

Konstrukční návrh vstřikovací formy pro zpracování polymerů

Jiří Vaněk

Bakalářská práce
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří Vaněk**
Osobní číslo: **T14140**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Konstrukční návrh vstřikovací formy pro zpracování polymerů**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracovat literární studii na dané téma
2. Provedte konstrukci 3D modelu vstřikovaného dílu
3. Navrhnete vstřikovací formu pro zadaný díl
4. Nakreslete 2D řez vstřikovací formou včetně příslušných pohledů a kusovníku

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího BP

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Ovsík, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

2. ledna 2017

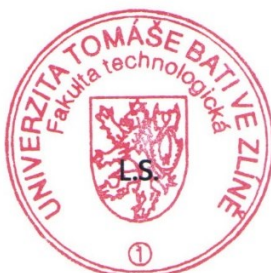
Termín odevzdání bakalářské práce:

19. května 2017

Ve Zlíně dne 31. ledna 2017



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



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

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 17.5.2017.....



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 přihlídí 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 pro zpracování polymerů. Teoretická část bakalářské práce popisuje problematiku výroby polymerního dílu využitím technologie vstřikování. Zahrnuje základní rozdělení polymerních materiálů, popisuje samotnou technologii vstřikování a uvádí zásadní informace z oblasti konstrukce vstřikovacích forem a vyráběných dílů. Praktická část zahrnuje provedení konstrukce 3D modelu vstřikovaného dílu a návržení vstřikovací formy pro tento díl včetně vypracování výkresové dokumentace.

Klíčová slova: vstřikování, vstřikovací forma

ABSTRACT

This Bachelor thesis describes engineering design of injection mold intended for polymer processing. Theoretical part of this thesis describes the manufacturing process of polymer component using an injection technology. Thesis includes basic division of polymer materials, describes the technology itself and provides basic information about design of injection molds and manufactured products. Practical part includes construction design of the 3D model of the injection molded component and design of injection mold for this component including drawing documentation.

Keywords: injection molding, injection mold

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinovi Ovsíkovi Ph.D., za odborné vedení, podněty a cenné rady při tvorbě bakalářské práce.

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

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| ÚVOD | 9 |
| I TEORETICKÁ ČÁST | 10 |
| 1 POLYMERNÍ MATERIÁLY | 11 |
| 1.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ POLYMERŮ | 11 |
| 1.1.1 Plasty | 11 |
| 1.1.2 Elastomery..... | 13 |
| 2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ | 15 |
| 2.1 PRINCIP TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ..... | 15 |
| 2.1.1 Vstřikovací cyklus..... | 15 |
| 2.1.2 Plastikační jednotka | 17 |
| 2.1.3 Šneky vstřikovacích strojů | 18 |
| 2.1.4 Trysky plastikačních jednotek..... | 19 |
| 2.1.5 Opatřebnení členů plastikační jednotky..... | 20 |
| 2.1.6 Uzavírací jednotka | 21 |
| 3 KONSTRUKCE POLYMERNÍCH VÝROBKŮ | 22 |
| 3.1 POPIS KONSTRUKČNÍCH ZÁSAD A VLASTNOSTÍ VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ..... | 22 |
| 3.1.1 Tloušťka stěny výrobku | 22 |
| 3.1.2 Žebrování | 24 |
| 3.1.3 Ostré hrany | 25 |
| 3.1.4 Úkosoý | 25 |
| 3.1.5 Komínky..... | 26 |
| 3.1.6 Přesnost polymerních výrobků..... | 27 |
| 3.1.7 Jakost povrchu..... | 27 |
| 4 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY | 28 |
| 4.1 JEDNOTLIVÉ ČÁSTÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY | 28 |
| 4.1.1 Popis dvoudeskové vstřikovací formy | 29 |
| 4.2 VTOKOVÁ SOUSTAVA | 30 |
| 4.2.1 Studené vtokové soustavy | 30 |
| 4.2.2 Vyhříváné vtokové soustavy | 31 |
| 4.2.3 Vyhříváné trysky | 31 |
| 4.2.4 Vtoková ústí | 32 |
| 4.2.5 Plný kuželový vtok..... | 33 |
| 4.2.6 Bodový vtok | 33 |
| 4.2.7 Tunelový a srpkovitý vtok | 34 |
| 4.3 VYHAZOVACÍ SYSTÉM | 34 |
| 4.3.1 Vyhazovací síla | 35 |
| 4.3.2 Vyhazovací kolíky | 35 |
| 4.3.3 Stírací deska | 36 |
| 4.3.4 Šikmé vyhazovače..... | 36 |
| 4.3.5 Pneumatické vyhazování..... | 36 |
| 4.3.6 Hydraulické vyhazování..... | 37 |
| 4.3.7 Vedení vyhazovacích desek | 37 |
| 4.4 TEMPERACE FOREM..... | 37 |
| 4.4.1 Charakteristika temperačních systémů..... | 37 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 4.4.2 | Zásady při volbě temperačního systému | 37 |
| 4.5 | MATERIÁLY FOREM | 38 |
| 4.5.1 | Ocelové materiály | 38 |
| 4.5.2 | Slitiny mědi a slitiny hliníku | 39 |
| 5 | VSTŘIKOVACÍ STROJE | 40 |
| 5.1 | ROZDĚLENÍ VSTŘIKOVACÍCH STROJŮ | 40 |
| II | PRAKTICKÁ ČÁST | 41 |
| 6 | STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE | 42 |
| 7 | POUŽITÝ SOFTWARE | 43 |
| 7.1 | CATIA V5R19 | 43 |
| 7.2 | HASCO DAKO MODUL | 43 |
| 8 | SPECIFIKACE VÝROBKU | 44 |
| 8.1 | POPIS VÝROBKU | 44 |
| 8.2 | MATERIÁL VÝROBKU | 45 |
| 9 | VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE | 46 |
| 10 | KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY | 47 |
| 10.1 | HLAVNÍ ČÁSTI VSTŘIKOVACÍ FORMY | 48 |
| 10.2 | DĚLÍCÍ ROVINY | 50 |
| 10.3 | TVAROVÉ DÍLY | 50 |
| 10.4 | NÁSOBNOST VSTŘIKOVACÍ FORMY | 51 |
| 10.5 | BOČNÍ POSUVOVÉ ČELISTI | 51 |
| 10.6 | VTKOVÁ SOUSTAVA | 52 |
| 10.7 | TEMPERAČNÍ SYSTÉM | 52 |
| 10.8 | VYHAZOVACÍ SYSTÉM | 53 |
| ZÁVĚR | | 54 |
| SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | | 55 |
| SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK | | 56 |
| SEZNAM OBRÁZKŮ | | 57 |
| SEZNAM TABULEK | | 59 |
| SEZNAM PŘÍLOH | | 60 |

ÚVOD

Technologie vstřikování polymerů se stala neodmyslitelnou součástí většiny průmyslových odvětví, v současnosti se jedná o jeden z nejrozšířenějších způsobů zpracovávání polymerních materiálů. Příčinou může být skutečnost, že výrobky z oceli, dřeva, skla či jiných konvenčních materiálů se stále častěji nahrazují polymerními díly. Pomocí vstřikování lze vyrábět širokou škálu produktů rozlišných tvarů, rozměrů a aplikací. Takové výrobky jsou cenově dostupné a mají výborné mechanické, fyzikální, i chemické vlastnosti. Vzhledem k tomu, že vstřikování je nákladný a cyklický proces, nachází své uplatnění zejména ve velkosériové a hromadné výrobě.

Vstřikování polymerů je poměrně komplikovaný fyzikální proces, ve kterém figuruje polymer, vstřikovací forma a vstřikovací stroj. Princip této metody spočívá v roztavení surového polymeru, který je vstříknut do uzavřené dutiny formy, ze které je po ochlazení vyhozen hotový výrobek.

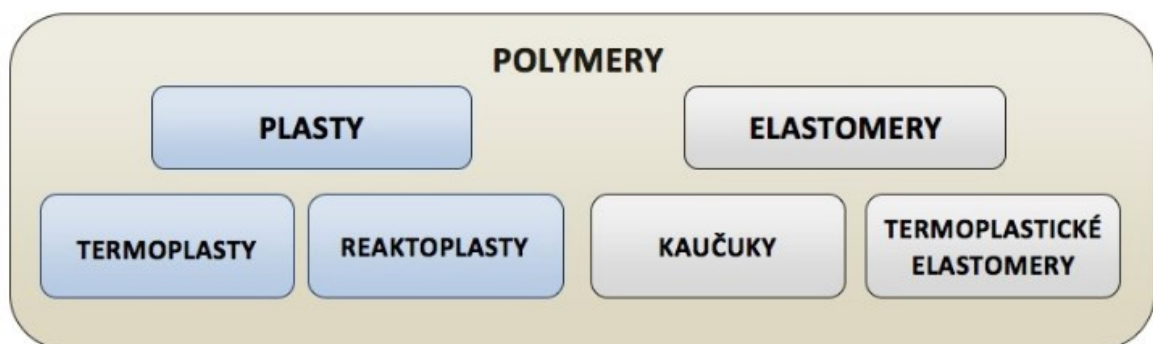
Jelikož požadavky na parametry vyráběných dílů jsou stále vyšší, je zdůrazňována kvalita a přesnost vstřikovacích forem, což je příčinou jejich konstrukční a ekonomické náročnosti. Z těchto důvodů bývá výroba forem podporována řadou 3D softwarů a simulačních programů, umožňujících snadnější, rychlejší a ekonomičtější řešení dané problematiky. Při konstrukci forem lze též využít takzvaný stavebnicový systém, ve kterém se aplikují normalizované součásti přímo z katalogu výrobce. Navrhování forem takovým způsobem značně zrychluje, zefektivňuje a zkvalitňuje jejich výrobu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Polymery jsou chemické látky, v jejichž velkých molekulách jsou většinou obsaženy atomy uhlíku, vodíku, kyslíku, často dusíku, chloru či jiných prvků. Jedná se o substance obsahující jednotlivé molekulární jednotky (monomery) propojeny do řetězců. Během určitého stádia zpracování, se polymery vyskytují v kapalném stavu, což při působení zvýšené teploty a tlaku umožňuje udělit tvar budoucímu výrobku. Tento výrobek pak ve finální podobě setrvává prakticky ve stavu tuhém. [1] [4]

1.1 Základní rozdělení polymerů



Obr. 1 – Základní dělení polymerů

1.1.1 Plasty

Označují se tak polymery, které jsou při běžných podmínkách tvrdé, často křehké. Vnější namáhání u těchto materiálů vyvolá převážně trvalé deformace. Pokud dojde u plastů ke zvýšení teploty, stávají se plastickými a tvarovatelnými. Tato změna může být vratná či nevratná, na základě toho se plasty rozdělují do dvou základních skupin. [1] [5]

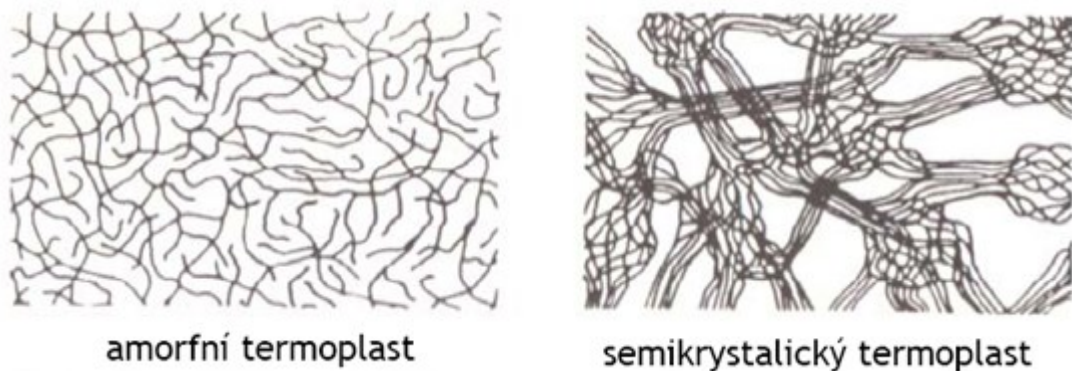
- Termoplasty

Jedná se o materiály opakovaně tavitelné a tvarovatelné, zahříváním nad teplotu tání se stávají plastickými a ochlazením pod tuto teplotu se vrací do původního tuhého stavu. Během tohoto procesu nedochází k chemické reakci, nemění se chemická struktura materiálu. Změny probíhající v průběhu zpracování jsou pouze fyzikálního charakteru. Z hlediska vstřikovávání i aplikace je důležité tyto materiály rozdělit na dva typy. [1] [4]

- Semikrystalické – mají schopnost vytvářet částečně uspořádanou krystalickou strukturu. Většina makromolekulárních řetězců je těsně a pravidelně

uspořádána, takže tvoří krystalické útvary, zbylá část je amorfni. Podíl krystalické části ovlivňuje chemická stavba a technologické podmínky vstřikování, může dosahovat až 80%. Kvůli tvorbě sférolitických struktur nemohou být tyto termoplasty transparentní, jsou tuhé, pevné a houževnaté. Při zahřívání dojde prvně k uvolnění makromolekul z amorfni části, následně z části krystalické, z toho důvodu je pro tyto polymery významná teplota tání krystalického podílu (T_m). Tyto materiály nachází široké uplatnění v technické praxi, zejména pak PP, PA, PET, POM a další. [4] [6]

- Amorfni – nevytváří krystalickou strukturu, makromolekulární řetězce jsou nepravidelně prostorově uspořádány. Mezi typické charakteristiky těchto materiálů patří jejich transparentnost, tvrdost, křehkost a dobrá rozpustnost v organických rozpouštědlech. V rámci aplikace i samotného vstřikování je důležitá teplota skelného přechodu (T_g), která je hranicí mezi stavem sklovitým, kdy je materiál tuhý a křehký a stavem kaučukovitým. Teplota skelného přechodu také udává teplotní rozmezí, při kterém lze výrobek vyjimat z formy. Své uplatnění nachází například automobilovém průmyslu, kde jsou tyto materiály díky svým optickým vlastnostem nepostradatelné pro světelnou techniku, především PMMA, PC, PS. [5] [6]

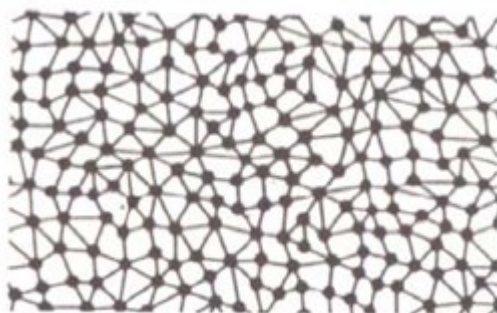


Obr. 2 – Nadmolekulární struktura termoplastů

- Reaktoplasty

Jsou to plasty, které nelze opakovaně tavit a tvarovat. Během jejich zpracování vlivem teploty a tlaku dochází k chemické reakci, díky které nastává zesíťování původních molekul, což je nevratný proces. Mezi vlastnosti těchto materiálů patří chemická i tepelná odolnost, tvrdost a tuhost. Nevytvrzený reaktoplastický produkt je často nazýván jako pryskyřice,

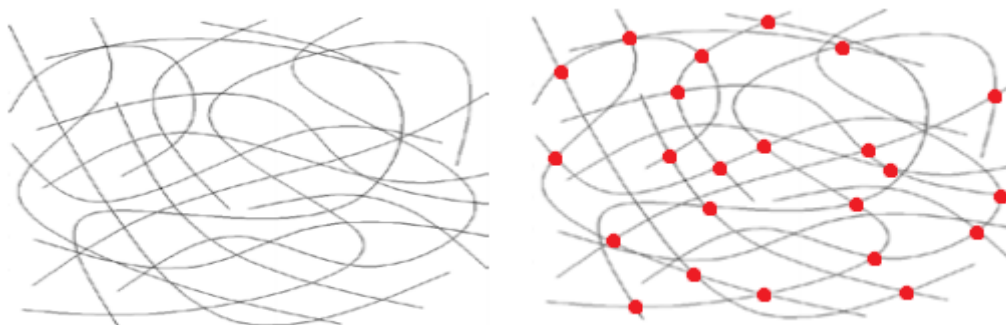
v praxi se používá zejména epoxidová pryskyřice, polyesterová pryskyřice nebo formaldehydová pryskyřice. [3] [5]



Obr. 3 – Nadmolekulární struktura reaktopastů

1.1.2 Elastomery

Jsou tak nazývány elastické polymery, které lze při běžných podmínkách malou silou značně deformovat a to bez porušení. Tato deformace je převážně vratná. Jejich zesíťování probíhá pomocí vulkanizace, což je proces, při kterém působí teplota, tlak, vulkanizační činidlo a případně další složky. Před zesíťováním se dlouhé molekulární řetězce mohou vzájemně posouvat, vykazují malou pružnost. Po zsvulkanizování dojde k zesíťování řetězců, pokud je materiál vystaven zatížení a následnému odlehčení, řetězce se navrátí do původní polohy. [1] [7]



Obr. 4 – Struktura elastomeru před a po zesíťování

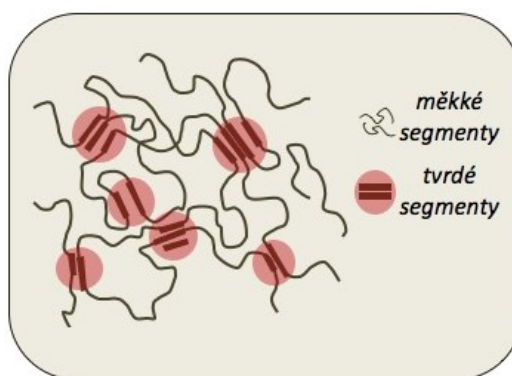
- Kaučuky

Jedná se o přírodní nebo syntetický elastomer, který je míchán se síťovacími činidly a dalšími složkami za účelem vytvoření gumy, která může být pomocí vulkanizace převedena na pryž. Existuje celá řada kaučuků, jejichž vlastnosti se poměrně liší. Přírodní kaučuk je získáván z kůry kaučukovníku, syntetický je vyráběn polymerací nebo kopolymer-

rací. Kaučuky nachází své uplatnění v různých odvětvích, jsou nezbytné například při výrobě technické pryže, spotřebního i zdravotnického zboží, pneumatik, či lepidel a nátěrových hmot. [5] [3]

- **Termoplastické elastomery**

Mají podobné vlastnosti jako pryže, jejich strukturu tvoří měkké části – elastomery a tvrdé části – termoplasty. Od pryží se liší tím, že při zvyšování teploty přechází do tekutého stavu a je možné je zpracovávat podobně jako termoplasty. Termoplastické elastomery sice nemají takové elastické vlastnosti jako pryže, avšak lze je vstříkovat na obvyklých strojích určených pro zpracovávání termoplastů. Používány jsou například pro výrobu hadiček, těsnění, protiskluzových povrchů, nebo izolací vodičů. [1] [3]



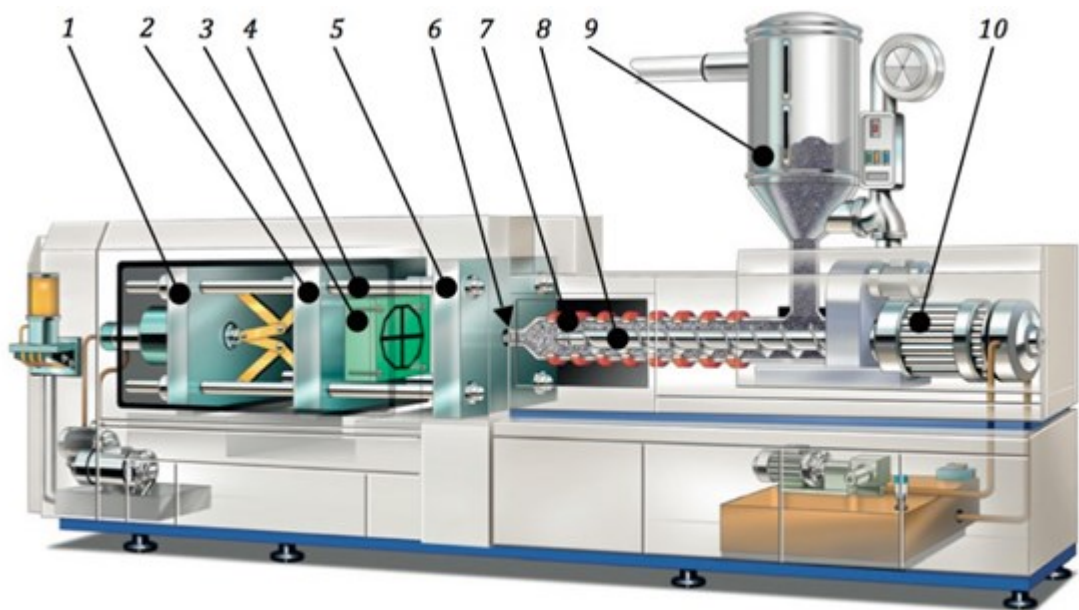
Obr. 5 – Schéma struktury termoplastického elastomeru

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Zpracování termoplastů, termoplastických elastomerů, ale i reaktoplastů a pryží pomocí vstřikování patří mezi nejpoužívanější technologie. Lze tak vyrábět konečné výrobky nejrůznějších tvarů a rozměrů nebo polotovary pro další zpracování. Mezi charakteristické vlastnosti takto vyráběných dílů patří rozměrová i tvarová přesnost, výborná povrchová kvalita či chemická odolnost. Z důvodu vysokých nákladů na pořízení stroje a vstřikovací formy je tato metoda vhodná zejména pro velkosériovou a hromadnou výrobu. [5]

2.1 Princip technologie vstřikování

Jedná o cyklický tvářecí proces, ve kterém figuruje polymer, vstřikovací forma a vstřikovací stroj. Zpracováváný materiál v podobě taveniny je pomocí pístu nebo šneku vysokou rychlostí vstříknut do uzavřené dutiny formy, kde ochlazením ztuhne do podoby konečného výrobku, který je následně z formy vyhozen. Tento proces lze rozdělit na několik operací opakujících se ve vstřikovacím cyklu. [3] [2]



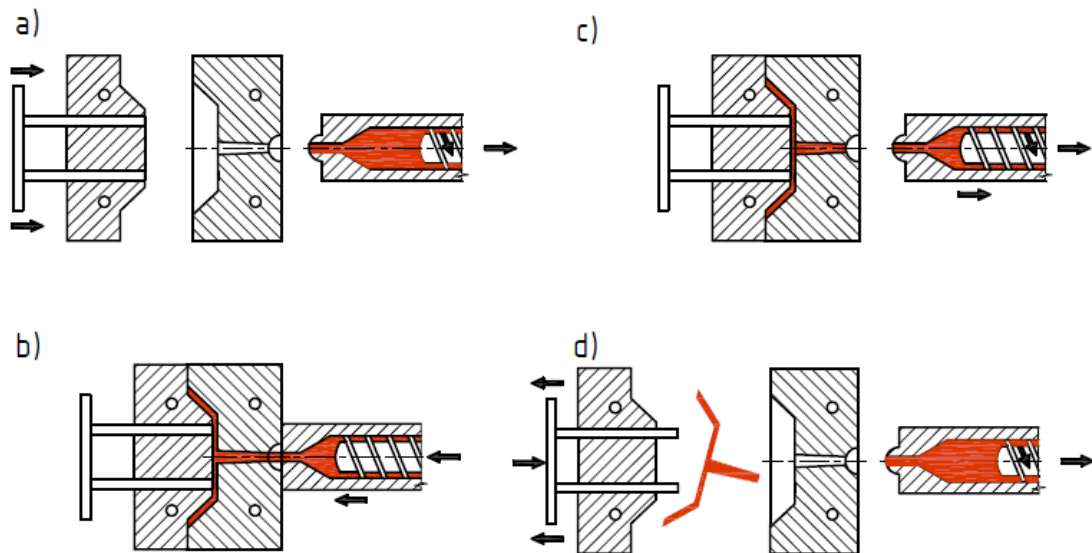
1 - uzavírací jednotka, 2 - pohyblivá upínací deska vstřikovacího stroje, 3 - pohyblivá část vstřikovací formy, 4 - vodící sloupky vstřikovacího stroje, 5 - pevná upínací deska, 6 - ústí plastikační jednotky, 7 - tavicí komora, 8 - šnek, 9 - násypka pro granulát, 10 - pohonná jednotka šneku

Obr. 6 – Schéma vstřikovacího stroje

2.1.1 Vstřikovací cyklus

Materiál v pevném stavu, většinou v podobě granulátu je sypán do násypky, ze které jej odebírá pracovní část vstřikovacího stroje, což může být šnek nebo píst, který přepravuje granulát do tavicí komory, kde je vlivem teploty a vzájemného tření taven. Vzniklá tavenina

je vstříkována přes vtokovou vložku do dutiny formy dokud ji zcela nezaplní. Pro zmenšení objemového smrštění a dodržení rozměrů se do cyklu zařazuje takzvaný dotlak. Tavenina předává teplo povrchu dutiny formy, díky čemuž dojde k ochlazení materiálu na vyhazovací teplotu a následnému vyhození výrobku z formy. [3] [5]



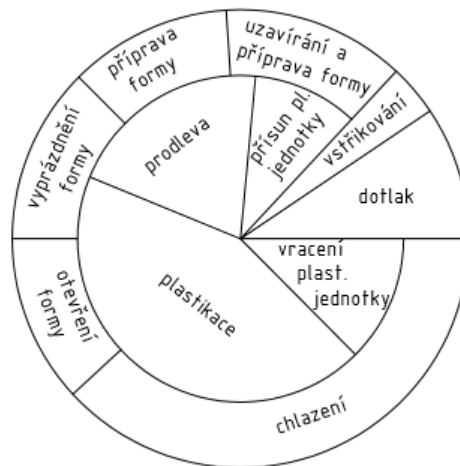
Obr. 7 – Pracovní cyklus vstříkovacího stroje

a) Plastikace – šnek se otáčí a posouvá se zpět, zplastikovaný materiál v podobě viskoelastické taveniny je dopravován před čelo šneku k trysce, forma se uzavírá.

b) Vstříknutí taveniny a dotlak – vstříkovací jednotka se přisune a dolehne ke vtokové vložce formy, šnek se přestává otáčet a plní funkci pístu, který axiálním pohybem přesune taveninu z tavící komory přes vtokový systém do tvarové dutiny formy. Následuje dotlak, který se do cyklu zařazuje z důvodu vyrovnání objemových a tvarových změn výrobku vzniknutých při chladnutí taveniny.

c) Chladnutí materiálu ve formě – jakmile proběhne vstříknutí, dotlak a zatuhnutí vtoku, plastikační jednotka se odsune a rotačním pohybem šneku je z násypky odebírán materiál v tuhém stavu. Ten je přesouván do vytápěných částí plastikační jednotky, kde je převáděn na taveninu, která se dále posouvá před čelo šneku, tím je připravena dávka materiálu pro další vstříknutí.

d) Otevření formy – po vychladnutí celého výstříku na vyhazovací teplotu se forma otevře a nastává odformování pomocí mechanického, hydraulického nebo pneumatického systému, tím je vstříkovací cyklus ukončen. [3]

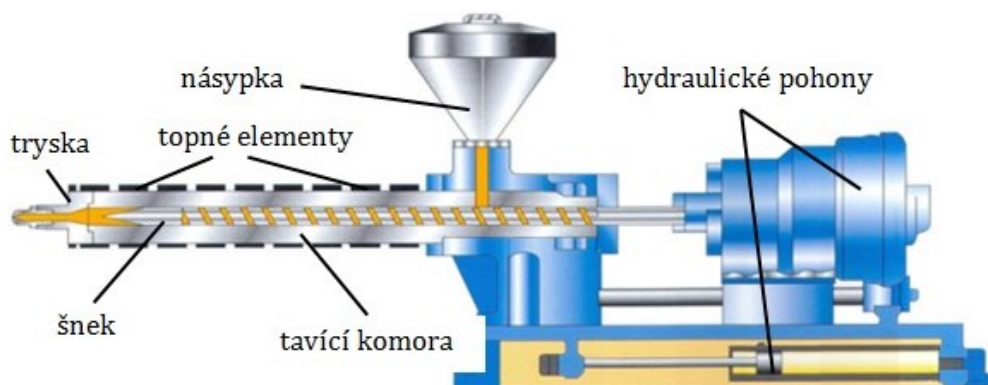


Obr. 8 – Výšečový diagram vstřikovacího cyklu

Vstřikovací cyklus řada operací, které postupně vedou k výrobě vstříku. Dílčí úseky cyklu trvají různě dlouhou dobu a jsou závislé na použitém materiálu, geometrii výrobku, technologických podmínkách vstřikování, konstrukci formy a typu stroje. [5]

2.1.2 Plastikační jednotka

Je to část vstřikovacího stroje určená pro zpracování termoplastů, jejíž primární funkcí je převedení tuhého materiálu do stavu viskózní taveniny a její následný přesun do dutiny vstřikovací formy. Jedním z nejpoužívanějších typů pro zpracování termoplastů jsou plastikační jednotky se šnekem otáčejícím se kolem své osy, který se axiálně posouvá v obou směrech. Plastikační jednotka je díky hydraulickému systému posuvná, což umožňuje přitisknutí její trysky ke vtokové vložce formy a následnému vyvinutí a udržení požadované přitlačné síly. Pomocí hlavních pohonů je zajištěna také rotace šneku při samotné plastikaci dávky materiálu. Posuvem šneku, který působí jako píst, dojde ke vstříknutí této dávky polymeru z tavicí komory do dutiny formy. Ovládací prvky plastikační jednotky by měly umožňovat spolehlivou kontrolu polohy a rychlosti šneku i míru působících tlaků. [8]

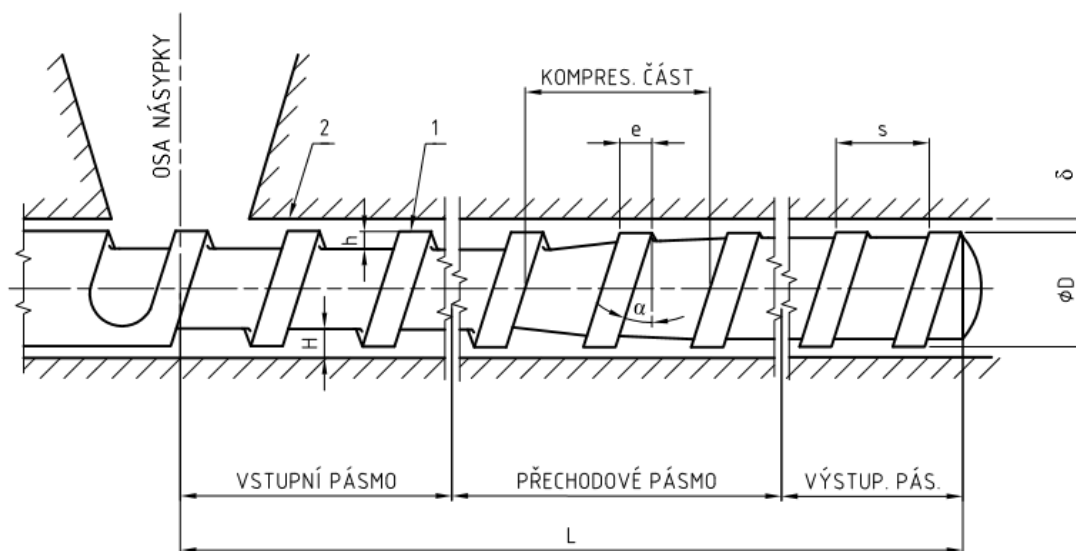


Obr. 9 – Schéma šnekové plastikační jednotky

Plastikační jednotka se sestává z několika částí. Vstupní část je tvořena násypkou, která navazuje na tavicí komoru obklopenou topnými elementy. Konečnou část plastikační komory tvoří tryska, která přesně doléhá ke vtokové vložce formy, přes kterou je polymerní tavenina vstříkována do dutiny formy. Šnek se nachází uvnitř tavicí komory. Polymer ve formě granulátu je zahříván účinkem topných elementů a vlivem vzájemného tření zpracovávaného materiálu mezi stěnou tavicí komory a povrchem šneku. [8] [5]

2.1.3 Šneky vstříkovacích strojů

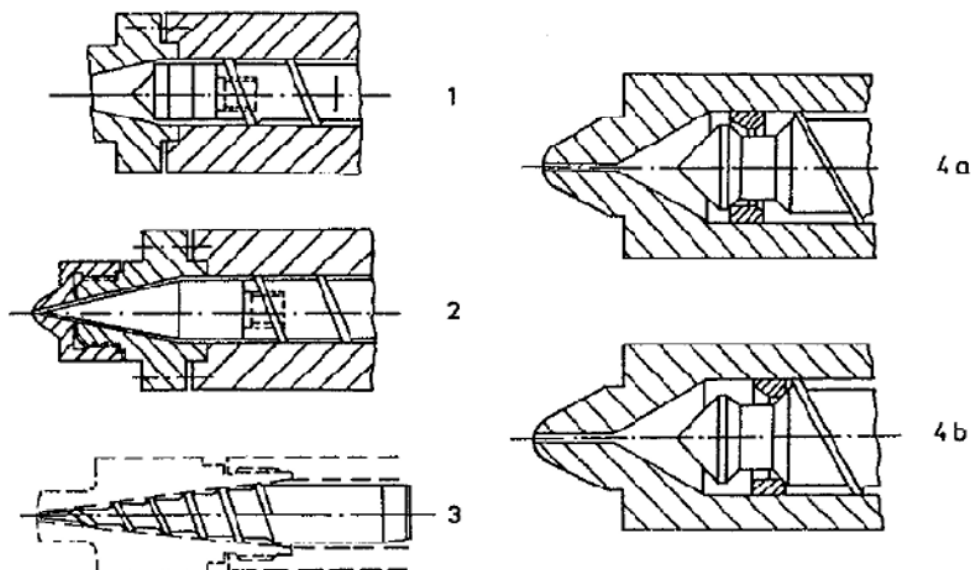
Jedná se o pracovní člen, který během vstříkávání zastává důležité funkce v tavicí komoře plastikační jednotky. Závit šroubovice u standardních šneků nemá po celé délce stejnou hloubku, stoupání se také liší. Pro zpracovávání termoplastů se používají šneky se třemi různými funkčními pásmy. [3]



1 - šnek, 2 - pracovní válec, D - průměr šneku, L - délka šneku, s - stoupání závitu, e - vodící plocha závitu, h - hloubka šnekového profilu, H - hloubka šnekového kanálu, δ - poloviční vůle, α - úhel stoup.

Obr. 10 – Schéma jednochodého šneku

Vstupní pásmo se nachází pod násypkou, hloubka závitu šroubovice šneku je zde největší. Primární funkcí této části je odebrat granulát z násypky a posouvat jej do tavicí komory vyhřívané topnými elementy. Při posouvání materiálu do další zóny šneku dochází k jeho zhutňování a vytlačování vzduchu. Následuje přechodová sekce, kde se hloubka i stoupání šroubovice směrem k trysce zmenšuje. Dochází zde k intenzivnímu stlačování materiálu. Konečnou sekci je výstupní pásmo, které zajišťuje řádné promíchání a homogenizaci polymerní taveniny. Dojde k rovnoměrnému rozložení teploty taveniny před tím, než vstoupí do prostoru mezi trysku a čelo šneku, kde se hromadí připravená dávka. Délka jednotlivých pásem a způsob zakončení šneku závisí na typu použitého materiálu. [9] [5]

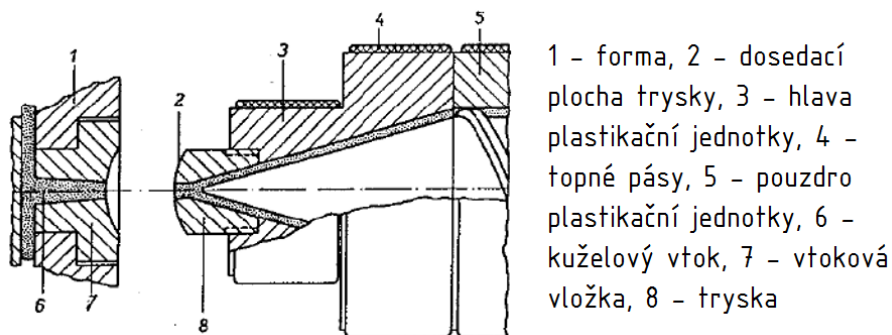


1 - tupá špička, 2 - prodloužená hladká špička, 3 - spirálová špička,
4 - špička se zpětnou uzávěrou, 4a - otevřená poloha při plastikaci,
4b - uzavřená poloha při vstřikování

Obr. 11 – Způsoby zakončení šneků

2.1.4 Trysky plastikačních jednotek

Tryska zajišťuje propojení mezi plastikační jednotkou a vstřikovací formou. Primární funkce trysky je zajistit přesné dolehnutí plastikační jednotky ke středícímu kroužku formy a k vtokové vložce. Jakmile je tryska přitisknutá, posuvový mechanismus plastikační jednotky vyvine přitlačnou sílu, která zabraňuje úniku taveniny mezi tryskou a vtokovou vložkou. K zajištění správné funkce je na špičce trysky vytvořeno zaoblení, které dosedá k menšímu zaoblení ve vtokové vložce formy. Vyrábí se také trysky, které nejsou opatřeny rádiusem, používají se ke vstřikování do dělicí roviny formy. [11] [5]

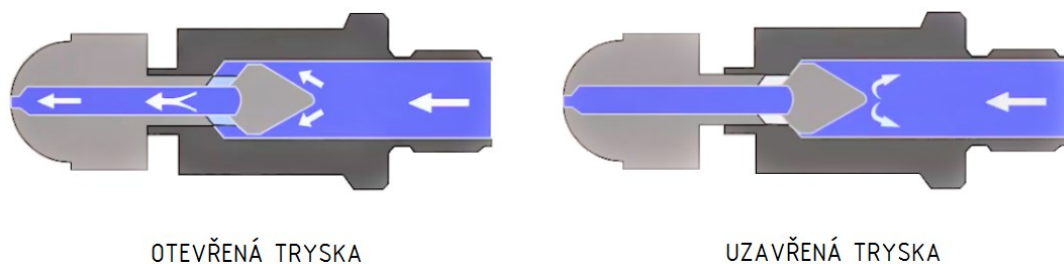


1 - forma, 2 - dosedací plocha trysky, 3 - hlava plastikační jednotky, 4 - topné pásky, 5 - pouzdro plastikační jednotky, 6 - kuželový vtok, 7 - vtoková vložka, 8 - tryska

Obr. 12 – Otevřená tryska

Uvnitř trysek je umístěn postupně se rozšiřující kanálek, který zajišťuje plynulost toku taveniny při co nejmenším úbytku tlaku. Za účelem vyšší pevnosti samotné trysky, která je

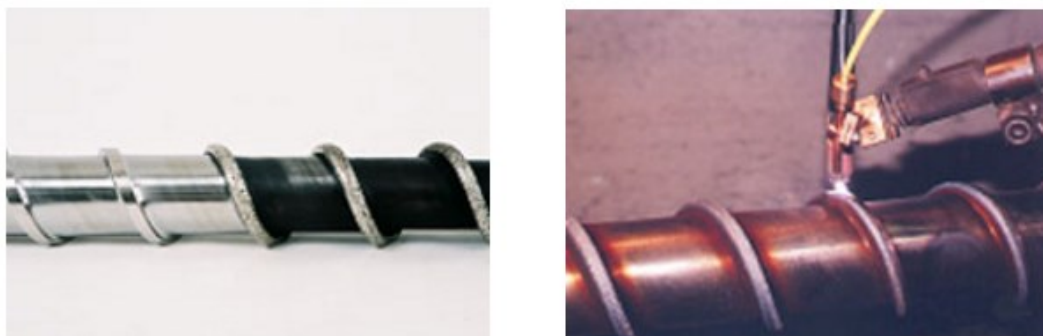
vystavena přítlaku ke vtokové vložce a tlaku taveniny, se její délka volí co nejmenší. Kvůli působení tlaku je důležitý také způsob připevnění trysky k tavící komoře, běžně se provádí použitím šroubů nebo závitů, který je přímo na trysce. Kontrola a regulace teploty trysky je realizována nezávislým topným pásmem, čímž je zamezeno chládnutí proudící taveniny. Tryska může být opatřena filtrem bránícím vstupu nečistot do dutiny formy. Zanesený filtr by mohl způsobit ztrátu tlaku taveniny ve špičce trysky, z toho důvodu se tlak pomocí senzorů kontroluje i za filtrem. Ten musí být zkonstruovaný tak, aby bylo možné snadno provádět jeho čištění nebo výměnu. [4] [11]



Obr. 13 – Tryska s uzavíracím členem

2.1.5 Opatřebnení členů plastikační jednotky

Opatřebnení jednotlivých prvků plastikační jednotky může nastat kvůli různým příčinám. Často se jedná o nevhodné nastavení technologických podmínek, jako je například velikost protitlaku, dávkovací rychlost nebo hodnota teploty na topných pásmech a podobně. Mechanickou abrazi na povrchu jednotlivých částí plastikační jednotky může zapříčinit také použití skelných, kovových či keramických plniv. Běžně chemicky odolné materiály mohou pod vlivem vyšší teploty a agresivních aditiv chemicky korodovat. Ve snaze zamezit opotřebnení a korozi členů, které jsou v kontaktu s taveninou, se provádí jejich povrchové úpravy jako je například cementování, nitridace nebo pancéřování. [12] [9]



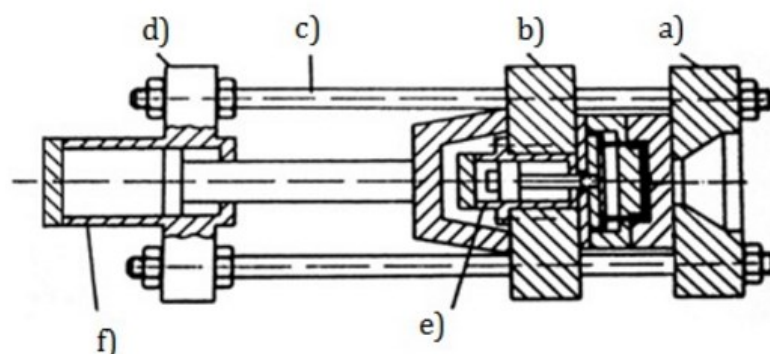
Obr. 14 – Renovace šneku vstřikovacího stroje

Nicméně vlivem dlouhodobého provozu postupně dochází k částečnému opotřebení povrchu na funkčních prvcích plastikační jednotky. Menší díly jako je tryska, zpětný uzávěr nebo čelo šneku se z důvodu ekonomického i funkčního neopravují a preferuje se jejich výměna. Pokud jsou zjištěny závady, které by mohly znamenat poškození tavící komory nebo šneku, provádí se renovace. Tento proces spočívá v navařování tvrdokovu obsahující wolfram, kobalt nebo chrom na poškozený povrch dílu a jeho následné obrobení na požadovaný rozměr. [12] [5]

2.1.6 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka se sestává z jednotlivých prvků a mechanismů, které slouží k upínání a plynulému posouvání vstřikovací formy. Hlavní části uzavírací jednotky tvoří vodící sloupy, upínací desky včetně upínacího systému a mechanismus, který zajistí otevírání a uzavírání formy a zároveň vyvine sílu, která formu udrží během vstřikování a dotlaku. Uzamykání formy může probíhat na mechanickém principu, kdy je forma zapříčena v požadované pozici nebo na principu hydraulickém, kdy potřebnou sílu vyvodí hydraulický píst. Na základě pohonu umožňujícího posuv pohyblivé upínací desky lze uzavírací jednotky rozdělit na elektrické a hydraulické.

Základním prvkem hydraulických systémů je hydraulický válec orientován v ose uzavírací jednotky. K vyvinutí uzavírací síly může být využita celá pracovní dráha pístu. Pokud je třeba větší rychlost posuvů formy, lze použít kromě centrálního pístu i menší symetricky rozložené podpůrné písty, které zároveň zaručí rovnoměrnější rozložení sil na pohyblivé upínací desce formy. [6] [13]



- a) – pevná část formy, b) – pohyblivá část formy, c) – vodící tyče, d) – rám stroje,
e) – hydraulický vyhazovač, f) – hydraulický válec pro ovládání pohyblivé části formy

Obr. 15 – Schéma hydraulické uzavírací jednotky

3 KONSTRUKCE POLYMERNÍCH VÝROBKŮ

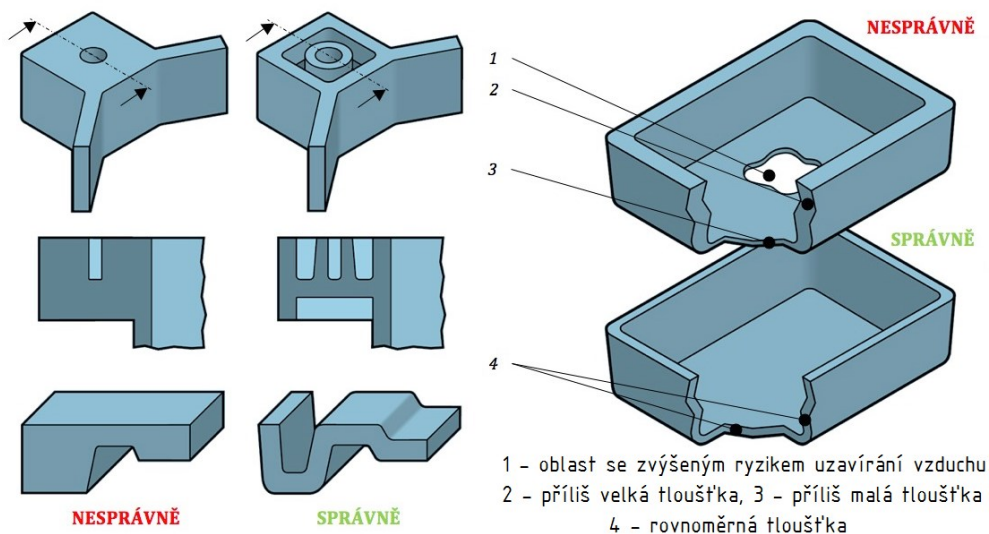
Vstřikované polymerní díly nelze vyrobit ve stejné přesnosti a jakosti jako výrobky kovové. Na kvalitě samotného výrobku se značně podílí vlastnosti použitého materiálu, výrobně technologické parametry, podmínky skladování a manipulace s výrobkem a konkrétní využití dílu v praxi. Konstrukční návrh samotného dílu by měl zohledňovat všechny tyto parametry. [11]

3.1 Popis konstrukčních zásad a vlastností vstřikovaných dílů

Při konstrukci polymerních dílů je třeba znalost samotné technologie zpracování, dodržování doporučených konstrukčních zásad a zohledňování chování polymeru během procesu vstřikování. Návrh dílu musí zahrnovat vhodné umístění vtokového i vyhazovacího systému a dělicí roviny. Z konstrukčního hlediska je třeba se vyvarovat ostrým hranám na povrchu výrobku a náhlým přechodům v tloušťkách stěn. Všechny uvedené aspekty mají přímý vliv na výslednou kvalitu výrobků. [12]

3.1.1 Tloušťka stěny výrobku

Mnoho zásadních vlastností jako je mechanická odolnost, vlnění nebo hmotnost je ovlivněno tloušťkou stěny polymerního dílu. Tloušťka stěn by měla zohledňovat dráhu toku polymerní taveniny i případné vady jako je hromadění materiálu, vnitřní pnutí či propadliny. Pokud se jedná o ploché díly, zvětšení tloušťky stěny se projeví ve zvýšení tuhosti ale samozřejmě i vyšší hmotnosti, delší době pracovního cyklu a větší spotřebě materiálu. Z toho důvodu je pro zvýšení tuhosti výrobků vhodné použít žeber, zakřivení nebo zvlnění.



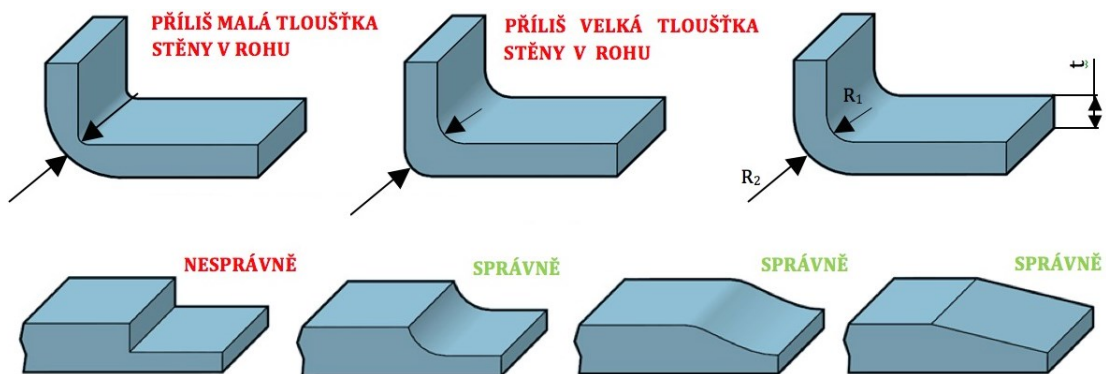
Obr. 16 – Porovnání vhodných a nevhodných návrhů polymerního dílu

Použitý materiál a daná geometrie konstrukčních prvků ovlivňuje mechanické vlastnosti vstříkovaného výrobku. U většiny polymerů zvýšení tloušťky stěny znamená větší odolnost vůči rázovému namáhání. Výjimkou je například polykarbonát, ke kterému se váže takzvaná kritická tloušťka stěny, pokud dojde k jejímu překročení, nastává snížení mechanických vlastností. [11] [9]

Tloušťku stěny je třeba zvážit i z pohledu technologie vstříkování, kde je důležitá délka toku taveniny mezi místem vstupu materiálu a částí dutiny formy, která je vyplněna jako poslední. Délka toku taveniny je na základě tloušťky stěny a použitého polymeru omezena. Příliš nízká tloušťka stěny by mohla zapříčinit vysoké vstříkovací tlaky, povrchové vady a problematické plnění dutiny formy. Ovšem příliš vysoká tloušťka stěny prodlužuje vstříkovací cyklus a kvůli neúčinnému dotlaku můžou vznikat povrchové vady zvané propadliny. [5]

U amorfních nebo plněných polymerů s menší mírou objemového smrštění lze tloušťku stěny změnit zhruba o 25%, aniž by došlo k neefektivnímu plnění nebo deformacím. Neplněné semikristalické materiály mají větší hodnoty smrštění, z toho důvodu se u těchto polymerů tloušťka stěny mění přibližně o 10% - 15%. Tyto zásady platí pro hlavní stěny vyráběného dílu, žebra a jiné obdobné prvky se konstruují o menší tloušťce, neboť na protilehlém povrchu by mohly vznikat propadliny. [11]

Některé konstrukční návrhy, které přepracovávají díl vyrobený z kovu na díl z polymeru, mají robustní průřezy, které by mohly způsobit vznik propadlin nebo staženin. Je tedy nutné danou oblast přepracovat a navrhnout vhodnější konstrukci odpovídající požadavkům plastového výrobku. U některých dílů se od tloušťky jejich stěny odvíjí další specifické vlastnosti jako je odolnost vůči hoření, elektrická izolace nebo tlumení hluku. Z toho důvodu se uplatňuje požadavek na minimální tloušťku stěny výrobku, kterou je třeba dodržet a zároveň brát zřetel na změnu výše uvedených vlastností. [11] [9]



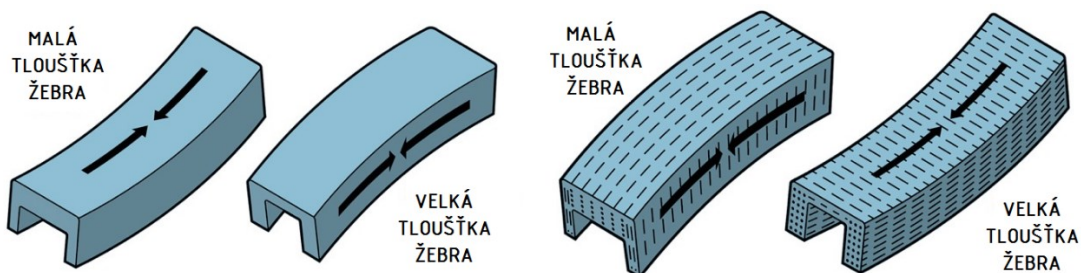
Obr. 17 – Řešení vnitřních a vnějších zaoblení a přechody tloušťky stěn

3.1.2 Žebrování

Pro eliminaci propadlin a zvýšení tuhosti i pevnosti výrobku se s výhodou používá žebrování. Žebra umožňují také lepší plnění dutiny formy a mohou zabránit zborcení stěn výrobku. Tloušťka žebra závisí na několika faktorech, velká tloušťka by mohla způsobit propadlinu na protějším povrchu výrobku, proto se volí s ohledem na použitý materiál, geometrii dílu, vzdálenosti od ústí vtoku a dalších parametrech vstřikování. Velmi lesklé povrchy, na kterých by byla propadlina snadno zřetelná, vyžadují tenké žebrování, které může zkomplikovat proces plnění dutiny formy. [11] [5]

U dílů se žebrováním je třeba zaručit jejich snadné odformování, proto se ve formě vyrábí jako slepé otvory orientované ve směru otevírání dělicí roviny. Žebra bývají také opatřena úkosem alespoň $0,5^\circ$ na obou stranách, úkosy větších úhlů by mohly způsobit snížení tloušťky stěny a zkomplikovat plnění dutiny formy. Rychlost ochlazování a smrštění v oblasti žebrování závisí rovněž na tloušťce stěny, při nevhodném návrhu by mohlo dojít k deformaci výrobku. [12] [9]

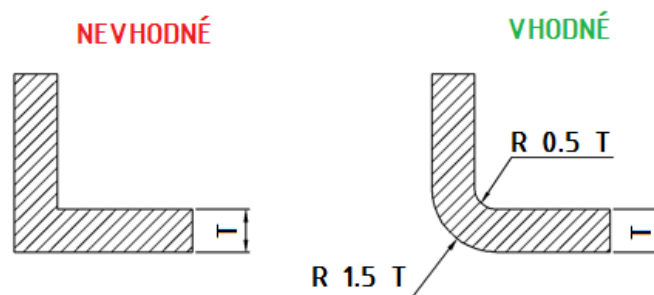
Při vstřikování některých materiálů, jejichž smrštění je rovnoměrné jak ve směru toku, tak ve směru kolmém na tento směr může dojít k zatumnutí tenkých žebber dříve, než zatumnou stěny. Může tak dojít ke zdeformování takto žebrovaného povrchu. Pokud se tloušťka žebber co nejvíce přiblíží k tloušťce stěn, lze tuto deformaci snížit. Ovšem příliš velká tloušťka žebber může zapříčinit zdeformování na straně žebrování. Těmto problémům lze předejít intenzivnějším chlazením na straně žebber nebo úpravou geometrie výrobku. Pokud jde o materiály plněné sklem, u nichž je smrštění větší v kolmém směru na směr toku taveniny, může dojít k opačným deformacím, které budou vznikat na konci žebber. S rostoucí tloušťkou žebra nastává podélnější plnění žebber, což omezuje vznik deformací. Jestliže je tloušťka žebra větší než tloušťka stěny, deformace opět nastává. Obecně platí, že větší žebra lépe vyztuží výrobek, ale aby se předešlo problémům s deformacemi a odformováním výška žebra by neměla být vyšší než trojnásobek jeho tloušťky u základny. [11]



Obr. 18 – Vliv tloušťky na deformaci žebra u neplněných a plněných polymerů

3.1.3 Ostré hrany

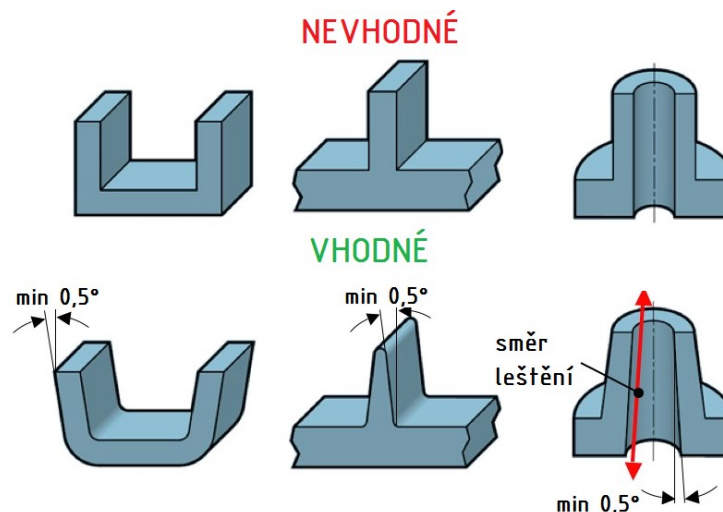
Polymerní díl vyráběný technologií vstřikování by neměl mít na povrchu žádné ostré hrany, kde by mohlo docházet ke hromadění napětí vlivem mechanického zatížení. Zaoblením hran se rázová houževnatost výrobků zvýší až o 50%, dojde k usnadnění tečení taveniny a sníží se opotřebení dutiny formy. Ovšem není nutné vždy všechny hrany opatřit zaoblením, protože některé části výrobku by se pak staly těžko zaformovatelné a ve výsledku by se zkomplikovala a zdražila výroba formy. [9]



Obr. 19 – Příklad řešení vnitřního a vnějšího zaoblení

3.1.4 Úkosy

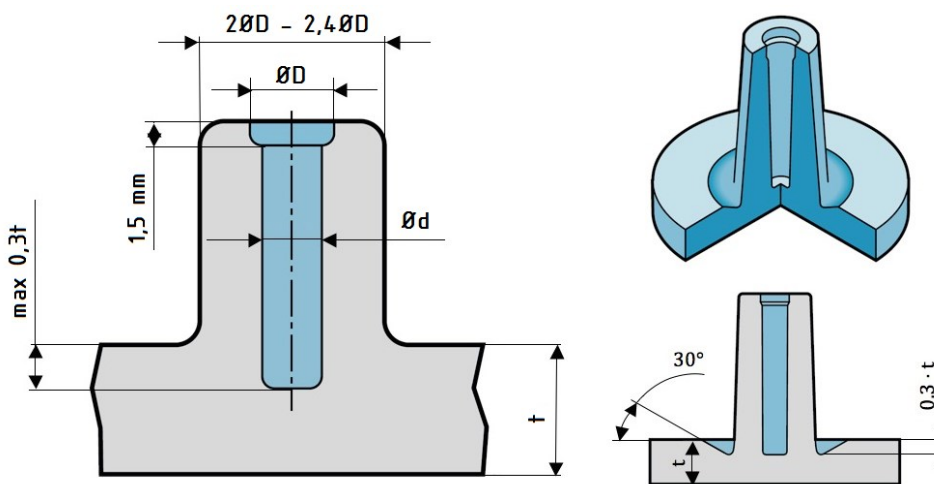
Úkosy se používají zejména kvůli snadnějšímu odformování vstřikovaných výrobků. Umístění a velikost úkosů se odvíjí od způsobu zaformování výrobku. Zpravidla všechny povrchy rovnoběžné se směrem otevírání formy by měly být opatřeny úkosem. Minimální hodnota úhlu úkosů je u většiny materiálů přibližně $0,5^\circ$. Při nedodržení této hodnoty může dojít k poškození povrchu výrobku. V některých případech se pro snadnější odformování používá speciálních úprav povrchu dutiny formy, které však zvýší náklady na výrobu. Požadavky na úkosy určuje řada faktorů, jako je povrch dutiny formy, druh vstřikovaného materiálu nebo způsob vyhazování dílu. [9]



Obr. 20 – Návrh úkosů jednotlivých částí dílu

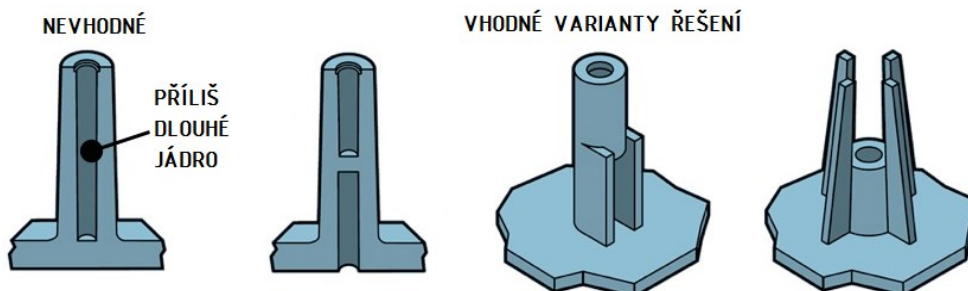
3.1.5 Komínky

Jedná se o důležité prvky sloužící v nejrůznějších aplikacích jako montážní a připojovací body. Většinou mají válcový tvar a jsou opatřeny otvorem, který umožňuje zašroubování šroubu nebo jiného spojovacího prvku. Rozměry komínků jsou často doporučovány výrobcem šroubů s ohledem na použitý druh polymeru. [11]



Obr. 21 – Doporučené rozměry komínků

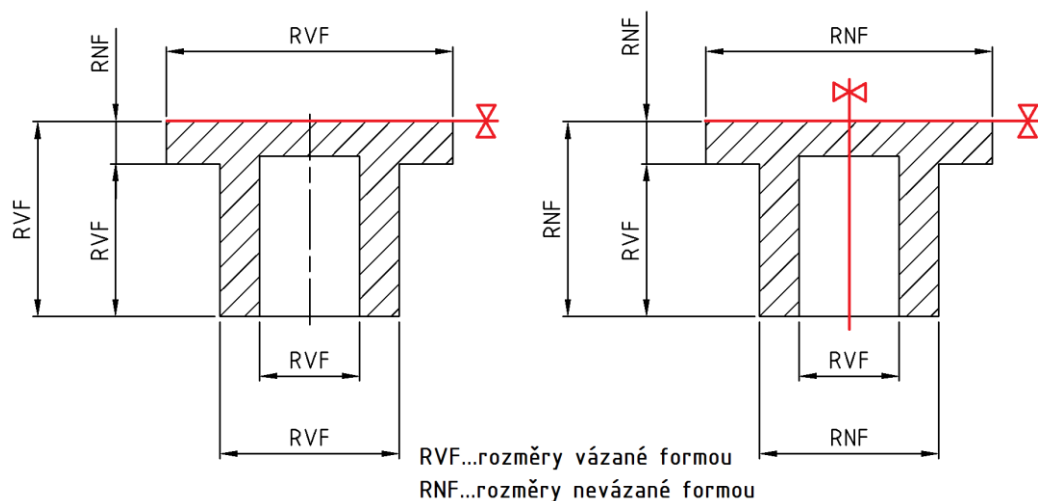
V místě, kde je komínek napojen na stěnu výrobku by mohlo dojít ke hromadění napětí a následné deformaci. Kvůli tomu se přechod mezi komínkem a stěnou dílu opatřuje zaoblením. Přímé napojení komínku na boční stěny výrobků může způsobit zvýšení tloušťky stěny, což může na protilehlém povrchu způsobit propadliny. Pokud se nabízí připojení komínku k boční stěně jako jediná možnost, je vhodné použít propojujících podpor nebo otevřeného komínku v blízkosti stěny. Některé vyšší komínky by mohly zkomplikovat plnění dutiny formy, způsobit nepříznivé chladnutí polymeru a snížit mechanickou odolnost. Konstrukčně lze tento problém vyřešit použitím alternativních tvarů dlouhých komínků. V některých případech se ke komínkům přidávají výztuhy, které je třeba umístit tak aby nevznikaly problémy s odvzdušněním a stejně jako u žeber je nutné brát ohled na tloušťku stěny těchto výztuh. [11]



Obr. 22 – Alternativní varianty dlouhých komínků

3.1.6 Přesnost polymerních výrobků

Při výrobě polymerních dílů vznikají nepřesnosti, které mohou vyplívat přímo z technologie, vlastní výroby nebo lidského faktoru. Reálný rozměr a tvar výrobků se pohybuje v určitém rozmezí, které lze nazvat tolerančním polem. Čím je toto předepsané pole užší, tím přesnější jsou vyráběné díly. Vždy není nutné výrobky zbytečně upřesňovat, značně se tím mohou zvýšit náklady na výrobu. Přesnost výroby ovlivňuje celá řada faktorů jako je samotná technologie vstřikování, konstrukce formy, konstrukce dílu a podmínky okolního prostředí. Pro dodržení požadovaných rozměrů v úzkém tolerančním poli je vhodné využít materiály s nižší hodnotou objemového smrštění. U polymerních výrobků se běžná přesnost pohybuje v mezích IT 12 AŽ IT 15 a zvýšená přesnost IT 9 AŽ IT 10. Rozměry polymerního dílu mohou přímo souviset s geometrií vstřikovací formy nebo se může jednat o rozměry vzniklé dosednutím či pohybem částí formy. [10]



Obr. 23 – Formou vázané a nevázané rozměry výrobku

3.1.7 Jakost povrchu

Při vstřikování je jakost povrchu výrobku obrazem kvality povrchu dutiny formy. Výrobně nejjednodušší a nejméně nákladné jsou díly s matným povrchem. Výhodou je, že matný povrch může zakrývat některé vzhledové nedostatky, jako jsou stopy po toku nebo studené spoje. Naopak lesklé povrchy jsou nejnáročnější a nejméně ekonomické. Na takovém povrchu jsou viditelné veškeré nedostatky dutiny formy i samotné technologie výroby. Na povrchu plastových dílů lze vytvořit i dezén, jehož zhotovení je omezeno pouze umístěním ve formě. Typ dezénu lze zvolit dle vzorníku. Používá se zejména pro zvýraznění některých částí výrobku, usnadnění manipulace nebo snížení transparentnosti. [10]

4 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Forma pro vstřikování je nástroj umožňující současně plnit řadu úkonů vyplývajících z procesu vstřikování. Mezi zásadní funkce formy patří doprava zplastikovaného polymeru do tvarové dutiny, schopnost účinného odvádění tepla a zajištění co nejrychlejšího vyjmutí vstřikovaného výrobku. K realizaci těchto primárních funkcí je nezbytné, aby vstřikovací forma plnila i funkce vedlejší, ze kterých se mohou odvíjet další nároky na vstřikovací formu obzvlášť při různých modifikacích vstřikování. [9]

| VSTŘIKOVACÍ FORMA | | | | | |
|---------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------------------------|----------------|--------------------|
| DOPRAVA TAVENINY | | PŘENOS TEPLA | | ODFORMOVÁNÍ | |
| ODOLNOST PROTI DEFORMACÍM | VEDENÍ TAVENINY | ODVOD TEPLA Z DÍLŮ | ODVOD TEPLA Z FORMY | OTEVŘENÍ FORMY | ODFORMOVÁNÍ DÍLŮ |
| PODPĚRNÉ VÁLCE | VTOKOVÝ SYSTÉM | POČET TEMPERAČNÍCH KANÁLŮ | RYCHLOST TOKU TEMPERAČNÍ KAPALINY | DĚLÍCÍ ROVINA | VYHAZOVAČE |
| TLOUŠTKA DESEK | ÚSTÍ VTOKU | ROZMĚRY CHLADÍČÍCH KANÁLŮ | PRŮŘEZ VEDENÍ TEMPERAČNÍ KAPALINY | VYTAŽENÍ JADER | ROBOTICKÉ VYJÍMÁNÍ |
| VÍCENÁSOBNÁ PROPOJENÍ | | TEPELNĚ VODIVÉ VLOŽKY | | | TAHAČE JADER |

Obr. 24 – Základní a vedlejší funkce vstřikovací formy

4.1 Jednotlivé částí vstřikovací formy

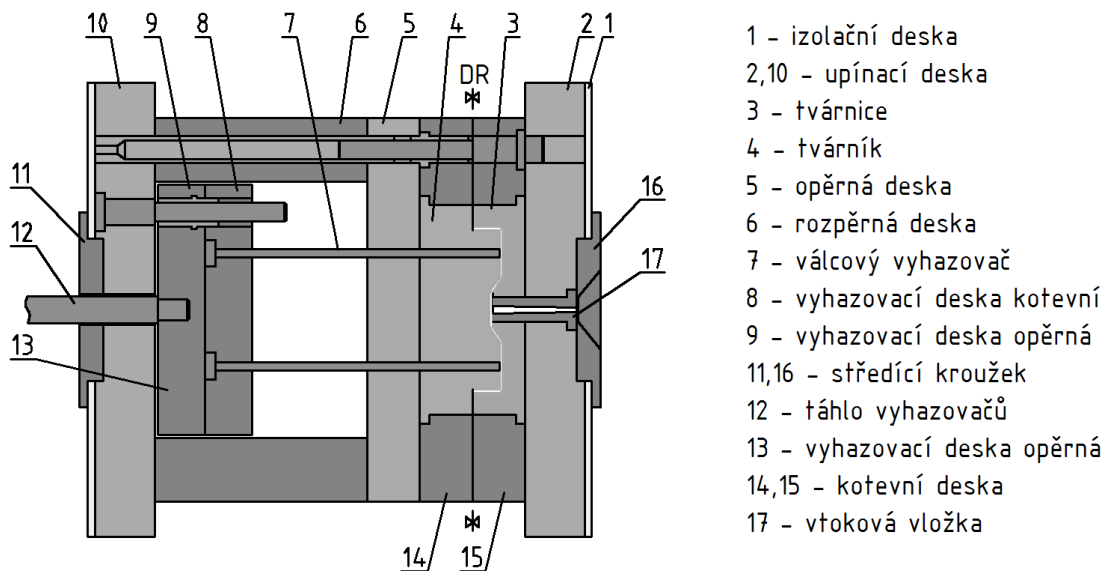
Existuje celá řada typů vstřikovacích forem, které jsou řešeny tak, aby vyhovovaly daným požadavkům a umožnily tak bezproblémovou výrobu vstřikovaných dílů. Na jednom vstřikovacím stroji lze používat více forem podobného charakteru, hmotnosti a velikosti. Samotná forma se sestává z mnoha součástí, přičemž celá řada z nich je normalizovaná, což umožňuje konstruovat formy stavebnicovým způsobem.

Uspořádání formy a způsob její výroby se odvíjí od požadavků, které musí tato forma splňovat. Na použitých materiálech a jejich tepelném zpracování závisí životnost formy. Materiál jednotlivých částí je třeba volit s ohledem na druh vstřikovaného polymeru, použitou technologii, velikost a složitost výrobku a velikost série. Konstrukčně jsou formy velmi rozmanité a mohou se dělit podle násobnosti, způsobu zaformování nebo typu použitého stroje. Části formy lze kategorizovat podle funkce na díly vymezující tvarovou dutinu, vtokový systém, vyhazovací systém, temperační soustavu a vodící elementy. [11] [8]

4.1.1 Popis dvoudeskové vstřikovací formy

Vzhledem k široké škále typů vstřikovacích forem bude prvně popsán základní typ dvoudeskové vstřikovací formy. Ta se sestává z několika desek vzájemně propojených šrouby s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem.

Upínací desky slouží k bezpečnému upnutí formy ke vstřikovacímu stroji. Na jejich povrchu se nachází izolační desky bránící přestupu tepla z formy na vstřikovací stroj a šíření koroze ze vstřikovacího stroje na formu. Tvárník a tvárnice neboli tvarové vložky vytváří tvarovou dutinu, kde se formuje vstřikovaný výrobek. Tvarové desky bývají ukotveny v kotevních deskách. Všechny díly, které přichází do styku s taveninou, musí být mechanicky a abrazivně velmi odolné a tím pádem i drahé. Ukotvením tvarových vložek mezi desky z méně odolných a levnějších materiálů se projeví jako značná úspora nákladů.



Obr. 25 – Uspořádání základních částí vstřikovací formy

Důležitou součástí jsou středící kroužky, jejichž funkcí je zabezpečení pozice vstřikovací formy na vstřikovacím stroji. Osa trysky plastikační jednotky musí být totožná s osou vtokové vložky, skrze kterou proudí polymerní tavenina do dutiny formy. Vnější průměr středícího kroužku musí odpovídat otvoru vstřikovacího stroje. [11]

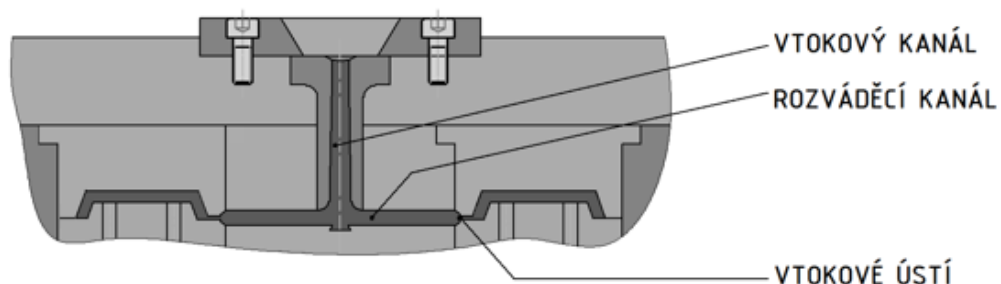
Dělicí rovina tvoří hranici mezi levou pohyblivou a pravou nepohyblivou částí formy. Všechny části tvořící dělicí rovinu musí být dostatečně přesně vyrobeny, aby nedocházelo k netěsnostem či deformacím. Jakmile se forma dostatečně otevře, následuje vyhození dílu. Vysunutím táhla vyhazovačů dojde k pohybu vyhazovacího systému, což způsobí vysunutí vyhazovačů a dojde k vyhození výrobku z dutiny formy. Vedení jednotlivých desek umožňují válcové čepy uložené ve vodících pouzdrech. [9]

4.2 Vtoková soustava

Funkcí vtokového systému vstřikovací formy je zajistit vedení proudu polymerní taveniny z plastikační jednotky do dutiny vstřikovací formy. Základním požadavkem je co nejrychlejší naplnění dutiny s minimálním odporem. Tvar, umístění a rozměry vtokového systému závisí na několika faktorech. Důležité jsou rozměry, vzhled a požadované vlastnosti vyráběného dílu, druh použitého polymeru nebo násobnost formy. [9]

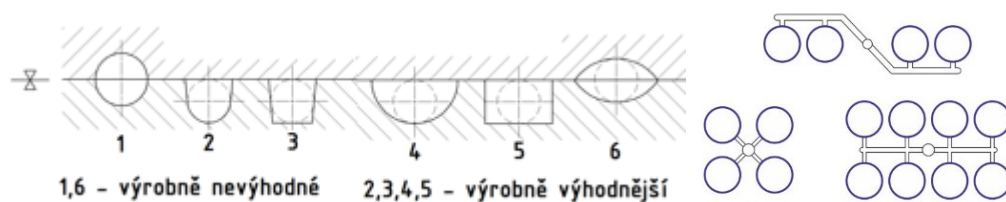
4.2.1 Studené vtokové soustavy

U studených vtoků je třeba zohledňovat spotřebu materiálu, protože objem taveniny, který zaplní studený vtokový systém je ve výsledku odpad. Zásadní rozdíly studených vtokových systémů spočívají v jejich celkovém uspořádání, které se odvíjí od konstrukce vstřikovací formy a její násobnosti. U vícenásobných forem je nutné, aby proud taveniny dorazil ke všem dutinám současně a měl při tom stejný tlak. Tavenina je vstřikována velkou rychlostí do relativně studené vstřikovací formy, je potřeba počítat se zvýšením tlaku, protože při průtoku taveniny studeným vtokovým systémem roste její viskozita. [5]



Obr. 26 – Znárodnění studeného vtokového systému

Používají se různé tvary průřezu vtokového kanálu. Základním požadavkem je co největší průřez při minimálním povrchu, cílem je snížit ztráty teploty taveniny ochlazením. Této podmínce odpovídá kruhový kanál, ale z výrobních důvodů je vhodnější volit lichoběžníkový průřez. U vícenásobných forem se používají odstupňované průřezy kanálů, dosáhne se tak vyšší rychlosti toku taveniny a rovnoměrnějšího plnění dutin. Průřezy kanálků se zpravidla volí větší pro krystalické polymery než pro amorfni materiály. [5]

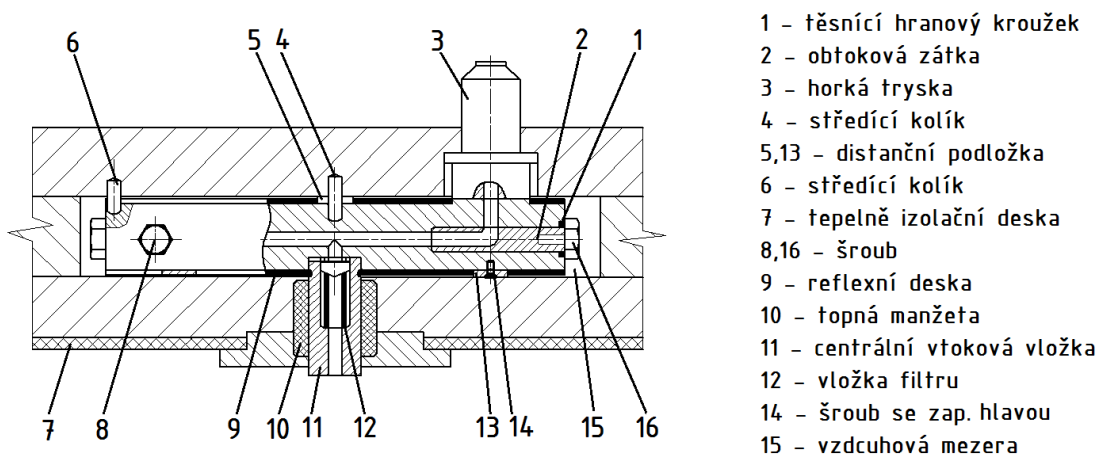


Obr. 27 – Průřezy vtokových kanálků a příklady jejich uspořádání

4.2.2 Vyhřívání vtokové soustavy

Kvůli technologickým i ekonomickým důvodům se začaly používat vyhřívání vtokové soustavy. Nynější vyhřívání vtoků tvoří sofistikovanou oblast konstrukce vstřikovacích forem, kterou se zabývají specializovaní výrobci. Jakmile je dutina formy naplněna, polymer zůstává v tekutém stavu po celé délce vyhřívání vtoků. V místě vstřiku je vhodné vytvořit čochovitě zahlobení, které zabrání vystupování případného nepatrného vtokového zbytku. [11]

Mezi výhody vyhřívání vtoku patří možnost automatizace výroby, zkrácení výrobního cyklu, snížení spotřeby polymeru a minimalizace nákladů na dokončovací práce s odstraňováním a recyklací vtokových zbytků. Celý systém lze poměrně snadno namontovat, demontovat a provádět údržbu. Ovšem konstrukční provedení vstřikovacích forem je náročnější, je třeba zajistit snímače a regulátory teploty horkých vtoků a v porovnání se studenými vtoky jsou energeticky náročnější. [5]



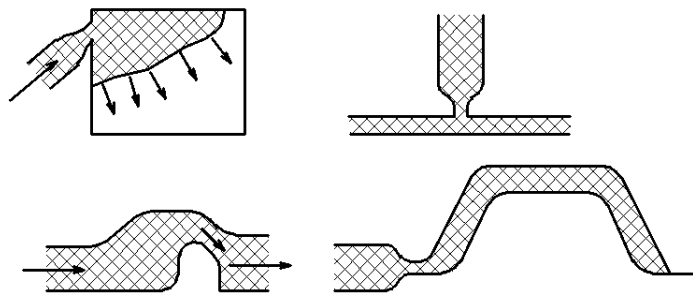
Obr. 28 – Schéma vyhřívání vtoku

4.2.3 Vyhřívání trysky

Vyhřívání trysky lze rozdělit do dvou skupin na přímo a nepřímo vyhřívání. Přímé vyhřívání trysky mohou mít vnější topení, v tom případě tavenina proudí vnitřním otvorem trysky, která je vyrobena z vodivého materiálu. Topení se nachází na vnější straně trysky. Pro zpracování abrazivních materiálů může být tryska legovaná molybdenem. Pokud se jedná o vnitřní topení, polymerní tavenina proudí kolem vnitřní vyhřívání vložky zhotovené z vodivého materiálu. Existují různé konstrukční úpravy trysek, například tryska s hrotem pro polymery náchylné k tažení vlastu nebo uzavíratelné a speciálně tvarované trysky. Ústí trysky může být řešeno buď s jedním, nebo s více otvory. [5] [14]

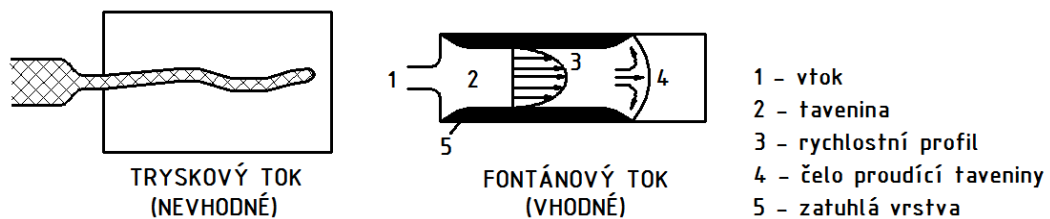
4.2.4 Vtoková ústí

Vtokové ústí je vytvořeno zúžením rozváděcího kanálku, jeho funkcí je umožnit spolehlivé naplnění dutiny formy i případné působení dotlaku. Zúžené vtokové ústí zvyšuje klešající teplotu polymerní taveniny a omezuje strhávání chladných vrstev z obvodu vtoku, čímž omezuje vznik povrchových vad. Umístění vtokového ústí má zásadní vliv na vzhled a požadovanou kvalitu vyráběného dílu. Průřez vtokového ústí se volí co nejmenší s ohledem na charakter výrobku, použitý materiál a samotnou technologii výroby. [12]



Obr. 29 – Příklady vhodného umístění vtoku

Během plnění dutiny formy by mělo docházet k fondánovému toku. Toho lze dosáhnout různými typy vtokových ústí, záleží na tvaru výrobku a koncepci zaformování. Je třeba brát v potaz, že tavenina by těsně po vstupu do dutiny formy měla dopadnout na nějakou překážku, tím se předejde viditelné stopě po vtoku na povrchu výrobku.



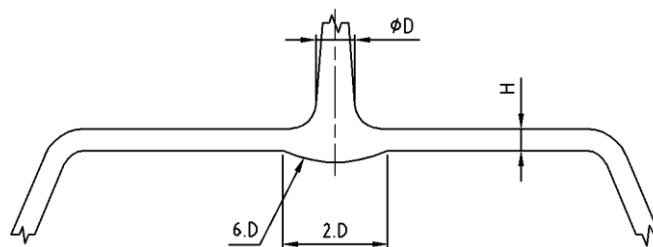
Obr. 30 – Fontánový tok taveniny

U výrobků obdélníkového tvaru se umísťuje ústí do kratší hrany z důvodu uspořádání makromolekul, případně vláknitého plniva. Výsledkem je dobrá rovinnost, ovšem kvůli dlouhé dráze toku horší zatečení. Pokud by se vtok umístil do středu výrobku, výsledek by byl opačný. Obecně se vtokové ústí umísťuje do nejtlustšího místa výrobku tak, aby tavenina tekla vždy z místa většího průřezu do místa menšího průřezu. Při vysokých nárocích na přesnost je třeba uvažovat rozdíly mezi podélným a příčným smrštěním. Využívá se geometrického středu dutiny, aby tavenina zatékala do všech míst rovnoměrněji.

Ústí vtoku by se mělo také umísťovat s ohledem na možnost úniku vzduchu z dutiny formy. [9]

4.2.5 Plný kuželový vtok

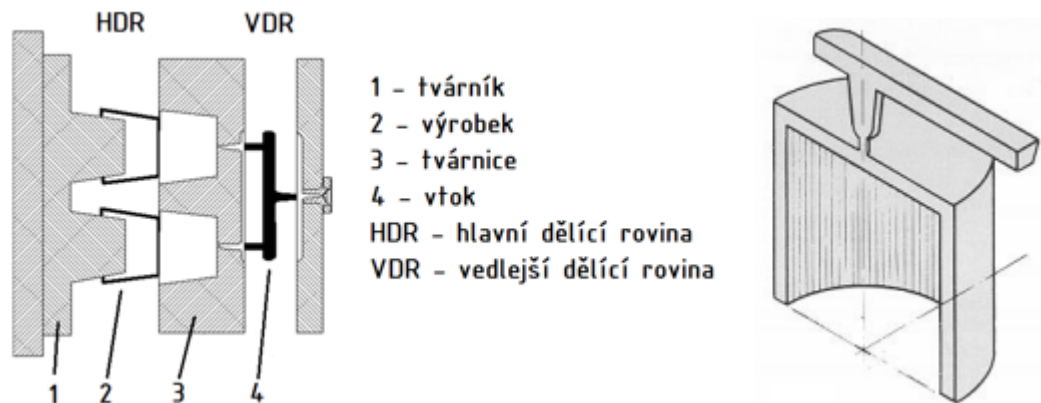
Úkolem plného kuželového vtoku je přivádět taveninu do dutiny formy bez zúženého vtokového ústí. Z hlediska působení dotlaku je velmi účinný, protože vtok tuhne ve vstřikovací formě jako poslední. Problematičtější je jeho odstranění, protože zanechává zřetelné stopy na hotovém výrobku. Využití nachází zejména u jednonásobných forem se symetricky uloženou dutinou nebo u velkoobjemových výrobků o větší tloušťce stěny. [9]



Obr. 31 – Plný kuželový vtok

4.2.6 Bodový vtok

Jedná se o velmi rozšířený typ zúženého vtokového ústí, které leží mimo nebo v dělicí rovině. Vychází přímo z vtokového kanálku, z předkomůrky nebo z rozváděcích kanálků. Tento typ vtoku vyžaduje systém třideskových forem, který prvně umožní odtržení vtokového ústí a až následně dojde k otevření dělicí roviny s tvarovou dutinou. Po odtržení vtokového ústí může na výrobku zůstat viditelná stopa nebo se může část materiálu vytrhnout, tomu lze předejít vytvořením čočkovitého nálitku naproti ústí vtoku. Bodový vtok není vhodné používat u méně viskózních či plněných polymerů. Průměr bodového vtoku je vhodné volit co nejmenší s ohledem na geometrii výrobku a použitý polymer, nejčastěji se však používá průměr ústí 1 mm. [11] [4]

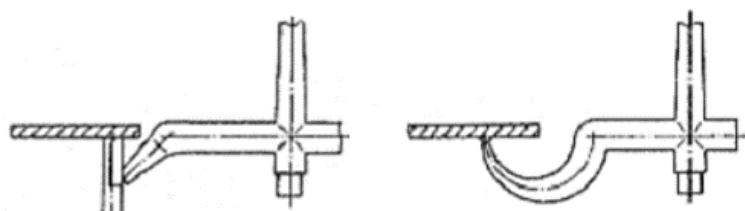


Obr. 32 – Princip třídeskového systému a znázornění bodového vtoku

4.2.7 Tunelový a srpkovitý vtok

Je to zvláštní typ bodového vtoku, jehož výhoda spočívá v tom, že vtokový zbytek se může nacházet ve stejné dělicí rovině jako je výrobek. Tím pádem není nutnost konstruovat formu s třídeskovým systémem, který je výrobně náročnější. Odtržení vtokového zbytku probíhá při otevírání dělicí roviny nebo při vyhazování dílu. Z důvodů snadného odformování se umísťuje do levé pohyblivé části formy. [12] [9]

Zvláštním případem tunelového vtoku je srpkovitý neboli banánový vtok. S výhodou jej lze použít u výrobků, kde je kladen důraz na ničí nerušenou pohledovou část dílu. Z důvodu rizika vytrhování materiálu při odformování není vhodný pro vstřikování křehkých polymerů jako je PS, SAN nebo PMMA.



Obr. 33 – Schéma tunelového a srpkovitého vtoku

4.3 Vyhazovací systém

Vyhazování vstřikovaných dílů spočívá ve vysunutí nebo vytlačení vstřikovaného výrobku z formy. Vyhození výrobku může probíhat pomocí různých vyhazovacích systémů fungujících automaticky nebo poloautomaticky. Je třeba brát v potaz, že při vyhazování samotného dílu se odstraňuje i vtokový zbytek. Volba vyhazovacího systému je závislá zejména na geometrii výrobku, jakosti jeho ploch a na technologických podmínkách procesu. Existuje několik způsobů vyhazování, nejčastěji se však používá mechanický systém,

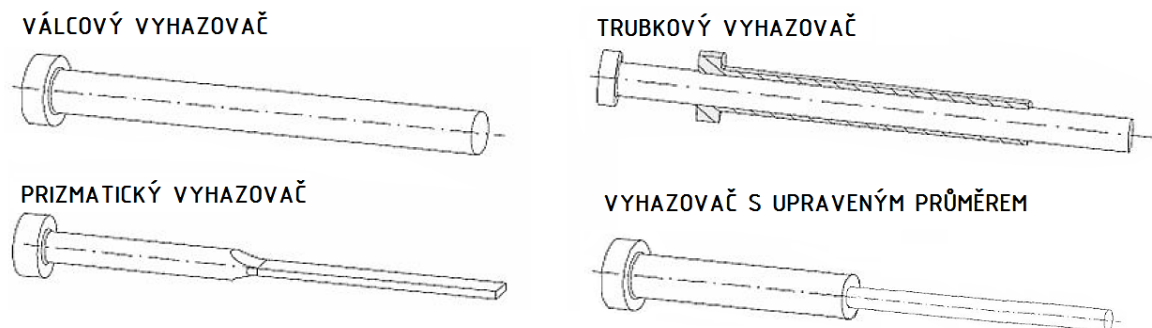
který může fungovat na principu vyhazovacích kolíků, stíracích desek, šikmých vyhazovačů nebo vícestupňového a speciálního vyhazování. Zvolený způsob vyhazovačů musí zabezpečit snadné vyhození výrobku bez jeho poškození. [12]

4.3.1 Vyhazovací síla

Navržený systém vyhazování by měl zaručit vyvození potřebné vyhazovací síly. Její velikost se stanoví z podmínky, že smrštění vyvolá mezi vyráběným dílem a formou tlak, který způsobí tření, k jehož překonání je třeba vyhazovací síla. Konkrétní velikost této síly se však v praxi nezjišťuje, síla vyhazovacího systému je většinou předimenzovaná a výpočet by byl zbytečný. [8]

4.3.2 Vyhazovací kolíky

Jedná se o často používaný způsob mechanického vyhazování výrobků. Je možné je použít ve všech případech, kde je možné umístění vyhazovacího kolíku proti ploše vyráběného dílu. Jejich výroba je jednoduchá a funkce zaručená. Ve formě bývají uloženy v různých tolerancích v závislosti na požadované funkci a tekutosti polymeru. Vůle v uložení mezi kolíkem a formou plní také odvzdušňovací funkci. [8] [14]

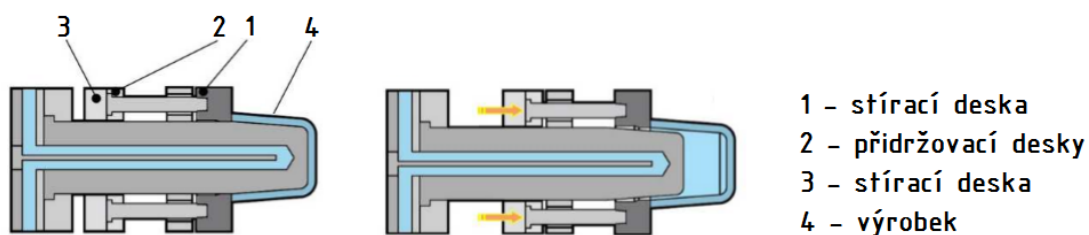


Obr. 34 – Tvary vyhazovacích kolíků

Kontakt mezi vyhazovacím kolíkem a stěnou výrobku by měl být na nepohledové straně nebo na žeburu výrobku, které se však nesmí při vyhazování bortit. Množství a umístění vyhazovačů závisí na charakteristice daného výrobku a na prostoru ve formě, který může být omezen temperačními kanálky. Vyskytují se různé konstrukce vyhazovacích kolíků vhodné pro danou aplikaci. Univerzální je válcový vyhazovač, v případech kde se na povrchu výrobku nachází mezikruží, je vhodné použít trubkový vyhazovač. U výrobků se žebry lze využít prizmatických vyhazovačů s obdélníkovým čelem, jejichž styčná plocha s výrobkem je větší, než při použití více válcových vyhazovačů. Vyhazovače s tvarově upraveným čelem je třeba polohově ukotvit, aby nedošlo k jeho pootočení kolem osy. [5]

4.3.3 Stírací deska

Při vyhazování působí stírací deska na plochu výrobku po celém jeho obvodu. Výsledkem je velká styčná plocha, díky čemuž nejsou znatelné stopy po vyhazování a deformace výrobku jsou minimální. Své uplatnění nachází u výrobků větších rozměrů a tenkostěnných výrobků vyžadujících větší vyhazovací sílu. Stírací desku je možné použít, pokud rovina výrobku dosedá na stírací desku. Pohyb stírací desky je většinou umožněn tlakem, vyvozeným vyhazovacím trnem. Zvláštním případem stírací desky je trubkový vyhazovač, na výrobek působí tlakem trubkové části upevněné ve vyhazovacích deskách, druhou část tvoří pevně upevněné jádro. [9]



Obr. 35 – Princip stírací desky

4.3.4 Šikmé vyhazovače

Jedná se o speciální formu mechanického vyhazování. Vyhazovací kolíky tvoří šikmé čepy, uloženy pod různými úhly k hlavní dělicí rovině. Využívají se k odformování výrobků obsahujících malé nebo středně velké zhloubení, není tak nutné používat složitější čelistové mechanismy. [5]

4.3.5 Pneumatické vyhazování

Používá se zejména pro vyhazování tenkostěnných výrobků o větších rozměrech, jako jsou kbelíky nebo květináče. Tyto výrobky je při vyhazování potřeba zavzdušnit z důvodu deformací. Použitím běžného mechanického vyhazování by se výrobek mohl zdeformovat a pro vyhození by byl potřebný velký zdvih vyhazovacího systému. Vzduch je rozváděn mezi výrobek a povrch vstřikovací formy, což zaručí rovnoměrné oddělení dílu od tvárníku. V některých případech se používá kombinace pneumatického a mechanického vyhazování. [5]

4.3.6 Hydraulické vyhazování

Hydraulický systém je možné použít k ovládní mechanických vyhazovačů, dosáhne se tak pružnějšího pohybu a větší flexibility. Hydraulická jednotka nebývá součástí vstřikovacího stroje, ale je tvořena samostatným zařízením, které se vybírá z katalogů různých výrobců pro danou aplikaci. [5]

4.3.7 Vedení vyhazovacích desek

Smysl vyhazovacích desek spočívá v ukotvení a ovládní vyhazovacího systému. Uvnitř vyhazovacích desek jsou vloženy vodící pouzdra, ve kterých jsou umístěny vodící čepy. Podle druhu konstrukčního provedení jsou vyhazovací desky opatřeny dorazy, které zabraňují dosedání celé plochy desek v okrajových polohách. Vyhazovací desky bývají většinou kotevní a opěrné, musí zajistit ukotvení a výměnu vyhazovacích kolíků. [12]

4.4 Temperace forem

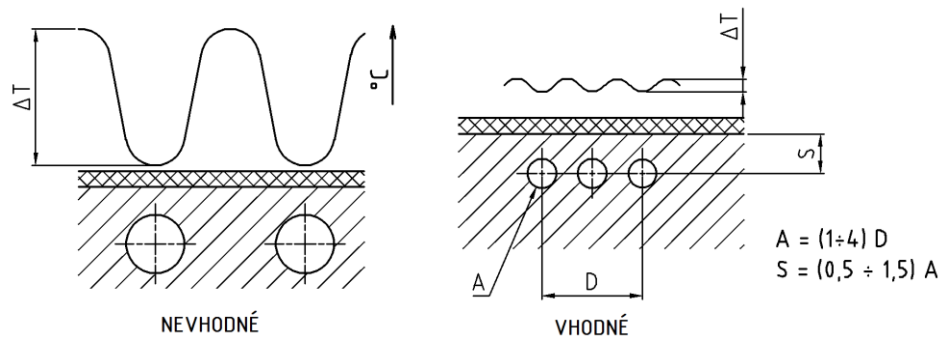
Cílem temperování je udržet konstantní teplotní pole vstřikovací formy. Během vstřikování je do formy přiváděn polymer, který se ochlazuje v dutině formy na vyhazovací teplotu. Temperování má vliv na proces plnění dutiny formy a zajišťuje vhodné podmínky pro tuhnutí a chladnutí materiálu. Během každého cyklu se forma ohřívá a přebytečné teplo je potřeba odvést, aby výroba dalšího dílu probíhala při stejných podmínkách. [13]

4.4.1 Charakteristika temperačních systémů

Proces temperace formy na požadovanou teplotu je závislý na teplotní bilanci formy a okolního prostředí. Značné ztráty se projevují vedením tepla do upínacích ploch vstřikovacího stroje či radiací do okolí. Teplotní pole během vstřikování není konstantní a z toho důvodu je třeba temperační systém optimalizovat a nalézt ideální rozměr a umístění temperačních kanálků s ohledem na rychlost proudění a teplotu temperačního média. Každý temperační okruh bývá tvořen zvláště podle způsobu zaformování a tvaru výrobku. [13]

4.4.2 Zásady při volbě temperačního systému

Temperace je realizována pomocí soustavy kanálků a dutin, ve kterých proudí vhodné temperační médium a díky tomu je možné regulovat teplotu formy. Rozměry a umístění kanálků a dutin je třeba volit s ohledem na celkový charakter formy s ohledem na pevnost a tuhost tvarové dutiny. Je vhodné konstruovat větší počet kanálků o menším průměru.



Obr. 36 – Volba temperačních kanálků

Kolem tvarové dutiny by se měly kanálky rozmisťovat rovnoměrně v různých vzdálenostech odpovídajících tvaru a tloušťce stěny dílu. Výrobky o vyšší tloušťce stěny je třeba chladit intenzivněji. Velikost průřezu se volí dle zpracovávaného materiálu, velikosti výrobku a způsobu jeho zaformování. Není vhodné příliš zvětšovat průměr kanálku, intenzita odvádění tepla se zvýší pouze nepatrně a dojde ke snížení tuhosti formy. [5]

4.5 Materiály forem

Na konstrukci vstřikovacích forem jsou kladeny velké nároky s cílem dosáhnout požadované kvality vyráběných dílů, vysoké životnosti formy a nízkých pořizovacích nákladů. Důležitým faktorem ovlivňujícím tyto podmínky je materiál vstřikovacích forem, který se volí na základě druhu zpracovávaného polymeru, přesnosti výrobků a technologických podmínek. Obecně se volí univerzální materiály, například vhodné jakosti ocelí, slitiny Cu, slitiny Al nebo izolační a nevodivé materiály. [7]

4.5.1 Ocelové materiály

Z hlediska svých vlastností jsou nejvýznamnějšími materiály používanými pro konstrukci forem oceli. Forma se skládá z jednotlivých částí, kde každá z nich plní funkci jiného charakteru a proto jsou kladeny specifické požadavky na použitý materiál. V závislosti na dané funkci musí materiál splňovat vlastnosti jako je dobrá obrobitelnost, odolnost proti otěru, korozi a chemikáliím a vyhovující tepelná zpracovatelnost. Desky rámu formy, dorazy, táhla, či podpůrné elementy se vyrábějí z ocelí 11 373, 11 500, 12 020 a dalších. Části formy, které přijdou do styku s taveninou, jako jsou tvarové a vtokové vložky se vyrábějí z ocelí 19 191, 19 550, 19 652 a řady dalších. Pro vodící a kluzné elementy jsou vhodné oceli 14 220 nebo 14 221. Izolační desky mohou být vyrobeny ze sklotextilu, syntetické pryskyřice nebo PA + 30 skla. [7]

Požadovaných vlastností materiálů lze dosáhnout tepelným zpracováním, jehož průběh je spojen se změnou struktury materiálu ovlivňující zejména mechanické vlastnosti. U ocelí pro výrobu forem se používá žíhání, kalení ke zvýšení tvrdosti a pevnosti, popouštění a chemicko-tepelné zpracování jako je cementace nebo nitridování.

4.5.2 Slitiny mědi a slitiny hliníku

U slitin mědi se využívá jejich velmi dobrá tepelná vodivost, dobrá chemická odolnost a vhodné kluzné vlastnosti. Používají se na chladicí trny tenkých tvárnků, vytáčecí matice nebo vodící a středící pouzdra. Vhodné použití slitin mědi může zajistit vyšší funkční bezpečnost kvůli hladším povrchům a lepším kluzným vlastnostem.

Slitiny hliníku korozivzdorné a mají dobrou tepelnou vodivost. Používají se například na konstrukci forem pro strukturní pěny, uplatní se zde intenzivní chladicí účinek a dobrá chemická odolnost vůči korozi a chemickým činidlům. Dále se využívají na výrobu chladících trnů, odlévaných chladících bloků, tvárnků a tvárnic pro malosériové formy. [5]

5 VSTŘIKOVACÍ STROJE

Jedná se o stroje primárně určené pro zpracovávání polymerů zejména v podobě granulátu, jsou nezbytnou součástí procesu vstřikování. Moderní stroje pracují automaticky, díky tomu je dosahováno vysoké produktivity, ovšem pořizovací cena stroje je poměrně vysoká. V současné době se používají především šnekové vstřikovací stroje sestávající se ze vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky, kontrolního a řídicího systému. [13]

5.1 Rozdělení vstřikovacích strojů

- Podle pohonu

Posuv vstřikovací a uzavírací jednotky v hlavních osách stroje je zajišťován hydraulickými nebo elektrickými motory. Na základě pohonu se tedy vstřikovací stroje dělí na hydraulické nebo elektrické. Vyskytují se i kombinace obou pohonů, poté se jedná o hybridní vstřikovací stroj.

- Podle funkčního členu plastikační jednotky

Pracovním členem plastikační jednotky může být píst nebo šnek, podle toho lze vstřikovací stroje rozdělit na pístové a šnekové.

- Podle směru pohybu desky uzavírací jednotky

Deska uzavírací jednotky se může pohybovat zleva doprava nebo shora dolů. Vstřikovací stroje tak lze rozdělit podle orientace na horizontální a vertikální.

- Podle maximální uzavírací síly

Uzavírací jednotka je schopna vyvodit určitou uzavírací sílu, která může nabývat různých hodnot. S uzavírací silou do 500 kN pracují malé vstřikovací stroje. Uzavírací síla středních vstřikovacích strojů se pohybuje v rozmezí 500 kN až 5000 kN. Velké vstřikovací stroje pracují s uzavírací silou nad 5000 kN. V praxi se často používá označení v tunách.

- Podle dalších faktorů

Vstřikovací stroje se mohou dále dělit podle počtu uzavíracích desek na dvoudeskové a třideskové, podle počtu šneků na jednošnekové nebo vícešnekové, dle otáček šneku na rychloběžné a pomaloběžné. Dále se vstřikovací stroje rozlišují podle množství vodících tyčí na stroje se dvěma nebo čtyřmi vodícími tyčemi. Vstřikovací jednotka může vykonávat předplastikaci, dle toho lze rozlišovat stroje s předplastikací nebo bez předplastikace. [5]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

V bakalářské práci byly stanoveny tyto hlavní cíle:

- vypracovat literární studii na dané téma,
- provést konstrukci 3D modelu vstřikovaného dílu,
- navrhnout vstřikovací formu pro zadaný díl
- nakreslit 2D řez vstřikovací formou včetně příslušných výkresů a kusovníku.

Cílem teoretické části bakalářské práce bylo přiblížit samotnou technologii vstřikování a problematiku konstruování vstřikovacích forem včetně základního popisu zpracovávaných polymerních materiálů.

V praktické části bylo úkolem vypracovat 3D model vstřikované polymerní součásti. Počáteční model tvoří reálný výrobek, jedná se o součást ovládání podtlakové klapky u automobilového motoru. Pro tento díl byla navržena 3D sestava vstřikovací formy včetně výkresové dokumentace a kusovníku.

Při návrhu konstrukce vstřikovací formy bylo využito softwaru CATIA V5R19 v kombinaci s modulem společnosti HASCO podporujícím normálie.

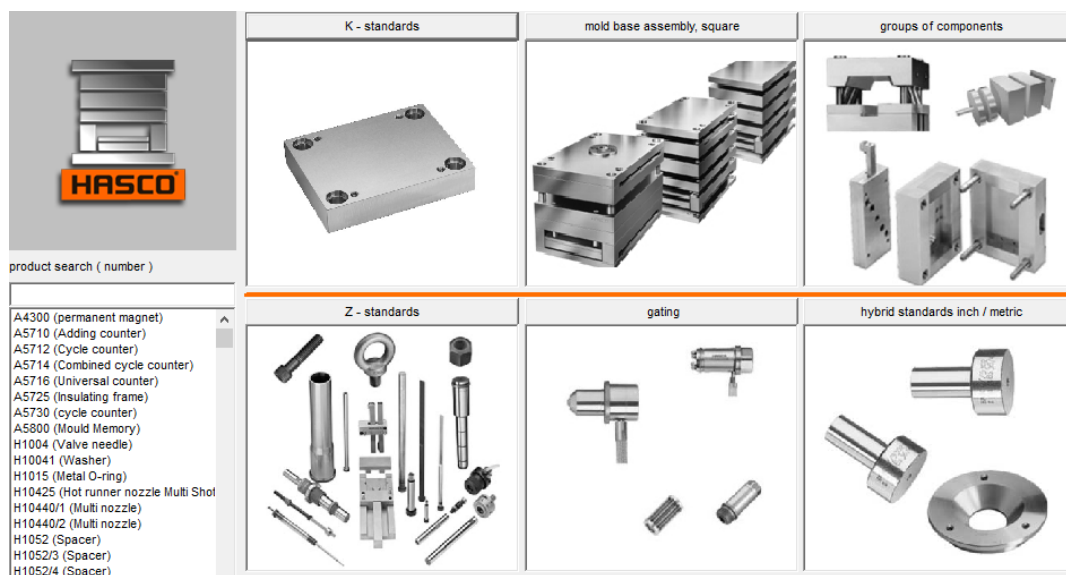
7 POUŽITÝ SOFTWARE

7.1 Catia V5R19

Konstrukce vstřikovaného dílu i vstřikovací formy včetně výkresové dokumentace byla provedena v programu Catia V5R19. Jedná se o produkt společnosti Dassault Systemes, který je schopen pokrýt celou škálu jednotlivých úseků výroby od návrhu dílu, přes samotnou konstrukci, různé simulace, analýzy až po vytváření dokumentace a NC programů pro vlastní výrobu.

7.2 HASCO DAKO modul

Při konstrukci vstřikovací formy lze využít celou řadu normalizovaných součástí. Společnost HASCO poskytuje přehledný digitální katalog normálií, který umožňuje snadný výběr potřebné součásti o požadovaných rozměrech a její vložení do konstrukčního prostředí. [14]



Obr. 37 – Ukázka prostředí HASCO DAKO modulu

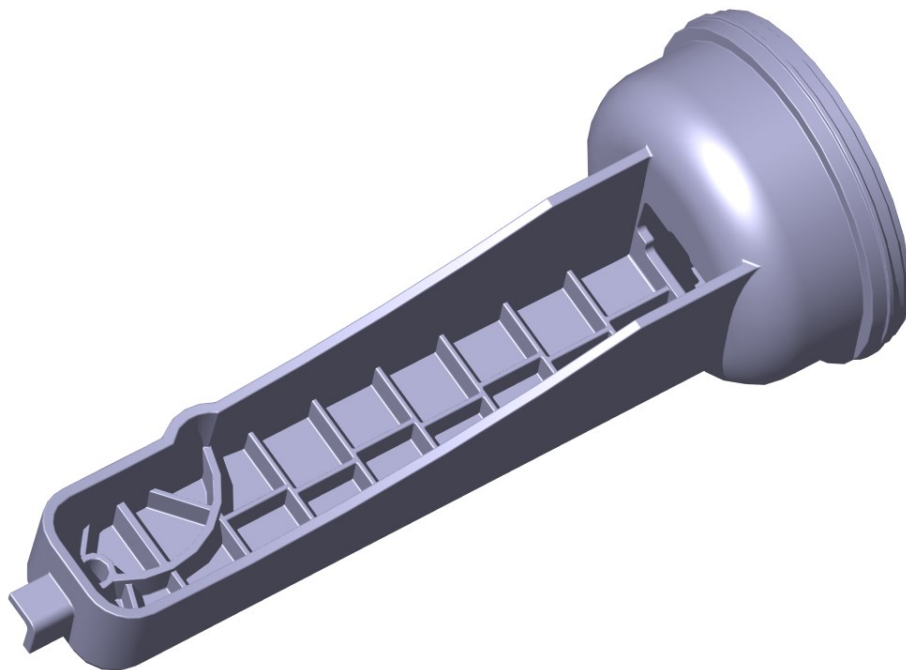
8 SPECIFIKACE VÝROBKU

8.1 Popis výrobku

Vstříkovaný díl představuje součást ovládání podtlakové klapky u automobilového motoru. Výrobek se sestává z tenkostěnného profilu s několika otvory a žebrováním na vnitřní straně. Kvůli geometrii výrobku je nutné při zaformování uvažovat dvě dělicí roviny.



Obr. 38 – Fotografie výrobku



Obr. 39 – 3D model výrobku

8.2 Materiál výrobku

Pro výrobu dílu byl zvolen polyamid typu PA6.6, s přísadou 30% skelných vláken. Takový materiál se označuje jako PA66-GF30. Vyznačuje se vysokou pevností, tuhostí a výbornou stabilitou rozměrů. Je odolný vůči opotřebení a vyšší teplotě, díky tomu je jeho použití vhodné pro náročnější aplikace. Obecnou nevýhodou polyamidů je jejich nasákavost vody, proto je třeba granulát před vstřikováním vysušit, jinak by došlo k výrobě vadných kusů.

| Plnivo | Skelné vlákno |
|---|------------------------|
| Hustota | 1183 g/cm ³ |
| Teplota tání | 255 °C |
| Max. krátkodobá provozní teplota (na vzduchu) | 240 °C |
| Max. trvalá provozní teplota (na vzduchu) | 110 – 120 °C |
| Vrubová houževnatost - Charpy | 6 kJ/m ² |
| Elektrická vodivost | 20 kV/mm |
| Pevnost v ohybu | 80 N/mm ² |
| Pevnost v tlaku | 200 N/mm ² |
| Modul pružnosti v tahu | 2000 N/mm ² |
| Pevnost v tahu | 70 N/mm ² |

Tab. 1 – Vybrané vlastnosti PA66-30GF

9 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Vzhledem k technickým parametrům a rozměrům vstřikovací formy byl zvolen vstřikovací stroj ALLROUNDER 570 S vyráběný společností ARBURG. [15]

| Parametr | Hodnota |
|---|---------------------|
| Maximální uzavírací síla | 2000 kN |
| Maximální délka otevření | 650 mm |
| Maximální světlost mezi upínacími deskami | 900 mm |
| Minimální výška formy | 250 mm |
| Velikost upínací desky | 795 x 795 mm |
| Vzdálenost mezi vodícími sloupky | 570 x 570 mm |
| Maximální vyhazovací síla | 70 kN |
| Maximální zdvih vyhazovacího systému | 200 mm |
| Celkový výkon stroje | 53 kW |
| Průměr šneku | 50 mm |
| Poměr šneku | 20 |
| Maximální objem vstřikované dávky | 656 cm ³ |
| Maximální vstřikovací tlak | 200 MPa |
| Maximální krouticí moment šneku | 880 N.m |

Tab. 2 – Vybrané parametry vstřikovacího stroje ALLROUNDER 570 S

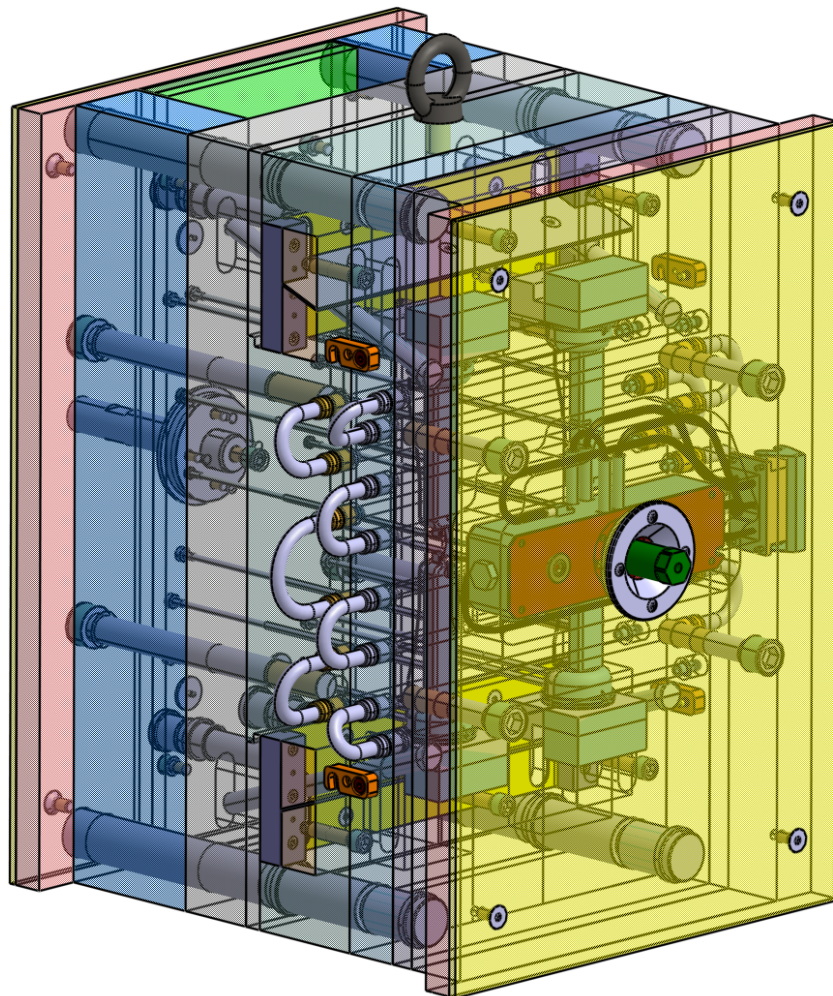


Obr. 40 – Vstřikovací stroj ARBUR ALLROUNDER 570 S

10 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma byla zkonstruována dle rozměrů a geometrie daného výrobku, forma je čtyřnásobná, což znamená, že během jednoho pracovního cyklu dojde ke vstříknutí polymeru do čtyř tvarových dutin formy zároveň. Během konstrukce bylo využito co nejvyšší množství normalizovaných součástí od společnosti HASCO, díky čemuž došlo k urychlení a zdokonalení celé konstrukce. Pomocí programu Catia V5R19 v prostředí Part Design a Generative Sheet Design byly vymodelovány nenormalizované součásti formy. Sestavení veškerých dílů probíhalo v prostředí Assembly Design a Mold Tooling Design.

Rozměry jednotlivých desek formy byly navrženy tak, aby odpovídaly rozměrům vstřikované součásti a poskytovaly dostatečnou tuhost celé formy. Jednotlivé desky jsou vystředěny vodícími čepky a do funkčních celků spojeny pomocí šroubů. Manipulace formy je umožněna pomocí šroubu s okem, který je umístěn na horní straně formy. Dělicí rovina je po stranách zajištěna zámky, aby během přesouvání nedošlo k otevření formy.

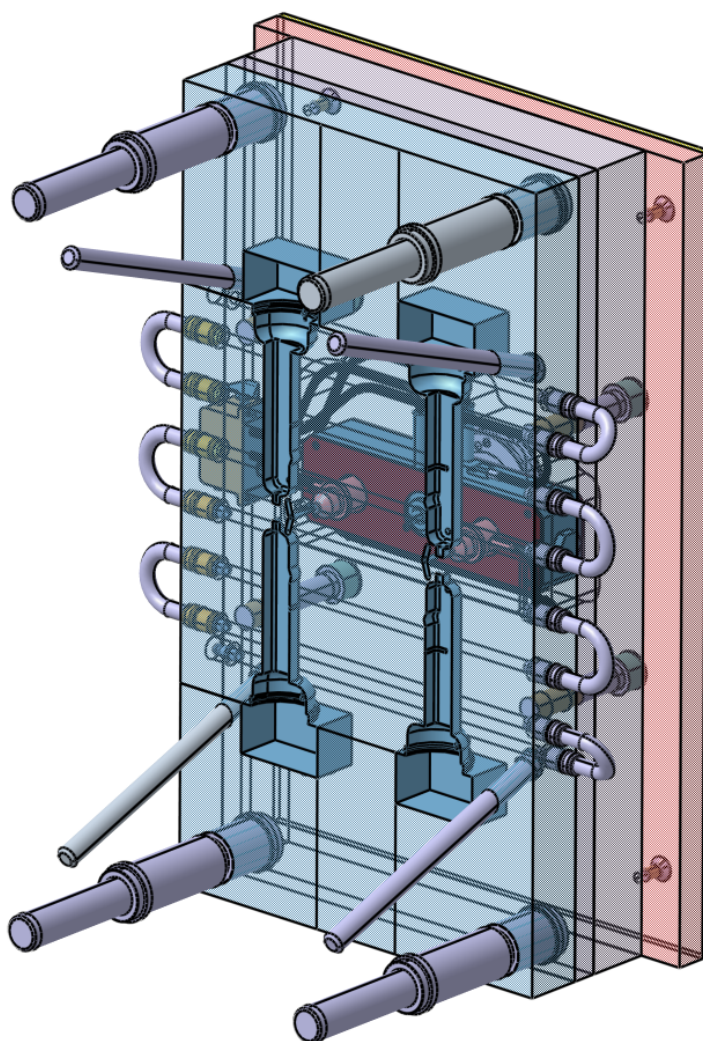


Obr. 41 – Kompletní vstřikovací forma

10.1 Hlavní části vstřikovací formy

Celek vstřikovací formy tvoří tři hlavní části. Jedná se o pravou stranu, levou stranu a vyhazovací systém.

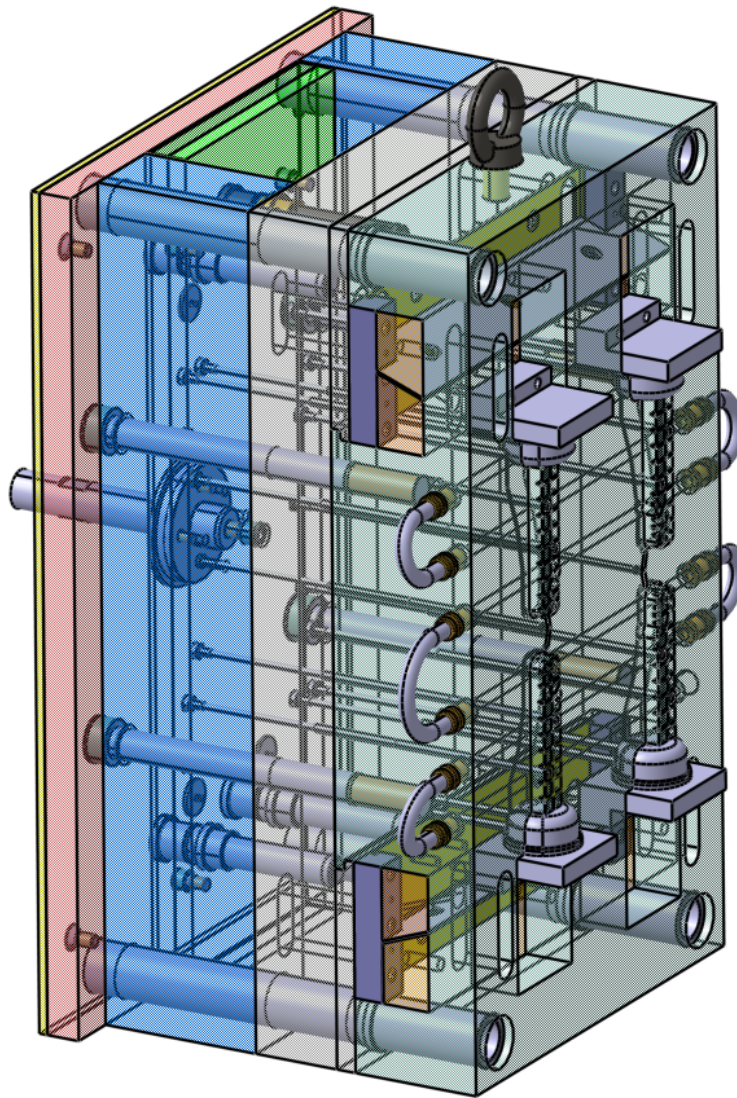
Pravá neboli vstřikovací část se sestává z pěti vzájemně propojených desek. Izolační deska o nízké tepelné vodivosti odděluje formu od vstřikovací jednotky, upínací deska slouží pro upnutí formy k pevné části vstřikovacího stroje, dále je v ní uložen středící kroužek a vtoková vložka. Deska pro vyhřívání blok a deska pro kabeláž slouží k uložení horkého rozvodového bloku včetně kabeláže a zásuvky. Pravá tvarová deska neboli tvárnice obsahuje čtyři tvarové dutiny a vtokové kanálky, kterými bude do dutiny dopravována tavenina. Dále se v této desce nachází soustava vrтанých kanálků, které zajišťují temperaci formy. Ve tvarové desce jsou také ukotveny vodící čepy a šikmé čepy umožňující boční odformování.



Obr. 42 – Pravá strana vstřikovací formy

Levá strana formy, označována též jako vyhazovací, je tvořena sestavou propojených desek.

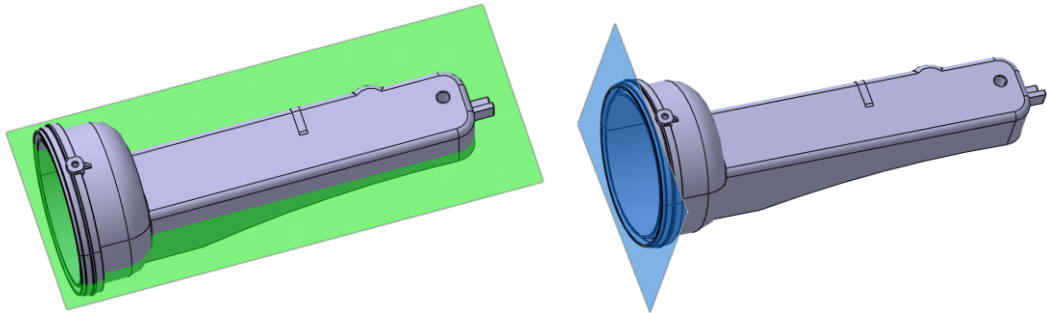
V levé tvarové desce neboli tvárníku se nachází protějšší tvarové dutiny k dutinám v pravé tvarové desce, mezi těmito deskami vzniká hlavní dělicí rovina. Stejně jako ve tvárnici tak i ve tvárníku se nachází soustava vrtaných kanálků umožňujících temperaci. Mezi tvárníkem a opěrnou deskou je uložen systém posuvových čelistí, zajišťující boční odformování ve vedlejší dělicí rovině. Rozpěrné desky vytváří prostor pro posuv vyhazovacích desek, ve kterých je uložena soustava válcových vyhazovačů. Vyhazovací desky jsou vedeny čtyřmi menšími vodícími čepy, zakotvenými v levé upínací desce. V téže desce je uložen středící kroužek a táhlo vyhazovačů. Středící trubky zajišťují vzájemné vystředění jednotlivých částí levé strany formy.



Obr. 43 – Levá strana vstřikovací formy

10.2 Dělicí roviny

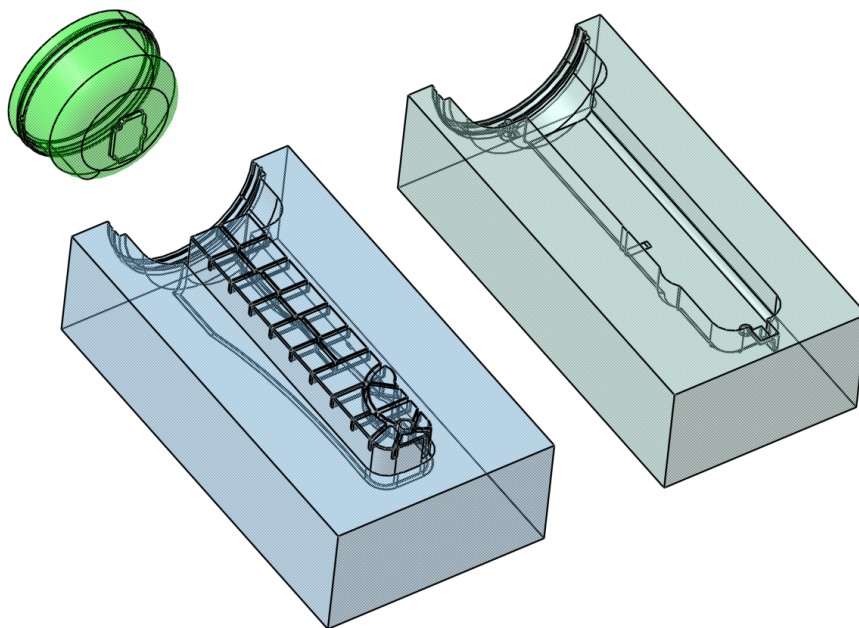
Kvůli geometrii výrobku bylo nutné při konstrukci formy uvažovat dvě dělicí roviny, ve kterých se bude forma otevírat a bude tak umožněno odformování a vyhození vstřikovaného dílu. Hlavní dělicí rovina je paralelní s upínací deskou formy, vedlejší dělicí rovina leží kolmo k upínací desce. Takové uspořádání umožňuje odformování dutiny na horní straně výrobku.



Obr. 44 – Hlavní a vedlejší dělicí rovina

10.3 Tvarové díly

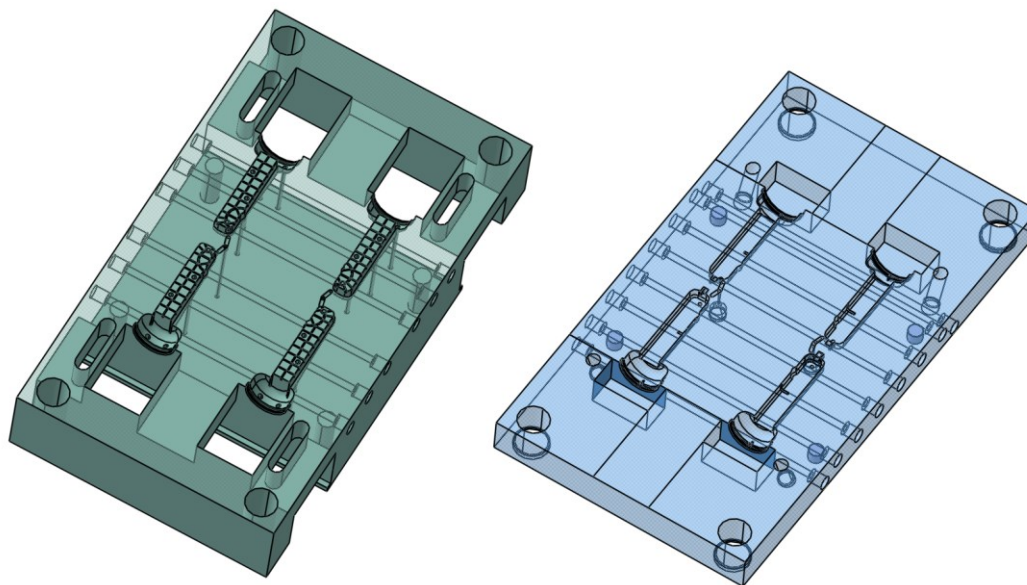
Tvarovou dutinu pro výrobu zadaného dílu tvoří celkem tři části, tvárník tvárnice a boční posuvová čelist. Jednotlivé části po sestavení tvoří negativní tvar výrobku zvětšený o hodnotu smrštění vstřikovaného polymeru. Tvárnice je umístěna v pravé části a tvárník v levé pohyblivé části formy. Boční čelisti jsou uloženy na levé části formy a během otevírání dělicí roviny dojde pomocí šikmých čepů k jejich posunutí.



Obr. 45 – Schéma tvárníku s tvarovou částí boční čelisti a tvárnice

10.4 Násobnost vstřikovací formy

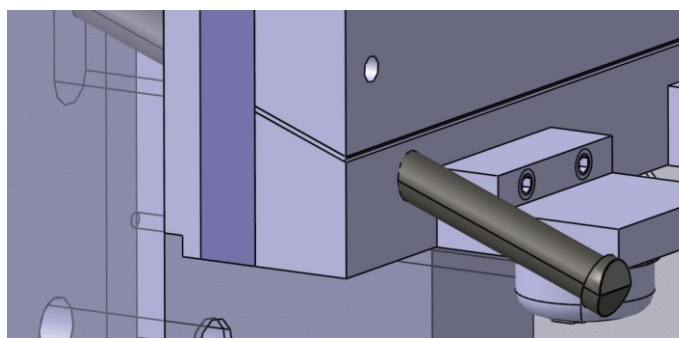
Násobnost formy udává počet kusů dílů, které lze vyrobit během jednoho vstřikovacího cyklu. Při volbě násobnosti je třeba zohlednit velikost a geometrickou složitost tvarové dutiny formy, ekonomičnost výroby, parametry vstřikovacího stroje a další faktory. V tomto případě byla s ohledem na tvar výrobku a umístění posuvových čelistí zvolena čtyřnásobná forma.



Obr. 46 – Levá a pravá tvarová deska

10.5 Boční posuvové čelisti

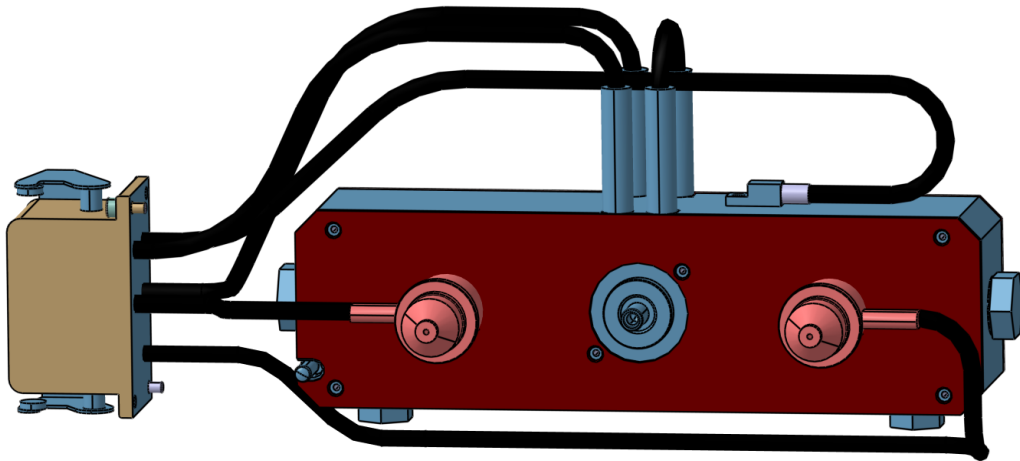
Takové části výrobků, které by nebylo možné odformovat běžným způsobem, je třeba odformovat pomocí bočních posuvných čelistí. Čelisti spojeny s tvarovou částí jsou otevírány zároveň s dělicí rovinou a dochází k odformování dané části výrobku. Čelisti jsou nuceně vedeny po čepech, uložených pod úhlem 20° v pravé části formy. Opotřebení nákladných tvarových částí, které se po sobě vzájemně posouvají, je minimalizováno použitím kluzných desek, které lze po opotřebení vyměnit.



Obr. 47 – Šikmý čep a boční čelist

10.6 Vtoková soustava

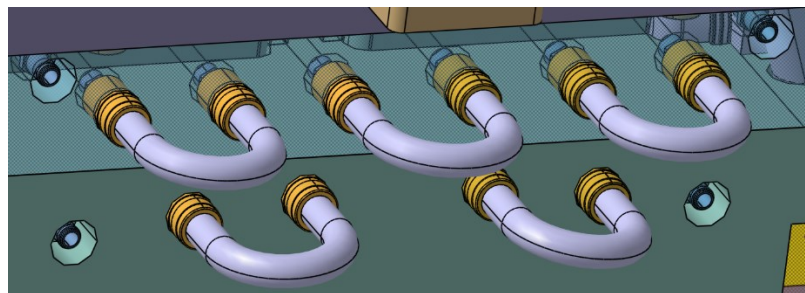
Vtokový systém slouží k dopravě polymerní taveniny od vstřikovací trysky do tvarové dutiny formy. Důležitým krokem při návrhu vtokové soustavy je zajistit, aby byla tavenina vstříknuta do všech tvarových dutin současně. V tomto případě byla zvolena kombinace horkého rozvodného bloku a studené vtokové soustavy. Horký blok je opatřen dvěma tryskami, které přiléhají ke studeným vtokovým kanálkům, kterými bude tavenina rozvedena do všech čtyř dutin formy. Použitím horkého bloku dojde k udržení konstantní teploty taveniny, dokud nebude dopravena do tvarové dutiny. Tím dojde také ke snížení spotřeby taveniny, ovšem pořizovací i provozní náklady formy vzrostou.



Obr. 48 – Horký rozvodný blok včetně kabeláže a zásuvky

10.7 Temperační systém

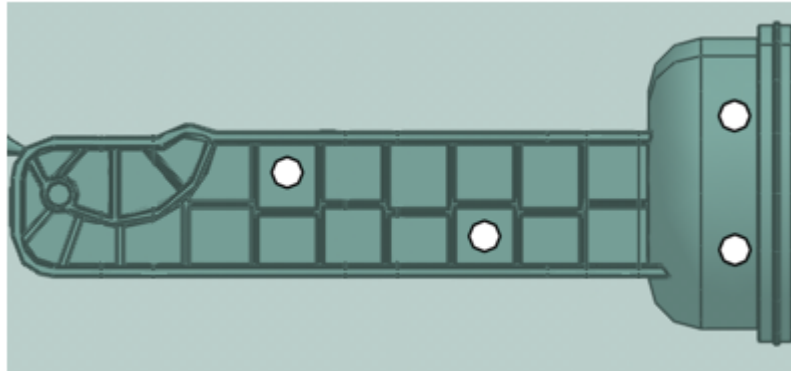
Teplo, které bylo předáno polymerní taveninou deskám formy, je třeba intenzivně odvádět. Jak ve tvárníku tak ve tvárnici byl navržen systém vrtaných kanálků, kterými bude vedeno temperační médium. Průměr kanálků činí 10 mm. Jednotlivé kanálky jsou propojeny hadicemi, čímž byly zmenšeny rozměry formy a došlo ke zjednodušení celé konstrukce.



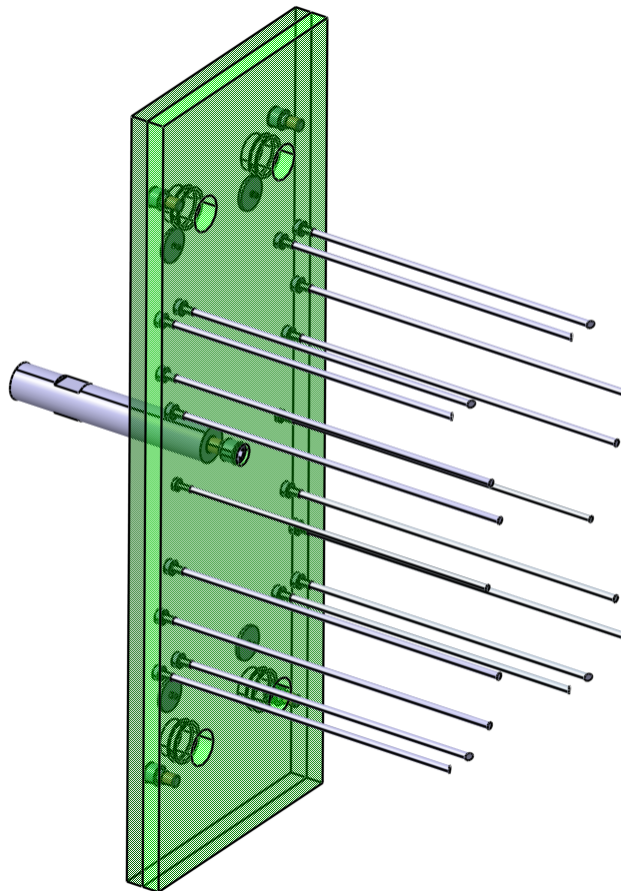
Obr. 49 – Propojení temperačních kanálků

10.8 Vyhazovací systém

Úkolem vyhazovacího systému je vyhodit výrobek z dutiny levé tvarové desky. Tento proces je uskutečněn pomocí válcových vyhazovacích kolíků, které jsou rozmístěny tak, aby došlo k rovnoměrnému rozložení vyhazovací síly. Vyhazovací kolíky jsou uloženy ve vyhazovacích deskách, které jsou ovládány táhlem vyhazovačů a vedeny po čtyřech vodících čepích. Na jeden výrobek připadají čtyři válcové vyhazovače.



Obr. 50 – Rozmístění vyhazovacích kolíků na výrobku



Obr. 51 – Vyhazovací systém

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo provést návrh a následnou konstrukci vstřikovací formy pro zadanou polymerní součást. Vstřikovaný díl představuje součást ovládání podtlakové klapky u automobilového motoru, která byla vyrobena z polyamidu typu 6.6, plněného z 30% skelným vláknem.

Teoretická část práce znázorňuje problematiku výroby polymerní součásti využitím technologie vstřikování. Dále práce zahrnuje základní dělení polymerních materiálů, popisuje samotnou technologii vstřikování a uvádí podstatné informace z oblasti konstrukce vstřikovacích forem a polymerních součástí.

V praktické části práce byla provedena konstrukce 3D modelu vstřikovaného dílu. Pro výrobu tohoto dílu byla navržena 3D sestava vstřikovací formy včetně výkresové dokumentace s kusovníkem. Veškeré součásti byly modelovány a sestaveny pomocí softwaru Catia V5R19, prostřednictvím kterého byla vytvořena i výkresová dokumentace. Pro usnadnění návrhu jednotlivých částí formy byly využity normalizované díly vybrány z digitálního katalogu firmy HASCO.

Navržená vstřikovací forma je čtyřnásobná, což znamená, že během jednoho vstřikovacího cyklu dojde k výrobě čtyř dílů. Forma se sestává ze tří hlavních částí, jedná se o pravou stranu, levou stranu a vyhazovací systém. Vtokový systém tvoří kombinace vyhřívaného rozvodného bloku a studené vtokové soustavy. Vtokové kanálky včetně vtokových ústí byly umístěny tak, aby byla polymerní tavenina dopravena do všech čtyř tvarových dutin současně. K zaformování vstřikovaného dílu bylo nutné využít sestavu bočních posuvných čelistí, které jsou ovládány mechanicky pomocí šikmých čepů. Vyhazovací systém je tvořen válcovými vyhazovacími kolíky uloženými mezi dvěma deskami. Temperační soustavu tvárníku a tvárnice tvoří vrtané kanálky určené pro proudění chladícího média. Manipulace se vstřikovací formou je umožněna prostřednictvím šroubu s okem, který se nachází v horní části formy.

Dle celkových rozměrů formy a dalších procesních parametrů byl zvolen vstřikovací stroj typu ALLROUNDER 570 S, vyráběný firmou ARBURG.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů. Díl 1.* 2. upr. vyd. – Brno: Uniplast, 1999, 134 s.
- [2] Ing. Michal Staněk, Ph.D., přednášky předmětu T5KO
- [3] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů.* 1. vyd. – Praha: Nakladatelství BEN, 2009, 248 s.
- [4] doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D., přednášky předmětu T3KP
- [5] Ing. Jiří Bobek, Ph.D. www.publi.cz. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů.* [online] [cit. 2017-12-03]. <https://publi.cz/books/194/03.html>.
- [6] BOBČÍK, Ladislav. a kol. *Formy pro zpracování plastů: II. Díl – Vstřikování termoplastů.* 1. vydání – Brno: Uniplast, 1999, 214 s.
- [7] BRYCE, Douglas. *Plastic Injection Molding: Manufacturing Process Fundamentals.* 3. rd. – Dearborn: 1996, 277 s.
- [8] MÉZL, Milan. *Základy Technológie Vstrekovania Plastov.* 1. vydání – Olomouc: Mapro, 2012, 301 s.
- [9] MAŇAS, Miroslav. *Výrobní stroje a zařízení I. Stroje gumárenské a plastikářské.* 1. vydání – Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007. 264 s.
- [20] ROSATO, D. V., ROSATO, D. V., ROSATO, M. G. *Injection Molding Handbook (3rd Edition).* NYC, NY, USA: Springer - Verlag, 2000. 1485s
- [31] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: Polymery.* 1. vydání – Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 228 s.
- [12] LENFELD, Petr. *Technologie II. – Vstřikování plastů.* [online] [cit. 2017-29-3] http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
- [13] KOLOUCH, Jan. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním.* 1. vydání – Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986. 232 s.
- [14] HASCO [online]. [cit. 2017-14-03]. Dostupný z WWW: <http://hasco.com>
- [15] ARBURG [online]. [cit. 2017-04-05]. Dostupný z WWW: <http://www.arburg.com>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|----------------|--|
| T _m | Teplota tání |
| T _g | Teplota skelného přechodu |
| Catia | Computer-Aided Three-Dimensional Interactive Application |
| NC | Numerical control |
| 3D | Trojrozměrný prostor |
| PA | Polyamid |
| PC | Polykarbonát |
| SAN | Styren-akrylonitril |
| PS | Polystyren |
| PMMA | Polymethylmethakrylát |
| POM | Polyoxymetylén |
| PA66 - GF30 | Polyamid typu 6.6 z 30% plněný skelným vláknem |
| PET | Polyethyltereftalát |
| PP | Polypropylen |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| <i>Obr. 1 – Základní dělení polymerů [5]</i> | 12 |
| <i>Obr. 2 – Nadmolekulární struktura termoplastů [4]</i> | 13 |
| <i>Obr. 3 – Nadmolekulární struktura reaktoplastů [4]</i> | 14 |
| <i>Obr. 4 – Struktura elastomeru před a po zesíťování [4]</i> | 14 |
| <i>Obr. 5 – Schéma struktury termoplastického elastomeru [5]</i> | 15 |
| <i>Obr. 6 – Schéma vstřikovacího stroje [5]</i> | 16 |
| <i>Obr. 7 – Pracovní cyklus vstřikovacího stroje</i> | 17 |
| <i>Obr. 8 – Výsečový diagram vstřikovacího cyklu [2]</i> | 18 |
| <i>Obr. 9 – Schéma šnekové plastikační jednotky [5]</i> | 18 |
| <i>Obr. 10 – Schéma jednochodého šneku [6]</i> | 19 |
| <i>Obr. 11 – Způsoby zakončení šneků</i> | 20 |
| <i>Obr. 12 – Otevřená tryska [6]</i> | 20 |
| <i>Obr. 13 – Tryska s uzavíracím členem</i> | 21 |
| <i>Obr. 14 – Renovace šneku vstřikovacího stroje [5]</i> | 21 |
| <i>Obr. 15 – Schéma hydraulické uzavírací jednotky [5]</i> | 22 |
| <i>Obr. 16 – Porovnání vhodných a nevhodných návrhů polymerního dílu [5]</i> | 23 |
| <i>Obr. 17 – Řešení vnitřních a vnějších zaoblení a přechody tloušťky stěn [5]</i> | 24 |
| <i>Obr. 18 – Vliv tloušťky na deformaci žebra u neplněných a plněných polymerů [5]</i> | 25 |
| <i>Obr. 19 – Příklad řešení vnitřního a vnějšího zaoblení</i> | 26 |
| <i>Obr. 20 – Návrh úkosů jednotlivých částí dílu [5]</i> | 26 |
| <i>Obr. 21 – Doporučené rozměry komínků [5]</i> | 27 |
| <i>Obr. 22 – Alternativní varianty dlouhých komínků [5]</i> | 27 |
| <i>Obr. 23 – Formou vázané a nevázané rozměry výrobku</i> | 28 |
| <i>Obr. 24 – Základní a vedlejší funkce vstřikovací formy [5]</i> | 29 |
| <i>Obr. 25 – Uspořádání základních částí vstřikovací formy</i> | 30 |

| | |
|--|----|
| <i>Obr. 26 – Znázornění studeného vtokového systému.....</i> | 31 |
| <i>Obr. 27 – Průřezy vtokových kanálků a příklady jejich uspořádání</i> | 31 |
| <i>Obr. 28 – Schéma vyhřívání vtoku</i> | 32 |
| <i>Obr. 29 – Příklady vhodného umístění vtoku</i> | 33 |
| <i>Obr. 30 – Fontánový tok taveniny</i> | 33 |
| <i>Obr. 31 – Plný kuželový vtok</i> | 34 |
| <i>Obr. 32 – Princip třídeskového systému a znázornění bodového vtoku [2].....</i> | 34 |
| <i>Obr. 33 – Schéma tunelového a srpkovitého vtoku [2].....</i> | 35 |
| <i>Obr. 34 – Tvary vyhazovacích kolíků</i> | 36 |
| <i>Obr. 35 – Princip stírací desky [5].....</i> | 37 |
| <i>Obr. 36 – Volba temperačních kanálků.....</i> | 38 |
| <i>Obr. 37 – Ukázka prostředí HASCO DAKO modulu [14]</i> | 43 |
| <i>Obr. 38 – Fotografie výrobku.....</i> | 44 |
| <i>Obr. 39 – 3D model výrobku</i> | 44 |
| <i>Obr. 40 – Vstřikovací stroj ATBUR ALLROUNDER 570 S [15]</i> | 46 |
| <i>Obr. 41 – Kompletní vstřikovací forma</i> | 47 |
| <i>Obr. 42 – Pravá strana vstřikovací formy</i> | 58 |
| <i>Obr. 43 – Levá strana vstřikovací formy</i> | 49 |
| <i>Obr. 44 – Hlavní a vedlejší dělicí rovina</i> | 50 |
| <i>Obr. 45 – Schéma tvárníku s tvarovou částí boční čelisti a tvárnice</i> | 50 |
| <i>Obr. 46 – Levá a pravá tvarová deska</i> | 51 |
| <i>Obr. 47 – Šikmý čep a boční čelist</i> | 51 |
| <i>Obr. 48 – Horký rozvodný blok včetně kabeláže a zásuvky.....</i> | 52 |
| <i>Obr. 49 – Propojení temperačních kanálků</i> | 52 |
| <i>Obr. 50 – Rozmístění vyhazovacích kolíků na výrobku</i> | 53 |
| <i>Obr. 51 – Vyhazovací systém.....</i> | 53 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|-----------|
| <i>Tab. 1 – Vybrané vlastnosti PA66-30GF</i> | <i>45</i> |
| <i>Tab. 2 – Vybrané parametry vstřikovacího stroje ALLROUNDER 570 S</i> | <i>46</i> |

SEZNAM PŘÍLOH

P I - Výkresová dokumentace

- Sestava formy s řezy
- Pohled do pravé strany formy
- Pohled do levé strany formy
- Kusovník

P II – CD disk

- Bakalářská práce ve formátu PDF
- 3D model výrobku
- 3D model vstříkovací formy v softwaru Catia V5R19
- Výkresová dokumentace ve formátu PDF

