

Konstrukční řešení vstřikovací formy pro plastový díl automobilu

Vítězslav Koníček

Bakalářská práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vítězslav Koníček**

Osobní číslo: **T11251**

Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Konstrukční řešení vstřikovací formy pro plastový díl automobilu**

Zásady pro vypracování:

Vypracujte literární studii na dané téma.

Nakreslete model vstřikovaného výrobku.

Provedte konstrukční návrh vstřikovací formy.

Nakreslete výkres sestavy formy.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle vedoucího bakalářské práce

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Adam Škrobák

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

10. února 2014

Termín odevzdání bakalářské práce:

23. května 2014

Ve Zlíně dne 10. února 2014


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně

.....

¹⁾ 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). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

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

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem vstřikovací formy určené pro díl používaný v automobilovém průmyslu. Elementární informace o konstrukci vstřikovacích forem jsou uvedeny v teoretické části bakalářské práce. V praktické části je vytvořen 3D model součásti a zkonstruována 2D a 3D sestava. Vstřikovací forma je čtyřnásobná. Při konstrukci byl použit stavebnicový systém s užitím normálií firmy Hasco v programu Catia V5R18.

Klíčová slova: vstřikovací forma, konstrukce, plast, vstřikovací stroj, Catia

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with construction of injection mold for automotive industry.

Basic information concerning about construction of injection molds are listed in the theoretical part of bachelor thesis. The practical part involves a 3D model of injection molded part and designed 2D and 3D assembly. Injection mold is forty-multiple. When constructing was used a modular system with normalized parts by Hasco company during construction in software Catia V5R18.

Keywords: injection mold, design, plastic, injection machine, Catia

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce, Ing. Adamu Škrobákovi, za odborné vedení, ochotně poskytnuté rady a čas, který mi věnoval při vypracování bakalářské práce.

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

Ve Zlíně,

.....

Podpis

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ	12
1.1 HISTORIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ	12
1.1.1 Historie vstřikování plastů ve světě	12
1.1.2 Historie vstřikování plastů v Čechách	13
1.2 TEORIE VSTŘIKOVÁNÍ	14
1.2.1 Vstřikovací cyklus	14
1.2.2 Materiály používané při vstřikování	15
1.3 VSTŘIKOVACÍ STROJE	17
1.3.1 Vstřikovací jednotka	17
1.3.2 Uzavírací jednotka	19
1.4 PŘEHLED SPECIÁLNÍCH ZPŮSOBŮ VSTŘIKOVÁNÍ	20
2 VYUŽITÍ VSTŘIKOVANÝCH PLASTŮ V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU	23
2.1 TECHNICKÉ VLASTNOSTI DÍLŮ	23
2.2 ODOLNOST PROTI HOŘLAVÝM KAPALINÁM	24
2.3 BEZPEČNOSTNÍ VÝZTUHY	24
2.4 PLASTY V AUTOSEDAČKÁCH	25
3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	26
3.1 POSTUP PŘI KONSTRUKCI VSTŘIKOVACÍ FORMY	27
3.2 VTOKOVÝ SYSTÉM	29
3.2.1 Studený vtokový systém	30
3.2.2 Vyhřívaný vtokový systém	32
3.2.3 Vyhazovací systém	33
3.2.4 Temperační systém	33
3.2.5 Odvzdušnění formy	36
II PRAKTICKÁ ČÁST	37
4 STANOVENÍ CÍLŮ	38
5 SPECIFIKACE VÝROBKU	39
5.1 VOLBA MATERIÁLU VÝROBKU	40
6 KONSTRUKCE FORMY	41
6.1 NÁSOBNOST FORMY	42
6.2 ZAFORMOVÁNÍ DÍLCE	43
6.3 VTOKOVÝ SYSTÉM	44
6.3.1 Umístění vtoků	45
6.4 ODFORMOVÁNÍ	45
6.4.1 Výpočet šikmých čepů	45

6.5	VYHOZENÍ VÝSTŘIKU	47
6.6	TEMPERACE FORMY.....	48
6.7	ODVZDUŠNĚNÍ	50
6.8	VODÍCÍ A UPÍNACÍ ČÁSTI.....	50
6.9	RÁM FORMY.....	51
7	VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	54
	ZÁVĚR.....	55
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	56
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	58
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	59
	SEZNAM TABULEK	61
	SEZNAM PŘÍLOH.....	62

ÚVOD

Od první poloviny 20. století, kdy byly objeveny první plasty, se také nachází široké možnosti jejich uplatnění. Postupem času plasty zabírají stále větší procento využití materiálů v různých oborech lidské činnosti a dnes je již existence bez plastů nepředstavitelná. Je tomu tak díky jejich nesporným výhodám vůči ostatním materiálům, kde lze zvýraznit například výhodný poměr hmotnost – mechanické vlastnosti, rychlost zpracování nebo ekonomičnost výroby.

S růstem využití plastů se vyvíjí také stále dokonalejší technologie zpracování. Dnes je nejběžnější technologie vstřikování. Vstřikováním je možno vyrobit libovolné díly různých tvarů a složitosti s minimálním odpadem. Jak už název napovídá, postup spočívá ve vstříknutí taveniny plastu do dutiny formy, která je negativem požadované součásti. Při zpracování se používají vstřikovací stroje, do nichž se vkládají formy konstruované pro jednotlivé výrobky.

V současné době se při konstrukci forem využívá různých softwarových nástrojů. Taktéž existují specializované programy, nebo nástavby pro rozšířené konstrukční programy. Tento software poskytuje výhodu stavebnicového systému s využitím normalizovaných dílů přímo od firem zabývajících se výrobou vstřikovacích forem.

I. TEORETICKÁ ČÁST

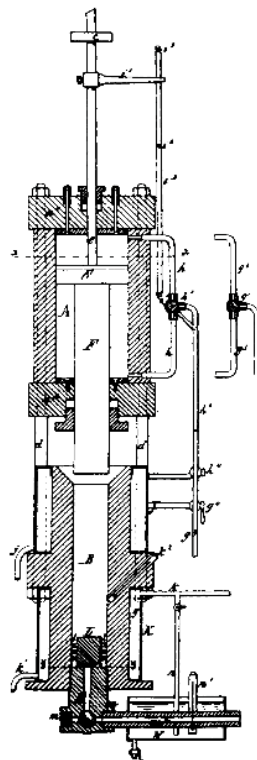
1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

Vstřikování je dnes nejběžnější způsob zpracování plastů. Základním principem této technologie je vstříknutí polymerní taveniny do dutiny formy. Zde tavenina ztuhne a získá požadovaný tvar.

1.1 Historie vstřikování plastů

1.1.1 Historie vstřikování plastů ve světě

Za zakladatele technologie vstřikování plastů jsou považováni bratři Hyattové. Tito bratři v roce 1870 náhodně objevili první termoplast, jímž byl nitrát celulózy rozpuštěný v alkoholovém roztoku kafru, dnes známý jako celuloid. S objevem termoplastu vyvstala také potřeba jeho zpracování, a tak bratři Hyattové zkonstruovali zařízení skládající se z parou ohřívaného válce s hydraulickým pístem (předchůdce dnešní plastikací jednotky) a trysky. Tryska byla umístěna kolmo na osu válce a dosedala na formu sestávající z dvou dílů, která byla uzavírána dalším hydraulickým válcem. Takto vznikl první vstřikovací stroj, na kterém vznikly první plastové výstřiky, což byly obštrikované kovové přezky a celuloidová jádra štětek na holení.[1]



Obr. 1 Schéma prvního vstřikovacího stroje[1]

1.1.2 Historie vstřikování plastů v Čechách

Prvopočátky zpracování plastů a užití technologie vstřikování u nás se nachází v období první republiky. Jako průkopník výroby zpracovatelských strojů pro plasty bývá označován Ing. Jaroslav Vltavský, který si po desetileté praxi založil vlastní firmu v Rakovníku. Jeho výroba započala sušičkami na chmel, posléze se přeorientoval na výrobu různých lisů, zejména pro potravinářský průmysl. Od potravinářských lisů již nebyla dlouhá cesta k lisu vulkanizačnímu, vyrobenému v roce 1920 pro firmu Baťa.

V roce 1929 začal Vltavský spolupracovat s firmou Polák Praha na výrobě hydraulických lisů pro lití kovů pod tlakem, ty se staly spolu s lisy na plasty hlavní vyráběnou komoditou těchto firem. Nejdříve to byly lisy na přímé lisování a přetlačování reaktoplastů, posléze přišly také stroje sloužící ke vstřikování termoplastů. Po skončení 2. světové války byla firma znárodněna a začleněna do Spojených továren na obráběcí stroje. V roce 1949 pak vznikl samostatný podnik TOS sídlící v Rakovníku.

V poválečném období dochází k postupnému rozšiřování zpracování termoplastů pomocí vstřikování do dalších firem. Významnější posun je posléze patrný v šedesátých letech minulého století, kdy dochází ke vzniku nových zpracovatelských firem a rozšiřování již zavedených podniků.

Postupem času se začalo ustupovat od koncepce pístových strojů (úhlových i vertikálních) a do roku 1970 byla výroba přeměrována na stroje šnekové, jichž se s různými modifikacemi používá dodnes. V této době byly u nás poněkud omezené možnosti, co se týká dostupných materiálů. Výrobci měli k dispozici pouze tyto: PE, PP, PS, SB, ABS, PA 6, PMMA, PVC. Soudobě bylo na evropském trhu k dispozici již přibližně 50 druhů.

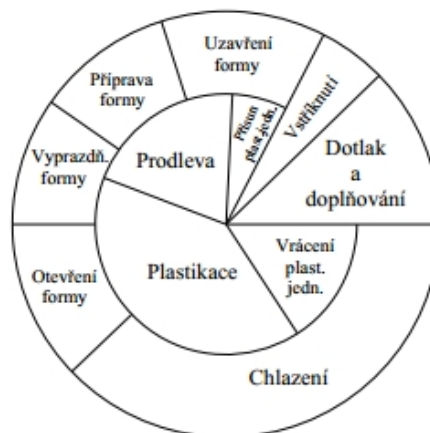
Po roce 1990 došlo k sjednocení úrovně našeho plastikářství s ostatními vyspělými evropskými zeměmi a náš trh se otevřel pro zahraniční investory, díky čemuž na našem území vzniklo mnoho úspěšných firem zahraničního i českého původu. V roce 2009 však nejen na plastikářský průmysl dolehla hospodářská krize, která způsobila snížení objemu výroby a také kvality v důsledku hledání co nejmenších nákladů. [1]

1.2 Teorie vstřikování

Vstřikování je cyklický proces, při němž se materiál v plastickém stavu vstřikuje vysokou rychlostí do uzavřené temperované dutiny formy. Tento proces je realizován ve vstřikovací stroji. Plast je dodáván ve formě granulátu, ze kterého je v plastikační jednotce vstřikovacího stroje připravena tavenina určená ke vstříknutí do formy.

1.2.1 Vstřikovací cyklus

Jak již bylo zmíněno výše, vstřikování je cyklický proces. Správné načasování tohoto procesu je velmi složité, jelikož je nutno zohlednit více faktorů. Nejdůležitější je správný čas chladnutí výrobku, který nesmí být příliš krátký, aby nedošlo k poškození při vyhazování v důsledku nedostatečné tuhosti, ani příliš dlouhý kvůli ekonomické stránce výroby. Zjednodušeně proces probíhá takto: Granulát je dodáván do plastikační jednotky vstřikovacího stroje, kde je roztaven na taveninu. Toto je realizováno za současného pohybu šneku, který tlačí vznikající taveninu směrem k vstřikovací trysce. Teplota taveniny je závislá na použitém materiálu, a je ji možno volit v určitém rozmezí (které je dáno konkrétním polymerem) podle potřeby, například s ohledem na velikost výrobku a samozřejmě také na ekonomiku procesu. Posléze je připravená tavenina vstříknuta do dutiny formy a dochází k tunutí taveniny do pevného stavu, jakmile to pevnost výstřiku dovolí je vyhozen z formy a na teplotu okolního prostředí se chladí mimo formu. Z následujícího schématu je patrné že proces je ve skutečnosti poněkud složitější a zahrnuje další pomocné operace jako například příprava formy (např. vložení dílu pro obšťikování) nebo dotlak sloužící k snížení míry smrštění a zvýšení hustoty výrobku. V rámci úspory času dochází k současnému průběhu více operací, pokud je to technologicky možné.

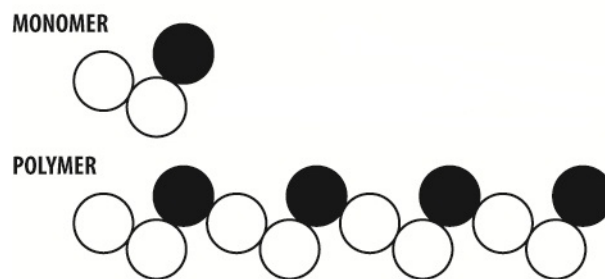


Obr. 2 Schéma vstřikovacího cyklu

1.2.2 Materiály používané při vstřikování

Technologie vstřikování vznikla po objevení plastů, jako nejvhodnější pro jejich zpracování. Je tomu tak kvůli vlastnostem polymerů, zejména relativně nízké teplotě tání oproti kovům a také jejich mechanickým vlastnostem, které upřednostňují tepelné zpracování oproti klasickému obrábění. S obráběním polymerů se sice lze také setkat, ale jen ve výjimečných případech, jelikož je ekonomicky náročnější než vstřikování.

Polymery se všeobecně liší od kovů, které jsou pravidelně uspořádané v krystalické mřížce, vyznačují poněkud nahodilou strukturou. Základním prvkem je zde mer, opakující se neustále za sebou při tvorbě polymerních řetězců, které mohou být lineární i větvené, což má vliv na vlastnosti jednotlivých polymerů. Přesto mohou být polymery také částečně krystalické, toto se nazývá semikrystalita.



Obr. 3 Monomer a polymer

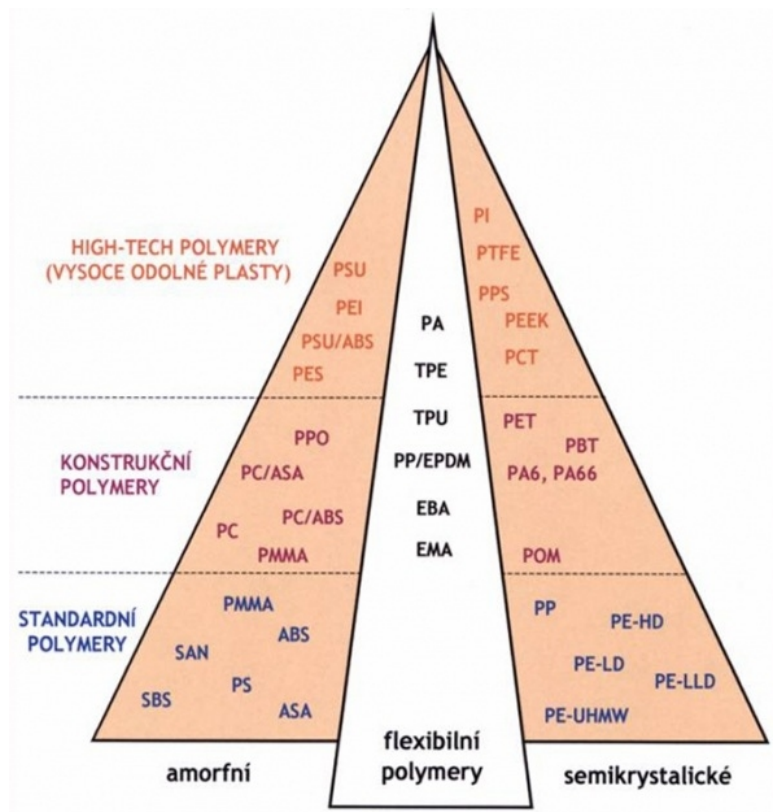
Používané polymery se rozdělují na:

- *Termoplasty*, mohou mít lineární i rozvětvené řetězce. Vyznačují se tím, že při ohřevu dojde k rozpadu jejich soudržnosti a je možné je přetvářet, po ochladnutí se navrátí do původní struktury. Toto je možno provádět opakovaně.
- *Reaktoplasty*, na rozdíl od termoplastů působením tepla a tlaku dojde k zesíťování což má za následek vytvrzení. Dostanou pevnou prostorovou strukturu, kterou již není možno měnit.
- *Elastomery*, spadají sem kaučuky, ze kterých se vulkanizací vyrábí pryže. Vulkanizace je proces, kdy se kaučuk podrobí zvýšené teplotě a tlaku přičemž dojde k zesíťování, což je dnes možno provést i ve vstřikovací formě. [2]

Plasty je také možno dělit podle míry jejich využití v průmyslu a všeobecně. Toto rozdělení se odvíjí především od ceny, která je dána náročností výroby jednotlivých polymerů a také cenou a dostupností jednotlivých složek ze kterých se polymer vytváří.

Zde se tedy polymery dělí na:

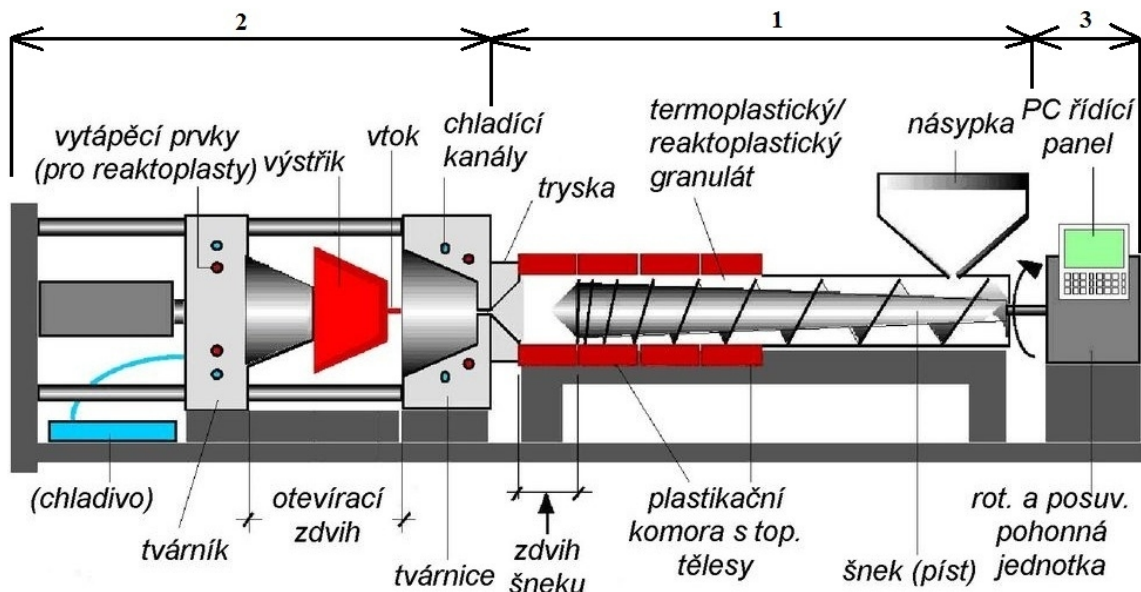
- *Standardní (komoditní) polymery*, jsou nejlevnější, tudíž také nejpoužívanější. Jejich vlastnosti jsou dostačující pro běžné použití. Tato skupina je v celkové výrobě polymerů nejvíce zastoupena. (PP, PS, PVC, PE)
- *Konstrukční polymery*, jejich cena je již výrazně vyšší, zato se liší výrazně lepšími užitnými vlastnostmi a zvýšenou tepelnou odolností. Tyto polymery se používají jako náhrada kovů, pokud je to možno. (PC, POM, PMMA, PU, EP)
- *Speciální polymery (High-tech)*, jsou nejnákladnější skupinou. Vytvíjí se většinou pro konkrétní účel, mají vysoké užitné vlastnosti. Velmi vysoká tepelná odolnost. Výroba je náročná a lze se s nimi setkat nejméně ze všech skupin. (PTFE, PSU, PPS, PI) [2]



Obr. 4 Rozdělení polymerů dle aplikace

1.3 Vstřikovací stroje

V dnešní době se vstřikování většinou již provádí na moderních vstřikovacích strojích, které jsou plně automatické. To však znamená vysokou pořizovací cenu samotného stroje i dalších náležitostí, proto je výroba vstřikováním vhodná především pro velkosériovou výrobu.



Obr. 5 Schéma vstřikovacího stroje [5]

Vstřikovací stroj se skládá z:

1. Vstřikovací jednotky
2. Uzavírací jednotky
3. Řízení a regulace

1.3.1 Vstřikovací jednotka

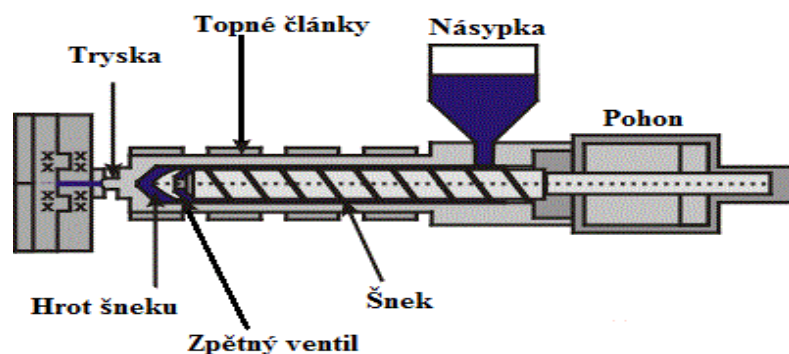
Vstřikovací jednotka slouží ke zpracování granulátu v taveninu o dané viskozitě a zároveň ke vstříknutí taveniny do dutiny formy. Jak už bylo zmíněno výše nejdříve se užívalo jednotek pístových, které postupem času nahradily jednotky šnekové. Největší částí vstřikovací jednotky je tavicí komora. Zde dochází k tavení granulátu, tento proces by měl probíhat co nejrychleji a v co největším objemu. Tavenina je dopravována pomocí šneku směrem k trysce, díky šneku je zaručena homogenita v celém objemu.

K charakterizaci vstřikovací jednotky se užívá těchto veličin:

- průměr D [mm]
- délka L [mm] šneku
- vstřikovací kapacita Q_V [cm³]
- plastikační kapacita Q_P [kg.h⁻¹]
- max. vstřikovací tlak $p_{vstř}$ [MPa]
- objemová vstřikovací rychlost v [cm³.s⁻¹] [3]

Některé výhody šnekových strojů:

- Spolehlivá plastikace a homogenita roztaveného granulátu
- Materiál se v plastikační komoře nepřehřívá
- Velký výkon i zdvihový objem
- Odstranění problémů s čištěním při výměně materiálů
- Přesné dávkování hmoty
- Nízké poklesy tlaku při pohybu hmoty v komoře
- Dobrá regulovatelnost vstřikovacího procesu [4]



Obr. 6 Řez vstřikovací jednotkou [5]

Šnek je zkonstruován tak aby mohl najednou dávkovat a dopravovat materiál, plastikovat, hnětat a vstřikovat do formy. Postupem času se dospělo od obyčejného šneku, ke šneku diferenciálnímu. Ten je typický kompresním poměrem, což je poměr objemu šnekového profilu (pro jedno stoupání závitu) pod násypkou k objemu profilu v předtryskové části šneku. Obvykle nabývá hodnot 1,5 až 4,5. Kompresní poměr lze ovlivnit buď změnou úhlu stoupání závitu, což je poněkud náročné a proto málo používané, nebo změnou průměru jádra šneku. [3]

Šnek má tři funkční pásma. První je šnekový kanál (též drážka šneku), umístěný pod násypkou, zde je šnek nejhlubší a průměr jeho jádra nejmenší. Průměr je zde konstantní, toto pásmo se nazývá vstupní. Zde je materiál stlačován, díky čemuž je z něj vytěšňován vzduch, dochází také už k zahřívání, ale materiál je natavován až ke konci této sekce. V prostředním pásmu se směrem k trysce zvyšuje průměr jádra a hloubka šnekového kanálu se zmenšuje. Materiál se dále stlačuje, tudíž se toto pásmo nazývá kompresní, zároveň zde dochází k nejintenzivnějšímu tavení materiálu. V posledním pásmu dochází k teplotní homogenizaci taveniny, název pásma je tedy homogenizační. Zde je průměr šneku opět konstantní. [3]

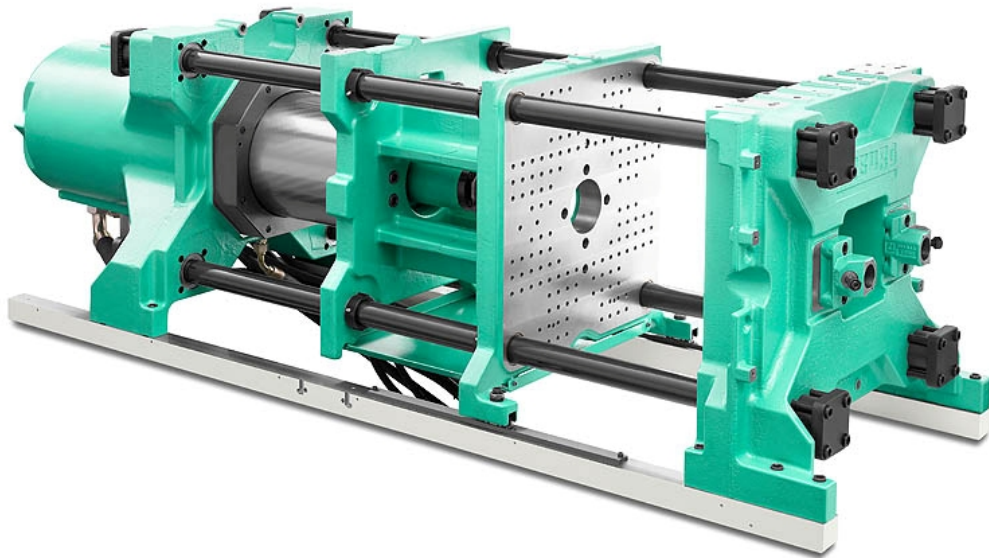
Na konci šneku u vstřikovací trysky je nutno počítat s vratným pohybem taveniny, který roste s nižší viskozitou taveniny. Proto se tato část navrhuje tak, aby se vratnému pohybu zamezilo, což je možno řešit tupým zakončením, nebo prodloužením zakončení špičky šneku. Nejčastěji se však užívá zakončení se zpětným ventilem, jelikož je nejspolehlivější. [3]

Tavicí komora je nejčastěji rozdělena do tří tavicích pásem, která jsou nezávisle na sobě vytápěna, a mají také samostatnou regulaci teploty. Teplota roste směrem od násypky k trysce. Teplota u násypky nesmí být příliš vysoká, jelikož by došlo ke spečení granulí, které by se předčasně natavily. To by mělo za následek vytvoření zátky v profilu šneku, což by znamenalo zamezení dalšího přísunu materiálu, z tohoto důvodu se oblast kolem násypky v některých případech chladí. [4]

Na konci tavicí komory nalezneme trysku, ta může být otevřená nebo uzavíratelná, otevírající se při dosedu vstřikovací jednotky na formu. Tryska spojuje dutinu formy s tavicí komorou a zajišťuje dopravu připravené taveniny. [4]

1.3.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka slouží k uzavírání a otevírání formy podle probíhajícího procesu. Musí zajistit uzavření formy dostatečnou silou, aby nedošlo k jejímu otevření tlakem vyvozeným vstřikovanou taveninou. U dnešních moderních přístrojů lze snadno naprogramovat rychlost i sílu uzavření formy. [4]



Obr. 7 Uzavírací jednotka [5]

Uzavírací jednotka má tyto části:

- Opěrná deska pevně spojené se strojem
- Pohyblivá deska s upnutou pohyblivou částí formy
- Upínací deska, kde se připevní statická část formy
- Vedení pro pohyblivou desku
- Uzavírací a přidržovací mechanismus

V současné době je k dispozici široká paleta hydraulických, mechanických, elektrických nebo kombinovaných uzavíracích systémů. [4]

1.4 Přehled speciálních způsobů vstřikování

S rozvíjejícím se využitím vstřikovaných plastů, vzrostly také nároky na samotný proces vstřikování. Proto došlo k různým modifikacím, tak aby proces lépe vyhovoval požadavkům na výrobek, popřípadě vlastnostem vstřikovaného polymeru. Takto vzniklé způsoby vstřikování se nazývají speciální.

Speciální technologie vstřikování plastů:

- *Vstřikování s podporou plynu*

Slouží k výrobě dutin ve výstřiku, do taveniny je pod tlakem vpraven plyn, nejčastěji Dusík.

- *Vstřikování s podporou kapaliny*
Obdobné jako výše zmíněné vstřikování s plynem, ten je však nahrazen kapalinou. Souží k výrobě průchozích dutin, například vzduchových trubic do automobilů.
- *Vstřikování sendvičů*
Nejprve je vstříknuto nebo vloženo jádro, které je následně obstříknuto do finální podoby. Lze použít i dva různé a však vzájemně mísitelné polymery.
- *Vícekomponentní nebo vícebarevné vstřikování*
Umožňuje kombinování více materiálů nebo barev do jednoho výstřiku. Využívá se vyššího počtu trysek.
- *Intervalové vstřikování*
Zvláštní případ vícebarevného vstřikování, kdy má jedna tryska více přívodů s různými barvami materiálu. Ty se smísí již v trysce a pak úpravou intervalu vstřikování lze ovlivnit barevný vzhled výstřiku.
- *Mramorové vstřikování*
Výroba mnohokomponentních nebo vícebarevných výstřiků. Místo klasického šneku je použit hnětací člen, kde dochází k mísení složek.
- *Vstřikování vlákny plněných termoplastů*
Nutno použít speciální hlavice, také je třeba pozměnit podmínky vstřikování, většinou vyšší tlak a teplota.
- *Vstřikování reaktoplastů*
Reaktoplasty na rozdíl od termoplastů docházejí k finální podobě vytvrzením, proto je nutno formu vyhřívát na vytvrzovací teplotu a výrobek vyházet z formy až po ukončení tohoto procesu. Používá se šnek s potlačenou kompresní částí, kvůli prevenci předčasného vytvrzení.
- *Vstřikování elastomerů*
Při vstřikování elastomerů dochází k vulkanizaci.
- *Vstřikování polymerů s prášky*
Slouží k výrobě přesných dílů s vysoce kvalitním povrchem. Polymer působí jako pojivo pro prášek, například z tvrdých kovů, oceli, keramiky, skla atd.
- *Reakční vstřikování*
Polymer je vstřikován v tekutém monomerním stadiu, ve formě dojde k polymeraci čímž se polymer vytvrdí do konečné podoby.

- *Kompresní vstřikování*
Vstřikuje se do pootevřené formy, která je následně uzavřena, čímž se výstřik do-
tváří.
- *Tandemové vstřikování*
Forma se dvěma dutinami, které jsou plněny samostatnými tryskami, mají vzájem-
ně posunutá cykly.
- *Vstřikování strukturních pěn*
Vstřikování s nadouvadlem, ve formě dojde ke zpěnění jádra výstřiku.
- *Hybridní technologie*
Polymer je nastříknut na polotovár z jiného materiálu (kov, textilie, dřevo), pro
dosažení lepších povrchových vlastností. [6]

2 VYUŽITÍ VSTŘIKOVANÝCH PLASTŮ V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

Automobilový průmysl vykazuje už od zahájení sériové výroby automobilů stabilní růst. Odhaduje se, že na Zemi je v současnosti přibližně 800 milionů automobilů, a předpovídá se, že v roce 2030 to budou již dvě miliardy. To naznačuje, že automobilový průmysl má pro nejbližší budoucnost velký investiční potenciál. [7]

S postupným rozvojem automobilové průmyslu se mění nároky na použité materiály a výrobní technologie ve prospěch plastů. Stále větší procento součástí je vyrobeno z plastu a to většinou vstřikováním. Je tomu tak z ekonomických důvodů, ale i díky tomu že pro některé aplikace mají polymery vhodnější vlastnosti než kovy. Důležitá je také úspora energie a snížení emisí.

2.1 Technické vlastnosti dílů

Při nahrazování kovového dílu plastovým v automobilovém průmyslu je nutno splnit náročné požadavky na technické vlastnosti a dokázat že nahrazený díl je skutečně použitelný a bezpečný. Například v oblasti motoru jsou součásti vysoce tepelně namáhány, proto se vyvíjí speciální polyamidy disponující vysokou tepelnou odolností, a jsou zároveň odolné stárnutí. [7]



Obr. 8 Příklad plastových dílů [7]

V roce 2010 byl představen Ultramid Endure s 35% objemu plněný skelnými vlákny, který si již nachází využití v sériové výrobě. Tento plast byl modifikován pro koncové uzávěry chladicího zařízení, tím že se navýšil obsah plniva na 50%. Takto je s tahovým modulem pružnosti více než 17 000 MPa po tepelném stárnutí téměř o 50% tužší než méně plněná verze. Je také odolný vůči tepelnému stárnutí až do 220°C a hodí se pro systém přípravy vzduchu v motoru. Díky těmto novým materiálům je možno stále větší nahrazování kovů plasty přímo v motorovém prostoru. [7]

2.2 Odolnost proti hořlavým kapalinám

Dále se plasty používají také na kryty a uchycení elektrických komponentů v oblasti motoru. Zde je nutné, aby plasty kromě mechanické odolnosti disponovaly také odolností vůči hořlavým kapalinám, vlhkosti, musí také obsahovat látky zabraňující hoření, kdyby došlo v elektronice ke zkratu. Zástupcem těchto komponentů je například kryt elektronického stabilizačního systému ESP 9, který se již využívá v mnoha automobilech. Tento kryt je vyráběn z materiálu Ultradur B4330G6 HR, spadá do kategorie PBT rezistentních vůči hydrolyze. Materiál prokazuje, že i po dlouhodobém testování při 85°C a relativní vlhkosti 85% si dokáže zachovat své mechanické vlastnosti v téměř nezměněných hodnotách, i po 5000 hodinách testování nejsou patrné známky degradace. Toto je výrazný pokrok vůči ostatním hydrolyze odolným PBT materiálům. [7]

2.3 Bezpečnostní výztuhy

V automobilovém průmyslu je kladen velký důraz na bezpečnost. Proto se stále zkoumají nové materiály odpovídající vysokým bezpečnostním nárokům. Zároveň však tyto materiály musí splňovat ekonomické požadavky, tedy především výrobní cenu a hmotnost. Pro tyto aplikace byl firmou BASF vyvinut materiál Ultramid Structure. Při testování Charpyho kladivem tento materiál dokázal překonat ostatní příbuzné plasty, a dokonce překonal o 33% i hliník. Díky těmto vlastnostem je vhodný pro užití v různých držácích, úchopech a výztuhách. Například jako výztuž se používá v náraznicích, kde absorbuje část energie nárazu, což může vést k menšímu zranění při střetnutí s chodcem. Vlastnosti Ultramidu Structure jsou dokonce tak dobré, že z něj lze vyrobit kompletní disk a tím ušetřit 30% hmotnosti oproti hliníkovým diskům. Při konstrukci těchto dílů se hojně využívá program Ultrasim, který detailně simuluje zatékání do formy, a uspořádání materiálu uvnitř.

2.4 Plasty v autosedačkách

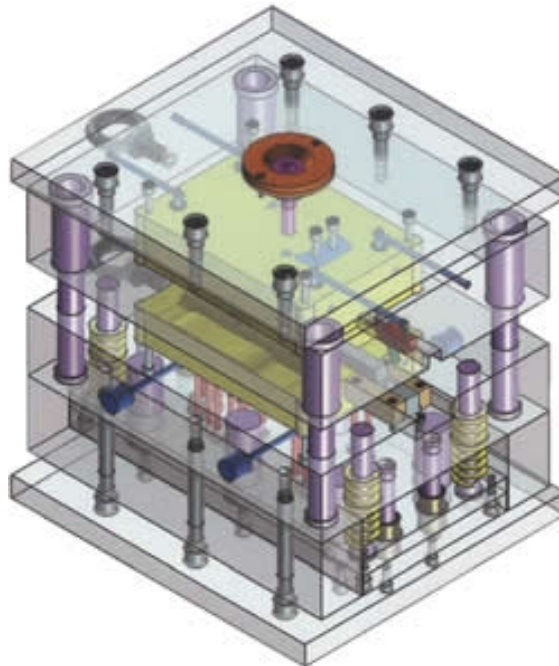
Použití plastů v konstrukci autosedaček umožňuje další snížení hmotnosti, proto se i zde přichází s novými materiály. Nadnárodní společnost BASF ve spolupráci s automobilovou společností Opel vyvinula inovativní skořepinu sedadla. Skořepina je vyrobena z termoplastického laminátu s kontinuální vláknitou výztuží. Skořepina je vyráběna formováním plátů laminátu za tepla ve formě, kde je následně obstříknuta polyamidem. Takováto autosedačka je o 45% lehčí než předchozí varianty. [7]



Obr. 9 Skořepina sedačky [7]

3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma pro plasty je velmi složitý nástroj, skládající se z mnoha částí. Konstrukce vstřikovací formy vyžaduje dobrou znalost reologických i mechanických vlastností vstřikovaného materiálu, od kterých se významně odvíjí výsledná podoba formy, samozřejmě také velmi záleží na tvaru vstřikované součásti. Z toho vyplývá, že na formu je kladena řada požadavků, které musí splňovat.



Obr. 10 Vstřikovací forma

Požadavky na formu:

- Odolnost vůči vysokým tlakům
- Zajištění požadovaných rozměrů a kvality výrobku
- Jednoduché odformování
- Jednoduchá manipulace a automatizovaný provoz
- Co nejmenší výrobní náklady
- Snadná a rychlá výroba
- Co největší procento využití vstřikovaného plastu [8]

Rozdělení forem:

- Dle násobnosti (počtu vstříknutých kusů na jeden zdvih)
- Dle způsobu zaformování a konstrukce
- Podle provedení vstřikovacího stroje [8]

Kategorizace jednotlivých dílů formy podle jejich použití:

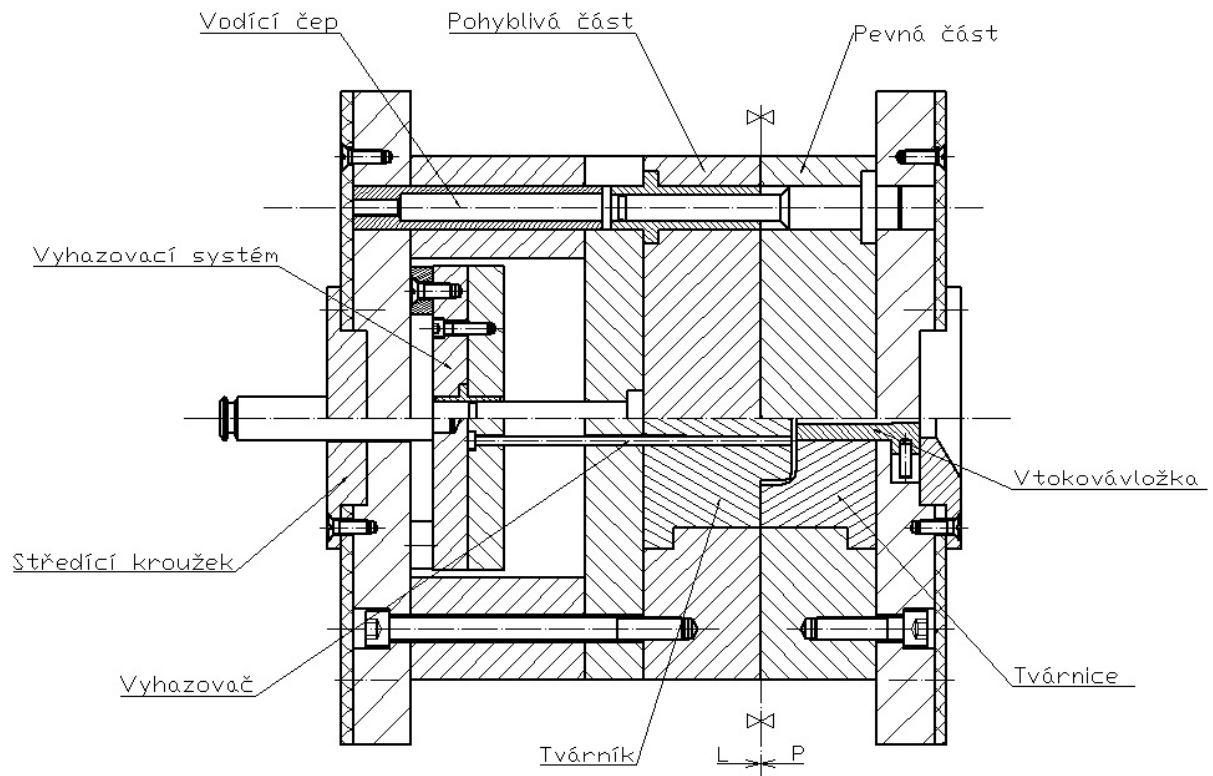
- Díly vymezující tvarovou dutinu
- Díly temperančního systému
- Součásti vtokového systému
- Upínací a vodící součásti [8]

3.1 Postup při konstrukci vstřikovací formy

Nejprve konstruktér obdrží potřebné podklady (výkres součásti, použitelné stroje, materiál, požadavky na výrobek, atd.), dle kterých se bude odvíjet samotná konstrukce. Poté následují tyto kroky:

- Určení tvaru a pozice dělicí roviny tak, aby umožňovala co nejjednodušší výrobu a procházela hranami vstřikované součásti. Toto se odvíjí od umístění vtoku, způsobu zaformování, tvaru a rozměrů součásti.
- Stanovení rozměrů tvarové dutiny formy. Určují se dle smrštění daného materiálu, výrobní tolerance a u velmi přesných dílů i opotřebení materiálu.
- Volba vhodného temperančního systému, vyhazovacího systému a ovzdušnění.
- Výběr vyhovujících materiálů pro jednotlivé komponenty formy podle jejich namáhání.
- Volba upnutí a vystředění na stroji. Odvíjí se především dle použitého vstřikovacího stroje.
- Kontrola kompatibility formy s použitým strojem. [8]

Konstrukce formy je také významně ovlivněna ekonomickými požadavky a termínem dodání. Proto je snaha, pokud je to možné, využívat co nejvíce normalizovaných součástí formy od specializovaných firem. Velmi používaný je například stavebnicový systém s díly vyrobenými firmami HASCO, D-M-E, STRACK.



Obr. 11 Popis hlavních částí vstřikovací formy [8]

Konstruktér také zodpovídá za estetickou podobu zadaného výrobku, což lze ovlivnit především jakostí povrchu dutiny formy.

Funkční plochy dutiny formy se vyrábějí v těchto podobách:

- *matné*, nejjednodušší na výrobu, schopny překrýt některé výrobní vady formy či nedostatky při vstřikování. Výchozí plocha po elektroerozivním obrábění.
- *lesklé*, podstatně dražší na výrobu, náročná technologie výroby, nutnost použití kvalitnějších materiálů. Tento povrch zvýrazňuje výrobní vady formy i výstřiku.
- *sezónové*, speciální úprava, která vyžaduje kvalitní materiál formy se speciálním opracováním povrchu. Vyrábí se elektrochemicky či elektroerozivně. [9]

Od drsnosti povrchu se odvíjí také odformovatelnost hotového výrobku, s vyšší drsností je obtížnější vyhodit výrobek z formy. Doporučené drsnosti povrchu dutiny formy se nachází v tabulce Tab. 1.

Tab. 1 Přehled doporučených drsností pro dutinu formy [8]

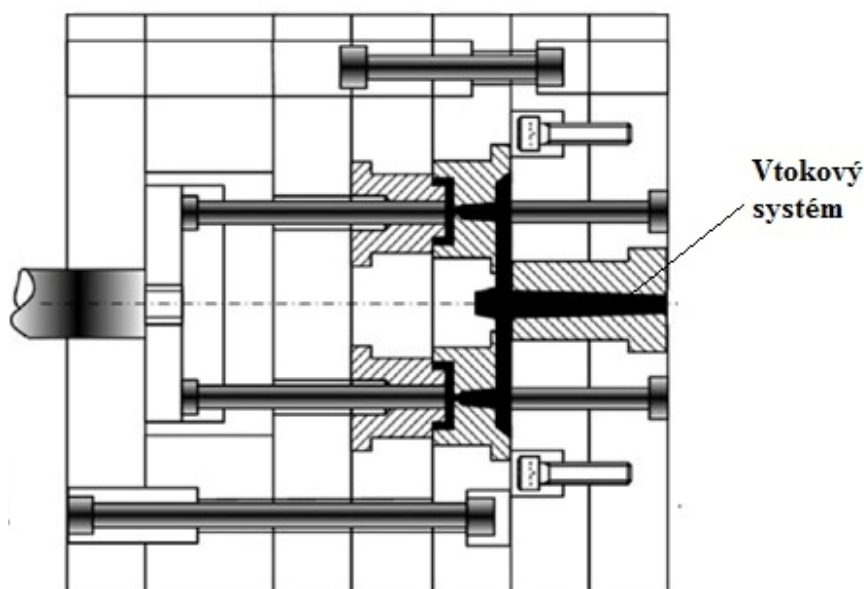
Drsnost R_a	Obrobená a požadovaná jakost ploch
0,05	nejpřesnější tvárnice a tvárníky s opracováním na vysoký lesk
0,1	tvárnice a tvárníky s opracováním na běžný lesk
0,2	tvárnice a tvárníky s dokonalým povrchem
0,4	tvárnice a tvárníky s matným povrchem opracování dosedacích ploch
0,8	opracování tvárnic a tvárníků u běžných forem a u dosedacích ploch
1,6	opracování tvárnic a tvárníků méně náročných forem a dosedacích ploch

3.2 Vtokový systém

Je to systém kanálů a trysek, který slouží k dopravě taveniny z plastikační jednotky do dutiny formy. Má za úkol naplnit dutinu formy teplotně rovnoměrnou taveninou v co nejkratším čase s minimálními odpory a snadné odloučení vtokového zbytku.

Volbu vhodného vtokového systému a polohy jeho ústí ovlivňují:

- Velikost, tvar a násobnost výstřiku
- Objem spotřebovaného plastu
- Obtížnost začištění vtoků na výstřiku
- Energetická náročnost výroby [9]



Obr. 12 Umístění vtokového systému ve formě [10]

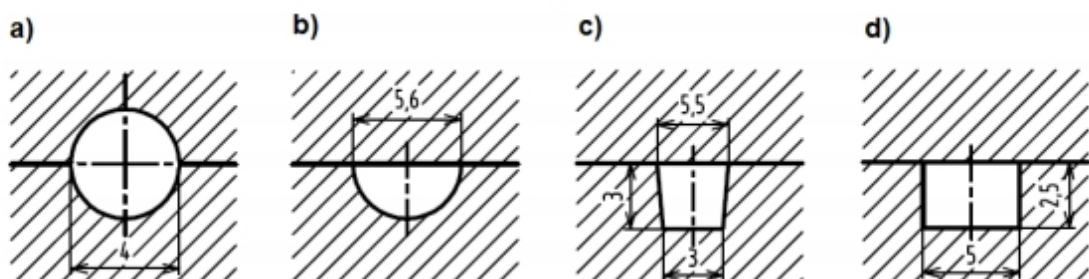
3.2.1 Studený vtokový systém

Při průtoku taveniny studeným vtokovým systémem vzrůstá její viskozita u stěn kanálů. Tato ztuhlá vrstva vytváří tepelnou izolaci pro taveninu protékající středem, dochází k fontánovému toku. Jakmile dojde k zaplnění celé formy, prudce vzroste vnitřní odpor a poklesne průtok. Teplo pak dále uniká do stěn formy, dokud nedojde ke ztuhnutí celého objemu dutiny. Dojde však také ke ztuhnutí plastu, který zůstal ve vtokových kanálech, tento proces je možno zpomalit dotlakem, avšak úplně zamezit mu nejde, jelikož stroj je limitován tlakem, který je schopen vyvinout. [9]

Požadavky na funkční vtokový systém:

- Co nejkratší dráha toku taveniny od ústí plastikační jednotky po dutinu formy
- Stejná dráha toku ke všem dutinám (u vícenásobných forem)
- Dostatečně velký průřez vtokových kanálů (pro zaručení dotlaku)
- Vyústění vtoků musí být navržena tak aby zajistila rovnoměrné zaplnění dutiny s minimálním rizikem vad výstřiku
- Je nutná stejná rychlost taveniny u vícenásobných forem (řeší se odstupňováním průřezů kanálů) [11]

Kanály vtokového systému se vyrábí v kruhových, půlkruhových, lichoběžníkových či obdélníkových průřezech. Nejpoužívanější je však průřez kruhový, jelikož jeho výroba je nejsnazší. Hodnocení vhodnosti průřezu se provádí pomocí tzv. smáčivého čísla a_s , které symbolizuje poměr průtočného průřezu vůči smáčenému průřezu. Čím je číslo vyšší, tím je průřez vhodnější. [11]



Obr. 13 Srovnání nejběžnějších průřezů podle smáčivého čísla [8]

$$a_s = a) 1; b) 0,86; c) 0,84; d) 0,83$$

Pro splnění výše uvedených požadavků je nutno dodržovat tyto zásady:

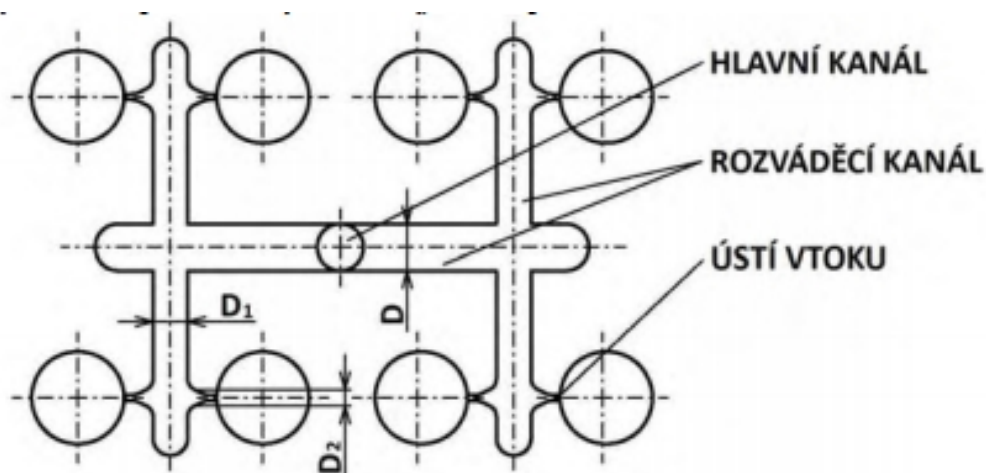
- Eliminace všech ostrých hran vtokových kanálů zaoblením
- Vytvořit úkosity vtoků kvůli jednoduchému odformování
- Povrch kanálů leštit ve směru vyjmutí
- Zachytávat chladnější čelo prodloužením slepých kanálů, před vstupem taveniny do formy
- Eliminovat místa s větším nahromaděním plastu
- Nevětvit vtokový systém pod ostrými úhly [11]

Vtokový systém se dělí na tři části:

Hlavní vtokový kanál, který navazuje na trysku vstřikovacího stroje má kuželový tvar s rozšířeným ústím do rozváděcího kanálu nebo přímo do dutiny formy. Vtoková část se konstruuje o 0,5 až 1 mm širší než průměr trysky. Velikost kužele se určuje podle hmotnosti výstřiku, s úkosem $1,5^\circ$.

Rozváděcí kanál se vyrábí s mírně větším nebo stejným průměrem jako ústí vtokového kanálu. V místě styku s ústím hlavního vtokového kanálu je nutno vytvořit jímku chladného čela taveniny, která zároveň usnadní vyhození zatuhlého vtokového zbytku.

Vtokové ústí bezprostředně navazuje na dutinu formy. Ve většině případů je zúžené, což má za následek zvýšení teploty taveniny před vstupem do dutiny. Musí zaručit kvalitní naplnění formy a zároveň být co nejmenší kvůli snadnému začištění. [9]



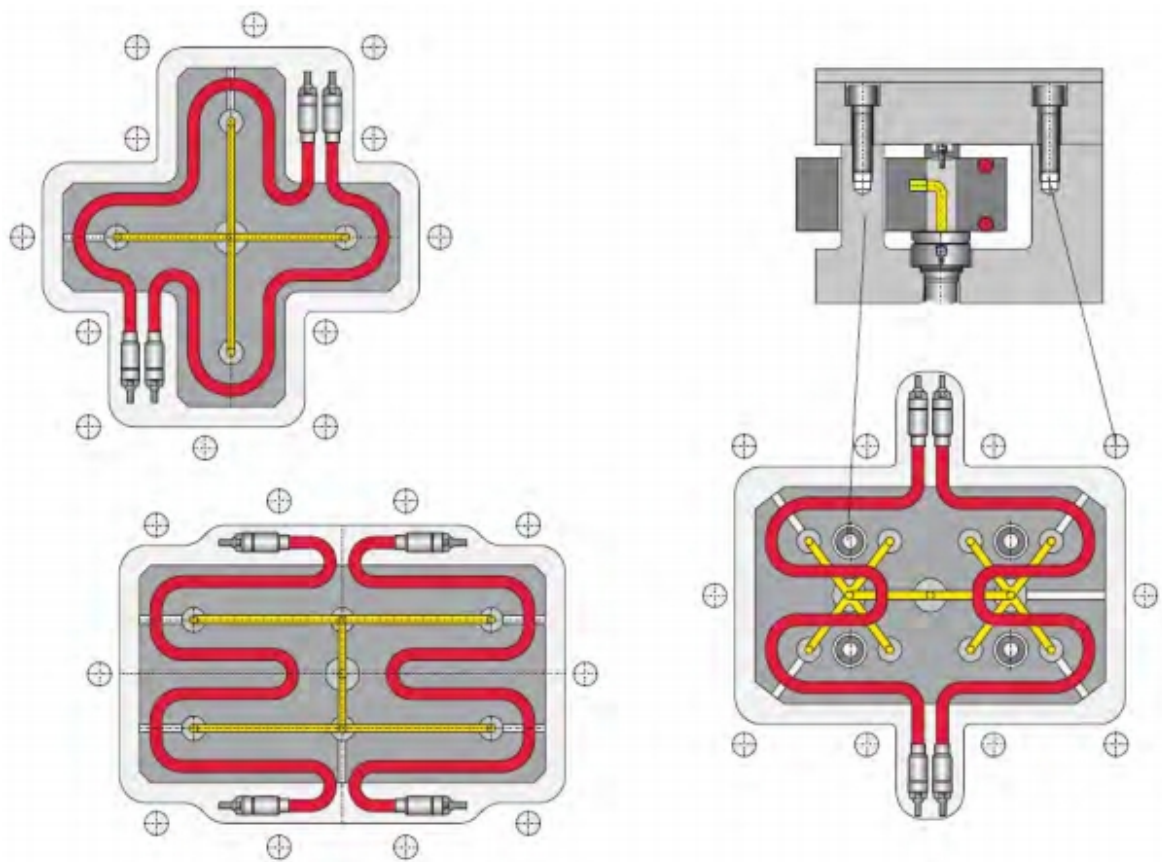
Obr. 14 Části vtokového systému [8]

3.2.2 Vyhříváný vtokový systém

Rozdíl oproti studenému vtokovému systému je v tom, že vtokové kanály jsou samostatně vyhřívány, díky čemuž v nich nedochází k tuhnutí taveniny. Odpadá zde problém s vyhazováním vtokových zbytků, což znamená úsporu materiálu a času. Vyhříváné vtokové systémy jsou však velmi náročné na výrobu, a tudíž i finančně. Proto nejsou běžně využívány, jejich užití je nutno pečlivě zvážit, a vypočítat kdy už se vyplatí. Samotné vyhřívání je řešeno například pomocí vhodně rozmístěných topných patron, nebo dostatečné izolace.

Vyhříváný vtokový systém se tedy používá především ve velkosériové a hromadné výrobě. Celá soustava je velmi tepelně a mechanicky namáhána, vyžaduje tedy větší tuhost formy a rozměrovou přesnost. [11]

Vyhřívání vtokového systému formy se řeší komplexně a je do formy vkládáno jako samostatný blok, popřípadě i více bloků najednou. Tyto bloky musí obsahovat také tepelné senzory, které dodávají zpětnou vazbu řídicí jednotce, jež reguluje potřebnou teplotu.



Obr. 15 Příklad konstrukce vyhříváných bloků [10]

3.2.3 Vyhazovací systém

Slouží k vyhození hotového výstřiku, popřípadě vtokových zbytků ven z formy. V důsledku smrštění tuhnutí výstřik přilne k profilu formy a po otevření nemůže sám vypadnout ven z formy, proto se konstruuje různé systémy pro vyprázdnění formy. Nejčastější je způsob pomocí mechanických vyhazovačů různých tvarů, lze však využít i různých pneumatických či hydraulických systémů.

Vyhození probíhá v tomto sledu: nejprve dojde k otevření formy v dělicí rovině, poté nastane dopředný pohyb vyhazovačů, který způsobí samotné vyhození, posléze se vyhazovače vrátí do původní polohy a forma se uzavře.

Aby mohl vyhazovací systém účinně fungovat, musí být povrch formy dostatečně hladký a výrobek musí mít patřičné úkosy $0^{\circ}30''$, jinak by nebylo možné výrobek bez poškození vyjmout z formy. Vyhazovací systém musí na výstřik působit rovnoměrně, jelikož při vzpříčení dojde k poškození a znehodnocení výstřiku. [9]

K vyhození výstřiku dojde, pouze pokud systém vyvine dostatečnou sílu. Tato síla se nazývá vyhazovací a závisí na:

- Hodnotě smrštění a jakosti povrchu dutiny formy
- Technologických podmínkách procesu vstřikování
- Pružných deformacích formy [9]

Vzhledem k velkému množství dalších faktorů ovlivňujících vyhazovací sílu a jejich obtížnému zjišťování se hodnota síly nepočítá. Místo výpočtu se u mechanických systémů značně předimenzuje a u hydraulických a pneumatických se odzkouší.

Typy vyhazování:

- Mechanické (Vyhazovací kolíky, Stírací deska, Šikmé nebo Dvoustupňové vyhazování)
- Pneumatické
- Hydraulické [11]

3.2.4 Temperační systém

Temperace slouží k udržení konstantního teplotního stavu formy, aby bylo dosaženo optimálních podmínek při vstřikování. Pojem temperace zahrnuje ohřev, ale také chlazení vnitřního prostoru formy.

Teperace významně ovlivňuje zaplnění dutiny formy a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí vstříknutého polymeru. Před započítím vstříkování je nutno formu predehrát na potřebnou teplotu, při neustálém opakování cyklu dochází k přehřívání formy a je nutno přebytečné teplo odvést z formy temperačním systémem.

Kvůli oblastem formy s různou teplotou se zvyšují rozměrové a tvarové úchytky výstřiku, čemuž má temperační systém bránit. V některých případech je však rozdílná teplota vhodná, například při rozdílné tloušťce stěny výstřiku.

Tab. 2 Přehled doporučených teplot pro dutinu formy [8]

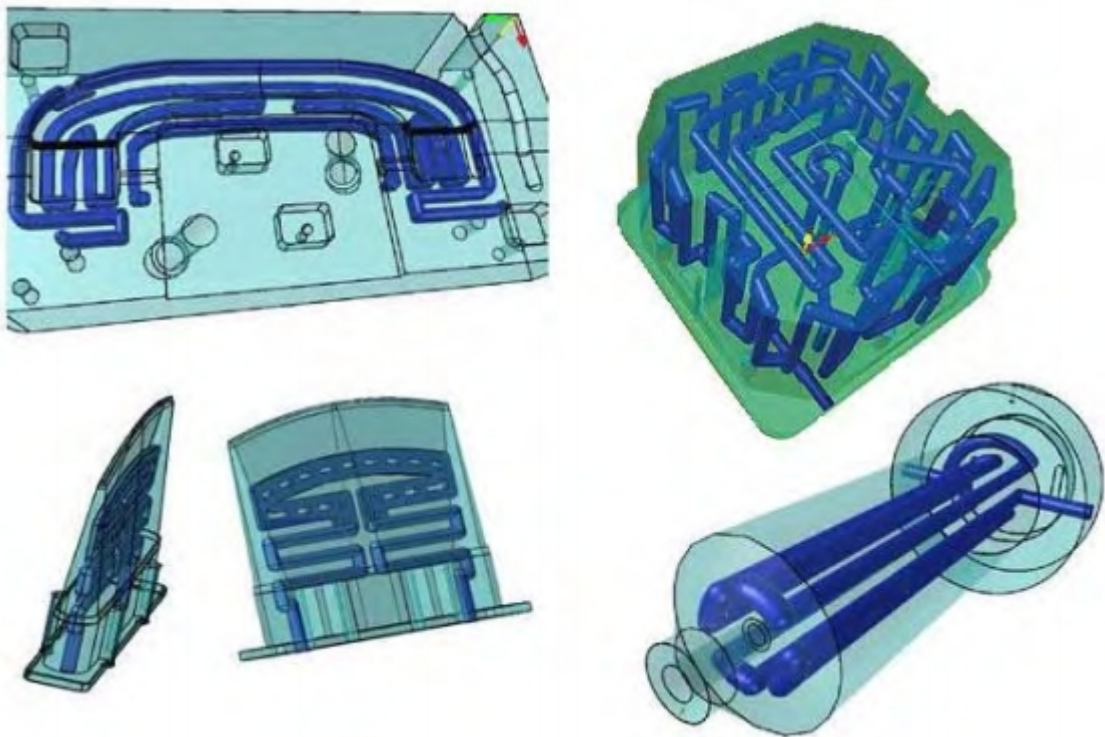
Termoplast	Teplota taveniny [C]	Teplota formy [C]
ABS	190-250	50-85
PA 6	230-290	40-120
PC	280-320	85-120
HDPE	180-270	20-60
LDPE	180-270	20-60
PMMA	200-250	50-80
POM	180-220	50-120
PP	170-280	20-100
PS	180-260	55-80
PVC tvrdé	190-220	30-60
SAN	200-260	50-85
PSU	340-400	120-160
PAEK	380-430	160-220
LCP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

Temperace slouží k:

- Zajištění rovnoměrného teplotního pole v potřebné výši na celém povrchu dutiny
- Odvodu tepla z formy tak aby celý proces probíhal co nejekonomičtěji

Dobře zkonstruovaný temperační systém spolu s dostatečnou hmotností formy zajišťují dobrou tepelnou stabilitu a tudíž malé nebezpečí deformace formy při vysokých vstříkovacích tlacích. [12]

Temperace formy na požadovanou teplotu je závislá na celkové energetické bilanci samotné formy a jejího okolí. Nejvíce tepla odvede k tomu určený temperační systém, zbytek jde do rámu stroje a okolního vzduchu. [12]



Obr. 16 Příklad temperačních systémů [5]

Temperační systémy jsou realizovány pomocí temperačních kanálů, kterými proudí vhodné teplovodivé médium. Pro rovnoměrné teplotní pole je třeba upravovat průtok kanálů a také jejich průřez.

Pravidla pro volbu vhodného temperačního systému:

- Vzdálenost kanálů musí být taková, aby nenarušila potřebnou tuhost dutiny
- Nejintenzivnější odvod tepla je nutný v místě vtoku taveniny do dutiny
- Kapalina musí proudit od nejteplejšího místa k nejchladnějšímu
- Průřez kanálu volit nejlépe kruhový
- Kanály rozmisťovat s ohledem na tvar výstřiku
- Dbát na těsnost kanálů
- Vyvarovat se mrtvým koutům
- Neumisťovat kanály v blízkosti hran výstřiků
- Průměr kanálů musí být nejméně 6 mm[12]

3.2.5 Odvzdušnění formy

Před naplněním formy se v tvarové dutině i rozvodných kanálech nachází vzduch. Při vstřikování je stlačován a narůstá jeho tlak. Při překročení kritického tlaku může dojít až ke vznícení vzduchu a spálení plastu (tzv. Dieselův efekt). Vzduch nacházející se v dutině formy je také zodpovědný za různé vady výstřiku. Proto je nutno jej z formy odvést.

Vzduch může z formy uniknout dělicí rovinou nebo mezerami v pohyblivých částech formy. V případě že se tak nestane je nutno opatřit formu odvzdušňovacími kanály, které musí být konstruovány tak, aby nedocházelo k zatékání plastu do jejich prostoru. [11]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 STANOVENÍ CÍLŮ

V bakalářské práci byly stanoveny tyto cíle:

- Vypracovat literární studii na dané téma
- Nakreslit model vstřikovaného výrobku
- Provést konstrukční návrh vstřikovací formy
- Nakreslit výkres sestavy formy

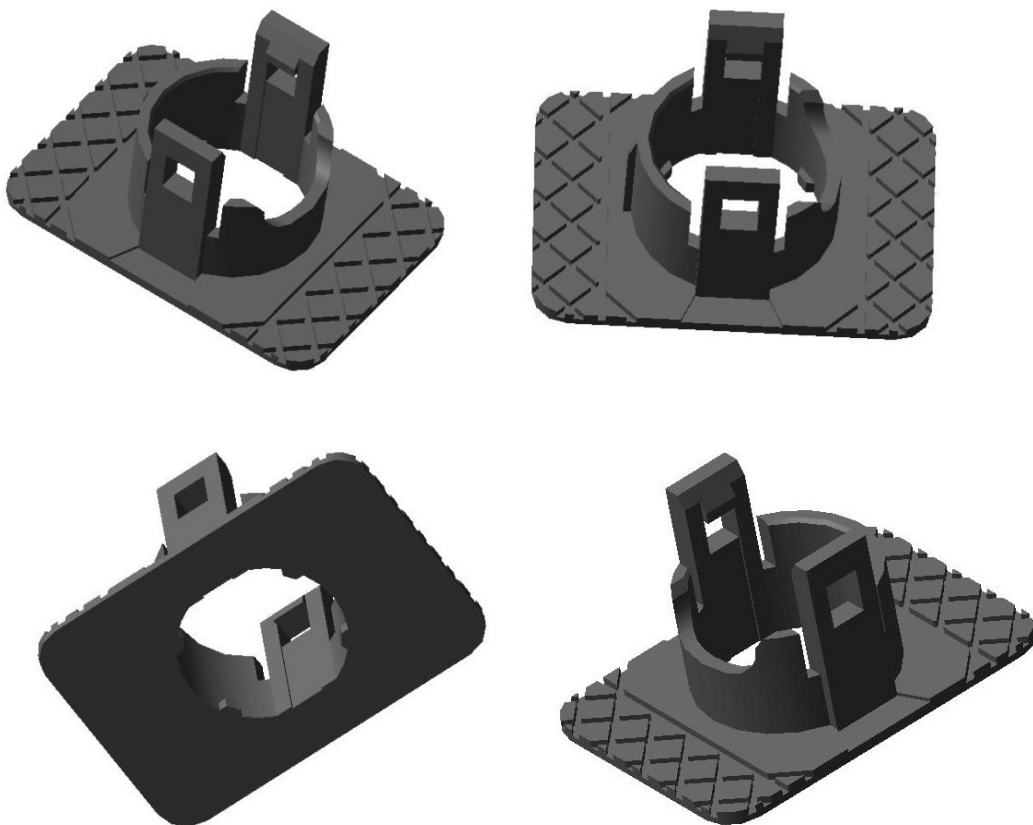
Úkolem literární studie bylo zevrubně přiblížit problematiku vstřikování a samotné konstrukce formy pro vyráběný díl. Obsahuje také náhled na využití vstřikovaných výrobků v automobilovém průmyslu.

V praktické části byl nejdříve vytvořen 3D model podle zadaného výrobku. Pro tento model byl dále vytvořen konstrukční návrh vstřikovací formy ve 3D.

Při konstrukci výrobku i formy bylo použito programu Catia V5R18 a HASCO DAKO modul a jeho normálí.

5 SPECIFIKACE VÝROBKU

Vstřikovaným výrobkem je plastová úchytka osvětlení používaná v automobilech. Díl má plochou základnu, která je opatřena z horní strany mřížovitým odlehčením pro úsporu materiálu, ze strany spodní je tato základna hladká, jelikož se na ni lepí oboustranná páska k připevnění na karoserii automobilu. Ze základny vystupuje část sloužící k uchycení, která je tyčovitého charakteru, výstupek je dutý se zpětnými háčky a dvěma kolmými otvory.



Obr. 17 Vstřikovaná součást

5.1 Volba materiálu výrobku

Jako materiál pro tento výrobek byl zvolen **Ultramid B3GM35 Q641** od firmy BASF Customer Specific Grades. Tento materiál je vhodný pro vstřikování a má optimální vlastnosti pro vstřikovaný výrobek. Je to polyamid 6 plněný z 15% skelnými vlákny a z 25% minerály. V tabulce č.3 jsou vybrané fyzikální, mechanické a zpracovatelské vlastnosti.

Tab. 3 Vybrané vlastnosti materiálu

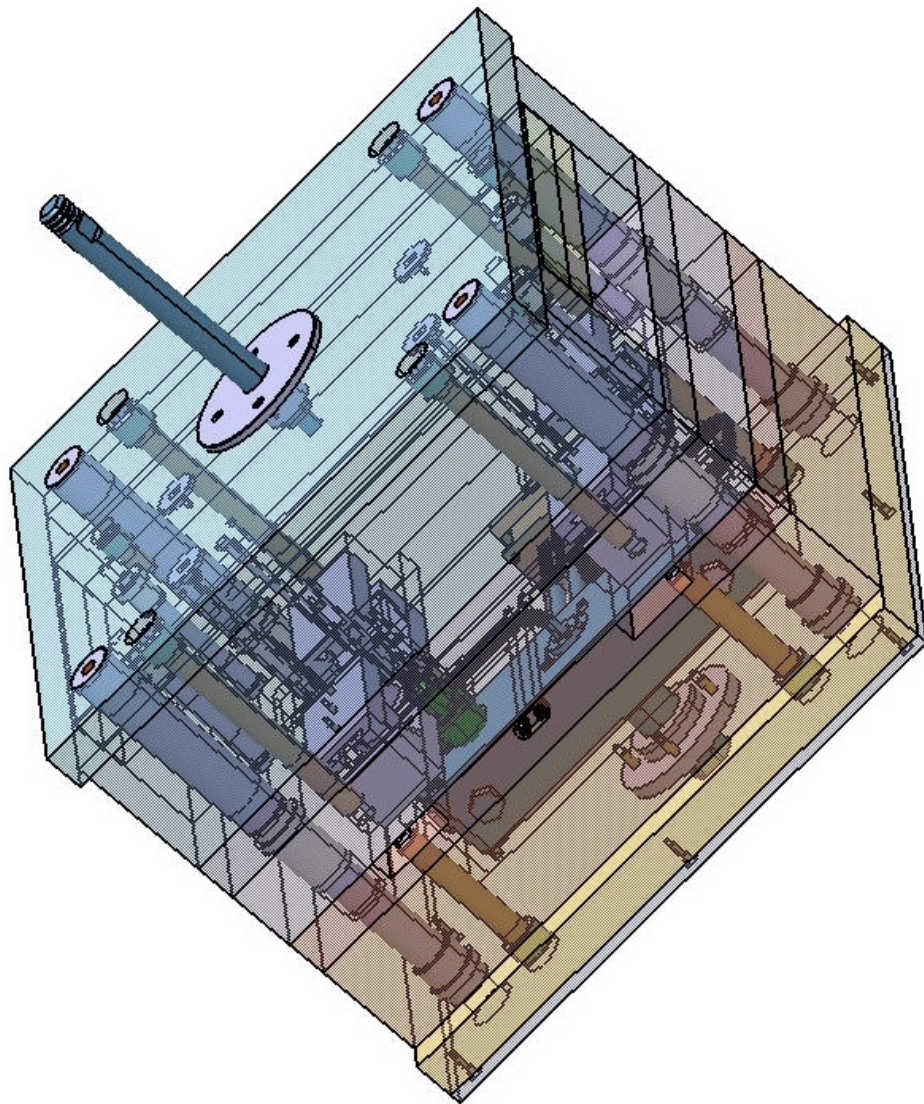
Název	Jednotky	Hodnota
Hustota	kg/m ³	1183
Modul v tahu	MPa	527
Poissonovo číslo	-	0,39
Modul ve smyku	Mpa	2000
Teplota předehřátí formy	°C	85
Teplota taveniny	°C	280
Vyhazovací teplota	°C	185



Obr. 18 Granulát Polyamidu 6

6 KONSTRUKCE FORMY

Konstrukce vstřikovací formy byla realizována v programu Catia V5R18, z jehož knihovny byly použity normálie firmy Hasco. Normálie, které se nenacházely ve vlastní knihovně programu Catia V5R18 byly importovány z databáze Hasco Dako modulu firmy Hasco. Při konstrukci formy byla snaha o maximální využití normalizovaných prvků pro zjednodušení, zrychlení a zlevnění formy.



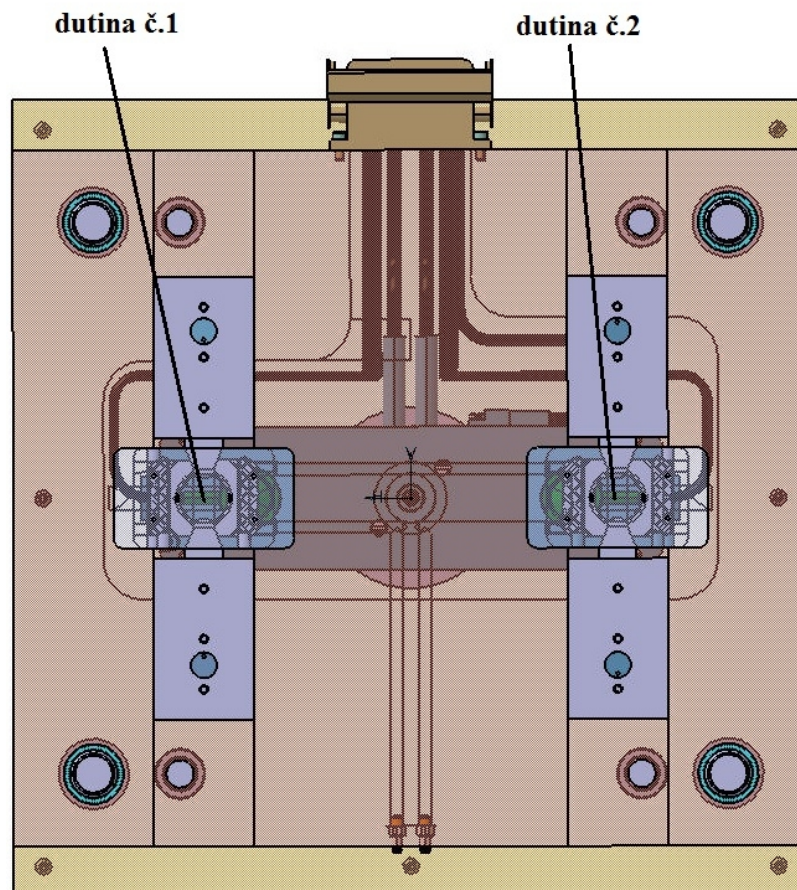
Obr. 19 Vstřikovací forma

6.1 Násobnost formy

Volba počtu dutin formy je ovlivněna několika faktory, nejdůležitější jsou:

- velikost výstřiku,
- požadované množství,
- velikost a kapacita stroje,
- požadovaná přesnost výstřiku.

Pro zadaný výrobek byla podle velikosti a předpokládaného uspořádání odformování zvolena dvojnásobná forma. Zvolená násobnost významně ovlivní výslednou koncepci formy, a je nutno zvážit ekonomičnost této volby, jelikož větší počet dutin významně urychlí výrobu, ale také zvýší náklady na výrobu formy.

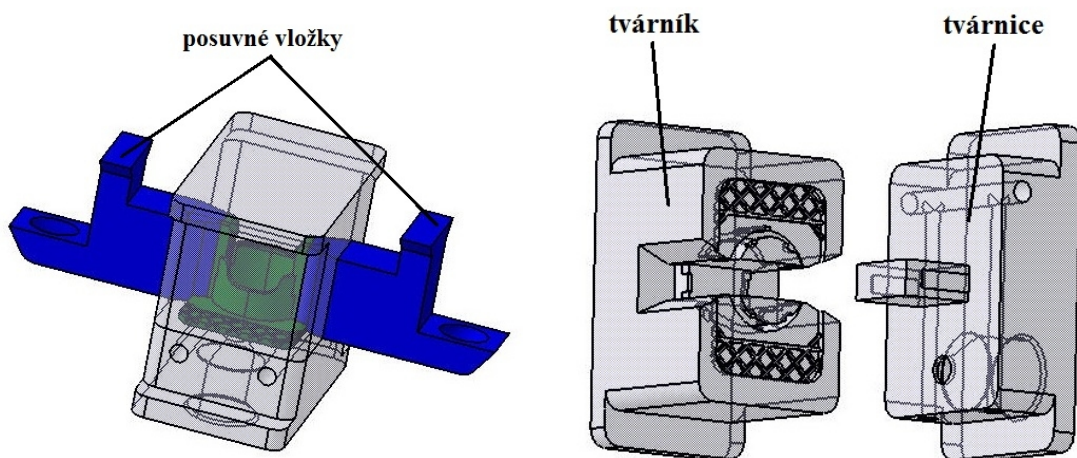


Obr. 20 Rozvržení dutin ve formě

6.2 Zaformování dílce

Při volbě dělicích rovin je nutno zohlednit především způsob odformování hotového výstřiku z dutiny, dále je pak vhodné zohlednit ekonomickou stránku a snažit se nalézt co nejjednodušší způsob.

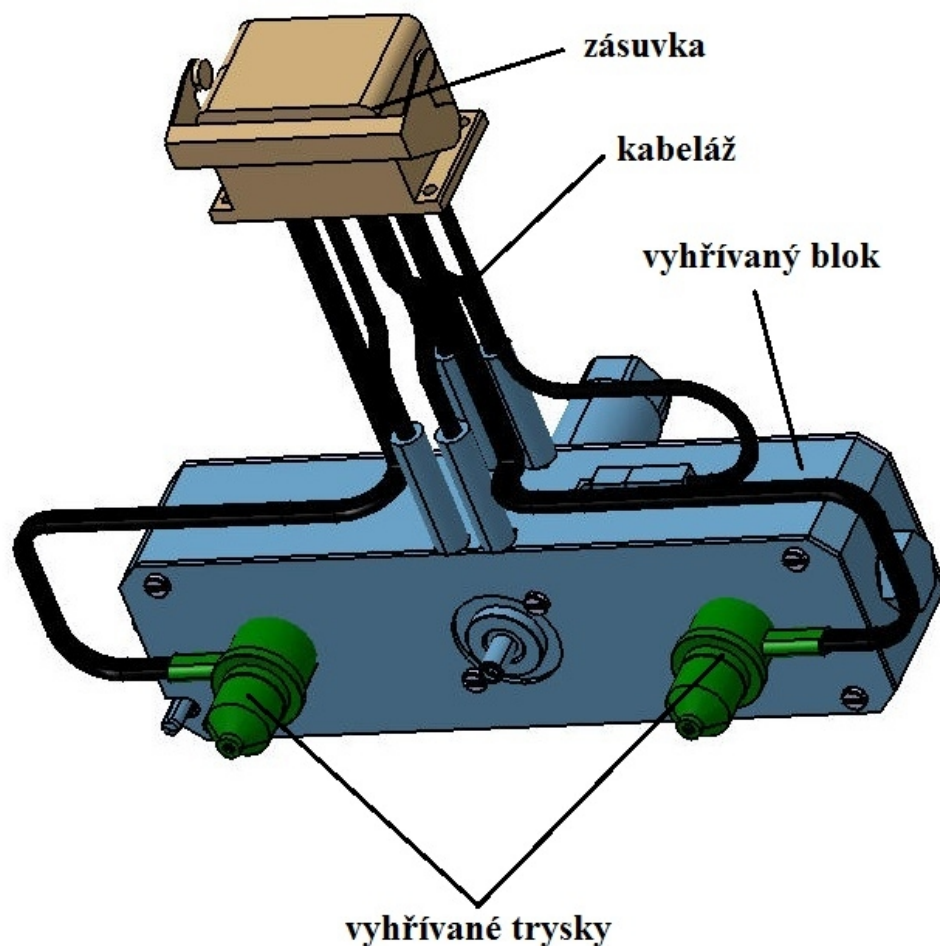
Pro zadaný výrobek je hlavní dělicí rovina umístěna rovnoběžně s deskami formy, tato je umístěna na spodní ploché straně výrobku. Dále jsou zde vedlejší dělicí roviny, umožňující vytvoření kolmých děr a zpětných háčků. Jelikož výrobek obsahuje otvory kolmé ke směru vyhození výstřiku z dutiny, je nutno použít posuvných vložek pohybujících se na šikmých vodicích kolících. Dílec po otevření formy zůstává v pohyblivé části, odkud je následně vyhozen. Jelikož je výrobek uprostřed dutý, většina jeho objemu se nachází v tvárníku, a tvárnice zastává úlohu jádra. Tvárník a tvárnice jsou zapuštěny do desek formy a opírají se o opěrné desky, čímž je vymezena jejich poloha.



Obr. 21 Zaformování součásti

6.3 Vtokový systém

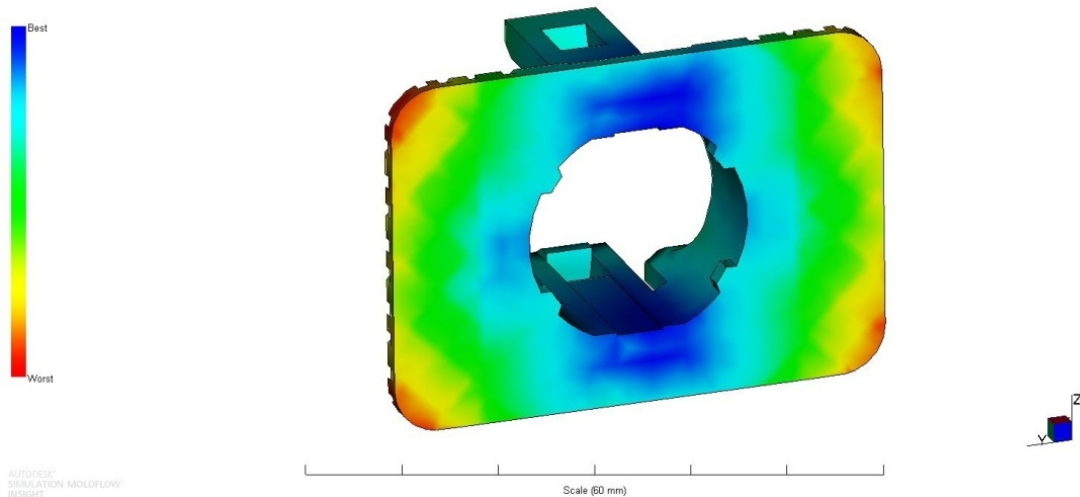
Vzhledem k tvaru součásti byl zvolen vyhřívaný vtokový systém. Je tomu tak především kvůli problematickému odstranění vtokových zbytků při užití studeného vtokového systému. Horký vtokový systém zvýší náklady na výrobu formy, ale dojde ke zkrácení času celého cyklu a snížení spotřeby polymeru, tudíž konečný ekonomický rozdíl není tak velký. Byl použit standardizovaný blok od firmy Hasco. Blok obsahuje dvě vyhřívané trysky.



Obr. 22 Horký vtokový systém

6.3.1 Umístění vtoků

Pomocí programu Moldflow byla provedena analýza Gate-Location pro nalezení nejvhodnějšího umístění vtoku na kterou byl v co největší možné míře brán ohled. Modrá barva znázorňuje nejvhodnější umístění, červená naopak nejméně vhodné umístění vtoků.



Obr. 23 Analýza vhodnosti umístění vtoku

6.4 Odformování

Jelikož výrobek obsahuje otvory kolmé ke směru vyhození z formy, je nutno použít posuvných vložek, které umožní tyto otvory vytvořit. Vložky se pohybují na šikmých čepech, které jsou upevněny na nepohyblivé straně formy.

6.4.1 Výpočet šikmých čepů

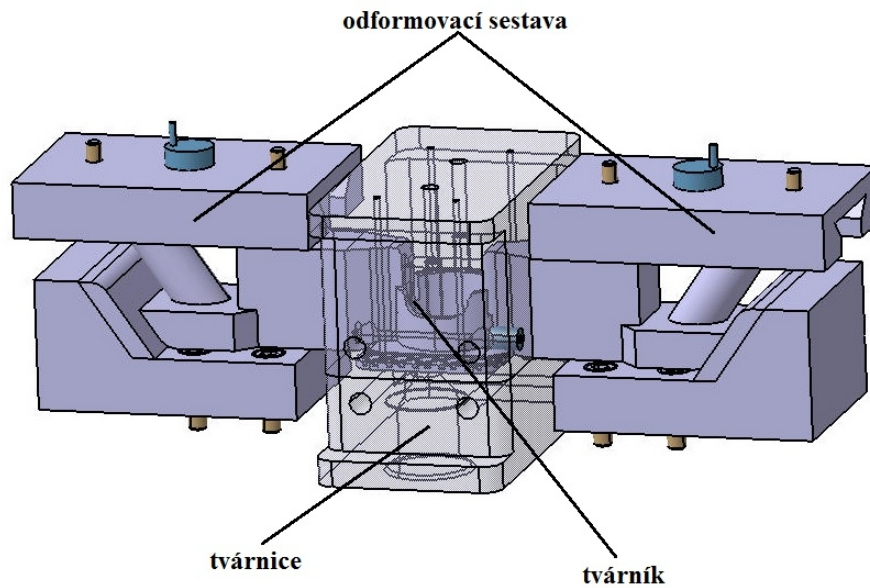
Tloušťka desky.....a = 27mm

Délka potřebná pro odformování.....b = 30mm

Úhel šikmého kolíku..... $\alpha = 55$

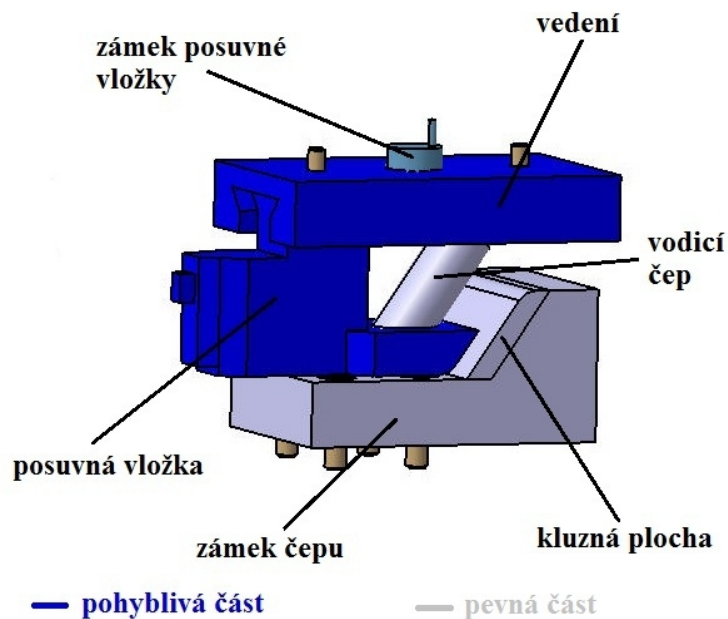
$$l = \frac{a + b}{\sin \alpha} = \frac{27 + 30}{\sin 55} = 70mm$$

Potřebná délka kolíku pro bezpečné vyhození výstřiku z formy je 70mm.



Obr. 24 Odformování

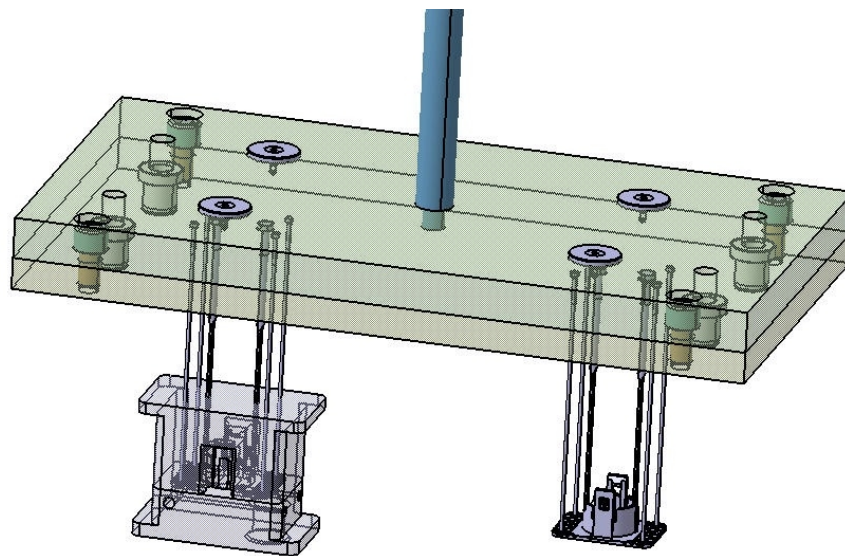
Při otevírání formy se posuvná vložka posouvá po čepu a zároveň je vedena v drážce vedení, dojde k jejímu vysunutí z tvárníku, tím je umožněno vyhození výstřiku z formy. Vodicí čepy jsou zasazeny do zámku, jehož součástí je i kluzná část pro posuvnou vložku, která zajišťuje vyšší stabilitu při posuvu vložek. Vedení je pak upevněno na pohyblivé straně formy. Na výrobku jsou dva kolmé otvory na protějších stranách, proto je potřeba dvou takovýchto protisměrných mechanismů pro každou dutinu.



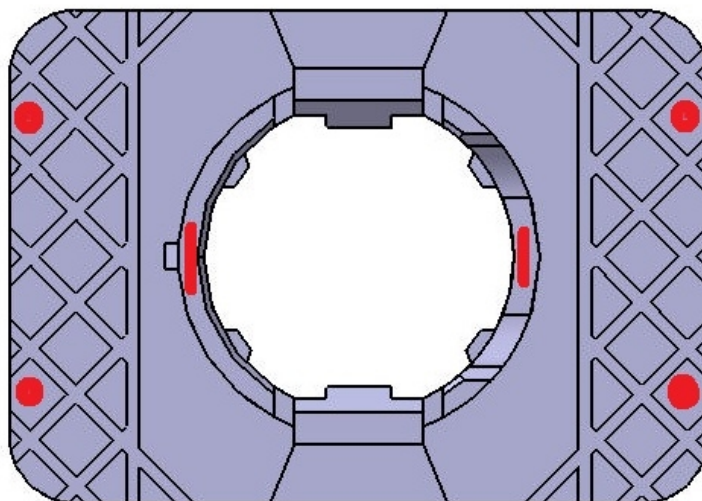
Obr. 25 Princip odformování

6.5 Vyhození výstříku

Vyhození výstříku z formy je realizováno pomocí válcových a plochých prizmatických vyhazovačů, které jsou na ploše výstříku umístěny tak, aby nedošlo k jeho poškození a zapříčení při vyhození. Vyhození je celé provedeno na jeden zdvih. Válcové vyhazovače se při vyhození opírají o spodní plochu výrobku, prizmatické vyhazovače působí na kruhovém výstupku. Vyhazovače působí na funkční straně, a po vyhození zůstávají na výstříku patrné stopy, u výrobku však nejsou kladeny žádné zvláštní požadavky na vzhled.



Obr. 26 Vyhazovací systém

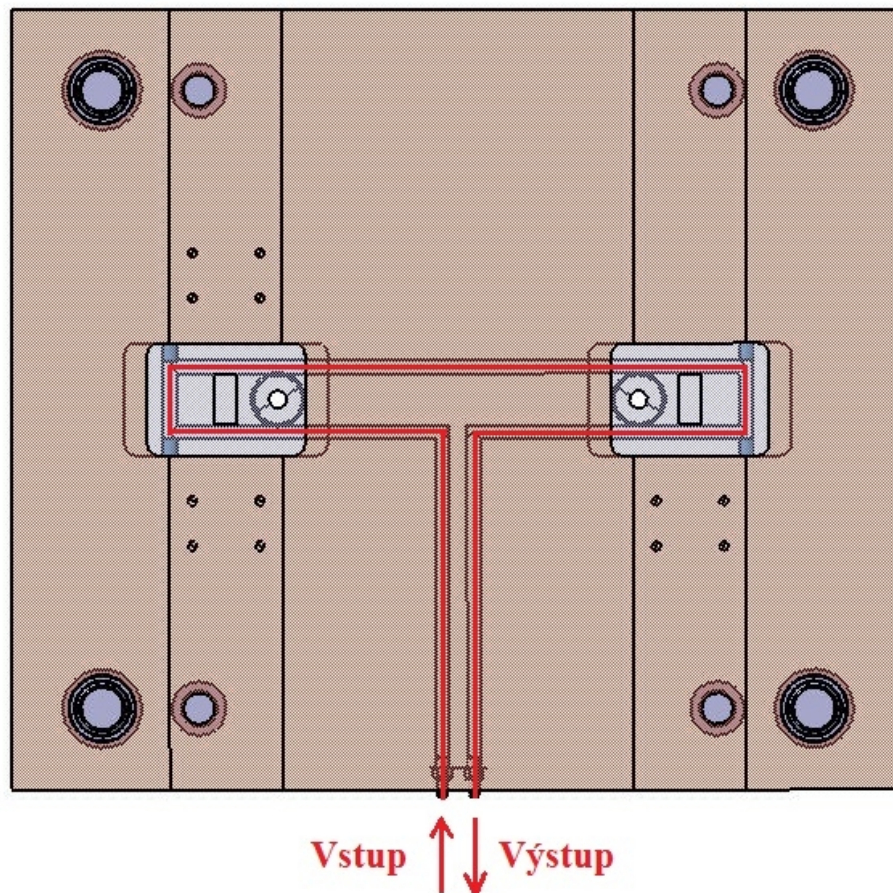


Obr. 27 Pozice působení vyhazovačů

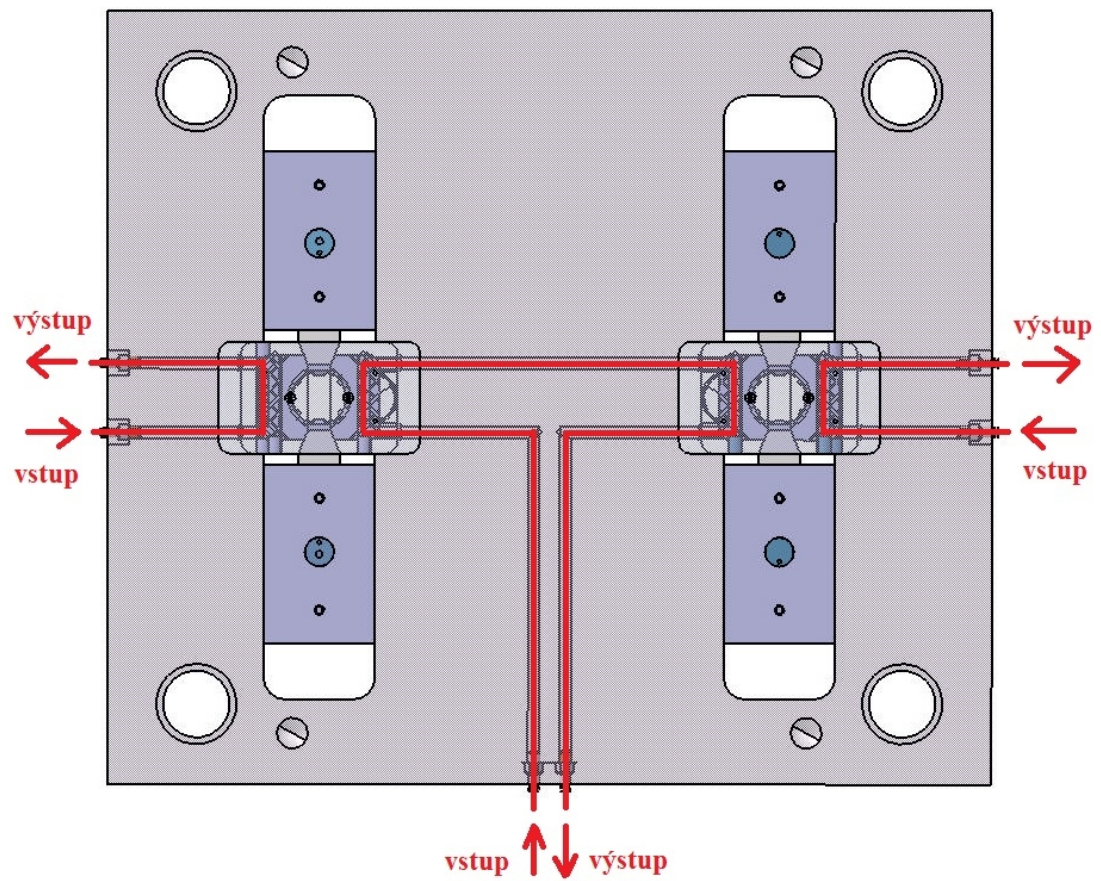
6.6 Temperace formy

Vstřikovací formy se temperují pro udržení stabilního teplotního pole. Stabilní teplotní pole zajišťuje snížení možnosti deformace samotné formy i výstřiku vlivem teploty. Dále také zrychluje výrobní cyklus. Dále se vlivem temperace snižuje čas k ochlazení výstřiku na vyhazovací teplotu, což také snižuje (zrychluje) celkový čas výrobního cyklu.

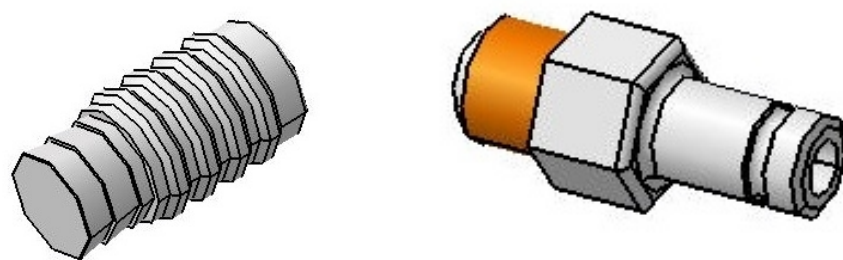
Temperace v této formě je realizována pomocí vrtaných kanálů kruhového průřezu o průměru 6 mm. Vzhledem k tvaru výstřiku a pozici vyhazovačů byly vytvořeny čtyři samostatné větve. Větev umístěná v kotevní desce pravé slouží k chlazení tvárnice. Tvárník je chlazen třemi větvemi vyvrtanými v kotevní desce levé. Části kanálů, ve kterých nemá proudit chladicí médium, byly zaslepeny ucpávkami, aby nedocházelo k únikům proudícího temperančního média. Vstup a výstup z okruhu je zajištěn koncovkami, které jsou zasazeny do vyhloubení v desce formy, aby bylo minimalizováno riziko poškození. Přechody kanálů mezi deskou a tvárníkem jsou utěsněny pomocí o-kroužků.



Obr. 28 Temperace tvárnice



Obr. 29 Temperace tvárniku



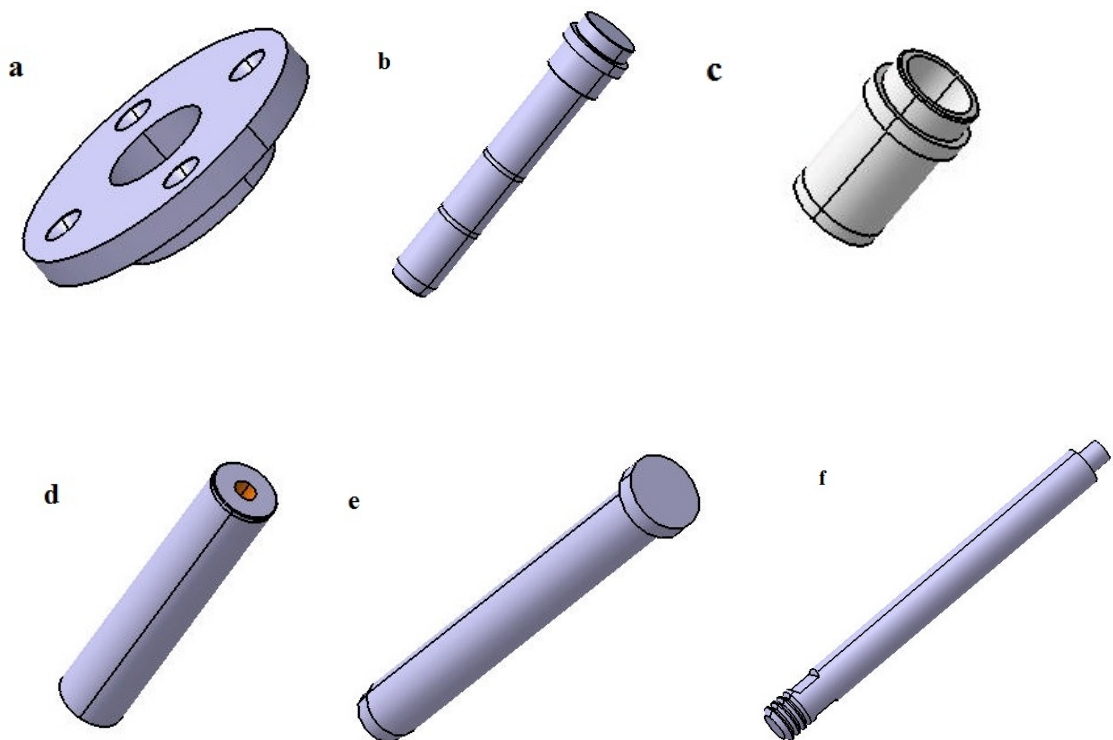
Obr. 30 Ucpávka a koncovka

6.7 Odvzdušnění

Odvzdušnění slouží k odstranění vzduchu, který se nachází v dutině formy před vstříknutím roztaveného polymeru. Při vstříknutí dochází k jeho stlačení a tím k prudkému zahřátí plynu na vysokou teplotu, toto může zapříčinit vznik vad výstřiku. K odvzdušnění této formy by měli postačit výrobní vůle u vyhazovačů a netěsnosti v dělicí rovině.

6.8 Vodící a upínací části

Při konstrukci formy byla snaha maximálně využít normálií z katalogu firmy Hasco pro usnadnění výroby. Byly to především součásti k vedení pohyblivých částí a středění formy, jako jsou vodící čepy, vodící pouzdra, středící kroužky a dále také spojovací šrouby. Forma je k vstříkovacímu stroji upnuta za upínací desky, a následně vystředěna středícími kroužky.

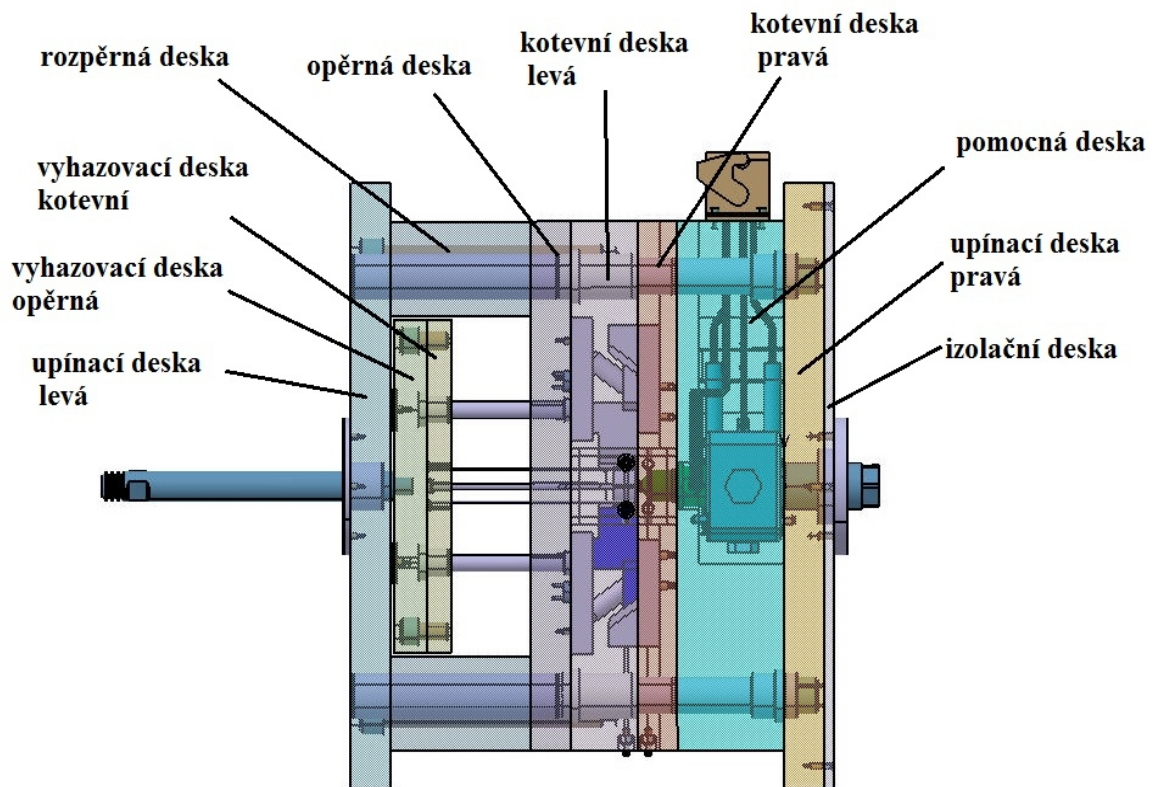


Obr. 31 Vodící a upínací části

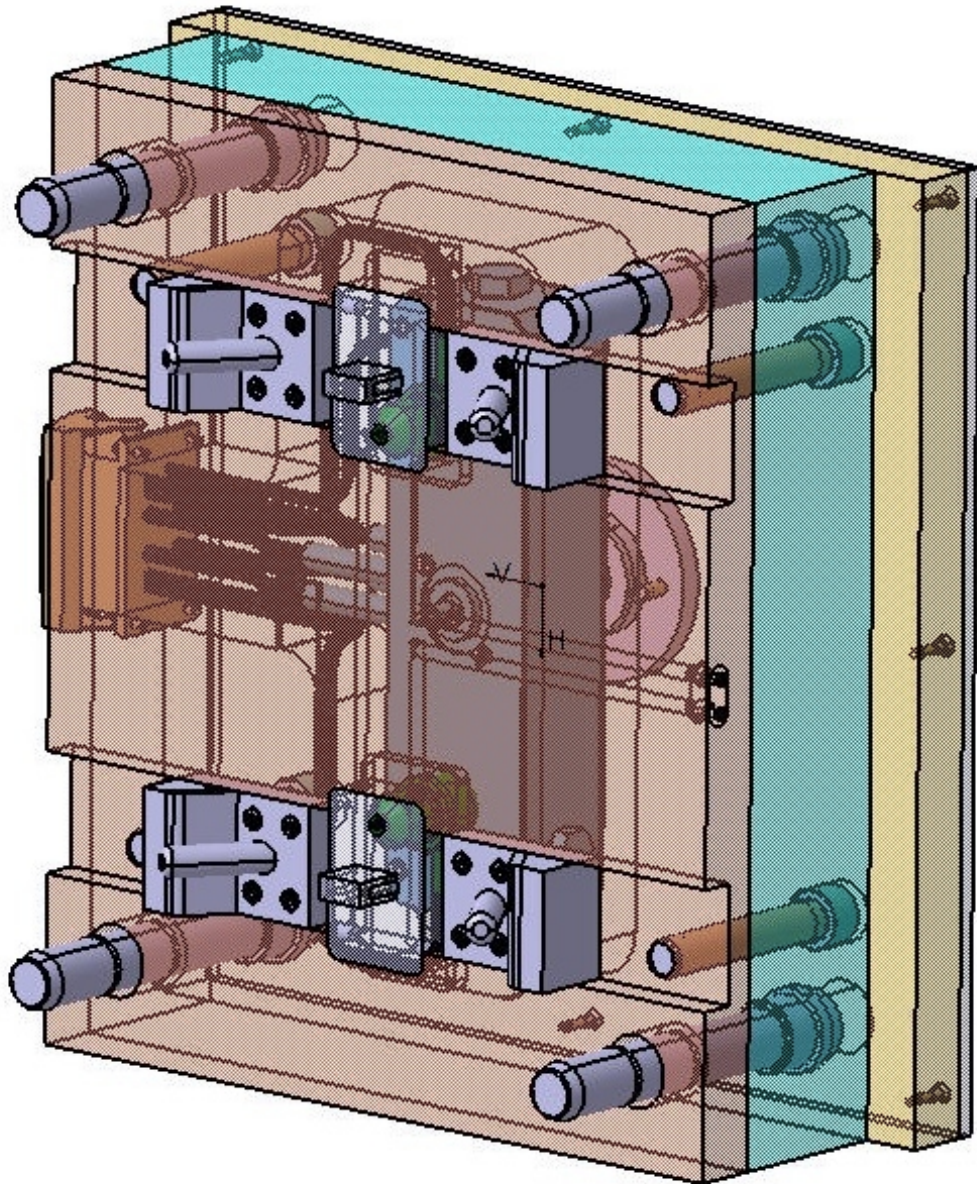
a) Středící kroužek, b,e) vodící čepy, c) vodící vložka, d) středící vložka, f) táhlo

6.9 Rám formy

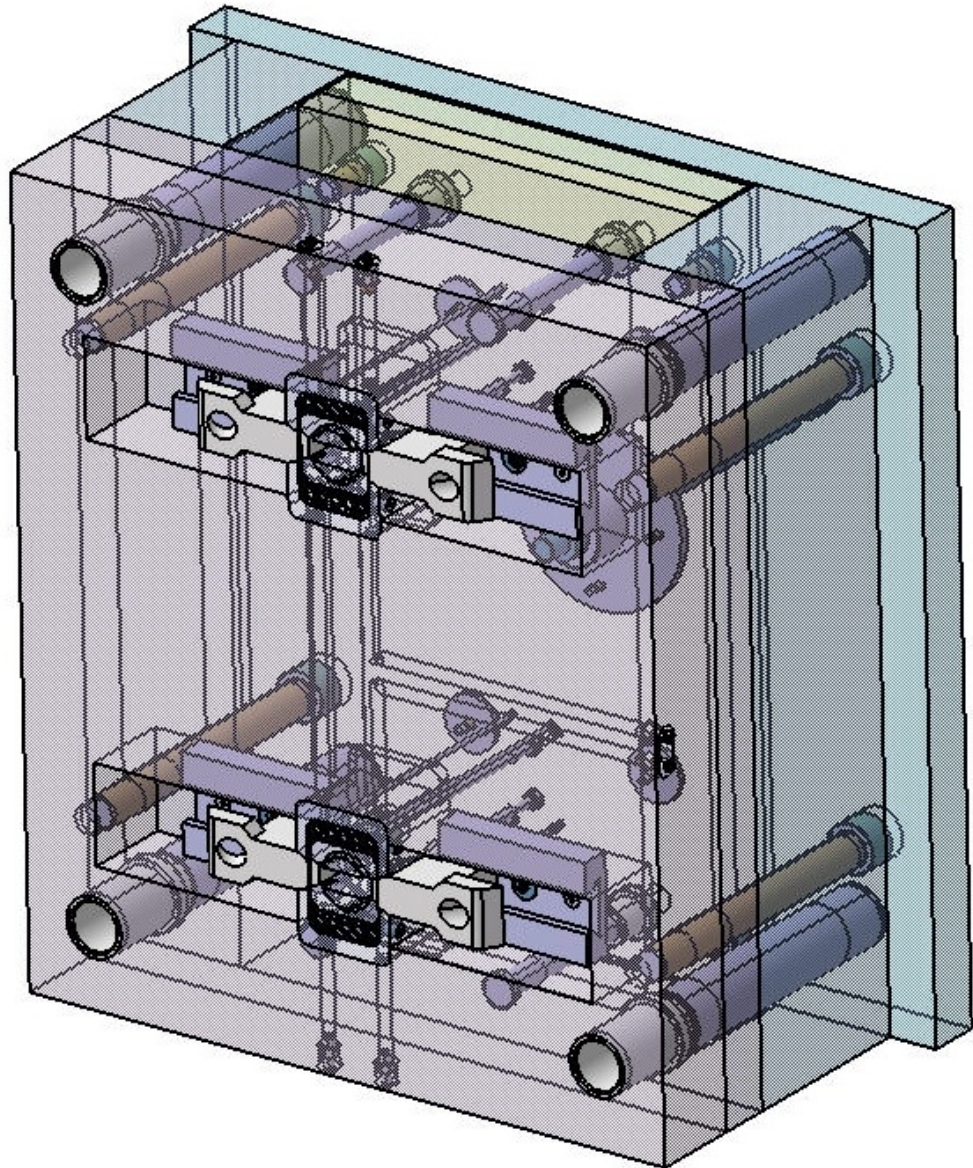
Rám formy byl vložen z databáze firmy Hasco nacházející se přímo v modulu Mold Tooling Desing programu Catia V5R18. Jedná se o stavebnicový systém předem připravených desek, na kterých se posléze provádí všechny potřebné úpravy pro konstrukci formy.



Obr. 32 Desky formy



Obr. 33 Pohled do pravé strany formy



Obr. 34 Pohled do levé strany formy

7 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Vzhledem k velikosti a násobnosti formy byl zvolen stroj firmy Arburg Allrounder 420 C Golden Edition.



Obr. 35 Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 420C[13]

Tab. 4 Parametry vstřikovacího stroje

Parametry stroje	Jednotka	Hodnota
Uzavírací síla	kN	50
Upínací síla	kN	1000
Vstřikovací tlak	MPa	200
Průměr šneku	mm	35
Rozteč vodicích tyčí	mm	420x420
Min. výška formy	mm	250
Max. otevírací zdvih	mm	750

Tab. 5 Parametry vstřikovací formy

Parametry formy	Jednotka	Hodnota
Výška	mm	330
Šířka	mm	396
Hloubka	mm	396
Objem výstřiku	mm ³	58,9
Přibližná hmotnost	kg	61,5

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit vstřikovací formu pro plastový díl používaný v automobilovém průmyslu. Konstrukční práce, tedy 3D návrh formy, 3D model součásti a 2D výkres řezu formou byla realizována v programu Catia V5R18. Pomocným programem byl HASCO DAKO Modul obsahující normalizované prvky, které se z něj dají importovat do programu Catia V5R18.

Hlavní částí práce byla právě 3D konstrukce vstřikovací formy. Byla zvolena dvojnásobná koncepce s ohledem na tvar výrobku. Vzhledem ke způsobu odformování a jeho uspořádání ve formě byl zvolen horký vtokový systém. Výrobek obsahuje otvory kolmé ke směru vyhození, tudíž bylo nutno použít protisměrných posuvných vložek, které jsou vedeny šikmými čepy, toto umožní vytvoření otvorů. Po ochladnutí výrobku na vyhazovací teplotu nastane otvírání formy, při kterém se posuvná tvarová vložka pohybuje po vodicím šikmém čepu a dojde k jejímu vysunutí z dutiny. Následně je výrobek pomocí válcových a prizmatických vyhazovačů vyhozen z formy. Jelikož je výrobek relativně malého objemu, odpadá problém s odvzdušněním. Teperace je řešena soustavou kanálů, které protínají tvárnici a regulují teplotu spodní strany výrobku.

Při konstrukci bylo využito poznatků uvedených v teoretické části této práce. S ohledem na efektivitu a ekonomičnost výroby bylo využito stavebnicového systému s použitím normálií firmy Hasco. Díly nenormalizované v maximální návaznosti na díly normalizované, aby bylo dosaženo co největší přesnosti.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *MM: strojírenský měsíčník*. Č. 1 (únor 2010). Praha: MM Publishing, 2010. Vychází měsíčně. ISSN 1212-2572
- [2] KREBS, J.: *Teorie zpracování nekovových materiálů – část 1*. Liberec : TU v Liberci, 2001. ISBN 80-7083-449-8.
- [3] TOMIS, F., RULÍK, F.: *Gumárenské a plastikářské stroje II*, Praha , SNTL 198
- [4] MANAS, M., HELŠTÝN, J. *Výrobní stroje a zařízení: Gumárenské a plastikářské stroje II*. 1. vyd. Brno: VUT , 1990. ISBN 80-214-0213-X
- [5] LENFELD, P. *Technologie II. -Vstřikování plastů*, Technická univerzita Liberec, Katedra strojírenské technologie. Dostupná z [www](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm):
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [6] AVERY, J.: *Injection Moulding Alternatives*, Carl Hanser Verlag, 1998.
- [7] *MM: strojírenský měsíčník*. Č. 1 (únor 2013). Praha: MM Publishing, 2013. Vychází měsíčně. ISSN 1212-2572
- [8] KREBS, J.; SOVA, M.: *Termoplasty v praxi: praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů*. 5. aktualizované vydání. Praha : Verlag Dashöfer, 1999-2000. ISBN 80-86229-15-7
- [9] STOECKHERT, K.: *Mold-Making Handbook*. Pennsylvania State University: Hanser 1983. ISBN 9780029496701
- [10] EWIKON. [Online] 2008. <http://www.ewikon.com>
- [11] BEAMOUNT, J. P.: *Successfull Injection Moulding*. Hanser 2002.
ISBN 1569902917
- [12] GASTROW, H.: *Injection Molds*. Hanser 2002. ISBN 9783446136632
- [13] Internetové stránky: <http://www.hasco.de>
<http://www.arburg.com>
<http://www.catia-forum.cz/>
- [14] PÖTSCH, Gerd., MICHAELLI, Walter. *Injection Molding – An Introduction*. Munich: Hanser Publisher, 1995. 195 s. ISBN 1 – 56990193.

- [15] MENGES, Georg., MICHAELLI, Walter., MOHREN, PAUL. How to Make Injection Molds. 3rd ed. Munich: Hanser Publisher, 2001. 612 s. ISBN 3 – 446 – 21256 – 6.
- [16] LINDNER, E., UNGER, O. Injection molds. 3rd. ed. Munich: Hanser Publishers, 2002. 249 s. ISBN 3 – 446 – 21448 – 8.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

2D	dvourozměrný prostor
3D	třírozměrný prostor
ABS	akrylonitril butadien styren
EP	epoxidové pryskyřice
ESP	elektronický stabilizační program
MPa	megapascal
PA6	polyamid 6
PBT	polyetylen tereftalát
PE	polyethylen
PI	polyimidy
PMMA	polymethylmetakrylát
POM	polyoximetylen
PP	polypropylen
PPS	polyfenylsulfid
PS	polystyren
PSU	polysulfan
PU	polyuretan
PVC	polyvinilchlorid
SB	styren-butadien

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Schéma prvního vstřikovacího stroje [1].....	12
Obr. 2 Schéma vstřikovacího cyklu.....	14
Obr. 3 Monomer a polymer.....	15
Obr. 4 Rozdělení polymerů dle aplikace.....	16
Obr. 5 Schéma vstřikovacího stroje [5]	17
Obr. 6 Řez vstřikovací jednotkou [5]	18
Obr. 7 Uzavírací jednotka [5]	20
Obr. 8 Příklad plastových dílů [7]	23
Obr. 9 Skořepina sedačky [7]	25
Obr. 10 Vstřikovací forma.....	26
Obr. 11 Popis hlavní částí vstřikovací formy [8].....	28
Obr. 12 Umístění vtokového systému ve formě [10].....	29
Obr. 13 Srovnání nejběžnějších průřezů podle smáčivého čísla [8].....	30
Obr. 14 Části vtokového systému [8].....	31
Obr. 15 Příklad konstrukce vyhřívaných bloků [10].....	32
Obr. 16 Příklad temperačních systémů [5].....	35
Obr. 17 Vstřikovaná součást.....	39
Obr. 18 Granulát Polyamidu 6.....	40
Obr. 19 Vstřikovací forma.....	41
Obr. 20 Rozvržení dutin ve formě.....	42
Obr. 21 Zaformování součástí.....	43
Obr. 22 Horký vtokový systém.....	44
Obr. 23 Analýza vhodnosti umístění vtoku.....	45
Obr. 24 Odformování.....	46
Obr. 25 Princip odformování.....	46

Obr. 26 Vyhazovací systém.....	47
Obr. 27 Pozice působení vyhazovačů.....	47
Obr. 28 Temperace tvárnice.....	48
Obr. 29 Temperace tvárníku.....	49
Obr. 30 Ucpávka a koncovka.....	49
Obr. 31 Vodicí a upínací části.....	50
Obr. 32 Desky formy.....	51
Obr. 33 Pohled do pravé strany formy.....	52
Obr. 34 Pohled do levé strany formy.....	53
Obr. 35 Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 420C[13].....	54

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Přehled doporučených drsností pro dutinu formy [8]	29
Tab. 2 Přehled doporučených teplot pro dutinu formy [8].....	34
Tab. 3 Vybrané vlastnosti materiálu.....	40
Tab. 4 Parametry vstřikovacího stroje.....	54
Tab. 5 Parametry vstřikovací formy.....	54

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: Výkresová dokumentace

PŘÍLOHA P II: CD disk obsahující:

- bakalářskou práci
- modely forem a výrobku
- výkresovou dokumentaci