

Návrh vstřikovací formy pro dvoukomponentní výrobek

Bc. Pavel Soldat

Diplomová práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel SOLDAT**

Osobní číslo: **T100019**

Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Téma práce: **Návrh vstřikovací formy pro dvoukomponentní výrobek**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární řešení na dané téma.
2. Proveďte rozbor stávajícího řešení a navrhněte úpravy.
3. Zkonstruujte vstřikovací formu a ověřte ji analýzami.
4. Vyhodnoťte zjištěné skutečnosti.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího diplomové práce.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Štěpán Šanda
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

13. února 2012

Termín odevzdání diplomové práce:

18. května 2012

Ve Zlíně dne 2. února 2012



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



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

Příjmení a jméno: SOLDAT PAVEL

Obor: VI

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 5.5.2012

..... Pavel Soldat

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 vzdělávacímu 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

Obsahem této práce je designový i konstrukční návrh dvoukomponentního výrobku, včetně konstrukčního návrhu vstřikovací formy podpořeného tokovými analýzami. V teoretické části je popsán princip vstřikování, konstrukce forem a vstřikovacích strojů, vstřikované materiály a výrobky, včetně speciálních způsobů vstřikování. Praktická část se zabývá designovou studií zadaného výrobku, kterým je stěrka na okno, konstrukčním návrhem dvoukomponentní vstřikovací formy a následným ověřením tokovými analýzami.

Klíčová slova: dvoukomponentní vstřikování, vstřikovací forma, toková analýza

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is to design a construction concept of a multi-component product and injection mold, supported by flow analyses. In theoretical part are described principles of injection molding, construction of injection molds and injection machines, types of used polymers and injected products with the inclusion of special injection techniques. Practical part deals with design studies of given product, which is a window squeegee, supported by flow analyses and construction concept of multi-component injection mold.

Keywords: multi-component injection molding, injection mold, flow analysis

Na tomto místě bych chtěl co nejsrdečněji poděkovat Ing. Štěpánu Šandovi vedoucímu mé diplomové práce, za jeho podporu, trpělivost, inspiraci a především cenné rady.

Dále bych chtěl poděkovat firmě Spojené kartáčovny, a.s. v Pelhřimově, za umožněnou konzultaci v sídle podniku, konkrétně Ing. Františku Nováčkovi za jeho čas a rady týkajících se konstrukčního řešení.

V neposlední řadě mé poděkování patří Ing. Luboši Rokytovi a Ing. Jakobovi Černému za odbornou konzultaci a pomoc v konstrukčních CAD softwarech.

Rovněž mé díky patří všem, kteří mi při práci pomáhali a podporovali mě.

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

OBSAH

ÚVOD	4
I TEORETICKÁ ČÁST	5
1 VSTŘIKOVÁNÍ	6
1.1 PRINCIP VSTŘIKOVÁNÍ.....	6
1.1.1 Cyklus vstřikovacího procesu	7
1.1.2 P _v T diagram vstřikovacího procesu	8
2 POLYMERNÍ MATERIÁLY	9
2.1 PLASTOMERY	9
2.1.1 Termoplasty.....	9
2.1.2 Reaktoplasty	11
2.2 ELASTOMERY	11
2.3 TERMOPLASTICKÉ ELASTOMERY	12
2.3.1 Klasifikace TPE	12
2.3.2 Aplikace TPE	13
3 VSTŘIKOVANÉ VÝROBKY	14
3.1 ZÁSADY KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ	14
3.1.1 Zaformování součásti a umístění dělicí roviny	14
3.1.2 Tloušťka stěn.....	14
3.1.3 Zaoblení hran a rohů	15
3.1.4 Úkosy a podkosy	15
3.1.5 Žebra	15
3.1.6 Otvory a drážky.....	16
3.1.7 Rýhování	16
4 VSTŘIKOVACÍ STROJ	17
4.1 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA	17
4.1.1 Násypka.....	18
4.1.2 Šnek.....	18
4.1.3 Jednosměrný ventil.....	18
4.1.4 Vstřikovací tryska	18
4.1.5 Temperace vstřikovací jednotky	19
4.1.6 Vedení a posuv vstřikovací jednotky	19
4.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	19
4.2.1 Mechanická uzavírací jednotka.....	20
4.2.2 Hydraulická uzavírací jednotka.....	20
4.2.3 Hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka.....	20
4.2.4 Uzavírací jednotka bez vodících sloupů - C-frame design	21
4.2.5 Dvoudesková uzavírací jednotka	21
4.3 POHONNÝ SYSTÉM.....	21
4.3.1 Hydraulický pohon.....	21
4.3.2 Elektromechanický pohon.....	21
4.3.3 Hybridní pohon	22

4.4	ŘÍDICÍ SYSTÉM	22
4.5	SPECIÁLNÍ TYPY VSTŘIKOVACÍCH STROJŮ	22
4.5.1	Vstřikovací jednotka s oddělenou plastikací.....	22
4.5.2	Vícenásobné uspořádání.....	23
5	VSTŘIKOVACÍ FORMA	25
5.1	ZÁKLADNÍ ROZVRŽENÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY	25
5.1.1	Standardní koncepce formy.....	25
5.1.2	Forma se stírací deskou	25
5.1.3	Forma s posuvnými členy	26
5.1.4	Forma s dělenou dutinou	26
5.1.5	Forma s vytáčecím mechanismem	26
5.1.6	Forma se třemi deskami (tzv. třídeskový systém formy).....	26
5.2	VTKOVÝ SYSTÉM	27
5.2.1	Studený vtokový systém	27
5.2.2	Horký vtokový systém – izolované vtokové soustavy	29
5.2.3	Horký vtokový systém – vyhřívané vtokové soustavy (VVS).....	29
5.3	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	31
5.3.1	Zásady řešení temperačních kanálů	32
5.4	ODVZDUŠNĚNÍ FOREM	33
5.5	VYHAZOVAČÍ SYSTÉM.....	34
5.5.1	Mechanické vyhazování.....	35
5.5.2	Pneumatické vyhazování.....	35
5.5.3	Hydraulické vyhazování.....	35
6	SPECIÁLNÍ METODY VSTŘIKOVÁNÍ.....	36
6.1	VÍCEKOMPONENTNÍ VSTŘIKOVÁNÍ (MULTICOMPONENT INJECTION MOLDING).....	36
6.1.1	Overmolding (Zastřikování).....	36
6.1.2	Vstřikování sendvičových struktur	40
6.2	VSTŘIKOVÁNÍ DUTÝCH VÝROBKŮ ZA PODPORY VODY ČI PLYNU (FIT)	42
6.3	VSTŘIKOVÁNÍ LEHČENÝCH VÝROBKŮ (FIM).....	44
6.4	TECHNOLOGIE ZASTŘIKOVÁNÍ ETIKET (IML)	45
6.5	VSTŘIKOVÁNÍ DÍLŮ VELMI MALÝCH ROZMĚRŮ (MICRO INJECTION MOLDING)	45
6.6	VSTŘIKOVÁNÍ KOVU A KERAMIKY (PIM)	46
7	ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI.....	47
II	PRAKTICKÁ ČÁST	48
8	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	49
9	POUŽITÉ PROGRAMY	50
9.1	DASSAULT SYSTÈMES, CATIA V5R18.....	50
9.2	DASSAULT SYSTÈMES, SOLIDWORKS 2011.....	50
9.3	HASCO, DAKO R1-2012	50
9.4	AUTODESK, MOLDFLOW INSIGHT 2012.....	50
10	VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....	51

10.1	PŮVODNÍ VÝROBEK	51
10.2	MODIFIKOVANÝ VÝROBEK	51
10.3	FINÁLNÍ VÝROBEK.....	55
10.4	MATERIÁLY VÝROBKU	56
11	VSTŘIKOVACÍ STROJ	58
12	PŘEDBĚŽNÉ NÁVRHY VSTŘIKOVACÍ FORMY	59
12.1	TECHNIKA VSTŘIKOVÁNÍ.....	59
12.2	ZPŮSOB VYHAZOVÁNÍ	60
13	VSTŘIKOVACÍ FORMA	61
13.1	RÁM VSTŘIKOVACÍ FORMY	61
13.2	MECHANICKÁ ROTAČNÍ VLOŽKA (INDEXOVÁ DESKA)	62
13.3	TVAROVÉ DUTINY VSTŘIKOVACÍ FORMY	63
13.4	VTKOVÝ SYSTÉM VSTŘIKOVACÍ FORMY	65
13.5	TEMPERAČNÍ SYSTÉM VSTŘIKOVACÍ FORMY	66
14	TOKOVÉ ANALÝZY.....	68
	DISKUZE VÝSLEDKŮ	73
	ZÁVĚR	74
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	75
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	77
	SEZNAM OBRÁZKŮ	80
	SEZNAM TABULEK.....	82
	SEZNAM PŘÍLOH.....	83
	PŘÍLOHA P I: 3D VIZUALIZACE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	84
	PŘÍLOHA P II: 3D VIZUALIZACE VSTŘIKOVACÍ FORMY – POHLED DO DĚLÍCÍ ROVINY.....	85
	PŘÍLOHA P III: 3D VIZUALIZACE DVOUKOMPONENTNÍHO VÝROBKU.....	86

ÚVOD

Udržet se v dnešní době ve velmi konkurenční obchodní sféře znamená pro výrobce nejen stále vyvíjet nové inovativní produkty a přijímat pracovní sílu, ale také stále vyvíjet nové technologie, které musí zajistit snížení ceny produktu, zvýšení jakosti a zefektivnění výroby. Kvalita a technologie výroby jde ruku v ruce s kvalitou produkce podniku a celková efektivnost může ovlivnit růst či budoucí existenci podnikových sekcí nebo dokonce celého výrobního sektoru. Díky tomuto vývoji, byla speciálním technologiím přiřazena enormní důležitost již od 90. let minulého století. [8]

Technologie vstřikování zejména termoplastů, včetně strojů a zařízení pro její realizaci, urazila od prvopočátků, přes masový a bouřlivý rozvoj zejména v druhé polovině minulého století až po dnešní globalizaci, velmi dlouhou a úspěšnou cestu. Díky širokým možnostem využití termoplastů, zejména v automobilovém, elektronickém a v dalších oblastech průmyslu, je tato technologie i nadále velmi perspektivní. [13]

Nejen technologie „klasického“ vstřikování umožňuje dosáhnout finálního výrobku bez následných operací. V poslední době bylo v tomto směru vyvinuto mnoho modifikací, které umožňují nahradit jinak nemožnou či složitou výrobu. Do skupiny zvláštních způsobů vstřikování patří: vícekomponentní vstřikování (vícebarevné, různé druhů navzájem nekompatibilních materiálů či kombinace měkkých a tvrdých plastů), vstřikování sendvičových struktur (stejný či odlišný materiál na povrchu a v jádře), vstřikování dutých výrobků – vstřikování za podpory plynu (GIT), vstřikování za podpory vody (WIT), vstřikování lehčených výrobků (Foam Injection Molding), technologie zastřikování etiket (In-Mold Labeling), technologie vstřikování dílů velmi malých rozměrů (Micro Injection Molding). [9]

Diplomová práce je zaměřena na technologii vícekomponentního vstřikování, která dovozuje vyrábět zadanou součást se dvěma (i více) polymerními materiály v kombinaci tvrdého a měkkého polymeru v jedné formě bez nutnosti dodatečné montáže, což představuje značnou úsporu času, zvýšení jakosti a sériovosti a zejména zvýšení atraktivity či funkčnosti vyráběné součásti.

Obsahem této práce je designový i konstrukční návrh dvoukomponentního výrobku, včetně konstrukčního návrhu vstřikovací formy podpořeného tokovými analýzami.

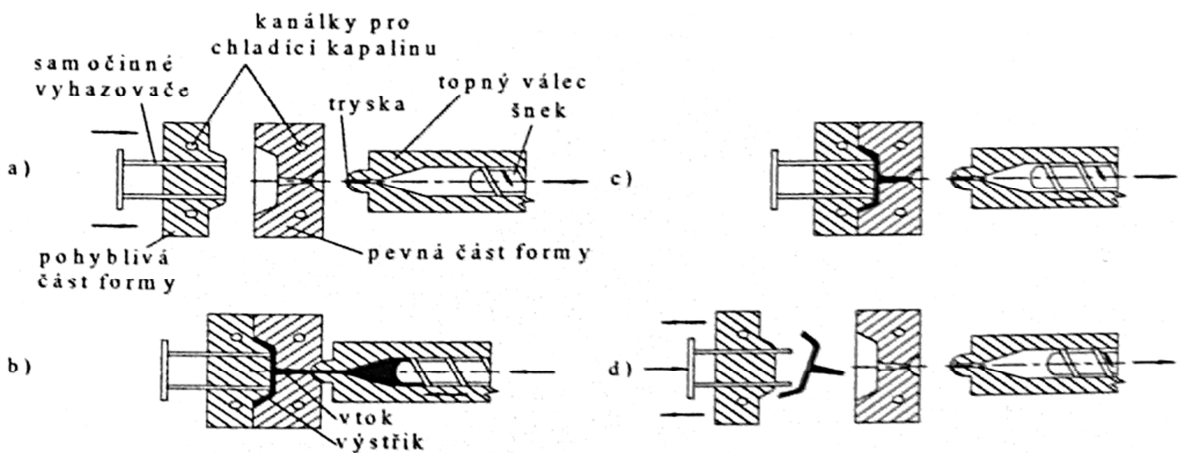
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VSTŘIKOVÁNÍ

Technologie vstřikování je jeden z hlavních způsobů zpracování polymerů pro výrobu plastových součástí. Jedna z podstatných předností této technologie je možnost vyrábět tvarově složité součásti v jednom automatizovaném kroku, kde ve většině případů není již nutná další dokončovací operace. [8]

1.1 Princip vstřikování

Tavenina se připraví v tavící komoře vstřikovací jednotky a je vstříknuta do formy, kde zatuhne (eventuálně zesílne). Princip vstřikování je na *Obr. 1* a cyklus na *Obr. 2*. Nejprve dojde k uzavření vstřikovací formy, vstřikovací jednotka je ve výchozí poloze. Vstřikovací jednotka se pak přisune a dosedne na uzavřenou formu (b). Po dosednutí vstřikovací jednotky nastává vstřikování taveniny. V momentu naplnění dutiny formy taveninou nastává tuhnutí, po čase nastává dotlaková fáze, resp. doplňování (c). Ve formě pokračuje tuhnutí materiálu bez tlaku a vstřikovací jednotka se odsune do výchozí polohy. Jakmile materiál ztuhne, forma se otevře (d) a dojde k vyhození výstřiku. Mezitím ve vstřikovací jednotce probíhá další plastikace, pro přípravu taveniny. Po plastikaci je vstřikovací jednotka i forma připravena na další cyklus. [9], [6]



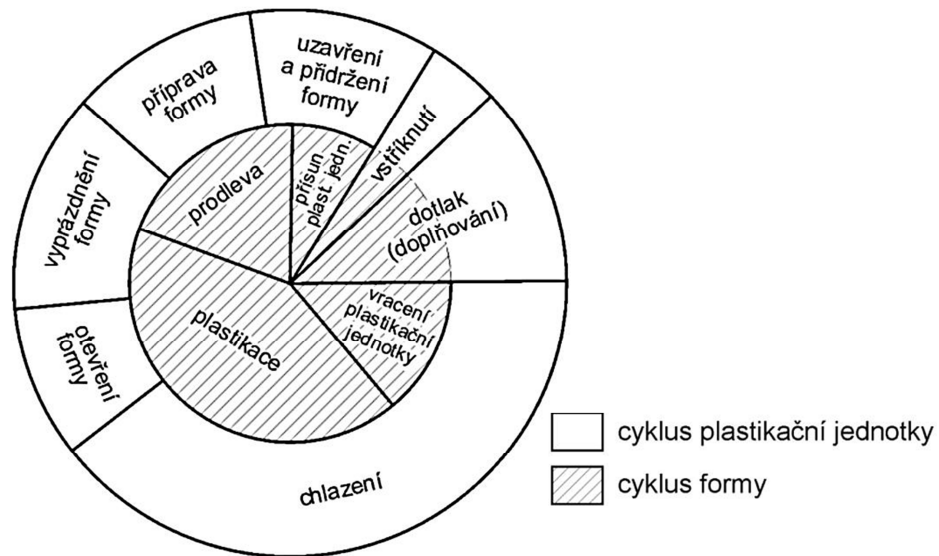
Obr. 1. Princip vstřikování. [9]

Pokud se vstřikují kaučukové směsi, proběhne ve formě také vulkanizace, v případě reaktoplastů vytvrzení.

Celý vstřikovací cyklus se provádí na vstřikovacích strojích. Je tedy nutné, aby disponovaly uzavírací jednotkou (zavření, otevření, vyhazování výstřiku) a vstřikovací jednotkou, která zajišťuje přepravu materiálu do dutiny formy. [9], [6]

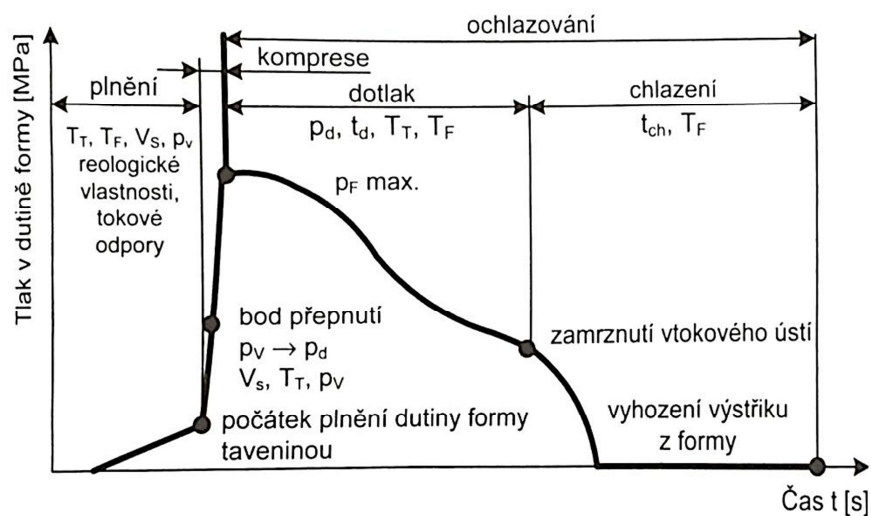
1.1.1 Cyklus vstřikovacího procesu

Celý cyklus vstřikování se dělí do několika fází, které se vzájemně překrývají. Abychom pochopili vliv a důsledek každé fáze, je vhodné celý proces rozdělit, viz. *Obr. 2.* [8]



Obr. 2. Cyklus vstřikovacího procesu (v závislosti na sledu fází). [11]

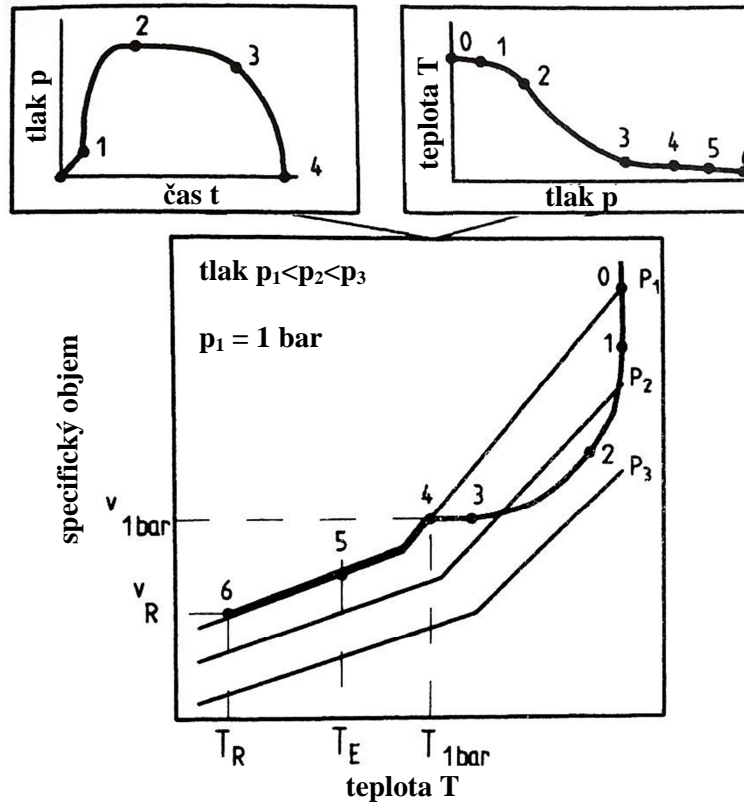
1. Uzavření formy a vyvolání uzavírací síly.
2. Přejezd vstřikovací jednotky k formě.
3. Vstřikovací (plnicí a kompresní) fáze.
4. Přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak.
5. Fáze dotlaku.
6. Ochlazování a chlazení vstřikovaného dílu v dutině formy a současná plastikace nové dávky materiálu pro následující cyklus.
7. Otevření formy a vyhození nebo vyjmutí dílu.



Obr. 3. Průběh tlaku ve formě během cyklu. [13]

1.1.2 PvT diagram vstřikovacího procesu

K teoretickému základu o vstřikování je vhodné znát a pochopit fyzické procesy v dutině formy z pvT diagramu. Je to nástroj, který pomáhá technologovi nastavit optimální podmínky pro vstřikování. [8]



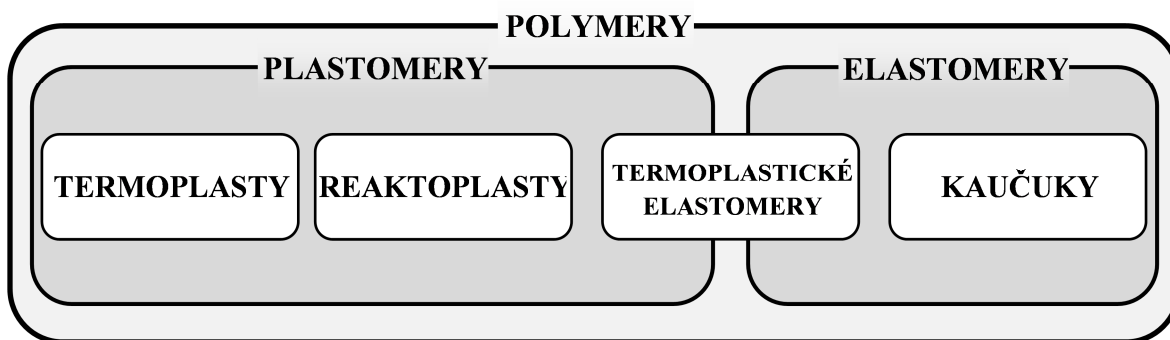
Obr. 4. PvT diagram vstřikovacího procesu. [8]

Z bodu 0 do bodu 1 probíhá objemové plnění, kde je materiál vysokou rychlostí dopravován do dutiny vstřikovací formy. Dále probíhá z bodu 1 → 2 dotlak, dále z bodu 2 → 3 vzniká důsledek dotlaku a z bodu 3 → 4 isochorický pokles tlaku. Ochlazování a teplotu vyhazování probíhá z bodu 4 do bodu 5 a další ochlazování na teplotu místonosti z bodu 5 do bodu 6. Z bodu 4 až 6 dochází k objemovému smrštění výrobku.

2 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Polymer je látka složená z molekul jednoho či více druhů atomů nebo vzájemně spojených skupin, které mohou být v tak velkém počtu, že se fyzikální ani chemické vlastnosti nezmění po přidání či odebrání jedné či více konstitučních jednotek. Charakteristickým znakem je řetězcová struktura molekul, která může být lineární, větvená či roubovaná. Polymer typicky vzniká polymerací či polykondenzací. [18]

Makromolekuly jsou složeny z velkého množství atomů. Tyto atomy jsou vázány chemickými vazbami do dlouhých řetězců, které tvoří pravidelně se opakující části, jež jsou nazývány stavebními (monomerními) jednotkami – mery. Dle počtu merů, které udávají polymerační stupeň, se sloučeniny rozdělují na oligomery (nízký stupeň polymerace) a polymery (vyšší stupeň polymerace). [18]



Obr. 5. Rozdělení polymerů.

2.1 Plastomery

Plastomery (zkráceně plasty) jsou polymery, jejichž deformace je nevratná (zůstávají tedy deformovány, i když deformující napětí přestane působit).

Dále se plastomery dělí na dvě skupiny a to na termoplasty a reaktoplasty.

2.1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou takové polymery, které za chladu ztuhnou a tím se zabrání pohybu dlouhých molekul. Pokud se ohřejí, znovu získají schopnost téci a molekuly se tak mohou po sobě hladce posouvat. Termoplastické polymery se dělí na amorfní, semikrystalické a částečně na termoplastické elastomery (TPE). [8]

Termoplasty se dále dělí na [3]:

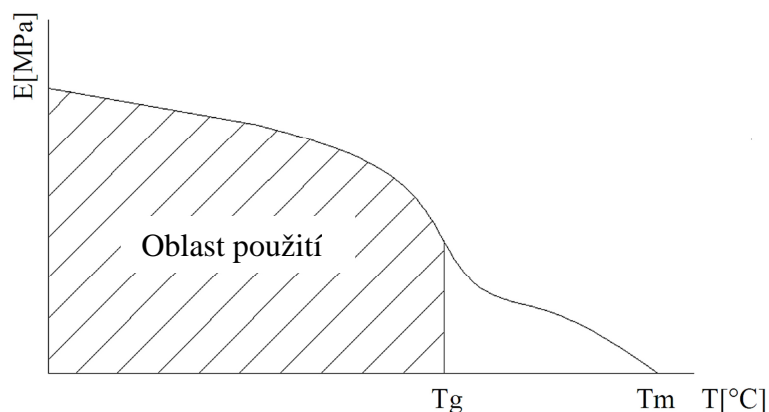
- polyolefiny a fluoroplasty,

- vinylové polymery,
- styrenové a akrylové polymery,
- polyestery a polyethery,
- polyamidy a polyurethany.

a) Amorfní termoplasty

Amorfní termoplasty mají srovnatelně stejné náhodné uspořádání vnitřní struktury jako mísa se špagetami. Díky nahodilé struktuře, je jejich charakteristická velikost největší uspořádané oblasti mezi vazbami uhlík – uhlík. Tato vzdálenost je mnohem menší než vzdálenost vlnové délky viditelného světla a právě to dělá amorfní polymery průhledné. [8]

Využití výrobků vyrobených z amorfních polymerů je při teplotách pod skelným přechodem (T_g). Při překročení teploty T_g postupně slábnou vnitřní soudržné (kohezní) síly mezi makromolekulami a polymer postupně přechází ze stavu pevného až do stavu viskózního, při kterém se zpracovává. [2]

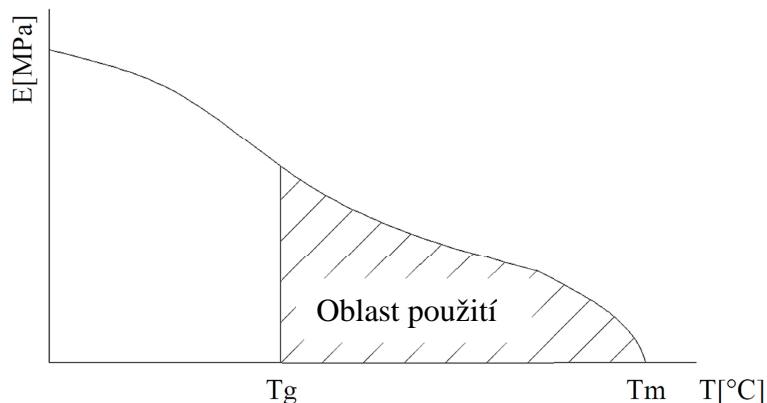


Obr. 6. Oblast použití amorfních termoplastů. [2]

b) Semikrystalické termoplasty

Molekuly v semikrystalických polymerech jsou (na rozdíl od amorfních termoplastů) v uspořádané krystalické podobě. Podíl krystalické fáze závisí na rozvětvení a na rychlosti ochlazování. Zatímco nízkohustotní polyetylen (LDPE), jež má dlouhé rozvětvení, může krystalizovat jen do 40 až 50 %, vysokohustotní polyetylen (HDPE) krystalizuje až do 80 %. Čistě krystalické polymery by byly tvrdé a křehké, kdežto semikrystalické vykazují pružné deformace, tok i plastické deformace. [8], [4]

Použití semikrystalických termoplastů je v oblasti nad teplotou T_g , jelikož právě v této oblasti mají výhodnou pevnost a houževnatost. Při ochlazování je třeba počítat s vysokým smrštěním, při ohřívání s vysokým objemovým nárůstem. [2]



Obr. 7. Oblast použití semikrystalických termoplastů. [2]

2.1.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty se vytvrzují chemickou reakcí buď teplem, zářením či působením katalyzátoru. Dlouhé makromolekuly vytváří příčné vazby, což vyústí ve vznik zesíťované struktury. Původní molekuly nemohou díky zesíťování nadále klouzat jedna po druhé, což zabraňuje roztečení materiálu i při vysokých teplotách. [7]

Reaktoplasty se dále dělí na [3]:

- fenolytické pryskyřice,
- aminopryskyřice,
- epoxidové pryskyřice,
- polyesterové pryskyřice,
- silikonové pryskyřice.

2.2 Elastomery

Elastomery (pryže) jsou výjimečné svou velkou pružnou deformací. Přidáním přísad do kaučuku vznikne guma a vulkanizací gumy vznikne pryž. Vlastnosti elastomerů lze modifikovat vznikem primárních vazeb mezi makromolekulami, které vznikají při vulkanizaci a sekundárních vazeb, které jsou závislé na teplotě. Vulkanizace kaučukové směsi je fyzikálně-chemický proces, při kterém za působení teploty a tlaku po určitou dobu vznikne ze směsi vulkanizát. [4]

2.3 Termoplastické elastomery

Termoplastické elastomery (TPE) jsou polymerní materiály, které mají při pokojové teplotě vlastnosti elastomerů, ale při zpracování se chovají jako termoplasty. Ve srovnání s pryží pak odpadá vulkanizace při zachování analogických užitečných vlastností. Jde tedy o polymerní materiál, jež je tvořen tvrdými a měkkými doménami, charakterizovanými různými teplotami T_g a T_m . [15]

Za největší rozdíl mezi pryžími a TPE se dá považovat rozdíl ve vlastnostech uzlů sítě, které jsou u TPE fyzikální, nikoliv chemické. Energie fyzikálních vazeb je srovnatelná s energií vazeb kovalentních, a tedy v porovnání s konvenčními polymery jsou vazby mnohem silnější. [15]

Vlastnosti TPE závisí jak na vlastnostech elastomeru, tak na poměru obsahu obou fází. Jedna fáze je tvrdá a v pevném stavu za pokojové teploty (polymer), druhá fáze je tekutá (elastomer). Pevná fáze dává termoplastickým elastomerům jejich pevnost a soudržnost. Pokud by pevná fáze chyběla, elastomer by při zatížení začal volně téci a takový polymer by byl k ničemu. Ve chvíli, kdy se pevná fáze zahřeje, stane se tekutou, tekutina tak může vyplnit dutinu formy, což je základním předpokladem pro úspěšnou aplikaci ve vstřikování polymerů. [7]

2.3.1 Klasifikace TPE

a) Podle chemické výstavby [15]

- blokové styrenové kopolymery
- polyurethany
- polyetherestery
- kopolyamidy
- směsi elastomerů s termoplasty

b) Podle fyzikálních vlastností [15]

- měkké, víceúčelové TPE
- tvrdší, technické TPE
-

2.3.2 Aplikace TPE

Některé typy TPE byly díky své vysoké houževnatosti použity jako náhrada termoplastů, avšak klíčovým využitím je náhrada vulkanizovaných kaučuků. Tato aplikace přináší značné ekonomické výhody, vyloučí se tak nutná příprava kaučukové směsi a vulkanizačních činitelů, navíc po procesu vulkanizace se proces nedá vrátit zpět. Přeměna TPE z tekutého do kaučukovitého stavu je rychlá, zpětná a vyžaduje jen chlazení. Tyto vlastnosti TPE dávají zelenou pro využití rychlých technologických postupů v plastikářském průmyslu, zejména pro vstřikování. [15]

Tab. 1. Termoplastické elastomery využívané pro vstřikování. [7]

1.	Polystyren / (S-B-S + olej)	směsi
2.	Polypropylen / (S-EB-S + olej)	směsi
3.	Polypropylen / (EPR + olej)	směsi
4.	Polypropylen / (kaučuk + olej)	dynamické vulkanizáty
5.	Polyetylen / (polyolefinový kaučuk)	blokové kopolymery
6.	PVC / (NBR + plastikační činidla)	směsi
7.	Chlornatý olefin	interpolymerní slitiny
8.	Polyuretan / Elastomer	blokové kopolymery
9.	Polyester / Elastomer	blokové kopolymery
10.	Polyamid / Elastomer	blokové kopolymery

3 VSTŘIKOVANÉ VÝROBKY

U plastových výrobků je třeba se řídit zcela jinými konstrukčními zásadami, než je tomu u součástí z kovu. Plastové součásti nelze vyrobit v takové jakosti jako součásti z kovu, jsou totiž ovlivněny faktory, které úzce souvisí s použitým materiálem, výrobní technologií, procesními parametry a formou. [2]

Hlavní činitelé ovlivňující jakost výstřiku [2]:

- smrštění při zpracování (záleží na použitém druhu polymeru, konstrukci výstřiku a na technologii vstřikování),
- dodatečné smrštění (několikanásobně menší, probíhá již mimo formu a to v řádu týdnů až měsíců), příčinou je uvolnění vnitřního pnutí,
- tečení (creep) – k tomuto jevu dochází při dlouhodobém účinku zatížení, jež se projevuje plastickou deformací (semikrystalické polymery jsou více náchylné na creep než amorfní),
- teplotní dilatace (asi o řád větší než u kovů), jedná se o vratnou změnu,
- navlhavost (při vysušení se rozměry opět zmenší).

3.1 Zásady konstrukce vstřikovaných výrobků

Tato podkapitola rozvádí jednotlivé konstrukční zásady pro dodržení jakosti výstřiků.

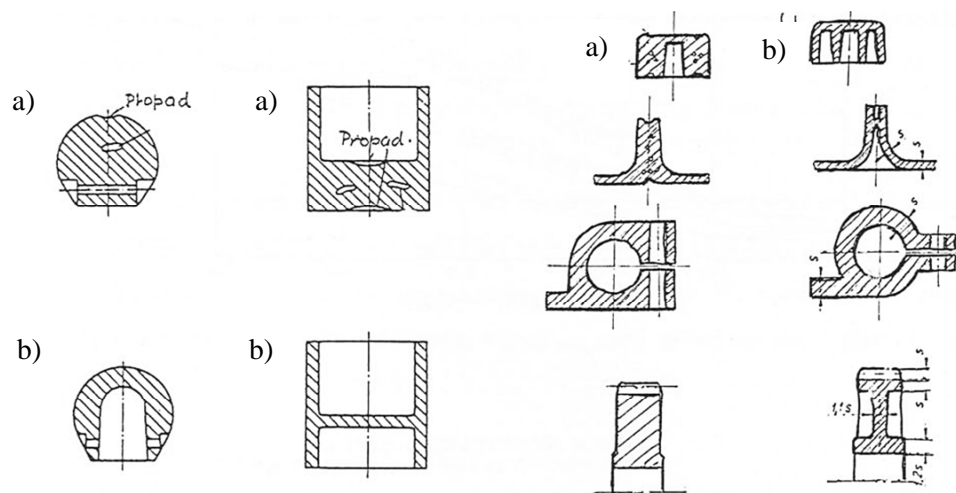
3.1.1 Zaformování součásti a umístění dělicí roviny

Zaformování a umístění dělicí roviny (dělicích rovin) je ovlivněno celkovou konstrukcí součásti a je prvním krokem, jež úzce souvisí s dalšími aspekty probíhajícími ve formě, jako je plnění dutiny, odvětrání, chlazení a odformování součásti. [2]

3.1.2 Tloušťka stěn

Tloušťka stěn součásti úzce závisí s dráhou toku polymeru. V úzké dutině tavenina rychle chladne a tlusté stěny je třeba dlouho chladit. Při použití různě tlustých stěn není tuhnutí taveniny stejnoměrné, vzniká tak vnitřní pnutí, propadliny a povrchové vady.

Správně navržená součást má jednotnou tloušťku stěny, přechody bez ostrých hran a tloušťka bočních stěn nepřekračuje 80 % tloušťky hlavní stěny. [2]



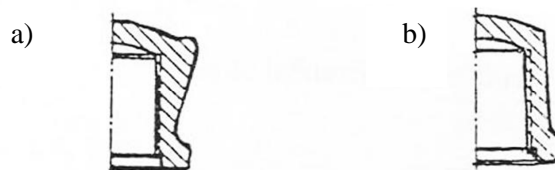
Obr. 8. Tloušťka stěn, a) nevhodné, b) vhodné. [2]

3.1.3 Zaoblení hran a rohů

Přechody s ostrými hranami vyžadují vyšší vstřikovací tlaky, což vede k vyššímu opotřebení formy, navíc ostré přechody koncentrují napětí. Poměr rádiusu k tloušťce stěny (r / s) by měl být alespoň 0,5. [2]

3.1.4 Úkosy a podkoso

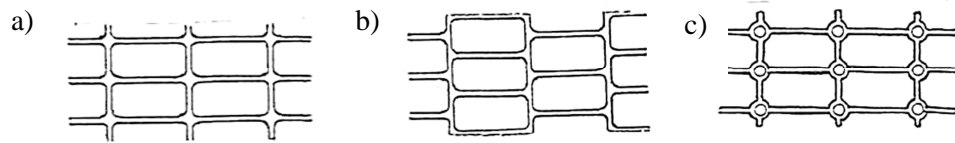
Úkosy jsou sklony stěn výstřiku kolmo na dělicí rovinu. Díky úkosům je možné vyjmout výstřík z formy. Jejich velikost je ovlivněna smrštěním, elasticitou výstřiku, drsností stěn formy a způsobem automatizace výroby. Podkoso naopak znemožňují vyjmutí výstřiku z formy, komplikují její konstrukci a odformování musí být řešeno zvlášť, proto je lepší se jim vyhnout. Obecně platí, že na vnějších plochách by měl mít úkos alespoň 1° . [2]



Obr. 9. Podkoso u výstřiku. a) obtížně odformovatelný, b) jednoduše odformovatelný. [2]

3.1.5 Žebra

Žebra se dělí na technická a technologická. Technická žebra ovlivňují tuhost a pevnost výstřiku a technologická ovlivňují plnění dutiny formy nebo brání zborcení stěn a mohou také odstranit možný vznik povrchových vad. [2]



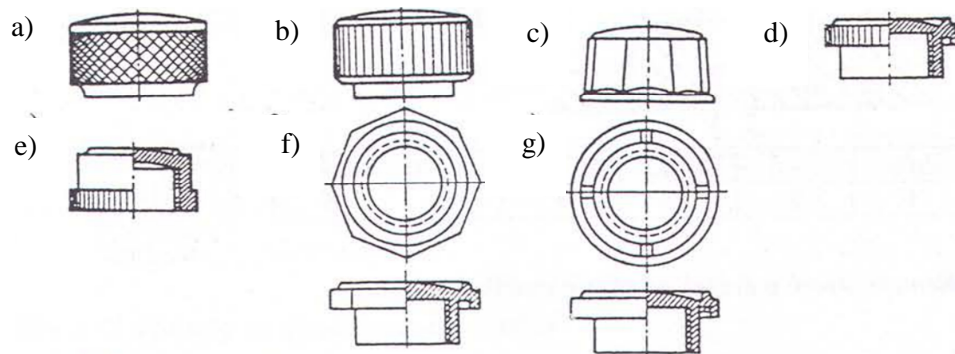
Obr. 10. Druhy žeber. a) ,c) technická, b) technologická. [2]

3.1.6 Otvory a drážky

Otvory a drážky se doporučují volit tak, aby při výrobě nečinily potíže. Otvory a drážky kolmé na dělicí rovinu se zhotovují pomocí výsuvných jader nebo čelistí, pokud jsou otvory a drážky rovnoběžné s dělicí rovinou, řeší se pomocí kolíků a trnů. Je vhodné dodržovat vzdálenosti mezi otvory a okraji výstřiku, mohlo by dojít k jejich popraskání, svůj podíl také nesou studené spoje, které vznikají za otvorem spojením dvou čel taveniny. [2]

3.1.7 Rýhování

Většinou se používá u ovládacích prvků pro zvýšení drsnosti. Křížové drážkování činí potíže, proto je lepší použít podélné drážkování s různým osazením a kuželovými stěnami. [2]



Obr. 11. Způsoby rýhování a tvary ovládacích prvků, a) nevhodné, ostatní varianty vhodné. [2]

4 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Vstřikovací stroj zajišťuje všechny pohyby (rotační i posuvné) a vyvolává veškeré síly (např. uzavírací sílu), které jsou nutné pro vstřikovací cyklus. [8]

Vstřikovací stroj se rozděluje na tyto čtyři části: vstřikovací jednotka, uzavírací jednotka, pohonný systém a řídicí systém. [8]

Vstřikovací stroje jsou klasifikovány dle maximální uzavírací síly, maximálního vstřikovacího tlaku nebo průměru šneku. Konvenční stroje se pohybují zhruba v těchto rozmezech [8]:

- uzavírací síla od méně než 1 až do 8 000 tun,
- maximální vstřikovací tlak od 150 do 250 MPa,
- průměr šneku od 12 do 120 mm.

Mezinárodní značení vstřikovacích strojů využívá maximální uzavírací sílu a hodnotu P , jež značí maximální vstřikovaný objem a maximální vstřikovací tlak. [8]

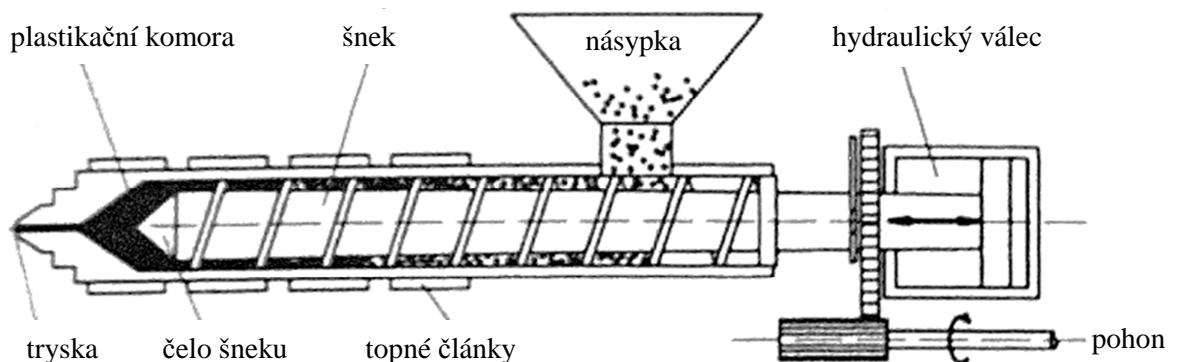
$$P = \frac{V_{s(max)} \cdot p_{in(max)}}{1000} [cm^3 \text{ bar}] \quad (1)$$

Kde $V_{s(max)}$ značí maximální vstřikovaný objem na jednu plastikaci a $p_{in(max)}$ maximální vstřikovací tlak. [8]

4.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka zajišťuje tyto funkce [8]:

- zahřátí a roztavení granulí polymeru přivedených do násypky,
- vstřikování taveniny do dutiny formy,
- vytváření potřebného tlaku k vstřikování a udržování tlaku v průběhu chlazení.



Obr. 12. Vstřikovací jednotka. [8]

4.1.1 Násypka

Násypka slouží pro zásobování surového polymeru do vstřikovacího stroje. [8]

Násypka musí splňovat tyto funkce [8]:

- schopná se zcela vyprázdnit,
- jednoduchá na obsluhu a údržbu,
- jednoduše připevnitelná,
- musí být prachotěsná.

4.1.2 Šnek

Šnek slouží pro plastikaci a vstřikování polymeru. [8]

Šnek musí splňovat tyto funkce [8]:

- dostatečný plastikační výkon,
- efektivní přeprava materiálu (nízké časy pro zdržení materiálu),
- efektivní promíchávání a tavení materiálu (homogenní teploty a přísady),
- dobrou samočistící schopnost.

Nejrozšířenější je varianta šneku, který se otáčí a zároveň se chová jako píst při vstřikování. [8]

4.1.3 Jednosměrný ventil

Vstřikovací šneky jsou obvykle vybaveny přídatným zařízením, které promění šnek v píst v průběhu vstřikování a ve fázi dotlaku. Tento ventil zajišťuje, že se materiál vstříknutý do formy nebude vracet zpět ke šneku. [8]

Ventil musí splňovat tyto funkce [8]:

- vysoká účinnost,
- krátké uzavírací časy,
- vysoká mechanická odolnost,
- samočistící schopnost.

4.1.4 Vstřikovací tryska

Vstřikovací jednotka je spojena s formou vstřikovací tryskou. Pokud je potřeba, vstřikovací tryska se při fázích jako je plastikace a chlazení uzavře. [8]

Otevřená tryska neklade žádné zábrany pro taveninu. [8]

Uzavírací trysky se dělí na [8]:

- trysky s uzavírací jehlou (tryska se otevírá buď vyvoláním vstřikovacího tlaku nebo hydraulicky),
- uzavírací trysky s posuvným mechanismem (vstřikovací kanál se otevře až při dosednutí čela trysky na formu a po dokončení vstřikování se sám uzavře při zpětném pohybu vstřikovací jednotky).

4.1.5 Temperace vstřikovací jednotky

Vstřikovací jednotka je nejčastěji ohřívána elektrickými odporovými topnými články nebo kapalinou. [8]

Elektrické odporové články s sebou přinášejí mnohé výhody – nízkou cenu, jednoduchou instalaci a regulaci. Nevýhodou je však pomalá odezva při změně teploty, hlavně při ochlazování. [8]

Vodní topení je mnohem dražší na výrobu i instalaci a náročnější na obsluhu. Nevýhodou je maximální dosažitelná teplota (jen kolem 300 °C). Výhodou je, že vodou lze také chladit a tím odejímat teplo z taveniny, tento systém je tedy vhodný pro polymery, které jsou velmi citlivé na zpracovací teploty. [8]

4.1.6 Vedení a posuv vstřikovací jednotky

Vstřikovací jednotka musí být ve spojení s formou ještě před tím, než je polymer vstříknut do vstřikovacích kanálů. Vstřikovací jednotka postupuje a tryska je tlačena do středícího kroužku určitou silou pro dosažení optimální těsnosti. V průběhu plastikace vstřikovací jednotka koná zpětný pohyb. Osový posun se zajišťuje buď pomocí vodících tyčí (kde může být posuvový válec přímo integrován na vodících tyčích nebo může být posuvový válec uložen separátně. Alternativní způsob jak zajistit posuv je pomocí podvozkového supportu, který je vhodný především pro rozměrově větší a těžší vstřikovací jednotky, posuvové válce musí být v tomto případě také uloženy separátně. [8]

4.2 Uzavírací jednotka

Jelikož vstřikování je cyklický proces, je nutné, aby vstřikovací stroj zabezpečil otevírání formy při vyhazování součásti a zároveň uzavírání při vstřikování, kde musí být uzavírací síla vyšší než tlak při vstřikovací a dotlakové fázi. [8]

V současnosti jsou využívány tři různé systémy jak zabezpečit pohyb uzavírací jednotky, tyto systémy jsou mechanické, hydraulické a hydraulicko-mechanické [8]

4.2.1 Mechanická uzavírací jednotka

Jedna kloubová páka

Veškeré pohyby a síly jsou zajištěny mechanickým systémem. Systém jedné kloubové páky je nejlevnějším řešením a je vhodný pro stroje s maximální uzavírací silou do 50 tun. Pohyb páky je zajištěn hydraulickým dvojčinným válcem. [8]

Dvě kloubové páky

Pro větší stroje se používá systém dvou kloubových pák (tzv. čtyřbodový systém), pohyb zajišťuje hydraulický dvojčinný válec umístěný na stroji v jeho ose. [8]

Vícebodové systémy

Dále se používají systémy pětibodové. Počet bodů znamená počet os, kolem kterých se páky otáčejí. Výhodou pětibodového systému je kratší délka uzavíracího systému a větší otevírací zdvih. [8]

4.2.2 Hydraulická uzavírací jednotka

Charakteristickým znakem je velký vyčnívající hydraulický válec, který vyvozuje uzavírací sílu. Obvykle je na stroji další, menší hydraulický válec, který má na starosti otevírací a zavírací pohyby stroje bez nutnosti přesunu obrovského množství oleje pod vysokým tlakem. Uzavírací síla je transportována přes olej v hlavním válci, a jelikož olej není tak tuhý jako ocel, opotřebení vstřikovací formy během vstřikování je mnohem vyšší než v případě mechanického uzavíracího mechanismu; razance hydraulických uzavíracích systémů je totiž mnohem vyšší než v případě mechanického uzavírání. [8]

4.2.3 Hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka

Mechanický zámek

Než dojde ke kontaktu obou polovin formy je pohyb uzavírací jednotky vyvozen buď jedním, nebo několika relativně malými dlouhými hydraulickými válci. Poté je uzavírací jednotka mechanicky uzamčena speciálními blokujícími zámky a následná uzavírací síla je vyvozena hydraulicky pístem o malém zdvihu a velkém průměru. Tento systém uzavírání vylučuje nevýhodu hydraulického systému, kde se zbytečně přesouvá velké množství oleje (zejména u velkých strojů) a zkracuje celkovou odezvu systému. [8]

Kombinace hydraulického a mechanického systému

Dalším způsobem je kombinace kloubové páky s hydraulickým systémem, kde se navzájem kombinují výhody obou systémů, což ve výsledku přináší systém s rychlou odezvou, vysokou efektivitou a jednoduchou opakovatelností. Bohužel nevýhodou je vysoká pořizovací cena. [8]

4.2.4 Uzavírací jednotka bez vodících sloupů - C-frame design

Pro formy velkého rozměru se používá tzv. „C-frame design“, který nemá žádné vodící sloupky a celá uzavírací jednotka se pohybuje na kluzné dráze. [8]

4.2.5 Dvoudesková uzavírací jednotka

Výhodou tohoto systému je dvojnásobné zvětšení zdvihu pro otevření formy při zachování původních rozměrů vstřikovacího stroje a vysoké uzavírací síly. [8]

4.3 Pohonný systém

Pohonný systém vstřikovacího stroje zabezpečuje veškeré pohyby ve vstřikovacím cyklu, včetně vytvoření tlaku. V následujících podkapitolách jsou stručně popsány pohony hydraulické, elektromechanické a hybridní. [8]

4.3.1 Hydraulický pohon

Lineární pohyby při zavírání formy či při vstřikování jsou nejlépe dle ekonomického hlediska vyvozené hydraulickým pohonem. Výhodou je jednoduchá distribuce kapaliny trubkami nebo hadicemi, nepotřebuje žádné mechanické elementy, jako jsou ozubená kola, hřebeny apod. Nevýhodou je ztráta účinnosti při přeměně elektrické energie na hydraulickou, viskozita hydraulického oleje závisí na teplotě a tlaku a je třeba celý systém udržovat (odvzdušnit, vyčistit). [8]

4.3.2 Elektromechanický pohon

Při využití elektromechanického pohonu, je každý pohyb realizován vlastním servomotorem. V dnešní době díky bezkartáčovým AC synchronním motorům je možná plynulá regulace rychlosti při vysoké přesnosti, účinnosti a nízké hlučnosti. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena díky vyššímu počtu pohonných jednotek a s tím související složitější a pracnější konstrukce. [8]

4.3.3 Hybridní pohon

Jelikož každý z výše popisovaných systému má své určité výhody a nevýhody, tak kombinací toho nejlepšího z obou systémů je zaručen nejlepší způsob jak pohánět vstřikovací stroj. Oblíbenou kombinací je pohánět plastikační šnek elektricky v hydraulicky poháněném vstřikovacím stroji. V závislosti na požadavcích zákazníka je možné zmenšit velikost hydraulického systému, snížit spotřebu nebo operační náklady. [8]

4.4 Řídicí systém

Řídicí systém musí obsahovat řídicí jednotku, která koordinuje všechny fáze ve vstřikovacím cyklu, zabezpečuje, aby procesní parametry setrvaly konstantní a měla by umožnit optimalizaci jednotlivých kroků procesu. [8]

Tyto hodnoty by měly být řízeny buď s otevřeným, nebo zpětnovazebním řízením [8]:

- teplota válce,
- teplota taveniny,
- teplota horkého vtokového systému,
- teplota formy,
- otáčení šneku,
- vstřikovací rychlost,
- hodnota dotlaku.

4.5 Speciální typy vstřikovacích strojů

Pro speciální aplikace nebo zpracování speciálních materiálů se používají různé obměny konstrukce. Tyto změny se klasifikují dle následujících kritérií [8]:

- speciální funkční jednotky (např. šnek a oddělený vstřikovací plunžr),
- vícenásobné funkční jednotky (např. vícekomponentní vstřikovací stroj),
- speciální geometrické uspořádání nebo uspořádání funkčních jednotek (např. svislá uzavírací jednotka).

4.5.1 Vstřikovací jednotka s oddělenou plastikací

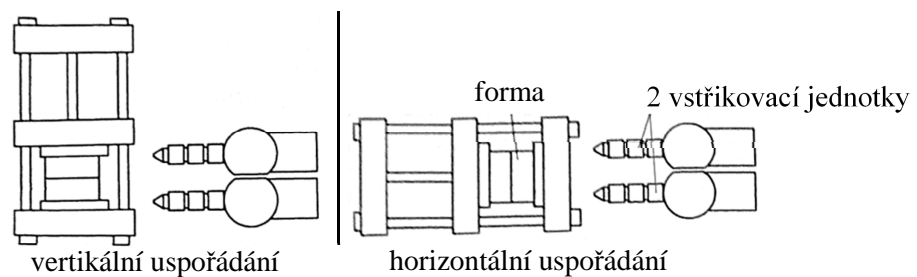
Tato varianta přichází v úvahu, pokud je nutný velmi vysoký plastikační výkon (plastikační šnek se nezastavuje během celého cyklu), a nebo pokud je třeba vstřikovat součásti vel-

mi malých rozměrů (micromolding), u kterých je vhodné mít vstřikovací píst co nejmenších rozměrů. [8]

4.5.2 Vícenásobné uspořádání

Pro vícekomponentní vstřikování

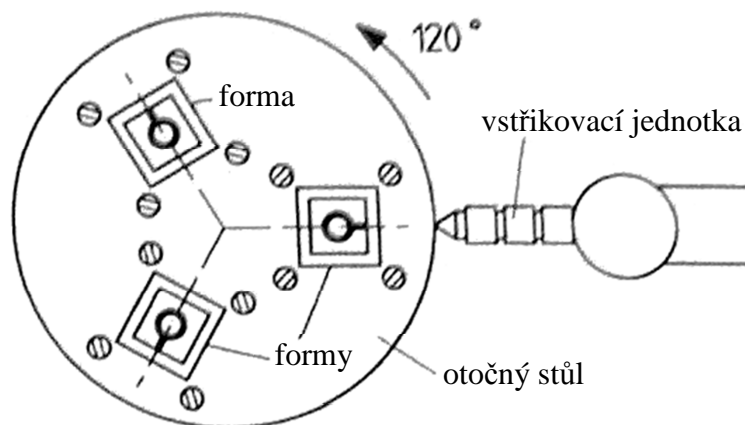
Pro vícekomponentní vstřikování jsou nutné dvě nebo i více vstřikovacích jednotek. Každá vstřikovací jednotka je využita na plastikaci a vstřikování taveniny. V tomto případě je možné využít horizontální uspořádání, kde je uzavírací jednotka ve vodorovné pozici nebo vertikální uspořádání, kde je uzavírací jednotka uložena svisle. [8]



Obr. 13. Uspořádání vícekomponentních vstřikovacích strojů. [8]

Pro otočný stůl

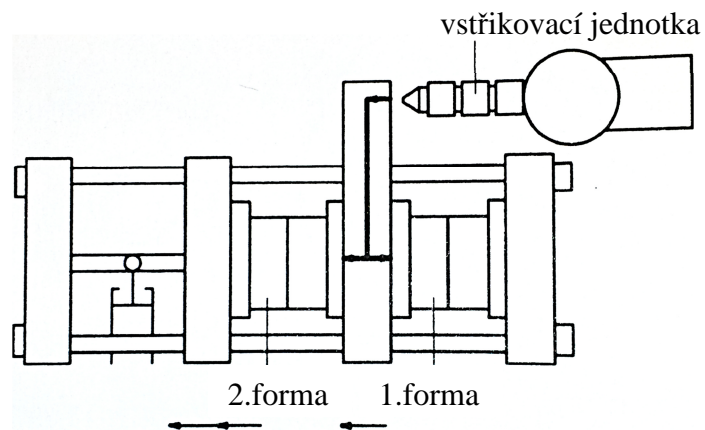
Namísto několika vstřikovacích strojů je použito několik vstřikovacích forem. V tomto případě je využít vstřikovací stroj s otočným stolem pro několik uzavíracích jednotek (viz. Obr. 14) nebo stroj s rotační vstřikovací jednotkou. Tato konstrukční řešení se zavádějí při vstřikování výrobků s dlouhou dobou chlazení nebo ohřívání, nejčastěji v gumárenském průmyslu nebo se zavádí z ekonomických důvodů. [8]



Obr. 14. Vstřikovací stroj s otočným stolem. [8]

Pro tandemové vstřikovací stroje

Speciální konstrukční řešení mají tandemové vstřikovací stroje, kde je vstřikovací jednotka postavena mimo hlavní osu vstřikovacího stroje. Uzavírací jednotka je rozdělena na dvě sekce, kde v obou sekcích je upevněna buď zcela, nebo téměř identická vstřikovací forma. Vstřikovací jednotka přivádí taveninu do vstřikovacího kanálu uvnitř prostřední desky, odkud proudí do obou forem. Výhodou je, že na jednom stroji se vstřikuje do dvou forem a odpadají problémy s vyvážením vtoku, pokud jsou formy identické. [8]



Obr. 15. Tandemový vstřikovací stroj. [8]

5 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma je svým způsobem stavebnice, která je ve výsledku téměř vždy originálem a která musí zajišťovat následující základní předpoklady [8]:

- distribuce taveniny,
- dutina představuje finální výrobek,
- chlazení taveniny (u reaktoplastů a kaučuků ohřev),
- odformování vystříknuté součásti.

Formy se rozdělují dle následujících charakteristických znaků [8]:

- zpracovávaný materiál (formy pro termoplasty, reaktoplasty a elastomery),
- základní rozvržení formy,
- vyhazovací systém,
- vtokový systém,
- počet dutin,
- počet dělících rovin,
- velikost formy.

5.1 Základní rozvržení vstřikovací formy

Vstřikovací forma se dělí na tři základní části a to na [8]:

- vstřikovací část,
- vyhazovací část,
- vyhazovací systém.

5.1.1 Standardní koncepce formy

Nejjednodušší variantou vstřikovací formy je standardní konstrukční řešení, které obsahuje dvě kotevní desky, vyhazovací systém, vtokový kanál a dutinu. Veškerý pohyb je vykonáván pouze v jednom směru. Forma je vhodná pro výstřiky bez podkosů. [8]

5.1.2 Forma se stírací deskou

Koncepce formy se stírací deskou je velmi podobná standardnímu řešení. V podstatě se používá hlavně na válcovité výstřiky bez podkosů. Vyhazování výstřiků je rozdílné v tom, že místo vyhazovacích kolíků se používá stírací deska, která má mnohem větší styčnou plochu pro vyhazování, snižuje se tak riziko vzniku deformací ve výstřiku. [8]

5.1.3 Forma s posuvnými členy

Jedná se o formu s jednou hlavní dělicí rovinou a několika vedlejšími dělicími rovinami, kde jsou využity posuvové kostky vedené šikmými čepy nebo lomenými kolíky pro výstřiky s podkosy nebo pro elementy (žebra, kapsy, slepé díry, závity atd.), které by nešly ve standardní koncepci formy odformovat. Posuvné části mohou být také ovládány hydraulicky po otevření formy. [8]

5.1.4 Forma s dělenou dutinou

Toto konstrukční řešení se využívá, pokud je nutné odformovat výstřik, který má již značné množství elementů neodformovatelných klasickým způsobem. Odformování se tak provádí odsunutím celých bloků formy, dojde tak k uvolnění veškerých podkosů a jiných obtížně odformovatelných elementů. Posun rozdělených bloků je vyvozen buď vyhazovací tyčí, kloubovým táhlem nebo hydraulickým válcem. [8]

5.1.5 Forma s vytáčecím mechanismem

Formy s vytáčecím mechanismem se uplatňují při výrobě vnitřních i vnějších nepřerušovaných závitů vysoké přesnosti. Odformování výstřiků se provádí souběžným otevíráním formy a otáčením závitových elementů. Stoupání závitu je dodrženo díky předlohové matici a šroubu. Celý otáčivý mechanismus s centrálním a satelitními ozubenými koly je uložen ve formě. Otáčení je vyvozeno buď hydraulicky, pneumaticky nebo mechanicky při otevírání formy (ozubeným hřebenem). [8]

5.1.6 Forma se třemi deskami (tzv. třídeskový systém formy)

Třídeskový systém se využívá, pokud je nutné oddělit výstřik od vtoku v průběhu otevírání formy. Snadno lze třídesková forma poznat díky dvěma dělicími rovinám, kdy se nejdříve otevře jedna část a pak druhá. Během prvního otevření formy se oddělí vtoky od výstřiku a vtokový kužel od vtokové vložky a to díky podkosům a přidržovači, který se při otevírání druhé dělicí roviny souběžně zasouvá a stírá již ničím neudržovaný vtok. V dalším kroku dojde k vysunutí vyhazovačů, které odformují výstřik. [8]

5.2 Vtokový systém

Vtokový systém ovlivňuje jak kvalitativní, tak ekonomické aspekty v několika ohledech [8]:

- kvalita výstřiku,
- ústí vtoku + studené spoje,
- délka vtokových kanálů a průřezů,
- využití materiálu,
- tlakový pokles,
- odformování.

Při volbě vtokového systému je třeba vycházet ze skutečnosti, že se tavenina vstříkuje velkou rychlostí do relativně studené formy. Průtokem taveniny studeným vtokovým systémem viskozita na povrchu taveniny prudce roste, což vyžaduje vysoké vstříkovací tlaky. [2]

Rozlišují se dva základní druhy vtokových systému – studený vtokový systém a horký vtokový systém.

5.2.1 Studený vtokový systém

Průtokem studenými vtokovými kanály tavenina rychle tuhne, vytváří se ztuhlá povrchová vrstva, která tvoří tepelnou izolační vrstvu. V momentě, kdy dojde k zaplnění dutiny, odpor prudce vzroste a průtok poklesne, k dalšímu doplňování může dojít jen díky elastickému stlačení vstříkovaného materiálu. [2]

Výhodou studeného vtokového systému je nižší výrobní cena, nízké udržovací náklady, rychlejší náběh formy. [5]

Nevýhodou studeného vtokového systému je vyšší citlivost na vyvážení kanálů, vyšší množství odpadu, větší opotřebení formy. [5]

Koncepce studeného vtokového systému se skládá z vtokového kanálu, rozvodných kanálů a vtokového ústí.

Vtokový kanál

Nejobvyklejší je kuželový vtokový kanál, který je vytvořený uvnitř vtokové vložky. Spojuje trysku vstříkovací jednotky, která dosedá na vtokovou vložku s rozvodnými kanály, po-

kud ovšem materiál neproudí z vtokového kanálu přímo do vtokového ústí (u jednodušších forem např. pro velkoobjemové součásti). [2]

Rozvodný kanál

Podstatou rozvodných kanálů je distribuce taveniny ve formě do jednotlivých dutin, jsou tak prostředníkem mezi vtokovým kanálem a vtokovým ústím. Délka a průřez rozvodných kanálů je rozhodující pro rovnoměrné naplnění dutin ve stejném momentu. Určení rozměrů také souvisí s řadou dalších faktorů, jež jsou [2]:

- charakter výstřiku, resp. jeho tloušťka stěn kvůli dotlaku,
- vstřikovaný materiál (reologické vlastnosti jako viskozita, tepelná vodivost apod.),
- parametry vstřikovacího stroje (tlak, rychlost apod.),

přičemž by měl mít rozvodný kanál co nejmenší povrch při co největším objemu kvůli tepelným ztrátám a co nejmenší velikost kvůli redukci odpadu. [2]

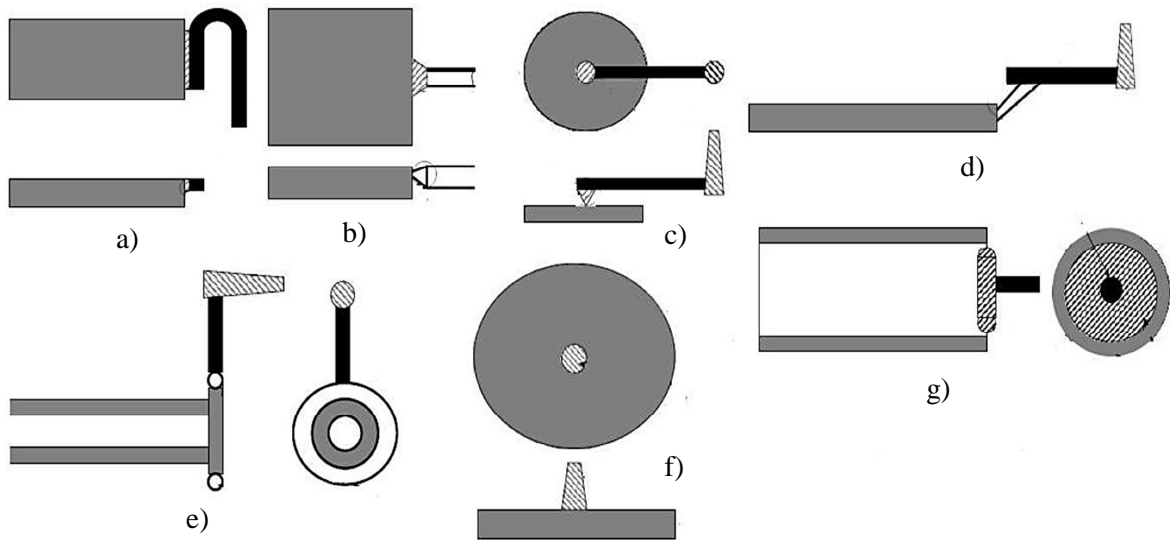
Vtokové ústí

Vtokové ústí se vytváří tak, že se zúží rozváděcí kanál, v případech, kdy se vstřikují velkoobjemové díly, se nechává plný nezúžený vtok. Díky zúžení vtokového ústí je zvýšena teplota taveniny, která průchodem rozváděcích kanálů klesá, dochází tak k omezení strhávání již zatuhlých vrstev a vzniku povrchových vad. [2]

Vtokové ústí by mělo být [5]:

- umístěno tak, aby mohl vzduch z dutiny uniknout nejlépe dělící rovinou, vyhazovacími elementy nebo odvzdušňovacími kanály,
- umístěno tak, aby materiál po vstupu do dutiny tekl do překážky a nevznikl efekt zvaný jetting,
- umístěno tak, aby nenarušoval esteticky či mechanicky pohledové a namáhané stěny,
- umístěno pokud možno na stěnách s co největší tloušťkou, odkud tok pokračuje k tenčím stěnám,
- umístěno tak, aby nevznikaly studené spoje.

Základní vtoková ústí:



Obr. 16. Typy vtokových ústí, a) filmový vtok, b) vějířovitý vtok, c) bodový vtok, d) tunelový vtok, e) prstencový vtok, f) plný kuželový vtok, g) membránový vtok. [5]

5.2.2 Horký vtokový systém – izolované vtokové soustavy

Pracují na principu vlastní termoplastické izolace v okrajových vrstvách vtokových kanálů, nebo předkomůrky. U tohoto systému nemají trysky vlastní vytápění. Teplota je udržována buď větší vrstvou taveniny, jež má vlastní tepelně izolační vlastnosti, nebo je ohřívána nepřímo. Izolované vtokové soustavy jsou použitelné jen pro krátké vstřikovací cykly, nepoužívají se pro vzhledové nebo pevnostně namáhané výrobky z důvodu možného strhávání zatuhlých zbytků do proudu taveniny. [2]

5.2.3 Horký vtokový systém – vyhřívané vtokové soustavy (VVS)

Technologie vstřikování s vyhřívanou vtokovou soustavou spočívá v tom, že po naplnění dutiny formy zůstává polymer po celé délce VVS stále taveninou. Lze využít jen bodové vyústění malého průřezu, kde i přes malý průřez vtoku je možné částečně pracovat s dotlakem. V místě, kde se vstříkuje, je vhodné vytvořit čočkovité zahloubení, aby nevystupoval nepatrný vtokový zbytek. Horký vtokový systém má řadu výhod oproti studeným vtokovým systémům [2], [8]:

- v rozvodných kanálech nezůstává nevyužitý materiál,
- nejsou potřeba žádné dokončovací operace na výstřiku,
- u velmi malých součástí je téměř nutností využívat horkých vtokových systémů, jinak by bylo vstřikování neekonomické,

- pro některé geometricky složitější součásti je horký vtokový systém nutností.

Nevýhodou horkých vtokových systémů jsou [1]:

- vyšší pořizovací a provozní náklady,
- vyšší nároky na manipulaci a obsluhu + řízení,
- možné problémy s chlazením výstřiku na straně vyhřívané soustavy.

Nejvíce sofistikovanou částí jsou vyhřívané trysky a rozvodné bloky.

Vyhřívané trysky

Konstrukce umožňuje propojení vstřikovacího stroje s dutinou formy a dokonalou tepelnou stabilizací. Výrazně také umožňuje zlepšit technologické podmínky vstřikování. [2]

Rozdělení trysek [2]:

nepřímo vyhřívaná tryska:

- dotápaná tryska s vlastním zdrojem tepla má miniaturní topné těleso zabudované do ocelového pouzdra, jehož špička zasahuje do vyústění vtoku. Vyžaduje rychlý pracovní cyklus.
- dotápaná tryska s rozvodným blokem využívá přenosu tepla z rozvodného bloku na trysku. Používá se pro vícenásobné formy.

přímo vyhřívaná tryska:

- tryska s vnějším topením, tavenina proudí vnitřním otvorem trysky, který je z vodivého materiálu. Topení je umístěno na vnější straně trysky.
- tryska s vnitřním topením, tavenina proudí kolem vnitřní vyhřívané vložky (torpéda), která je z vodivého materiálu.

Ústí trysek [2]:

- tryska s hrotem,
- tryska bez hrotu,
- tryska s více otvory.

Trysky s uzavírací jehlou [2]:

- tryska řízená pružinou,
- řízená pákou a vzduchovým válcem.

Vyhřívání rozvodných bloků

Slouží k rozvodu taveniny do tvarových dutin vícenásobných forem, nejčastěji v kombinaci s vyhříváními nebo izolovanými tryskami. Správná funkce je podmíněna rovnoměrným teplotním polem (vytápěním), v opačném případě negativně ovlivní tokové chování taveniny. [2]

Teplotně izolovaný ocelový rozvodný blok bývá uložen mezi upínací a tvarovou desku v pevné části formy, jeho tvar je konstrukčně přizpůsoben poloze rozváděcích kanálů. Topení je řešeno topnými tělesy zalitými v mědi, v topných patronách (dle výrobce). [2]

Rozvodný blok musí zajistit [1]:

- rychlý ohřev,
- dostatečné teploty pro optimální tok taveniny,
- eliminaci tepelných ztrát.

5.3 Temperační systém

Temperační systém slouží k regulaci a udržení konstantního teplotního pole formy, které je zpravidla vyšší než teplota v místnosti a nižší než vstřikovací teplota. Teplota formy se při vstřikování termoplastů zpravidla pohybuje od 30 do 120 °C. Ve zvláštních případech může být uvedený teplotní interval i širší. [9]

Správně navržený temperační systém umožňuje [9]:

- optimální dobu vstřikovacího cyklu a hospodárnost provozu,
- dosažení kvalitních výrobků při optimální struktuře (fyzikální vlastnosti, přesnost, vzhled).

Temperační systém dává předpoklady pro dobrou funkci formy. Na řešení temperačního systému má vliv více faktorů, z nichž je nutno uvést zejména [9]:

- druh vstřikovaného materiálu,
- velikost a tvar výstřiku, příp. dráhu toku a tloušťku stěn výstřiku,
- požadavky na jakost a přesnost výstřiku,
- druh a rozměry vtokového systému.

Teplotu vyhazování výstřiku z formy určuje hlavně teplota formy. Doba ochlazování formy závisí na tloušťce a druhu vstřikovaného materiálu. Teplota povrchu dutiny formy nebude konstantní. V okamžiku vstřiku teplota rychle stoupá ve styku s horkou taveninou,

pak klesá při odvádění tepla temperačním médiem. Na teplotní poměry bude mít vliv samotná hmotnost formy, případně poměr její hmotnosti a hmotnosti vstříknuté taveniny. [9]

5.3.1 Zásady řešení temperačních kanálů

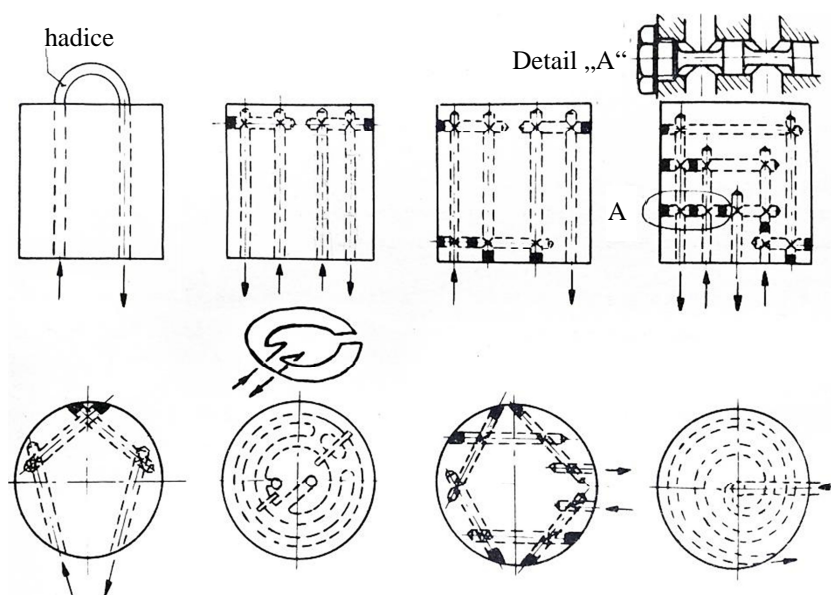
Průřez temperačních kanálů se volí zpravidla kruhový. Jejich průměr bývá nejčastěji v rozmezí 6 - 20 mm. Další zvětšování kanálu je neúčinné, protože intenzita tepelné výměny se již nezvětšuje a navíc se silně zvětšuje množství cirkulujícího média, aby se zachovaly příslušné přestupní koeficienty. [9]

Kanály se umísťují tak, aby médium přicházelo do nejteplejšího místa na formě a aby se teplotní rozdíl ve směru dráhy toku zmenšoval. Vzdálenost kanálu a líce formy je omezena přípustným kolísáním teploty. Přestup tepla v kanálech závisí na Reynoldsově čísle. Průtoková rychlost média v kanálech bývá v rozmezí 0,5 - 1 m.s⁻¹. [9]

Tvárník i tvárnice mají být udržovány na téže teplotě, proto systém kanálů musí být obdobný v obou částech formy nebo alespoň takový, aby bylo zajištěno rovnoměrné teplotní pole. [9]

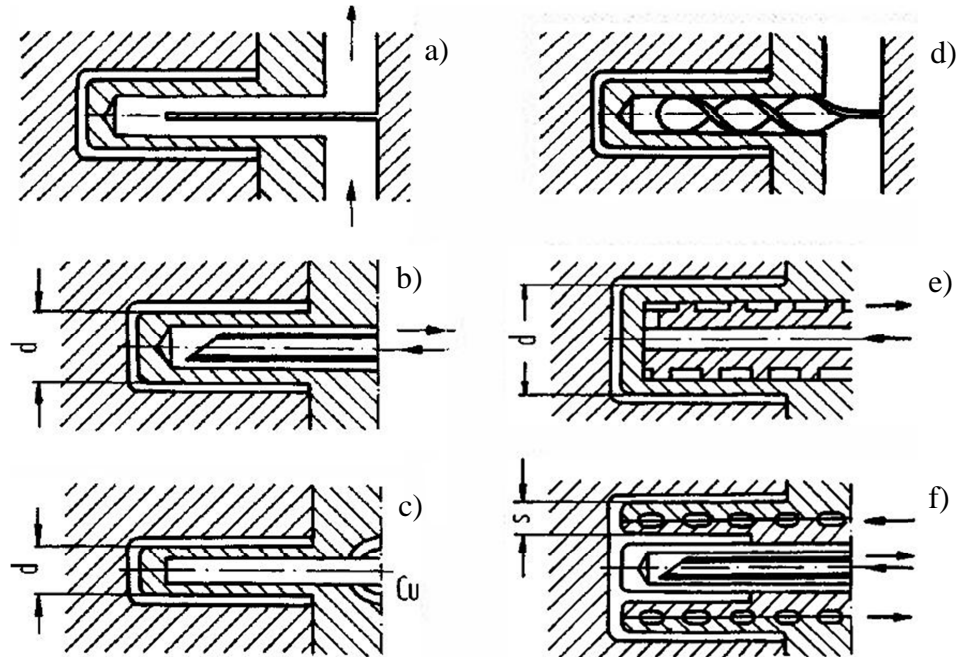
Délka kanálů má být krátká, aby teplotní rozdíly média na vstupu a výstupu byly malé. Tvar kanálu nemá zbytečně zvyšovat průtokové odpory. [9]

Temperační okruhy se zapojují zpravidla do sérií. Paralelní zapojení nezaručuje rovnoměrnost průtoku. Uspořádání kanálů lze propojit v desce nebo také mimo ni hadicí. Temperační kanály se mohou zhotovit vrtáním, frézováním nebo soustružením. [9]



Obr. 17. Uspořádání rozvodných kanálů v deskách. [2]

Tvárníky se temperují uspořádáním kanálů tak, aby se médium přivádělo k čelu tvárníků a kanály byly spolehlivě omývány médiem. Intenzita přestupu se zvyšuje vířením protékajícího média kolem vhodných překážek. [2]



Obr. 18. Chlazení tvárníků, a) přepážkou, b) trubkou, c) tepelně vodivou tyčí (Cu), d) pomocí spirály, e), f) kombinace. [2]

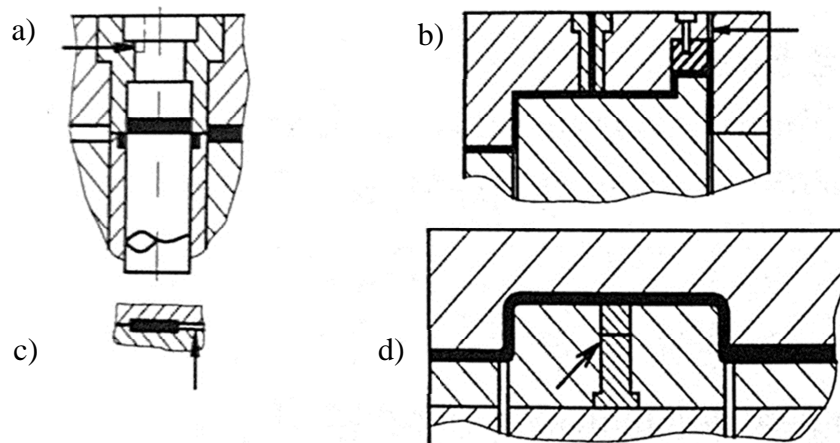
Volbu temperačního systému a řešení chladicích okruhů značně komplikují vyhazovací prvky. Také členité výrobky vyžadují často složité temperační kanály. Zejména tenké výstupky a dlouhá jádra se obtížně temperují. Často se používá vložek z vysoce vodivých kovů. Hadice pro temperační médium se k formě připojují přípojkami. Otvory se uzavírají zátkami. Jako temperační médium se nejčastěji používá voda. Pro teploty vyšší (až 300 °C) lze použít oleje. Výjimečně lze k chlazení použít také stlačeného vzduchu. Pro nízké teploty (-10 až -25 °C) se používají roztoky solí. [9]

5.4 Odvzdušnění forem

Volba místa pro odvzdušnění ve formě je někdy zřejmá z tvaru výstřiku, jindy je obtížně zjistitelná. Je třeba se řídit úvahou, jakým způsobem tavenina zaplní dutinu formy. Pokud je úvaha o umístění odvzdušnění nejasná, je úkolem konstruktéra, aby taková místa vytipoval a učinil ve formě některá opatření, aby se i při nesprávném předpokladu dalo odvzdušnění realizovat. Další postup je potom takový, že se místo pro odvzdušnění zjistí až při zkouškách formy. [2]

Odvzdušnění tvarové dutiny u vstřikovacích forem je velmi důležité, protože doba vstřiku je velmi krátká a mohlo by dojít k nedokonalému vyplnění tvarové dutiny taveninou plastu, k nebezpečnému zvýšení tlaku, k poklesu pevnosti v místech studených spojů nebo k tzv. diesel efektu, kdy může dojít až ke spálení materiálu. Proto je nutné zajistit intenzivní odvod vzduchu z tvarové dutiny formy, a to nejenom netěsnostmi v dělicí rovině, ale i konstrukcí odvzdušňovacích kanálků, které však nesmějí být příčinou vzniku otřepů na výrobku. Odvzdušnění má být provedeno v dělicí rovině na protilehlém místě vtoku. Na dostatečné odvzdušnění formy má vliv umístění vtoku, způsob zaformování výstřiku, umístění vyhazovačů, přítomnost tvarových vložek, apod. [9]

Jeho důležitost obvykle vyplyne až při zkoušení hotového nástroje, kdy odvzdušnění může být příčinou nekvalitního vzhledu výstřiku nebo jeho nízkých mechanických vlastností. Odvzdušnění lze někdy zhotovit snadno, jindy je však jeho vyřešení obtížné. Nezbytná znalost principů plnění formy, která ušetří pracovníkům mnoho starostí. [9]



Obr. 19. Příklady odvzdušnění vstřikovacích forem, a) odvzdušnění na jádře, b) odvzdušnění v tvárnici, c) odvzdušnění v dělicí rovině, d) odvzdušnění na tvarovém kolíku. [9]

5.5 Vyhazovací systém

Vstřikovací formy obsahují i mechanismy pro vyhazování výstřiků, protože se výrobky při ochlazování smršťují a zůstávají na tvarových částech formy. Nejčastějším způsobem jak odformovat výstřik je mechanickým způsobem, který je řešený pomocí vyhazovacích kolíků nebo pomocí stíracích desek, stíracích kroužků, apod. Možné jsou i jejich kombinace a v praxi se hojně využívají. Síla nutná k vyhazování se odvozuje a počítá od měrných tlaků,

které vznikají mezi výstřikem a formou a na pružnosti tvárnic a tvárníků a také na průběhu teplot, rozměrů výstřiku a na koeficientu tření mezi plochami. [16]

5.5.1 Mechanické vyhazování

Vyhazování výstřiků z formy je činnost, kdy se z dutiny nebo z tvárníku otevřené formy vysune nebo vytlačí zhotovený výstřik. K tomu slouží vyhazovací zařízení, které doplňuje formu a svou funkcí zajišťuje automatický výrobní cyklus: [16]

- dopředný pohyb, vlastní vyhazování,
- zpětný pohyb, návrat vyhazovacího systému do původní polohy.

Základní podmínkou dobrého vyhazování výstřiků je hladký povrch a úkosy stěn ve směru vyhazování. Úkosy nemají být menší než $0^{\circ}30'$. Vyhazovací systém musí výstřik vysouvat rovnoměrně, aby nedošlo k jeho přičení, a tím ke vzniku trvalých deformací či poškození. Vyhazovače mohou být využity k vytváření funkční dutiny nebo jako část tvárníku. U hlubokých tvarů je třeba počítat s jejich zavzdušněním. [9]

5.5.2 Pneumatické vyhazování

Pneumatické vyhazování je vhodné pro vyhazování tenkostěnných výstřiků větších rozměrů ve tvaru nádob, které potřebují při vyhazování zavzdušnění, aby se nedeformovaly. Pneumatické vyhazování zavádí stlačený vzduch mezi výstřik a líc formy. Tak je umožněno rovnoměrné oddělení výstřiku od tvárníku, vyloučí se napětí a nevzniknou stopy po vyhazovačích. Vzduch se do dutiny vstřikovací formy přivádí přes ventil talířový, jehlový nebo různé kolíky. Ventil se otvírá tlakem vzduchu a zavírá pružinou. [9]

5.5.3 Hydraulické vyhazování

Bývá součástí vstřikovacího stroje a používá se především k ovládní mechanických vyhazovačů, které nahrazuje pružnějším pohybem a velkou flexibilitou. Více se používají k ovládní bočních posuvných čelistí. Používané hydraulické vyhazovače se vyrábějí většinou jako uzavřená hydraulická jednotka, která se zabuduje přímo do připraveného místa ve formě. S jeho pomocí se ovládají vyhazovací kolíky stírací desky apod. [9]

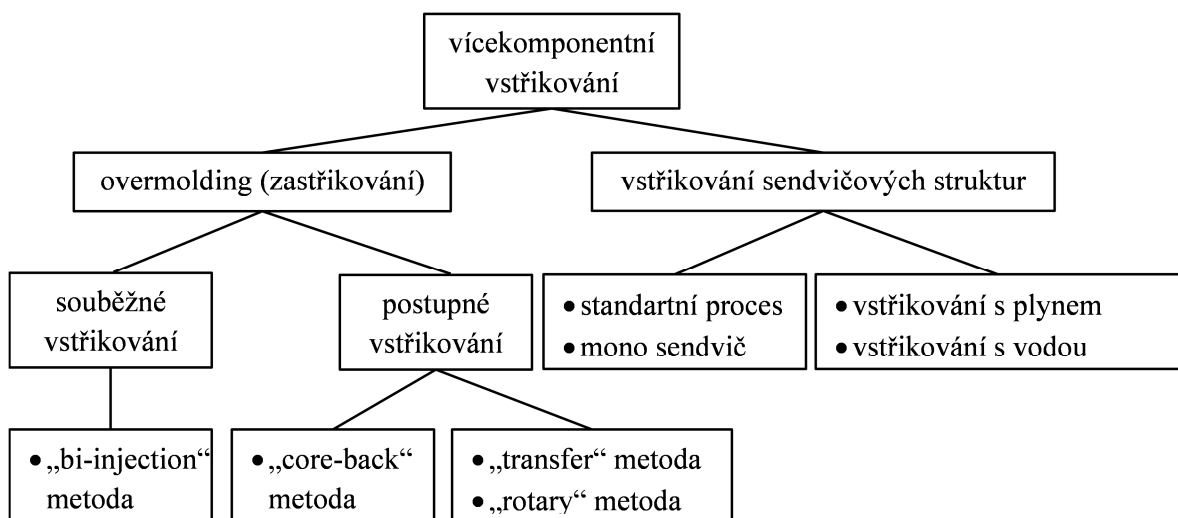
6 SPECIÁLNÍ METODY VSTŘIKOVÁNÍ

Udržet se v dnešní době ve velmi konkurenční obchodní sféře znamená pro výrobce nejen stále vyvíjet nové inovativní produkty a přijímat pracovní sílu, ale také stále vyvíjet nové technologie, které musí zajistit snížení ceny produktu, zvýšení jakosti a zefektivnění výroby. [8]

Kvalita a technologie výroby jde ruku v ruce s kvalitou produkce podniku a celková efektivnost může ovlivnit růst či budoucí existenci podnikových sekcí nebo dokonce celého výrobního sektoru. Díky tomuto vývoji, byla speciálním technologiím přiřazena enormní důležitost již od 90. let minulého století. [8]

6.1 Vícekomponentní vstřikování (Multicomponent Injection Molding)

Vícekomponentní vstřikování je charakteristické tím, že se výrobky mohou skládat ze dvou či více odlišných polymerů nebo mohou být rozděleny barevností, mechanickými vlastnostmi či jinými faktory. [8]



Obr. 20. Klasifikace vícekomponentního vstřikování. [8]

6.1.1 Overmolding (Zastřikování)

Materiál je do dutiny formy přiváděn přes dva nebo více oddělených vtokových systémů. V závislosti na času vstřikování materiálů můžeme rozlišovat mezi paralelním (souběžným) a postupným (sekvenčním) procesem (viz. Obr. 20). [8]

a) Souběžné vstřikování

Pokud jde o vstřikovací formu, tak metoda „bi-injection“ je nejjednodušší variantou vícekomponentního vstřikování. Materiály jsou souběžně vstříknuty do dutiny přes oddělené vtokové systémy v jednom kroku. Místo kde dojde ke spojení materiálu lze jen těžko předpovědět, tím pádem se souběžné vstřikování využívá jen zřídka. [8]

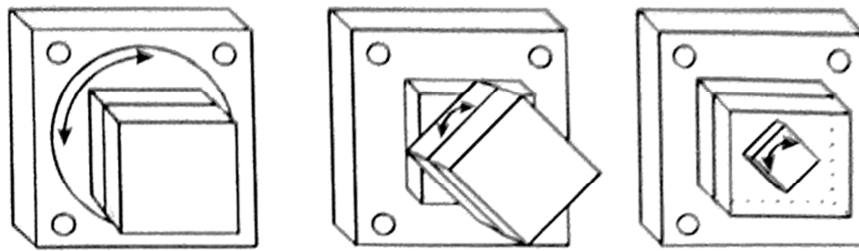
b) Postupné vstřikování

Materiály jsou postupně vstříknuty jeden po druhém. V tomto procesu se vstříkne preform v prvním kroku, který je zastříknut druhým materiálem v kroku druhém. Základním charakteristickým znakem je přesné vymezení rozhraní materiálového styku, například odlišná barevnost či mechanická vlastnost. Výrobky zhotovené tímto způsobem mohou být vystříknuty na jednom stroji jako preform a na druhém vstřikovacím stroji s jednou plastikační jednotkou následně dokončeny (preform zastříklý druhým materiálem). Optimální je však využití dvou a více plastikačních jednotek pro využití „core-back“ metody či „transfer“ a „rotary“ metody (viz. Obr. 20). [8]

Metoda „transfer“ – Charakteristickým prvkem metody „transfer“ a „rotary“ je, že preform je buď kompletně nebo jen částečně odformován při krátkém otevření formy a poté přesunut do jiné, větší dutiny. U techniky transfer je přesun realizován nejčastěji přímočarým pohybem - například robotickým systémem. [8]

Metoda „rotary“ – Tento způsob je nejvíce využívanou metodou „Overmolding“ (zastřikování). Nejčastěji využívanou technikou je rotační stůl nebo také rotující mechanismus ve formě, často se využívá rotačně mechanická vložka (indexová deska) přímo ve formě (viz. Obr. 21). [8]

Všechny výše uvedené techniky mají společné to, že v každém cyklu je zároveň jeden preform vystříknut a jeden zastříknut v hotovou součást. Vždy po otevření formy jsou zastříknuté součásti vyjmuty a preformy přesunuty do větší dutiny rotačním pohybem. Oproti technice transfer nejsou výstřiky odformovány kompletně. Po tom, co se forma uzavře, může začít další vstřikovací fáze. [8]

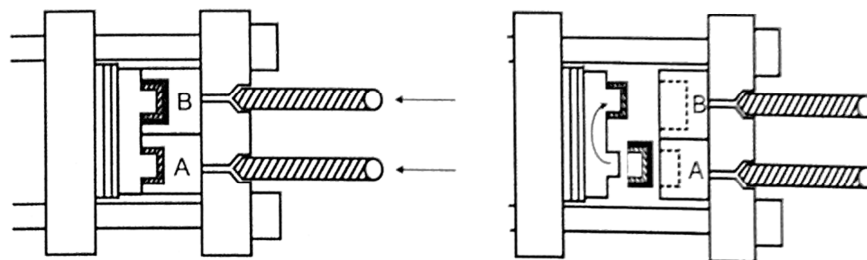


rotační stůl ve vstřikovací
cím stroji

rotační mechanismus ve
vstřikovací formě

rotačně mechanická vložka
(indexová deska) ve formě

Obr. 21. Varianty řešení rotační techniky. [8]

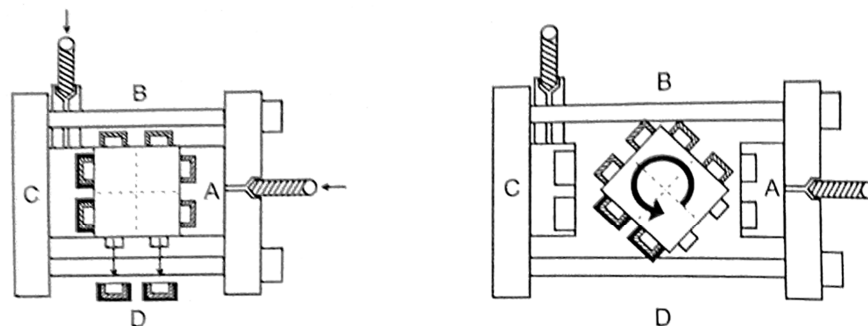


vstřikování preformu v dutině A
zastříknutí preformu v dutině B

přesun preformu z dutiny A do dutiny
B pomocí otočného stolu
odformování zastříknuté součásti

Obr. 22. Funkční princip rotační techniky (otáčecí stůl). [8]

Metoda horizontal rotary – Mimo výše zmíněné vertikální „rotary“ metody, existuje také horizontální řešení. Forma je konstruovaná s dvěma rovnoběžnými dělicími rovinami a s dutinami pro preform a zastříknutou součást. Preform je přesouván rotačně, pomocí segmentu uloženým ve středu, kolem vlastní svislé osy. Prostřední segment může být v podobě desky, kostky nebo může být řešen jako konstrukce otáčejících se segmentů. V závislosti na tvaru výrobku a středového segmentu jsou pootočený o 90° nebo 180°. Na Obr. 23 je znázorněný princip otáčející se kostky o 90°. [8]



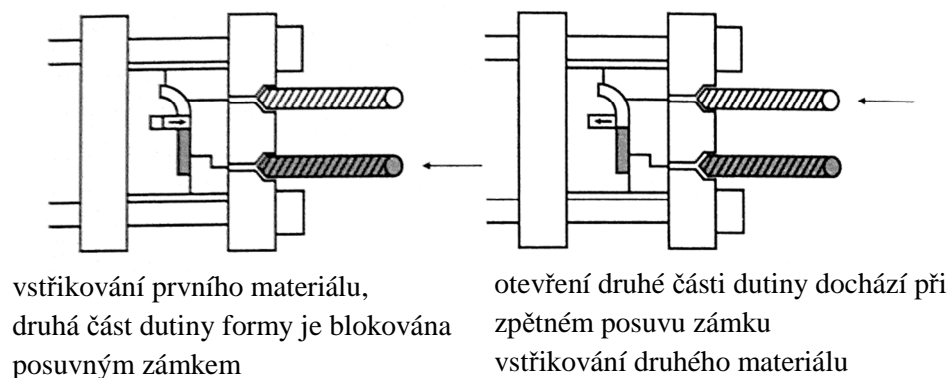
vstřikování preformu v pozici A
zastříknutí preformu v pozici C
odformování zastříknuté součásti v pozici D

otáčení kostky o 90 °

Obr. 23. Funkční princip otáčející se kostky o 90 °. [8]

Metoda core-back – Na rozdíl od posuvného a otáčejícího systému, forma zůstává u core-back způsobu uzavřená v průběhu celého cyklu (viz.

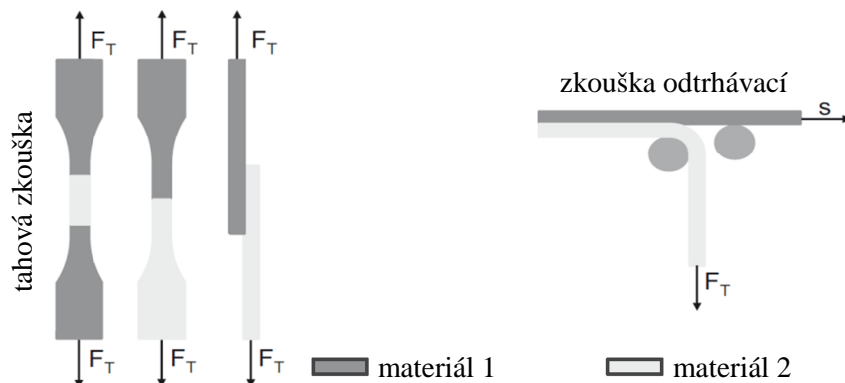
Obr. 24). Po vstříknutí prvního materiálu se posuvné šoupátko (zámek) vysune dozadu a tím otevře dutinu pro druhý materiál. Tato technika se využívá jen tehdy, kdy může být dutina pro druhý materiál otevřena a zavřena pouhým osovým posuvem insertů nebo posuvníků. Mimoto, výroba komplikovanějších součástí je limitována, jelikož preformy nejsou odformovány kompletně, ale jen částečně. Další nevýhodou je postupné vstřikování do formy, což má za následek poměrně dlouhé výrobní časy. [8]



Obr. 24. Princip techniky core-back. [8]

Kritickým bodem pro všechny výše jmenované techniky vstřikování je soudržnost v místě styku materiálů. Právě určování pevnosti vazby mezi materiály je hlavním problémem při navrhování součástí pro vícekomponentní vstřikování. Díky faktorům, které ovlivňují soudržnost materiálů (difúzní mechanismy, parametry procesu vstřikování, geometrie součásti, rozvrhnutí formy), je tedy v praxi velmi obtížné určit výslednou pevnost vazby. Pro přibližné zjištění se využívá tahová zkouška a odtrhávací zkouška (viz. Obr. 25). [8]

Pro zvýšení pevnosti vazeb se využívají pozitivní spoje, kde je zaručeno alespoň mechanické spojení, pokud jsou materiály navzájem nesoudržné. [8]



Obr. 25. Testovací metody pevnosti vazeb. [8]

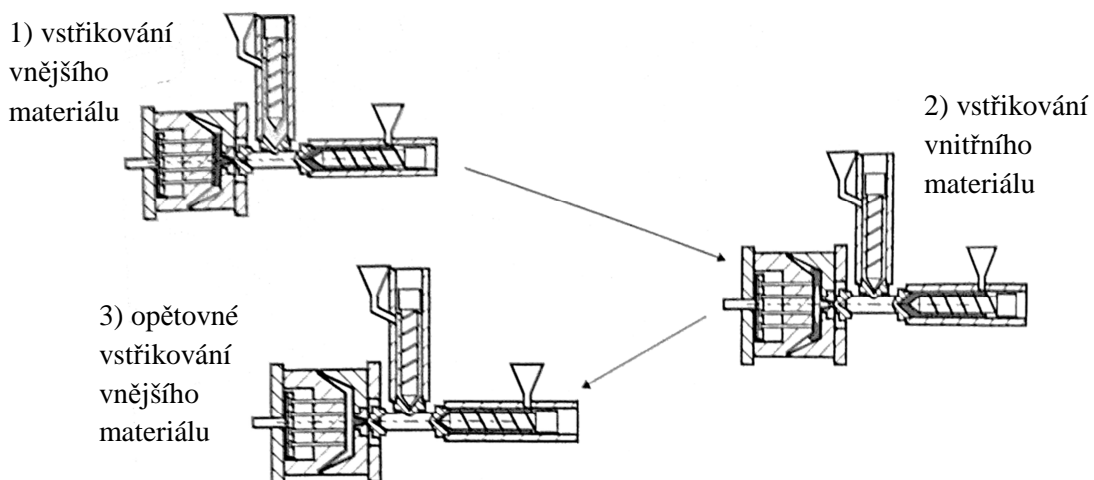
Typické využití metody overmolding [8]:

- světlometry automobilů (PS nebo PMMA, tři až čtyři barvy, stroje s uzavíracími silami až 10 000 kN),
- zubní kartáčky (PP a TPE, až 5 plastikačních jednotek),
- klávesnice pro kapesní kalkulačky, psací stroje apod. (až 5-ti barevné),
- hračky.

6.1.2 Vstřikování sendvičových struktur

Podstatou této techniky je vytvoření povrchu a jádra součásti z odlišných materiálů, kde je využito fontánového toku v dutině formy. Materiály jsou vstřikovány sekvenčně přes společné vtokové ústí.

Nejprve je do dutiny formy vstříknut materiál, který bude tvořit povrch součásti, poté je vstříknut materiál druhý, který je vstříknut, ještě když je jádro prvního materiálu v tekutém stavu. Ve většině případů dále následuje opakované vstříknutí prvního materiálu, aby byl materiál tvořící jádro zcela uzavřen. Celý proces je vyobrazen na *Obr. 26*.



Obr. 26. Vstřikovací cyklus sendvičových struktur. [8]

Vstřikovací stroje

Stroje pro standartní vstřikování sendvičových struktur mají 2 plastikační jednotky. Postupné vstřikování dvou tavenin je realizováno standartní vstřikovací hlavou, standartními deskami formy a souosou horkou uzavírací tryskou. [8]

Další možnost, jak vstříkovat sendviče, je využít společnou vstřikovací jednotku, kde jsou materiály vstříknuty jeden po druhém, ke stroji stačí přidat pomocná plastikační jednotka pro vnější materiál. Tento způsob je označován jako „Mono sandwich injection molding“.
[8]

Při vstřikování sendvičových struktur je třeba respektovat 3 následující podmínky. [8]

Procesní kompatibilita – dva odlišné materiály mohou být zpracovány, jen pokud se jejich procesní podmínky alespoň přibližně shodují.

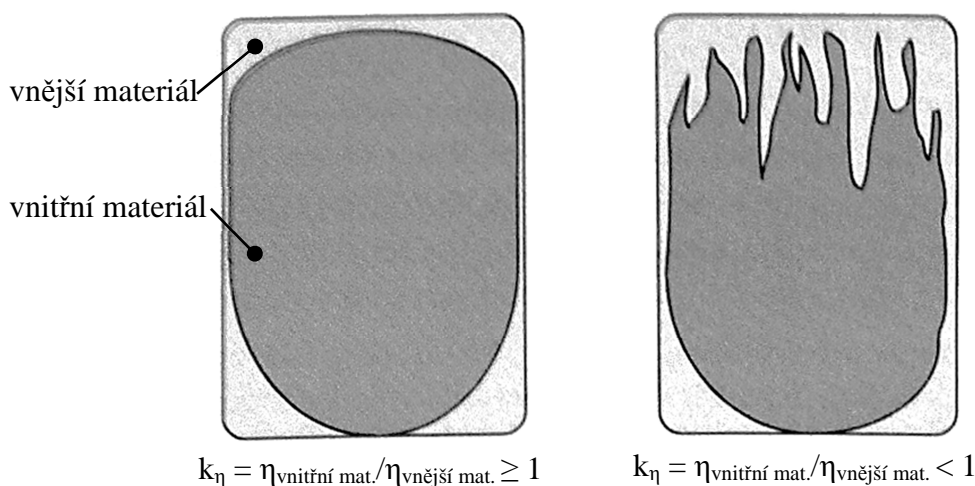
Poměr viskozity

$$k_{\eta} = \eta_{\text{vnitřní materiál}} / \eta_{\text{vnější materiál}} [-] \quad (2)$$

by měl být $k_{\eta} \geq 1$ a rozsah procesních teplot materiálů (tím pádem i formy) by se měl překrývat, jelikož obě taveniny využívají společné prostory ve stroji i formě.

Materiálové vlastnosti – Pokud se příliš liší fyzické vlastnosti sendvičových materiálů, mohou se objevit vysoká vnitřní napětí a stejně tak deformace při chladnutí či zatížení. Hodnoty modulu elasticity, koeficientu teplotní roztažnosti a smrštění by měly být podobné.

Adhezní vlastnosti – Stejně tak jako u metody overmolding je důležitá společná soudržnost, jinak hrozí delaminace vrstev materiálů. Zásadním problémem u sendvičových struktur je rovnoměrnost distribuce vnitřního materiálu, není totiž možné dosáhnout zcela optimálních výsledků.



Obr. 27. Distribuce vnějšího a vnitřního materiálu v závislosti na viskozitě. [8]

Typické využití sendvičových struktur [8]:

- skříně pro televizory (vnější materiál: PS, vnitřní materiál: zpěněný či recyklovaný PS),
- skříně pro počítače (vnější materiál: ABS, vnitřní materiál: plněný ABS kovovými vlákny),
- obaly pro jídla (vnější materiál: PP, vnitřní materiál: EVOH jako bariéra),
- preformy pro obaly na nápoje (vnější materiál: PET, vnitřní materiál: PA jako bariéra),
- interiérové části v automobilech (vnější materiál: TPU, vnitřní materiál: ABS),
- zahradní nábytek (vnější materiál: minerálně plněný PP, vnitřní materiál: zpěněný SAN).

6.2 Vstřikování dutých výrobků za podpory vody či plynu (FIT)

Zkratka pochází z anglického „Fluid Injection Technique“. Jedná se o speciální vstřikovací proces pro duté polymerní výrobky. Proces je podobný jako u vstřikování sendvičových struktur, s tím rozdílem, že místo materiálu pro jádro se vstříkne médium, inertní plyn (typicky dusík) nebo kapalina (voda). [8]

Výhody [8]:

- snížení výrobních nákladů díky zkrácení nutného času pro chlazení, finanční úspora na materiál, odlehčení výrobku, integrace celého procesu, snížení uzavíracích sil.
- Zvýšení kvality výrobků díky snížení množství propadlin, smrštění a deformací, vylepšení mechanických vlastností v závislosti na váze, zjednodušení konstrukce součástí a forem.

Nevýhody [8]:

- zvýšení dodatečných nákladů (investice, operace, údržba zařízení a příslušenství, licence atd.),
- zvýšení složitosti výrobního procesu a systému,
- zvýšení požadavků na obsluhující personál (zkušenosti a znalosti ohledně FIT).

Varianty možných řešení technologie FIT:

Metoda Short-shot – V podstatě se jedná o nejjednodušší možnou variantu FIT, dutina se plní jen z 50 % až 95 %. Médium (tekutina či plyn) je přesně vstříknutá v relativně krát-

kém čase do dutiny formy, ještě ne do zcela zatuhlého vnějšího materiálu. Výhodou této technologie je využití jednoduchých forem, procesních technologií a jen nutně potřebného materiálu na vytvoření výrobku s dutinou. [8]

Metoda Full-shot with overspill – Prvním krokem je úplné zaplnění dutiny taveninou, což zabezpečuje kvalitní povrch výrobku bez jakýchkoliv propadlin či pohledových změn. Hlavní změnou je další přídavná dutina ve formě, která slouží jako zásobník. Objemově tvoří 30 % až 50 % množství materiálu v dutině, který původně zaplnil celý vnitřní prostor dutiny pod vnější již zatuhlou stěnou a poté byl zaplněn díky tlaku média. Regulace zpětného tlaku taveniny je regulována šoupátkem nebo ventilem. Materiál, který nebyl využit, se dá znovu použít, ale musí se počítat s jeho částečnou degradací. [8]

Metoda Full-shot with push-back – Identická metoda s předchozí metodou, jen s touto změnou, že místo přídavné dutiny je plastikační jednotka. Tato metoda sice nepřináší znehodnocení materiálu, ale je velmi technologicky náročná a vyžaduje sofistikovanou kontrolu procesu na straně vstupu i výstupu. [8]

Metoda Core-pulling – Podstatou je variabilní objemová velikost dutiny, která je regulována posuvným jádrem. Po uzavření formy se jádro vysune do prostoru dutiny a setrvává tam tak dlouho, jak je dáno v procesních podmínkách pro vstřikovaný materiál. Následuje vstřikování média se současným zpětným posuvem jádra, tím se postupně vyplní celá plocha na stěnách. Nevýhodou této metody je vznik viditelného rozhraní mezi částmi, kde bylo umístěno jádro a kde byl volný prostor. [8]

Technologie GIT vs. Technologie WIT – Za posledních 20 let se vstřikování pomocí plynu (GIT - Gas Injection Technique) dostatečně vžilo natolik, aby se dalo hovořit o jeho výhodách, využitelnosti a limitujících faktorech. Jakožto největší omezující jev se považuje napětí na vnitřní straně taveniny, značný přenos tepla do taveniny a také omezení použitelnosti u větších průměrů součástí. [8]

Aby se předešlo problémům, které přináší technologie GIT, byla v Německu v roce 1998 vyvinuta technologie využívající vodu (WIT - Water Injection Technique). Tato technologie přináší v závislosti na geometrii a polymeru značné aplikační výhody [8]:

- zkrácení času na cyklus o 70 %,
- o málo nižší rozdíl v tloušťce stěny,
- přesnější soustřednost vnitřní a vnější stěny v rozvodných částech drah.

Obecně se dá říci, že tyto dvě technologie se částečně překrývají a WIT je spíše doplňkem, nežli náhradou technologie GIT. [8]

6.3 Vstřikování lehčených výrobků (FIM)

Zkratka pochází z anglického „Foam Injection Molding“. Jedná se o proces, kdy je možné vyrábět součásti s napěněným jádrem a plným, kompaktním povrchem. Před tím, než je součást vystříknuta, je přidána do materiálu pěnicí přísada, tato přísada může být také již obsažena v surovém materiálu nebo jen v části dávky. Nové technologie jsou schopny dávkovat pěnicí aditiva přímo v plastikační jednotce. Tato metoda je vhodná pro všechny druhy termoplastických materiálů, stejně tak pro termoplastické elastomery (TPE) a kaučuky nebo pro tekutý silikonový kaučuk (LSR). [8]

Výhody lehčených struktur [8]:

- při zachování stejných hmotností má výrobek s pěnovým jádrem vyšší specifickou tuhost odpovídající vyššímu momentu setrvačnosti v porovnání s výrobkem bez pěnové struktury (zvláště při ohybovém zatížení),
- díky absenci vzniku vnitřních pnutí nevznikají na součásti s pěnovou strukturou povrchové propadliny či tvarové deformace,
- při vstřikování nejsou tak vysoké uzavírací síly a není nutná kompresní a dotlaková fáze, při stejných procesních podmínkách může být dosaženo až 50% snížení tlaku,
- podstatnou výhodou je úspora materiálu, snížení hustoty a hmotnosti výstřiku.

Nevýhody lehčených struktur [8]:

- povrchová kvalita napěněných struktur je horší oproti klasickému vstřikování,
- redukce hmotnosti silně závisí na zachování mechanických vlastností.

Druhy pěnicích činitelů (nadouvadel) – Pěnicí činitelé mohou být založeny buď na chemickém, nebo fyzickém principu. [8]

Chemická činidla se přidávají do polymerních pelet v pevném skupenství, jsou aktivována zahřátím, čímž začnou produkovat buď dusík, oxid uhličitý nebo vodu. V tomto případě se jedná o zbytkové produkty, které mohou znamenat až 70 % složení z chemických nadouvadel. [8]

Fyzická činidla (oxid uhličitý, dusík, pentan, voda) jsou dávkována přímo do polymerní taveniny a neprodukují žádné zbytkové produkty.

Tento způsob je více náročný na určení optimální velikosti dávky do taveniny, což vyžaduje složitější řízení procesu. [8]

Princip lehčení – Stejný jako u konvenčního vstřikování s tím rozdílem, že při vstříknutí taveniny do dutiny formy s nadouvadlem, dojde k expanzi vlivem prudkého poklesu tlaku. Finální produkt má kompaktní povrchovou vrstvu a uvnitř jádro s napěněnou strukturou. [8]

MuCell® proces – Vyvinut ve Spojených státech Amerických, nadouvadlo je do taveniny přiváděno do druhé poloviny plastikační jednotky. Šnek je speciálně upraven pro homogenizaci nadouvadla a polymeru. [8]

ErgoCell® proces – Prezentován firmou DEMAG Ergotech GmbH (Schwaig, Německo). Nadouvadlo je dopravováno do speciálního členu umístěného mezi plastikační šnek a vstřikovací trysku v upraveném vstřikovacím stroji. Výhodou tohoto systému je axiální uspořádání jednotlivých komponentů. [8]

Optifoam™ proces – Vyvinut v německém AACHenu v institutu zpracování plastů (IKV). Nadouvadlo je dopravováno mezi plastikační šnek a vstřikovací trysku v upraveném vstřikovacím stroji. [8]

6.4 Technologie zastříkování etiket (IML)

Zkratka pochází z anglického „In-Mold Labeling“. Tato technologie umožňuje vložit do formy etiketu a tu následně zastříknout polymerem. Etikety jsou vyráběné v šaržích, dodávají se vakuově, elektrostaticky či jinak spojené a jsou oddělovány až při aplikaci do formy manipulačním automatizovaným systémem. Spojení mezi polymerem a etiketou je již nerozebíratelné. [8]

Tloušťka etiket se pohybuje od 40 μm do 100 μm ; jsou dostatečně tuhé ale zároveň natolik ohebné, že se dokáží natvarovat na stěnách dutiny formy. Etikety se vždy tvarují přesně na míru pro daný výrobek. [8]

6.5 Vstřikování dílů velmi malých rozměrů (Micro Injection Molding)

Aby byl výstřik klasifikován jako díl velmi malých rozměrů, musí splňovat následující podmínky [8]:

- součást má malé rozměry a nízkou hmotnost (méně než 1 gram),

- rozměrově je součást klasická, ale jsou v ní oblasti, které jsou velmi detailní, tedy v oblasti mikrometrů (kompaktní disky),
- rozměry součásti jsou v podstatě irelevantní, záleží jen na rozměrových odchylkách, jež mohou být v řádu mikrometrů.

Protože poměr jejich velkého obsahu ploch vztaženého na objem součásti je značný, je třeba vysoce účinného chlazení, to ale může znamenat omezení ve výrobě velmi jemných povrchových detailů díky krátkým tokům taveniny. V závislosti na těchto faktorech, je třeba dodržovat přesně předepsanou rychlost a tlak při vstřikování. Hlavní cíle při navrhování vstřikovacích strojů je navrhnout co nejmenší plastikační jednotky, aby nedocházelo k plýtvání materiálu a aby byl proces co nejlépe říditelný. [8]

6.6 Vstřikování kovu a keramiky (PIM)

Zkratka pochází z anglického „Powder Injection Molding“. Jak již anglický název napovídá, jedná se o vstřikování kovového nebo keramického prášku, kde polymer slouží jako nosič. Výhodou této technologie je možnost vyrábět velmi složité součásti, které by konvenčními metodami nešly vyrobit. [8]

Celý proces se dá rozdělit do čtyř kroků. Nejprve je termoplastický materiál, spolu s přísadami jako vosk, naplněn kovovým nebo keramickým práškem a to až do 70 % celkového objemu. Polymer zde souží jako nosič a pojivo pro kovové / keramické částice a zaručuje dobré reologické vlastnosti pro vstřikování. Směs polymeru a prášku se vstřikuje na konvenčních vstřikovacích strojích s příslušnými úpravami na plastikační jednotce, formě a řídicí jednotce. Výsledkem tohoto kroku je tzv. „zelená součást“. [8]

V dalším kroku je většina pojiva extrahována ze součásti, je zanecháno jen malé procento pro udržení tvaru pro následovné spékání. Pojivo je odejmuto buď tepelnou degradací, nořením v rozpouštědle nebo párou. Výsledkem tohoto kroku je tzv. „hnědá součást“. [8]

V konečném kroku se provádí spékání při teplotě kolem 1 100 až 1 300 °C pro kovové prášky a při 1 200 do 2 000 °C pro keramické prášky. Při spékání jsou částičky prášku spojeny a zbylé polymerní pojivo tepelně rozloženo. Výsledným produktem je kompaktní, nepórovitá součást, která díky smrštění má až o 20 % menší objem. Výsledný produkt má srovnatelné vlastnosti jako konvenčně vyrobená součást spékáním. [8]

7 ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI

V teoretické části byla popsána problematika vstřikování, rozdělení vstřikovaných materiálů se zaměřením na termoplastické materiály a termoplastické elastomery. Dále byly popsány zásady pro správné zaformování výrobků a jejich konstrukci a také technologické aspekty důležité pro součásti vyráběné vstřikováním. V dalších kapitolách jsou rozvedeny vstřikovací stroje a vstřikovací formy.

Samostatná kapitola je věnována speciálním metodám vstřikování a to zejména vícekomponentnímu vstřikování, technologii přestřikování a vstřikování sendvičových struktur. Dále pak vstřikování za podpory plynu či vody, vstřikování lehčených výrobků, zastřikování etiket, vstřikování velmi malých výrobků a vstřikování kovu a keramiky.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

8 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce je vytvoření designových návrhů výrobku a vymodelování dvoukomponentní vstřikovací formy pro zvolený designový návrh o kterém rozhodne firma IKEA Systems B.V. (dále jen IKEA). Dalším krokem je ověření funkčnosti vstřikovací formy tokovými analýzami.

Jednotlivé cíle pro vypracování praktické části diplomové práce jsou následující:

- vypracovat literární rešerši na dané téma
- vytvořit designové návrhy výrobku
- vytvořit 3D model zvoleného designového návrhu výrobku,
- vytvořit 3D modely dutin pro zvolený výrobek,
- vytvořit 3D sestavu vstřikovací formy pro zvolený výrobek a konkrétní vstřikovací stroj,
- vypracovat výkresy sestavy vstřikovací formy a vstřikovaného výrobku,
- ověřit proces vstřikování tokovými analýzami,
- popsat konstrukční řešení a tokové analýzy,
- vyhodnotit výsledky

9 POUŽITÉ PROGRAMY

Pro designové návrhy výrobku, vytváření modelů včetně vstřikovací formy a výkresů byl použit software firmy Dassault Systèmes, program Catia V5R18.

Pro další úpravy modelů a řešení problémů s formáty souborů byl použit software firmy Dassault Systèmes, program SolidWorks 2012.

Veškeré normalizované díly pro vstřikovací formu byly vkládány ze softwaru firmy HASCO, programu DAKO R1-2012.

Dále byl využit software firmy Autodesk, program Moldflow Insight 2012, ve kterém byly prováděny veškeré tokové analýzy.

9.1 Dassault Systèmes, Catia V5R18

Program Catia V5 od francouzské firmy Dassault Systèmes nabízí komplexní integraci celého vývoje produktu od 2D modelů a sestav, přes 3D zpracování a analýzy až po přípravu výroby. Catia V5 je řešena jako modulární systém, který pokrývá jednotlivé průmyslové a výrobní oblasti, kde si zákazník vybírá z tzv. balíků programů. [14]

9.2 Dassault Systèmes, SolidWorks 2011

Program SolidWorks 2011 je produktem dceřiné společnosti Dassault Systèmes, zahrnuje nástroje pro modelování, sestavy, výkresy plechové součásti svařované konstrukce a další. Jeho výhodou je intuitivní prostředí, umožňuje pracovat s mnoha datovými formáty a je specializován na objemové modelování a vytváření 2D výrobní dokumentace. [17]

9.3 HASCO, DAKO R1-2012

Program DAKO je přídatný modul k CAD softwarům, nabízí přehlednou databázi všech nabízených produktů německé společnosti HASCO. Výhodou tohoto programu je velmi rozsáhlá databáze normálí, které se využívají při konstrukci vstřikovacích forem.

9.4 Autodesk, Moldflow Insight 2012

Program Moldflow Insight 2012 je produktem americké společnosti Autodesk, jedná se o CAE software umožňující simulovat proces vstřikování. Pro tuto diplomovou práci byl využit modul pro dvoukomponentní výrobky, který je schopen vypočítat analýzu plnění, dotlaků a deformací.

10 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Tato kapitola se věnuje stávajícímu vstřikovanému výrobku, jeho designovým modifikacím a finálnímu výrobku.

10.1 Původní výrobek

Původní výrobek je stávající produkt firmy IKEA. Jedná se o stěrku na okno, která je doposud vyráběna firmou Spojené kartáčovny, a.s. (dále jen SPOKAR) a hlavním požadavkem je zvýšení atraktivity a funkčnosti produktu s využitím dvoukomponentního vstřikování.



Obr. 28. Původní výrobek firmy IKEA.

10.2 Modifikovaný výrobek

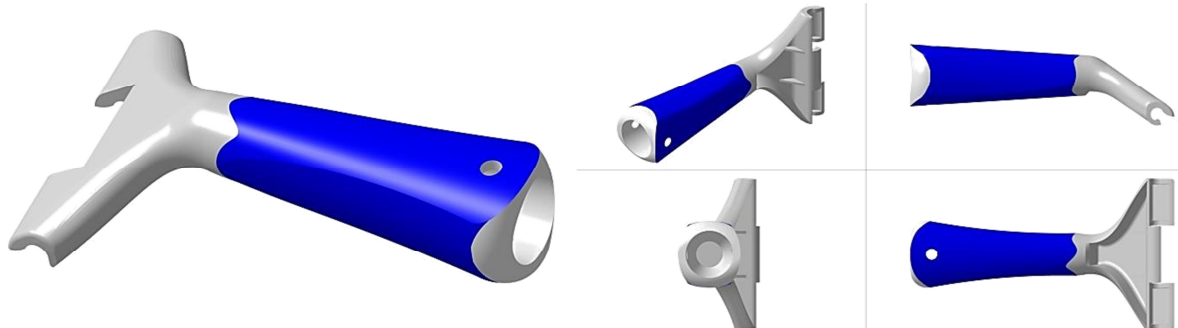
Předmětem změny designu výrobku byla rukojeť, kde bylo nutné dodržet některé její rozměry, konkrétně délku rukojeti, vnitřní průměr dutiny v rukojeti, která slouží pro vložení násadky a některé další prvky jako otvor pro zavěšení.

Pro širší možnost výběru vhodného designu bylo vytvořeno deset designových návrhů, kde bylo nutné zachovat rozměry hlavy stěrky.

Veškeré designové návrhy byly prováděny na rukojeti, která byla ergonomicky a tvarově přizpůsobena pro obě ruce tak, aby se příjemně držela a měla dostatečný grip. Všechny návrhy jsou funkčně stejné, ale mají odlišný estetický design. Materiály jsou barevně odlišeny – šedou barvou je znázorněn polypropylen a modrou termoplastický elastomer.

Designový návrh č. 1

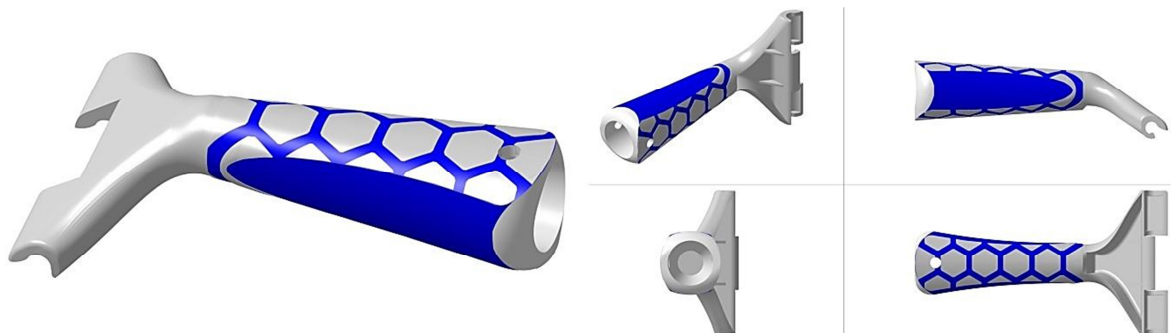
U tohoto návrhu je prioritní funkčnost, nižší výrobní náklady a maximální uzpůsobení pro technologii vstřikování.



Obr. 29. Designový návrh č. 1.

Designový návrh č. 2

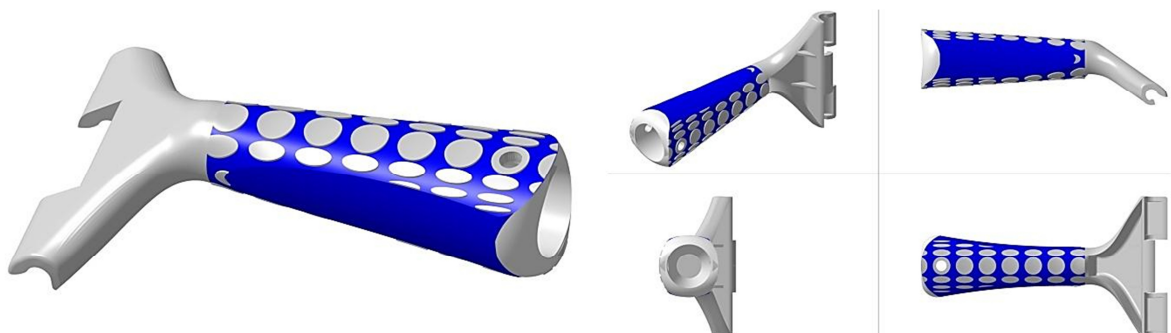
U tohoto návrhu byla použita šestihhranná struktura, tzv. honeycomb.



Obr. 30. Designový návrh č. 2.

Designový návrh č. 3

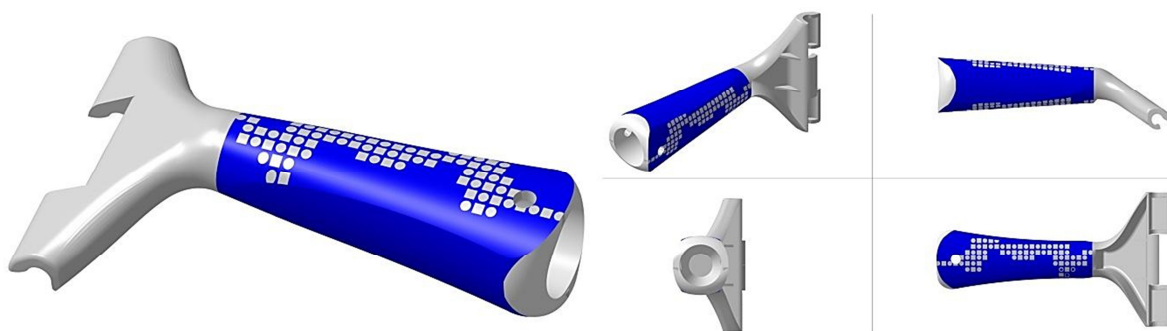
Třetí návrh je charakteristický svým kruhovým vzorem.



Obr. 31. Designový návrh č. 3.

Designový návrh č. 4

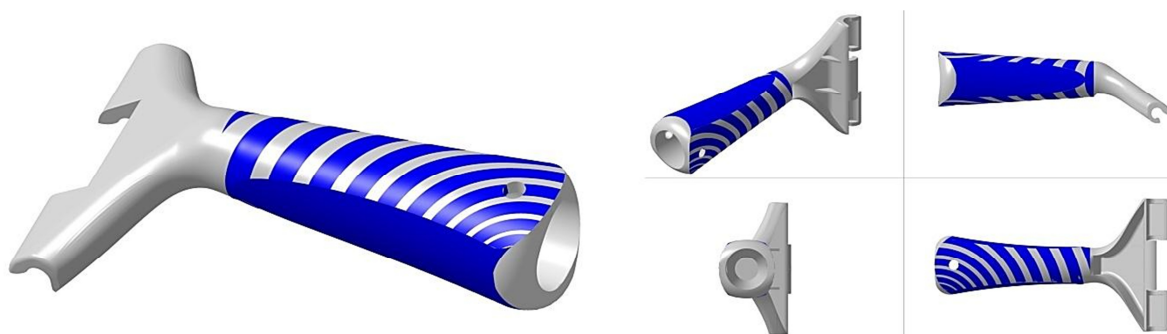
Návrh číslo 4 je výrobně náročnější, ve vzoru se střídají čtverce a kolečka.



Obr. 32. Designový návrh č. 4.

Designový návrh č. 5

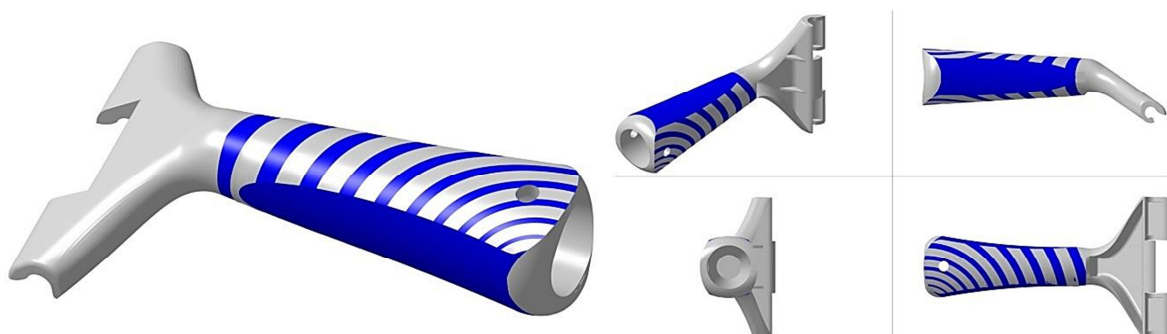
Návrhy číslo 4 a 5 jsou identické svým motivem soustředných kružnic.



Obr. 33. Designový návrh č. 5.

Designový návrh č. 6

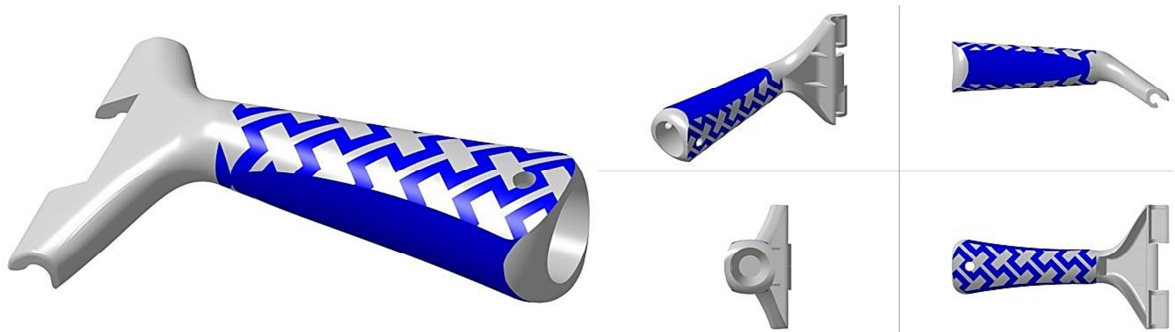
Tento návrh má opačné střídání prvního a druhého materiálu oproti návrhu číslo 5.



Obr. 34. Designový návrh č. 6.

Designový návrh č. 7

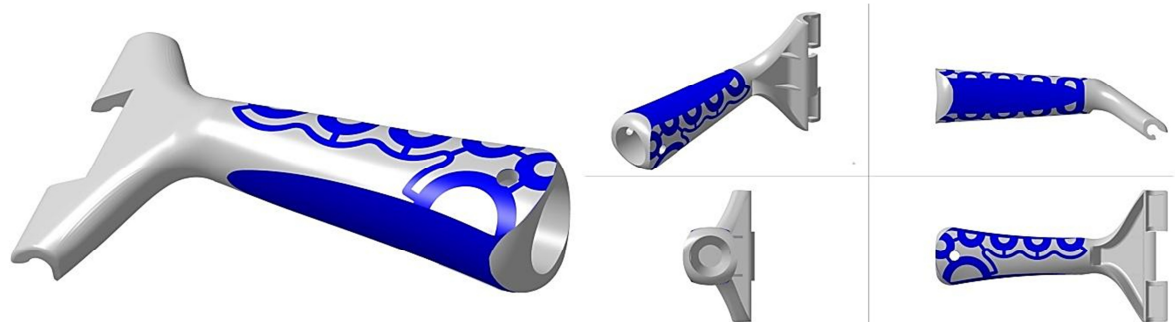
Tento vzor je oproti všem ostatním ostřeji řezaný.



Obr. 35. Designový návrh č. 7.

Designový návrh č. 8

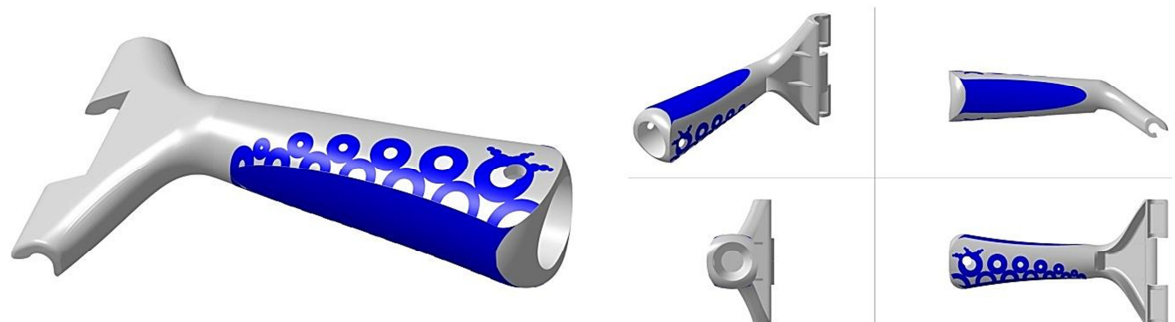
Designový návrh č. 8 byl zvolen firmou IKEA jako nejlepší, všechny další kroky jako vy-modelování, zaformování a konstrukce formy byly provedeny na základě tohoto návrhu. Ze samotného designu je patrné, že by mohly vzniknout potenciaální problémy při vstříkování, ověření této domněnky bylo provedeno tokovými analýzami.



Obr. 36. Designový návrh č. 8.

Designový návrh č. 9

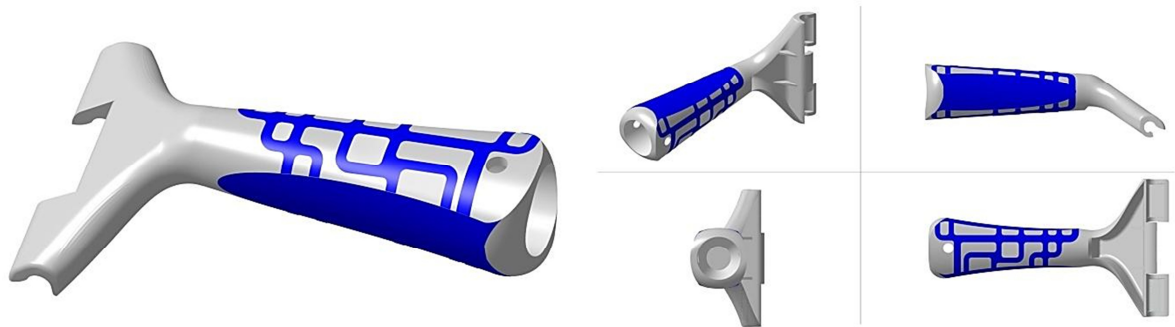
Tento návrh je výrazný svým jednostranným kruhovým motivem.



Obr. 37. Designový návrh č. 9.

Designový návrh č. 10

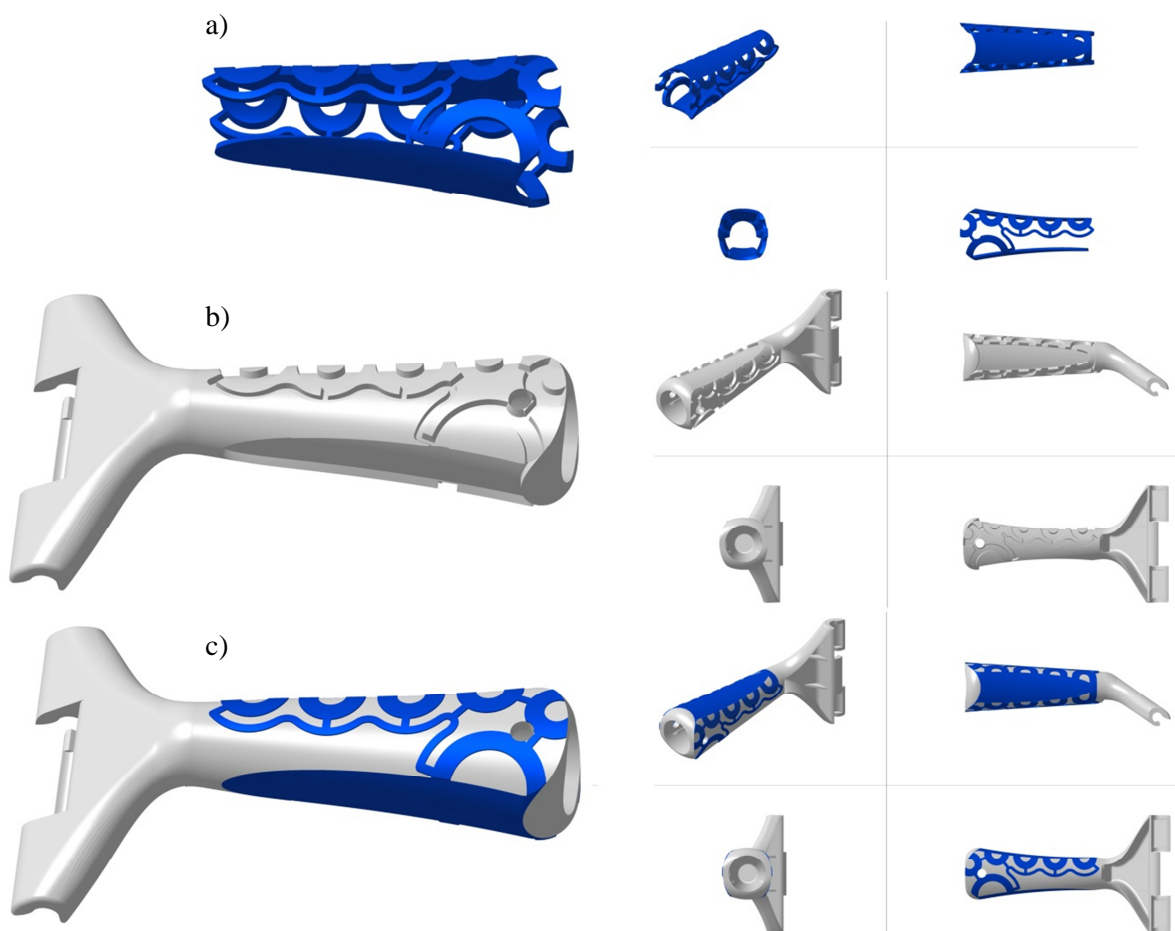
Desátý návrh má vzor vzájemně spletených křivek.



Obr. 38. Designový návrh č. 10.

10.3 Finální výrobek

Finální výrobek byl vymodelovaný do 3D a vhodně upraven tak, aby byl výrobitelný technologií vstřikování.



Obr. 39. Finální výrobek vymodelovaný ve 3D. a) TPE, b) PP, c) TPE+PP.

10.4 Materiály výrobku

Jako základní materiál, který se bude vstříkovat jako první, byl zvolen polypropylen (PP), který je vhodný pro tento typ výrobku. Výhodou je jeho zdravotní nezávadnost, vysoká tuhost, dobré tokové vlastnosti a především nízká cena a snadná dostupnost, tento typ materiálu byl také použit u původního výrobku. Polypropylen je také vhodný pro přestříkování termoplastickým elastomerem, s tímto materiálem má velmi dobrou soudržnost a nejsou nutné žádné povrchové úpravy.

Konkrétně byl zvolen PP typ EE065AI od firmy Borealis z databáze programu Moldflow Insight 2012.

Základní charakteristiky materiálu[19]:

- modul pružnosti v tahu $E = 1\,280$ [MPa],
- modul pružnosti ve smyku $G = 409$ [MPa],
- poissonova konstanta $\nu = 0,334$ [-],
- index toku taveniny $ITT = 11,5$ [g/10min],
- maximální rychlost smykové deformace $\dot{\gamma}_{\max} = 100\,000$ [1/s]
- smrštění ve směru toku = 1,318 [%],
- smrštění kolmo na tok = 1,615 [%],
- hustota taveniny $\rho_t = 0,7216$ [g/cm³],
- hustota tuhé fáze $\rho_s = 0,8943$ [g/cm³].

Doporučené zpracovatelské podmínky:

- teplota taveniny $T_{\text{tav.}} = 200\text{--}280$ [°C],
- teplota formy $T_{\text{forma}} = 20\text{--}60$ [°C],
- vstřikovací rychlost = co nejvyšší.

Jako druhý materiál, který slouží jako protiskluzová vrstva a zároveň má estetický význam, byl zvolen termoplastický elastomer (TPE). Značnou výhodou tohoto materiálu jsou vlastnosti totožné s elastomerními materiály a přitom odpadá nutnost vulkanizace a zesíťování. Materiál se zpracovává jako termoplastické materiály a je vhodný ke vstříkování.

Konkrétně byl zvolen TPE typ Hytel DYM250S BK472 od firmy DuPont z databáze programu Moldflow Insight 2012, díky jeho podobným hodnotám smrštění a zpracovatelským

teplotám jako má PP, pokud by tento předpoklad nebyl splněn, mohly by být materiály navzájem nesoudržné a při dodatečném smrštění by mohlo dojít k oddělování.

Základní charakteristiky materiálu [19]:

- modul pružnosti v tahu $E = 230$ [MPa],
- modul pružnosti ve smyku $G = 409$ [MPa],
- poissonova konstanta $\nu = 0,45$ [-],
- index toku taveniny $ITT = 11,5$ [g/10min],
- maximální rychlost smykové deformace $\dot{\gamma}_{\max} = 40\,000$ [1/s]
- smrštění ve směru toku = 1,242 [%],
- smrštění kolmo na tok = 1,614 [%],
- hustota taveniny $\rho_t = 0,9715$ [g/cm³],
- hustota tuhé fáze $\rho_s = 1,159$ [g/cm³].

Doporučené zpracovatelské podmínky:

- teplota taveniny $T_{\text{tav.}} = 235\text{--}260$ [°C],
- teplota formy $T_{\text{forma}} = 45\text{--}55$ [°C],
- vstřikovací rychlost = co nejvyšší.

11 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Vstřikovací forma byla navrhována pro stroj ENGEL ES 1350/330V/250 HL-2F, jež je vlastněn firmou SPOKAR. Jedná se o stroj určený pro dvoukomponentní vstřikování.



Obr. 40. ENGEL ES 1350/330V/250 HL-2F ve firmě Spojené kartáčovny, a.s.

Základní parametry vstřikovacího stroje [20]:

- | | |
|---|------------------|
| - uzavírací síla | 2 500 [kN] |
| - min/max. výška formy pro 2K vstřikování | 570/660 [mm] |
| - maximální vzdálenost mezi upínacími deskami | 1 200 [mm] |
| - rozměr upínacích desek | 900 x 1 050 [mm] |
| - hmotnost stroje (bez oleje) | 20 000 [kg] |

Tab. 2. Základní parametry vstřikovacích jednotek pro vstřikování PP a TPE. [20]

parametry vstřikovací jednotky pro	PP	TPE
maximální vstřikovací tlak [MPa]	148,1	125
maximální hmotnost vstřikované dávky [g]	662	183
maximální objem vstřikované dávky [cm ³]	735	201
průměr šneku [mm]	60	35
zdvih šneku [mm]	260	160

12 PŘEDBĚŽNÉ NÁVRHY VSTŘIKOVACÍ FORMY

Před samotnou konstrukcí vstřikovací formy bylo třeba porovnat jednotlivá možná konstrukční řešení a vybrat z nich optimální pro daný vstřikovací stroj a výrobek.

12.1 Technika vstřikování

Hlavním technologickým a konstrukčním problémem je způsob, jakým se budou oba materiály vstřikovat. S daným vstřikovacím strojem je na výběr z těchto možností:

a) Souběžné vstřikování [8]:

jedná se o nejjednodušší možnou variantu vícekomponentního vstřikování, nevýhodou je těžko předvídatelné místo, kde dojde ke spojení materiálů. Pro tento typ výrobku se z hlediska jakosti a konstrukce nehodí.

b) Postupné vstřikování [8]:

materiály jsou postupně vstříknuty jeden po druhém. V tomto procesu se vstříkne preform v prvním kroku, který je přestříknut druhým materiálem v kroku druhém.

- Transferová technika – jedná se o přesun preformu z menší do větší dutiny pomocí robotického systému.
- Rotační technika – preform je přesouván do větší dutiny pomocí rotačního stolu nebo mechanické vložky (indexové desky) přímo ve formě.
- Technika core-back – forma zůstává uzavřená v průběhu celého cyklu, po vstříknutí prvního materiálu se posuvné šoupátko (zámek) vysune dozadu a tím otevře dutinu pro druhý materiál.

Po diskuzi s vedoucím diplomové práce a vedoucím konstruktérem divize nástrojárny ve firmě SPOKAR, byla zvolena metoda postupného vstřikování s rotačním přesunem, tedy systém indexové desky.

K tomuto rozhodnutí vedly následující fakta:

- souběžné vstřikování se pro tento typ výrobku se z hlediska jakosti a konstrukce vůbec nehodí,
- technika core-back má nevýhodou v tom, že neumožňuje vyrábět komplikovanější součásti, aplikovat tento způsob na vytvořený výrobek není možné,
- transferová technika s postupným vstřikováním byla zamítnuta ve prospěch systému indexové desky, který je pro vstřikovací stroj ENGEL vhodnější a to zejména

z toho důvodu, že disponuje hydraulickým systémem pro ovládání ozubených hřebů nezbytných pro otáčení indexové desky.

12.2 Způsob vyhazování

Při navrhování vyhazovacího systému byly realizovatelné tato možná konstrukční řešení:

a) Mechanický způsob vyhazování:

klasické mechanické vyhazování nelze použít, prostor pro vyhazovací desky a táhlo ovládající vyhazovací desky je využito na indexový mechanismus.

b) Pneumatický způsob vyhazování:

stlačený vzduch by odformoval výrobky přes jádra opatřenými kanálky. Nevýhodou tohoto řešení je, že v jádrech je třeba rozvést temperační systém, tento návrh byl zamítnut.

c) Hydraulický způsob vyhazování:

hydraulický systém by pohyboval s vyhazovacími deskami, nejlepší umístění hydraulických válců by bylo pod a nad formou, tento systém byl zamítnut ve prospěch dalšího způsobu vyhazování, kterým je vyhazování pomocí robota.

Zvolený systém vyhazování:

d) Vyhazování pomocí robota:

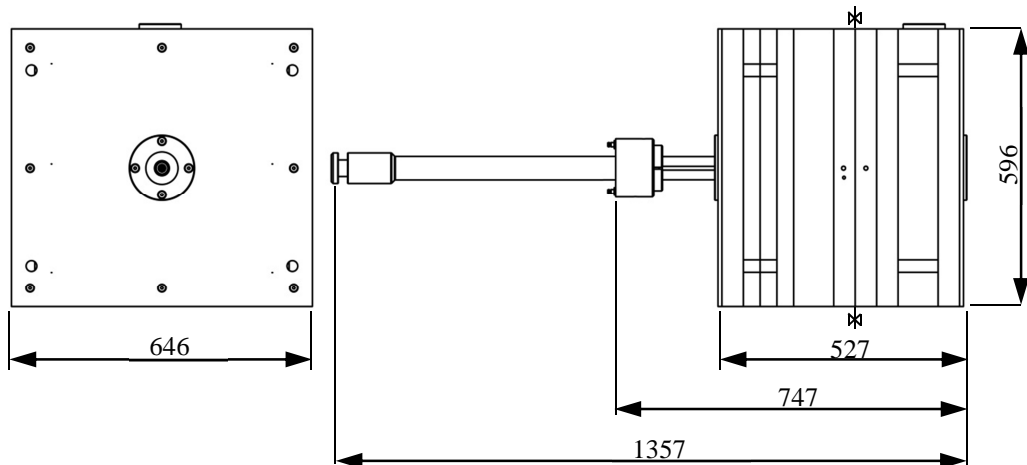
tento systém vyhazování byl zvolen zejména z toho důvodu, že vstříkovací stroj ENGEL ve firmě SPOKAR disponuje kloubovým průmyslovým robotem. Vyhazování výrobku je tedy realizováno uchopovací hlavou, která vysune výrobky z jader. Nechtěné vysunutí výrobku je zabezpečeno drobnými podkosy na jádře, přes které se výrobek při odformování přetáhne.

13 VSTŘIKOVACÍ FORMA

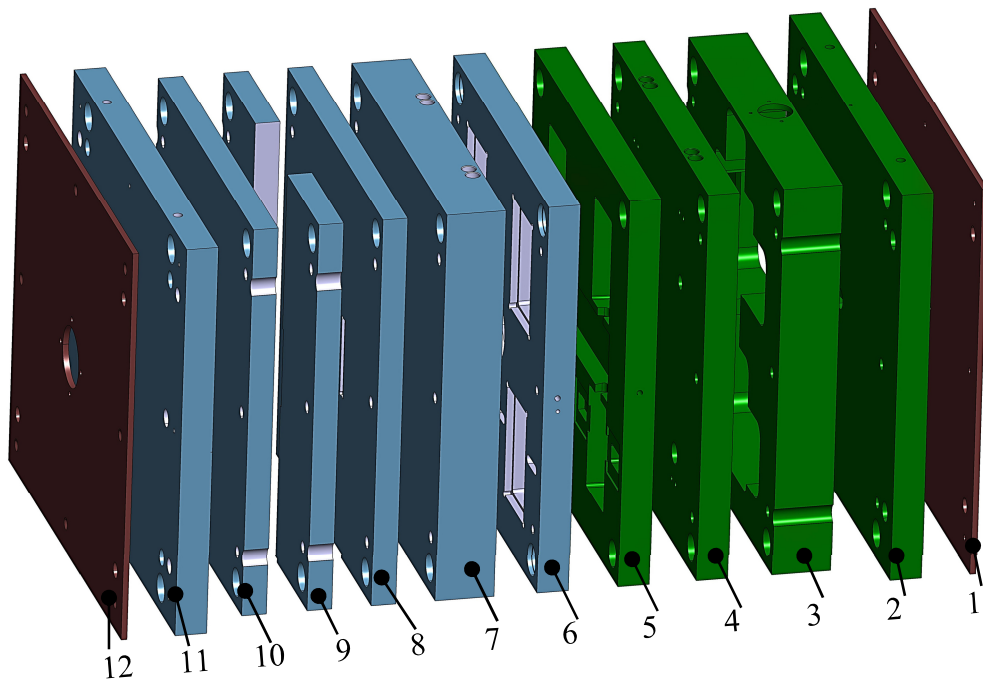
Tato kapitola popisuje jednotlivé části vstřikovací formy.

13.1 Rám vstřikovací formy

Všechny desky vstřikovací formy byly vkládány z katalogu firmy HASCO. Forma je složena celkem z dvanácti desek, z toho dvě desky jsou izolační.



Obr. 41. Základní rozměry formy.



Obr. 42. Rozložení desek ve formě.

1) pravá izolační deska, 2) pravá upínací deska, 3) mezideska, 4) pravá opěrná deska, 5) pravá kotevní deska, 6) levá kotevní deska, 7) levá opěrná deska, 8) mezideska, 9) rozpěrné desky, 10) mezideska, 11) levá upínací deska, 12) levá izolační deska

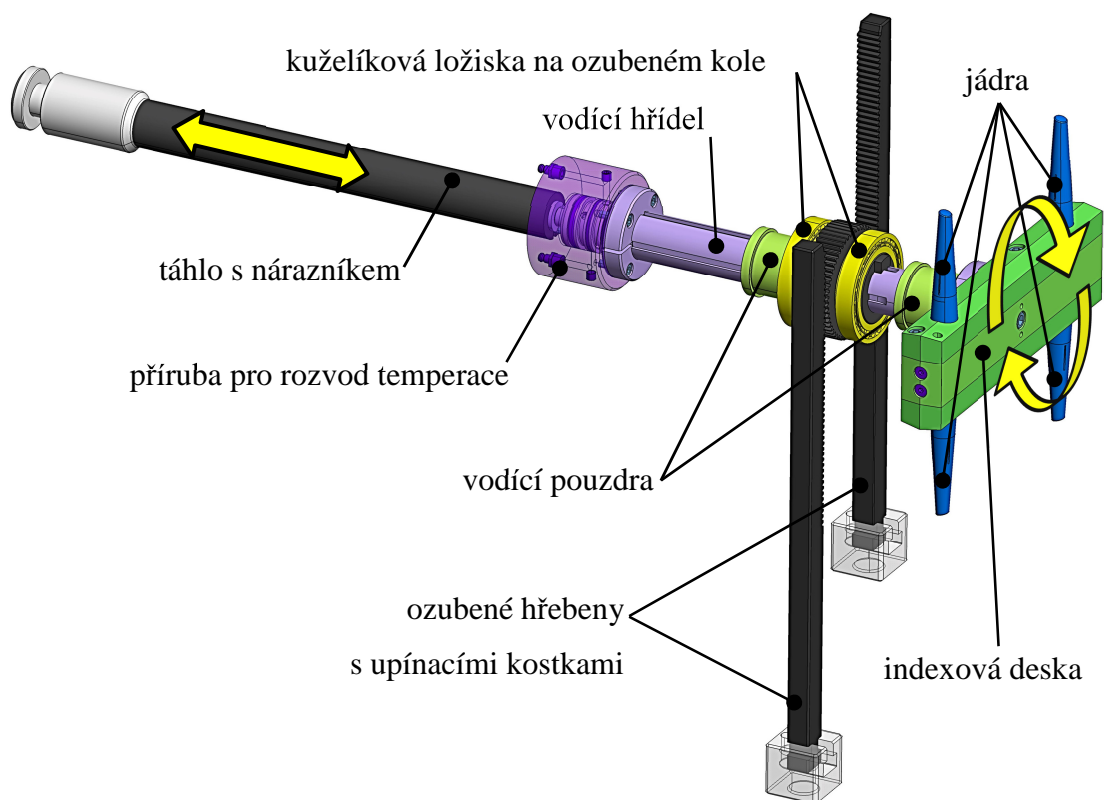
13.2 Mechanická rotační vložka (indexová deska)

Rotační pohyb indexové desky je zajištěn pomocí dvojice ozubených hřebenů, které jsou hydraulicky ovládány a upnuty ve vstřikovacím stroji. Pohyb ozubených hřebenů se dále přenáší přes ozubené kolo na vodící hřídel, na které je umístěna indexová deska. Posuvný pohyb indexové desky je přenášen ze stroje přes tyč s nárazníkem, chladicí rozvodnou hlavu a vodící hřídel.

Hřídel je vedena dvěma kuželkovými ložisky, která jsou vhodná k zachycení axiálních i radiálních zatížení a dvěma vodícími pouzdry.

Celý systém je chlazen přes přírubu pro rozvod temperačního média, vodící hřídel a indexovou desku až do jader, které tvoří dutinu výrobku.

Maximální zdvih indexové desky je omezen vstřikovacím strojem na 200 mm. Zabezpečení otočení indexového mechanismu o 180° je řešeno dvěma kolíky, které zapadají do vybrání v ozubeném kole. Vedení indexové desky v kotevních deskách (dělicí rovině) je zajištěno úkosy po celé délce indexové desky.

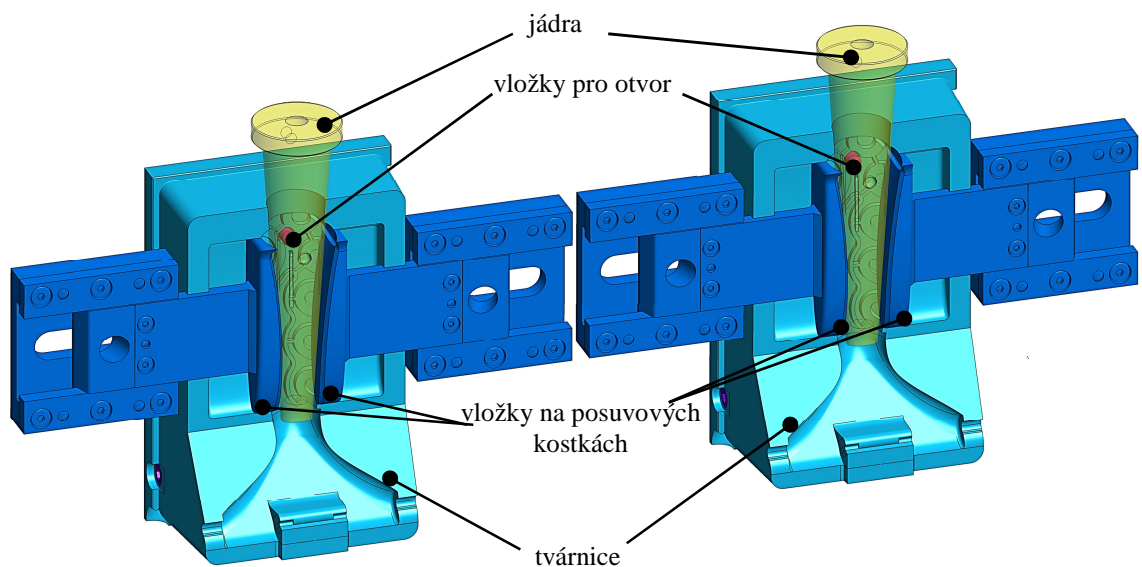


Obr. 43. Mechanická rotační vložka (indexová deska).

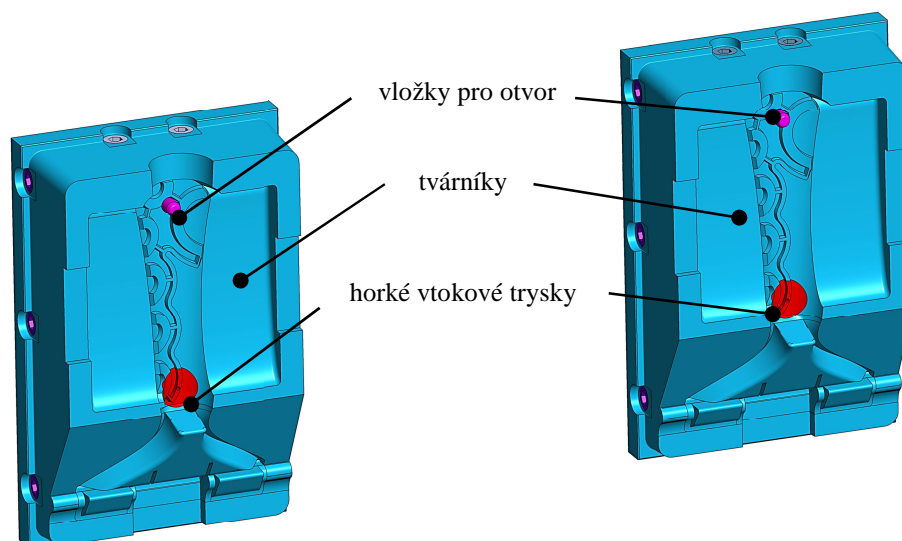
13.3 Tvarové dutiny vstříkací formy

V závislosti na velikosti výrobku bylo zvoleno uspořádání 2 + 2. Toto uspořádání znamená, že se do dvou dutin v jednom cyklu vstříkne první materiál (PP) a souběžně s ním do dalších dvou dutin materiál druhý (TPE). V jednom cyklu se takto vystříknou dva hotové výrobky, kromě prvního, kde je vstříknut jen polypropylen.

Dutina pro preform (pro PP) je tvořena tvárnicí a tvárníkem, posuvovými kostkami vedenými šikmými čepy, jádrem pro vytvoření dutiny ve výstřiku a dvěma tvarovými kolíky pro vytvoření otvoru pro zavěšení výrobku. Dutina formy je také tvořena hlavou horké vtokové trysky, která je v ní vyústěna.

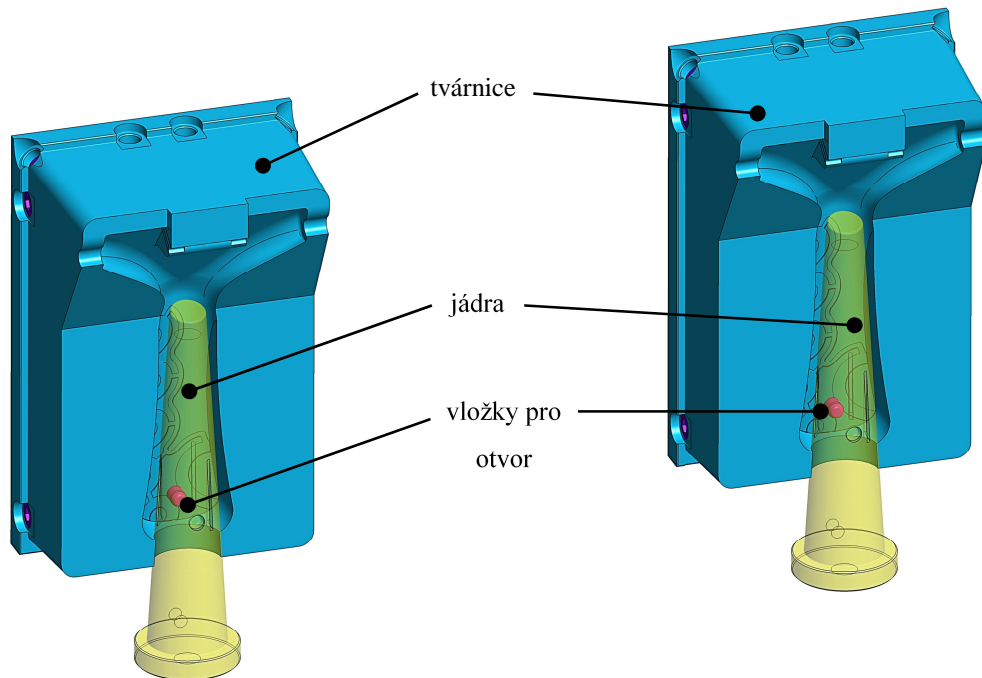


Obr. 44. Pohled do dělicí roviny na dutiny pro PP umístěné v levé části formy.

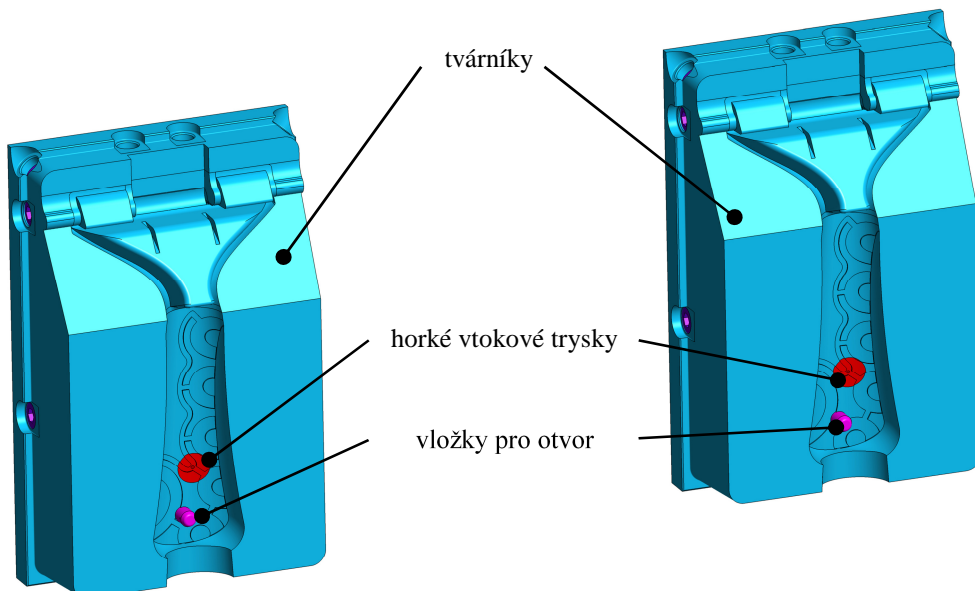


Obr. 45. Pohled do dělicí roviny na dutiny pro PP umístěné v pravé části formy.

Dutina pro druhý vstřikovaný materiál (pro TPE) je tvořena tvárnicí a tvárníkem, jádrem pro vytvoření dutiny ve výstřiku a dvěma tvarovými kolíky pro vytvoření otvoru pro zavěšení výrobku. Dutina formy je také tvořena hlavou horké vtokové trysky, která je v ní vyústěna.



Obr. 46. Pohled do dělicí roviny na dutiny pro TPE umístěné v levé části formy.



Obr. 47. Pohled do dělicí roviny na dutiny pro TPE umístěné v pravé části formy.

13.4 Vtokový systém vstříkovací formy

Všechny dutiny vstříkovací formy jsou plněné přes horký vtokový systém firmy Günther. Díky horkému vtokovému systému, zůstává polymer v roztaveném stavu, což zkracuje výrobní časy a zvyšuje produktivitu výroby. Další výhodou je, že nevzniká žádný odpad jako u studeného vtokového systému.

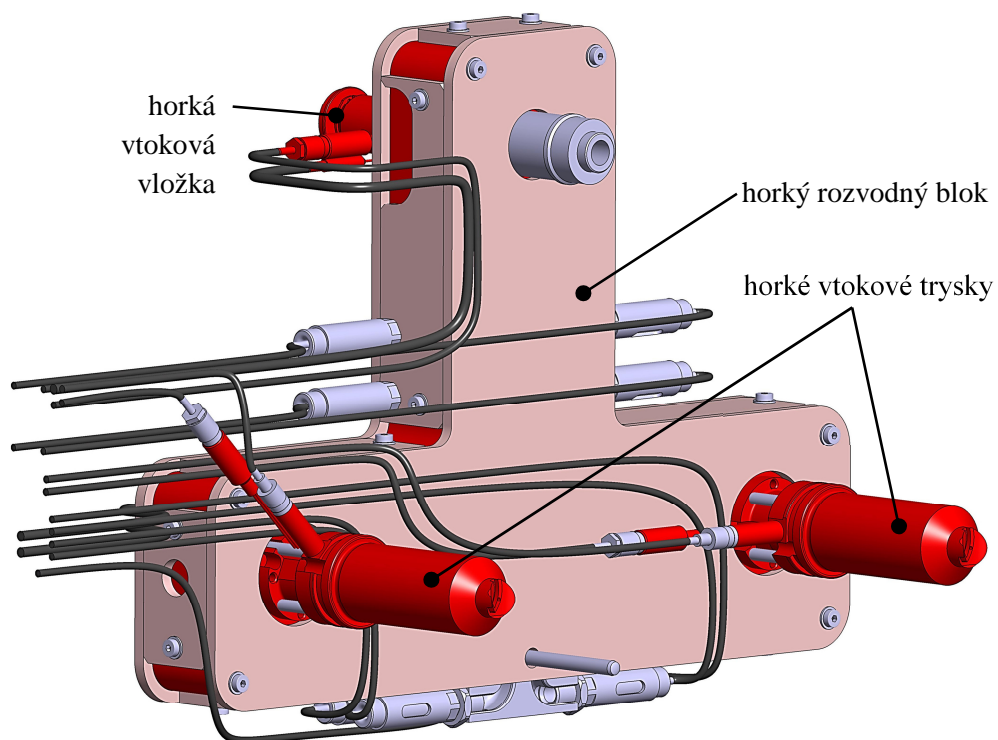
Ve formě byly použity dva horké vtokové systémy, které jsou odděleny z důvodu vstříkávání odlišných materiálů (PP a TPE). Čela všech horkých vtokových trysek byla upravena tak, aby kopírovala povrch dutiny formy.

Horký vtokový systém pro PP:

typ horké vtokové vložky: Günther AKD6/70,

typ horkého rozvodného bloku: Günther TCP2-6/6/5/5.0-T162.0-260.2,

typ horké vtokové trysky: Günther 5SHT80S.



Obr. 48. Horký vtokový systém pro PP.

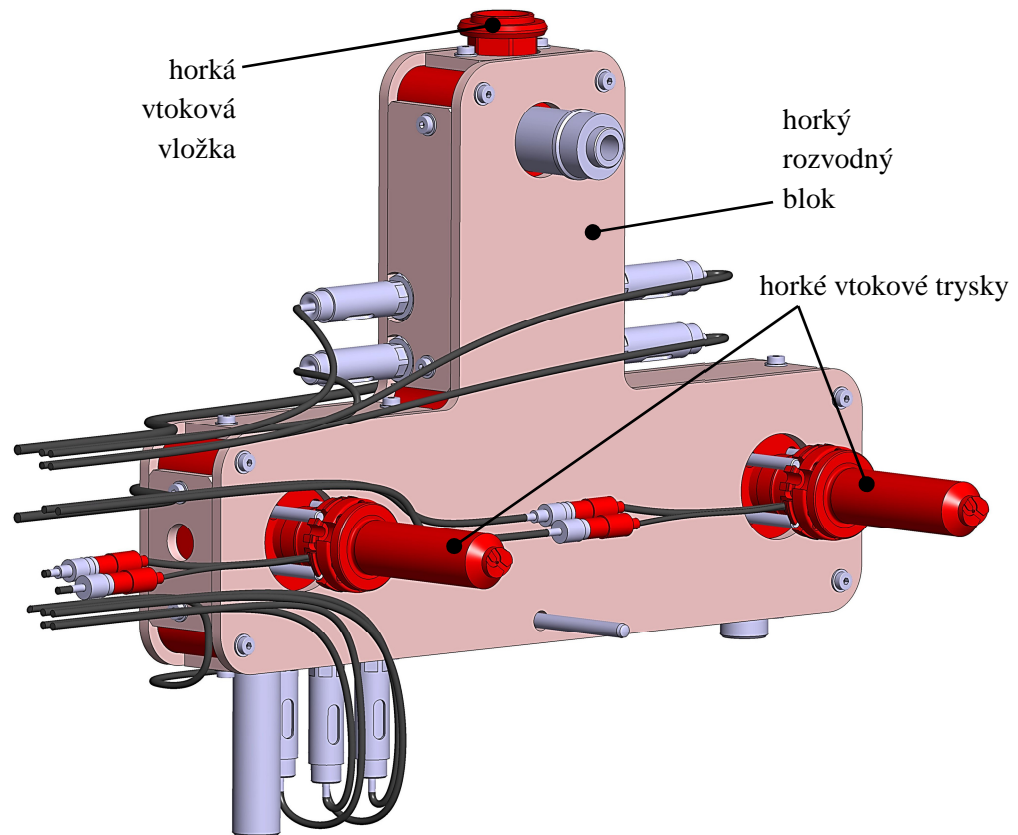
Horký vtokový systém pro TPE:

typ horkého rozvodného bloku a vtokové vložky: Günther TCP2-6/6/5/5.0-T193.2-260.0,

typ horké vtokové trysky: Günther 5STT80.

Horký vtokový blok byl přizpůsoben pro vertikální umístění vstříkovacího stroje, horká vtoková vložka byla přesunuta na horní stranu horkého vtokového bloku a dále upraveny

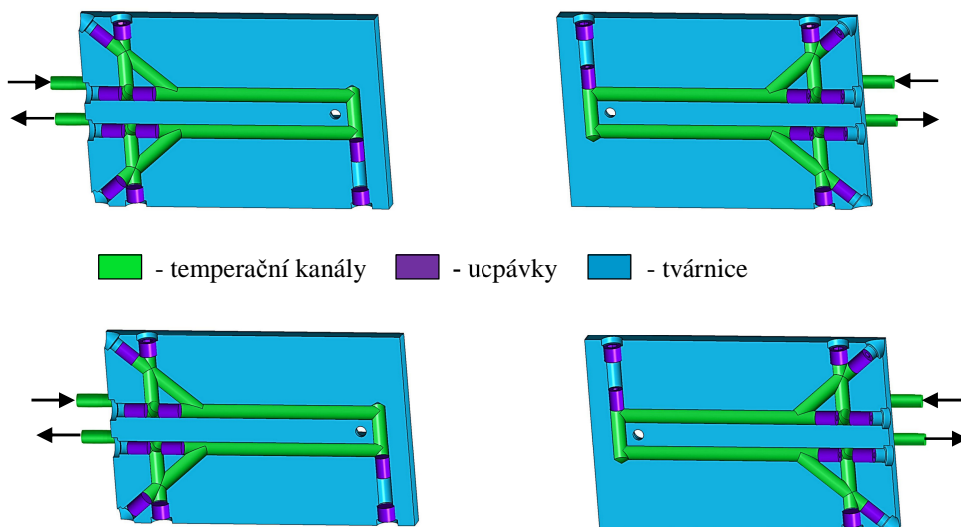
všechny souvislosti s tím spojené. Dále byla upravena poloha vývodů kabelů od topných těles, kvůli nedostatku prostoru pro druhý horký rozvodný blok.



Obr. 49. Horký vtokový systém pro TPE.

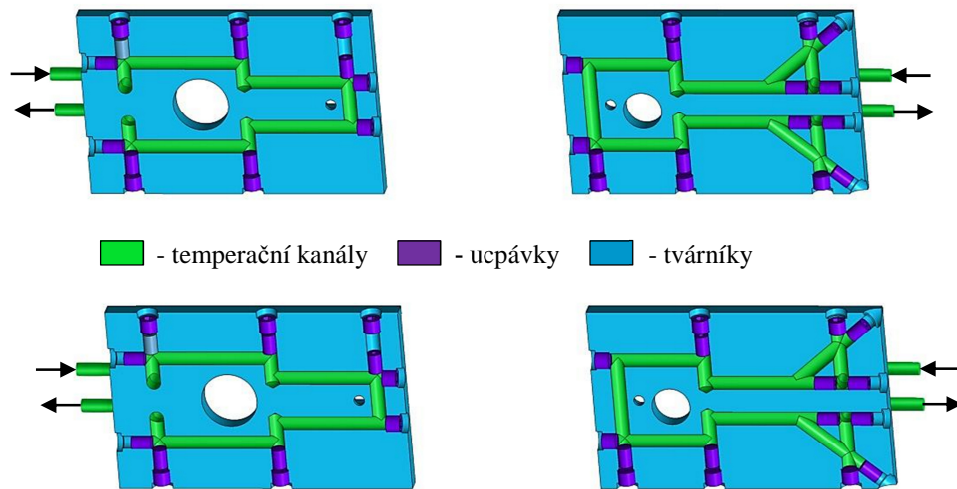
13.5 Temperační systém vstřikovací formy

Tvárníky a tvárnice vstřikovací formy jsou temperovány pomocí vrtaných kanálů o průměru 8 mm. Správný průtok chladicího média je zajištěn systémem ucpávek.



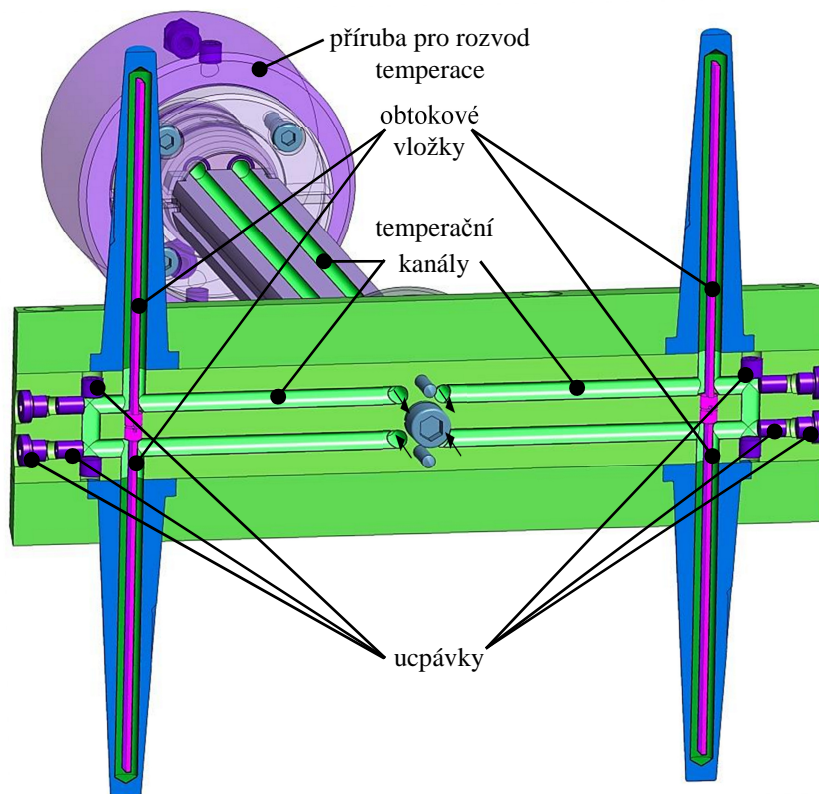
Obr. 50. Řez tvárnici k chladícím kanálům (pohled otočen o 90°).

Všechny tvárnice v levé části formy mají identicky vrtané kanály.



Obr. 51. Řez tvárníky k chladícím kanálům (pohled otočen o 90°).

Tvárníky v pravé části formy mají kanály vrtány s ohledem na umístění horkých vtokových trysek, to znamená, že tvárníky pro PP a TPE mají trochu jiné umístění kanálů.



Obr. 52. Řez indexovou deskou k chladícím kanálům.

Celý systém je chlazen přes přírubu pro rozvod temperačního média, vodící hřídel a indexovou desku až do jader, ve kterých je obtoková vložka.

14 TOKOVÉ ANALÝZY

Tokové analýzy finálního výrobku byly provedeny v softwaru firmy Autodesk, programu Moldflow Insight 2012, který umožňuje výpočet pro dvoukomponentní vstřikování. Výpočet probíhal na modelech, které byly zvětšeny o hodnotu smrštění materiálů. Před spuštěním analýz bylo třeba modely vysítovat, k tomu byla v první fázi použita trialová verze programu Moldflow CAD Doctor 2012 a v druhé fázi provedena ruční oprava sítě nástroji v programu Moldflow Insight 2012. Na výběr bylo ze tří typů sítí - midplain (2D), dual domain (2,5D), a solid (3D). Pro predikci chování polymeru po celé tloušťce stěn byla zvolena 3D síť, která se nejvíce přibližuje realitě. Na druhou stranu výpočet tak náročné sítě je ve velké míře závislý na výkonu počítačové sestavy, optimální je analyzovat síť s maximálním počtem tetrahedral elementů do 1 200 000. Při čtyřnásobném uspořádání dutin formy by byl počet elementů 4 167 564, což maximální doporučenou hodnotu 3,5x přesahuje. Z tohoto důvodu byla analyzována jen jedna dutina formy, která má pro obě části výrobku celkem 1 041 891 tetrahedral elementů a také zanedbán vtokový systém.

Před samotnou analýzou plnění, dotlaku a deformace byla provedena gate analýza, která umožňuje určit vhodné umístění vtoků. Gate analýza byla zohledněna již při konstrukci vstřikovací formy, aby bylo zaručeno optimální plnění při vstřikování obou materiálů.

Tab. 3. Procesní podmínky pro analýzu.

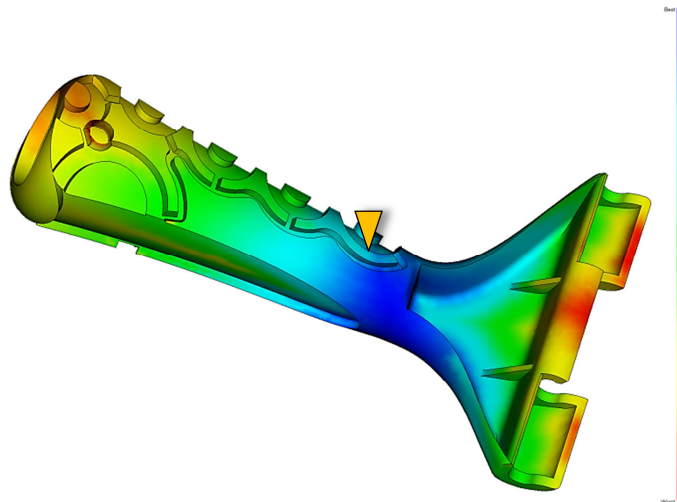
	PP, Borealis EE065AI	TPE, DuPont Hytrel DYM250S BK472
teplota taveniny [°C]	240 °C	260 °C
teplota povrchu formy [°C]	40 °C	55 °C
teplota vyhazování výstřiku	122 °C při 95 % zatuhlých vrstev	155 °C při 95 % zatuhlých vrstev
čas vstřikování + dotlaku [s]	automaticky	automaticky
ovládání plnění	automaticky	automaticky
bod přepnutí	automaticky	automaticky
ovládání dotlaku	plnicí tlak vs. čas: 0 s – 80%, 10 s – 80%	plnicí tlak vs. čas: 0 s – 80%, 10 s – 80%

Po provedení gate analýzy byly nadefinovány ostatní parametry pro výpočet, jako jsou materiály pro obě části výrobku a místa pro jejich plnění, zvolené materiály jsou diskutovány v kapitole 10.4, proto zde nejsou dále popisovány. V procesních podmínkách (viz.

Tab. 3) byly nastaveny teplotní podmínky pro polymery a vstřikovací formu. Čas, za který se vstříkne druhý materiál (TPE) do preformu (PP) byl nastaven dle vyhazovací teploty pro polypropylen a procentuálního zatuhnutí vrstev, také byla nastavena vyhazovací teplota a procentuální zatuhnutí vrstev pro termoplastický elastomer. Ostatní parametry byly ponechány na původním nastavení.

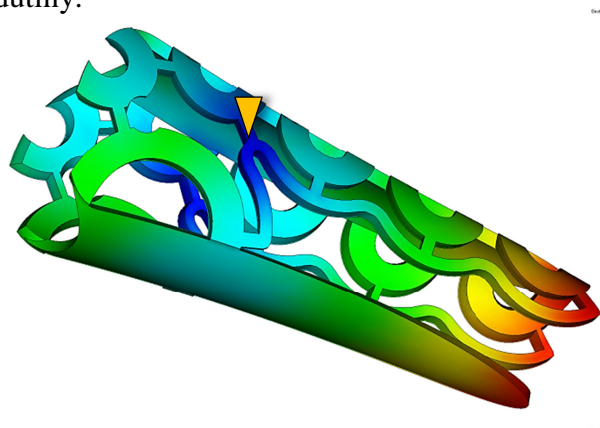
Gating suitability:

Tento výsledek slouží k určení vhodného místa pro vstřikování, dle této analýzy byla zvolena poloha vtoku ve vstřikovací formě jak pro polypropylen, tak pro termoplastický elastomer.



Obr. 53. Vhodnost umístění vtoku pro PP.

Na Obr. 53 modře vyznačené oblasti reprezentují vhodná místa pro umístění vtoku, do červeně zbarvených míst se nedoporučuje umístit vtok. Zvolené místo pro vtok je z 88 % vhodné pro zaplnění dutiny.



Obr. 54. Vhodnost umístění vtoku pro TPE.

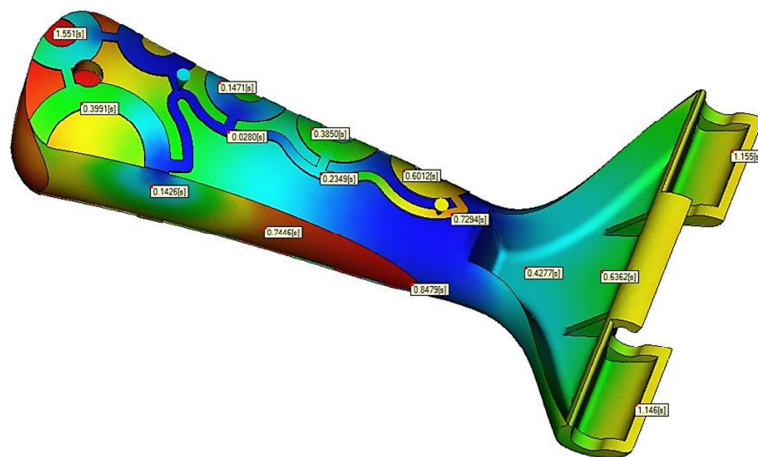
Optimální místo pro vtok je u dutiny pro termoplastický elastomer (viz Obr. 54) ovlivněno velmi složitou geometrií. Zvolené místo je z 96 % vhodné pro zaplnění dutiny, což je dobrý předpoklad k tomu, aby bylo u tak složité geometrie plnění úspěšné.

Čas plnění:

Využívá se k znázornění času, který je potřeba k zaplnění dutiny formy taveninou. Po vstřikování následuje fáze dotlaku, která působí, dokud nezatuhne vtokový systém, aby nedocházelo k velkým smrštěním v důsledku změny měrného objemu vstřikovaného materiálu.

Ve výsledné analýze pro preform (PP) je vypočtena doba vstřikování na 1,58 vteřiny. Po zaplnění 99,45 % objemu dutiny je vstřikování přepnuto na dotlakovou fázi. Vstřikovací rychlost je závislá na teplotě taveniny a formy, rychlosti pístu a plastikační jednotky, neméně na vstřikovaném materiálu, rozměrech vtokového systému či dutin ve formě. Dutiny by měly být zaplněny takovou rychlostí, aby před dokončením vstřikování nedošlo k zatuhnutí materiálu, což by zamezilo úplnému vyplnění.

V analýze pro dostřikovaný materiál (TPE) je vypočtena doba vstřikování na 0,85 vteřiny. Po zaplnění 98,36 % objemu dutiny je vstřikování přepnuto na dotlakovou fázi.



Obr. 55. Čas plnění pro PP a TPE.

Tlak v místě vstřikování:

Maximální tlak v místě vstřiku při vstřikování polypropylenu je 5,273 MPa, což je hodnota výrazně menší, než je maximální vstřikovací tlak vstřikovacího stroje pro PP, který je 148,1 MPa.

Maximální tlak v místě vstřiku při vstřikování termoplastického elastomeru je 30,69 MPa, což je hodnota výrazně menší, než je maximální vstřikovací tlak vstřikovacího stroje pro TPE, který je 125 MPa.

Rychlost smykové deformace:

Využívá se k znázornění rychlosti smykové deformace ve vstřikovaném materiálu. Zvolený materiál PP typ EE065AI od firmy Borealis, má dovolenou maximální rychlost smyko-

vé deformace 100 000 1/s, což je velmi vysoká hodnota. Vypočtená analýza vykazovala maximální rychlost smykové deformace kolem 24 855 1/s, rychlost vstřikování tedy nebyla smykovou rychlostí nijak omezena, hlavním faktorem, jež omezoval plnění, byla maximální možná teplota pro vstřikování.

Zvolený materiál TPE typ Hytrel DYM250S BK472 od firmy DuPont, má dovolenou maximální rychlost smykové deformace 40 000 1/s. Vypočtená analýza vykazovala maximální rychlost smykové deformace kolem 21 012 1/s, rychlost vstřikování tedy nebyla smykovou rychlostí nijak omezena, hlavním faktorem, jež omezoval plnění, byla maximální možná teplota pro vstřikování.

Re-melt zone:

Výsledek re-melt zone je dostupný jen při dvoukomponentním vstřikování a znázorňuje oblasti na preformu (PP), kde dochází k opakovanému natavení povrchu materiálu vlivem vstřikování materiálu druhého (TPE).

V tomto případě dochází k natavení všech stykových stěn mezi PP a TPE, což také vede k lepší přilnavosti mezi oběma díly.

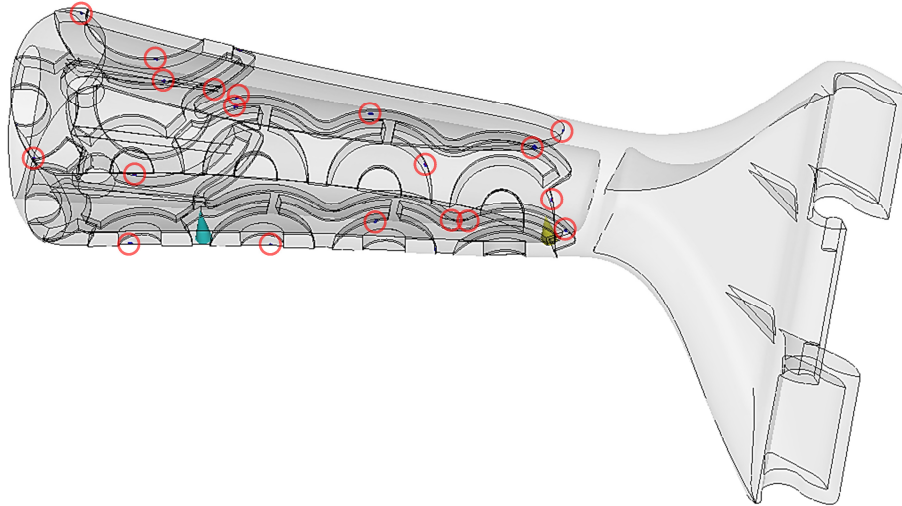


Obr. 56. Re-melt zone.

Vzduchové kapsy:

Tento výsledek se využívá k znázornění vzniklých vzduchových kapes ve vstřikovaném materiálu. Dutina formy je před vstřikováním naplněna vzduchem. Při jejím plnění taveninou je třeba zajistit únik vzduchu a případných zplodin. Při nižších teplotách taveniny (vyšší viskozitě) a nedostatečném tlaku a rychlosti plnění u výstřiku s tenčími stěnami, se soustřeďuje vzduch na protilehlou stranu od vtoků. Nemůže-li vzduch uniknout vlivem

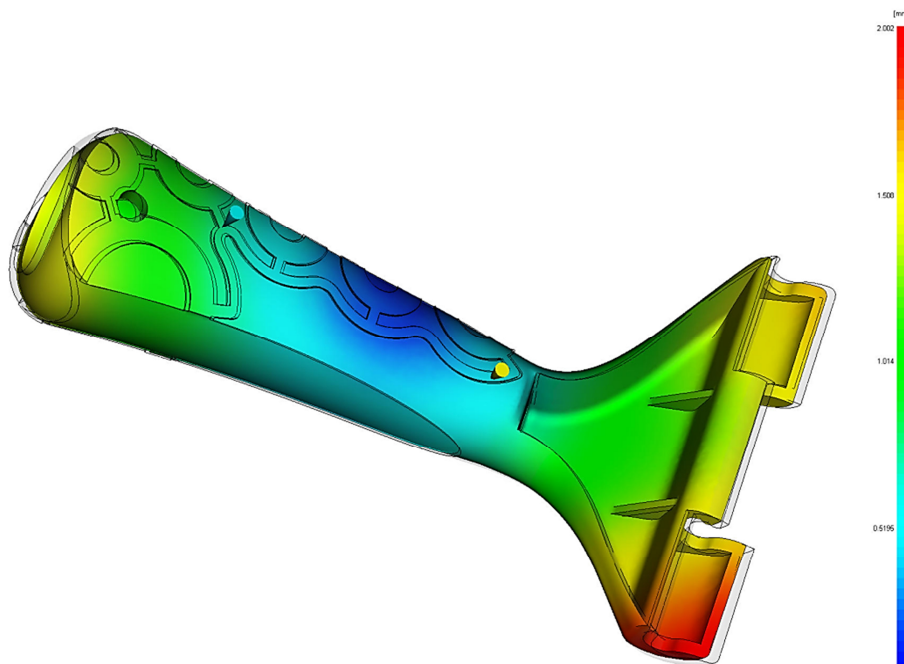
protitlaku, vznikne nedotečený výstřik. Řešit tyto negativní jevy lze odvodušením formy. Na obr je jsou znázorněny vzduchové kapsy v PP a TPE výstřiku, vyšší koncentrace je vzhledem ke zvolenému designu výrobku odpovídající.



Obr. 57. Vzduchové kapsy.

Deflection, all effects:

Využívá se k znázornění součtu veškerých rozměrových odchylek výstřiku, vzniklých vlivem smrštění, rozdílným chlazením a v případě plněného materiálu orientace vláken. Dle vypočtených výsledků analýzy je maximální hodnota celkové odchylky od skutečného rozměru 2 mm s čímž bylo při konstrukčním návrhu formy počítáno.



Obr. 58. Deflection, all effects.

DISKUZE VÝSLEDKŮ

Cílem této diplomové práce byl designový i konstrukční návrh dvoukomponentního výrobku, včetně konstrukčního návrhu vstřikovací formy podpořené tokovými analýzami.

Bylo vypracováno deset designových návrhů výrobku, z nichž byl vybrán firmou IKEA ten nejvhodnější pro vytvoření dvoukomponentní vstřikovací formy. Zvolený výrobek byl ověřen tokovými analýzami, které zkoumaly chování materiálu uvnitř dutin při vstřikování.

Vstřikovaný výrobek byl modifikací původního výrobku portfolia firmy IKEA, kterým byla stěrka na okno, jež je doposud vyráběna bez využití dvoukomponentního vstřikování. Zvoleným materiálem pro nosnou část výrobku byl polypropylen, který byl také použit u existujícího výrobku. Jako vhodný materiál pro měkčí část výrobku byl zvolen termoplastický elastomer. Vstřikovací forma byla navrhována pro dvoukomponentní vstřikovací stroj ENGEL, který vlastní firma SPOKAR a je uzpůsobený pro vstřikovací formy se systémem indexové desky.

Indexová deska umístěna ve formě má jeden rotační a jeden translační pohyb, které při otevření formy zabezpečují částečné odformování a následné otočení výstřiků o 180°. Úplné odformování výstřiků je zabezpečeno průmyslovým robotem umístěným u vstřikovacího stroje ENGEL, ten má za úkol odformovat vždy dva hotové výrobky z jader, na kterých je výstřik otáčen.

Vstřikovací forma má uspořádání 2 + 2. Toto uspořádání znamená, že se do dvou dutin v jednom cyklu vstříkne první materiál (PP) a souběžně s ním do dalších dvou dutin materiál druhý (TPE). V jednom cyklu se takto vystříknou dva hotové výrobky, kromě prvního, kde je vstříknut jen polypropylen.

Z vypočtených tokových analýz byly určeny vhodné parametry pro vstřikování obou materiálů. Polypropylenová část výstřiku byla zaplněna bez problémů a je optimálně navržena pro technologii vstřikování. Termoplastický elastomer i přes složitou geometrii výstřiku a dráhu toku zaplnil dutinu formy, ovšem až na hranici zpracovatelských podmínek polymeru. Tento problém by se dal vyřešit rozšířením kanálů, to by ale mělo vliv na samotný design výrobku.

ZÁVĚR

Praktická část diplomové práce spočívala v designovém i konstrukčním návrhu dvoukomponentního výrobku, včetně konstrukčního návrhu vstříkovací formy podpořené tokovými analýzami.

Konstrukční návrh vstříkovací formy a výrobku byl doložen 3D modely a výkresy vypracovávanými v programu CATIA V5R18. Tokové analýzy pro obě části výrobku byly vypracovány v programu Moldflow Insight 2012 a náležitě popsány.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Knižní zdroje:

- [1] BEAUMONT, John P. *Runner and Gating Design Handbook: Tools for Successful Injection Molding*. 2nd ed. München: Hanser, 2007, 308 s. ISBN 15-699-0421-9.
- [2] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: 1. díl - Vstřikování termoplastů*. 2. opravené vydání. Brno: Uniplast, 1999, 134 s.
- [3] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006, 278 s. ISBN 80-708-0617-6.
- [4] DVOŘÁK, Zdeněk. *Zpracovatelské procesy gumárenské: pro konstrukční směry* [online]. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2009 [cit. 2012-02-09]. Dostupné z: http://web.ft.utb.cz/cs/docs/T8ZPG_zpracovatelske_procesy_gumarenske.pdf
- [5] HARPER, Charles A. *Handbook of Plastic Processes*. Editor Charles A Harper. Hoboken (New Jersey): Wiley, 2006, 743 s. ISBN 978-0-471-66255-6.
- [6] MAŇAS, Miroslav a Josef HELŠTÝN. *Výrobní stroje a zařízení: Gumárenské a plastikářské stroje II*. Brno: VUT, 1990, 199 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0213-X.
- [7] OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. *Injection Molding Handbook*. 2nd ed. München: Hanser, 2008, 764 s. ISBN 978-344-6407-817.
- [8] PÖTSCH, Gerd a Walter MICHAELI. *Injection Molding: An Introduction*. 2nd ed. München: Hanser, 2008. ISBN 15-699-0419-7.
- [9] RAGAN, E., A. SLÁDEK, J. RUŽBARSKÝ, J. MAČŠENÍK, M. MAŇAS, S. FABIAN, D. MAŇAS, M. STANĚK, J. DOBRANSKÝ, D. MANDULÁK, D. ČOPÁK, J. MAČŠENÍK, M. FEDÁK, M. KOLLÁROVÁ a J. PAVEL. *Vstrekovanie a spracovanie plastických hmôt*. Prešov: Fakulta výrobních technológií so sídlom v Prešove, 2008, 548 s. ISBN 978-80-553-0102-0.
- [10] REES, Herbert. *Mold Engineering*. 2nd ed. München: Hanser, 2002, 688 s. ISBN 34-462-1659-6.

- [11] STOKLASA, Karel. *Zpracovatelské inženýrství - I: Základy gumárenské a plastikařské technologie*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007, 107 s. Skripta.
- [12] ŠTĚPEK, J., J. ZELINGER a A. KUTA. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. Praha: SNTL/Alfa, 1989, 637 s.
- [13] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-807-3002-503.

Internetové zdroje:

- [14] *Dytron s.r.o.: CATIA V5* [online]. 2011. [cit. 2012-04-10]. Dostupné z: <http://www.dytron.cz/catia-popis/catia-v5.aspx>
- [15] *Chemické listy: Termoplastické elastomery - moderní polymerní materiály*[online]. Praha: Ústav polymerů, Vysoká škola chemicko-technologická, 1997 [cit. 2012-02-09]. ISSN 1213-7103. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1997_01_23-29.pdf
- [16] LENFELD, Petr. Katedra tváření kovů a plastů - Skripta: Technologie II. *Katedra strojírenské technologie Technické univerzity v Liberci* [online]. [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm#041
- [17] *SolidWorks corporation: 3D modelování a 3D CAD software* [online]. 2011 [cit. 2012-04-11]. Dostupné z: <http://www.solidworks.cz/novinky-a-udalosti/novinky/solidworks-2012-prinasi-reseni-pro-navrhovani-kte-a2049245>
- [18] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-02-09].

Elektronické programy:

- [19] *Autodesk Moldflow Insight 2012* [počítačový program]. Ver. Educational Edition. Autodesk Inc., 2009 [cit. 2012-04-12].

Interní materiály:

- [20] ENGEL SCHWERTBERG AUSTRIA. *Technische daten: Spritzgiessmaschine ES 1350/330V/250 HL-2F*. Austria, 2000.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CAD	Computer aided design
GIT	Gas injection technique
WIT	Water injection technique
T_m	Teplota tání [°C]
T_f	Teplota tečení [°C]
p_v	Vstřikovací tlak [MPa]
p_d	Tlak dotlakové fáze [MPa]
p	Tlak [MPa]
v	Specifický objem [g/cm ³]
T	Teplota [°C]
t	Čas [s]
PP	Polypropylen
TPE	Termoplastický elastomer
T_g	Teplota skelného přechodu [°C]
E	Modul pružnosti v tahu [MPa]
LDPE	Nízkohustotní polyetylen
HDPE	Vysokohustotní polyetylen
S-B-S	Styren-butadien-styren
S-EB-S	Styren-ethylen-butadien-styren
EPR	Ethylen-propylenový kaučuk
PVC	Polyvinylchlorid
NBR	Přírodní kaučuk
r	Poloměr [mm]
s	Tloušťka [mm]

$V_{s(max)}$	Maximální vstřikovací objem na jednu plastikaci [cm ³]
$P_{in(max)}$	Maximální vstřikovací tlak [MPa]
VVS	Vyhřívaná vtoková soustava
PS	Polystyren
PMMA	Polymethylmethakrylát
k_{η}	Poměr viskozity [-]
η	Viskozita [Pa·s]
ABS	Acrylonitril butadien styren
EVOH	Ethylene vinyl alcohol
TPU	Termoplastický polyuretan
SAN	Styren-acrylonitril
FIT	Fluid injection technique
LSR	Liquid silicone rubber
PIM	Powder injection molding
3D	Three dimensional
2D	Two dimensional
CAE	Computer aided engineering
G	Modul pružnosti ve smyku [MPa]
ν	Poissonova konstanta [-]
ITT	Index toku taveniny [g/10min]
$\dot{\gamma}_{max}$	Maximální rychlost smykové deformace [1/s]
ρ_t	Hustota taveniny [g/cm ³]
ρ_s	Hustota tuhé fáze [g/cm ³]
$T_{tav.}$	Teplota taveniny [°C]
T_{forma}	Teplota formy [°C]

2K Dvoukomponentní

2,5D 2,5 dimensional

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Princip vstřikování. [9]</i>	6
<i>Obr. 2. Cyklus vstřikovacího procesu (v závislosti na sledu fází). [11]</i>	7
<i>Obr. 3. Průběh tlaku ve formě během cyklu. [13]</i>	7
<i>Obr. 4. PvT diagram vstřikovacího procesu. [8]</i>	8
<i>Obr. 5. Rozdělení polymerů.</i>	9
<i>Obr. 6. Oblast použití amorfních termoplastů. [2]</i>	10
<i>Obr. 7. Oblast použití semikrystalických termoplastů. [2]</i>	11
<i>Obr. 8. Tloušťka stěn, a) nevhodné, b) vhodné. [2]</i>	15
<i>Obr. 9. Podkoso u výstřiku. a) obtížně odformovatelný, b) jednoduše odformovatelný. [2]</i>	15
<i>Obr. 10. Druhy žeber. a) ,c) technická, b) technologická. [2]</i>	16
<i>Obr. 11. Způsoby rýhování a tvary ovládacích prvků, a) nevhodné, ostatní varianty vhodné. [2]</i>	16
<i>Obr. 12. Vstřikovací jednotka. [8]</i>	17
<i>Obr. 13. Uspořádání vícekomponentních vstřikovacích strojů. [8]</i>	23
<i>Obr. 14. Vstřikovací stroj s otočným stolem. [8]</i>	23
<i>Obr. 15. Tandemový vstřikovací stroj. [8]</i>	24
<i>Obr. 16. Typy vtokových ústí, a) filmový vtok, b) vějířovitý vtok, c) bodový vtok, d) tunelový vtok, e) prstencový vtok, f) plný kuželový vtok, g) membránový vtok. [5]</i>	29
<i>Obr. 17. Uspořádání rozvodných kanálů v deskách. [2]</i>	32
<i>Obr. 18. Chlazení tvárnků, a) přepážkou, b) trubkou, c) tepelně vodivou tyčí (Cu), d) pomocí spirály, e), f) kombinace. [2]</i>	33
<i>Obr. 19. Příklady odvzdušnění vstřikovacích forem, a) odvzdušnění na jádře, b) odvzdušnění v tvárnici, c) odvzdušnění v dělicí rovině, d) odvzdušnění na tvarovém kolíku. [9]</i>	34
<i>Obr. 20. Klasifikace vícekomponentního vstřikování. [8]</i>	36
<i>Obr. 21. Varianty řešení rotační techniky. [8]</i>	38
<i>Obr. 22. Funkční princip rotační techniky (otáčecí stůl). [8]</i>	38
<i>Obr. 23. Funkční princip otáčející se kostky o 90 °. [8]</i>	38
<i>Obr. 24. Princip techniky core-back. [8]</i>	39
<i>Obr. 25. Testovací metody pevnosti vazeb. [8]</i>	39

<i>Obr. 26. Vstřikovací cyklus sendvičových struktur. [8].....</i>	40
<i>Obr. 27. Distribuce vnějšího a vnitřního materiálu v závislosti na viskozitě. [8]</i>	41
<i>Obr. 28. Původní výrobek firmy IKEA.....</i>	51
<i>Obr. 29. Designový návrh č. 1.</i>	52
<i>Obr. 30. Designový návrh č. 2.</i>	52
<i>Obr. 31. Designový návrh č. 3.</i>	52
<i>Obr. 32. Designový návrh č. 4.</i>	53
<i>Obr. 33. Designový návrh č. 5.</i>	53
<i>Obr. 34. Designový návrh č. 6.</i>	53
<i>Obr. 35. Designový návrh č. 7.</i>	54
<i>Obr. 36. Designový návrh č. 8.</i>	54
<i>Obr. 37. Designový návrh č. 9.</i>	54
<i>Obr. 38. Designový návrh č. 10.</i>	55
<i>Obr. 39. Finální výrobek vymodelovaný ve 3D. a) TPE, b) PP, c) TPE+PP.....</i>	55
<i>Obr. 40. ENGEL ES 1350/330V/250 HL-2F ve firmě Spojené kartáčovny, a.s.</i>	58
<i>Obr. 41. Základní rozměry formy.</i>	61
<i>Obr. 42. Rozložení desek ve formě.....</i>	61
<i>Obr. 43. Mechanická rotační vložka (indexová deska).</i>	62
<i>Obr. 44. Pohled do dělicí roviny na dutiny pro PP umístěné v levé části formy.....</i>	63
<i>Obr. 45. Pohled do dělicí roviny na dutiny pro PP umístěné v pravé části formy.</i>	63
<i>Obr. 46. Pohled do dělicí roviny na dutiny pro TPE umístěné v levé části formy.....</i>	64
<i>Obr. 47. Pohled do dělicí roviny na dutiny pro TPE umístěné v pravé části formy.</i>	64
<i>Obr. 48. Horký vtokový systém pro PP.....</i>	65
<i>Obr. 49. Horký vtokový systém pro TPE.</i>	66
<i>Obr. 50. Řez tvárniciemi k chladícím kanálům (pohled otočen o 90°).</i>	66
<i>Obr. 51. Řez tvárníky k chladícím kanálům (pohled otočen o 90°).</i>	67
<i>Obr. 52. Řez indexovou deskou k chladícím kanálům.</i>	67
<i>Obr. 53. Vhodnost umístění vtoku pro PP.</i>	69
<i>Obr. 54. Vhodnost umístění vtoku pro TPE.</i>	69
<i>Obr. 55. Čas plnění pro PP a TPE.</i>	70
<i>Obr. 56. Re-melt zone.</i>	71
<i>Obr. 57. Vzduchové kapsy.....</i>	72
<i>Obr. 58. Deflection, all effects.</i>	72

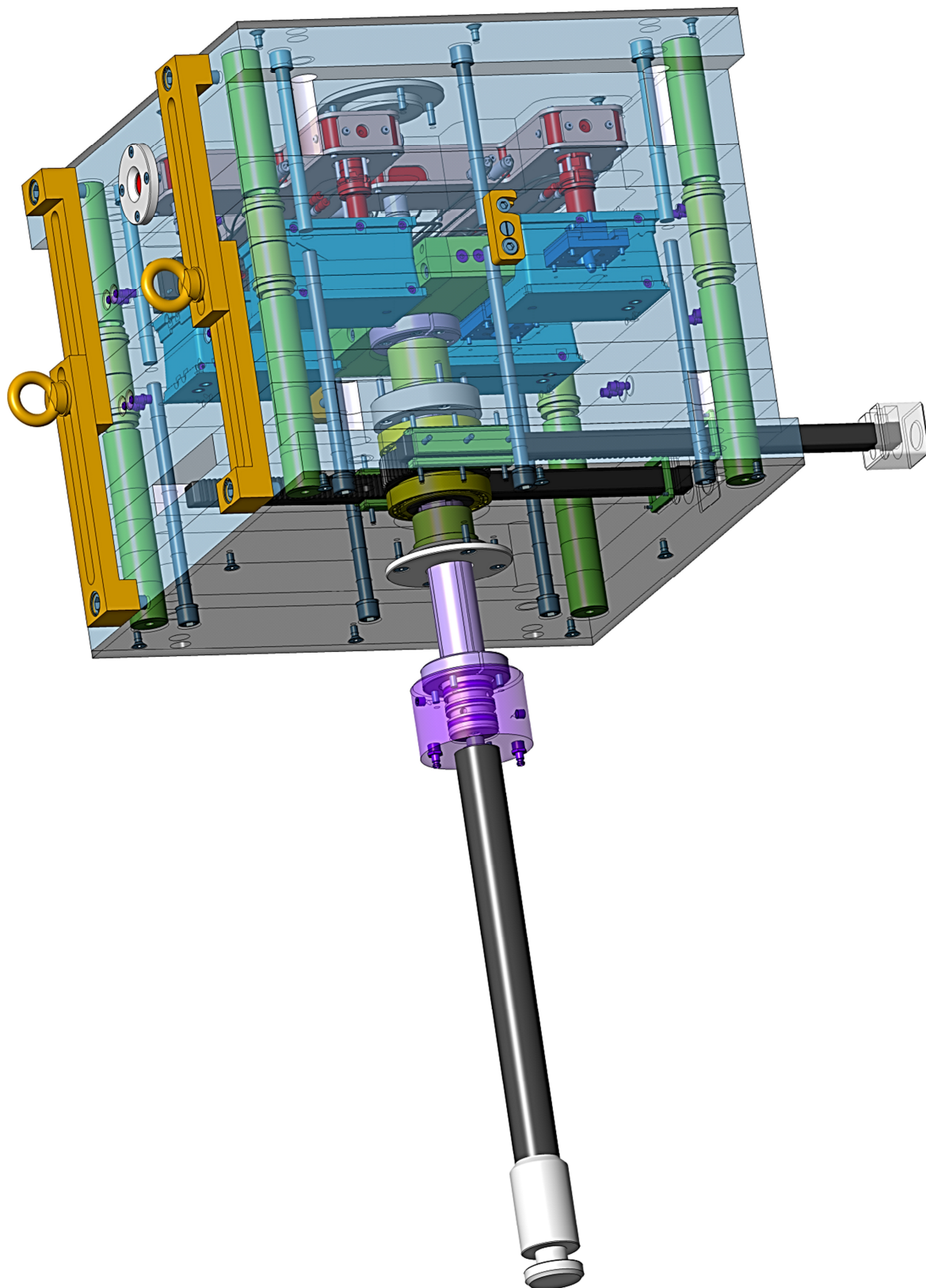
SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Termoplastické elastomery využívané pro vstřikování. [7]</i>	13
<i>Tab. 2. Základní parametry vstřikovacích jednotek pro vstřikování PP a TPE. [20]</i>	58
<i>Tab. 3. Procesní podmínky pro analýzu.</i>	68

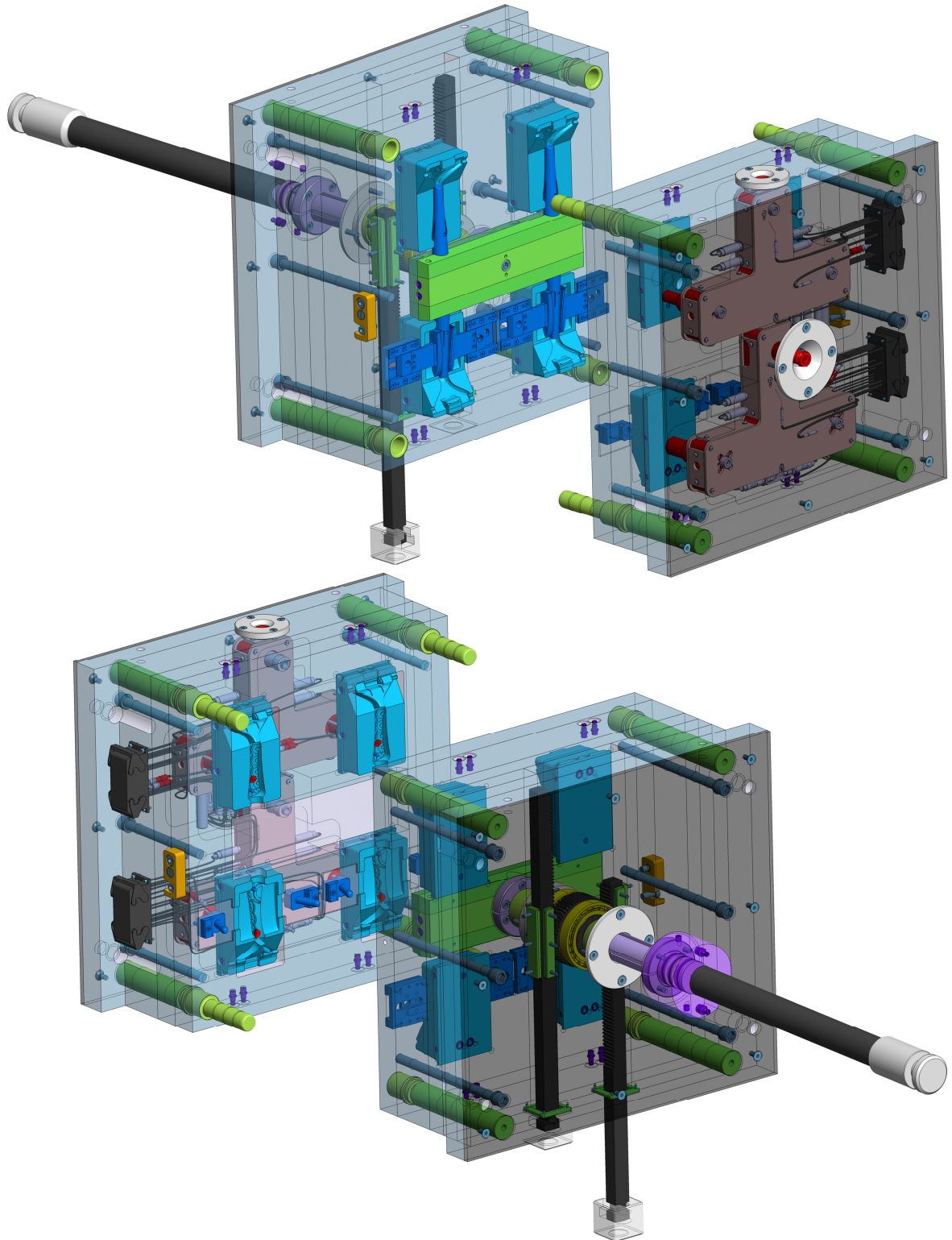
SEZNAM PŘÍLOH

- P I 3D vizualizace vstřikovací formy.
- P II 3D vizualizace vstřikovací formy – pohled do dělicí roviny.
- P III 3D vizualizace dvoukomponentního výrobku.
- P IV Technická dokumentace.
- P V Disk CD.

PŘÍLOHA P I: 3D VIZUALIZACE VSTŘIKOVACÍ FORMY.



**PŘÍLOHA P II: 3D VIZUALIZACE VSTŘIKOVACÍ FORMY –
POHLED DO DĚLÍČÍ ROVINY.**



**PŘÍLOHA P III: 3D VIZUALIZACE DVOUKOMPONENTNÍHO
VÝROBKU.**

