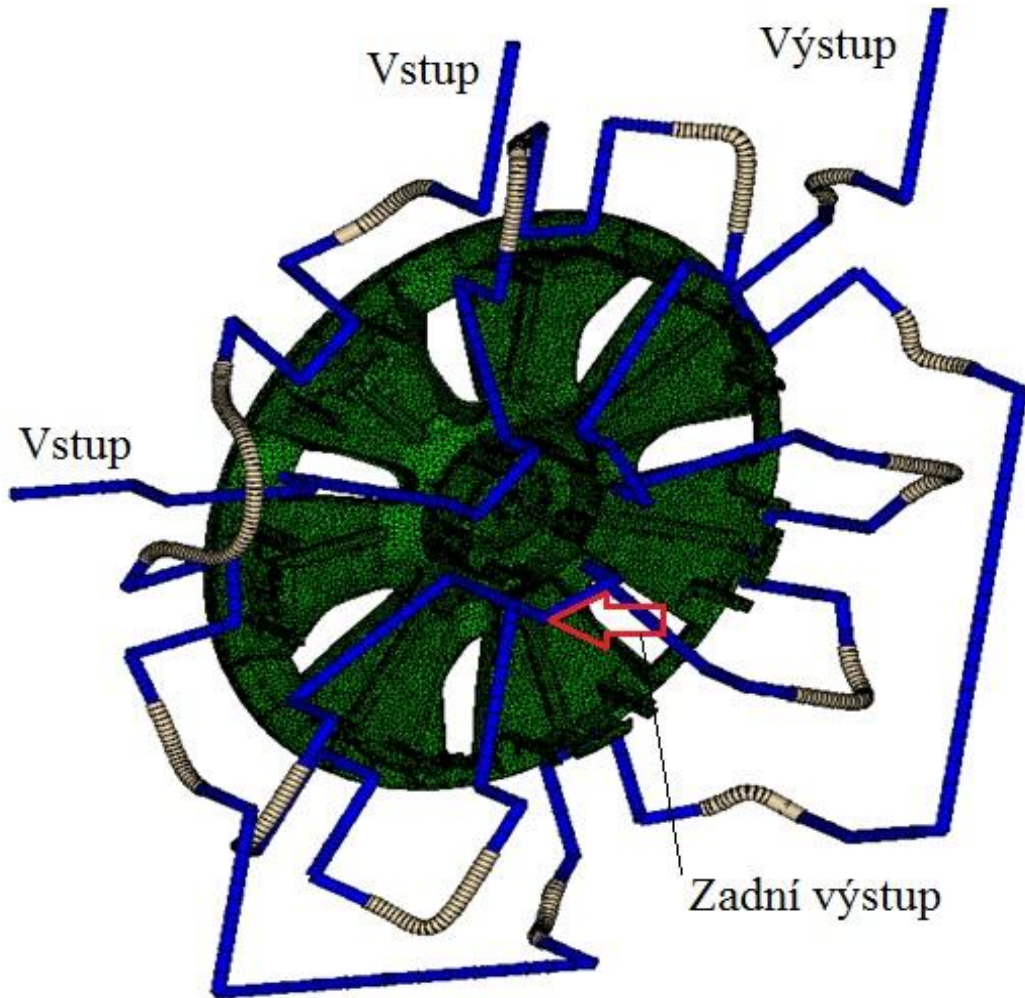
Úkolem temperace je udržení konstantního teplotního pole formy, dosažení optimálně krátkého cyklu vstřikování, odvod tepla z dutin formy. Temperační systém byl stejně jako vtokový vytvořen pomocí trajektorií, tak aby co nejefektivněji bylo dosaženo ochlazení vstřikovaného dílce. Temperační systém se skládá ze třech samostatných okruhů pro tvárnici a tvárník dvě. Tvárnice má jeden okruh a tvárník dvě. Průměr kanálů byl zvolen podle zásad správné konstrukce temperačních systémů. Byl zvolen průměr kanálů 8 mm. Je vhodnější zvolit větší počet menších kanálů s malými roztečemi, než naopak. Kolem dutiny formy se kanály rozmístí rovnoměrně a všude ve stejné vzdálenosti. Chladicí kapalina by měla proudit od nejteplejšího k nejchladnějšímu místu formy.



Obr. 59. Nadeřinován temperační okruh tvárnice

Průřez kanálů na spirálové trajektorii je půlkruhovitý o průměru 8 mm. Přívodní kanály mají stejný rozměr.

Temperace na levé straně se skládá ze dvou okruhů. Stejným způsobem jsou navoleny podmínky k vytvoření beam elementů, avšak s tím rozdílem, že některé z křivek jsou nadefinovány jako Hose (spojovací hadice). Průřezy kanálů jsou kruhové o průměru 8 mm.



Obr. 60. Nadefinovaný temperační okruh tvárníku

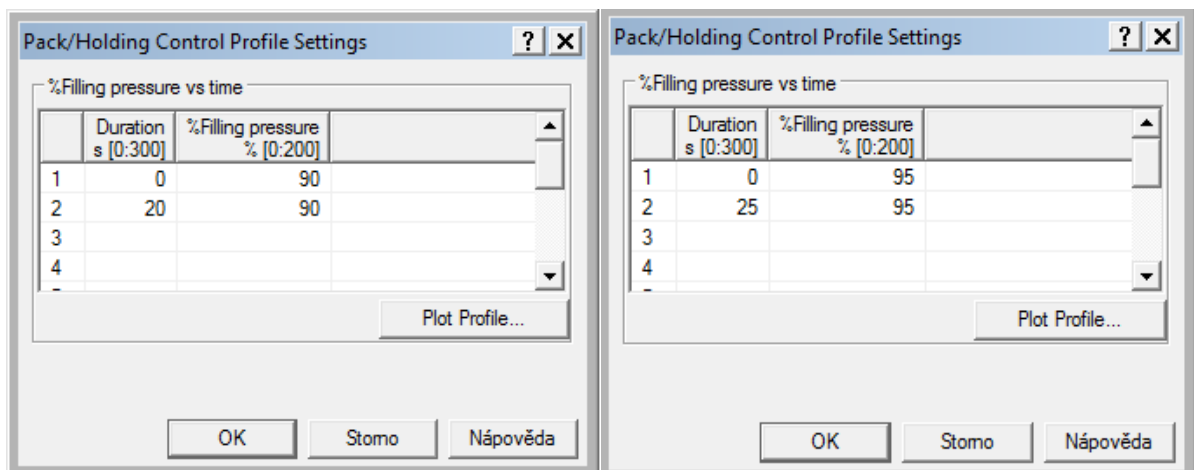
Jako temperační médium je zvolena voda o vstupní teplotě 70°C na levé i pravé straně formy. Výhodou tohoto temperačního média je vysoký koeficient přestupu tepla, nízká viskozita, nízká cena a ekologicky nezávadná. Nevýhodou je naopak to, že je použitelná pouze do 90°C , možný vznik koroze a vodního kamene. Vhodnost temperačního média je podrobena analýze.

9.4 Procesní podmínky

Procesní podmínky byly voleny s ohledem na materiálovou charakteristiku a doporučené hodnoty některých veličin výrobcem (Tab. 9.). Poté je spuštěna analýza typu cool-fill-pack-warp. V procesních podmínkách je možnost velmi detailního nastavení mnoha různých veličin. V některých případech je zanecháno základního nastavení a doporučených hodnot z materiálového listu.

Tab. 9. Procesní podmínky

Název	PA66 M17%		ABS/PA6 GL20%	
	hodnota	jednotky	hodnota	jednotky
Teplota formy	80	[°C]	60	[°C]
Teplota taveniny	280	[°C]	260	[°C]
Vyhazovací teplota	197	[°C]	95	[°C]
Teplota temp. média	70	[°C]	50	[°C]
Přepnutí na dotlak	99,8	[%]	99	[%]

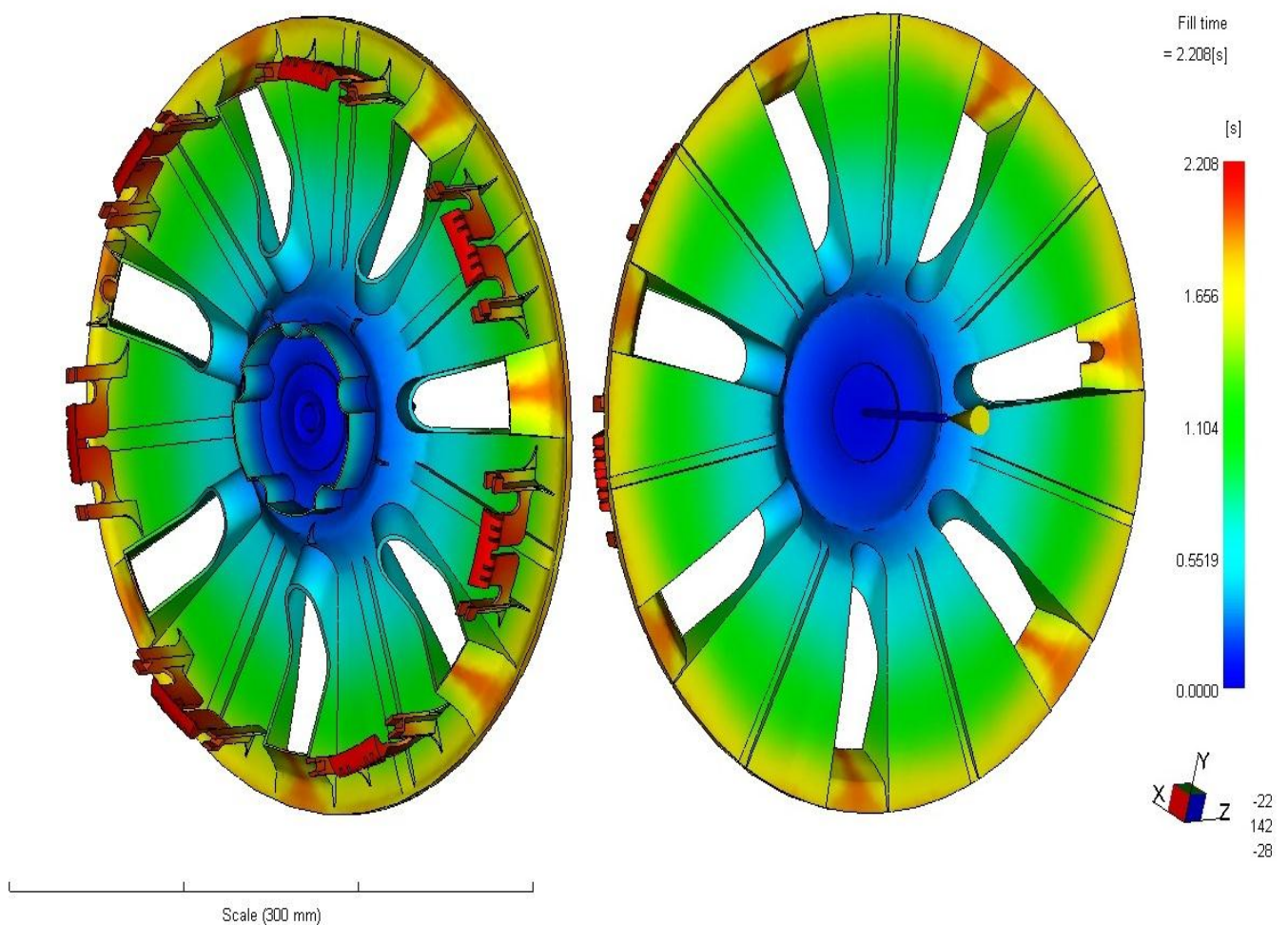


Obr. 61. Nastavení dotlaku a) PA66 M17%, b) ABS+PA6 GL20%

Po celkovém nastavení procesních podmínek, nadefinování temperačních a vtokových systémů, zvolení materiálu je spuštěna analýza, která vypočetla následující výsledky.

9.5 Analýza plnění

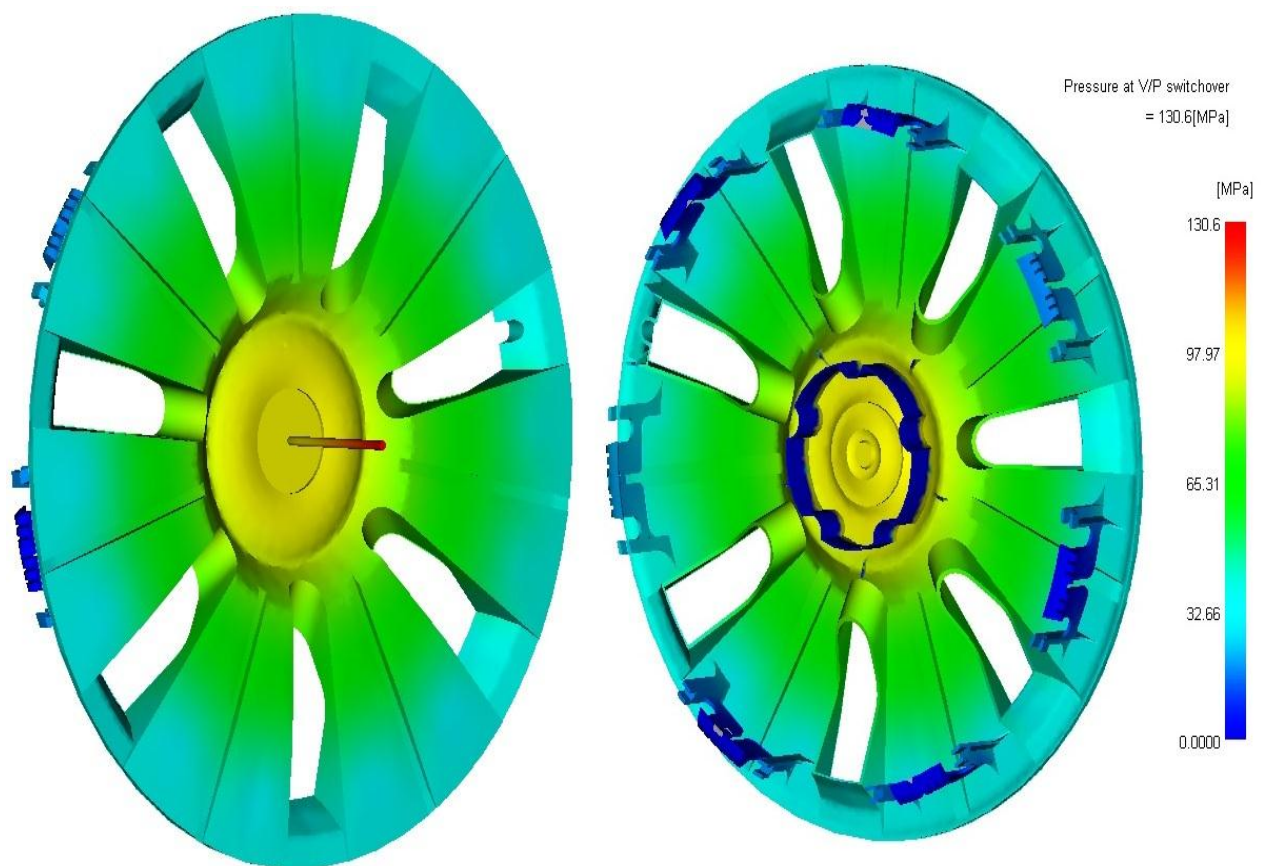
Výsledkem analýzy plnění, je doba, za kterou se v celém svém objemu zaplní dutina formy polymerní taveninou. Červená barva charakterizuje místa, která budou zaplněna jako poslední. Analogicky je to u modrého zbarvení. V tomto případě je čas plnění 2.208 [s]. Může také nastat situace, že při zobrazení výsledku se na dílci objeví šedá místa. Jednalo by se o nedotečená místa v dutině formy. Pro vyřešení tohoto problému je několik možností. První z nich je změnit typ polymeru nebo změnit procesní podmínky vstřikování. Jestliže je zadáný typ materiálu pro vstřikování a nemůže dojít k jeho změně, musí se zvýšit teplota taveniny, čím se sníží odpor taveniny vůči toku. Další řešení se naskytuje změnou teploty formy, její zvýšením, nebo také prodloužením doby vstřikování. Musí se však dbát opatrnosti, aby se nepřekročila dovolená mez pro polymer. Tento problém u zvoleného materiálu pro kryt kola nenastal.



Obr. 62. Doba plnění

9.6 Přepnutí na dotlak

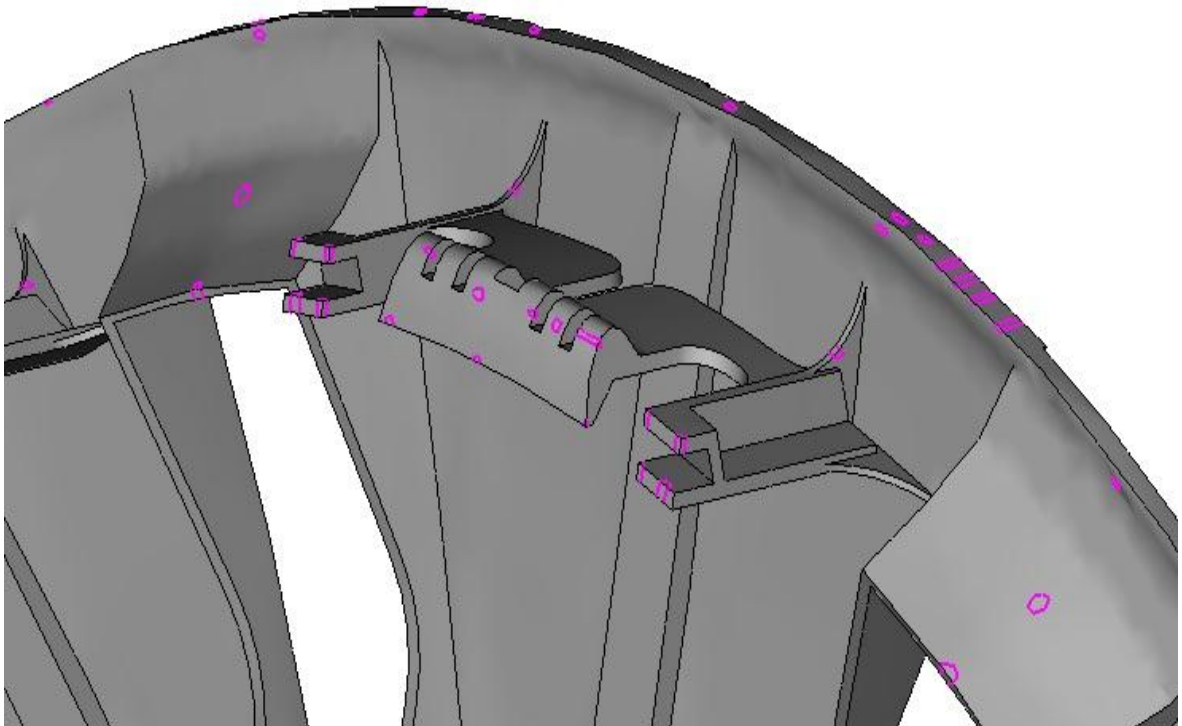
Při zadávání procesních podmínek bylo nastaveno, že při zaplnění taveninou dutiny formy z 99,8% se bude přepínat na dotlak. Nezatečená místa se zaplní až po přepnutí na dotlak. Velikost dotlaku by neměla překročit maximální hodnotu vstřikovacího tlaku. Růst dotlaku vede ke kompenzaci deformací v důsledku termálních kontrakcí a krystalizace. Nevýhodou je vznik zamrzlých napětí a velké orientace. Delší doba dotlaku vede k významné redukci smrštění. Při použití studeného vtokového systému je limitem doby dotlaku zatuhnutí vtokové vložky, však v tomto případě je použit vyhřívaný vtokový systém. Největší tlak se nachází v místě nejbližší trysky vstřikovacího stroje (přibližně 130.6MPa). Nejmenší tlak je ve výrobku v místě, kde tavenina zaplní dutinu formy jako poslední. Pro celkové zaplnění dutiny je v procesních podmínkách nastaven dotlak 90% ze vstřikovacího tlaku po dobu 20 [s]. Dotlak však nemusí být vůbec zařazen do vstřikovacího cyklu.



Obr. 63. Přepnutí na dotlak

9.7 Vzduchové kapsy

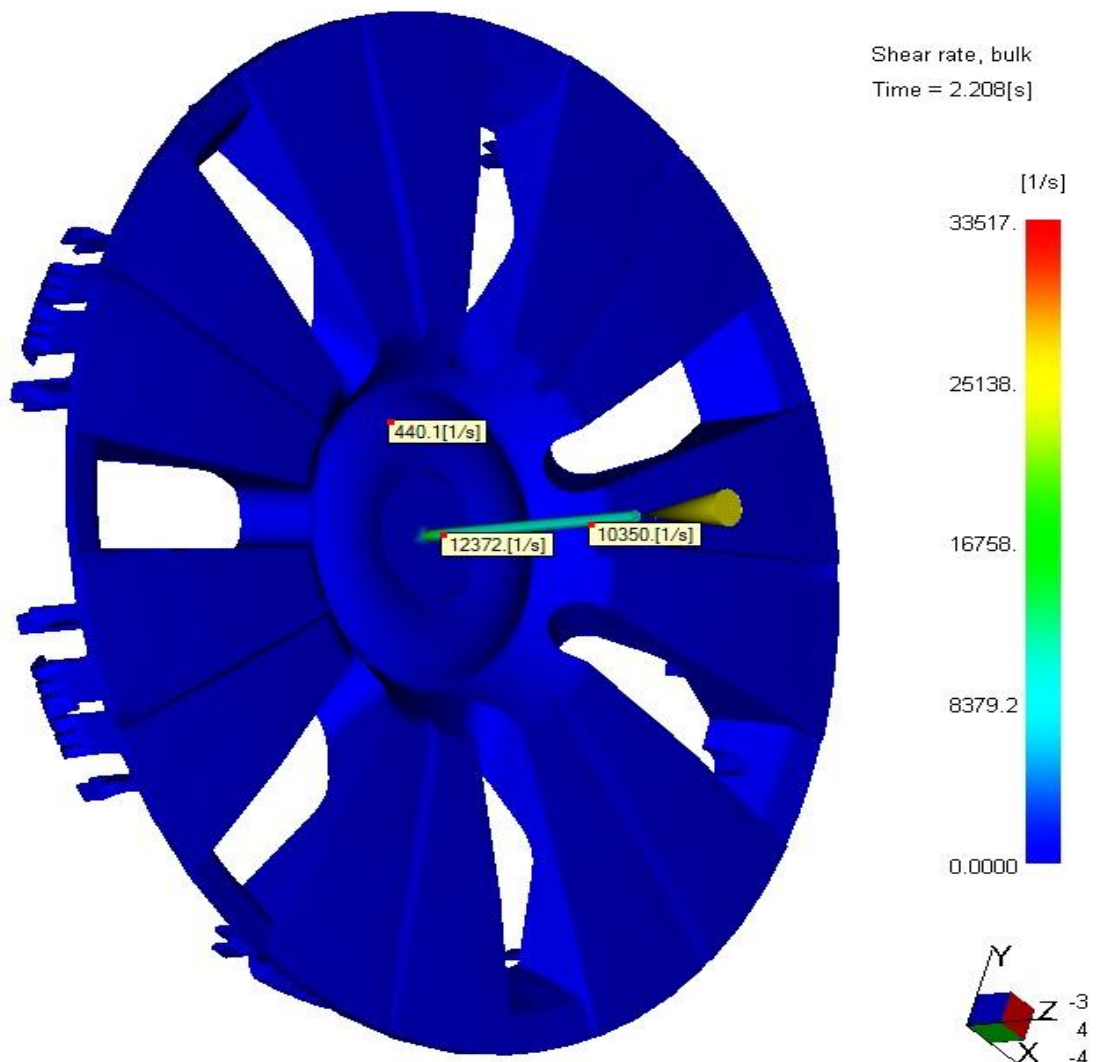
Při plnění dutiny formy dochází k vytvoření tzv. vzduchových kapes. Tento efekt je nechtěný, jelikož jejich výskyt ovlivňuje vlastnosti výrobku. Tyto kritická místa jsou znázorněna fialovými ostrůvky na dílci. Vzduch se uzavírá tam, kde se spojují dvě čela taveniny nebo končí svůj tok. Při konstrukci formy s touto vadou se musí počítat a snažit se navrhnout vstříkovací formu tak, aby vzduchové kapsy vznikaly na nepohledové části výrobku. Pokud nelze kapsy odstranit z konstrukčního hlediska, problematická místa se dají řešit pomocí odvzdušnění. V některých případech se vzduch akumuluje při dělicí rovině, může dojít k odvzdušnění přes vůli u vyhazovačů (0,02-0,08mm), dělicí rovině hlavní nebo tvořenou posuvnými jádry. Určení místa pro odvzdušnění je obtížně zjistitelná. Při nesprávném odvzdušnění a velké rychlosti plnění, může dojít ke spálení výrobku tzv. Dieselův efekt.



Obr. 64. Vzduchové kapsy

9.8 Rychlost smykové deformace

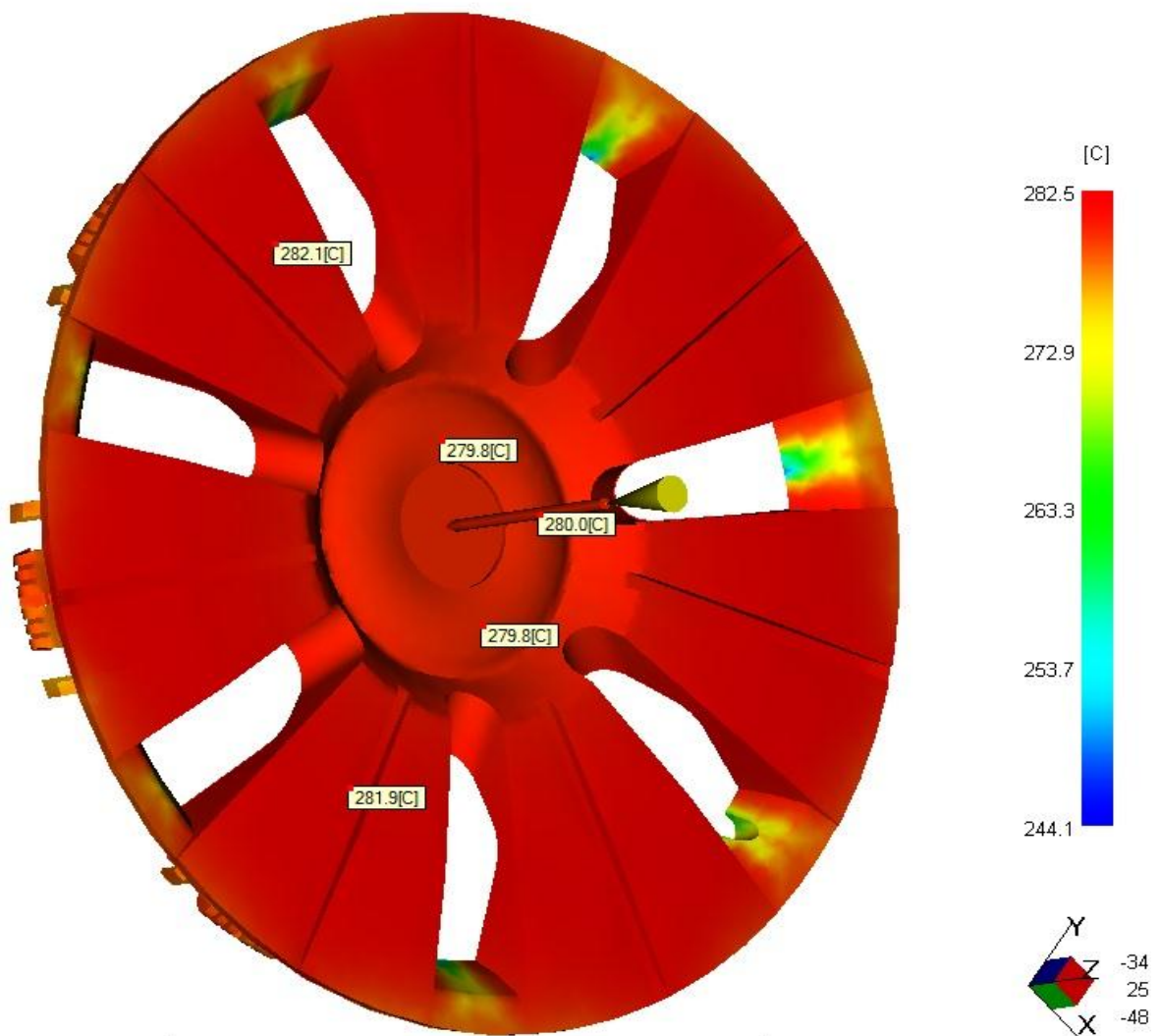
Pro polymerní materiál PA66 M17% je předepsaná maximální rychlost smykové deformace 60000 1/s. V průběhu vstřikovacího cyklu není překročena tato hodnota. Z (Obr. 65.) je patrné, že největší smykové rychlosti se nachází v kanálu horké trysky. Rychlost smykové deformace se zvětšuje, dochází-li k zúžení kanálů trysky. Tedy maximální hodnota se pravděpodobně bude nacházet v tokovém ústí. Při překročení by mohlo dojít k degradaci materiálu, změně vlastností výrobku.



Obr. 65. Rychlost smykové deformace

9.9 Teplota taveniny

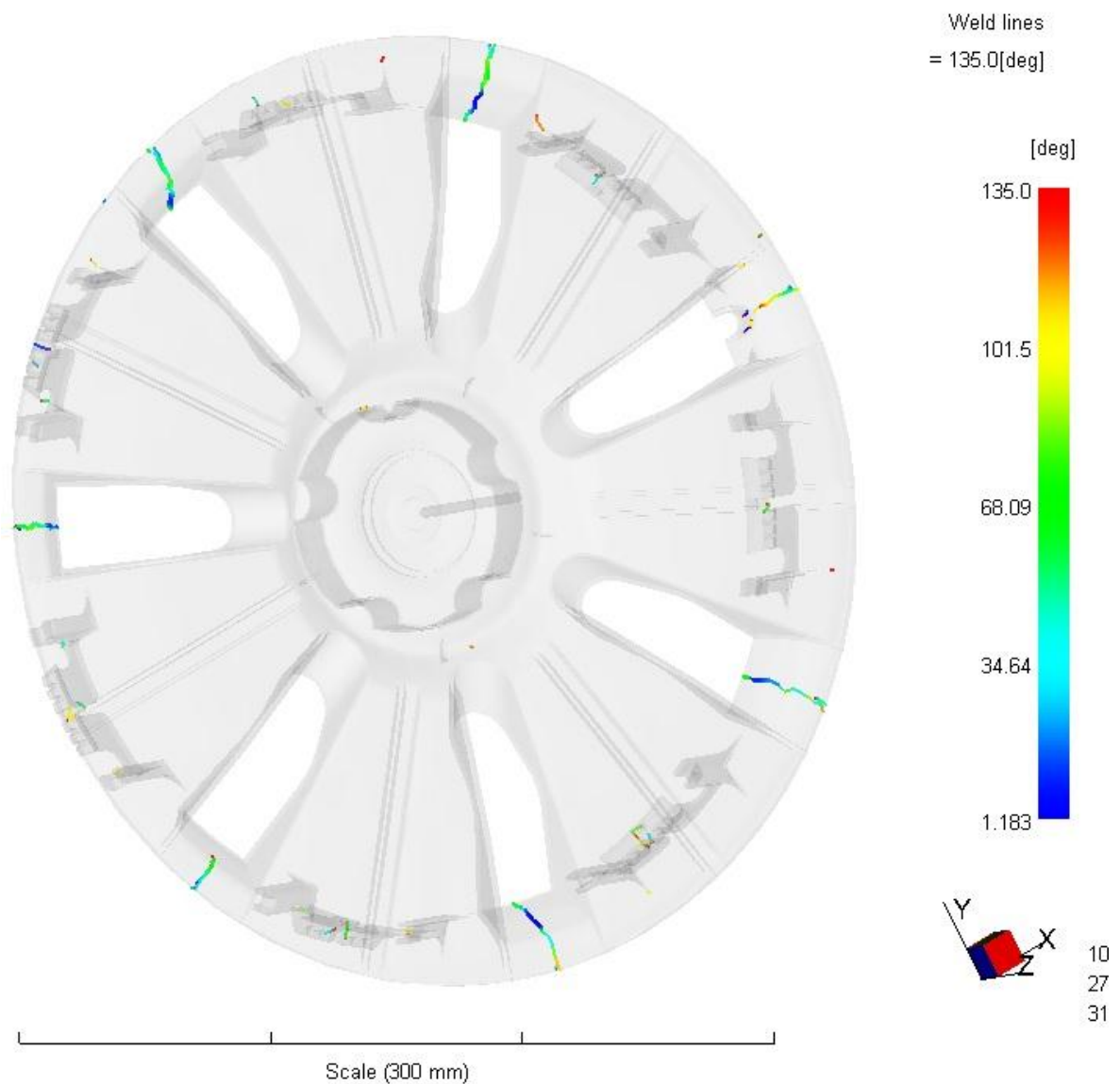
Z doporučených teplot je rozsah teploty taveniny 270 – 300°C. V průběhu vstřikování by nemělo dojít k překročení minimální a maximální hodnoty. Jestliže tavenina teče kanálem, může dojít ke zvýšení teploty vlivem disipace (přeměna mechanické energie na tepelnou). Také by mohlo dojít k poklesu teploty a k nežádoucímu zatuhnutí taveniny. V tomto případě by došlo k neúplnému zaplnění dutiny formy. Jak je patrné na (Obr. 66.), teplota taveniny se pohybuje mezi těmito hodnotami, tedy je zřejmé, že oba dva extrémní neohroží.



Obr. 66. Teplota taveniny

9.10 Studené spoje

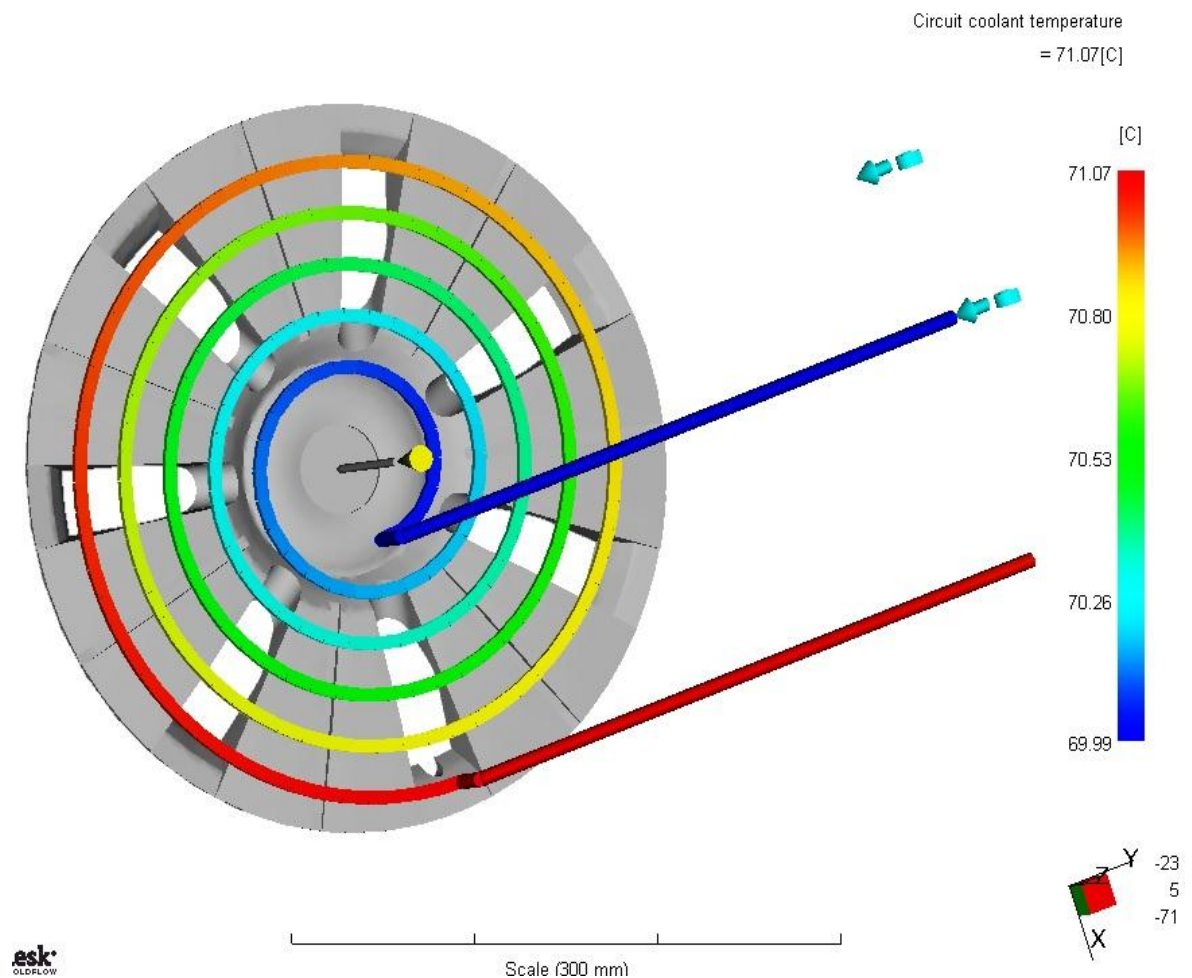
Na (Obr. 67.) je viditelný výskyt míst, kde by teoreticky mohly vzniknout studené spoje – weld lines. Vznik studených spojů je nežádoucím prvkem, ke kterému dojde spojení dvou čel tavenin. Je výsledkem pomalého difúzního procesu, který je řízen tepelným pohybem. V těchto místech může dojít k tomu, že dílec má nízkou pevnost, pohledové vady. Eliminaci studených spojů není vždy možné, proto je snaha je přesunout tam, kde jejich výskyt nebude nadále omezovat dílec pro jeho využití. Řešení spočívá hlavně ve změně konstrukce formy a zejména umístění vtokového systému.



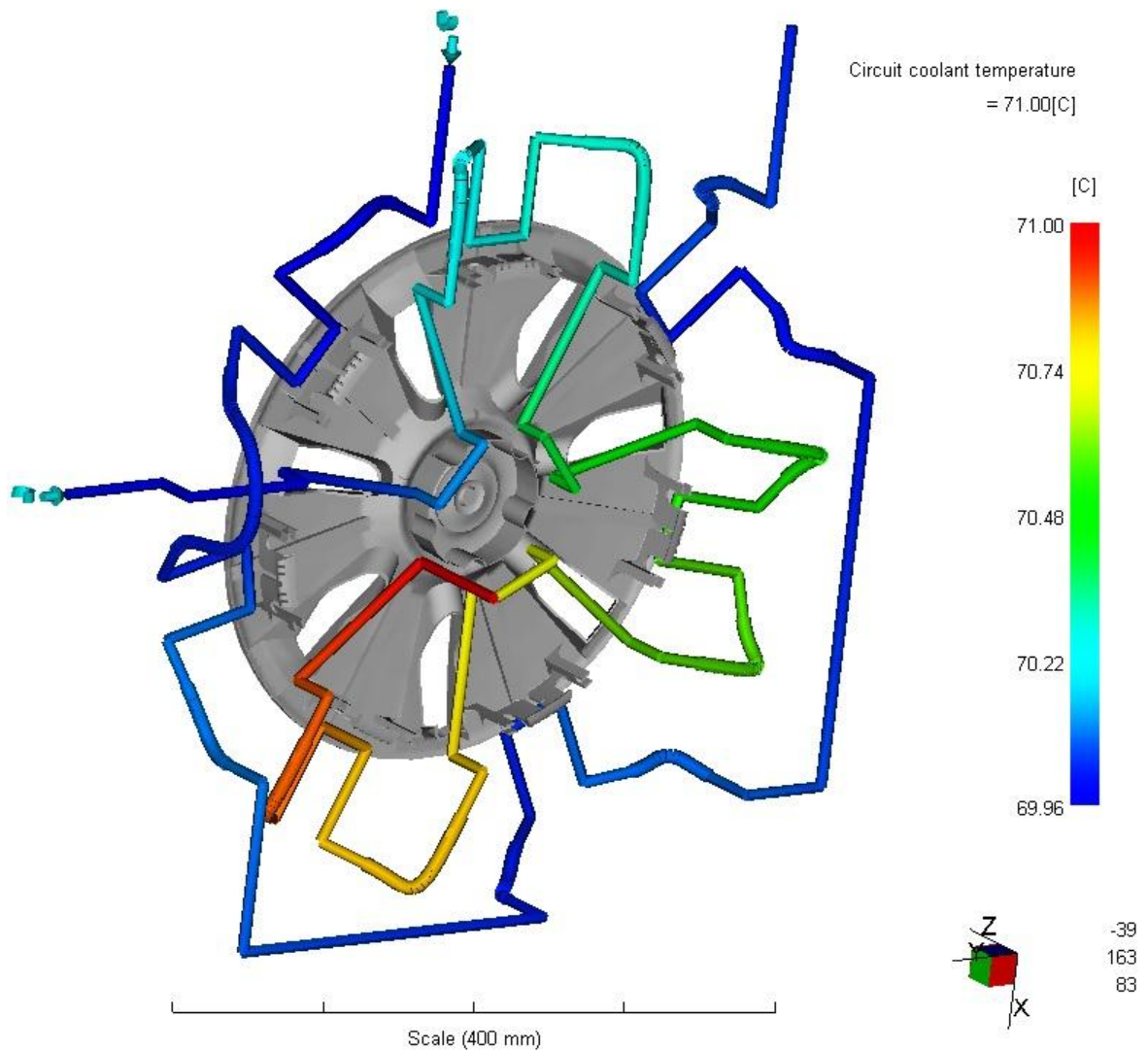
Obr. 67. Studené spoje

9.11 Teplota v temperačních kanálech

Průběh teploty kanálů temperace pravé strany je zobrazen na (Obr. 68.) Je zde vidět změna teploty chladicího média od místa vstupu do místa výstupu. Pokud by došlo k překročení teploty nad 5°C mezi vstupem a výstupem, muselo by dojít ke změně buď procesních podmínek, nebo posílení temperačních okruhů dalšími temperačními kanály. Dlouhé dráhy kanálů mohou způsobovat zvyšování teploty temperačního média, ale hlavně potřebu vysokého vstupního tlaku přes médium. V temperačních kanálech je rozdíl teplot přibližně $1,08^{\circ}\text{C}$ a $1,04^{\circ}\text{C}$, tedy nemusí dojít k žádným změnám. Toto zvýšení teplot je nepatrné a zcela vyhovuje kritériím pro správné navrhování temperačních okruhů.



Obr. 68. Teplota temperace tvárnice

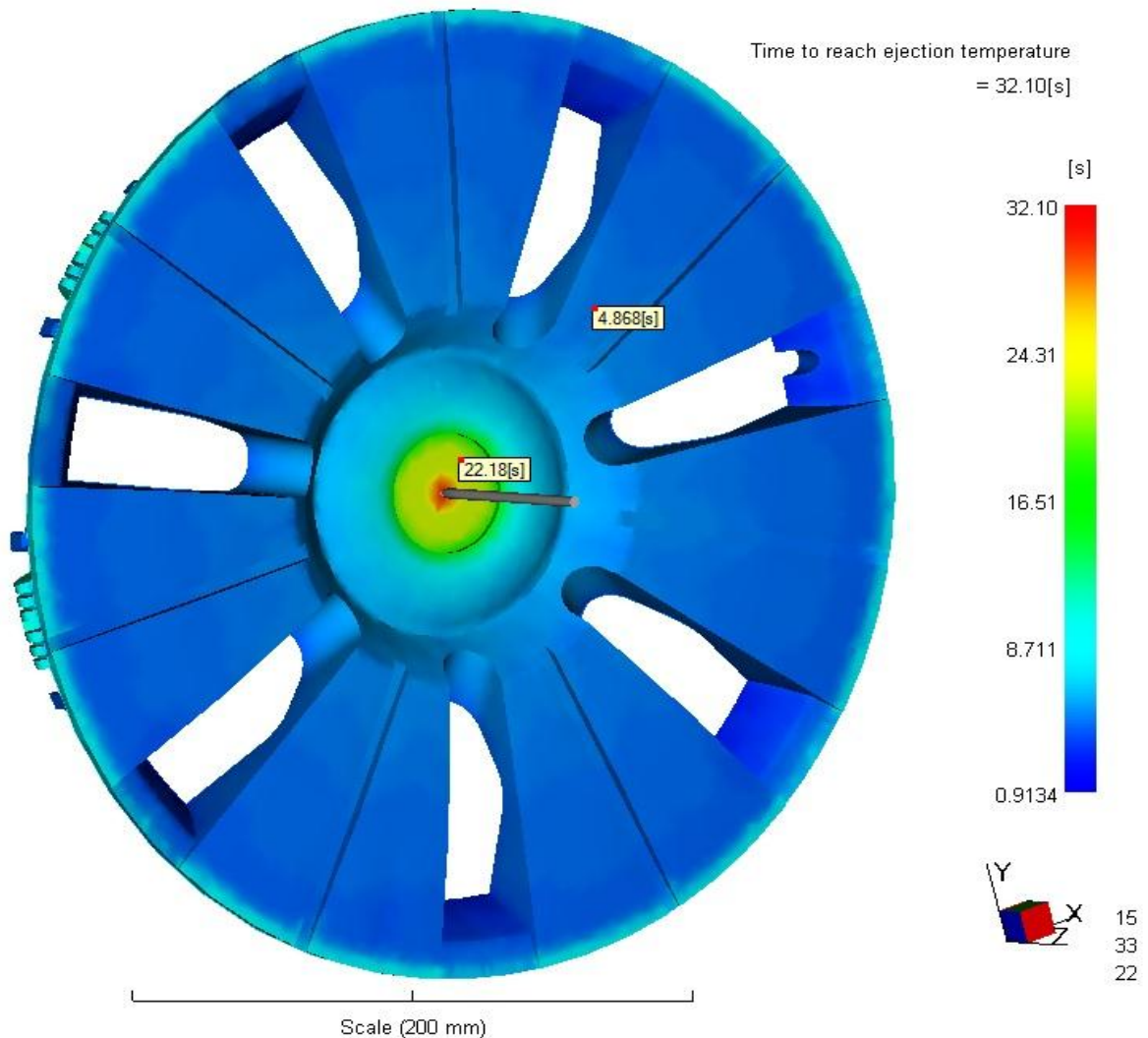


Obr. 69. Teplota temperace tvárníku

9.12 Čas potřebný pro vyhození

Čas potřebný pro vyhození výrobku z dutiny formy je důležitý, aby nedocházelo při vyhazování k trvalým povrchovým vadám od vyhazovačů. Jelikož teplota taveniny se nemění pouze s časem a místem, ale také po tloušťce během celého vstřikovacího cyklu. Pro urychlení vyhazovacích časů je potřeba např. úprava temperačních systémů, změna dráhy temperačních okruhů, změna temperačního média. Daný výrobek může být vyhozen po době necelých 32 [s]. Jestli by došlo k vyhození výrobku bezprostředně po zatuhnutí povrchových vrstev, vlivem přechodu taveniny do tuhého stavu by došlo k výrazné deformaci mimo formu (tvárník a tvárnice by nefixovali tvar budoucího výrobku po čas chladnutí). Pro efek-

tivní ochlazování mimo formy se často v praxi výrobky vyhazují přímo do vodní lázně, kde dochází k jejich ochlazování, protože voda má vyšší hodnotu tepelné vodivosti jako vzduch za normálního tlaku.

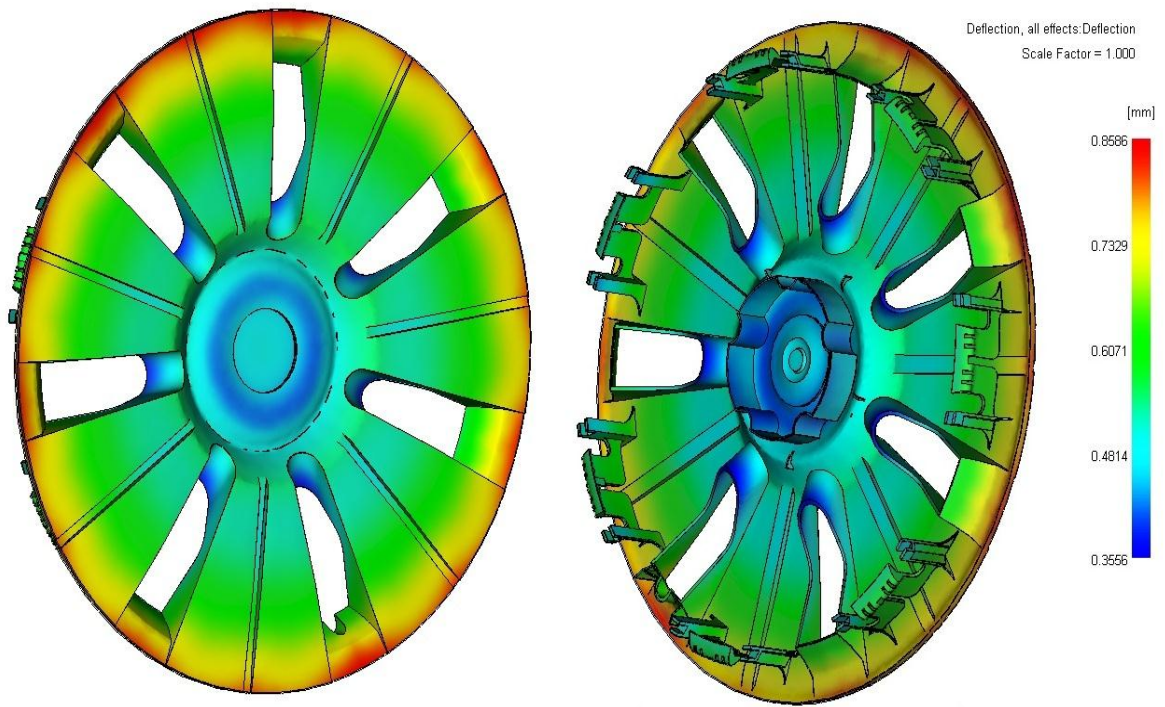


Obr. 70. Čas potřebný pro vyhození výrobku

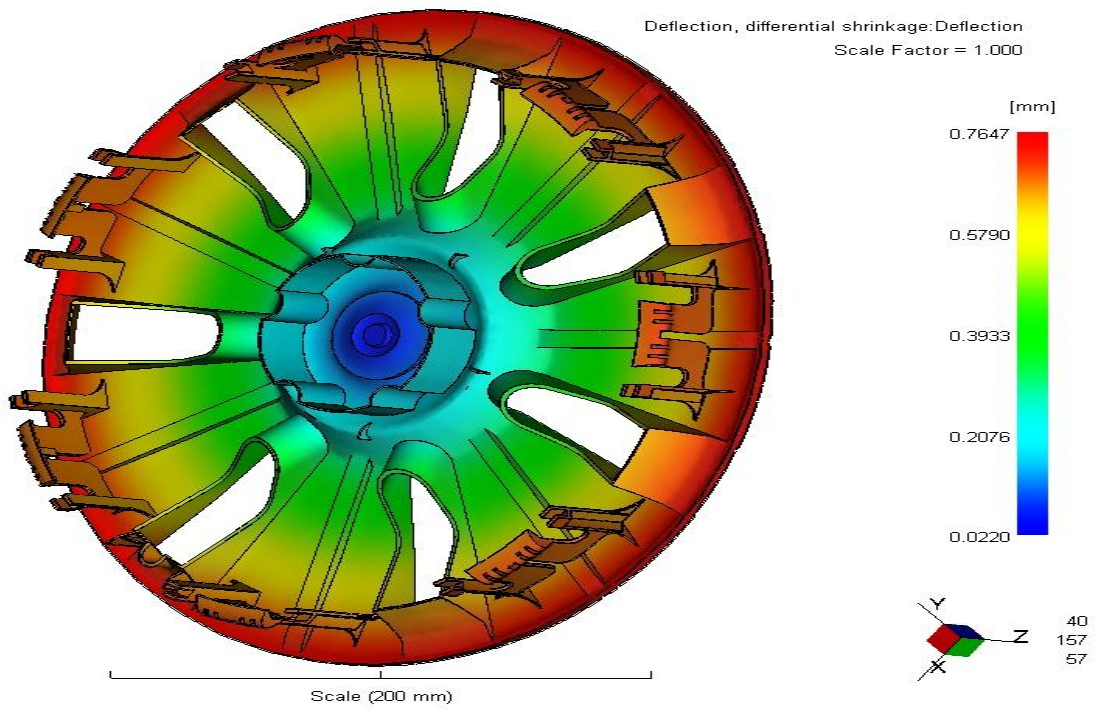
9.13 Celková deformace

Místo největších změny se nalézá v krajních částech výrobku. Velikost deformací, jsou vztaheny k hlavnímu souřadnicovému systému. Její nejvyšší hodnota je 0,8586 mm. Před zahájením konstrukce, bylo zjištěno procentuální smrštění materiálu a dutina formy byla o tuto hodnotu zvětšena, tedy výsledná deformace bude o něco menší, než je zobrazeno na (Obr. 71.).

Z materiálového hlediska je smrštění závislé na druhu vstřikovaného polymeru, geometrii výrobku a na technologických vlastnostech vstřikování.



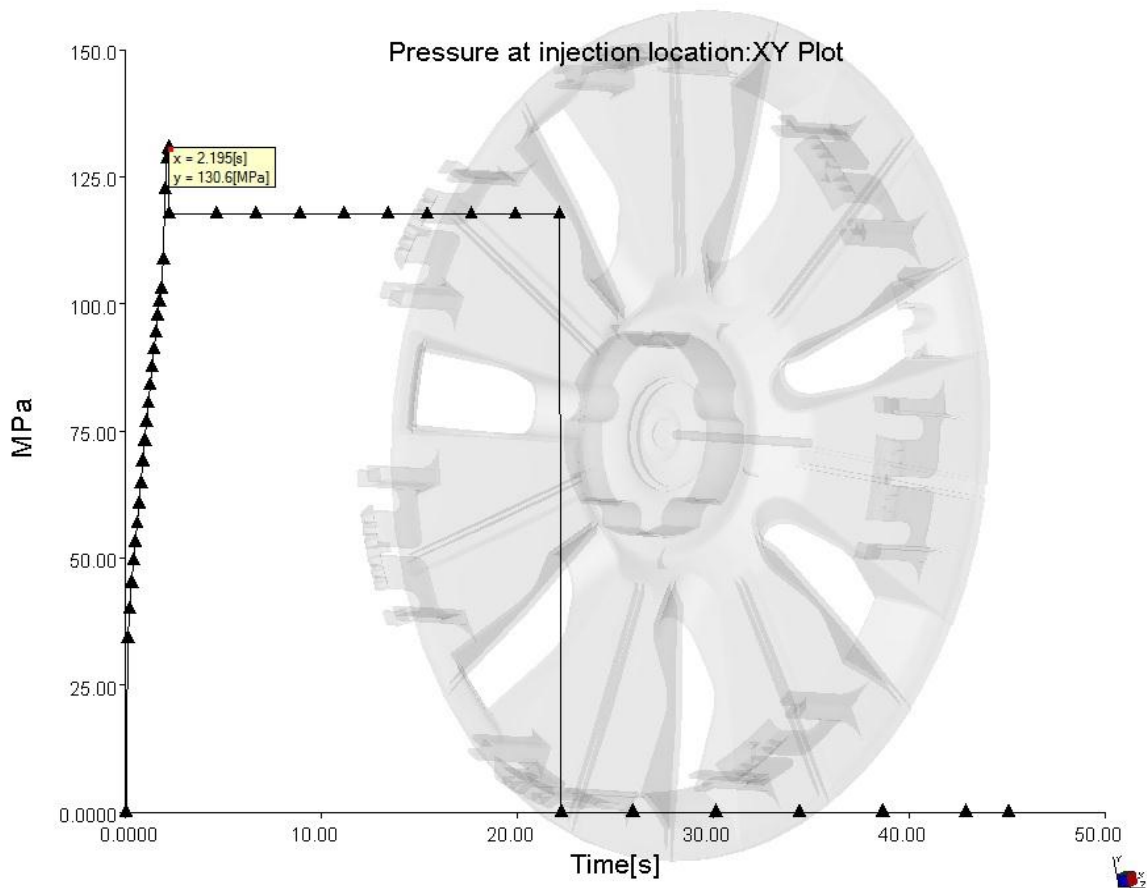
Obr. 71. Celková deformace



Obr. 72. Deformace vlivem smrštění

9.14 Tlak v průběhu vstřikování

Graf na (Obr. 73.) zobrazuje závislost tlakového pole v dutině formy v čase. Je vidět, že největší hodnota vstřikovacího tlaku je přibližně 130 [MPa], která odpovídá hodnotě tlaku při přepnutí na dotlak, který trvá 20 [s]. Úkolem dotlaku je doplňovat taveninu do dutiny formy až do momentu, kdy je kompletně zaplněna. To je důležité z hlediska dodržení rozměru a hmotnosti výrobku. Dotlak končí v přibližně v čase 22 [s], kde je tlak roven nule a pokračuje fáze chlazení, která končí přibližně v čase 45 [s].



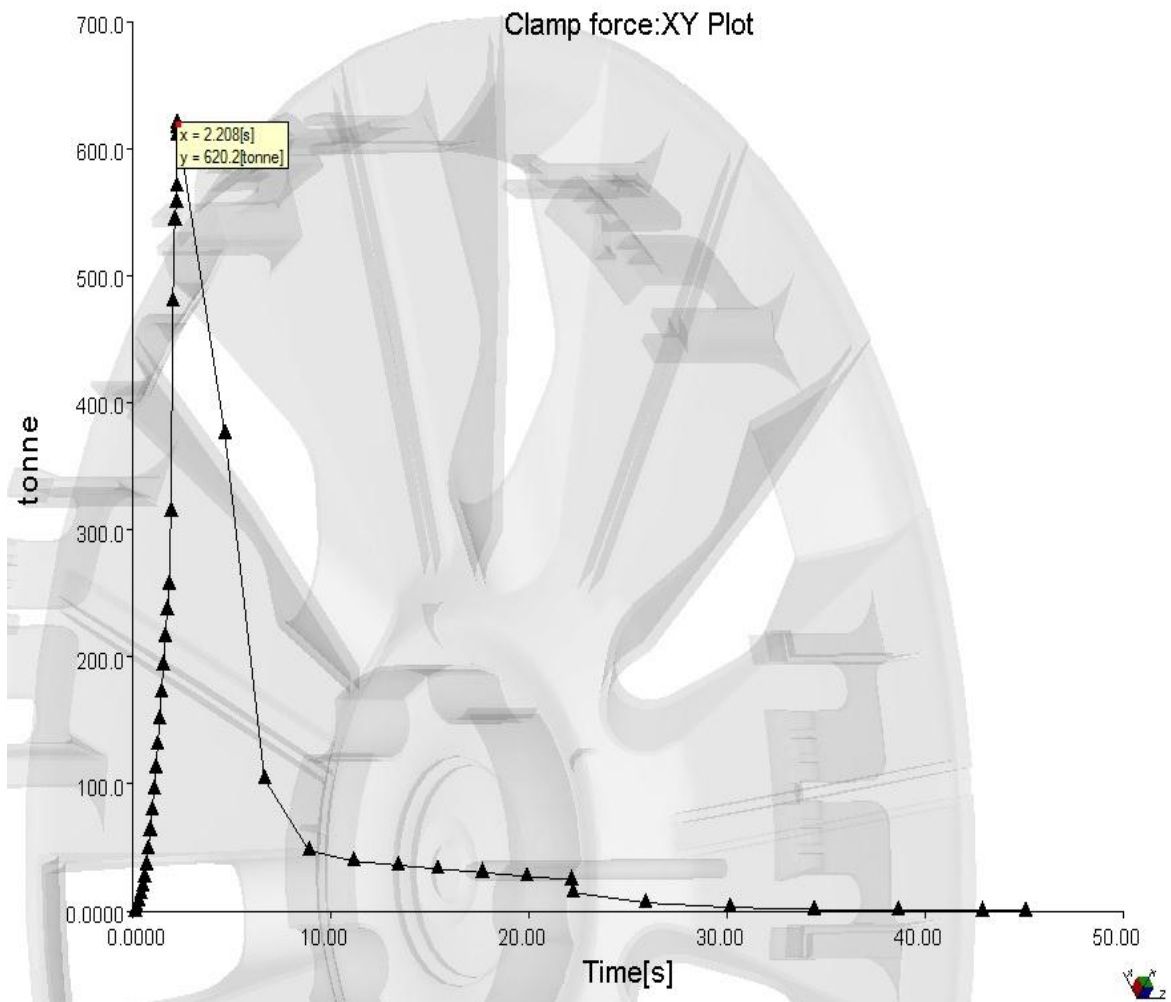
Obr. 73. Tlak v průběhu vstřikování

Tab. 10. Doba průběhu tlaku a dotlaku

Název	Hodnota	Jednotky
Vstřikování	2,195	[s]
Dotlak	20	[s]

9.15 Uzavírací síla

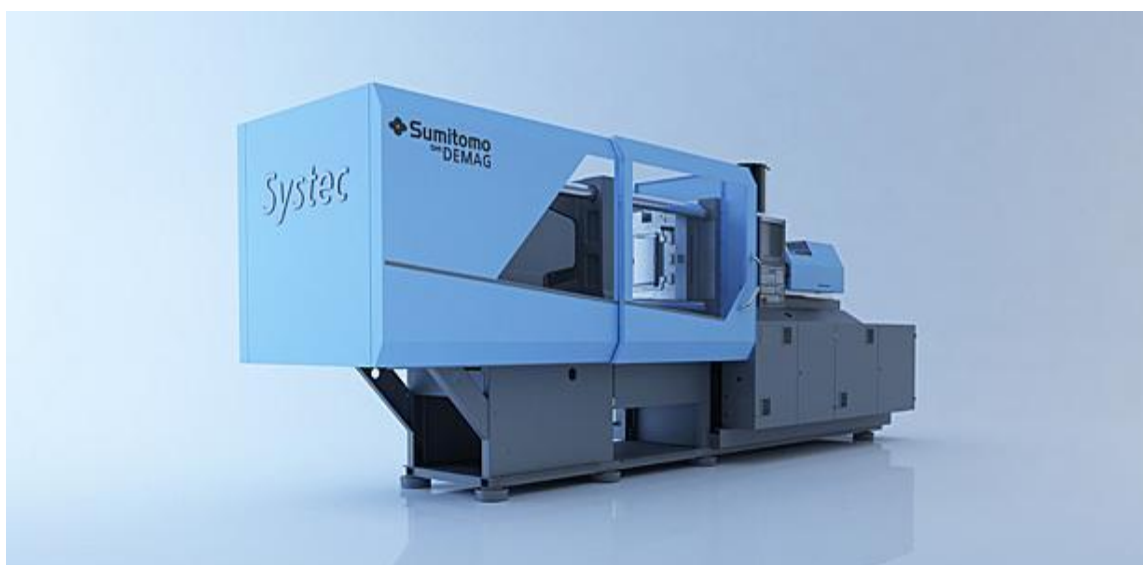
Maximální uzavírací síla stroje je 800 t ($1 \text{ t} = 10 \text{ kN}$). Z grafu je patrné, že uzavírací síla stroje není v celém průběhu vstřikovacího procesu konstantní. Od počátku cyklu tato síla prudce vzroste na hodnotu cca 620 t, v čase 2,2 [s]. Následně její hodnota postupně klesá, jelikož větší část taveniny je v tuhém stavu. Na konci dotlaku hodnota uzavírací síly klesá až na nulovou hodnotu, poněvadž vstřikovací stroj už nepůsobí tlakem na taveninu v dutině formy, proto není potřeba působit reakční silou (uzavírací silou, proti vstřikovacímu tlaku), nastává fáze chlazení. Maximální uzavírací síla v průběhu vstřikování je jedním z hlavních parametrů při výběru vstřikovacího stroje. K této síle se připočítává i 20% rezerva.



Obr. 74. Velikost uzavírací síly

9.16 Vstřikovací stroj

Vzhledem k velikosti formy, byl zvolen vstřikovací stroj od firmy DEMAG označením Systec800/1120, který je navržen pro výrobu velkých automobilových dílů, zahradního nábytku, přepravních boxů, atd. Zároveň umožňují pro tuto specifickou výrobu dosažení velmi rychlých cyklů.



Obr. 75. Vstřikovací stroj [18]

Tento stroj byl zvolen díky jeho technickým parametrům, které jsou vhodné pro použití navržené vstřikovací formy.

Tab. 11. Parametry vstřikovacího stroje

VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA			FORMA
	Jednotky	A	
Průměr šneku	mm	95	-
Teoretický vstřik. objem	cm ³	3367	304
Vstřikovací tlak (max)	MPa	189,5	130
UZAVÍRACÍ JEDNOTKA			
Uzavírací síla	kN	8000	7440
Zdvih pohyblivé desky (max)	mm	1030	228
Průchod mezi sloupy	mm	1120x1120	796x696

Volba vstřikovacího stroje je zvolena na základě, hmotnosti a rozměrů dílce, velikosti vstřikovací formy, vzdálenosti mezi vodícími sloupy, maximálním a minimálním zdvihem. Musí mít dostatečnou velkou vstřikovací jednotku i uzavírací sílu.

DISKUZE VÝSLEDKŮ

Byla navržena vstřikovací forma pro zadaný díl, kterým je kryt automobilového kola, značky Škoda Auto. Kryty kol slouží spíše jako levná volba k získání estetického vzhledu plechového disku. Musí však splňovat vhodné provozní podmínky, jak mechanické, tak optické. Jsou tedy vybrány a podrobeny tokovým analýzám dva typy polymerního materiálu.

Podle skutečného dílu byl vymodelován 3D model. Na dílci nebyly provedeny žádné konstrukční změny. Díky tvaru a velikosti výstřiku, forma disponuje pohyblivými kostkami k odformování. Tyto prvky jsou nutné pro odformování sedmi zadních zobáčků. Veškerý pohyb je řízen pomocí válcových kolíků a tažným mechanismem. Tento pohyb je odvozen od pohyblivé upínací desky vstřikovacího stroje. Nemuselo být tedy použito hydraulických nebo pneumatických odformovacích systémů. Celkový tvar dílce udávají tvarové desky tvárník, tvárnice a pohyblivé kostky.

Zaplnění dutiny formy se děje vyhřívanou vtokovou tryskou. Tento systém byl zvolen na základě svých předností, kterými disponuje (snížení spotřeby polymeru, nezůstává vtokový zbytek, snadná montáž, automatizace výroby). Vzhledem k tomu, že dílec je poměrně větších rozměrů a dráhy toku jsou poměrně dlouhé, je tedy dobré mít taveninu déle vyhřívanou. Místo plnění je na pohledové straně. V tomto případě se nejedná o závažnou věc, vzhledem k tomu, že v prostoru vtokového ústí bude nalepen znak Škoda Auto.

Pro udržování konstantního teplotního pole a urychlení času k vyhození výstřiku je pravá i levá strana temperována. V tvárnici je na spirálové trajektorii vyfrézován půlkruhový průřez a spojen s přívodními kanály. Levá strana má dva okruhy. V tvárníku i pohyblivých horních kostkách jsou vyvrtány temperační kanály. Propojení kanálů je realizováno pomocí hadic a přechodových můstků. Veškeré přechody jsou utěsněny těsněním. Přesná dráha je vymezena vnitřními ucpávkami. Přívod temperačního média z temperační jednotky, je za pomoci hadic, které jsou spojeny na vstupech a výstupech rychlospojkami. Temperačním médiem je voda. Výhodou je její vysoký koeficient přestupu tepla, nízká viskozita, nízká cena a ekologicky nezávadná.

K vyhazování výstřiku je využit běžný vyhazovací systém, složený ze dvou desek pohybujících se na čtyřech vodících čepech. V deskách jsou ukotveny válcové vyhazovače rozmístěny tak, aby dílec byl rovnoměrně vytlačen z dutiny tvárníku a nedošlo k jeho poškození.

Vstřikovací forma je vybavena i pomocným zařízením pro snadnou manipulaci a uzamykacím prvkem.

Celkový návrh formy byl následně podroben tokovým analýzám, ke zjištění vhodnosti konkrétní konstrukce. Dílec musel být z důvodu vytvoření výpočtové sítě upraven. Byl zbaven veškerých malých rádiusů, sražených hran, aby výpočet a generování sítě proběhlo v pořádku. Nesměla být ale překročena minimální procentuální shoda dílce a sítě ke spuštění analýzy.

Trajektorie vtokových a temperačních systému byly nejprve vytvořeny v Catii. Pro kompatibilitu bylo nutno přeložit s příponou *.IGS. Byly zadány hodnoty průřezů kanálů, nastaveny vstupní teploty a označená místa pro přívod temperačního media a taveniny. Materiálové listy obsahují i doporučující hodnoty k nastavení procesních podmínek. Ve většině případů byly ponechány tyto teploty. Větší zásah byl v nastavování dotlaku. Byly provedeny analýzy pro dva typy materiálů, které se v běžné praxi využívají pro výrobu krytů kol. Materiál vykazující lepší tokové vlastnosti byl detailněji popsán a diskutován ve vybraných výsledcích. U materiálu PA66 M17% tavenina zaplní dutinu formy v celém jejím objemu za dobu 2,208 s. Čas plnění je o pár desetin sekund delší, než u druhého materiálu ABS/PA6 GL20%, avšak tento rozdíl se kompenzuje kratším časem nutným k ochlazení na vyhazovací teplotu. U druhého materiálu se vykazuje až trojnásobně delšího času. Hodnota dotlaku je taktéž rozdílná. Výsledné celkové deformace i deformace způsobené smrštěním je u prvního typu polymeru příznivější. Jejich hodnota činí 0,857 mm a smrštění 0,765mm. Vzhledem k tomu, že dutina formy je zvětšená o procentuální hodnotu smrštění materiálu, bude výsledná velikost ještě menší. Výsledky vybraných analýz jsou srovnány v (Tab. 12.).

Byla také vytvořena výkresová dokumentace vstřikovací formy. Pohledy do pravé a levé strany formy, vyhazovacího systému a 2D řez. K opozicované sestavě je přiložen i kusovník se všemi díly vstřikovací formy.

Tab. 12. Srovnání výsledků

Název	PA66 M17%		ABS/PA6 GL20%	
	Hodnota	Jednotky	Hodnota	Jednotky
Čas plnění	2,208	[s]	1,726	[s]
Dotlak	90	[%]	95	[%]
Deformace	0,857	[mm]	1,186	[mm]
Smrštění	0,765	[mm]	1,408	[mm]
Čas potřebný k vyhození	32,10	[s]	93	[s]
Rychlost smykové deformace	33517	[1/s]	42454	[1/s]

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo zkonstruovat vstřikovací formu pro zadaný plastový díl. Nejdříve byly prostudovány potřebné materiály týkající se polymerních materiálů, technologie vstřikování. Jak správně navrhnout veškeré systémy obsažené ve vstřikovací formě (vtokový, temperační a vyhazovací systém). Zjištěné informace byly zpracovány a sepsány v teoretické části. Tyto poznatky získané při studiu materiálů, byly následně použity při realizaci vstřikovací formy.

Praktická část popisuje samotnou konstrukci vstřikovací formy a tento konkrétní návrh byl podroben tokovým analýzám. V průběhu konstrukce byly současně spuštěny analýzy a upravován temperační a vtokový systém. Využívalo se softwaru CATIA V5R18, Mold-flow a aplikace pro import normalizovaných dílů WordCat-CIF. Těmito programy jsou vybaveny počítače školních učeben. Na dílci nebyly provedeny žádné konstrukční změny, tedy na základě jeho rozměrů, tvarů a vlastností polymerního materiálu byla zkonstruována vstřikovací forma. Celý postup realizace všech systému obsažených ve formě je detailně popsán v jednotlivých kapitolách praktické části. Tokové analýzy probíhali pro dva polymerní materiály, které se v běžné praxi používají k výrobě krytů kol. Výsledky jednotlivých analýz byly srovnány v (Tab. 12.). Vhodnějším materiálem se jeví PA66 M17%. Z výsledků analýz je také možnost získat informace potřebné k výběru vhodného vstřikovacího stroje. Byl vybrán vstřikovací stroj DEMAG označením Systec800/1120.

Součástí diplomové práce je i výkresová dokumentace. Pohledy do hlavní dělicí roviny (levá, pravá strana, vyhazovací systém). Vytvořeny patřičné řezy k opozicování všech dílů vstřikovací formy a popsány v kusovníku.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DVOŘÁK, Zdeněk. Lamborová R. *Základy výrobních procesů I. – Konstrukční materiály polymerní a kompozity*, Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně – Fakulta technologická, 2008, 9 – 17 s.
- [2] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 246 s. ISBN 978-80-7300-250-3
- [3] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů : vstřikování termoplastů*. Díl 1 . 2. upr. vyd. Brno : Uniplast, 1999. 133 s
- [4] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů : vstřikování termoplastů*. Díl 2 . 1. vyd. Brno : Uniplast, 1999. 214 s.
- [5] DUCHÁČEK, V.; *Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. Vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. Str. 166. ISBN 80-7080-617-6
- [6] www.ksp.tul.cz [online]. [cit. 2010-20-12]. Dostupný z WWW: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/03.htm
- [7] MAŇAS, M., HELŠTÝN, J. *Výrobní stroje a zařízení, Gumárenské a plastikářské stroje II*. Brno: VUT, 1990. 199 s. ISBN 80-214-0213-X.
- [8] MENGES, Georg., MICHAELLI, Walter., MOHREN, Paul. *How to Make InjectionMolds*. 3rd ed. Munich: Hanser Publisher, 2001. 612 s. ISBN 3- 446-21256-6.
- [9] TOMIS, František, HELŠTÝN, Josef, KAŇOVSKÝ, Jiří. *Formy a přípravky*. Brno : VUT, 1979. 278 s.
- [10] BEAUMONT, John P.; NAGEL, Robert; SHERMAN, Robert. *Successful injection molding: process, design, and simulation*. Munich : Hanser, 2002. 362 s. ISBN 3-446-19433-9
- [11] www.vutbr.cz [online]. [2012-15-12]. Dostupný z WWW: www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5307
- [12] *Moldflow*[online]. [cit. 2012 – 04 – 14]. Dostupný z WWW: <http://www.smartplast.cz/software.php>
- [13] DYM, B. Joseph. *Injectionmolds and molding*. I. Title. New York: Van Nostrand Reinhold copany Inc. , 1979, 400s, ISBN 0-442-22223-8.
- [14] www.hasco.com [online]. [2012-28-12]. Dostupný z WWW: <http://www.hasco.com/gb/content/view/full/303>.

- [15] [www.arburg.com](http://www.arburg.com/en/press/press-releases/bulletin/nI/2200/) [online]. [cit. 2010-28-12]. Dostupný z WWW: <http://www.arburg.com/en/press/press-releases/bulletin/nI/2200/>
- [16] TOMAŠTÍK, M. Konstrukce vstříkovací formy; Zlín, 2012, 112s. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati.
- [17] SVOZIL, D. Konstrukce vstříkovací formy pro plastový díl; Zlín, 2011, 62s. Bachelářská práce. Univerzita Tomáše Bati.
- [18] www.sumitomo-shi-demag.eu [online]. [2013-20-04]. Dostupný z WWW: < http://www.sumitomo-shi-demag.eu/products/hydraulic_machines/>.
- [19] STANĚK, M. Přednášky T5KF

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PS.....	polystyren	
ABS.....	akrylonitril-butadien-styren	
PC.....	polycarbonát	
PE.....	polyethylen	
PP.....	polypropylen	
PBT.....	polybutylentereftalát	
PA66.....	polyamid 66	
PA6.....	polyamid 6	
PUR.....	polyuretan	
E.....	modul pružnosti	[MPa]
T.....	teplota	[°C]
T _g	teplota skelného přechodu	[°C]
T _m	teplota tání	[°C]
CAD	Computer Aided Design – projektování s pomocí počítače	
CAE	Computer Aided Engineering – výpočty s pomocí počítače	
CAM.. ..	Computer Aided Manufacturing – výroba s pomocí počítače	
t.....	tuna	
kN.....	kilonewton	
MPa.....	megapascal	
s.....	sekunda	
M17%.....	polymer plněný 17% minerálem	
GL20%.....	polymer plněný 20% sklem	

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Rozdělení polymerů [1]	13
Obr. 2. Oblast použití amorfních termoplastů [3].....	14
Obr. 3. Oblast použití semikrystalických termoplastů [3]	15
Obr. 4. Struktura reaktoplastu plněného skelnými vlákny [1]	16
Obr. 5. Vstřikovací cyklus [19].....	20
Obr. 6. Fáze během vstřikování [6]	21
Obr. 7. Vstřikovací stroj[15].....	24
Obr. 8. Schéma vstřikovacího stroje [6]	24
Obr. 9. Řez válce [6].....	25
Obr. 10. Pásma šneku [6].....	26
Obr. 11. Volně průtočné trysky [7]	27
Obr. 12. Uzavíratelné trysky [7]	27
Obr. 13. Uzavírací jednotka [6]	28
Obr. 14. Ovládací panel [15]	29
Obr. 15. Popis vstřikovací formy [16]	31
Obr. 16. Konstrukční řešení SVS [3]	35
Obr. 17. Vtoková vložka [16]	36
Obr. 18. Průřezy rozváděcích kanálů [3]	36
Obr. 19. Odstupňování průřezu [3].....	37
Obr. 20. A) štěrbínové ústí, B) kruhové ústí [11]	38
Obr. 21. Umístění vtoku [11].....	38
Obr. 22. Kuželový vtok a čokkovité zahloubení [11]	39
Obr. 23. Boční a vějířový boční vtok [11]	39
Obr. 24. Tunelový vtok [11]	40
Obr. 25. Tryska s vnějším topením [14]	41
Obr. 26. Tryska s vnitřním topením [14]	41
Obr. 27. Rozvodné bloky [14]	42
Obr. 28. Temperace tvárníku [14].....	43
Obr. 29. Zásady temperačních kanálů [11]	45
Obr. 30. Válcový, trubkový, prizmatický vyhazovač [16].....	46
Obr. 31. Pneumatické vyhazování [11].....	47

Obr. 32. Vhodná tloušťka stěny [4]	48
Obr. 33. Poklice na plechový disk automobilu	53
Obr. 34. Vymodelovaný 3D dílec	53
Obr. 35. Zjištění umístění vtoku	56
Obr. 36. Vstřikovací forma	57
Obr. 37. Hlavní dělicí rovina	58
Obr. 38. Vedlejší dělicí rovina	58
Obr. 39. Tvárnice	59
Obr. 40. Tvárník.....	59
Obr. 41. Horní a spodní pohyblivé kostky	60
Obr. 42. Horní odformování	61
Obr. 43. Spodní pohybová kostka.....	61
Obr. 44. Výpočet délky kolíku.....	62
Obr. 45. První krok odformování.....	63
Obr. 46. Druhý krok odformování	64
Obr. 47. Vtokový systém	65
Obr. 48. Temperace tvárnice.....	66
Obr. 49. Trajektorie prvního okruhu.....	67
Obr. 50. Trajektorie druhého okruhu	68
Obr. 51. Vyhazovací systém	69
Obr. 52. Manipulační prvky formy	70
Obr. 53. Pravá strana formy	71
Obr. 54. Levá strana formy	71
Obr. 55. 3D dílec pro analýzu.....	73
Obr. 56. Vygenerovaná dual domain síť	73
Obr. 57. Statistika sítě.....	74
Obr. 58. Vtokový systém pro analýzu.....	75
Obr. 59. Nadefinován temperační okruh tvárnice.....	76
Obr. 60. Nadefinovaný temperační okruh tvárníku	77
Obr. 61. Nastavení dotlaku a)PA66 M17%, b)ABS+PA6 GL20%	78
Obr. 62. Doba plnění.....	79
Obr. 63. Přepnutí na dotlak	80
Obr. 64. Vzduchové kapsy.....	81

Obr. 65. Rychlost smykové deformace	82
Obr. 66. Teplota taveniny	83
Obr. 67. Studené spoje	84
Obr. 68. Teplota temperace tvárnice	85
Obr. 69. Teplota temperace tvárníku	86
Obr. 70. Čas potřebný pro vyhození výrobku	87
Obr. 71. Celková deformace	88
Obr. 72. Deformace vlivem smrštění	88
Obr. 73. Tlak v průběhu vstřikování	89
Obr. 74. Velikost uzavírací síly	90
Obr. 75. Vstřikovací stroj [18]	91

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Teploty Tg [3].....	15
Tab. 2. Teploty Tg [3].....	15
Tab. 3. Teploty sušení [6]	17
Tab. 4. Rozměry dílce.....	54
Tab. 5. Materiál PA66 M17%.....	55
Tab. 6. Materiál ABS/PA6 GL20%	55
Tab. 7. Rozměry vstřikovací formy	57
Tab. 8. Rozměry trysky.....	75
Tab. 9. Procesní podmínky	78
Tab. 10. Doba průběhu tlaku a dotlaku.....	89
Tab. 11. Parametry vstřikovacího stroje	91
Tab. 12. Srovnání výsledků	94

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA PI: Výkresová dokumentace

- řezy formou,
- pohled do pravé dělicí roviny,
- pohled do levé dělicí roviny,
- vyhazovací systém.

PŘÍLOHA PII: DVD

- diplomová práce (Office Word, pdf.),
- 3D model dílce,
- 3D sestava vstříkovací formy,
- výkresová dokumentace,
- tokové analýzy.