

Konstrukce formy pro výrobu plastového dílu automobilu

Bc. Mikel Tomáš

Diplomová práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš Mikel**

Osobní číslo: **T14543**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Konstrukce formy pro výrobu plastového dílu automobilu**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Navrhněte vstřikovací formu ve 3D pro zadaný díl.
3. Návrh ověřte pomocí analýz.
4. Nakreslete 2D výkresy sestavy formy včetně 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. ledna 2016

Termín odevzdání diplomové práce:

13. května 2016

Ve Zlíně dne 26. ledna 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



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

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 1.5.2016

Mikel Tomáš
.....

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

Tato diplomová práce je zaměřena na konstrukci vstřikovací formy s horkým vtokovým systémem pro zadaný plastový díl, kterým je součást z automobilu. Teoretická část popisuje proces vstřikování, vstřikovací stroje a zásady konstrukce vstřikovací formy. Praktická část obsahuje návrh dvojnásobné vstřikovací formy, tvorbu výkresové dokumentace a kusovníku v programu Catia V5R19. Poslední úkol bude provedení analýz v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016 pro ověření návrhu vstřikovací formy.

Klíčová slova: vstřikovací forma, vstřikovací stroj, konstrukce, tokové analýzy

ABSTRACT

This diploma thesis is focused on the design of the injection mold with hot inlet system for a given plastic part, which is part of the car. The theoretical part describes the process of injection molding and injection mold design principles. The practical part includes a proposal for double injection mold, creating drawings and bill of materials in Catia V5R19. The last task will be to carry out the analysis in Autodesk Moldflow Synergy 2016 for verification of design of injection mold.

Keywords: injection mold, injection molding machine, design, flow analyses

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. za odborné vedení, poskytnuté rady a čas, který mi věnoval při vypracování této práce.

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

OBSAH

ÚVOD	11
1 TEORETICKÁ ČÁST	12
1 PLASTY POUŽÍVANÉ PRO VSTŘIKOVÁNÍ	13
1.1 VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ	13
1.2 VSTŘIKOVÁNÍ REAKTOPLASTŮ	14
1.3 VSTŘIKOVÁNÍ ELASTOMERŮ	14
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	15
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS.....	15
2.1.1 Vstřikovací cyklus v diagramu p,t.....	15
2.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ	17
2.2.1 Druhy vstřikovacích strojů	18
2.2.2 Vstřikovací jednotka	20
2.2.3 Uzavírací jednotka.....	21
2.2.4 Řídící jednotka	22
3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ	23
3.1 KONSTRUKČNÍ ZÁSADY PŘI NÁVRHU PLASTOVÝCH VÝROBKŮ	23
3.1.1 Úkosity a podkosity hran výrobků	23
3.1.2 Zaoblení hran a rohů	24
3.1.3 Tloušťka stěn výstřiků.....	25
3.1.4 Konstrukce žeber	25
3.1.5 Okraje a obruby na výrobcích	26
3.1.6 Návrh úchytů	26
3.1.7 Závity.....	27
3.1.8 Písmo a značky na výrobcích	27
4 VSTŘIKOVACÍ FORMA	28
4.1 KONSTRUKCE FORMY	29
4.1.1 Postup při konstrukci formy	29
4.1.2 Smrštění výstřiku.....	30
4.2 VTOKOVÉ SYSTÉMY.....	31
4.3 STUDENÝ VTOKOVÝ SYSTÉM (SVS)	31
4.3.1 Vtokový kanál (Vtoková vložka)	32
4.3.2 Rozvodný vtokový kanál.....	33
4.3.3 Ústí vtoku	34
4.3.4 Základní druhy vtokových ústí	35
4.4 VYHRÍVANÝ VTOKOVÝ SYSTÉM (VVS)	36
4.4.1 Horké trysky	37
4.4.2 Horké rozvodné bloky	37
4.5 VYHAZOVACÍ SYSTÉMY	38
4.5.1 Mechanický vyhazovací systém	39
4.5.2 Pneumatický vyhazovací systém.....	40

4.6	TEMPERAČNÍ SYSTÉM	40
4.7	ODVZDUŠNĚNÍ FOREM	42
4.8	MATERIÁLY NA VÝROBU FOREM.....	42
4.8.1	Normálie pro výrobu forem.....	43
II	PRAKTICKÁ ČÁST	44
5	STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	45
6	POUŽITÉ APLIKACE	46
6.1	CATIA V5R19	46
6.2	MEUBURGER KATALOG	46
6.3	AUTODESK MOLDFLOW INSIGHT 2016	46
7	VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....	47
8	VSTŘIKOVACÍ STROJ	48
9	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	49
9.1	DĚLÍCÍ ROVINA	50
9.2	NÁSOBNOST FORMY	51
9.3	RÁM FORMY	51
9.4	TVAROVÉ VLOŽKY.....	52
9.5	POSUVNÁ JÁDRA	52
9.6	VTOKOVÝ SYSTÉM.....	54
9.7	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	55
9.8	TEMPERAČNÍ SYSTÉM	56
9.9	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY	57
9.10	TRANSPORTNÍ SYSTÉM FORMY	57
10	CAE ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU	58
10.1	NASTAVENÍ ANALÝZY V PROGRAMU MOLDFLOW	58
10.2	UMÍSTĚNÍ VTOKU.....	59
10.2.1	Ukazatel odporu toku taveniny.....	59
10.2.2	Vhodnost umístění vtoku	59
10.3	ANALÝZY PLNĚNÍ	60
10.3.1	Doba plnění	60
10.3.2	Rychlost smykové deformace.....	61
10.3.3	Čas potřebný k vyhození	62
10.3.4	Studené spoje	62
10.3.5	Vzduchové kapsy	63
10.3.6	Uzavírací síla.....	64
10.4	ANALÝZY CHLAZENÍ.....	64
10.4.1	Teplota chladicího média	64
10.4.2	Reynoldsovo číslo	65

10.4.3	Efektivita odvodu tepla	66
10.5	ANALÝZY SMRŠTĚNÍ A DEFORMACE	67
10.5.1	Celková deformace.....	67
11	DISKUZE VÝSLEDKŮ	69
12	ZÁVĚR.....	71
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	72
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	76
	SEZNAM OBRÁZKŮ	77
	SEZNAM TABULEK.....	79
	SEZNAM PŘÍLOH.....	80

ÚVOD

První polymery se objevily již v druhé polovině 19. století, ale větší rozšíření došlo až po 2. světové válce. Během následujících let, začaly plasty postupně nahrazovat původní kovové, dřevěné a mnohé jiné materiály. I v současné době využití polymerních materiálů neustále roste. Jeho použití je téměř neomezené, lze ho najít v automobilu, kuchyňských spotřebičích ale i v leteckém a kosmickém průmyslu. Je to materiál, který díky dobrým fyzikálním, mechanickým a chemickým vlastnostem, jednoduchému zpracování a nízké ceně, nachází široké uplatnění.

Plasty se můžou zpracovávat mnoha způsoby jako vytlačování, vyfukování, válcování, namáčení a vstřikování, které je nejpoužívanější. Proces vstřikování má několik výhod, jako tvarovou rozmanitost, širokým rozsahem výrobků, rychlost výroby. Má ale i nevýhody, vzhledem k nákladnosti konstrukce a výroby formy se vstřikování výrobků vyplatí většinou jen pro sériovou výrobu. Proces vstřikování spočívá v naplnění dutiny formy polymerem, která je negativem výrobku. Po ztuhnutí taveniny v dutině formy, vyhazovače vyhodí výstřík z dutiny formy.

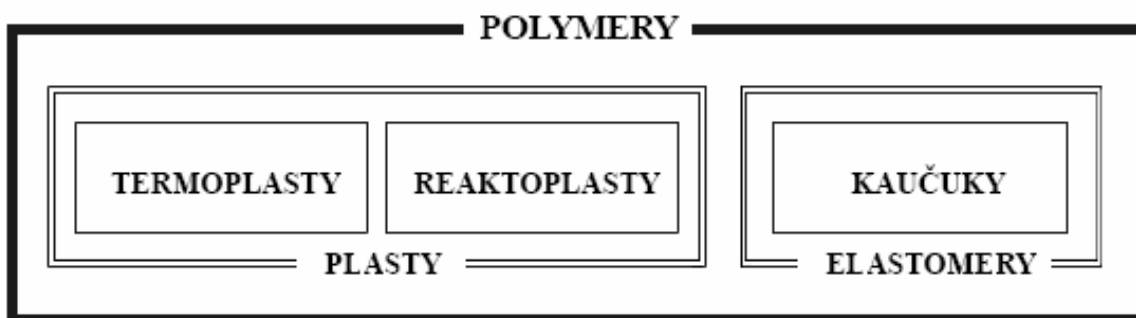
Teoretická část obsahuje popis technologii vstřikování, vstřikovací stoje a konstrukci forem.

Praktická část obsahuje podrobný popis navržené vstřikovací formy, jako zvolený materiál, vtokový systém, tvarové vložky, odformování a temperační systém. Druhou částí je provedení tokových analýz. Nakonec vytvoření výkresu řezu formou spolu s kusovníkem.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PLASTY POUŽÍVANÉ PRO VSTŘIKOVÁNÍ

Polymer je látka složená z jednotek až tisíci merů. Výsledné uspořádání monomerů má potom přímý vliv na vlastnosti polymeru. To, co odlišuje polymery od jiných materiálů je řetězcová struktura jejich molekul, tj. dlouhá lineární řada vzájemně spojených atomů nebo skupin atomů představuje převažující strukturní motiv, který může (ale nemusí) být občas přerušen místy větvení. [14,15]



Obr. 1 Dělení polymerů [7]

1.1 Vstřikování termoplastů

Při vstřikování termoplastů stačí materiály zahřát nad teplotu T_m (teplota tavení), je získán středně viskózní materiál, který je následně vstříknutý přes vtokový systém do dutiny formy, která je poměrně rychle a dobře zaplněna. Následným ochlazením pod T_m v dutině formy se stává materiál opět tuhý a hotový výrobek se z dutiny formy vyhodí. Tato technologie v případě termoplastů.

Kvalitu výsledného výrobku do značné míry ovlivňují tlakovo – teplotní poměry ve formě během fixace tvaru výrobku. Nedostatečný tlak ve formě způsobuje nedotečení polymeru, případně v kombinaci s objemovou roztažností zejména u semikrystalických polymerů může v důsledku nedostatečného tlaku docházet k tvarovým defektům na výstřiku. Příliš studená forma může způsobit vznik tzv. studených spojů, které vznikají na místech spojů taveniny v důsledku nízké rychlosti toku a nedostatečné teploty potřebné dokonalé smíchání taveniny polymeru v místě spoje. Velmi rychlé chlazení může také způsobit fixování příliš vysokých zbytkových napětí, které způsobují praskání výrobku, vznik mechanických trhlin apod. Procesu chlazení je proto třeba věnovat dostatečnou pozornost při navrhování parametrů vstřikovacího cyklu. [16]

1.2 Vstřikování reaktoplastů

V současné době se vstřikováním zpracovává asi 30 % reaktoplastů. Technologií vstřikování lze zpracovávat prakticky veškeré druhy reaktoplastů.

Hlavní rozdíl mezi vstřikováním termoplastů a reaktoplastů je v rozdílné závislosti viskozity na teplotě a že místo doby chlazení je zde doba vytvrzování. Forma není chlazená, ale je temperována na vytvrzovací teplotu (dle druhu reaktoplastu na 150 až 190 °C) a doba cyklu je v podstatě dána dobou vytvrzování. Kromě těchto technologických rozdílů se liší i konstrukce šneku, který má potlačenu kompresní část, aby nedošlo předčasnému vytvrzení směsi. Reaktoplasty jsou plastikovány při relativně nízkých teplotách (45 až 115 °C) a poměr L/D šneku je v rozmezí 12:1 až 15:1.

Důležitou činností při vstřikování reaktoplastů je velmi dobré odvědnění formy, neboť plyny vzniklé při ohřevu reaktoplastů, se musí odvést z dutiny formy. [14]

1.3 Vstřikování elastomerů

Vstřikování elastomerů se liší především průběhem vulkanizačních křivek. Vyžaduje se přiměřená indukční perioda s konstantní plasticitou a vysoká rychlost vulkanizace. Dosahuje se toho vhodnou kombinací urychlovačů a retardérů vulkanizace ve zvoleném vulkanizačním systému.

Při vstřikování elastomerů se používají šnekové plastifikační jednotky. Materiál se do šneku dodává buď ve formě pásku nebo granulátu. Vzhledem k vlastnostem gumárenských směsí probíhá plastikace ve šneku za výrazného přispění disipované energie.

Plastikovaný materiál je většinou dopraven do vstřikovacího válce, ze kterého se vstřikuje do dutiny vstřikovací formy. Při plnění formy elastomerem, teče materiál i na povrchové vrstvě, protože teplota formy je vyšší, než teplota elastomeru. Vyžaduje to volbu dostatečných průřezů vtokových kanálů i dutiny formy. Forma musí být dokonale odvědněna. Vyhazovací systém musí být konstruován s ohledem na vysokou pružnost a malou pevnost hotových výrobků.

Vstřikování elastomerů umožňuje výrobu tlustostěnných výrobků při zkrácené době a zvýšené kvalitě vulkanizátu. Vyžaduje však náročnější výrobní zařízení a je méně vhodné pro kusovou výrobu. [5]

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikováním jsou vyráběny takové výrobky, které jsou zařazeny svým charakterem mezi konečného výrobku, polotovary a nebo díly pro další zkompletování do samostatného celku. Výrobky vyrobené vstřikováním se vyznačují velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesností a vysokou reprodukovatelností mechanických a fyzikálních vlastností. Technologie vstřikování je nejpoužívanější technologií na zpracování plastů. Vstřikování je proces diskontinuální, cyklický. Vstřikováním lze zpracovat skoro všechny druhy termoplastů, v menší míře i některé reaktoplasty a kaučuky. [14]

Princip vstřikování je jednoduchý, plastový granulát se vstřikovacím stroji nejprve nahřeje na teplotu plastifikace, kdy je materiál téměř tekutý, a takto připravený se následně vstříkne do tvarové dutiny formy, která dá výrobku požadovaný tvar.

Tato technologie se uplatňuje v mnoha průmyslových oborech (elektrotechnice, zdravotnictví, automobilový průmysl a další). [17]

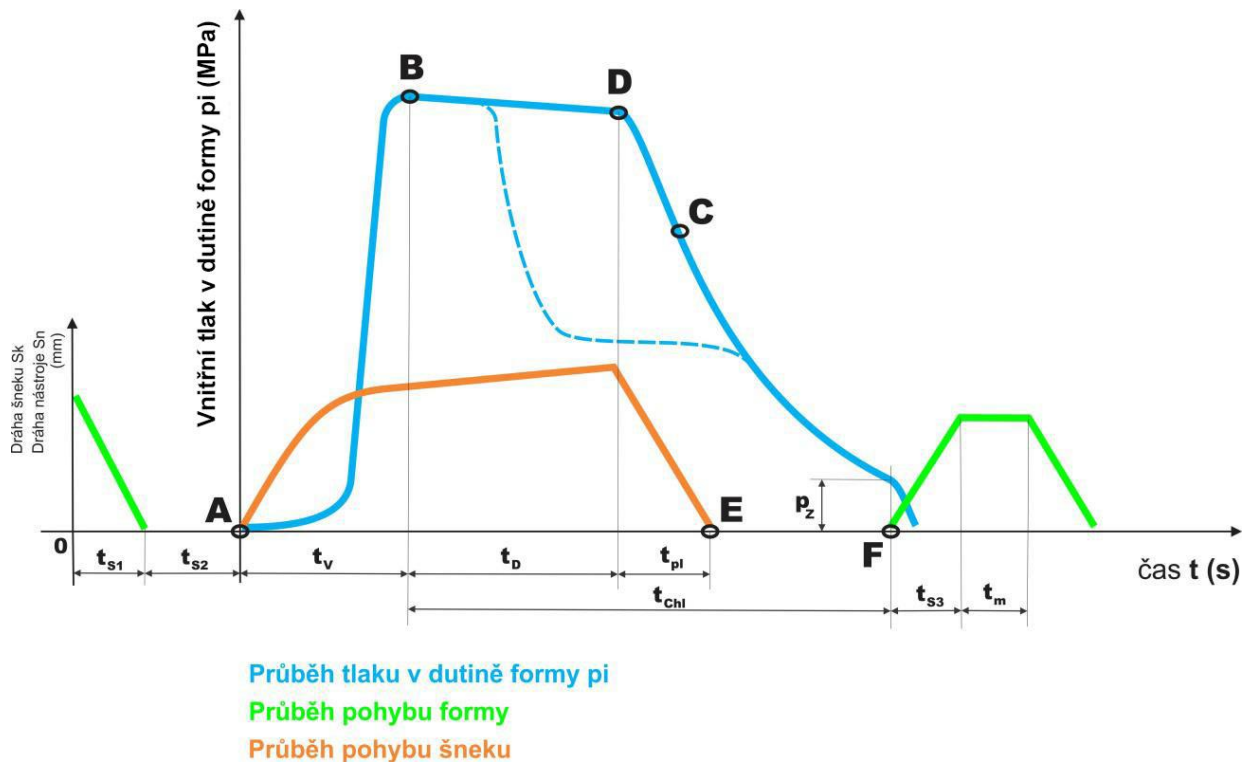
2.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací tvoří cyklus přesně daných postupných kroků (fází), které se svou činností podílí na výrobě vstřikovaných dílů. Vstřikovací cyklus je proces, během kterého plast prochází teplotním a tlakovým cyklem. Vstřikovací cyklus můžeme popsat dvěma způsoby. Jak z hlediska časového průběhu vstřikovacího tlaku, tak i z hlediska p-v-T diagramu. [18]

2.1.1 Vstřikovací cyklus v diagramu p,t

Na počátku vstřikovacího cyklu je dutina formy otevřená a dutina formy prázdná. V čase nula je zahájen vstřikovací cyklus. V časovém úseku t_{s1} se forma se zavře a „zamkne“. V případě, že je nutné přisunout vstřikovací jednotku k formě vstřikovacího stroje, tak tato činnost je zahrnuta časovým úsekem t_{s2} . Časové úseky t_{s1} a t_{s2} jsou strojní časy.

V bodě A začíná vstřikování roztavené hmoty (plnění) do dutiny vstřikovací formy. Tato doba, během níž probíhá plnění dutiny formy, se značí t_v . Během fáze plnění dosáhne tlak maximální hodnoty a konec fáze je v bodě B. Zaplnění dutiny taveninou dosahuje kolem 95 až 97% objemu dutiny vstřikovací formy. [18]



Obr. 2 Vstřikovací cyklus [18]

Chlazení probíhá až do otevření formy a vyhození výstřiku ze vstřikovací formy. Tato doba je označena t_{ch} .

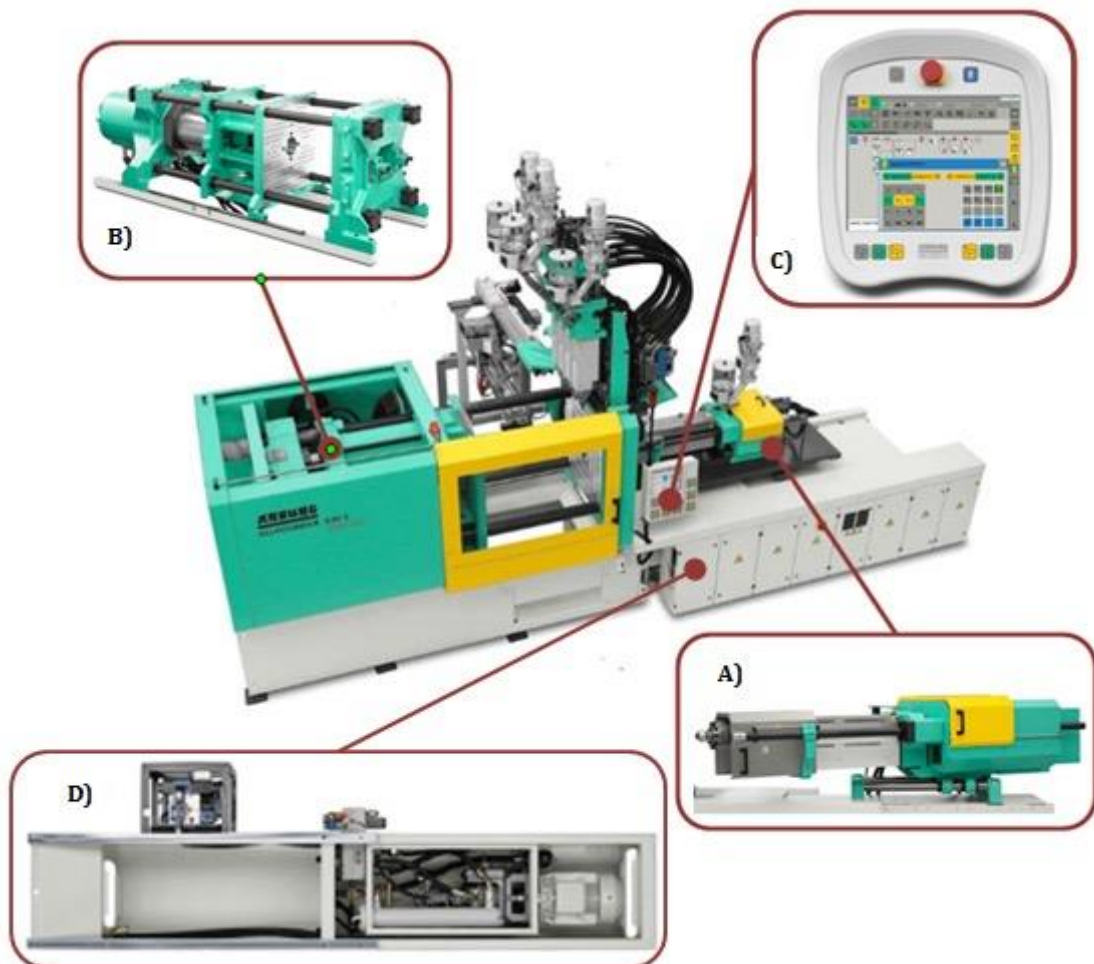
Během chlazení se výstřik smršťuje a zmenšuje svůj objem. Aby se na výrobku netvořily technologické vady (propadliny, staženiny), je nutné působit dostatečným dotlakem. Tato část cyklu se nazývá *doba dotlaku* a značí se t_d . Dotlak může být po celou dobu stejně vysoký jako maximální vstřikovací tlak nebo se může po několika sekundách snížit a další chlazení probíhá při sníženém tlaku. Dotlak se proto rozděluje na izobarický a izochorický dotlak. Doba dotlaku končí v bodě D. Bod C označuje místo zatuhnutí roztavené hmoty ve studeném vtokovém kanálu.

Po dotlaku začíná opět plastikace nové dávky plastu, časový úsek t_{pl} , končící v bodě E. Dále může následovat odsunutí tavicí komory od formy, ale nemusí. Během pokračující fáze chlazení tlak nadále klesá až na hodnotu zbytkového tlaku p_z , což je tlak ve formě těsně před otevřením dutiny formy. V bodě F se forma otevře a výstřik se vyhodí z dutiny formy. Na tuto operaci je potřeba *strojní doba* t_{s3} . Je-li výstřik vyjímán z formy manipulátorem, vkládán kovový zástřík do formy nebo dávkování separačního prostředku je k tomu navíc vymezena *manipulační doba* t_m . [18]

2.2 Vstřikovací stroj

Díky nástupu nových moderních vstřikovacích strojů, probíhá vstřikovací proces již plně automaticky, tím pádem se významně zvýšila i produktivita práce. Nicméně pořizovací strojního zařízení a vstřikovacích forem je značně vysoká, proto se technologie vstřikování používá pro velkosériovou a hromadnou výrobu. [14]

Hlavním požadavkem na vstřikovací stroje je, aby byla zajištěna výroba jakostních dílů, díky dokonalému řízení a kvalitě svých parametrů. V současné době existuje velký počet různých konstrukčních stroj, které se od sebe liší svým provedením, stupněm řízením, rychlostí výroby, snadnou obsluhou a cenou. Konstrukce stroje se skládá ze vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky a z řízení a regulace. [1]



Obr. 3 Vstřikovací stroj: (A) vstřikovací jednotka, (B) uzavírací jednotka (C) komunikační rozhraní řídicího a kontrolního systému, (D) rám stroje s hydraulickým pohonem [19]

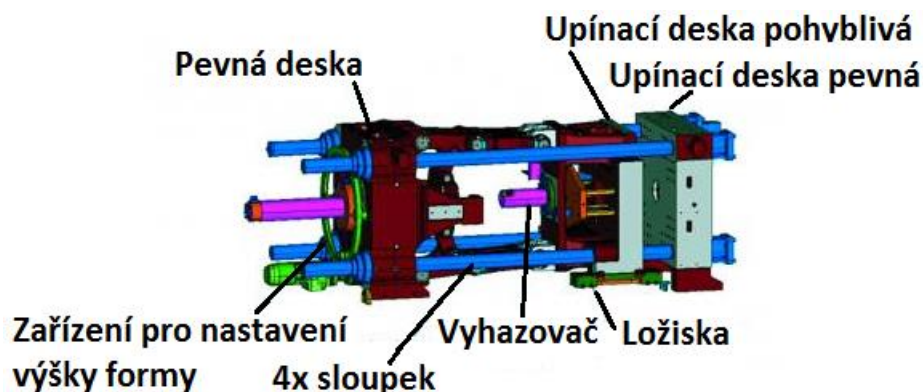
2.2.1 Druhy vstřikovacích strojů

Se stoupajícími nároky na kvalitu plastových výstřiků a množství výrobků se začíná ukazovat, že hydraulické stroje jsou na mezích svých možností a proto je třeba hledat nové možnosti pohonů vstřikovacích strojů. [17]

Většina všech vstřikovacích strojů na plasty jsou hydraulické. Elektromotorem řízená čerpadla hydraulického oleje dodávají toto médium při požadovaném tlaku a množství do hydraulických válců a hydromotorů. Přenos energie kapalinou je v dnešní době velmi dobře zvládnutý a bezproblémový. Rozvoj řízených elektrických pohonů v posledních letech umožnil koncepční změnu, využití elektrických pohonů i v rámci vstřikovacích strojů. [20]

Hydraulické stroje

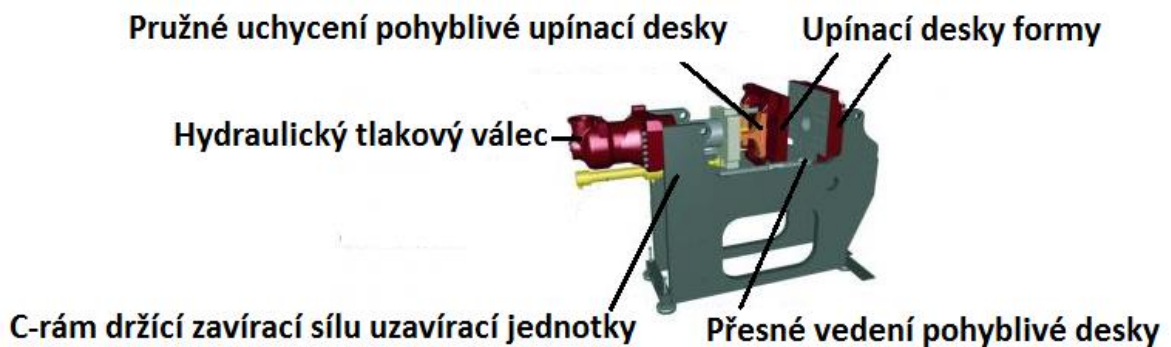
Dnes je nejvíce rozšířeným vstřikovací stroj se sloupkovým uzávěrem. Princip je, že mezi dvěma ocelovými deskami, které jsou pevně spojeny v rozích čtyřmi tyčemi, je po sloupcích nebo rámu stroje vedena pohyblivá deska. Její přesuvný mechanismus se opírá o jednu z pevných desek. Na čelo druhé pevné desky a čelo pohyblivé desky se upíná forma.



Obr. 4 Vstřikovací stroj se sloupkovým uzávěrem [17]

Někteří výrobci používají rovněž tzv. dvoudeskové stroje. Kdy sloupky jsou vetknuty do jedné pevné a zároveň i upínací desky, druhá pevná deska odpadá. Pohyblivá deska je vedena rámem stroje pomocí hydraulických válců a zámkový mechanismus ji mechanicky fixuje při uzavření formy. Výhoda těchto strojů je, snížení množství spotřebované oceli, redukce zástavbové plochy stroje a stroj lze vyrobit delší s možností upnutí větší formy. [17]

Další možností jsou bezsloupkové stroje. Uzavírací sílu přenáší místo sloupků tzv. C rám. Mírná elasticita C rámu je kompenzována flexibilním uchycením pohyblivé desky nazývaným flexlink. Tato patentová konstrukce umožňuje přesné uzavření formy bez nebezpečí vzniku smykových sil. Pro upínání formy je pak dispozici mnohem větší prostor než u sloupkových strojů. [17]



Obr. 5 Bezsloupkový stroj [17]

Hybridní stroje

Přímé elektrické pohony se využívají ve vstřikovacích strojích již dlouho, ale vždy v kombinaci s hydraulickým pohonem. Takové vstřikovací stroje se nazývají hybridní. Nejčastěji využívají servomotor pro pohon šneku prostřednictvím převodovky nebo ozubeného řemene. Pomocí tohoto pohonu se dávkuje materiál paralelně k ostatním pohybům stroje, což umožňuje plastifikovat dostatečné množství materiálu při krátkých časech cyklu. Hybridní vstřikovací stroje se tedy používají zejména pro výrobu obalovin anebo rozměrných výrobků při relativně velkých vstřikovaných množstvích taveniny. Elektrický pohon zároveň umožňuje úsporit energii.

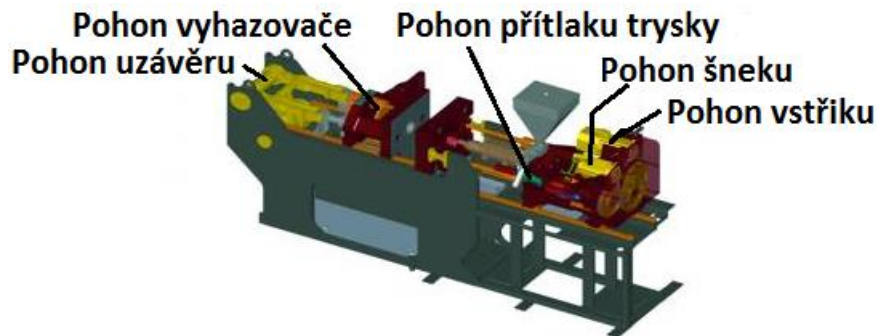
Někteří výrobci používají elektrické pohony pro parciální pohyby strojů nebo forem (např. vytáčení jader). [20]

Elektrické stroje

Většina výrobců vstřikovacích strojů již vyvinuli plně elektrické vstřikovací stroje. Všechny funkce stroje jsou u těchto strojů poháněny servomotory nebo asynchronními motory s frekvenčními měniči. [20]

Hlavní výhodou plně elektrických lisů je zejména preciznost stroje a téměř 100% reprodukovatelnost parametrů díky přesným servoosám. Elektrické pohony kromě toho umožňují

paralelní pohyby všech částí stroje, což je umožněno vlastními pohony všech pohybových částí stroje. Další výhodou těchto strojů je menší spotřeba elektrické energie, nižší náklady na chlazení, snížení hladiny hluku a rizika znečištěním olejem výhodné pro uživatele v oblastech, kde jsou kladeny vysoké požadavky na čistotu životního prostředí. [20]

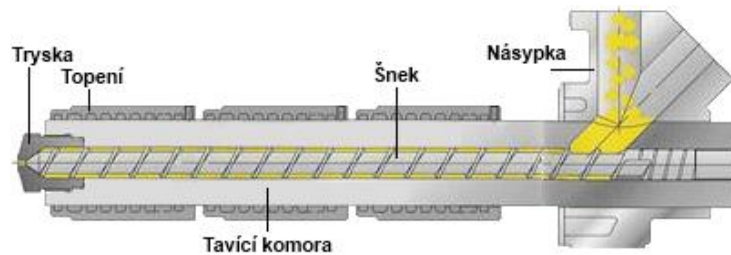


Obr. 6 Schéma plně elektrického stroje [17]

2.2.2 Vstříkovací jednotka

Základní funkcí vstříkovací jednotky je převedení tuhého polymeru do stavu vysoce viskózní taveniny a následná doprava taveniny do tvarové dutiny vstříkovací formy s ohledem na maximální tvarovou a rozměrovou přesnost. Nejrozšířenějším typem určeným pro zpracování termoplastů jsou vstříkovací jednotky se šnekem, který rotuje kolem své osy a axiálně se pohybuje vpřed a vzad. Vstříkovací jednotka je připevněna k posuvné konzole, která zajišťuje přisun trysky vstříkovací jednotky ke vtokové vložce vstříkovací formy. Pohony vstříkovací jednotky také zajišťují rotaci šneku při plastikaci dávky taveniny a přemístění této dávky do tvarové dutiny, dopředným pohybem šneku, kdy šnek působí jako píst, který vytlačuje taveninu z komory vstříkovací jednotky. Šnek působí na taveninu i v následující fázi dotlaku. Celkový design vstříkovací jednotky a šneku by měl zajistit snadnou a rychlou výměnu zpracovávaného materiálu, šneku, či celé jednotky.

Vstříkovací jednotka je složena z několika částí. Vstupní část představuje násypka, na níž navazuje plastikační komora, která má po obvodu topné pásy. Tavicí komora je ukončena tryskou, skrze kterou tavenina plastu proudí dále do formy. Uvnitř tavicí komory je umístěn šnek s charakteristickou geometrií. Výkonnost vstříkovací jednotky je charakterizována především dvěma parametry, kterými jsou vstříkovací kapacity a plastikační kapacita. [19]

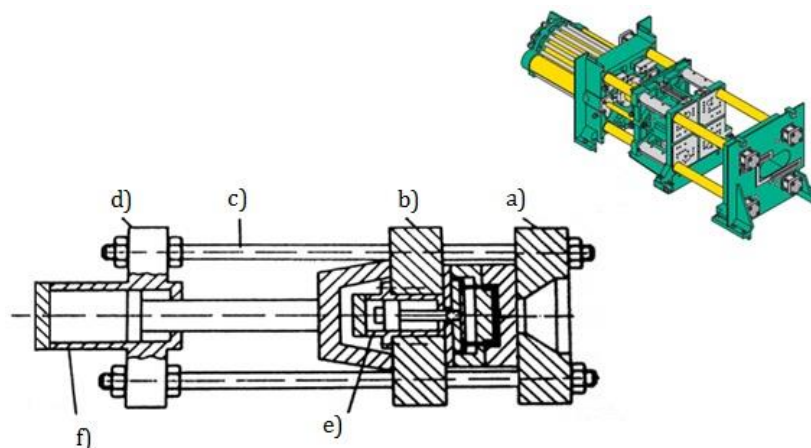


Obr. 7 Řez vstřikovací jednotkou [14]

2.2.3 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotky ovládá zavírání a otvírání formy dle procesu vstřikování a zajišťuje uzavření formy takovou silou, aby nedošlo při vstříknutí taveniny (pod tlakem) do formy k otevření formy. Současné moderní stroje mají programovatelnou rychlost a sílu uzavírání vstřikovací formy.

Hlavní části uzavírací jednotky jsou: opěrné desky pevně spojené s ložem stroje, pohyblivé desky, na kterou je upnuta pohyblivá část formy, upínací desky, vedení pro pohyblivou desku, z uzavíracího a přidržovacího mechanismu. Vstřikovací stroje používají v současné době různé uzavírací systémy, které např. mohou být konstruovány jako hydraulické, mechanické, kombinace hydraulického a mechanické způsobu a v poslední době se začínají prosazovat i elektrické systémy. [14]

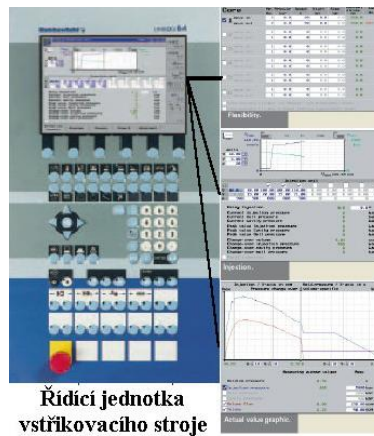


Obr. 8 Hydraulická uzavírací jednotka, (a) pevná část formy, (b) pohyblivá část formy, (c) vodící tyče, (d) rám stroje, (e) hydraulický vyhazovač, (f) hydraulický válec pro ovládání pohyblivé části formy [19]

2.2.4 Řídicí jednotka

Stupeň řízení a snadné ovládání stroje charakteristickým znakem jeho kvality. Stálá opakovatelnost technologickým parametrů je vynikajícím a nutným faktorem. Pokud by tyto parametry nepřiměřeně kolísaly, mělo by to za následek nerovnoměrnost na přesnosti a kvalitě vyrobených výstřiků. Proto musí mít vstřikovací stroj vhodné řídicí a regulační prvky.

Dnešní koncepce vstřikovacích strojů se proto neobejde bez výkonné procesorové techniky a místo používané textové formy nastavování technologických parametrů se používají různé druhy grafických forem řízení pracovního cyklu. Pracovní cyklus je tak sestavený do programových sekvencí, které jsou snadno kontrolovatelné a případně i upravitelné. [1]



Obr. 9 Řídicí jednotka vstřikovacího stroje[14]

3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ

Vstřikované výrobky se konstrukčně řeší z hlediska funkčního technologického, estetického a ekonomického. Aby mohl konstruktér tento úkol kvalifikovaně, s náležitou odbornou úrovní splnit, potřebuje co nejvíce technických a ekonomických informací o podobných již existujících výrobcích.

Po shromáždění těchto informací si musí konstruktér ujasnit řadu otázek týkajících se konkrétních výrobku, které má navrhnout. Hlavním bodem bude podrobný rozbor funkce výrobku a z toho vyplývající požadavky na mechanické, tepelné a další vlastnosti materiálu. Současně musí řešit ekonomické požadavky, např. cenu výrobku, náklady na výrobu formy, dostupnost zvoleného materiálu a při tom mít neustále na paměti technologičnost navrhovaného výrobku. Celý tento proces vyústí v konstrukční návrh nového výrobku z plastu. [4]

3.1 Konstrukční zásady při návrhu plastových výrobků

Při konstrukci plastových součástí jsou dány určité meze konstrukčních tvarů a jejich vlastností, které by se neměly překročit, jinak vzniknou při výrobě problémy. Bez potřebných zkušeností se jim lze jen obtížně vyhnout, tak aby konstrukční návrh vyhovoval podmínkám výroby. Nicméně všeobecně platí: čím jednodušší součást, tím výhodnější pevnostní podmínky, snadnější dodržení rozměrů a jednodušší výroba výstřiků. Ve skutečnosti se musí často volit kompromis mezi vznášenými požadavky. [1]

3.1.1 Úkosity a podkosity hran výrobků

Pro usnadnění vyhazování výstřiku z formy mají mít stěny výrobku rovnoběžné ve směru otvírání formy úkosity. Podle umístění úkosů a podkosů na výstřiku se můžou dělit zkosení na vnější a vnitřní. Podkosity se umisťují na formu tam, kde se potřebuje přidržet výrobek na pohyblivé straně formy z toho plyne, že podkosity stěžují odformování dílu. Doporučené minimální zkosení jsou pro vnější stěny výstřiků (např. tvaru kalíšku, krabice, apod) 0,5 až 1° a pro vnitřní stěny 1 až 2°. Větší úhly usnadňují spolehlivé vyhození, úhly menší se používají jen ve zvlášť zdůvodněných případech. [4,21]

Tab. 1. Velikost úkosů [1]

Úkos pro	Velikost úkosu
Vnější plochy	30' - 2° (1°)
Vnitřní plochy	30' - 3° (2°)
Otvory do hloubky 2 D	30' ÷ 1° (45')
Hluboké otvory	1° - 10°
Žebra, nálitky	1° ÷ 10° (3°)
Výstupky	2° ÷ 10°

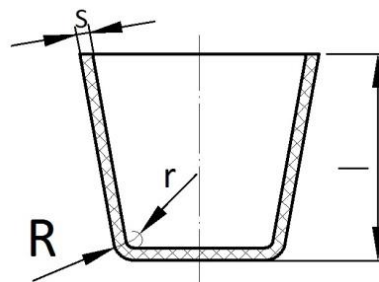
3.1.2 Zaoblení hran a rohů

Všechny hrany a rohy, které jsou na výstřiku, by měly být zaoblené, kromě rohů na dělicích rovinách. Pokud hrany a rohy nejsou zaoblené, znamenalo by to ztížení toku taveniny (možný vznik studených spojů, atd), zvýšená koncentrace napětí v těchto místech a větší opotřebení formy, protože přechody z ostrých hran požadují vyšší vstřikovací tlaky.

Čím větší je rádius zaoblení, tím snadnější je tok taveniny. Vnější rádius stěny bývá větší než vnitřní rádius, takže tloušťka stěny je v celém zaoblení stejná. Minimální rádius zaoblení má být asi čtvrtina tloušťky stěny. [1,4]

Tab. 2. Zaoblení hran a rohů [21]

Minimální poloměr [mm]			Doporučený poloměr [mm]	
Plast	r	R	l	r
Plněné PA, PC	1,5	r + s	>50	1,6
PS, PC, CAB, PMMA, PVC	0,6-1	r + s	50-100	2,5
PE, PP, CA, PPO, POM, PETP, PA, ABS, SAN	0,5	r + s	100-150	4
			150-200	5
			200-250	6
			250-300	8
			300-400	12
			400-500	20



3.1.3 Tloušťka stěn výstřiků

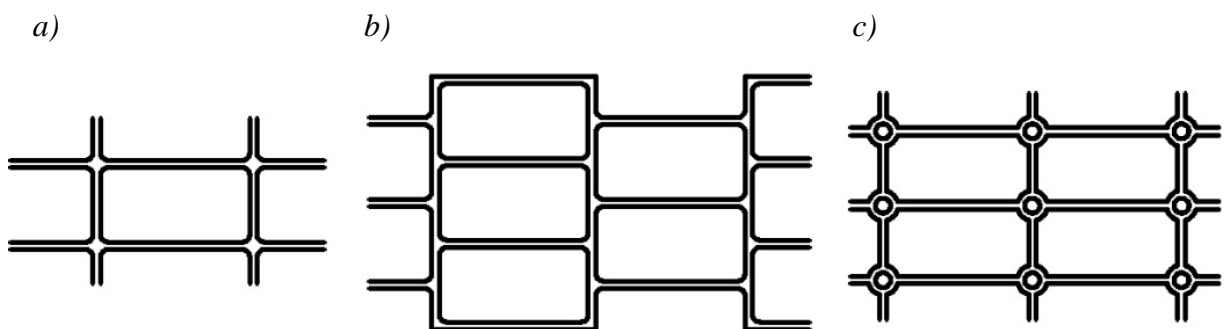
Zjednodušeně platí, čím menší tloušťka stěny výrobku, tím menší možnost vzniku povrchových propadlin, vnitřních staženin a působí menší smrštění. Minimální přípustná tloušťka je určena tuhostí, pevností a rozměrností výrobku. Dobře navržený díl vyžaduje jednotnou tloušťku, vyhýbat se tlustým stěnám, kde je nutno provést vhodné odlehčení. Náhlé přechody mají být bez ostrých hran a tloušťka vedlejších stěn a žeber nemá překročit 0,8 tloušťky hlavní stěny. [4,1]

3.1.4 Konstrukce žeber

Žebra rozdělují podle účinku, který plní na součásti. Technická žebra se používají velmi často pro vyztužení výstřiků a umožňují tak použití tenkých stěn, při zachování požadovaných mechanických vlastnostech. Technologická žebra se používají v místech, kde se špatně plní dutina formy, hrozí zhroucení stěn nebo hrozí riziko vzniku povrchových vad. [4,1]

Doporučené zásady konstrukce žeber:

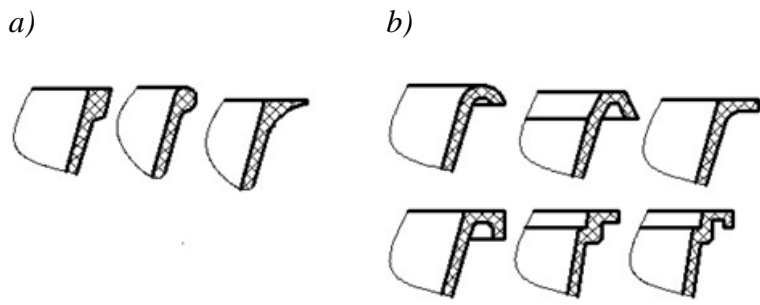
- tloušťka žeber by měla mít 0,6-0,8 násobku tloušťky stěny,
- maximální výška zebra by neměla přesáhnout 3 násobek tloušťky stěny. Pro zlepšení pevnosti je vhodnější větší počet žeber než vyšovat výšku žeber,
- minimální vzdálenost mezi žebry by měla být 2x tloušťky stěny,
- poloměr zaoblení žeber by neměl být větší než 50% tloušťky zebra,
- extrémně tenká žebra by se neměla používat. [22]



Obr. 10 Příklady žeber: a,c) technologická, b) technická [21]

3.1.5 Okraje a obruby na výrobcích

Okraje výstřiků nemají být zesílené, z důvodu hromadění materiálu, rozdílného smrštění proti tenčí stěně. Pokud je zesílení okraje nutné z funkčního hlediska, nemělo by být větší než 1,2 násobek tloušťky okolní stěny. Okraje výrobků by měly být zaoblené, aby nedocházelo k poškození hran výstřiku nebo k poranění při manipulaci. [4]



Obr. 11 Příklady okrajů a obrub a) nevhodné, b) vhodné [21]

3.1.6 Návrh úchytů

Úchyty patří mezi jedny ze základních komponentů při návrhu plastových dílů. Slouží jako spojovací elementy mezi jednotlivými sestavami a zároveň zpevňují navrhovaný výstřik. Podobně jako u žeber se musí zvažovat tloušťku stěn úchytů.

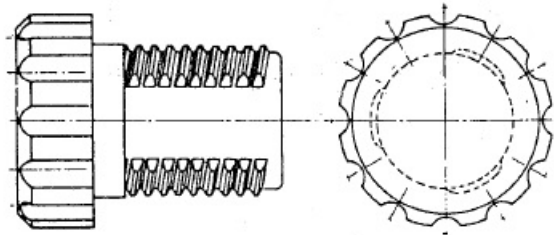
Stejně jako u žeber existují doporučená pravidla pro konstrukci úchytů:

- tloušťka úchytu by měla být 0,6 násobek tloušťky stěny nebo pokud je tloušťka stěny větší jak 4 mm, tloušťka by neměla přesáhnout 0,4 násobek stěny,
- výška úchytu by neměla být větší než je 2,5 násobek průměru díry úchytu,
- vysoké můstky úchytů zlepšují tečení materiálu, odvzdušnění a snižují pravděpodobnost vzniku vzduchových kapes.

Základna žeber a úchytů by měla být zaoblená pro lepší rozložení namáhání. Pokud by základna nebyla zaoblená, napěťové špičky by vedly k rozlomení a rozpadu dílu. Naopak velké zaoblení způsobuje přílišné zhutnění materiálu a to by vedlo k propadům povrchu během formátování nebo vzniku vzduchových kapes. [22]

3.1.7 Závity

Závity na plastových dílech se doporučuje vyrábět o větším průměru s větším stoupáním, protože obecně se plastové závity vyznačují menší pevností a u jemnějších tvarů i obtížným zaformátováním. Dalším neméně důležitým prvkem je tvar závitu, z hlediska pevnostního a výrobně vhodnější se osvědčily tvar oblý, pilový, trapézový a podobné tvary. Jako nejvhodnější z hlediska výroby se jeví přerušovaný závit.

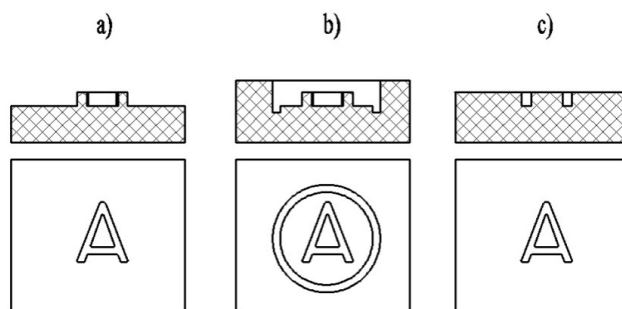


Obr. 12 Přerušovaný závit u šroubu [1]

Vnější závity se vyrábí ve formách, které jsou dělené a ty se dají jednoduše vyhodit. U nedělených čelistí se musí závit z formy vytáčet, tento způsob je složitější, pomalejší a pracnější. Vnitřní závity se vyrábějí pomocí trnů, které se musí vyšroubovat nebo pomocí vytáčecích zařízení. [1]

3.1.8 Písmo a značky na výrobcích

Nápisy a značky se zhotovují jako vystouplé, polovystouplé nebo zahloubené. Nejjednodušší na výrobu je vystouplé písmo avšak snadněji se odírá, proto se často nepoužívá. Polovystouplé písmo se používá v případě, že písmo nesmí vystupovat nad povrch výstřiku. Zahloubené písmo se používá, když je nápis na výrobku dostatečně vyplňován barvou. Hloubka ani výška písma by neměla přesahovat 0,5 mm z výrobních důvodů. Úkosy písmen by měly být aspoň 2°, pro snadné vyjmutí z formy. [4]

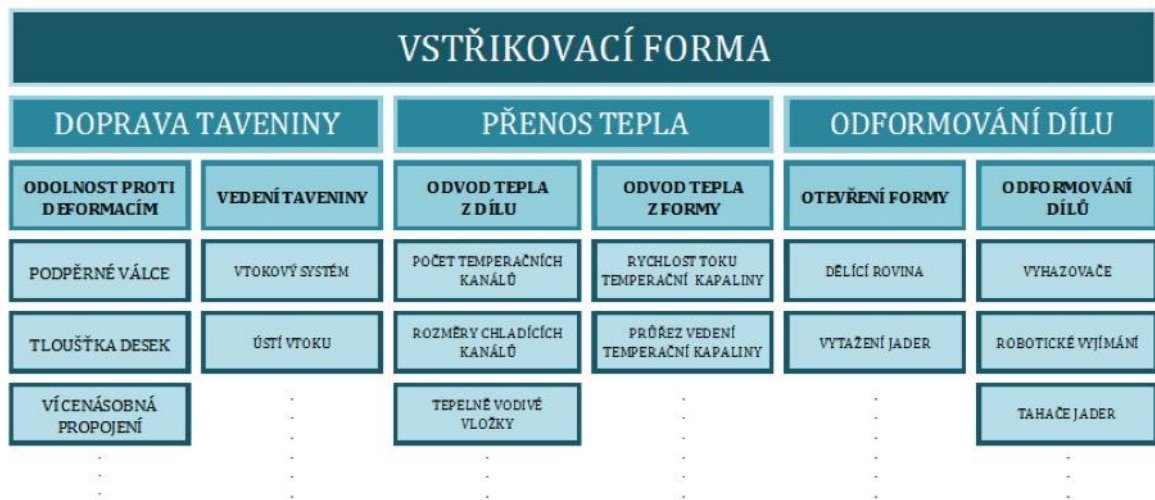


Obr. 13 Písmo a) vystouplé, b) polovystouplé, c) zahloubené [21]

4 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma je nástroj vstřikovacího stroje, který musí splnit současně mnoho požadavků vycházejících z procesu vstřikování plastů. Funkcí formy je doprava roztaveného polymeru do dutiny formy, která má rozměry a tvar budoucího dílu. Další funkce vstřikovací formy je efektivní odvod tepla, bezpečné a rychlé periodicky se opakující vyjmutí dílu. Zajištění těchto tří hlavních funkcí (doprava taveniny, odvod tepla, vyhození), vyžaduje i dalších (vedlejších) funkcí vstřikovací formy *Obr.14*. Například funkce dopravy taveniny polymeru vyžaduje, aby:

- forma odolávala vysokým silám, které mohou zapříčinit otevření formy nebo defektu,
- forma obsahovala vtokový systém propojující trysku vstřikovacího stroje s dutinou nebo dutinami formy. [23]



Obr. 14 Základní funkce vstřikovací formy [23]

Je nutné podotknout, že *Obr.14*. neobsahuje vyčerpávající seznam všech možných funkcí vstřikovací formy, ale jen funkce zohledněné při konstrukci většiny vstřikovacích forem. Přesto některé požadavky jsou ve vzájemném konfliktu. Např. lepšího odvodu tepla z dutiny formy se může dosáhnout použitím velkého počtu kanálků. Ovšem odformování výrobku může vyžadovat větší množství vyhazovacích prvků v oblastech, kde by bylo vhodné umístit chladicí systém z hlediska lepšího odvodu tepla a podobně. Konstruktor proto musí učinit kompromis ve výsledném návrhu konstrukce. [23]

4.1 Konstrukce formy

Konstrukce vstřikovací formy je náročná a specifická činnost, kterou si obvykle vstřikovna sama nezajišťuje. Na konstrukci a výrobu forem se specializují některé podniky nebo oddělení v podniku.

Výroba formy se většinou skládá ze dvou na sebe provázaných kroků. Prvním je vypracování návrhu vstřikovací formy v CAD programu, který je odeslán objednavateli na schválení. Zákazník schválí nebo podá návrhy na změny v konstrukci formy, ta se musí přepracovat, dokud nedojde k vzájemné dohodě. V druhé části, probíhá výroba formy podle výkresové dokumentace. Následuje odzkoušení funkčnosti formy a výroba vzorků. Referenční vzorky i s protokolem o jejich rozměrech a jakosti předány objednavateli na schválení.

Způsob odzkoušení formy může mít rozdílný způsob realizace, záleží na dohodě mezi zákazníkem a výrobcem. [1]

4.1.1 Postup při konstrukci formy

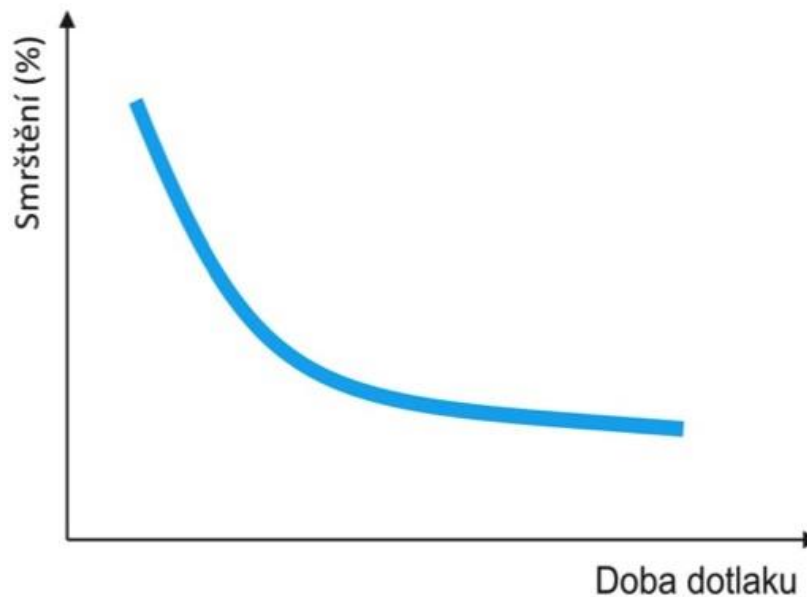
Podle podkladů, které konstruktér obdrží (3D model součásti, výkres, násobnost formy, zvolený materiál a další) následují tyto kroky:

- umístění vtoku s ohledem na způsob vyhození, posouzení součásti z hlediska tvaru, rozměrů, určení umístění hlavní dělicí roviny, případně i vedlejší dělicí roviny, tak aby výroba byla co nejjednodušší a roviny procházely hranami výrobku,
- s ohledem na smrštění, jakosti a opotřebení dutin stanovit rozměry tvarových dutin a jejich rozmístění,
- konstrukce vhodné temperace, vyhazování a způsob odvzdušnění,
- volba vhodného materiálu na jednotlivé části formy. Například tvárník, tvárnice budou vyrobeny z nástrojové oceli, protože jsou v kontaktu s horkou taveninou a upínací desky, které nejsou příliš namáhané, budou z konstrukční oceli,
- zvolení středících prvků a druh upnutí formy na stroj,
- kontrola funkčních parametrů s ohledem na zadaný vstřikovací stroj.

Konstrukce formy se neřídí jen funkčními a výrobními požadavky, ale taktéž ekonomickou stránkou a termínem dodání. [24]

4.1.2 Smrštění výstřiku

Smrštění je jev, který se vyskytuje u všech plastů. Při vstřikování jakéhokoliv termoplastu (např. PP, LDPE, PA, PS, SAN, ...) platí, že rozměry výrobku po vyhození z dutiny formy jsou jiné, než rozměry po nějaké době od jeho výroby. Rozměrové změny jsou velmi často chápány jako důsledek působení smrštění a deformace. Zde však se musí rozlišovat, protože mezi smrštěním a deformací je podstatný rozdíl, navíc deformace může vzniknout důsledkem smrštění. [3]



Obr. 15 Závislost velikosti smrštění na době dotlaku [18]

Smrštění je objemová změna výstřiku, která vzniká chlazením výrobku bez současného působení dotlaku. Změny objemu je možné posuzovat z hlediska celého výrobku, kdy měřítkem této změny je rozdíl mezi rozměrem výrobku a rozměrem formy. Nebo se jedná o změnu objemu v určitém místě, kdy vzniká lokální smrštění, která za následek vzniká propadlin nebo lunků v dané oblasti výstřiku. [18]

Deformace je tvarová změna při zachování konstantního objemu výrobku.

Od velikosti smrštění se odvíjí konstrukce formy (vtokový systém, teplota formy apod.) Stanovení velikosti smrštění je velmi obtížné, proto se používají tabulky, ve kterých jsou jednotlivé druhy plastů již spočítané velikosti smrštění. Získané smrštění z těchto tabulek není vždy dostačující. Proto u přesných výstřiků se dutina formy navrhuje tak, aby ji bylo možné dodatečně upravit (tvárnici vyrobit menší a tvárník větší). [3,24]

4.2 Vtokové systémy

Vtokový systém zajišťuje dopravu taveniny od vstřikovací jednotky přes systém rozváděcích kanálů a vtokové ústí s tvarovou dutinou formy. Musí zajistit správné a rovnoměrné plnění dutiny formy, snadné odtržení nebo oddělení vtoku od výrobku, snadné vyhození vtokového zbytku a objem vtokové soustavy omezit na minimum.

Vtoková soustava je konstruována podle množství tvarových dutin, jejich rozmístění, složitosti výstřiku, materiálu plastu a podle druhu konstrukce jako studený nebo horký vtokový systém. [25]

4.3 Studený vtokový systém (SVS)

Během toku taveniny studeným vtokovým systémem, roste její viskozita na vnějším povrchu (tavenina tuhne). Ztuhlá povrchová vrstva tak chrání (tepelně izoluje) vnitřní tekutý střed proudu, který zaplní dutiny formy. Jakmile se zaplní dutiny, prudce vzroste vnitřní odpor taveniny a průtok poklesne. Odvodem tepla od stěn formy pokračuje tuhnutí plastu v dutině tak i v vtokovém systému. Působením dotlaku dochází k vzniku tepla ve vtokovém ústí a tím se prodlužuje doba zatuhnutí taveniny. Při nárůstu protitlaku vlivem tuhnutí taveniny na hodnoty absolutního zaplnění vtoku taveninou, dojde k poklesu působení dotlaku a k úplnému ochlazení plastu. [24]

Výhody SVS:

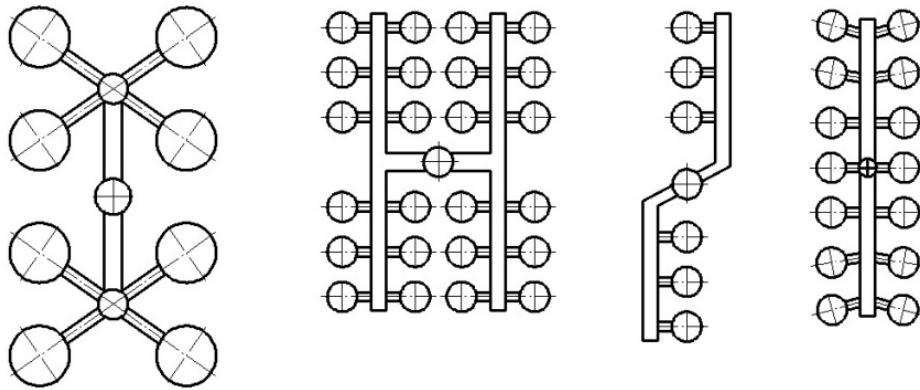
- levnější a jednodušší konstrukce formy než u horkého vtoku,
- jednoduché provedení vícenásobné formy,
- komponenty (vtoková vložka) je dodávána jako normálie,
- bez nutnosti dodatečného energetického připojení.

Nevýhody SVS:

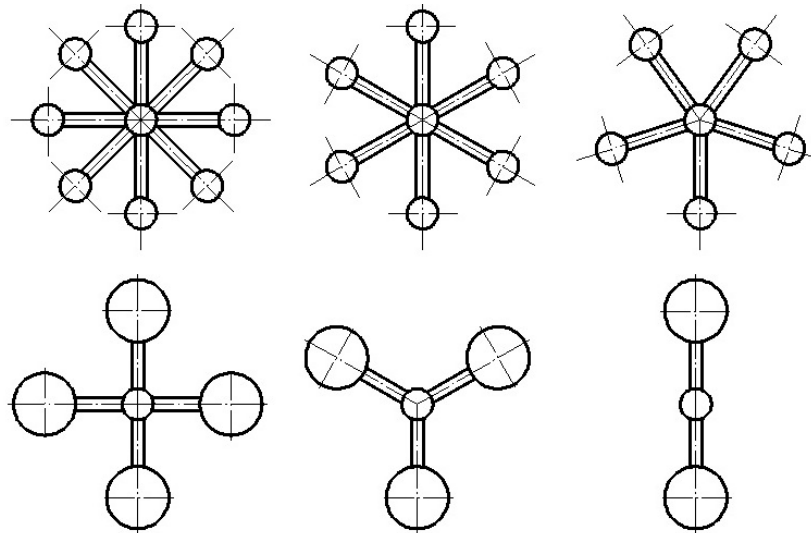
- větší spotřeba plastu než u horkého systému,
- nutnost zajistit oddělování vtokového zbytku od výstřiku,
- nutnost přidržování (po otevření formy musí vtokový zbytek zůstat na straně tvárníku) a vyhazování vtokového zbytku. [26]

Typy urpořádání vtokových soustav vícenásobných forem:

- řadové uspořádání,
- symetrické uspořádání. [28]



Obr. 16 Řadové uspořádání u vícenásobných forem [28]

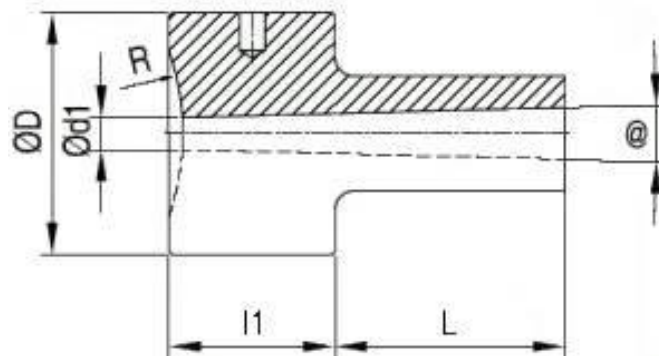


Obr. 17 Symetrické uspořádání u vícenásobných forem [28]

4.3.1 Vtokový kanál (Vtoková vložka)

Nejpoužívanější je kuželový vtokový kanál, který je vytvořený uvnitř vtokové vložky. Ústí do rozvodného kanálu, případně přímo do výrobku. Průměr v nejužším místě vtokové vložky je 0,5 až 1 mm větší než průměr trysky stroje. Z důvodu zajištění snadnější doformování vtokového zbytku, je hlavní kanál rozšířen pod úhlem $0,5^\circ$ až $1,5^\circ$ směrem k dělicí rovině. Průměr na konci vtokové trysky je závislý na velikosti výstřiku nebo na průměru rozvodného kanálu. [1,27]

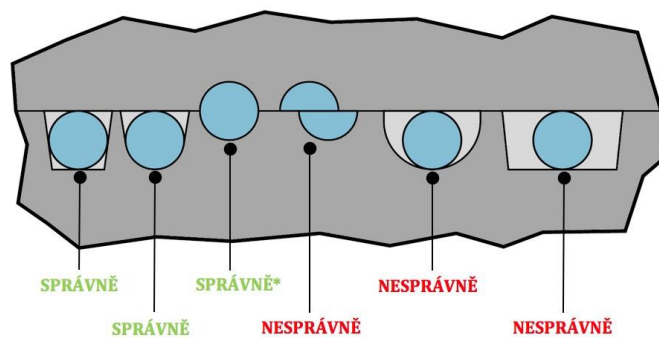
Samotná vtoková vložka se řadí mezi normálie a je vyrobena z pevné, houževnaté oteřuvzdorné oceli a je tepelně zpracována (tvrdost 58 HRC). Dle jednotlivých dodavatelů vtokové vložky je vyráběna z materiálu 1.2823, 1,2826. Dále vtoková vložka má předpřipravené otvory pro snadné umístění do správné polohy ve formě. [1,26]



Obr. 18 Vtoková vložka [27]

4.3.2 Rozvodný vtokový kanál

Rozvodné vtokové kanály dopravují materiál od jejího středu do vtokového ústí a jsou obvykle obrobena do dělicí roviny vstřikovací formy. Rozměry, tvar a rozložení rozváděcích kanálů ovlivňují kvalitu vstřikovaných dílů, efektivitu a ekonomickou stránku celého procesu vstřikování. Příliš velký průřez rozváděcích kanálů mohou neúměrně prodlužovat výrobní cyklus či zvyšovat podíl vtokového zbytku a celkově tím zvyšovat výrobní náklady na jeden kus výrobku. Naopak příliš malý průřez rozváděcích kanálů mohou způsobovat značné zvýšení vstřikovacích tlaků a s tím spojené komplikace při procesu vstřikování. Optimální rozměr rozváděcího kanálu je tedy kompromis mezi snadným plněním dutiny formy a objemem rozváděcích kanálů. [23]



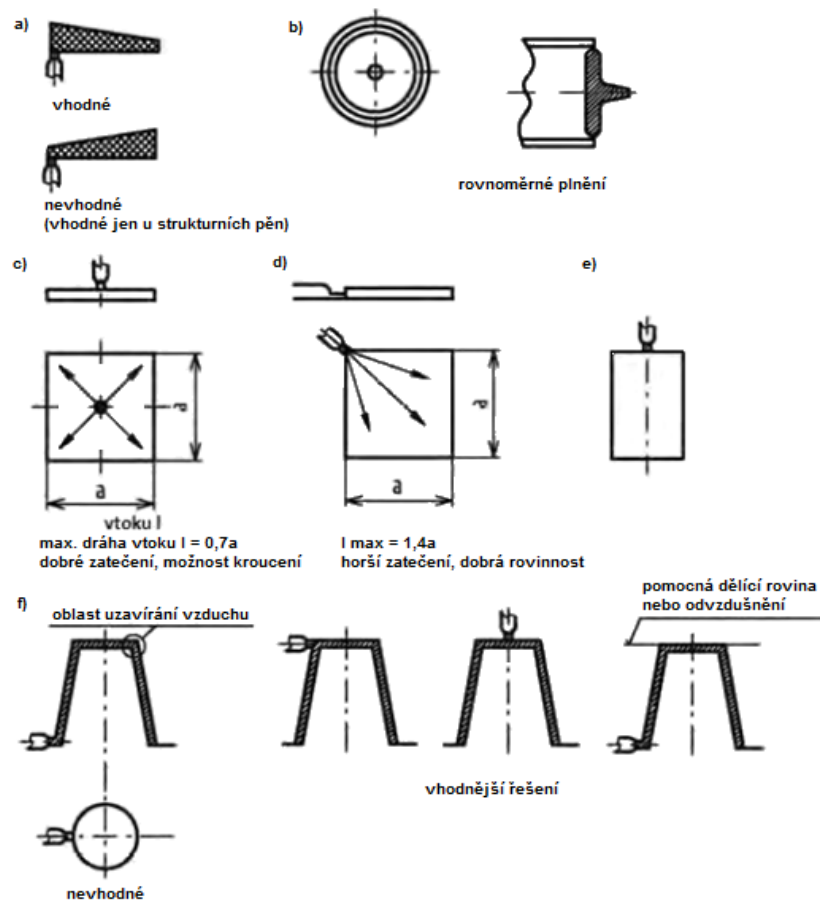
Obr. 19 Porovnání provedení rozváděcích kanálů [23]

4.3.3 Ústí vtoku

Tavenina je z vtokového kanálu do dutiny formy přiváděna přes zúžené místo, kterému se říká vtokové ústí. Jen výjimečně může být použit plný nezúžený vtok (pro potlačení lunek a propadlin u velkoobjemových výrobků). Vtokové ústí má být co nejmenší, aby stopy po vstříknutí na výrobku byla co nejmenší. Zúžením vtoku před vstupem do tvarové dutiny se se klesající teplota tavenina zvýší. Tím se omezí strhávání chladných vrstev z obvodu vtoku a vytváření povrchových defektů. [26,1]

Zásady správného umístění vtokového ústí:

- do nejlustšího místa stěny výrobku, tavenina má vždy téct z většího prostoru dutiny formy do míst menších,
- od geometrického středu výstřiku, aby tavenina zatekla do všech míst ve stejnou dobu,
- ve směru orientace žebek, zlepšení zatekavosti taveniny v dutině a další [26]



Obr. 20 Umístění vtokového ústí [28]

4.3.4 Základní druhy vtokových ústí

Plný kuželový vtok

Privádí taveninu přímo z hlavního vtokového kanálu do dutiny formy bez zúženého vtokového ústí. Používá se pro rozměrné a tlustostěnné výstřiky, pro všechny druhy materiálů. Jeho předností jsou malé tlakové ztráty, malá anizotropie smrštění a malé vnitřní pnutí ve výrobku. Nevýhodou je obtížné oddělení vtokového systému od výstřiku. [4]

Bodový vtok

Průměr ústí vtoku je nejčastěji 1mm. Vtok je kuželovitě rozšířen směrem k výrobku, aby zatuhlé vtokové ústí se oddělilo a bylo vyhozeno zároveň s vstřikovaným dílem. Používá se pro tenkostěnné výrobky. Výhodou je oddělení vtokového zbytku od výstřiku při vyhození z formy a více volnosti ve výběru umístění vtoku než u tunelového vtoku. Nevýhodou je větší stopa po vtoku na výstřiku a nutnost třídeskové systému. [26]

Tunelový vtok

Je to speciální případ bodového vtoku, jehož výhodou je, že vtokový zbytek může ležet ve stejné dělicí rovině jako výrobek, čímž odpadá náklady na složitou třídeskovou formu. K oddělení vtokového systému od výstřiku dojde pomocí správně navržené ostré hrany při otevření formy nebo vyhození výrobku. Tento druh vtoku se používá u vzhledově náročných dílů. [24]

Boční vtok

Jedná se o typ s zúženým vtokovým ústím, obvykle obdélníkovým (nebo kruhovým, lichoběžníkovým,..) průřezem, který leží v dělicí rovině. Při odformování zůstává obvykle výstřik od vtokového zbytku neoddělený, proto při automatickém cyklu jeho oddělení zajišťuje odřezávací zařízení. Boční vtok je nejrozšířenější a nejpoužívanější vtokové ústí. [1]

Filmový vtok

Používá se pro ploché rozměrné výstřiky, pouzdra a prstencové tvary. Jeho přednosti jsou rovnoměrnější plnění dutiny formy a malé dodatečné smrštění výrobku. Nevýhodou je větší vtokový zbytek a netnost dodatečného odřiznutí vtoku od výrobku. [4]

4.4 Vyhříváný vtokový systém (VVS)

Dvoudeskové vstřikovací formy jsou pro svou jednoduchou konstrukci velmi rozšířeným konstrukčním pojetím, ovšem mají poměrně mnoho omezení. Kvůli těmto omezením bylo pro velkosériovou výrobu vyvinuto několik typů forem, které uvedené nevýhody dvoudeskové vstřikovací formy částečně odstraňují. Jako např. třideskové formy, formy s horkým rozvodem, etážové formy, apod. V současné době je pravděpodobně nejrozšířenější konstrukční řešení dopravy taveniny plastu do dutiny formy s tzv. horkým rozvodem.

Princip tohoto systému spočívá v udržení polymeru v roztaveném stavu v oblasti mezi tryskou vstřikovacího stroje a ústím vtoku případně vedlejším rozváděcím kanálem po celou dobu vstřikovacího cyklu. Výsledkem je, že není vyroben žádný nebo minimální vtokový zbytek, jak je tomu v případě dvoudeskové vstřikovací formy. Jelikož horký rozvod taveniny umožňuje udržení polymeru v roztaveném stavu až k ústí vtoku, je možné vstřikovat díly s menší tloušťkou stěny. [23]

Konstrukční řešení vstřikovací formy pomocí horkých rozvodů má několik nesporných výhod, kterými je např.:

- široké možnosti umístění ústí vtoku,
- automatizace výroby,
- lepší přenos tlaku,
- snížení spotřeby materiálu,
- vyšší produktivita práce, zkrácení vstřikovacího cyklu,
- snížení nákladů na dokončovací práce, odpadá odstraňování vtokových zbytků.

Ale i řada nevýhod:

- vyšší náklady na konstrukci formu s horkým rozvodem,
- delší doba nutná na změnu materiálu (materiál uvnitř horkého rozvodu vyžaduje několik výrobních cyklů, než dojde ke kompletní výměně materiálu)
- vyšší náklady na provoz (náklady na vyhřívání horké trysky). [23,1]

4.4.1 Horké trysky

Konstrukce vyhřívané trysky umožňuje propojení vstřikovacího stroje s dutinou formy, při dokonalé teplotní stabilizaci. V trysce je obvykle zabodovaný topný článek s regulací, nebo zahřívání trysky zajišťuje jiným zdroj z vtokové soustavy. Použitím vyhřívané trysky se výrazně zlepší technologické podmínky vstřikování. [1]

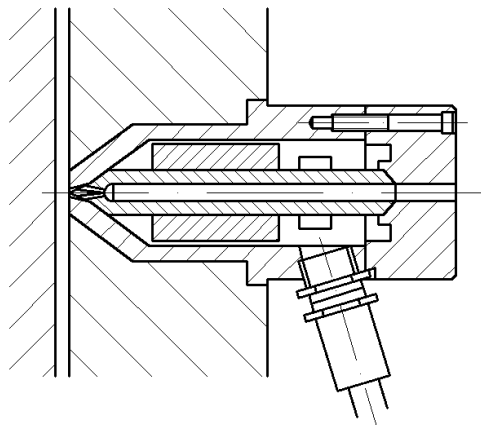
Provedení vyhřívaných trysek:

a) nepřímá vyhřívané trysky:

- dotápěná tryska vlastním zdrojem tepla,
- dotápěná tryska rozvodným blokem.

b) přímo vyhřívané trysky:

- s vnějším topením,
- s vnitřním topením. [21]



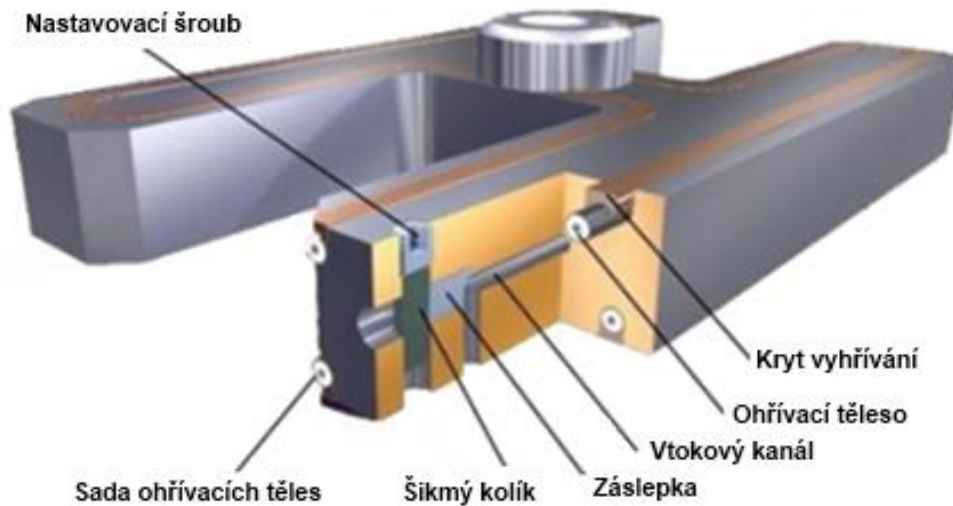
Obr. 21 Vyhřívaná tryska s vnějším vytápěním [1]

4.4.2 Horké rozvodné bloky

Vyhřívané rozvodné bloky se používají k rozvodu taveniny do tvarových dutin u vícenásobných forem. Dobrá funkčnost bloku je podmíněna rovnoměrným vytápěním. V opačném případě dojde k špatnému toku taveniny a následně špatnému tlakovému rozložení v jednotlivých dutinách formy.

Rozvodný blok je ocelový, uložen mezi upínací a tvarovou desku v pravé části formy. Jeho tvar je konstrukčně přizpůsoben poloze rozváděcích kanálků od místa vstupu taveniny až

k uložení trysek. Vyrábí se ve tvaru I, H, X, Y, hvězdice apod. Blok musí být tepelně izolovaný, nejčastěji vzduchovou mezerou. [1]



Obr. 22 Řez vyhříváním rozvodným blokem [28]

4.5 Vyhazovací systémy

Vyhazovací systém slouží k odformování výstřiku z dutiny poté, co je vstříkovací forma otevřena. Jakkoliv se to může zdát jednoduché, komplexnost vyhazovacího systému se může velmi výrazně lišit podle požadavků konkrétní aplikace. Konstrukce musí brát na zřetel nejen funkčnost vyhazovacího systému ale i vstříkovací formy jako takové. Mezi tyto body patří:

- osy směrů pohybů vyhazovacího systému,
- rozložení vyhazovačů na výstřiku,
- síla potřebná na vyhazování,
- a další. [23]

Pro správnou funkčnost vyhazovacího systému je potřeba, aby výrobek měl hladký povrch a úkos stěn výstřiku byl minimálně $0,5^\circ$. Vyhazovací systém musí díl vyhodit rovnoměrně, aby nedošlo k zpříčení výrobku a tím vzniku trvalých deformací nebo poškození samotného výrobku. Tvar, rozložení, umístění a druh vyhazovačů je velmi rozmanitý a záleží na tvaru výstřiku. [24]

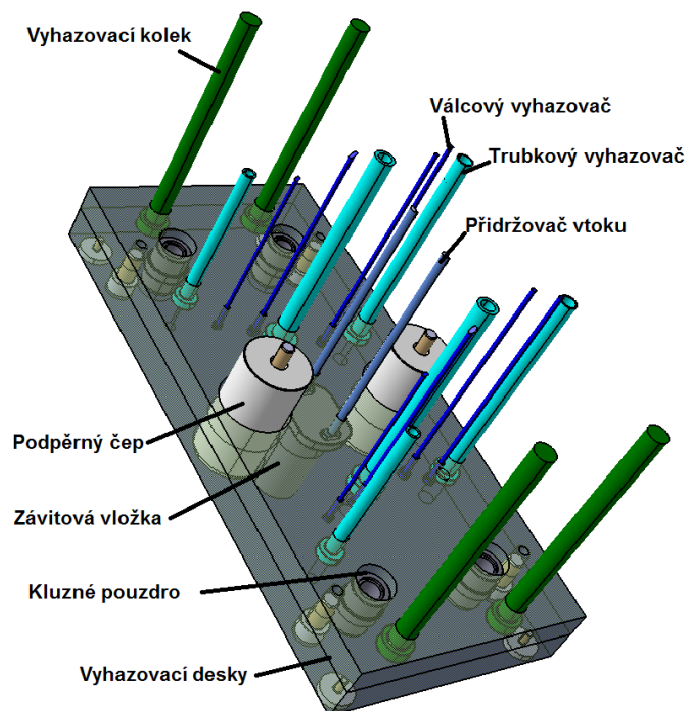
Ve většině případů zanechávají vyhazovače stopu na vyhazovaném dílu. V takových případech, pokud je nutné stopu odstranit, se výstřik dodatečně opraví nebo se vyhazovače umístí na místa výrobku, kde stopa po jejich činnosti nebude vadit.

Kromě vyhazování výstřiků se vyhazují i vtokové zbytky. V některých konstrukčních případech je dokonce možné oddělit vtokový zbytek od výstřiku. [24]

4.5.1 Mechanický vyhazovací systém

Je nejrozšířenější způsob vyhazování. Používá se vždy, pokud je to možné. Jeho konstrukce má různé provedení:

- vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků,
- vyhazování pomocí trubkových vyhazovačů,
- vyhazování pomocí stírací desky,
- šikmé vyhazování,
- postupné vyhazování,
- speciální vyhazování. [2]



Obr. 23 Vyhazovací systém [28]

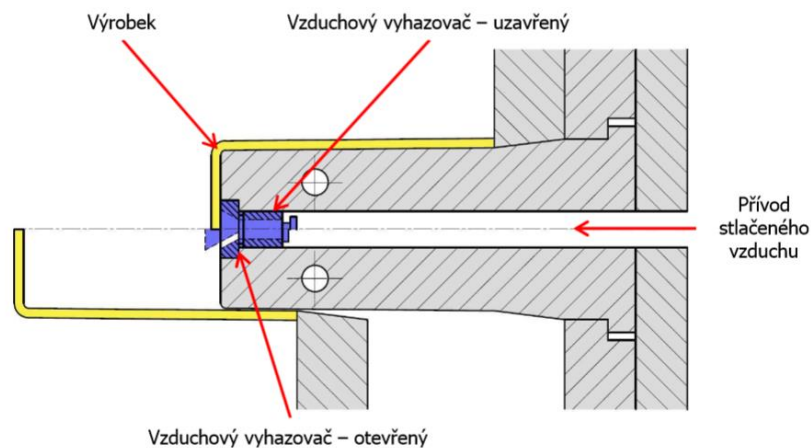
4.5.2 Pneumatický vyhazovací systém

Vzduchový systém vyhazování je vhodný pro tenkostěnné výrobky větších rozměrů ve tvaru nádob, které je nutné při vyhazování odvědušnit, aby se nedeformovaly. Běžné mechanické vyhazovače používané u objemnějších výstřiků vyžaduje velké zdvihy vyhazovačů a tím i větší rozměry formy.

U pneumatického vyhazování je přiváděn stlačený vzduch mezi výstřik a líc formy. Tím se dosáhne rovnoměrného oddělení výrobku od tvárníku, potlačíme možná místní přetížení a zamezíme vzniku stop po vyhazovačích. Použití tohoto způsobu je možné pouze na některé tvary výstřiků.

Přívod vzduchu do formy je přes ventil nebo různé kolíky. Otvírání ventilu je řízeno tlakem a zavření pružinou. Pro automatické formy se používají dva nezávislé systémy tak, aby došlo k bezpečnému vyhození výrobku. Používá se kombinace pneumatického a mechanického vyhazování.

Vzduchový systém vyhazování je ovládán mechanismem formy nebo vstřikovacím strojem. [24]



Obr. 24 Vzduchový vyhazovač [29]

4.6 Temperační systém

Pojem temperace vstřikovací formy zahrnuje ochlazování nebo ohřev tvarových částí formy pomocí temperačního média. Tvarová dutina je během vstřikování plněna taveninou, která je ve formě ochlazována na teplotu vhodnou k vyhození výstřiku. [31]

Hlavní úkoly temperačního systému:

- přehřev formy na požadovanou teplotu před začátkem výroby a udržení této teploty během vstřikování,
- zajištění rovnoměrnosti rozložení teploty formy po celém jejím povrchu,
- odvod tepla z dutiny formy po naplnění taveninou tak, aby pracovní cyklus byl výhodný z ekonomického hlediska. [31]

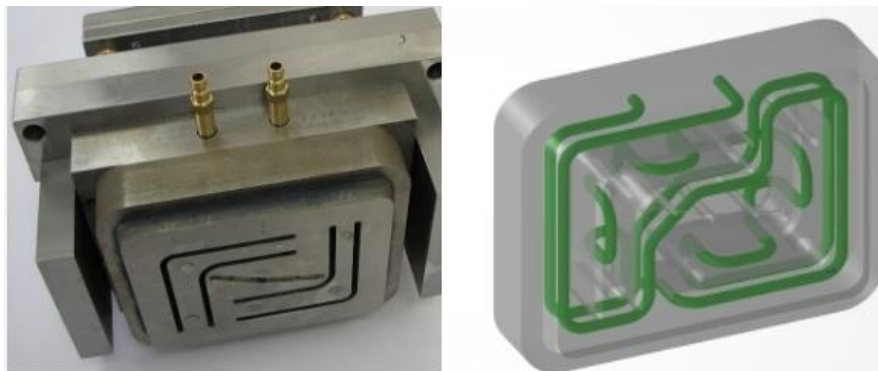
Temperace vstřikovacích forem je prvek, který významným způsobem ovlivňuje dobu výrobního cyklu, včetně celé řady kvalitativních parametrů jako rozměrovou a tvarovou stabilitu, deformace, jakost povrchu, mechanické vlastnosti, atd.

Temperace, úzce souvisí s požadavky na co nejefektivnější ekonomiku provozu, protože cca 70% výrobního cyklu je doba chlazení výrobku v dutině formy. Dále má velký vliv na zmetkovitost, některá publikovaná čísla uvádí až 60% vad je, možné po analýze přiřadit špatné konstrukci temperace formy.

Tedy z ekonomického hlediska by tuhnutí a ochlazování výstřiku mělo být co nejrychlejší, ale z pohledu jakosti dílů by jeho rychlost měla být taková, aby nedocházelo k případným rozměrovým a tvarovým změnám, vnitřním i povrchovým vadám.

Při konstrukci formy by měl mít konstruktér na paměti, že temperační systém je nutno do formy umístit ihned po promyšlení násobnosti formy, zaformování dílu (volba dělicích rovin, tvárnků a tvárnic, atd.) a rozvodu polymerní taveniny do dutin formy.

Nejpoužívanější temperační systémy jsou systémy s cirkulujícím médiem, kterým je zpravidla voda. Kromě vody se k temperaci výstřiku používá i olej, glykol a vodní pára. [30]



Obr. 25 Temperační systém [34]

4.7 Odvzdušnění forem

V tvarové dutině formy je po uzavření formy uzavřen i vzduch. Při následném plnění dutin taveninou dochází k stlačování vzduchu a jeho tlak narůstá. Tento nárůst tlaku může zapříčinit zažehnutí vzduchu a spálení plastu. Tento jev se nazývá Dieselův efekt. Vzduch v dutině formy může způsobovat i další vady na výstřiku, jako tvoření bublin, lomových poruch atd. Proto je nutné zajistit intenzivní odvod vzduchu z dutiny formy, a to nejenom netěsnostmi v dělicí rovině, vyhazovači ale i konstrukcí odvzdušňovacích kanálků, které však nesmějí být příčinou vzniku pohledových vad na výrobku. Odvzdušnění má být provedeno v dělicí rovině na pohyblivé straně formy. Na dostatečné odvzdušnění formy má vliv umístění vtoku, způsob zaformování výstřiku, přítomnost tvarových vložek, apod. [25,17]

4.8 Materiály na výrobu forem

Volba materiálů, ze kterých jsou vyrobeny jednotlivé díly vstříkovací formy, je nedílnou součástí celkového návrhu vstříkovací formy. Stejně jako existuje mnoho typů plastových materiálů, existuje i řada kovových železných a neželezných materiálů použitelných k výrobě forem. [23]

Nejdůležitějším a nejpoužívanějším materiálem pro výrobu forem jsou oceli. Ovšem ocelí je velké množství, nicméně každá má svoje jedinečné vlastnosti, které zužují jejich použití. Pro výrobu tvarových dutin a mechanicky namáhaných částí formy se často používá ocel nástrojová, cementační nebo legovaná. Velmi důležité je i tepelné zpracování, protože v případě špatného tepelného zpracování většinou vede k znehodnocení celého nástroje nebo k velkým potížím za provozu. [28]

K výrobě profesionálních forem se používají nástrojové oceli třídy:

1.1730 (ČSN 19083) – Základové desky, pouzdra, kolíky, sloupky

1.2080 (ČSN 19436) – Tvarové desky a formy pro velké série, dobrá odolnost proti opotřebení

1.2312 (ČSN 19520) – Doporučovaná ocel pro výrobu tvarových desek forem, dobře obrobitelná.

1. 2379 (ČSN 19573) – Tvarové desky a formy pro velmi velké série, velká odolnost proti opotřebení. [32]

Mimo oceli se při výrobě forem používají materiály jako hliník, dural, měď, mosaz a nejrůznější izolační a ochranné materiály. [28]

Slitiny duralu používané na formy:

5083 – Dural vhodný k použití na tvarové desky i tělesa forem pro malé série výlisků

5080R - Podobné vlastnosti jako tř. 5083, vylepšené složení slitiny

Certal - Je vhodný pro výrobu „levných“ forem, má větší odolnost proti otěru než 5083 a 5080R [32]

4.8.1 Normálie pro výrobu forem

V dnešní době není finančně ani časově výhodné vyrábět všechny díly formy. Většina firem vyrábí vlastními silami pouze kontaktní tvary nebo tvarové desky. Ostatní díly forem tzv. normálie (základové desky, vodící sloupky, vyhazovače, atd.) kupují již hotové od specializovaných výrobců dílů na formy. Jedna z používaných variant je, že je zakoupena celá forma a v nástrojárně je do ní vyroben pouze kontaktní tvar. V tomto případě je výroba formy poměrně rychlá, lze jen v případě, že si vystačíme s dostupnými díly normalizovaných tvarů a velikostí. Rovněž finanční úspora je menší než při výrobě kompletní formy vlastními silami. Mezi nejznámější výrobce normálií patří firmy Hasco, Meusburger, Strack a DME. Výrobci horkých systémů jsou Mold-Masters, Synventive, Incoe, Günther, Husky a mnoha dalších. [32]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

V diplomové práci byly zadány tyto cíle:

- Vypracování literární studie na dané téma
- Navrnutí vstřikovací formy ve 3D pro zadaný díl
- Návrh formy ověřit pomocí analýz
- Vytvořit 2D výkresy sestavy formy včetně kusovníku

Vypracovaná teoretická část je rozdělena do několika kapitol, které popisují samotnou technologii vstřikování, proces vstřikování, vstřikovací stroje, zásady konstrukce formy a jejich součástí.

Největší část diplomové práce tvoří vytvoření vstřikovací formy, podle zadaného dílu, kterým je součást u řadící páky osobního automobilu Nissan. Dalším úkolem bylo ověření navržené formy pomocí simulací. Poslední úkol je vytvoření 2D řezu formou, opozicování součástí formy a kusovník.

6 POUŽITÉ APLIKACE

6.1 Catia V5R19

CATIA (Computer-Aided Three-Dimensional Interactive Application) je integrovaný systém počítačového návrhu, konstruování a výroby (CAD/CAM/CAE), vyvinutý francouzskou firmou Dassault Systèmes. Tento program je jeden z nejpoužívanějších CAx systémů na světě, zejména v automobilovém a leteckém průmyslu. Systém CATIA V5 se vyznačuje širokým rozsahem použitelnosti, díky množství modulů, které jsou přímo navrženy pro různé odvětvích strojírenství. Jedním z nich je i modul Mold Tooling design, který zjednodušuje a zrychluje tvorbu vstřikovacích forem. [28]

6.2 Meuburger katalog

Meusberger katalog je 3D knihovna normálií od stejnojmenné firmy obsahující rozsáhlou knihovnu 3D normálií, používaných při konstrukci forem. Aplikace obsahuje i dokumentaci pro co nejlepší uplatnění. Katalog umožňuje ukládání do různých formátů kompatibilních s konstrukčními programy (Catia, NX, SolidWorks, Inventor, atd.) [28]

6.3 Autodesk Moldflow Insight 2016

Software Autodesk Moldflow Insight jako součást řešení Autodesk pro digitální prototypování je nástroj pro simulaci vstřikovacího procesu na digitálním prototypu. Software Moldflow poskytuje možnost hloubkově řešit, vyhodnocovat a optimalizovat plastový díl i vstřikovací formu a tím napomáhá ke studiu vstřikovacích procesů, užívaných v současné praxi. Moldflow využívají přední světoví výrobci v automobilovém průmyslu, v odvětví spotřební elektroniky, zdravotního materiálu i obalů k tomu, aby jim ušetřil náklady. [33]

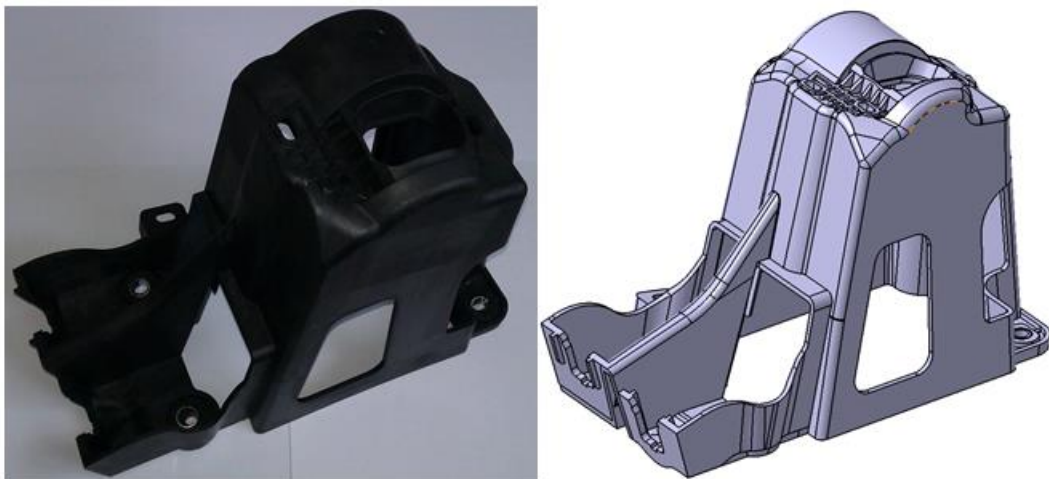
7 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Vstříkovaný výrobek je součástí zakrytování řádicí páky automobilu Nissan. Jedná se o nepohledový díl, takže nebude brán výrazný zřetel na pohledové vady. Materiál dílu byl zvolen polypropylen s obsahem 50% skelných vláken. Tento materiál se vyznačuje vynikající pevností v tahu, rázovou pevností a tuhostí.

Daný materiál dodává firma Sumika polymer Compounds UK pod prodejním označením Thermofil HP F911X99.

Doporučené procesní podmínky: [z programu Moldflow]

- Název	Thermofil HP F911X99
- Teplota taveniny	240 [°C]
- Teplota povrchu formy	35 [°C]
- Minimální teplota taveniny (doporučená)	220 [°C]
- Maximální teplota taveniny (doporučená)	260 [°C]
- Minimální teplota formy (doporučená)	20 [°C]
- Maximální teplota formy (doporučená)	50 [°C]



Obr. 26 Vstříkovaný výrobek – originální výrobek (vlevo), 3D model z Catie (vpravo)

8 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Při volbě vstřikovacího stroje bylo bráno v potaz: rozměry formy, velikost uzavírací síly a maximální vstřikovací objem. Celkový objem vstřikované taveniny je 643 cm^3 , k tomuto číslo by nutné přičíst minimálně 10 % taveniny jako rezervu. Zvolený stroj má kapacitu 792 cm^3 , takže splňuje dané požadavky.

Vstřikovací stroj byl vybrán Allrounder 720S – 3200 – 2100 od německé firmy Arburg, s těmito parametry: [35]

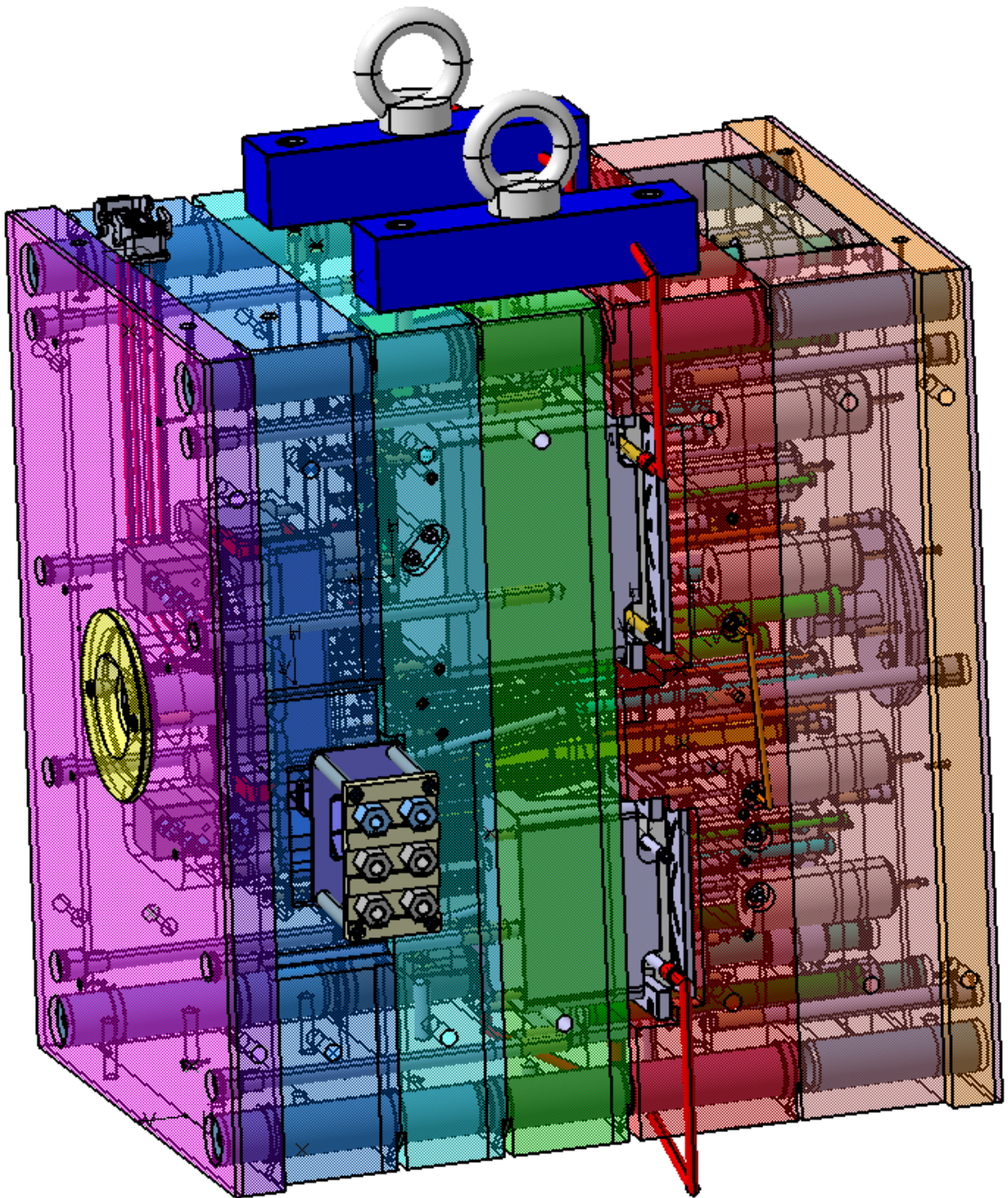
- | | |
|--|-----------------------|
| - Maximální objem dávky | 792 [cm^3] |
| - Maximální uzavírací síla | 3200 [kN] |
| - Průměr šneku | 60 [mm] |
| - Vzdálenost mezi vodíci sloupky (v x š) | 720 x 720 [mm] |
| - Velikost upínací desky (v x š) | 1040 x 1040 [mm] |
| - Maximální vzdálenost mezi deskami | 1400 [mm] |
| - Maximální vyhazovací síla | 130 [kN] |



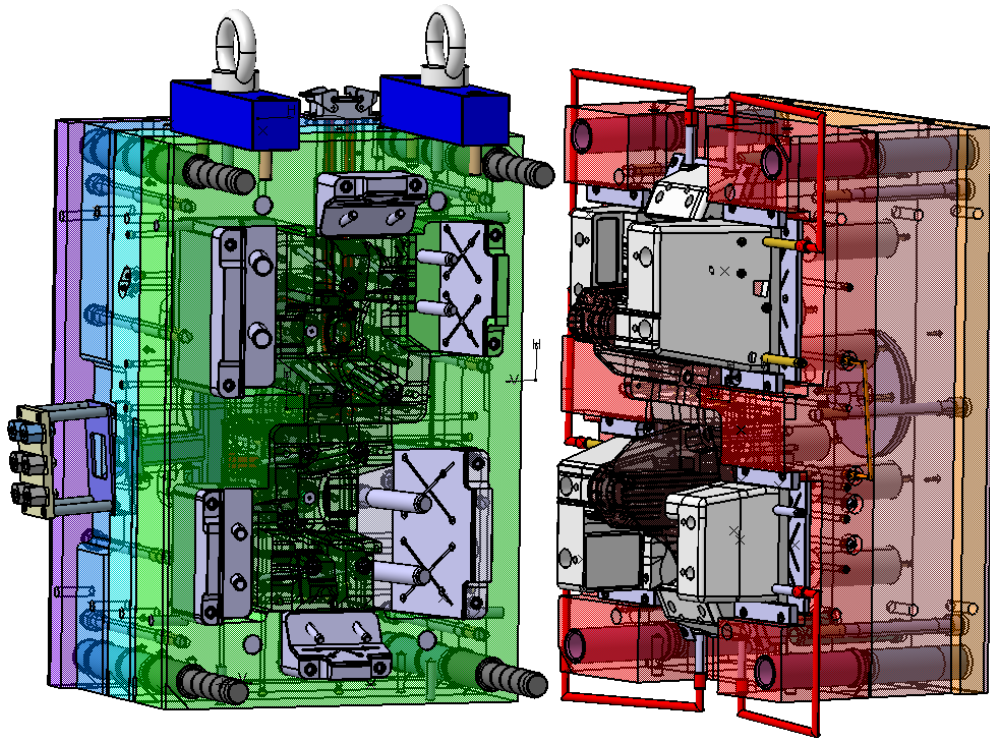
Obr. 27 Allrounder 720 S [36]

9 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Hlavním úkolem praktické části diplomové práce bylo navrhnout vstřikovací formu s ohledem na efektivnost, přesnost a cenu výroby formy. Z tohoto důvodu byl kladen zřetel na použití co nejvíce normálií z katalogu Meusburger, díky tomu došlo k urychlení, zjednodušení a zlevnění výroby formy. Výsledná vstřikovací forma je tvořena devíti deskami, několika posuvnými jádry, vodicími a upínacími prvky.



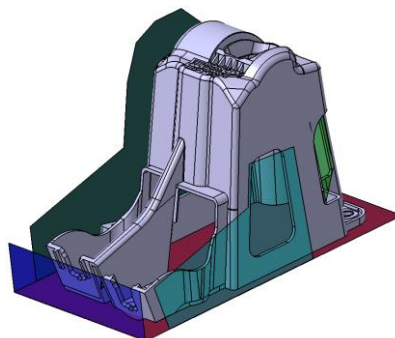
Obr. 28 Sestava formy



Obr. 29 Pohled na pravou a levou část formy

9.1 Dělicí rovina

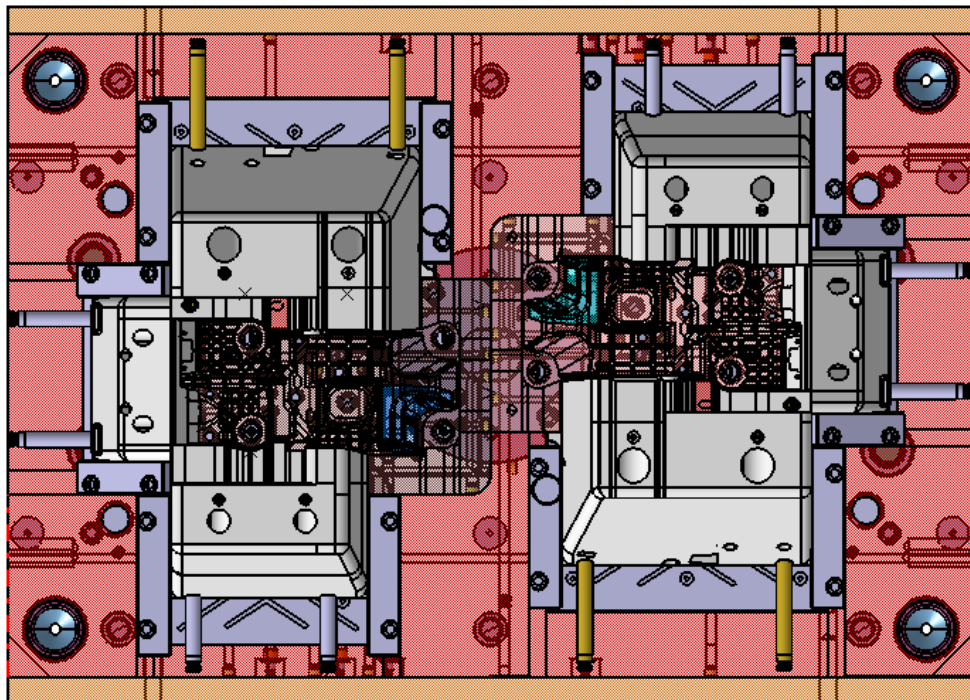
Poloha výrobku v dutině formy vychází z konstrukčního řešení výstřiku. Pro zadaný díl bylo nutno zvolit pět dělicích rovin. Hlavní dělicí rovina byla zvolena kolmo ve směru dělicí roviny, aby při odformování zůstal díl na pohyblivé straně formy, odkud je následně pomocí vyhazovacího systému vyhozen z dutiny formy. Vedlejší dělicí roviny jsou kolmé k hlavní dělicí rovině a jsou nutné kvůli odformování otvorů výstřiku, které by nebylo možné odformovat klasickým způsobem.



Obr. 30 Rozvržení dělicích rovin, hlavní dělicí rovina (červená), vedlejší dělicí roviny (modrá a zelené)

9.2 Násobnost formy

Při volbě násobnosti formy se muselo brát v potaz několik činitelů. Počet výrobků, které má být formou vyrobeno a s tím související ekonomičnost výroby. Kvalita výrobků, kdy je lepší volit menší násobnost formy, avšak z hlediska ceny výrobku volíme násobnost co nejvyšší. Dále parametry vstřikovacího stroje, jako vzdálenost mezi vodícími sloupky, maximální vstřikovaný objem dávky, uzavírací síla a další. Vzhledem k velikosti a složitosti dílu byla zvolena dvojnásobná forma.



Obr. 31 Dvojnásobná forma

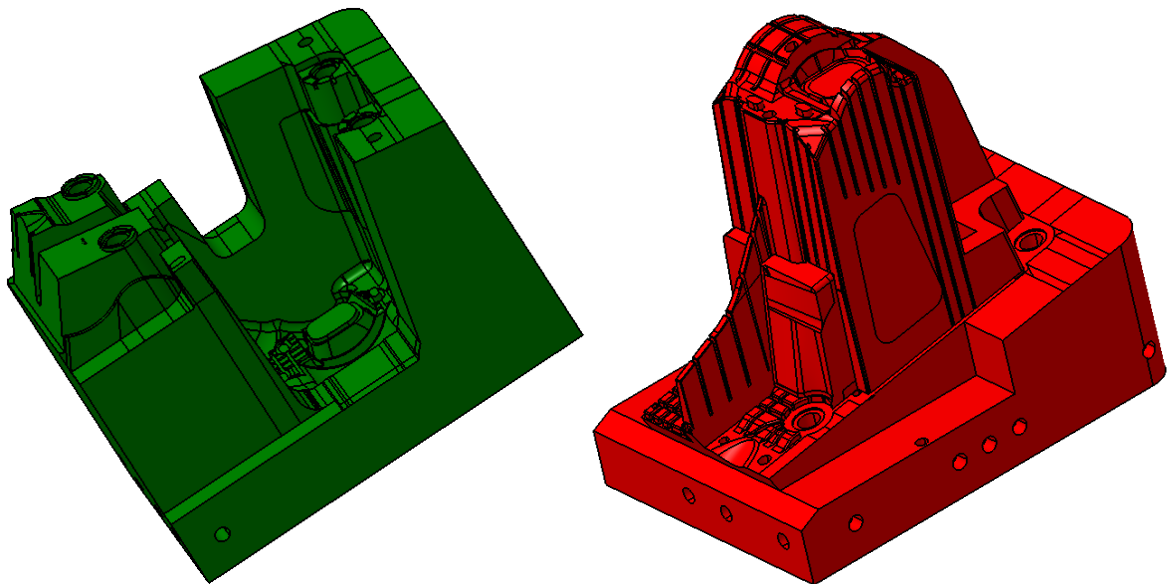
9.3 Rám formy

K návrhu desek formy byly použity normálie z katalogu Meusburger. Jako základní velikost desek forem byl zvolen rozměr 896 x 596 mm. Při návrhu desek byl brán zřetel na velikost dílu, násobnost a typ zaformátování formy. Během návrhu formy došlo k několika změnám rozměrů desek, zejména výšky desek, až na konečnou hodnotu 836 mm. Všechny desky formy byly vystředěny pomocí středících čepů a pojeny pomocí šroubů na levou a pravou část formy. Z horní strany formy byly umístěny norníky se závěsnými oky, potřebné pro transport formy.

Celkové rozměry formy jsou tedy 896 x 596 x 836 mm.

9.4 Tvarové vložky

Spolu s posuvnými jádry udávají tvárník a tvárnice tvar polymerní tavenině. Tvarové dutiny formy jsou negativem vstřikovaného dílu, pro rozměrovou přesnost je dutina zvětšena o smrštění materiálu v podélném a příčném směru taveniny. Tvárnice se nachází na pravé pevné části formy, kdy je zajištěna k rámu tvárnice pomocí šroubů. Tvárník je na levé, pohyblivé části formy a je taktéž připevněn šrouby. Oba prvky jsou vyrobeny z nástrojové oceli a kaleny aby byly schopny dlouhodobě odolávat zvýšeným teplotám a tlakům vzniklých při vstřikovacím procesu. Tvarové prvky byly konstruovány tak, aby se výrobek při otevření formy smrští na straně tvárníku a po otevření dutiny formy byl následně vyhazovací vyhozen z formy.

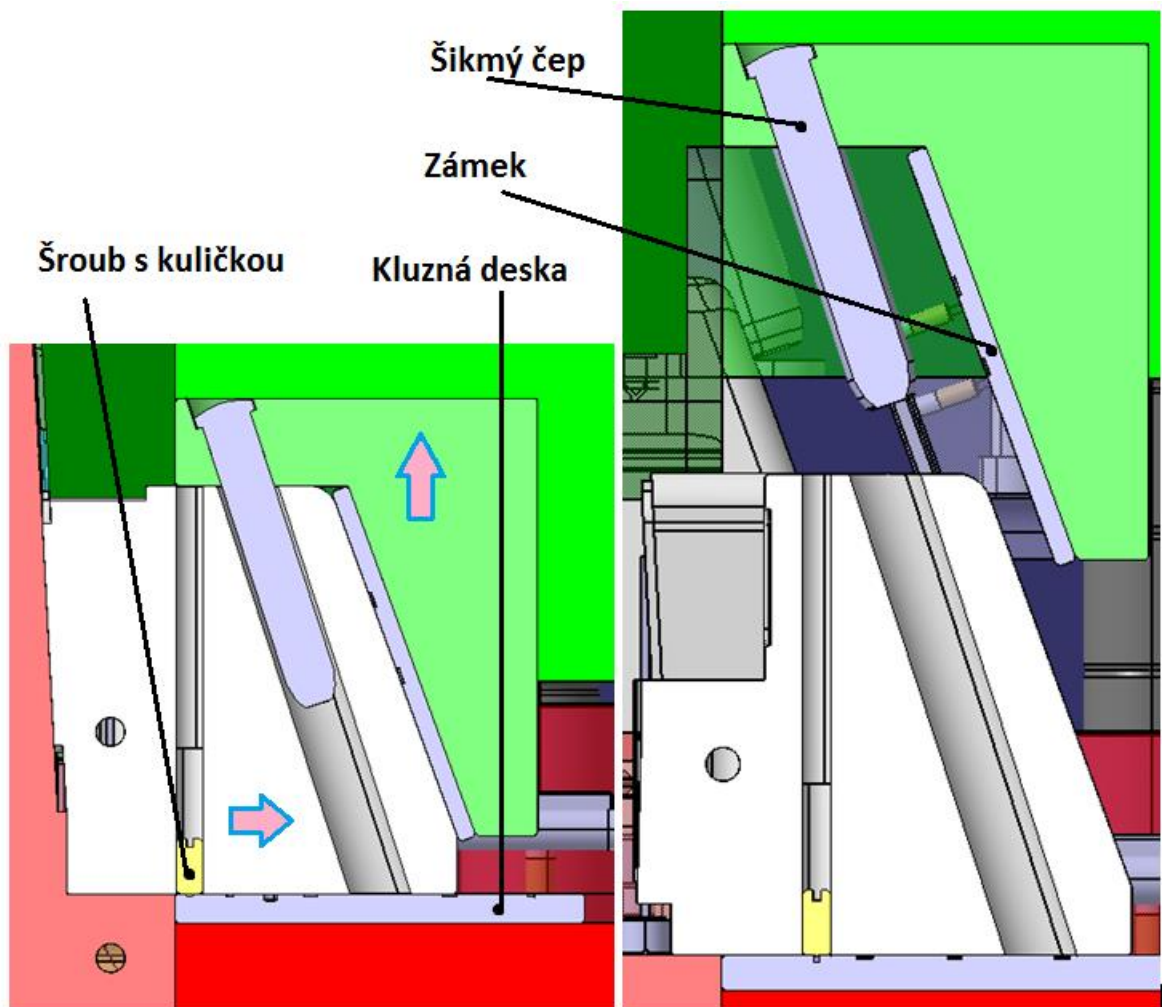


Obr. 32 Tvárnice (zelená) a tvárník (červený)

9.5 Posuvná jádra

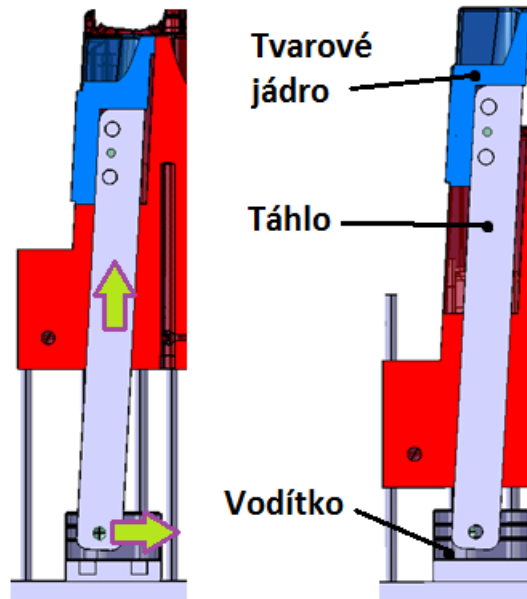
Výstřik obsahuje několik otvorů a tvarových prvků, které komplikují odformování výrobku. A proto bylo nutné navrhnout osm posuvných jader, z toho je šest jader ovládaných pomocí šikmých čepů a dvě pomocí tahačů. Stejně jako jsou tvárník a tvárnice jsou jádra vyrobená z nástrojové oceli. Z konstrukčního a ekonomického hlediska je nejvhodnější u většiny jader použití šikmých čepů, ale u dvou jader musela být použita varianta tahačů. Šikmé čepy umožňují odformování pomocí dvou čepů pod úhlem 18° , které jsou upevněny na nepohyblivé straně formy. Jednotlivá jádra se posunují po kluzných deskách a jsou us-

měrněna pomocí vodících lišt. Pohyb jader je vyvolán šikmými čepy při otvírání a zavírání formy. Konečná poloha jádra (otevřená forma) je zajištěna pomocí pojistné kuličky. Během vstřikování působí na jádra velké tlaky, které by mohly způsobit pootvření formy nebo poškození posuvných jader. Proto na pravé straně formy je umístěn zámek, který zajišťuje správnou polohu jádra.



Obr. 33 Boční posuvné jádro, uzavřené (vlevo) a otevřené (vpravo)

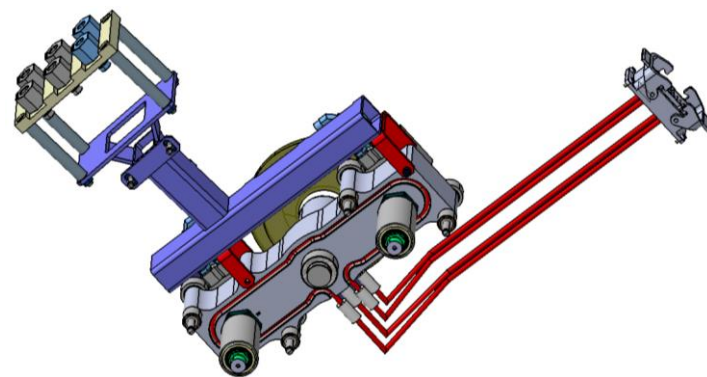
Druhá použitá varianta posuvného jádra je pomocí táhla, kdy táhlo je uloženo ve vodítku vyhazovací desky. Při odformování se táhlo pohybuje zároveň s vyhazovači pod přesným úhlem nutným k odformování bočního jádra.



Obr. 34 Odformování s táhlem, uzavřený stav (vlevo) a otevřený stav (vpravo)

9.6 Vtokový systém

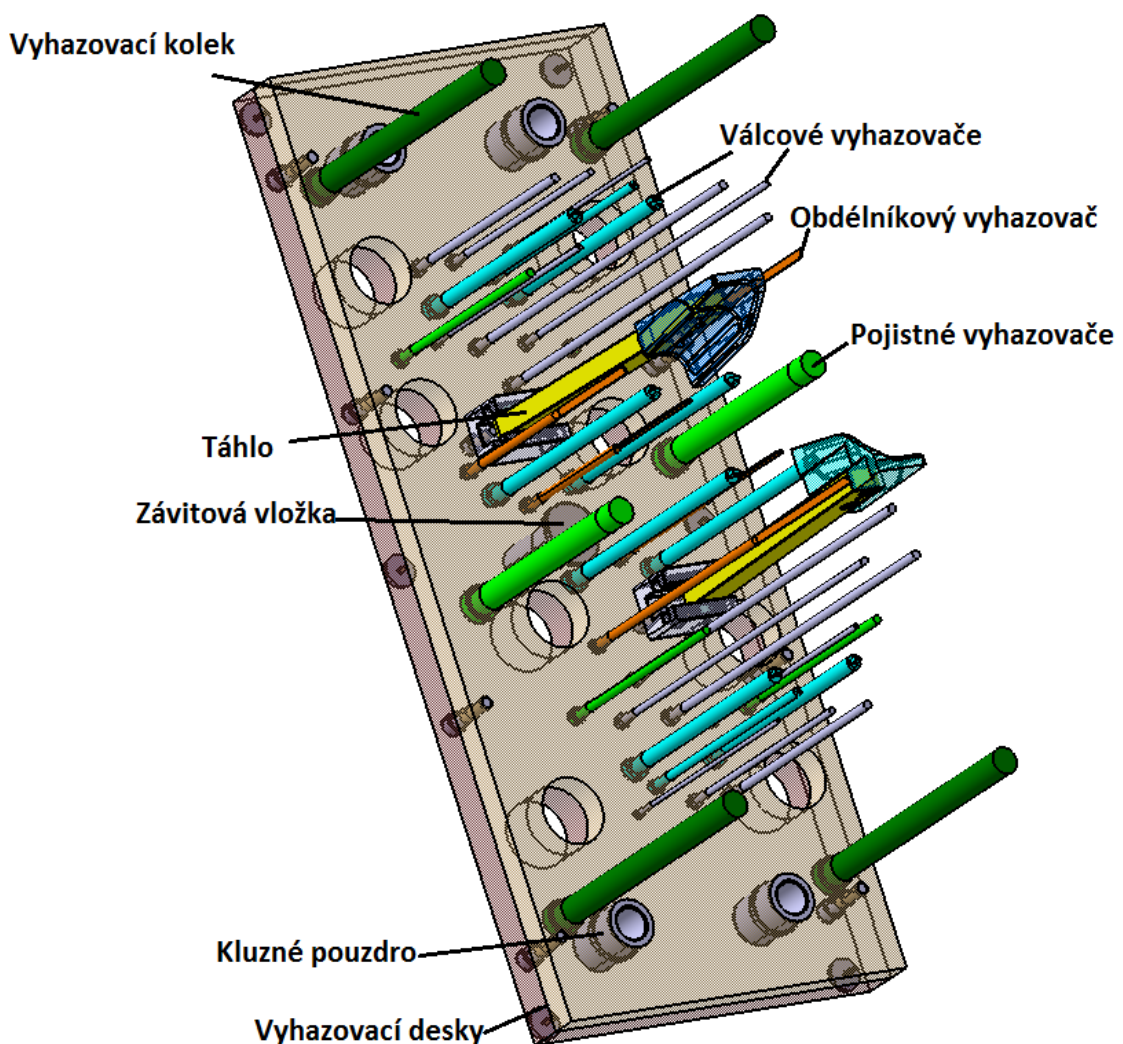
Vedení proudu taveniny ze vstřikovacího stroje do dutiny formy zajišťuje vtokový systém. Naplnění dutiny formy musí proběhnout v co nejkratším čase s minimálním odporem při toku taveniny. Tok taveniny vtokovým systémem je složitý děj, ovlivněný tvarem a rozměrem vtoku spolu s jeho umístěním na výstřiku. Zásadní vliv na uspořádání vtokového systému má násobnost formy. Pro formu byl zvolen horký systém s uzavíratelnou hydraulicky ovládanou jehlou z důvodu složitosti výrobku, velkému počtu vyráběných kusů a odstranění tvorby vtokových zbytků, čím jsme snížili spotřebu materiálu a náklady na likvidaci vtokových zbytků. Jako horká tryska byla zvolena tryska od firmy Synventive, typ SF9045-GA-00, která dodá až 700 g polymerní taveniny za jeden cyklus, což je pro formu vyhovující i s rezervou.



Obr. 35 Horký vtokový systém

9.7 Vyhazovací systém

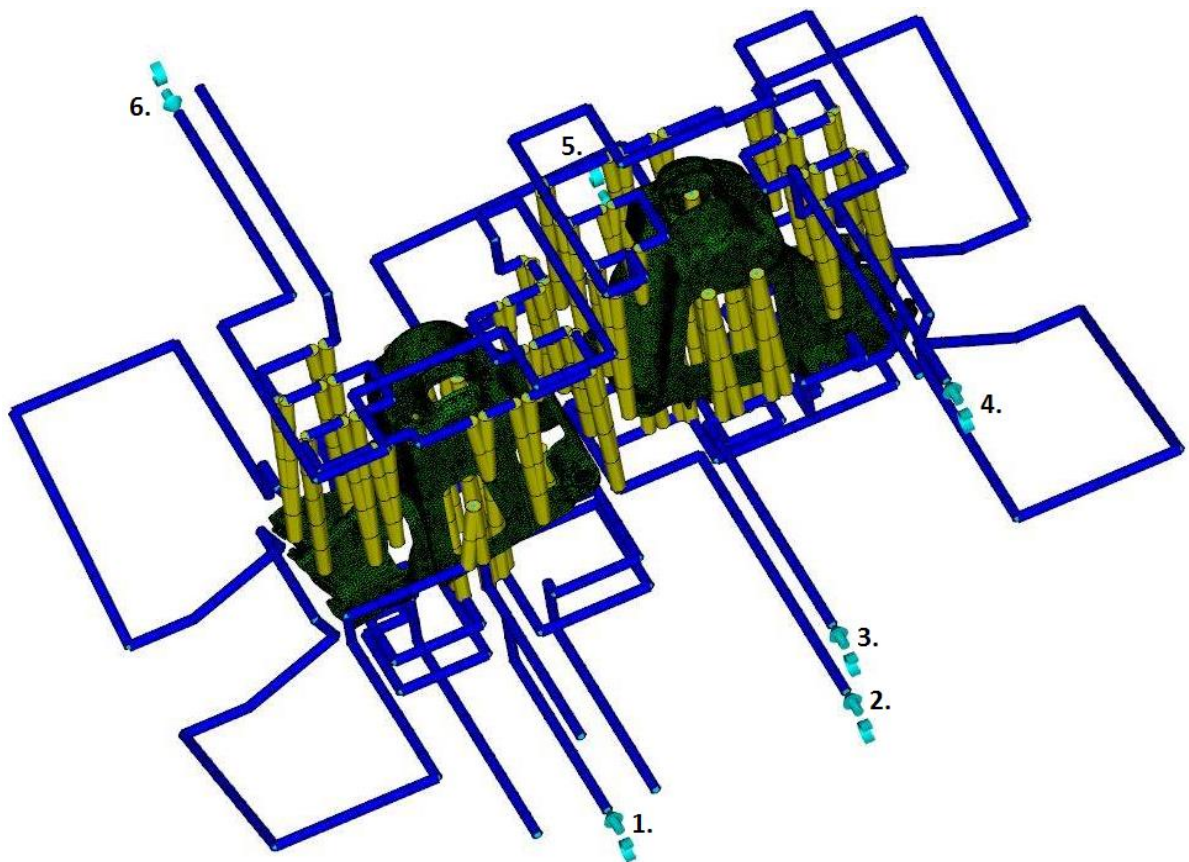
Základní podmínkou správného vyhození výrobku z dutiny formy je, aby díl zůstal na pravé straně formy. Toho bylo docíleno pomocí smrštění výstřiku na stěny tvárníku. Vyhození výrobku je docíleno díky 14 válcovými, 6 obdélníkovými a 10 trubkovými vyhazovači. Všechny válcové a trubkové vyhazovače jsou uchyceny ve vyhazovacích deskách. Jádra od trubkových vyhazovačů jsou ukotvena v upínací desce. Pohyb vyhazovacích desek je zajištěn pomocí závitové vložky. Dotyk vyhazovačů s výstřikem zanechává stopy na výrobku. Díky tomu, že díl nemá žádné pohledové plochy, stopy nevaří. Vyhazovací systém obsahuje i pojistné prvky aby se předešlo poškození vyhazovačů v případě, pokud by se vyskytla nějaká závada na formě. Vyhazovací kolek, o pár milimetrů větší než vyhazovače, přímo zabraňuje poškození vyhazovačů. Pojistné vyhazovače, zabezpečují správnou polohu bočních jader.



Obr. 36 Vyhazovací systém

9.8 Temperační systém

Temperace je jednou z nejdůležitějších částí při konstrukci formy. Temperační systém má udržovat konstantní teplotu formy tak, aby nedocházelo k velkým teplotním výkyvům, které by měly za následek vady na výstřiku. Doba chlazení je většinou časově nejnáročnější složka vstřikovacího cyklu, proto by temperace měla být co nejlépe navržena, aby výrobní cyklus byl co nejvíce efektivní. Optimalizace teplot se provádí vhodným návrhem rozmístění kanálků, volbou temperačního média, atd. Celá forma je chlazená šesti samostatnými okruhy vrtaných kanálků o průměru 10 mm. Pravá strana je chlazená dvěma okruhy, které obsahují 26 obtokových můstků o průměru 14 mm, a 4 můstky o průměru 12 mm. Levá strana je chlazená třemi okruhy, které obsahují 16 obtokových můstků o průměru 14 mm. Nakonec posuvné jádra mají jeden okruh obsahující 6 můstků o průměru 14 mm. Přechody kanálků chlazení jsou zajištěny těsníci O-kroužky, které zabraňují úniku chladicího média mimo temperační systém. Na vstupu a výstupu chladicího okruhu jsou namontovány přípojky pro připojení hadic.



Obr. 37 Chladicí systém

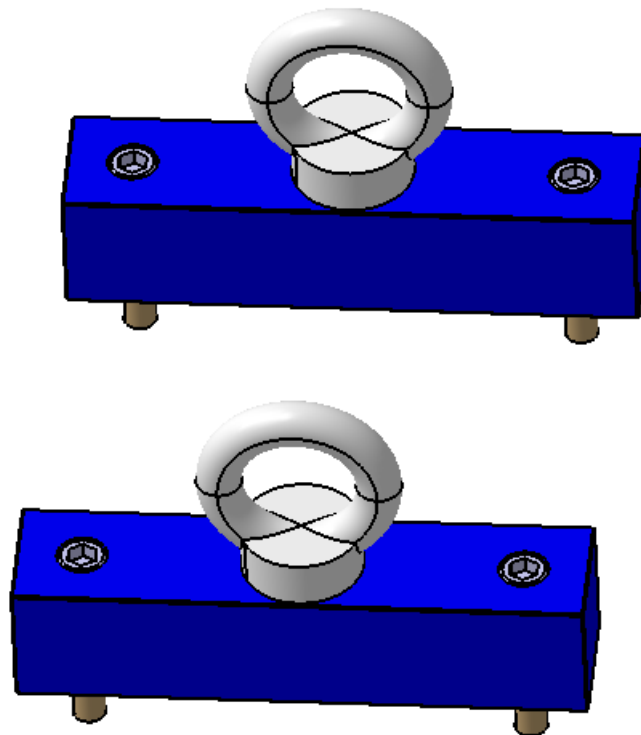
9.9 Odvzdušnění formy

Při uzavření formy je v dutině uzavřen i vzduch, který při plnění dutiny taveninou, nemá možnost dostatečně uniknout. Tento plyn je při procesu vstřikování velice rychle stlačován čelem taveniny, to má následek zvýšení tlaku a teploty až na úroveň, kdy vznikají poruchy a vady výstřiků (Dieselův efekt, bubliny nebo propadliny).

V případě navrhované formy v rámci diplomové práce se očekává, že vzduch unikne dělicími rovinami, mezi tvarovými vložkami a vyhazovači. Pokud by se při zkoušce formy zjistilo, že nedochází dostatečnému úniku plynu z dutiny formy, musely by se dodatečně vyrobit odvzdušňovací kanály.

9.10 Transportní systém formy

Z důvodů velkých rozměrů a hmotnosti formy bylo nutné pro usnadnění manipulace namontovat nosič. Transportní systém se skládá ze dvou nosníků, které jsou připevněny pomocí šroubů na horní ploše formy a každý nosník má jedno závěsné oko. Při transportu se za oka připevní háky jeřábu.



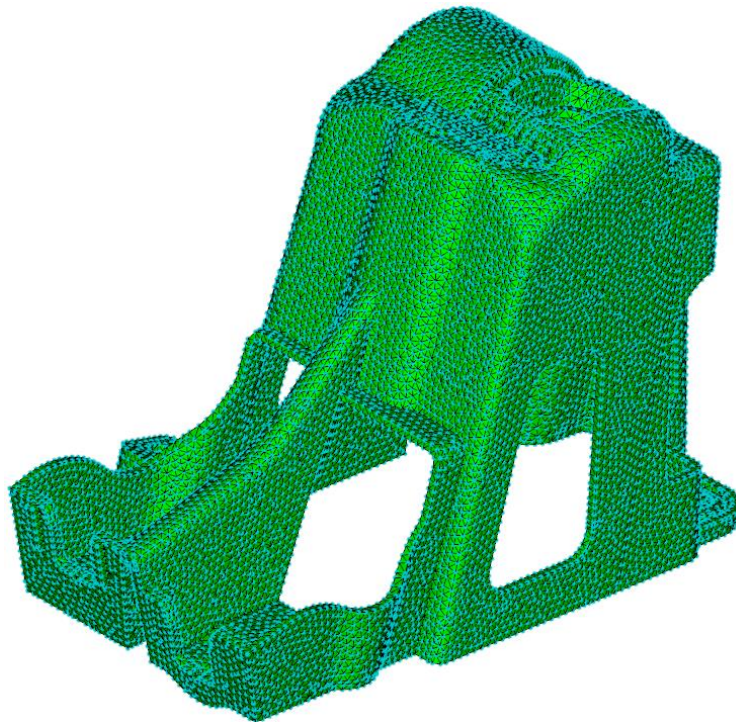
Obr. 38 Transportní nosiče

10 CAE ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU

Analýzy vstřikovacího procesu byly spočítány v programu Autodesk Moldflow 2016, který slouží k optimalizaci konstrukce vstřikovací formy a procesních podmínek vstřikování. Díky použití toho softwaru, se předchází potencionálním vadám konstrukce, pomocí predikce toku taveniny v dutině formy. Použití Moldflow a podobných programů je výrazně zefektivněna a zlevněna výroba formy.

10.1 Nastavení analýzy v programu Moldflow

Model výrobku vytvořený v programu Catia a použitý pro návrh formy nebyl nijak konstrukčně upravován pro použití v Moldflow. Načtený model bylo třeba nechat vysít'ovat, pomocí sítě Dual Domain, která se pro tento typ analýz hodila. Vloženy byly i vtokový systém spolu s temperačním systémem a následně vysít'ovány. Určeny místa začátku chladicího okruhu, druh a teplotu temperačního média. Bylo zvoleno umístění vtoku na výstřiku (neplatí pro analýzy umístění vtoku). Z databáze Moldflow byl vybrán materiál Thermo-fil HP F911X99. Nastaveny procesní parametry, teplota taveniny 250 °C, doba otevření formy 4 s, teplota formy 45 °C, doba vstřikování 1,5 s, materiál formy atd. Nakonec byly zvoleny jednotlivé analýzy, které mají být spočtené.



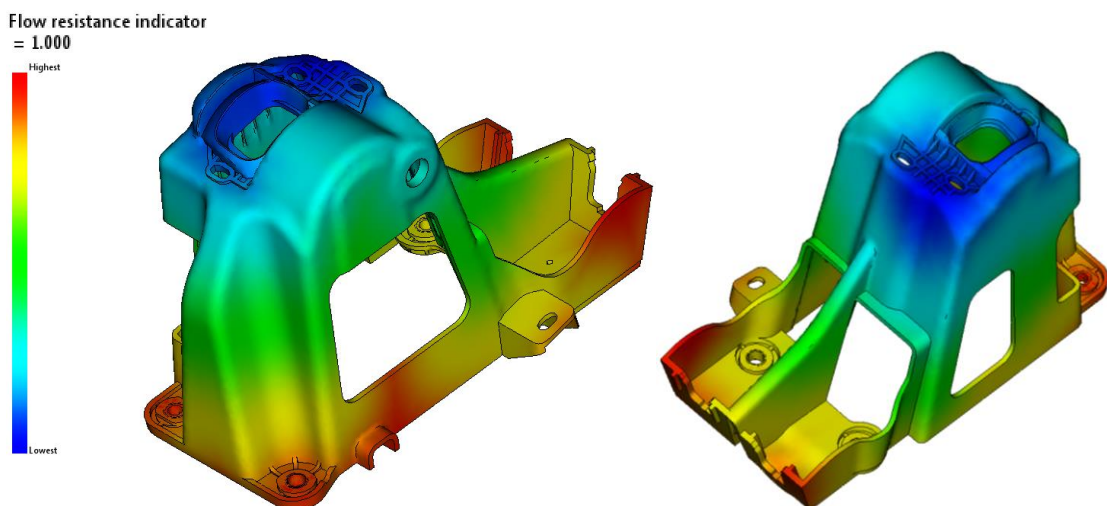
Obr. 39 Vysít'ovaný model výrobku

10.2 Umístění vtoku

Tyto analýzy slouží k zvolení vhodného umístění vtokového systému na výrobku. Výsledky analýz jsou závislé na kvalitě vytvořené mřížky. Při konstrukci formy bylo přihlédnuto k výsledkům těchto analýz. Výsledné umístění vtoku vnější straně vtoku může způsobit drobnou vadu na výstřiku, kterou ale můžeme zanedbat, protože díl nemá žádnou pohledovou stranu.

10.2.1 Ukazatel odporu toku taveniny

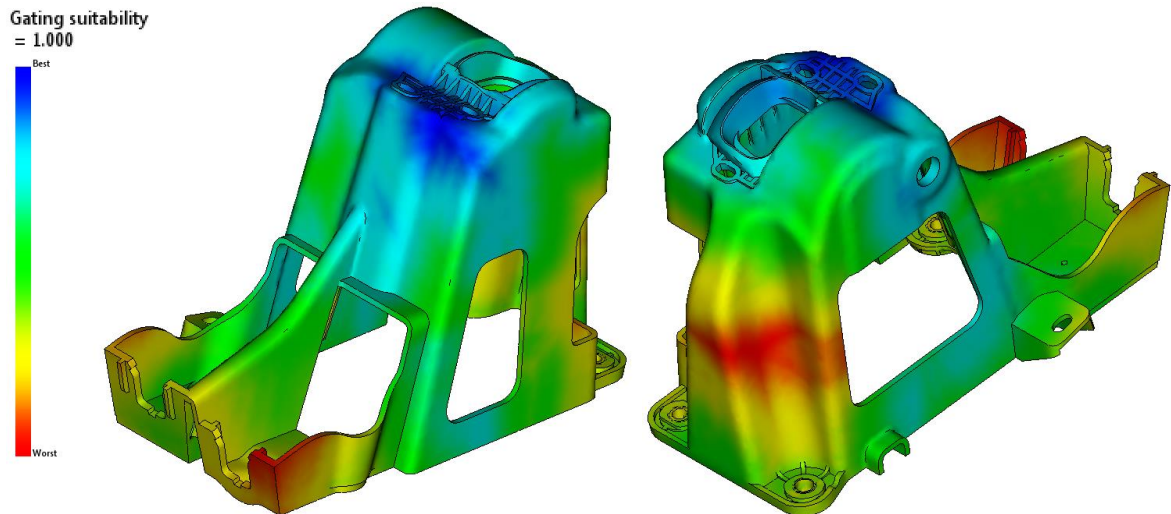
Výsledkem této analýzy je zobrazení oblastí na výrobku, které kladou odpor proti toku polymerní taveniny. Červená barva zobrazuje místa s největším odporem taveniny a modrá s nejmenším odporem toku taveniny. Analýza umožňuje zvolit typ a místo vtoku na výstřiku tak, aby se předešlo nežádoucím vadám na výrobku, při toku taveniny.



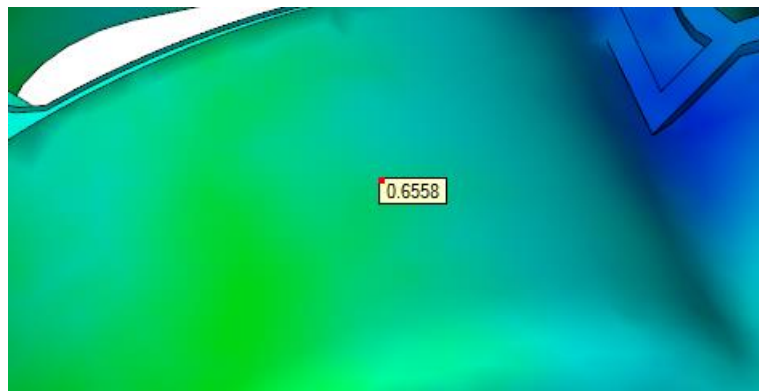
Obr. 40 Analýza odporu toku taveniny

10.2.2 Vhodnost umístění vtoku

Analýza predikuje nejvhodnější umístění vtokového ústí s ohledem na nejrovnoměrnější plnění dutiny formy. Modrá barva zobrazuje nejlepší vhodné místo, naproti tomu červená nejméně vhodné místo. Pro navrhovanou formu, hodnota vhodnosti umístění vtoku na výrobku je 66%, tedy dostatečná. Při volbě místa vtokové ústí, se musel brát v potaz kromě analýz z programu Moldflow i další ne méně důležité technologické prvky jako, dělicí rovina, násobnost formy, použitý vtokový systém a další.



Obr. 41 Analýza místa vtoku



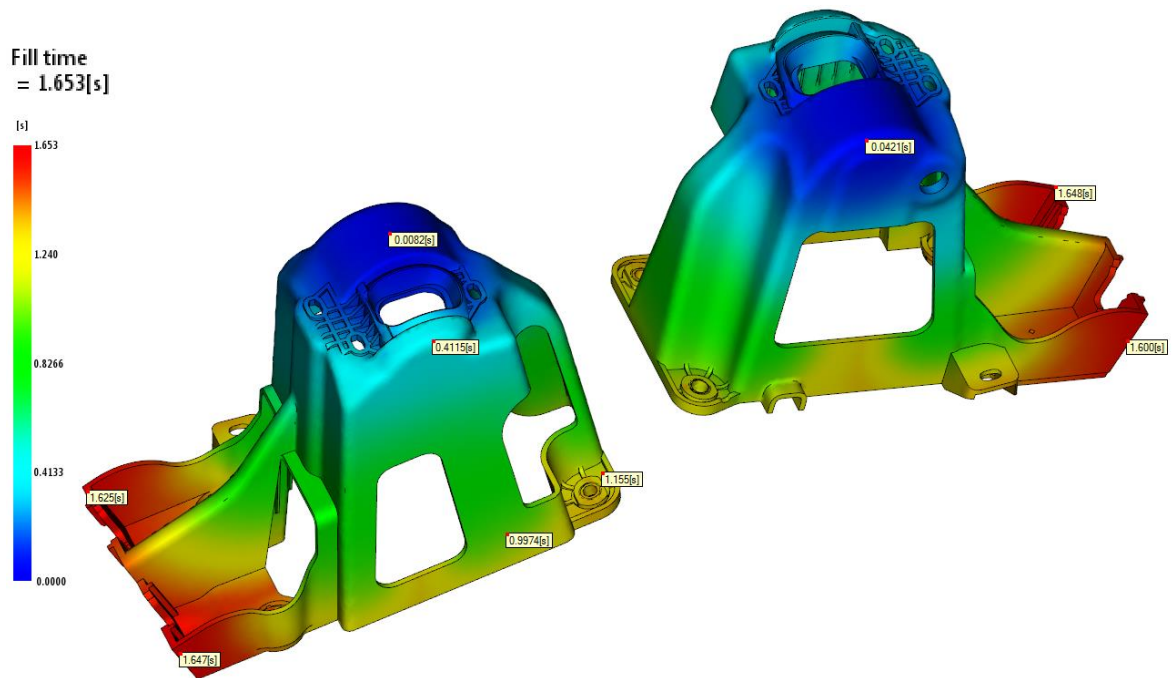
Obr. 42 Analýza místa vtoku - zvolené místo

10.3 Analýzy plnění

Spočítané analýzy plnění navržené vstříkovací formy, pod záložkou Flow, prezentují různé druhy simulací (doba plnění, smykové deformace, atd.), které se používají jak při návrhu formy, tak při nastavování vstříkovacího cyklu.

10.3.1 Doba plnění

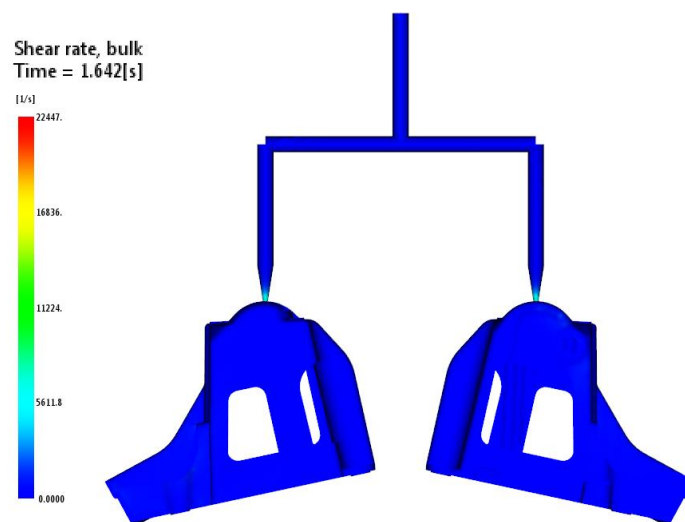
Představuje grafické a numerické vyjádření průběhu plnění formy. Díky této analýze si ověříme, že konstrukce a nastavení formy je správně nastavené. Z výsledků plyne, že tavnina rovnoměrně zaplní celý objem dutiny. Proto lze predikovat, že výstřiky budou dotečné a bez přetoků v dělicí rovině. Čas plnění navrhované formy je 1,7 s a lze tedy konstatovat, že se jedná o vhodný druh plnění.



Obr. 43 Analýza doby plnění

10.3.2 Rychlost smykové deformace

Pro zvolený materiál Thermofil HP F911X99 je udávána maximální rychlost smykové deformace 100 000 1/s. Během simulace je maximální rychlost deformace 22 447 1/s, povolená hodnota tedy není překročena. Z analýzy je patrné, že největší smyková rychlost se nachází v nejužším místě vtokového kanálu horké trysky. Rychlost smykové deformace roste se zmenšujícím se průměrem stěny trysky. Pokud by byla překročena maximální hodnota rychlosti smykové deformace, vedlo by to k degradaci materiálu.

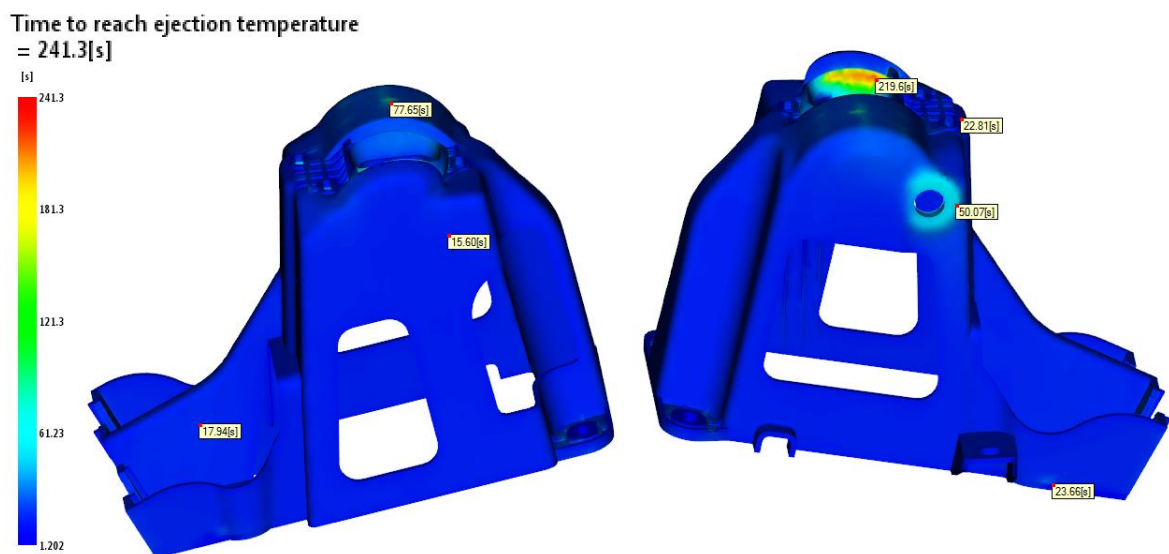


Obr. 44 Analýza rychlosti smykové deformace

10.3.3 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty

Grafické zobrazení času potřebného k dosažení vyhazovací teploty (113 °C, pro zvolený materiál). Maximální celkový čas je měřen od počátku zahájení vstřiku do dutiny formy. Jak vyplývá z Obr. 45, z horní strany dílu je místo, kde materiál chladne nejdelší dobu 241 s. Tento čas způsobuje větší tloušťka stěny na výstřiku. Pro odstranění tohoto jevu, by se měla umístit temperace blíže k problémové stěně, avšak v těchto místech prochází navrhovaná dělicí rovina, která tuto operaci znemožňuje. Další možnost je změnit druh, teplotu chladicího média nebo zvýšit tlak.

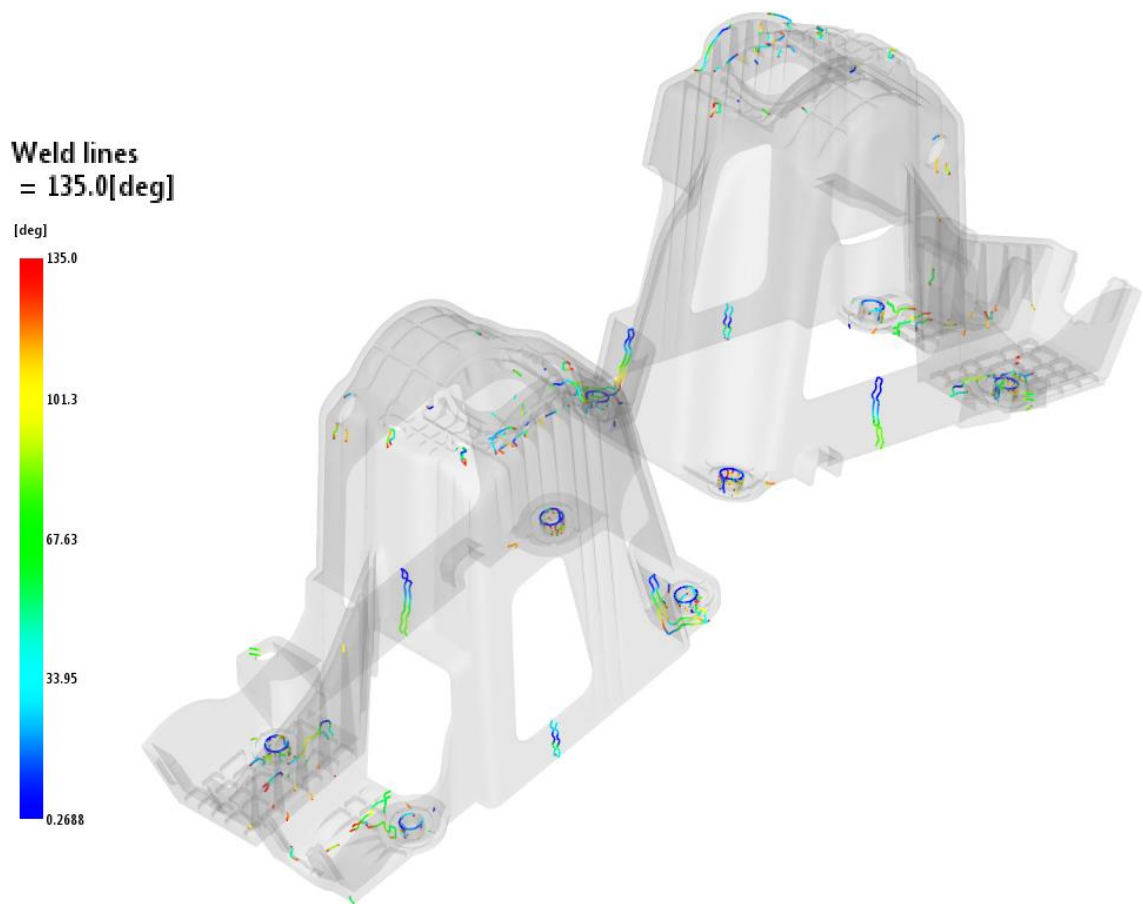
Většina částí výrobku, kde probíhají temperace efektivněji, dosahuje čas vyhození cca 50 s, to je přijatelné vzhledem k náročnosti výstřiku. Z obr. 45 vyplývá, že místa v blízkosti vyhazovačů mají teplotu 22,81 s. Doba vyhození výrobku z dutiny formy bude stanovena na čas 25 s.



Obr. 45 Analýza času potřebného k vyhození

10.3.4 Studené spoje

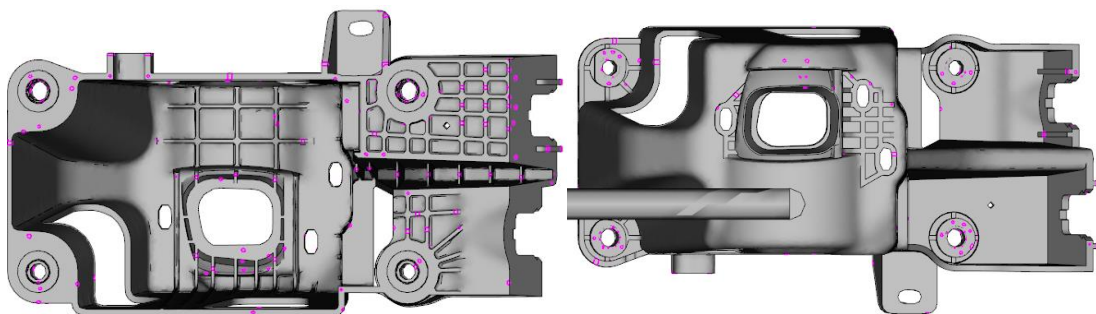
Místa kde se stékají chládnoucí čela taveniny nazýváme studené spoje. Vznikají v místech, kde čela tavenin nemají již potřebnou teplotu, aby se makromolekulární řetězce dostatečně propojily, tímto vznikají slabá místa na výstřiku, ve kterých může dojít k poruše výrobku. Studené spoje se nedají odstranit, ale dají eliminovat jeho nežádoucí účinky změnou umístění vtoku, použitím více vtoků, zúžením vtokového ústí nebo zvýšením teploty taveniny.



Obr. 46 Analýza studených spojů

10.3.5 Vzduchové kapsy

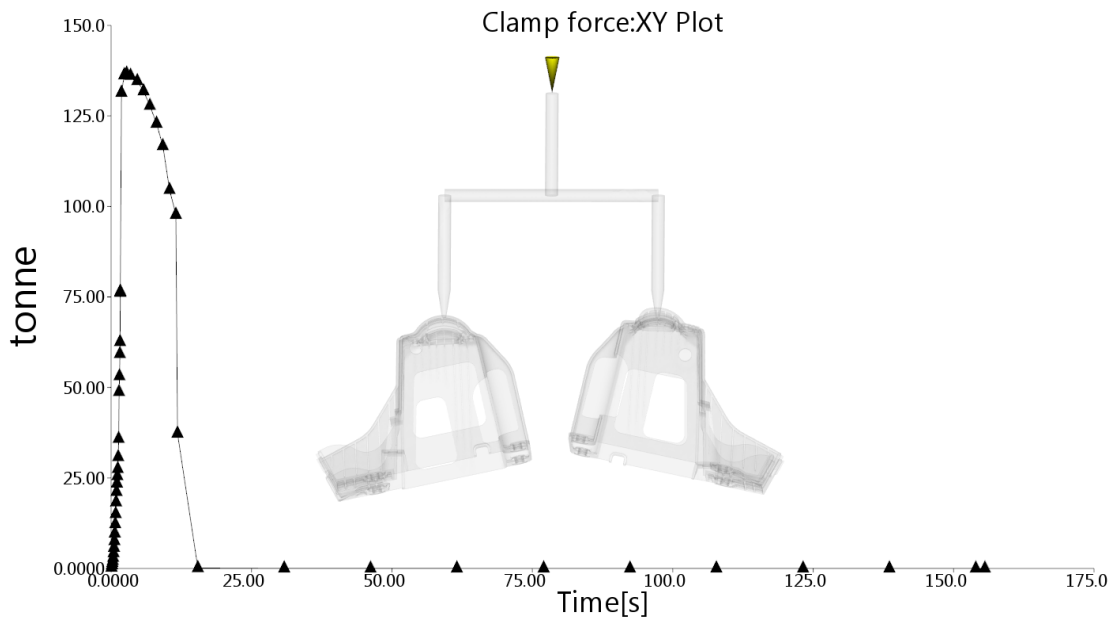
Výsledky analýz různou barvou znázorňují možné umístění vzduchových kapes, které mohou při plnění formy vznikat. Vytvoření vzduchových kapes lze zabránit správným návrhem odvodu vzduchu z formy. Čím rychlejší je rychlost plnění dutiny formy, tím větší je riziko vzniku spálených míst nebo bublin.



Obr. 47 Analýza vzduchových bublin

10.3.6 Uzavírací síla

Analýza zobrazuje průběh uzavírací síly během vstřikovacího cyklu. Velikost maximální uzavírací síly by měla být jednou z nejdůležitějších parametrů při výběru vstřikovacího stroje. Z Obr. 47 je zřejmé, že potřebná uzavírací síla je 137 tun (1370 kN) + 27,4 tun (274 kN) = 164,4 (1644 kN). Vybraný vstřikovací stroj má maximální uzavírací sílu 3200 kN, vyhovuje.



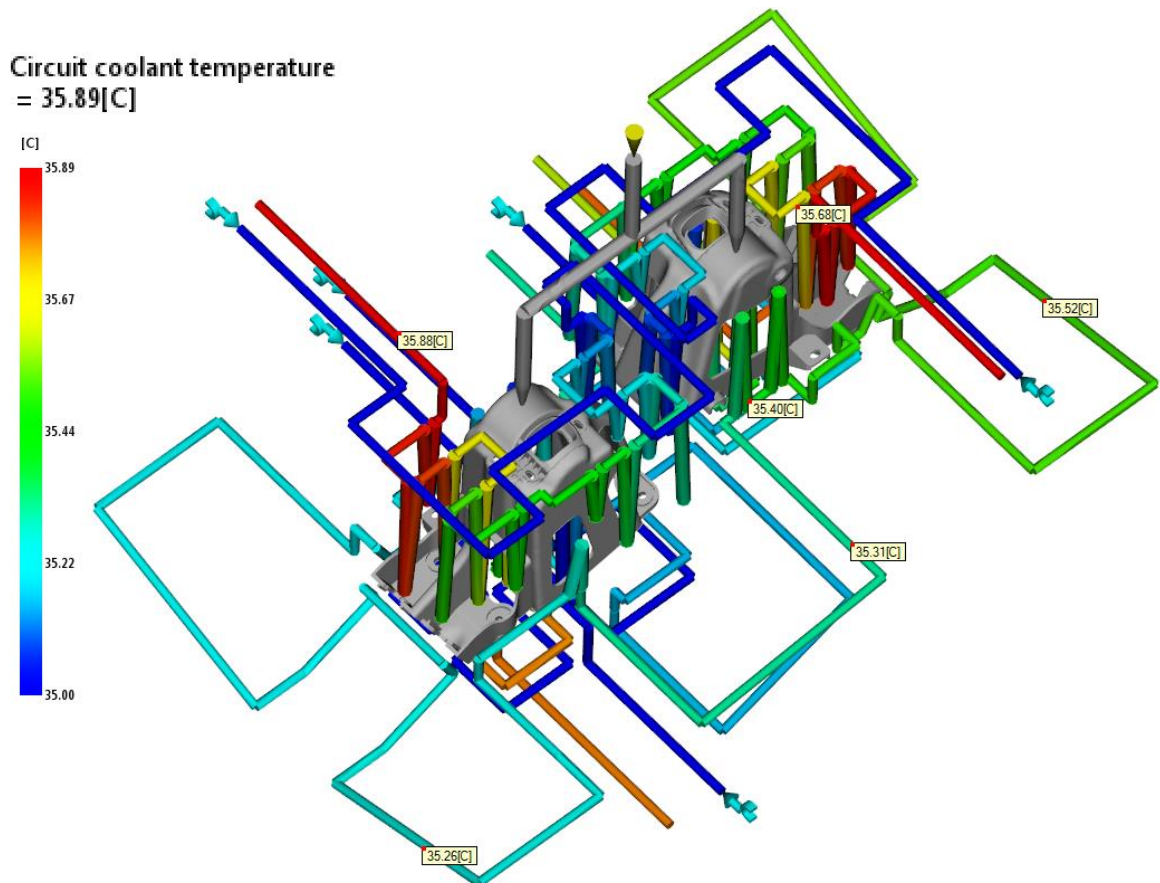
Obr. 48 Průběh uzavírací síly

10.4 Analýzy chlazení

Simulace chlazení se nachází pod záložkou Cool, kdy analýzy slouží k návrhu a optimalizaci chladicího systému formy. Mimo posouzení rozmístění chladicích kanálků, můsteků atd. Dále složí i k volbě chladicího média a tlaku na vstupu do chladicího okruhu.

10.4.1 Teplota chladicího média

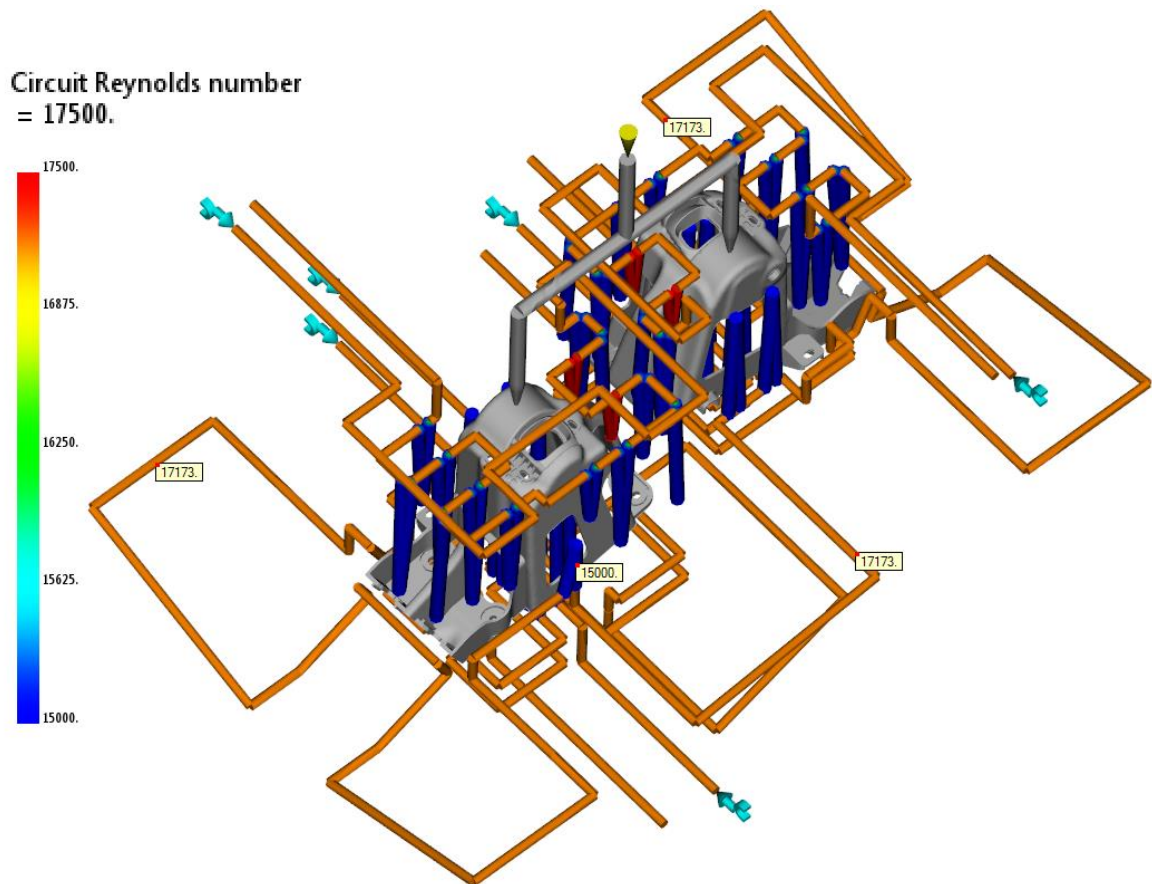
Analýza vykresluje průběh změny teplot chladicí kapaliny uvnitř chladicích okruhů. Rozdíl teplot na vstupu a výstupu by neměl přesáhnout 3 °C, aby výstřik byl rovnoměrně chlazen a nedocházelo k vnitřnímu pnutí nebo deformaci výrobku. Pokud by došlo k překročení teplotního rozdílu, muselo by se lokalizovat místo s nejvyšším nárůstem a v místě upravit chladicí kanál nebo procesní podmínky. Rozdíl mezi teplotami temperace navrhované formy je 0,89 °C, chladicí systém vyhovuje.



Obr. 49 Analýza teploty chladicího média

10.4.2 Reynoldsovo číslo

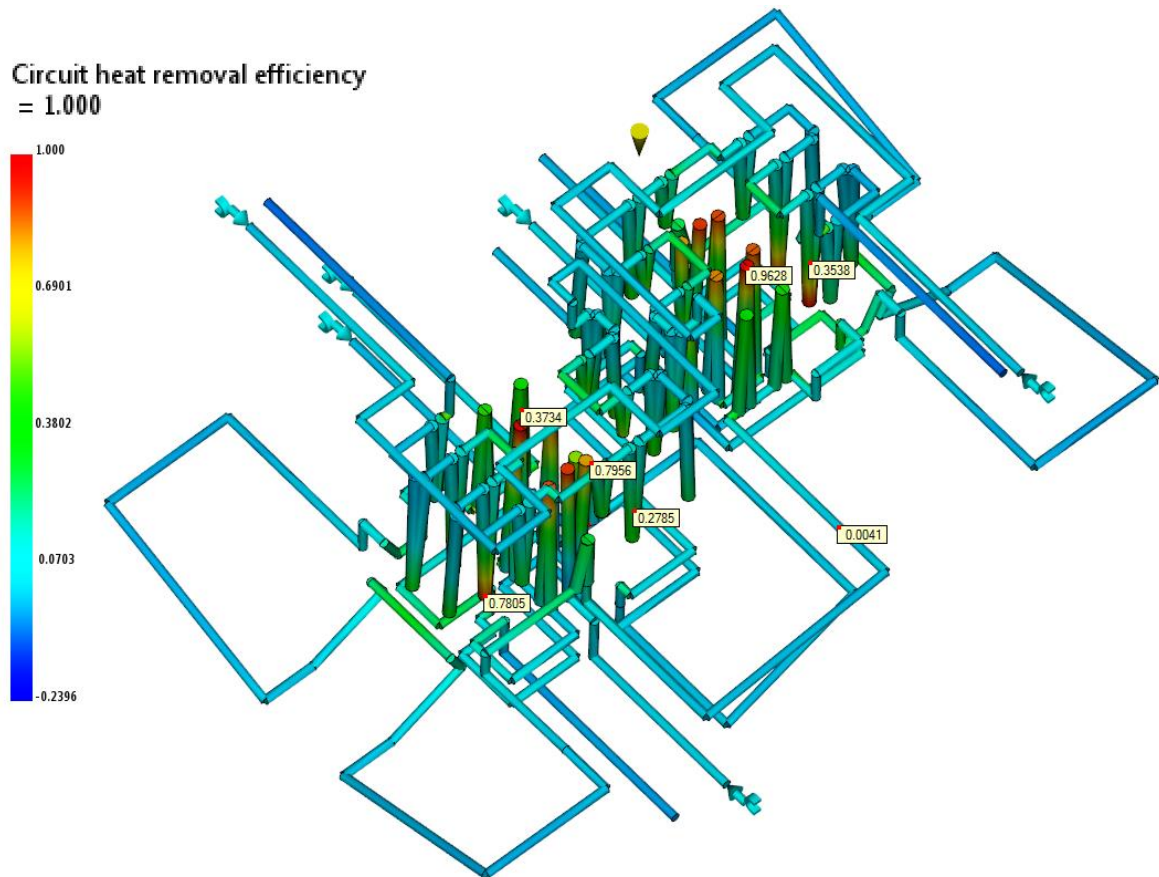
Vypovídá o chaotickém uspořádání proudnic v médiu. Závisí na druhu chladicího média, konstrukci chladicího okruhu, ve kterém médium působí. Aby účinnost temperace byla optimální, musí být v chladicím okruhu turbulentní proudění, to znamená $Re > 4000$. V případě navrhovaného temperačního systému Reynoldsovo číslo neklesá pod 15 000, lze tedy říci, že ve všech chladicích okruzích dochází k turbulentnímu proudění s vyšším odvodem tepla než laminární proudění.



Obr. 50 Reynoldsovo číslo

10.4.3 Efektivita odvodu tepla

Zjištěné hodnoty analýzou efektivit odvodu tepla nám ukazují, jakou účinnost odvodu tepla mají navržené temperační okruhy. Z obr. 50 vyplývá, že nejefektivnější přenos tepla probíhá na vrcholcích můstků, postupně klesá, až do míst s nejnižší efektivitou na vstupu a výstupu z chladících okruhů. Vliv na účinnost chlazení má vzdálenost a velikost kanálku od dutiny formy, rozdíl teplot mezi teplotou formy a chladícím médiem, Reynoldsovo číslo. Tmavě modré části chlazení, které nabývají záporných hodnot slouží jen jakou přívod temperační tekutiny. Efektivita navrženého chladicího systému je dobrá, protože v místech tvárnice a tvárníku se hodnoty efektivit pohybují mezi 96% - 35%, to naznačuje, že konstrukce je navržena dobře.



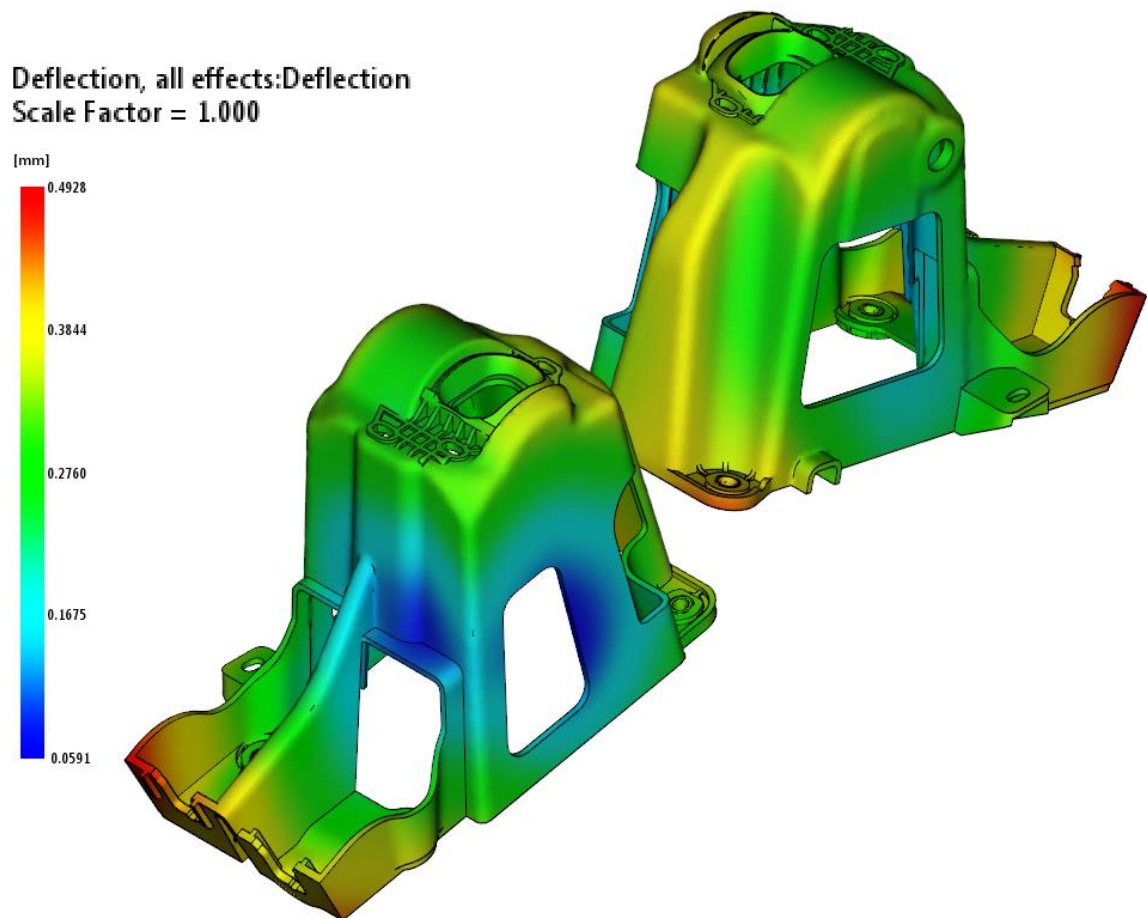
Obr. 51 Analýza efektivity odvodu tepla

10.5 Analýzy smrštění a deformace

Simulace smrštění a deformace navrhované vstřikovací formy se nachází pod záložkou Warp. Výsledky těchto analýz slouží zjištění objemových změn během tuhnutí vstřikovaného materiálu a deformace značí změnu tvaru při zachování objemu tvaru.

10.5.1 Celková deformace

Výsledek analýzy celkové deformace zobrazuje velikost vzniklé deformace na výstřiku. Největší deformace vznikla na nejvzdálenějších koncích výrobku, z pohledu plnění a dosahuje až 0,5 mm. Vliv na velikost deformace má nedostatečná doba chlazení, vysoká teplota formy, špatný výběr materiálu atd. V případě obou výrobků je velikost deformace stejná, důvodem je plnění a temperace.



Obr. 52 Analýza celková deformace

11 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Podle oficiálního zadání byla navržena vstřikovací forma pro zadaný výrobek, provedeny CAE analýzy v programu Moldflow a vytvořen výkres řezu sestavou spolu s kusovníkem.

Pro plastový díl od řadící páky byl zvolen dle materiálových listů, materiál od firmy Sumika polymer Compounds UK pod prodejním označením Thermofil HP F911X99. Jedná se o polypropylen z 50% skelných vláken.

Dalším krokem byla samotná konstrukce vstřikovací formy, kdy byl kladen důraz na používání normálií Meusburger. To vedlo k zjednodušení, zvýšení přesnosti a snížení ceny konstrukce formy.

Navržená forma je konstruována jako dvojnásobná s horkým vtokovým systémem. Vyhřívaná tryska Synventive dodává taveninu až do dutin formy. Tento způsob vtokového systému nezanechává vtokové zbytky.

Tvarové vložky formy, které jsou uloženy na levé i pravé straně formy a mají reverzní tvar výstřiku zvětšený o velikost smrštění materiálu. Mimo tvárnice a tvárníky obsahuje forma boční tvarová jádra, které jsou uchyceny na levé straně formy a jsou odformovány pomocí šikmých čepů a táhla při otevírání formy.

Pro vyhození výrobku z dutiny formy je použito čtrnácti válcových, šest obdélníkových a deseti trubkových vyhazovačů. Všechny čela vyhazovačů jsou upraveny tak, aby kopírovaly tvar tvárníku. Forma obsahuje pojistné kolky, které chrání vyhazovače před poškozením a pojistné vyhazovače, které zabezpečují správnou polohu posuvných jader. Vyhazovače jsou ukotveny mezi vyhazovacími deskami, které jsou spojeny šrouby a pomocí závitové vložky konají vyhazovací pohyb.

Temperace formy je zajištěna pomocí dvaceti samostatných okruhů. Vzhledem k velikosti některých tvarových vložek (tvárník a tvárnice) a špatné dostupnosti jádra ve vertikálním směru pro běžné chladicí kanálky, bylo nutné požit i obtokové můstky. Všechny vrtané kanálky mají průměr 10 mm a obtokové můstky 12 mm a 14 mm.

Odvzdušnění formy probíhá přes vůli mezi dělicími rovinami, vyhazovači atd. V případě, že by při zkoušení formy došlo k poškození dílu vlivem špatného odvzdušnění, bylo by nutné vytvořit v daném místě odvzdušňovací kanál.

Rám formy byl navrhnout pomocí normalizovaných desek Meusburger, konečné rozměry formy jsou 896 x 696 x 836 mm s ohledem na velikost, tvar a násobnost formy. Jednotlivé desky jsou mezi sebou spojeny šrouby nebo středěny pomocí středících trubek a vodících čepů.

Forma obsahuje, pro usnadnění manipulace formy, dva nosníky, každý s jedním závěsným okem.

Po dokončení základního konceptu formy v programu Catia, byly vytvořeny analýzy toku taveniny, chlazení a smrštění v programu Moldflow.

První výsledky analýz nebyly vyhovující, bylo nutné provést několik změn v konstrukci temperačního systému, odebrat některé ale i přidat obtokový můstek a zmenšení průměrů obtokových můstků. Z tokových analýz vyplývá, že změnou některých procesních parametrů, jako doba plnění, velikost dotlaku atd. je možné docílit různých výsledků. Avšak tyto parametry je možné upravovat až při samotném zkoušení formy, podle prvních vyrobených výstřiků.

Výsledky jednotlivých analýz jsou popsány v kapitolách praktické části diplomové práce.

12 ZÁVĚR

Úkolem diplomové práce bylo vytvoření návrhu vstříkovací formy pro zadaný plastový výrobek, který se nachází u řadící páky osobního automobilu Nissan. Během konstrukce formy se dodržovaly zásady a pravidla správné konstrukce vstříkovacích forem.

Teoretická část popisuje rozdělení polymerních materiálů, proces vstříkování, vstříkovací stroj a základy konstrukce forem.

Dle zadání diplomové práce, byla navržena vstříkovací forma podle zadaného plastového výrobku. Materiál dílu byl zvolen PPGF 50 – polypropylen s obsahem 50% skelných vláken. Forma je konstruována jako dvojnásobná s horkým vtokovým systémem. S ohledem na předpokládanou sériovou výrobu, proto je z ekonomického hlediska volba horkého vtokového systému výhodnější. Konstrukce odformování byla poměrně náročná, protože díl mě několik vedlejších rovin, které se museli odformovat pomocí bočních jader a potom byl výstřík vyhozen prizmatickými a trubkovými vyhazovači. Teplota formy byla komplikovanější, vzhledem k velikosti a množství bočních odformování. Celkem bylo potřeba navrhnout dvacet samostatných temperačních okruhů s několika obtokovými můstky. Posledním krokem pro dokončení 3D sestavy bylo vložení vodících a spojovacích prvků.

Dalším krokem praktické části bylo nastavení a provedení analýz v programu Moldflow. Jako doba plnění, rychlost smykové deformace, teplota chladicího média, efektivita odvodu tepla, celková deformace atd. Vstupní parametry analýz byly podle předešlých spočtených analýz upravovány. Mimo úpravu analýz muselo dojít i k zjednodušení a hlavně zefektivnění chladicího systému. Podrobnější výsledky analýz jsou popsány v praktické části.

Z konečného návrhu 3D sestavy vstříkovací formy vytvořené v programu CATIA V R19 byl vytvořen 2D řez sestavou vstříkovací formy, opozicování jednotlivých dílů a vytvoření kusovníku.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů I. Díl – Vstřikování termoplastů*. 2. upr. Vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 133 s.
- [2] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů II. Díl – Vstřikování termoplastů*. 1. upr. Vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 214 s.
- [3] ZEMAN, L. *Vstřikování plastů*. [s. 1.]: [s. n.], 2009. 247 s.
- [4] KOLOUCH, Jan. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986, 229 s.
- [5] DVOŘÁK, Zdeněk. ZRACOVATELSKÉ PROCESY GUMÁRENSKÉ: pro konstrukční směry. Zlín, 2013, 177 s. Dostupné z: <http://www.utb.cz/file/41195/>
- [6] TOMIS, F. *Základy gumárenské a plastikářské technologie*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1975. 278 s. ISBN 414-33543.
- [7] VLČEK, J., MAŇAS, M. *Aplikovaná reologie*, Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2001. 144 s.
- [8] REES, Herbert. *Mold engineering*. 2nd Munich: Hanser Publishers, 2002, ISBN 34-462-1659-6. 688 s.
- [9] TOMIS, František, HELŠTÝN, Josef, KAŇKOVSKÝ, Jiří. *Formy a přípravky*. Brno: VUT, 1979. 278 s.
- [10] MENGES, Georg. *How to make injection molds. 3rd ed. Munich: Hanser Publishers*, 2001, ISBN 34-462-1256-6, 612 s.
- [11] BRUMMEL, Michal. *Rozměrově přesné výrobky z plastů. 1. Vyd. Praha: VÚNM, 1977. 278 s.*
- [12] DYM, Joseph B. *Injection molds and molding : A practical Manual* . New York : Van Norstrand Reihold, 1979, ISBN 0-442-22223-8, 400 s.
- [13] ROSATO, D. V., ROSATO, D. V., ROSATO, M. G. *Injection Molding Handbook (3rd Edition)*. NYC, NY, USA: Springer – Verlag, 2000. 1485s. ISBN 978-0-7923-8619-3.

- [14] Vstřikování plastů [online]. [cit. 2016-01-01]. Dostupný z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm>
- [15] Obří mezi molekulami [online]. [cit. 2016-01-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.webchemie.cz/polymery.html>>
- [16] Polymerní konstrukční materiály [online]. [cit. 2016-01-01]. Dostupný z WWW: <<http://kmi2.uniza.sk/wp-content/uploads/2009/10/POLYMERY-Po-RECENZII.pdf>>
- [17] Konstrukční provedení vstřikovacích lisů [online]. [cit. 2016-01-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/konstrucni-provedeni-vstrikovacich-lisu.html>>
- [18] Technologie vstřikování plastů [online]. [cit. 2016-01-01]. Dostupný z WWW: <<https://publi.cz/books/184/03.html>>
- [19] Stroje na zpracování termoplastů [online]. [cit. 2016-01-01]. Dostupný z WWW: <<https://publi.cz/books/181/Cover.html>>
- [20] Vstřikovací lisý na plasty v plně elektrickém provedení [online]. [cit. 2016-01-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/vstrikovaci-lisy-na-plasty-v-plne-elektrickem-provedeni.html>>
- [21] DP Sklář 2015 [online]. [cit. 2016-01-01]. Dostupný z WWW: <http://portal.utb.cz/wps/PA_StagPortletsJSR168/KvalifPraceDownloadServlet?typ=1&adipidno=39457>
- [22] Design versus vyrobiteľnosť [online]. [cit. 2016-01-01]. Dostupný z WWW: <<http://visi.cz/?p=1817>>
- [23] Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů [online]. [cit. 2016-01-01]. Dostupný z WWW: <<https://publi.cz/books/179/Cover.html>>
- [24] Vstřikovací formy [online]. [cit. 2014-01-14]. Dostupný z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn__tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy__zak.pdf>
- [25] Vstřikovací formy [online]. [cit. 2016-01-01]. Dostupný z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c8/VS.pdf>

- [26] Studené a živé vtokové systémy [online]. [cit. 2016-01-01]. Dostupný z WWW: <
https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf>
- [27] Vtoková tryska [online]. [cit. 2016-01-01]. Dostupný z WWW: <
<http://www.dmeeu.com/cz/produkty/d/index/formy-sou-sti/sou-sti/vtokov-tryska/vtokov-tryska-1>>
- [28] BP Mikel 2014 [online]. [cit. 2016-01-01]. Dostupný z WWW: <
http://portal.utb.cz/wps/PA_StagPortletsJSR168/KvalifPraceDownloadServlet?typ=1&adipidno=34150>
- [29] Vyhazovací sestava a vyhazovače [online]. [cit. 2016-01-01]. Dostupný z WWW:
< https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Vyhazovaci_sestava_a_vyhazovace.pdf
>
- [30] Temperace vstřikovacích forem [online]. [cit. 2016-01-01]. Dostupný z WWW: <
<http://www.plasticportal.cz/cs/temperace-vstrikovacich-forem-dulezita-podminka-vyroby-vystriku-z-termoplastu-4-cast/c/3088> >
- [31] Temperace vstřikovacích forem [online]. [cit. 2016-01-01]. Dostupný z WWW:
<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/8.pdf>
- [32] Tváření plastů a výroba forem II. [online]. [cit. 2016-01-01]. Dostupný z WWW:
< <http://www.14220.cz/technologie/tvareni-plastu-a-vyroba-forem-ii/> >
- [33] Autodesk Simulation Moldflow Insight [online]. [cit. 2016-01-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.smartplast.cz/ami.php>>
- [34] Temperace vstřikovancích forem, 3.část [online]. [cit. 2016-01-01]. Dostupný z WWW:
<<http://www.plasticportal.cz/cs/temperace-vstrikovacich-forem-dulezita-podminka-vyroby-vystriku-z-termoplastu-3-cast/c/3087>>
- [35] Allrounder 720S [online]. [cit. 2016-01-01]. Dostupný z WWW: <
https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische_Daten/ARBURG_ALLROUNDER_720S_multi-component_TD_525104_en_GB.pdf>

- [36] Einzelmitteilung [online]. [cit. 2016-01-01]. Dostupný z WWW:
<<https://www.arburg.com/de/ch/presse/pressemitteilungen/einzelmitteilung/nI/5729/>>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

2D	Dvou rozměrný prostor
3D	Tří rozměrný prostor
PP	Polypropylen
PA	Polyamid
PS	Polystyren
PC	Polykarbonát
PET	Polyethylentereftalát
PVC	Polyvinilchlorid
Tf	Teplota toku [°C]
Tm	Teplota tání [°C]
Tg	Teplota skelného přechodu [°C]
VVS	Vyhřívaný vtokový systém
CAD	Computer aided design (počítačová podpora konstrukce)
CAM	Computer aided manufacturing (počítačová podpora obrábění)
CAE	Computer aided engineering (počítačová podpora ve strojírenství)
CATIA	Computer aided three dimensional interactive application (počítačově graficky tří rozměrová interaktivní aplikace)

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Dělení polymerů [7]</i>	13
<i>Obr. 2 Vstřikovací cyklus [18]</i>	16
<i>Obr. 3 Vstřikovací stroj: (A) vstřikovací jednotka, (B) uzavírací jednotka (C) komunikační rozhraní řídicího a kontrolního systému, (D)rám stroje s hydraulickým pohonem [19]</i>	17
<i>Obr. 4 Vstřikovací stroj se sloupkovým uzávěrem [17]</i>	18
<i>Obr. 5 Bezsloupkový stroj [17]</i>	19
<i>Obr. 6 Schéma plně elektrického stroje [17]</i>	20
<i>Obr. 7 Řez vstřikovací jednotkou [14]</i>	21
<i>Obr. 8 Hydraulická uzavírací jednotka, (a) pevná část formy, (b) pohyblivá část formy, (c) vodící tyče, (d) rám stroje, (e) hydraulický vyhazovač, (f) hydraulický válec pro ovládání pohyblivé části formy [19]</i>	21
<i>Obr. 9 Řídící jednotka vstřikovacího stroje[14]</i>	22
<i>Obr. 10 Příklady žeber: a,c) technologická, b) technická [21]</i>	25
<i>Obr. 11 Příklady okrajů a obrub a) nevhodné, b) vhodné [21]</i>	26
<i>Obr. 12 Přerušovaný závit u šroubu [1]</i>	27
<i>Obr. 13 Písmo a) vystouplé, b) polovystouplé, c) zahloubené [21]</i>	27
<i>Obr. 14 Základní funkce vstřikovací formy [23]</i>	28
<i>Obr. 15 Závislost velikosti smrštění na době dotlaku [18]</i>	30
<i>Obr. 16 Řadové uspořádání u vícenásobných forem [28]</i>	32
<i>Obr. 17 Symetrické uspořádání u vícenásobných forem [28]</i>	32
<i>Obr. 18 Vtoková vložka [27]</i>	33
<i>Obr. 19 Porovnání provedení rozváděcích kanálů [23]</i>	33
<i>Obr. 20 Umístění vtokového ústí [28]</i>	34
<i>Obr. 21 Vyhřívání tryska s vnějším vytápěním [1]</i>	37
<i>Obr. 22 Řez vyhříváním rozvodným blokem [28]</i>	38
<i>Obr. 23 Vyhazovací systém [28]</i>	39
<i>Obr. 24 Vzduchový vyhazovač [29]</i>	40
<i>Obr. 25 Temperační systém [34]</i>	41
<i>Obr. 26 Vstřikovaný výrobek – originální výrobek (vlevo), 3D model z Catie (vpravo)</i>	47
<i>Obr. 27 Allrounder 720 S [36]</i>	48

<i>Obr. 28 Sestava formy</i>	49
<i>Obr. 29 Pohled na pravou a levou část formy</i>	50
<i>Obr. 30 Rozvržení dělicích rovin, hlavní dělicí rovina (červená), vedlejší dělicí roviny (modrá a zelené)</i>	50
<i>Obr. 31 Dvojnásobná forma</i>	51
<i>Obr. 32 Tvárnice (zelená) a tvárník (červený)</i>	52
<i>Obr. 33 Boční posuvné jádro, uzavřené (vlevo) a otevřené (vpravo)</i>	53
<i>Obr. 34 Odformování s táhlem, uzavřený stav (vlevo) a otevřený stav (vpravo)</i>	54
<i>Obr. 35 Horký vtokový systém</i>	54
<i>Obr. 36 Vyhazovací systém</i>	55
<i>Obr. 37 Chladicí systém</i>	56
<i>Obr. 38 Transportní nosiče</i>	57
<i>Obr. 39 Vysítovaný model výrobku</i>	58
<i>Obr. 40 Analýza odporu toku taveniny</i>	59
<i>Obr. 41 Analýza místa vtoku</i>	60
<i>Obr. 42 Analýza místa vtoku - zvolené místo</i>	60
<i>Obr. 43 Analýza doby plnění</i>	61
<i>Obr. 44 Analýza rychlosti smykové deformace</i>	61
<i>Obr. 45 Analýza času potřebného k vyhození</i>	62
<i>Obr. 47 Analýza vzduchových bublin</i>	63
<i>Obr. 49 Analýza teploty chladicího média</i>	65
<i>Obr. 50 Reynoldsovo číslo</i>	66

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 3. Velikost úkosů[1].....</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 4. Zaoblení hran a rohů [21].....</i>	<i>24</i>

SEZNAM PŘÍLOH

P I KUSOVNÍK

P II VÝKRES SESTAVY FORMY

P III DVD – obsahuje diplomovou práci, analýzy a výkresovou dokumentaci.