

Konstrukce vstřikovací formy krytu rozvodů motoru

Jaroslav Hádra

Bakalářská práce
2021

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Jaroslav Hádra
Osobní číslo:	T17178
Studijní program:	B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Technologická zařízení
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Konstrukce vstřikovací formy krytu rozvodů motoru

Zásady pro vypracování

- 1) Vypracujte literární studii na dané téma
- 2) Nakreslete model daného dílu ve 3D
- 3) Proveďte konstrukci vstřikovací formy pro daný díl
- 4) Nakreslete 2D sestavu vstřikovací formy

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

Seznam doporučené literatury:

ZEMAN, L. 2009. Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů. Praha: BEN.

DUCHÁČEK, V. Polymery-výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Praha: VŠCHT v Praze, 2006

KERKSTRA, Randy a Steve BRAMMER. Injection molding advanced troubleshooting guide. Munich: Hanser Publishers, 2018

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vojtěch Šenkeřík, PhD.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **5. ledna 2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **21. května 2021**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

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

Ve Zlíně dne 1. dubna 2021

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá tématem technologie vstřikování a výroby plastových dílů. V teoretické části je tato technologie zpracována a řeší se i problematika konstrukčního návrhu vstřikovací formy. V praktické části byl vybrán výrobek, pro který se navrhovala forma na jeho výrobu. Součástí práce je 3D model vyráběné součásti i vstřikovací formy a výkresová dokumentace vstřikovací formy včetně kusovníku. Ke splnění této bakalářské práce byl využit software Solid Edge.

Klíčová slova: vstřikování, technologie, plasty, vstřikovací forma

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with theme of injection moulding technology and production of plastic parts. In the theoretical part of this thesis, the injection moulding technology is described with problem solving of designing a mold. In the practical part a specific part was chosen and for it was the mold designed. This thesis includes 3D model of part and model assembly of mold with all drawings and part list. For successful accomplishment of thesis was used software Solid Edge.

Keywords: injection moulding, technology, plastics, injection mold

Tímto bych chtěl poděkovat Ústavu výrobního inženýrství Fakulty technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně za poskytnuté vzdělání, své rodině za plnou podporu při studiu a všem vedoucím pracovníkům naší univerzity, kteří plně pracují v dnešní složité situaci. Nakonec bych chtěl zejména poděkovat Ing. Vojtěchovi Šenkeříkovi, Ph.D. za odborné rady a vedení při tvorbě této práce.

Prohlašuji, že jsem na tvorbě bakalářské práce pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. Dále prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 POLYMERY PRO VSTŘIKOVÁNÍ.....	11
1.1 PLASTY	11
1.1.1 Termoplasty.....	11
1.1.2 Reaktoplasty.....	12
1.2 ELASTOMERY	12
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....	13
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	13
2.1.1 Vstřikování termoplastů.....	14
2.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	17
2.3 REOLOGIE POLYMERNÍCH TAVENIN, DISIPAČNÍ OHŘEV A FONTÁNOVÝ TOK.....	18
3 VÝROBEK – KONSTRUKCE A POŽADAVKY	19
3.1 VLIV SMRŠTĚNÍ	19
3.2 PŘESNOST ROZMĚRŮ	19
3.3 JAKOST POVRCHU	19
3.4 KONSTRUKCE SOUČÁSTÍ.....	20
3.4.1 Tloušťka stěny.....	20
3.4.2 Zaoblení hran a rohů	20
3.4.3 Úkosal podkosy	20
3.4.4 Žebra	20
3.4.5 Otvory a drážky	21
3.4.6 Závity	21
4 PRINCIPY VÝROBY FORMY	22
4.1 VTOKOVÉ SYSTÉMY	22

4.1.1	Studený vtokový systém	23
4.1.2	Horký vtokový systém	26
4.2	TEMPERACE FORMY	27
4.3	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY.....	28
4.4	TYPY VYHAZOVAČŮ	29
4.5	MATERIÁLY FORMY	29
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	31
5	STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	32
5.1	POUŽITÝ SOFTWARE	32
5.2	VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK	32
5.2.1	Volba materiálu	33
5.3	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STOJE.....	34
6	VSTŘIKOVACÍ FORMA	35
6.1	NÁSOBNOST FORMY	35
6.3	UMÍSTĚNÍ VTOKOVÉHO ÚSTÍ.....	36
6.4	ODFORMOVÁNÍ.....	36
6.4.1	Tvárnice.....	37
6.4.2	Tvárník	37
6.4.3	Boční tvárník.....	38
6.5	VTOKOVÝ SYSTÉM	39
6.6	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	39
6.7.1	Teperace tvárnice	41
6.7.2	Teperace tvárníku.....	42
6.7.3	Teperace bočního tvárníku.....	43
6.8	ODVZDUŠNĚNÍ.....	43
6.9	OSTATNÍ KOMPONENTY	43

6.9.1	Vodící elementy	43
6.9.2	Středící elementy	44
6.9.3	Manipulační zařízení	45
6.10	SESTAVA FORMY	45
ZÁVĚR		47
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		48
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....		50
SEZNAM OBRÁZKŮ		51
SEZNAM TABULEK.....		53
SEZNAM PŘÍLOH.....		54

ÚVOD

V dnešní době bychom si život bez plastových výrobků většinou nedokázali představit. Jejich velké zastoupení se od minulého století uplatňuje i v průmyslu. U moderních polymerů jsou mechanické vlastnosti natolik dobré, že v mnoha systémech už vytlačily kovové materiály. Hlavní výhodou oproti těmto konvenčním materiálům je pořizovací cena a množství energie potřebné k jejich zpracování.

Vstřikování plastů je velice produktivní metoda pro výrobu plastových dílů. Její použití se uplatňuje převážně pro velké série daného výrobku. Při správném provedení vstřikovací formy je výroba touto technologií velice rychlá a přesná, a dají se vyrábět i tvarově složité díly.

Hlavní nevýhodou technologie vstřikování je ekologie spjatá s polymerními materiály. Tyto materiály se v dnešní době vyrábí ve velkých objemech a jejich recyklace je poměrně složitá a cenově nevýhodná.

Plastové výrobky tu jsou od roku 1862, kdy Američan Parkes začal vyrábět nitrát celulózy pod značkou parkesin. Ale za první opravdový plast se dá považovat celuloid, který připravili bratři Hyattové. Velmi zajímavé je, za jakých okolností byl tento materiál vynalezen. V první polovině šedesátých let 19. století začínal být cítit nedostatek slonoviny v USA, kvůli probíhající občanské válce, která byla využívána pro výrobu kulečnických koulí. V roce 1863 byl deficit už tak citelný, že se newyorští výrobci kulečnicků Phelan a Collender rozhodli vypsát odměnu 10 000 dolarů pro toho, kdo by právě slonovinu dokázal nahradit. Celuloid bratři Hyatové připravili z nitrátu celulózy tím, že do něj přimíchali různé komponenty a nechali odpařit rozpouštědla. Výsledkem byla hmota, která dosti připomínala slonovinu. Za studena se dala snadno obrábět, ale po zahřátí změkla a připomínala vosk. Slíbenou odměnu bratři Hyattové nikdy nedostali, ale v roce 1871 založili společnost Celluloid Manufacturing Company, ze které se postupem času vyvinula společnost Hoechst-Celanese, která je jedním z nejvýznamnějších chemických koncernů na světě.

Obsahem teoretické části této bakalářské práce budou druhy a vlastnosti polymeru používaných při vstřikování, technologie vstřikování a popis a konstrukce vstřikovacích strojů a forem.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY PRO VSTŘIKOVÁNÍ

Název polymer vyjadřuje látku, která vzniká z jednoduchých molekul – tzv. merů a vytváří makromolekulu jejich spojováním. Takovéto makromolekuly tvoří základ všech synteticky vyráběných polymerů. Spojováním různých druhů monomeru vznikají kopolymery.

Při tvorbě makromolekul vznikají řetězce, které lze rozdělit na rozvětvené a síťované. Podle chemického složení meru – druhu atomů a jejich chemických vazeb se určují fyzikální a chemické vlastnosti polymeru. Dále je polymer charakterizován distribuční křivkou molekulárních hmotností.

S rostoucí střední molární hmotností polymeru, rostou jeho mechanické vlastnosti a zároveň se zvyšuje viskozita jeho taveniny při dané teplotě, tj. zhoršuje se jeho tekutost a tedy i zpracovatelnost. [1]

Dále lze polymery rozdělit na plasty a elastomery.

1.1 Plasty

Při vstřikování je největší produkce vyráběných materiálů právě z plastů, ty se do vstřikovacího stroje přivedou v pevné formě, kde se poté ohřejí na teplotu vstřikování a následně jsou za pomoci tlaku dopraveny do dutiny formy. Před vytažením výrobku z formy, je výrobek ochlazen na vyhazovací teplotu, při které je tvarově stabilní. Při výběru polymeru se rozhoduje podle hledisek funkčnosti, vzhledu a zpracovatelnosti. Důležité vlastnosti jsou mechanická pevnost, chemická odolnost, elektrická vodivost, nasákavost, barva, průhlednost, drsnost povrchu, apod. Při zpracování se také hledí na reologické vlastnosti polymeru. Plasty lze dále rozdělit na termoplasty a reaktoplasty. [1]

1.1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou materiály tvořené lineárními nebo rozvětvenými makromolekulami. Jejich výraznou vlastností je to, že se při ohřevu mění jejich fyzikální vlastnosti. Z toho plyne možnost po ohřátí uvést zpět do tuhého stavu pomocí ochlazení. Díky tomu je jejich podíl v plastikářství okolo 94 % a z toho asi 40 % se zpracovává vstřikováním. Rozlišujeme dvě skupiny termoplastů.

První skupinou jsou amorfní termoplasty. Mají řetězce nepravidelně uspořádané. Obvykle jsou průhledné v jejich čisté formě. Mají nižší chemickou odolnost a hustota materiálu není

ovlivněna rychlostí ochlazení. Jsou náchylné na popraskání. Používají se pod teplotou skelného přechodu T_g , kdy jsou pevné.

Do druhé skupiny řadíme semikrystalické termoplasty. Tyto termoplasty mají vysoce organizovanou krystalickou strukturu uvnitř amorfních oblastí. Jsou mléčně zakalené. Jejich hustota je ovlivněna rychlostí ochlazení a čím rychlejší je změna teploty, tím méně je výsledný polymer hustý. Během chlazení dochází ke značnému smrštění. Jejich použití se většinou pohybuje nad teplotou T_g , ale i některé běžně používané polymery mají tuto teplotu vyšší, než je běžná teplota okolí. [2]

1.1.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou polymery, které do určité fáze ohřívání měknou, ale pouze omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci a jejich struktura se začne prostorově zesítňovat. Výrobek je poté možno považovat za jednu velkou makromolekulu. Ochlazování reaktoplastů probíhá mimo nástroj, protože by bylo obtížné a zbytečné rychlé ochlazení materiálu a následný ohřev formy. Děj vytvrzování je nevratný a při dalším ohřevu dochází k degradaci hmoty. [2]

1.2 Elastomery

Elastomery jsou polymerní materiály, u kterých dochází působením malých sil ke značným deformacím. Tyto deformace jsou většinou vratné. Při jejich zpracování dochází podobně jako u reaktoplastů působením tepla k chemickým změnám – vulkanizaci. Při zpracování se do gumárenské směsi přidávají různé přísady. Po vulkanizaci je výrobek dále neformovatelný.

U elastomerů na bázi termoplastů – tzv. termoplastických elastomerů dochází během ohřívání pouze k fyzikálním změnám. Lze je tedy jako termoplasty opakovaně ohřívát a ochlazovat. [2]

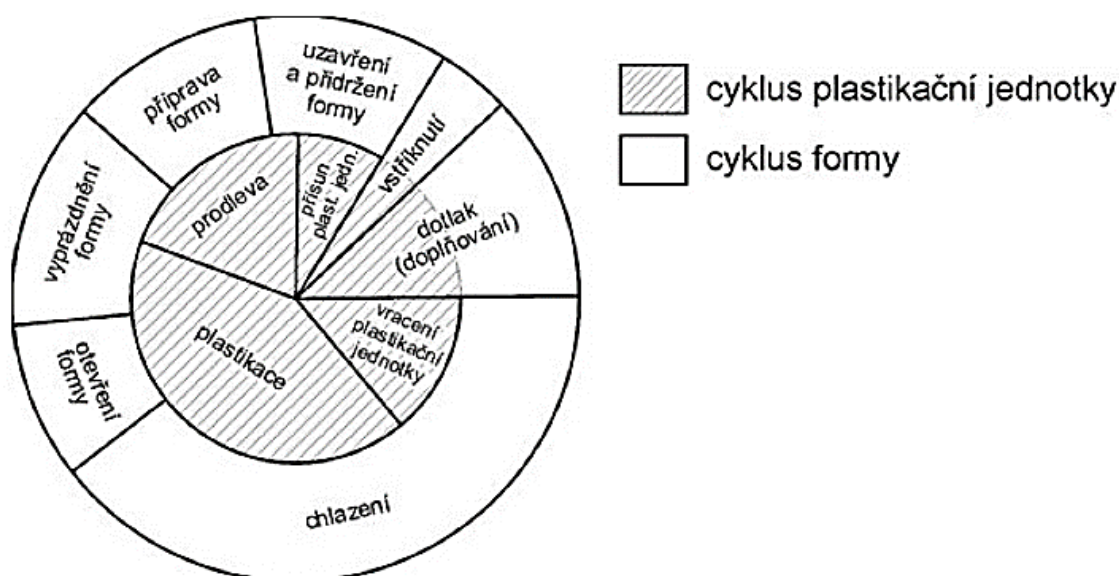
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je nejvíce používaná technologie výroby plastových dílů. Jde o poměrně složitý proces, který je ovlivněn mnoha fyzikálními faktory a její výsledek dokáže ovlivnit každý detail. Pro dosažení požadovaných výsledků je třeba zohlednit, jaký polymer se bude vstřikovat, na jakém stroji bude výroba probíhat a jak správně navrhnout formu.

Princip metody spočívá v tom, že se polymer ohřeje na vstřikovací teplotu a nechá se po vstříknutí do formy ochladit na vyhazovací teplotu, aby bylo dosaženo tvarové stálosti. Surový polymer se do stroje dopravuje ve formě granulátu a ten může být předtím sušen. [1]

2.1 Vstřikovací cyklus

Ve vstřikovacím cyklu se popisuje průběh a činnosti vstřikovacího stroje.



Obr. 1. Vstřikovací cyklus [3]

Pro dosažení dobrého výsledku při výrobě vstřikováním se hledí na mnoho technologických parametrů. Množství vstřikované hmoty pro jeden cyklus se volí tak, aby polymerní tavenina zcela vyplnila dutinu formy a vtokové kanály. Dále se k tomuto množství přidává hodnota objemového úbytku, ke kterému dochází při smrštění polymeru během chladnutí.

Teplota taveniny se mění podle druhu polymeru a volí se taková, při které má tavenina vhodnou viskozitu. Když je teplota příliš nízká zhoršuje se zatékavost taveniny v dutině

formy, ale když je příliš vysoká, může docházet k degradaci materiálu a prodlužuje se tím doba pro chlazení.

Vstřikovací tlak a délka jeho působení během plnění formy je závislý na druhu polymeru a tvaru dutiny formy. Ten je generován šnekem, který ve vstřikovacím stroji slouží jako píst. Vstřikovací tlak v průběhu s časem určuje vstřikovací rychlost. Tato rychlost je v cyklu velmi důležitá, protože tavenina musí dutinu formy zcela vyplnit předtím, než tavenina příliš zchladne. Při nízké vstřikovací rychlosti je třeba zvýšit teplotu taveniny, což způsobí to, že dojde ke zlepšení přenosu tlaku a zmenší se smrštění. Při působení vysoké vstřikovací rychlosti dochází ke smykovému tření, a to zvyšuje tlak uvnitř dutiny formy.

Dalším krokem vstřikovacího cyklu je působení dotlaku. Jeho hodnota je obvykle nižší, než je tlak vstřikovací a jeho působení nastává při naplnění dutiny formy. Jeho funkce je zabránění zpětného toku taveniny do plastikační jednotky a doplnění taveniny o zmenšený objem. Jeho trvání je omezeno, dokud nedojde k zatuhnutí vtokového ústí.

Značnou část vstřikovacího cyklu zaujímá chladicí čas. K němu dochází v dutině formy bez působení vstřikovacího tlaku. Délku chlazení ovlivňuje spousta faktorů, jako jsou druh polymeru, konstrukce formy, její temperance apod. [1]

2.1.1 Vstřikování termoplastů

Jak už bylo řečeno, rozměry vstřikovaných dílů z termoplastů se během výroby zásadně mění. Tuto skutečnost je třeba brát v úvahu a počítat s tím, že rozměry výstřiků lze kontrolovat až po uplynutí určité doby od jejich výroby. V zásadě se může ke kontrole přistupovat ze dvou pohledů, jestli jde o smrštění či deformaci. Ke smrštění dochází díky změně objemu při tuhnutí taveniny. Zato když dochází k deformaci, výrobek si zachová svůj objem. Na objemovou změnu mají vliv faktory jako druh vstřikovaného polymeru a jeho navlhavost a nasákavost.

Samotné smrštění je velice důležitý údaj a musí se s ním při návrhu formy počítat z toho důvodu, aby bylo dosaženo rozměrové tolerance výrobku, kterou požaduje zákazník. Aby bylo zaručeno, že je výstřik dokonale zchladlý, měří se smrštění v rozmezí od 24 do 48 hodin po vyrobení, přičemž je výrobek po tuto dobu uložen ve standardním prostředí. Při teplotě 23 °C se měří rozměry výstřiku i formy bez ohledu na to, jakou provozní teplotu má forma při vlastním vstřikování. [4]

Parametry ovlivňující smrštění jsou:

- Druh polymeru, amorfní termoplasty mají všeobecně menší smrštění než semikrystalické.
- Tvar výrobku a tloušťka jeho stěn. Tento vliv je více patrný u semikrystalických polymerů, kde platí, že čím víc je stěna tlustá, tím pomaleji chladne a dochází k většímu smrštění.

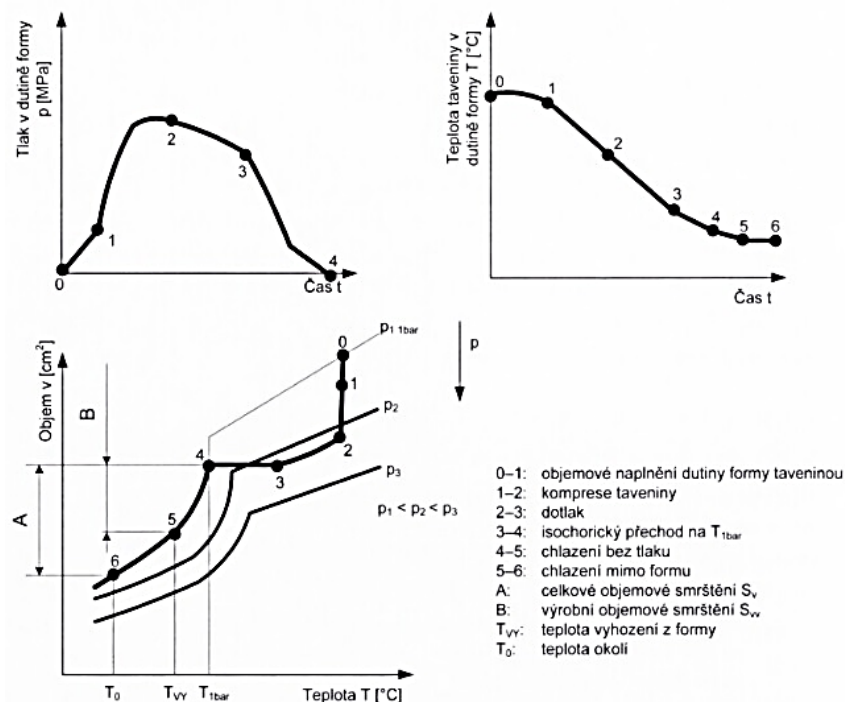
Rozměry výstřiku po uplynutí 24 hodin ještě nejsou zcela stabilizované a pokračující změny vnitřního stavu výstřiku, jako je uvolňování vnitřních pnutí, dílčí dezorientace makromolekul nebo sekundární krystalizace u semikrystalických plastů, se projevují dodatečnými změnami rozměrů. Ty se nazývají dodatečné smrštění. Změny rozměrů velmi závisí na teplotě, které je výstřik vystaven, a na době jejího působení. Čím je teplota vyšší, tím jsou makromolekuly pohyblivější a změny rychlejší. [4]

I když se dodatečné smrštění udává v procentech, stejně jako výrobní smrštění, nedají se obě hodnoty jednoduše sečíst, protože u každé byl k výpočtu použit jiný základ. [4]

Působení vlivu termodynamických pochodů na průběh smrštění velmi dobře popisuje pV diagram příslušného vstřikovacího materiálu. Teplota charakterizuje:

- kompresibilitu (změnu objemu v závislosti na tlaku),
- tepelné chování (změnu objemu v závislosti na změně teploty). [1]

Tyto závislosti jsou znázorněny na obr. 2., kde je schématicky zobrazeno působení tlaku p , objemu v a teploty T při vstřikování termoplastů během vstřikovacího cyklu.



Obr. 2. Schématické znázornění $p-v-T$ diagramu [1]

Bod 0 – V plastikační komoře šnek vstřikovacího stroje tlačí taveninu polymeru o určité teplotě, čímž se vyvolá tlak před čelem šneku.

Bod 1-0 – Probíhá plnění dutiny formy taveninou, v bodě 1 je dutina zcela naplněna.

Bod 1-2 – Tavenina v dutině formy je stlačována, v bodě 2 vnitřní tlak dosahuje maxima.

Bod 2 – V tomto momentě dochází ke změně tlaku ze vstřikovacího na dotlakový.

Bod 2-3 – Probíhá dotlaková fáze. Tavenina se chladí a snížení tlaku umožňuje objemové smrštění. Zároveň dotlak doplňuje taveninu z plastikační komory a tím ztrátu objemu kompenzuje. Je velice nutné správně zvolit bod přepnutí působení tlaku.

Bod 3 – Vtokové ústí zatuhlo a už není možné tlak dodávat do dutiny formy.

Bod 3-4 – Tlakový pokles při konstantním objemu výstřiku v počáteční fázi, v bodě 4 tlak v dutině formy dosáhl hodnoty atmosférického. V důsledku smrštění se mezi stěnou výstřiku a formy vytvoří mezera.

Bod 4-5 – Probíhá chlazení výstřiku za konstantního tlaku. Po ochlazení celého objemu výrobku je v bodě 5 výstřik vyhozen z formy za vyhazovací teploty.

Bod 5-6 – Chlazení výstřiku mimo formu. [1]

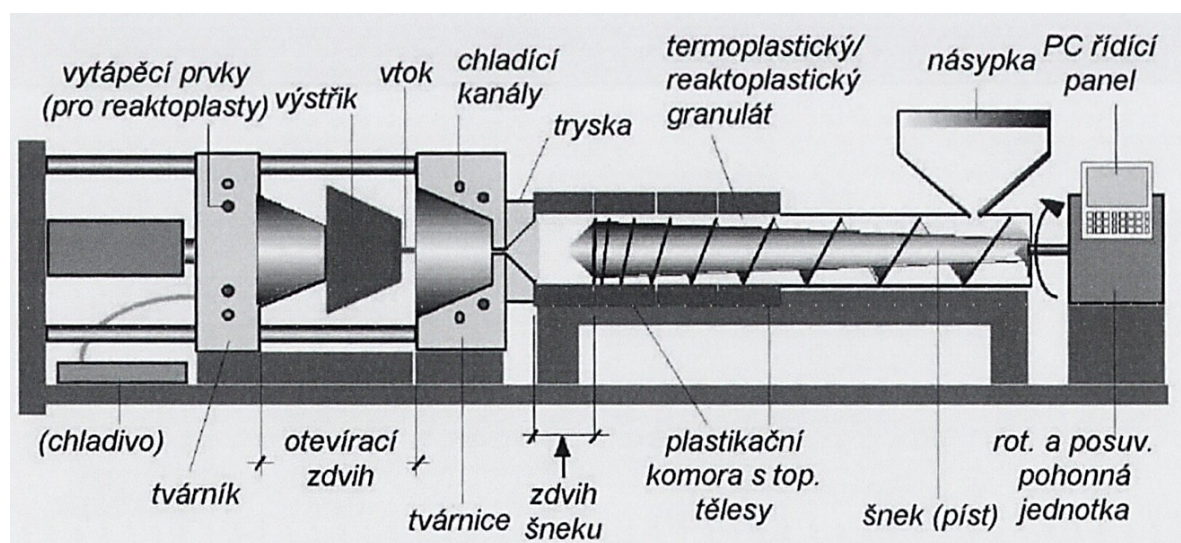
2.2 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroje se díky své vysoké produktivitě používají většinou ve velkosériové výrobě. Jejich provoz může být nepřetržitý a téměř bezobslužný. [2]

Dají se dělit podle mnoha kritérií:

- podle druhu vstřikovaného polymeru
- podle polohy vstřikovací a uzavírací jednotky
- podle druhu pohonu
- podle objemu vstřikované taveniny
- podle vstřikovacího systému

Vstřikovací stroj se dá rozdělit na 3 hlavní části, a to plastikační jednotku, uzavírací jednotku a řízení s regulací.



Obr. 3. Schéma vstřikovacího stroje [2]

Pro správnou kvalitu výrobku je třeba pečlivě vybírat parametry vstřikovacího stroje. Mezi tyto hlavní parametry se řadí velikost uzavírací síly, kapacita plastikační jednotky, velikost vstřikovacího tlaku, vhodná velikost upínacích desek, světlost mezi sloupky kvůli upnutí formy a pracovní zdvih stroje. [2]

Pro správnou životnost a funkci stroje je třeba dbát na jeho pravidelnou údržbu.

2.3 Reologie polymerních tavenin, disipační ohřev a fontánový tok

Tavenina termoplastů se chová viskózně, ale zároveň elasticky. Reologické chování taveniny plastu je tak označováno jako viskoelastické. [4]

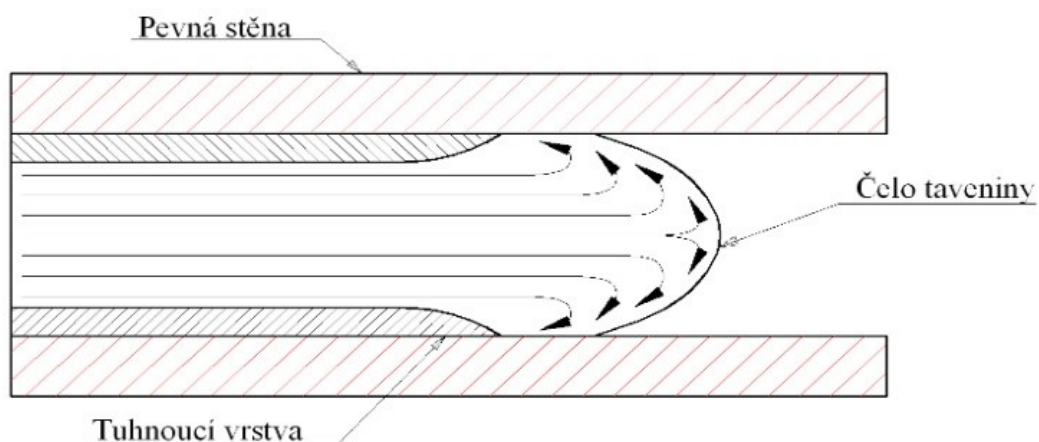
Základní tokovou charakteristikou tavenin je viskozita. Viskozita určuje odpor taveniny proti tečení, tzn. že čím je tavenina viskóznější, tím větší klade odpor při tečení. Aby bylo možno udržet tok taveniny plastu je zapotřebí hnací síly. [1], [4]

Tokové vlastnosti polymerních tavenin jsou měřeny vytlačovacími, nebo rotačními plastometry.

Pro trvalou deformaci je charakteristické, že práce vynaložená na překonání třecích sil se nevratně přeměňuje v teplo jevem zvaným disipace energie. U polymerní taveniny k tomuto jevu dochází při jejím tečení, neboť kapalinu lze při laminárním toku rozdělit na vrstvy rovnoběžné, z nichž každá se pohybuje jinou rychlostí a tím o sebe sousední vrstvy třou. [5]

Tento jev se umocňuje, pokud dojde ke zvýšení rychlosti tečení vlivem zúžení tokové dráhy a dojde k reálnému ohřevu, který může v krajních případech způsobit degradaci materiálu.

Nejvhodnější proudění taveniny uvnitř formy je laminární. Při tomto druhu proudění dochází k tzv. fontánovému toku, čelo taveniny postupuje tokovými kanály v tekuté formě a tuhnoucí vrstvě je v malé tloušťce, která se vlivem rozdílů teplot taveniny a povrchu formy začne v kanálech usazovat a tuhnout.



Obr. 6. Fontánový tok [6]

3 VÝROBEK – KONSTRUKCE A POŽADAVKY

Znalost technologie vstřikování je třeba znát, aby bylo dosaženo správného návrhu nejen formy ale i vyráběného dílce. Uplatňují se zde zcela jiné postupy než při výrobě z kovových materiálů.

3.1 Vliv smrštění

Výsledná velikost hotového výrobku je jiná než při jeho zpracování. Vliv na tento fakt má smrštění. Ke smrštění dochází už uvnitř formy, kdy výrobek během chladnutí mění svůj objem. Velikost vlivu smrštění je závislá na druhu polymeru a nastavení vstřikovacího cyklu a tvaru vstřikované součásti, hlavně na tloušťce stěn. [1]

Tavenina o stejné teplotě mění svou teplotu v závislosti na průřezu stěn. V případě, že by došlo k výrazným rozdílům v tloušťce stěn na výrobku a pokud by se prudce chladily, výrobek by chladl nehomogenně a tvořilo by se vnitřní pnutí. [1]

Jak už bylo řečeno, amorfni termoplasty mají obecně nižší hodnotu smrštění, než semikrystalické. [2]

Proto se rozměry dutiny formy dělají o něco větší, aby výsledný výrobek rozměrově odpovídal. [1]

3.2 Přesnost rozměrů

Rozměr výrobku je přímým ukazatelem jakosti a stanovuje se podle požadovaných funkcí a bere se ohled i na druh použitého polymeru. Analogicky jako u kovů i u výstřiků rostou náklady s přesností rozměrů. Tolerované rozměry jsou při výrobě řízeny normou ČSN 014265 a netolerované podle normy ČSN 640006. [1]

3.3 Jakost povrchu

U vstřikování se nebere ohled pouze na přesnost rozměrů, ale i na jakost povrchu. Vnější textura výrobku se upravuje podle využití výrobku a dle požadavků zákazníka. Povrchy hotových výrobků mohou být různě barevné, transparentní, lesklé, matné apod.

Nejméně náročné na výrobu a ekonomicky nejvýhodnější jsou výrobky, které mají matný povrch. Jejich výhodou je, že umí zamaskovat výrobní nedokonalosti vstřikovací formy.

Naopak lesklé povrchy jsou velice náročné na výrobu a ekonomicky nákladné. Dutina formy musí být zpracována tak dokonale, aby výsledný výrobek odpovídal požadované jakosti. Lesklý povrch velmi dobře zvýrazňuje nedostatky vstřikovací formy.

Tyto nedostatky se často odstraňují technologií zvanou drénování. Tvar dezénu je omezen jeho zhotovitelností ve formě. [1]

3.4 Konstrukce součástí

Tvar konstruované součásti je třeba řešit z důvodů funkčního a ekonomického hlediska. Především umístění dělicí roviny je velice důležité, protože od toho se odvíjí zaformování, vyhazování, odvzdušnění apod. [1]

3.4.1 Tloušťka stěny

Volba tohoto rozměru se odvíjí od délky toku polymeru a na uzavíracím tlaku. Nejvhodnějším řešením je konstantní tloušťka stěny na celém výrobku. Tam, kde se nedá vyhnout přechodu na větší tloušťku, se provádí odlehčení. Tloušťka bočních stěn a žeber by neměla přesáhnout 80% tloušťky hlavní stěny. [1]

3.4.2 Zaoblení hran a rohů

Zaoblení se využívá pro lepší tok taveniny uvnitř formy. Ostré hrany je možné vyrobit, ale pro jejich výrobu je nutný výrazně vyšší vstřikovací tlak a forma se v těchto místech více opotřebovává. Velikost těchto zaoblení se odvíjí od použitého materiálu a velikosti výrobku. [1]

3.4.3 Úkosy a podkosy

Tyto technologické prvky usnadňují odformování nebo naopak mu zabraňují. Velikost je ovlivněna podle požadované funkce. Hledí se na faktory jako smrštění, povrch stěny formy, elasticita výrobku a automatizace výroby.

Výstřiky bez podkosů jsou výrobně jednodušší. [1]

3.4.4 Žebra

U výrobků z plastu rozlišujeme dva druhy žeber. Žebra technická, které se používají pro zvýšení tuhosti a pevnosti výrobku. Žebra technologická se používají pro lepší plnění

dutiny formy nebo zabraňují deformaci stěn. Žebra se dají použít i pro zlepšení estetických vlastností výrobku. [1]

3.4.5 Otvory a drážky

Umístění otvorů a drážek je vhodné volit podle zaformování formy. Pro výrobu takovýchto prvků se užívá výsuvných jader nebo čelistí.

Pohon těchto jader mohou zajišťovat buď šikmé kolíky, které slouží jako vedení při otevírání formy, nebo tahače poháněné vnějším zdrojem. [1]

3.4.6 Závity

U vstříkovaných součástí je tvorba závitů poměrně složitý úkon. Pokud to požadavky dovolí, jsou nahrazovány.

Vnější závity jsou na zhotovení obecně jednodušší než závity vnitřní. Nejjednodušší výroba je pomocí dělených čelistí. O něco složitější technologií je výroba pomocí vytáčecích závitových trnů. Závity s malým průměrem a stoupáním je vhodné vyrábět pomocí obrábění na již hotové součásti. Velmi často se také využívá přerušovaných závitů. [1]

4 PRINCIPY VÝROBY FORMY

Vstřikovací forma je nástroj pro vstřikování a je velmi důležitou součástí vstřikovacího stroje. Dává tavenině plastu konečný tvar a zachovává jej až do zatuhnutí. Vstřikovací forma se skládá z mnoha součástí a dají se rozdělit do dvou skupin. Ty části, které zajišťují správnou funkci nástroje, nazýváme konstrukční a těm, které přichází do styku s taveninou, říkáme funkční. [2]

V dnešní době se ve formách vyskytuje mnoho shodných nebo podobných dílů, kterým říkáme normálie, a existuje spousta firem, které se zaměřují právě na výrobu těchto normalizovaných součástí, což ve výsledku šetří čas a finance při návrhu formy a při její konstrukci.

Při navrhování formy neexistuje jednoznačný návod, jak docílit výsledku, protože na výrobky je kladen zcela odlišný požadavek. Proto konstruktér uplatňuje nejen poznámky z technické literatury, ale ve velké míře i své vlastní znalosti a zkušenosti.

Návrh formy dále časově i finančně ulehčují moderní softwary, které umožňují nejen modelování vstřikovací formy, ale dokáží simulovat tok taveniny uvnitř dutiny a doporučit nejlepší řešení vtokových systémů.

Vstřikovací formy lze rozdělit do několika kategorií:

- podle násobnosti
- podle vtokové soustavy
- podle způsobu vyhazování
- podle konstrukčního řešení

Ve většině případů nelze z prvotní formy vyrábět konečné výrobky a zhotovují ze tzv. zkušební série, při kterých se forma a vstřikovací cyklus odlaďují.

4.1 Vtokové systémy

Vtokové systémy ve formě zajišťují rozvod taveniny přes vtokové kanály do dutiny formy. Jejich správné řešení dokáže výrazně zlevnit výrobu. Jednoduchý systém vtokového systému je studený, ve kterém se vtokový zbytek odformovává společně s hotovými výrobky. O něco složitějším systémem je tzv. horký, který rozvádí taveninu do dutin a udržuje ji v tekutém stavu a optimální teplotě.

Každé řešení má své výhody a nevýhody a rozhoduje se podle parametrů výroby, jaký vtokový systém se zvolí.

4.1.1 Studený vtokový systém

Studené vtoky mají několik výhod. Jsou velmi jednoduché, levné a umožňují vstřikování reaktoplastů, protože teplotně ovlivňují taveninu pouze v rozsahu temperace formy. Jejich provedení se hodí převážně pro formy s malou násobností nebo v menších sériích.

Jejich velkou nevýhodou je neekonomičnost z ohledu spotřebovaného materiálu, protože tavenina netuhyne pouze v dutině formy, ale i v rozváděcích kanálech. Proto, když se jedná o formu s velkou násobností, tato spotřeba materiálu značně narůstá.

Zde je třeba zohlednit velikost série vyráběných dílů, jestli už náklady na materiál nepokryjí realizaci horkého vtoku.

U studeného vtoku je důležité, aby dráha do všech dutin formy byla co možná nejkratší a ke všem stejně dlouhá. Průřez tokových kanálů má být co největší a s co nejmenším obvodem. Tomuto kritériu nejlépe odpovídá kruh, který ale není příliš vhodný z důvodu výroby a používá se spíše zaoblený lichoběžník. [8]



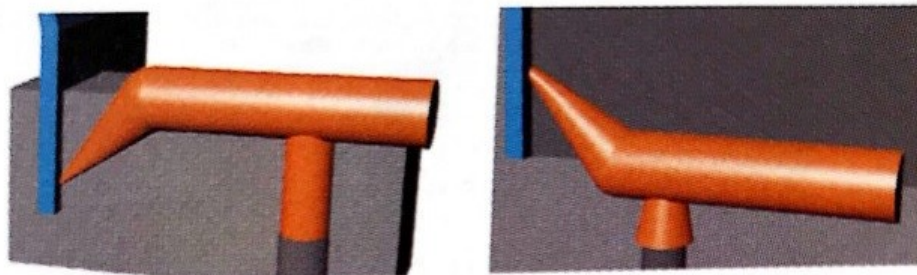
Obr. 7. Vhodné průřezy tokových kanálů [7]

U jednonásobných forem je nejvhodnějším typem vtokového ústí tzv. kuželový vtok. Jedná se o rotačně symetrický kužel, který přes vtokovou vložku vede přímo do dutiny formy. Využívá se u výrobků, kde je třeba působení delší doby dotlaku. Tento vtok je velmi vhodný pro symetricky tvarované součásti. [7]

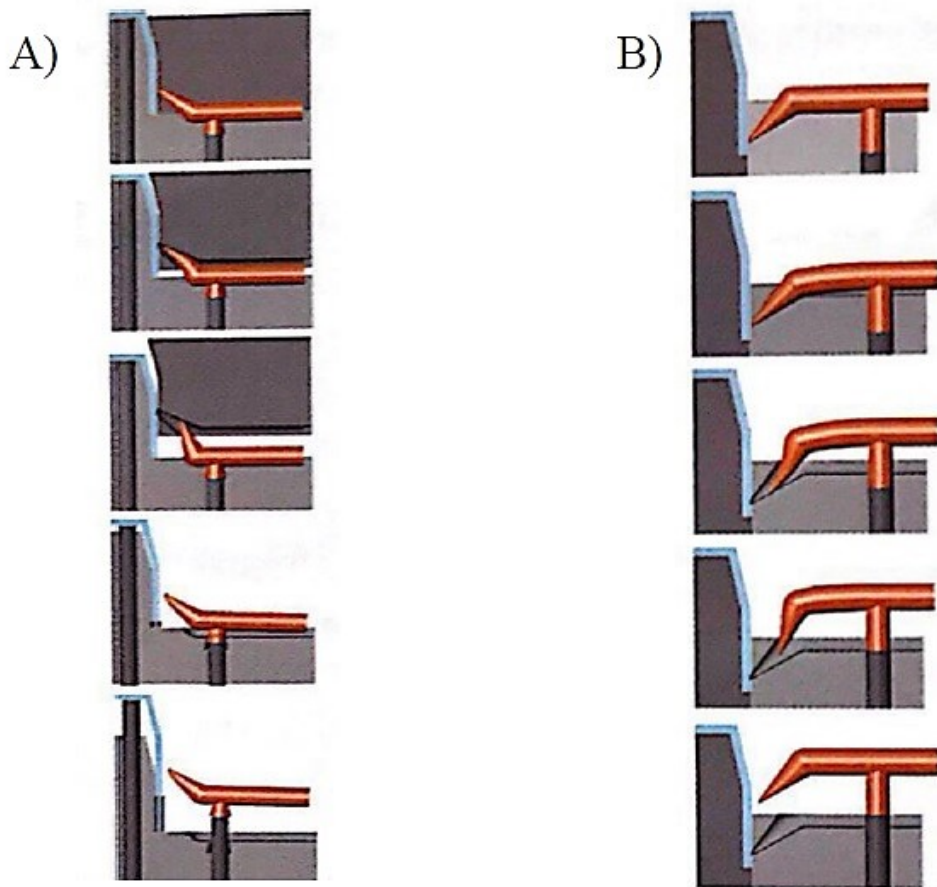


Obr. 8. Kuželový vtok [7]

Tunelový vtok má typický kuželovitý tvar, jehož ústí do dutiny formy má nejmenší průměr. To umožňuje, že je během odformování výrobku samočinně odtržen od hotového výrobku pomocí přidržovače toku. Tento tok je velmi výhodné použít u dvoudeskových systémů vstřikovacích forem. Způsob odtržení zbytku je znázorněn na obr. 10. [7]

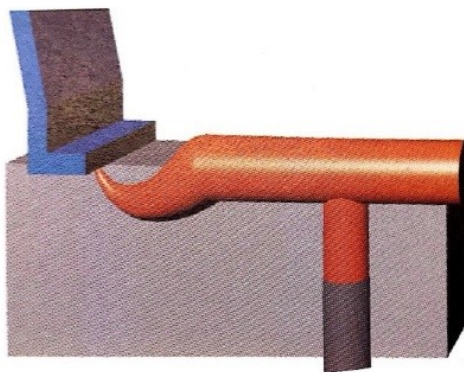


Obr. 9. Tunelový vtok [7]



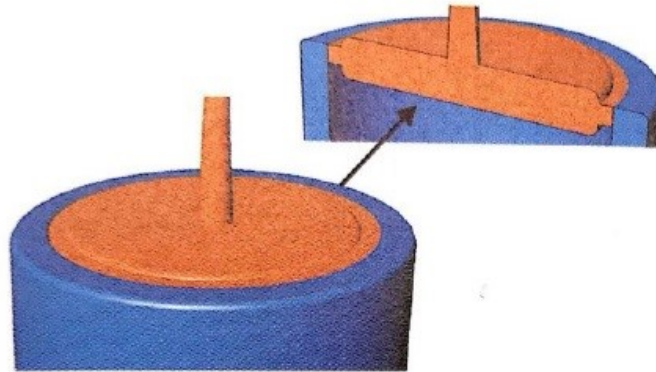
Obr. 10. Znázornění odtržení kuželového vtoku [7]

Dalším typem vtoku je vtok banánový. Jedná se o speciální druh tunelového vtoku, který má výhodu v tom, že se dostane do míst, kam standardní tunelový vtok nedosáhne. Opět se zde využívá efektu samočinného odtržení od výrobku a je třeba využití přidržovače toku. [7]



Obr. 11. Banánový vtok [7]

Membránový vtok je vhodný hlavně u cylindrických součástí, které mají otvor z obou stran a s rozměrovým požadavkem na soustřednost. Nejčastější použití je u třideskových systému forem, nebo horkých vtoků. Odstranění samotného vtoku je ale poměrně složité. [7]



Obr. 12. Membránový vtok [7]

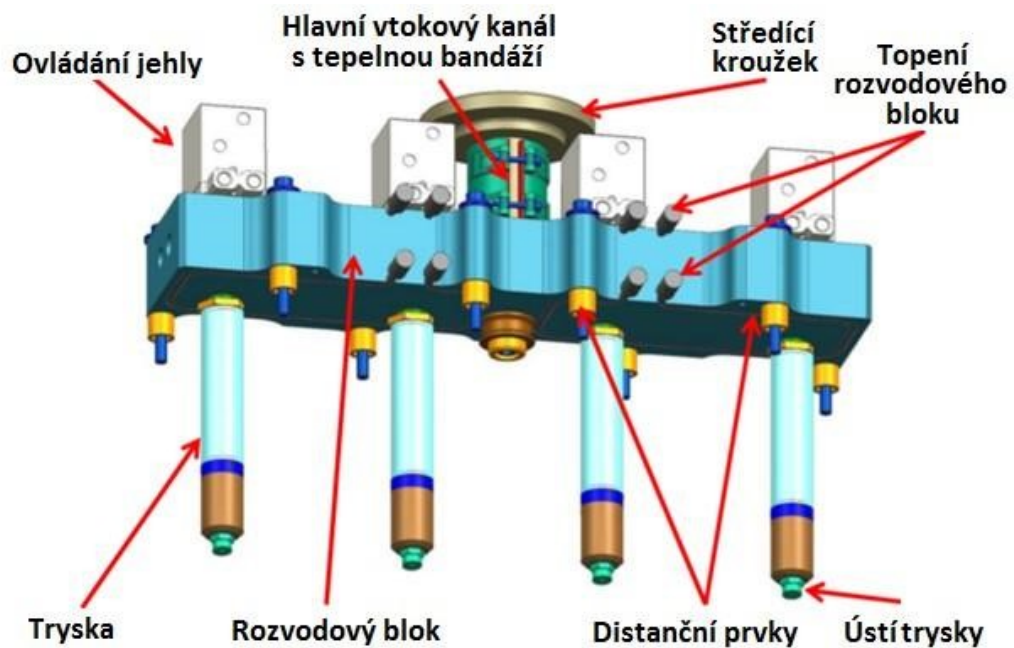
4.1.2 Horký vtokový systém

Horké vtokové systémy mají řadu výhod. Tou nejvýznamnější je šetření materiálu při vícenásobných formách. Dále je při správném provedení dosaženo menších tlakových změn než u běžného tuhnutí a díky tomu je možné s horkými vtoky vyrábět rozměrné dílce, např. nárazníky automobilů.

Hlavní nevýhodou je pořizovací cena, kterou je nutné uvážit, jestli se vyplatí vůči ceně materiálu, protože horké vtoky jsou poměrně drahé. Naopak se dá říci, že samotná realizace vstříkovací formy se provádí pro velké série.

Což je důvod, proč se v dnešní době horké vtoky stále častěji prosazují. Dále jejich použití zkracuje vstříkovací cyklus a odstranění vtokového zbytku významně přispívá k automatizaci výroby.

V současnosti existují firmy, které se specializují právě na realizaci horkých vtokových systémů a dokážou zákazníkům nabídnout systémy na míru.



Obr. 13. Znárodnění a popis horkých vtoků [9]

4.2 Temperace formy

Pro zajištění opakovatelnosti výroby musí hmota uvnitř formy zchladnout z technologického a ekonomického hlediska co nejrychleji. Proto vstřikovací formy obsahují temperanční systémy. [2]

Jde o systém kanálů, ve kterých proudí médium, které udržuje předepsanou teplotu formy. Tato teplota se liší podle druhu vstřikovaného materiálu. Doporučené teploty podle materiálu jsou zobrazeny v tab. 1.

Cílem temperace je, aby se vstříknutá hmota ochlazovala co nejrychleji a co nejvíce rovnoměrně. Pokud by výrobek chladl nerovnoměrně, mohlo by u něj docházet k vnitřnímu pnutí. [2]

Kanály temperančního systému se ve formě vyrábí s ohledem na celkovou koncepci formy, včetně vtokových kanálů, tvarových vložek, vyhazovačů a ostatních částí formy. Většinou bývá rozdělen na dva okruhy pro pevnou část a na pohyblivou část. [2]

Průřezy kanálů bývají většinou kruhové s průměrem 6 až 20 mm a rozmisťují se rovnoměrně kolem dutiny formy s ohledem na teplotní pole formy. Musí se také myslet na to, že temperanční kanály snižují celkovou tuhost formy.

Při návrhu temperančního systému se dodržuje pravidlo, že je lepší více menších temperančních kanálů, než méně velkých. Celková délka kanálů má být taková, aby byl rozdíl teploty média na vstupu a na výstupu max. 3 až 5 °C. U větších forem se používá více nezávislých temperančních okruhů. [2]

Temperace formy dokáže také ovlivnit výsledný povrch a mechanické vlastnosti výstřiku.

Tab. 1. Doručené teploty podle materiálu [10]

Materiál	Doporučená teplota formy [°C]	Teplota taveniny [°C]	Doporučená teplota dílu při odformování [°C]
PA	80 - 120	260 - 300	110 - 130
PC	80 - 100	280 - 320	140
ABS	60 - 80	220 - 260	80 - 100
SAN	50 - 80	230 - 260	80 - 95
PBT	80 - 100	250 - 270	140
PP	30 - 60	200 - 250	70 - 90
PE	30 - 60	180 - 230	60 - 90

4.3 Odvzdušnění formy

Odvzdušnění formy je velice důležité, protože dutina se taveninou plní velkou rychlostí a doba vstřiku je krátká. Tím pádem přebytečný vzduch uvnitř dutiny formy nemá kudy unikát a může způsobovat vady na výstřiku, jako jsou nedotečení nebo studené spoje. V některých případech může dojít k tzv. diesel efektu, kdy se stlačovaný vzduch ohřeje na takovou teplotu, že poškodí materiál výstřiku. Naštěstí v praxi se většinou vzduch uvnitř dutiny odvede přes spáry kolem vyhazovačů a přes dělicí rovinu. [2]

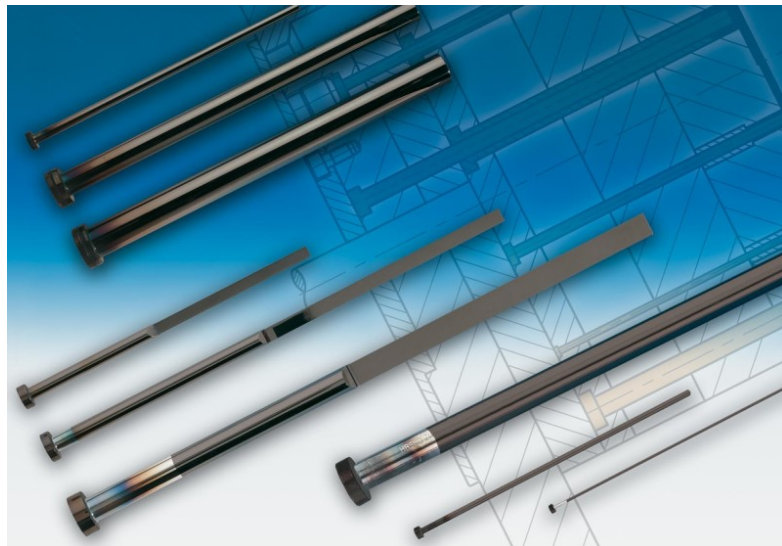
Pro případ, že by vzduch v dutině formy způsoboval potíže, je nutné zajistit intenzivní odvod konstrukcí odvzdušňovacích kanálů, které však nesmí způsobovat na výrobku otřepy. Tyto kanály se většinou řeší pomocí různých trnů a vložek. [2]

4.4 Typy vyhazovačů

Vstřikovací formy obsahují různé mechanismy pro vyhazování výstřiků, protože při ochlazování dochází ke smršťování výstřiku na tvarových součástech formy. K jejich vyhození slouží vyhazovací systém.

Je to mechanický princip pomocí vyhazovacích kolíků, stíracích kroužků, stíracích desek apod. Kromě součástí se může vyhození výrobku provádět pomocí stlačeného vzduchu nebo různých manipulátorů. [2]

Vyhazovače by měly být rozmístěny tak, aby na výrobek působily rovnoměrně a neměly by zanechávat stopy v pohledových plochách výstřiku.



Obr. 14. Příklady vyhazovačů [11]

4.5 Materiály formy

Ve vstřikovacích formách se vyskytuje celé řada materiálů. Většinou se jedná o různé druhy ocelí s různou povrchovou úpravou.

Forma jako celek je velice nákladná, protože musí být vyrobena přesně, aby zhotovené výrobky odpovídaly potřebné kvalitě, a jsou u ní kladeny nároky na určitou životnost.

Dále musí forma mít odpovídající mechanické vlastnosti, kvůli působení tlaku při vstřikování. Chemické vlastnosti, jako korozivzdornost, je nutné zohlednit pro typ vstřikovaného polymeru.

Zjednodušeně se dá říci, že co přichází do styku s taveninou, musí být vysoké kvality. Proto se tvárník a tvárnice vyrábí z ocelí třídy 19. Tyto materiály je značně obtížné obrobit, což se také zohledňuje na pořizovací ceně vstřikovací formy.

Vodící elementy už nejsou mechanicky namáhané jako tvárník s tvárnicí, ale kvůli jejich vzájemnému pohybu je třeba je navrhnout otěruvzdorné. Tím pádem se vyrábí z ocelí tříd 14, které jsou povrchově kalené.

Upínací desky vykazují malou míru namáhání, a proto se vyrábí z ocelí tříd 12, které jsou poměrně levné a dají se snadno obrobit.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pro bakalářskou práci byly stanoveny tyto cíle:

- 1) Vypracujte literární studii na dané téma
- 2) Nakreslete model daného dílu ve 3D
- 3) Proveďte konstrukci formy pro daný díl
- 4) Nakreslete 2D sestavu vstříkovací formy

V teoretické části byla shrnuta technologie vstříkování plastů včetně rozdělení polymerů, jejich volby, reologie polymerů, konstrukce forem a popisu vstříkovacího stroje. Pro praktickou část byly využity tyto informace a poznatky získané během výuky.

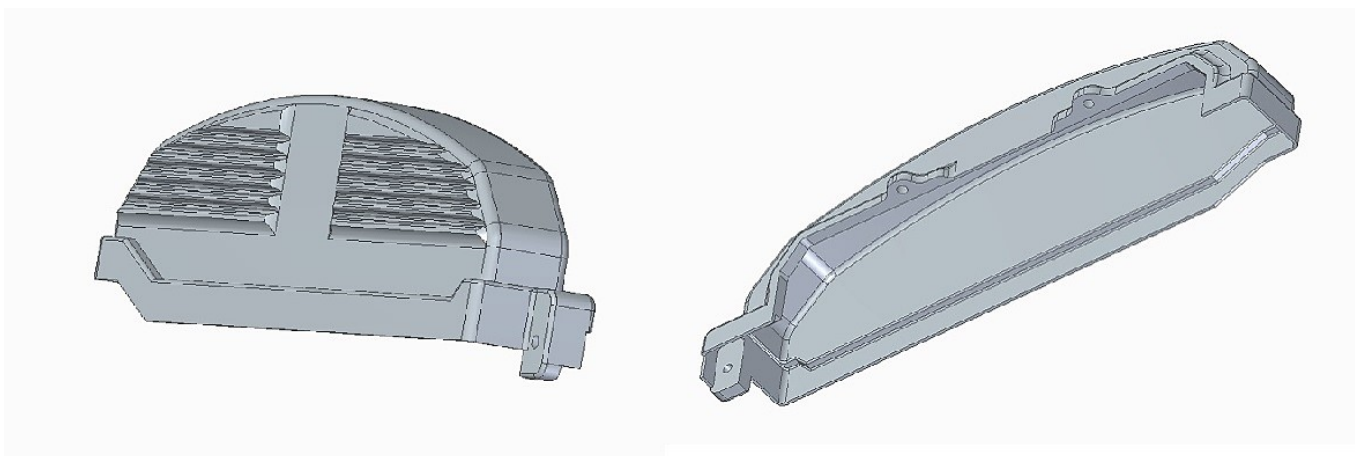
Praktická část obsahuje 3D model vyráběné součásti zobrazený v CAD softwaru. Jako předloha tohoto modelu byl použit kryt vačkových kol z motoru 4G63 od firmy Mitsubishi. Dále se v praktické části zaměřuji na konstrukci vstříkovací formy pro zmíněný výrobek, která byla provedena v CAD softwaru Solid Edge.

5.1 Použitý software

Pro práci byl vybrán 3D CAD software Solid Edge od firmy Siemens. Jedná se o ne až tak rozšířený software, jako některé jiné od konkurenčních firem. Dokáže nabídnout velice příznivé prostředí a spoustu modulů, z nichž právě jeden je zaměřen na konstrukci vstříkovacích forem. V této práci nebyl tento modul využit. V programu byla provedena konstrukce modelu výrobku, modelu formy a 2D výkresová dokumentace sestavy formy.

5.2 Vstříkovaný výrobek

Konstrukce formy byla provedena pro skutečný výrobek, kterým je kryt na vačková kola spalovacího motoru. Při návrhu byly zohledněny všechny parametry ovlivňující vlastnosti výrobku. Průměrná tloušťka stěny na výrobku jsou 2 mm, jeho maximální délka je 425 mm, šířka 55 mm, výška 136 mm a objem přibližně 223,8 cm³. Vzdálenost pohybu čelisti pro boční odformování je 40 mm.



Obr. 15 3D model výrobku

5.2.1 Volba materiálu

Pro zvolený výrobek byly zohledněny požadované vlastnosti. Hlavními kritérii byly teplotní odolnost, přijatelná tvarová stálost a odolnost vůči olejům. Z těchto kritérií byl zvolen materiál Ertalon PA 66 SA. Jde o poměrně běžný a dobře zpracovatelný polymer.

Tab. 2. Materiálový list [12]

Vlastnosti	Jednotka	Metoda testování	Hodnota
Obecné vlastnosti			
Hustota	g/cm ³	DIN EN ISO 1183-1	1,15
Absorpce vlhkosti			
Saturace na vzduchu při 23°C/50% RH	%	DIN EN ISO 62	2,80
Saturace při ponoření ve vodě při 23°C	%	DIN EN ISO 62	8,00
Hořlavost dle UL 94 (síla 3mm/6mm)		ISO 1210 (UL 94)	HB / V2
Mechanické vlastnosti			
Testovací vzorek "na sucho"			
Mez kluzu	MPa	DIN EN ISO 527	85
Deformace při přetržení	%	DIN EN ISO 527	50
Modul pružnosti v tahu	MPa	DIN EN ISO 527	3.300
Vrubová houževnatost - Charpy	kJ/m ²	ISO 179/1eA/Pendel 1J	>3
Tvrdoost – metoda kuličkou	N/mm ²	DIN EN ISO 2039-1	180
Tvrdoost - Shore	Skala D	DIN 53505	83
Tepelné vlastnosti			
Teplota tání	°C	ISO 11357	260
Tepelná vodivost	W/(mK)	DIN 52612	0,23
Specifická tepelná vodivost	kJ/(kgK)	DIN 52612	1,7
Koeficient lineární tepelné roztažnosti	10 ⁻⁶ K ⁻¹	Průměrně mezi 20°C-60°C	80
Provozní teplota - dlouhodobá	°C		- 30 až 95
Provozní teplota - krátkodobá, maximální	°C		170
Teplota tepelného průhybu, Metoda A:1,8 MPa	°C	DIN EN ISO 75	100
Elektrické vlastnosti			
Dielektrická konstanta, 50 Hz		IEC 60250	3,8
Dielektrický ztrátový faktor, 50 Hz		IEC 60250	0,015
Vnitřní odpor	Ohm cm	IEC 60093	10 ¹²
Povrchový odpor	Ohm	IEC 60093	10 ¹³
Odolnost proti plazivým proudům CTI, Sol. A		IEC 60112	600
Dielektrická pevnost	kV/mm	IEC 60243	25

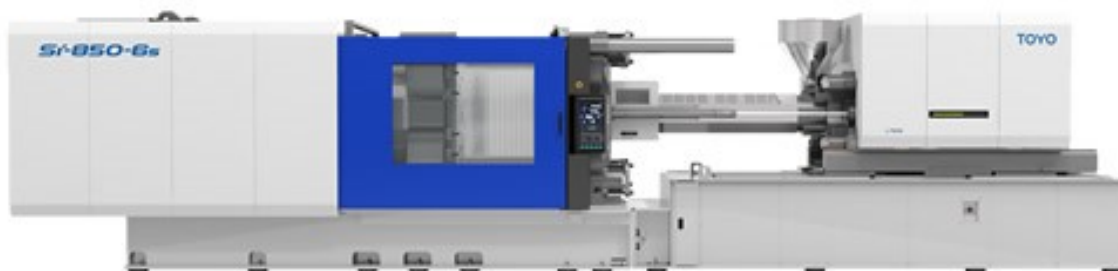
Tab. 3 Doporučené parametry při zpracování vybraného polymeru [10]

Parametr	Hodnota	Jednotka
Teplota taveniny	280	°C
Teplota formy	90	
Vyhazovací teplota	110	
Rozsah teploty formy	80-120	
Rozsah teploty taveniny	260-300	

5.3 Volba vstřikovacího stroje

Vstřikovací stroj byl vybírán s ohledem na velikost formy a parametry výroby. Cena samotného stroje bývá několikanásobně vyšší, než je cena formy.

Pro mou práci byl zvolen stroj Si-850-6 od japonského výrobce TOYO. Tento stroj vyhovuje všem potřebným parametrům.



Obr. 16. Vstřikovací stroj TOYO Si-850-6 [13]

Tab. 4. Porovnání parametrů stroje s parametry formy

Parametr	Stroj	Forma	Jednotka
Vzdálenost mezi sloupky	1145x1145	1000x1000	mm
Uzavírací síla	8330	-	kN
Velikost upínací desky	1540x1540	1000x1000	mm
Minimální délka formy	450	575	mm
Maximální délka formy	1000	575	mm
Průměr otvoru pro středící kroužek	200	200	mm
Maximální vstřikovací objem	1111	600	cm ³

6 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Celá vstřikovací forma včetně všech komponent byla zhotovena v programu Solid Edge.

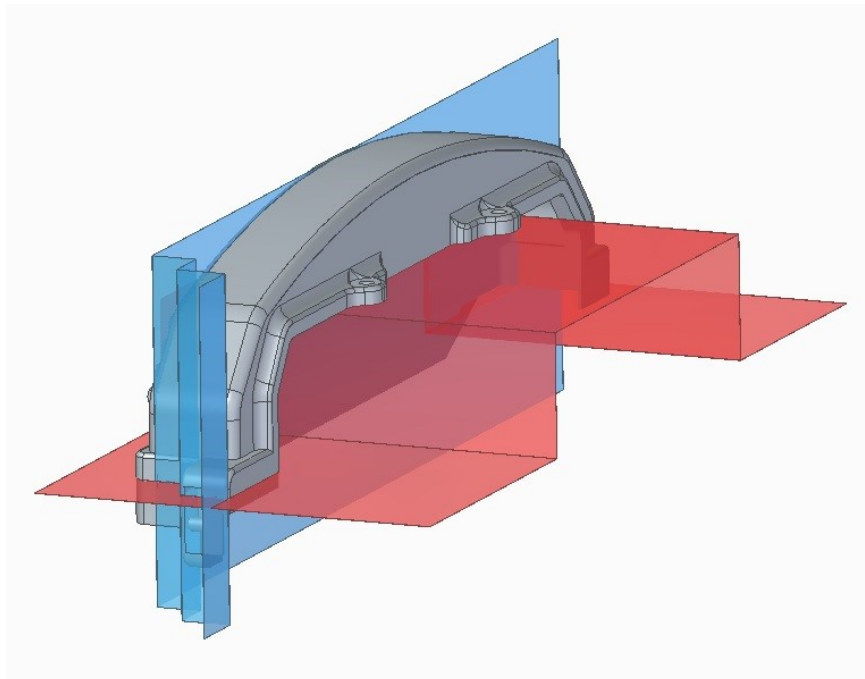
6.1 Násobnost formy

Násobnost formy určuje, kolik výrobků se vyrobí za jeden vstřikovací cyklus. S narůstající násobností také narůstá velikost formy, složitost odformování a distribuce taveniny ve formě. Pro sériovou výrobu je nejvhodnější docílit co největší násobnosti s ohledem na kvalitu výrobku a dostupnost vhodného vstřikovacího stroje.

Pro mou práci byla zvolena forma dvojnásobná. Protože výrobek má boční výstupky a díru, bylo třeba využít bočních výsuvných tvárníků.

6.2 Dělicí roviny

Na umístění dělicích rovin má vliv tvar výrobku. Dělicí roviny se umísťují tak, aby bylo dosaženo co nejsnazšího odformování a zároveň byl brán zřetel, že stopy po dělicích rovinách budou vhodně umístěny. Vhodným umístěním mohou být např. ostré hrany. Hlavní dělicí rovina je na obrázku červeně a vedlejší modře.

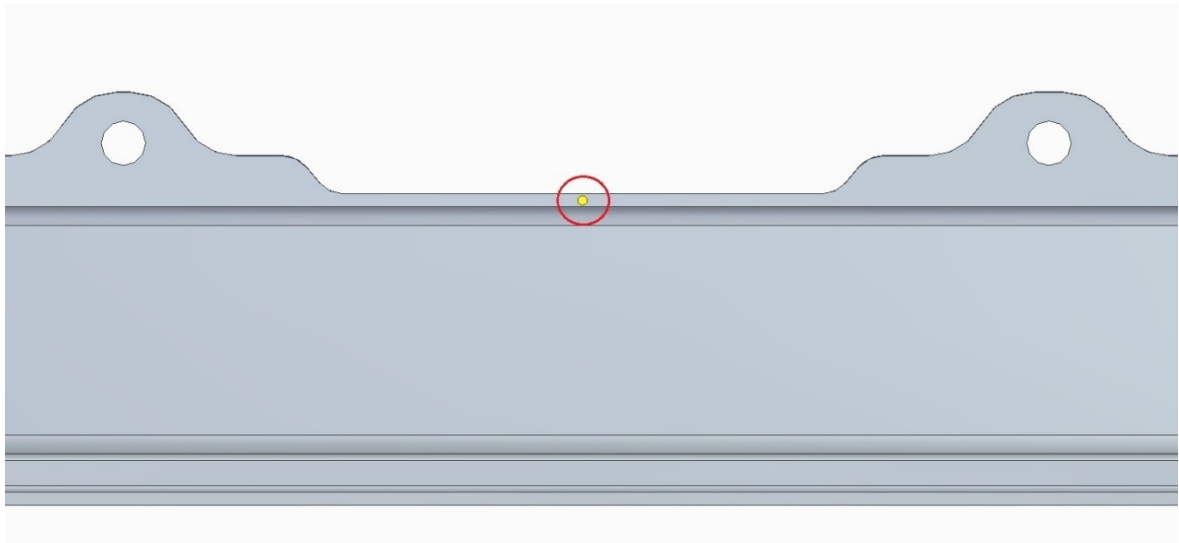


Obr. 17. Umístění hlavní a vedlejší dělicí roviny

Hlavní dělicí rovina je ohnuta z důvodu rozvodného kanálu pro vtok.

6.3 Umístění vtokového ústí

Umístění vtokového ústí je další velice důležitý předpoklad pro výrobu vstřikováním. V dnešní době lze využít některé simulační softwary, které jsou schopny určit nejvhodnější místo pro vtok na dané součásti. V našem případě bylo vtokové ústí zvoleno s ohledem na rovnoměrné zaplnění dutiny formy a umístění na nepohledové straně. Z těchto důvodů je otvor pro vtok umístěn ze spodní strany výrobku, viz obr. 18.



Obr. 18. Umístění vtokového ústí

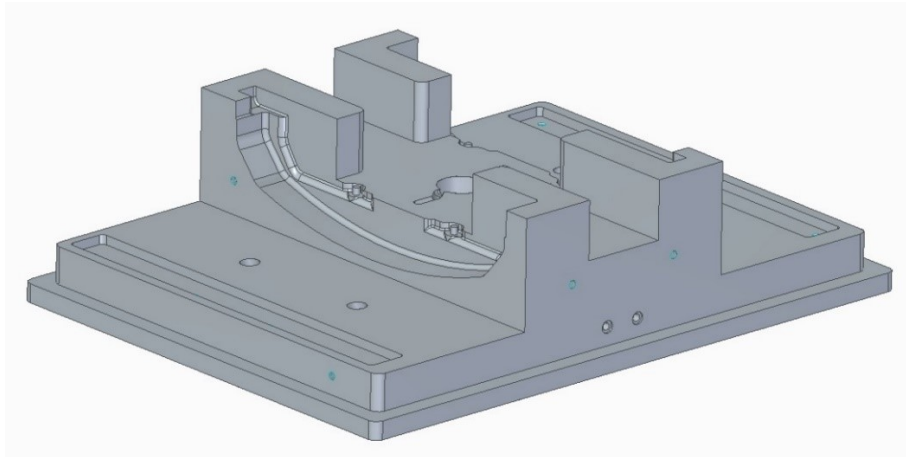
6.4 Odformování

Po určení dělicích rovin následuje návrh tvárníku a tvárnice. Tyto části společně tvoří dutinu formy. Dále je třeba zohlednit smrštění materiálu při chladnutí, musí se tedy zvětšit dutina formy. Dutina byla zvětšena o 1,7 %.

Kvůli tomu, že se na výrobku vyskytuje boční díra a žebrování, je třeba tvarové části doplnit o boční tvárník. Tento tvárník se vysouvá kolmo na směr hlavní roviny a jeho pohyb je zajištěn pomocí šikmého čepu. Po otevření formy výrobek zůstane na levé straně (pohyblivé) a bude odformován pomocí vyhazovacího systému.

6.4.1 Tvárnice

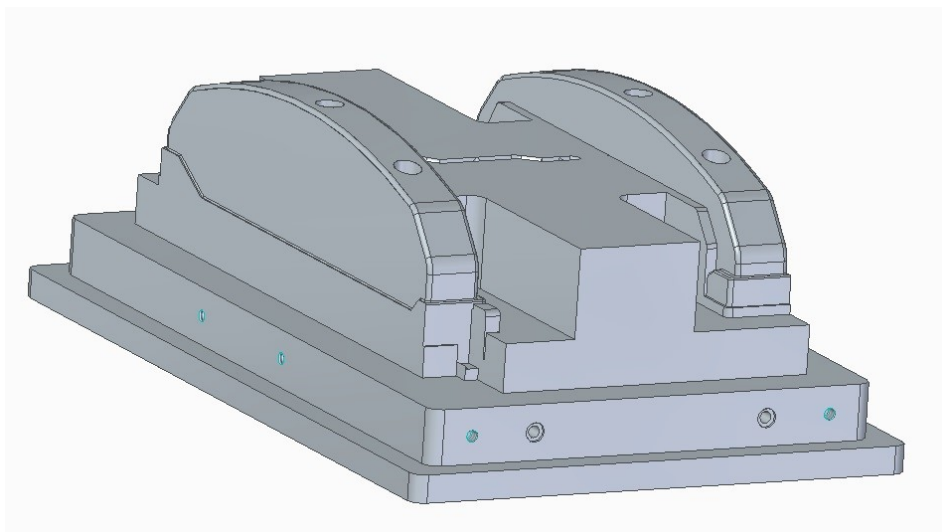
Tvárnice je část tvarové dutiny, která je umístěna na pravé (nepohyblivé) straně formy. V našem případě tvoří tvárnice většinu vnějšího tvaru vstřikovaného výrobku. Pro vyšší tuhost formy je tvárnice součástí tvarové desky, na které jsou umístěny i zámky pro boční tvárník, otvory pro šikmé čepy, otvor pro vtokovou vložku a rozváděcí kanály.



Obr. 19 Tvárnice

6.4.2 Tvárník

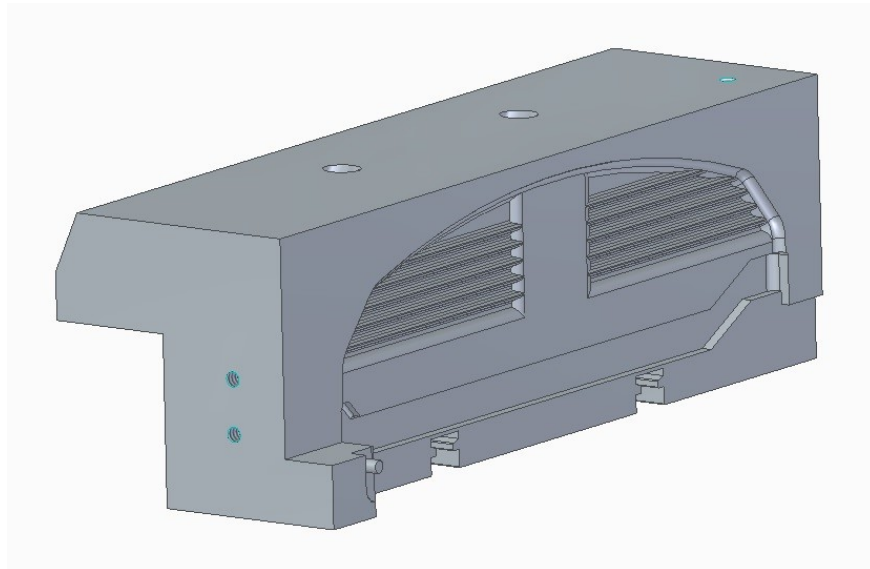
Tvárník je část tvarové dutiny, která je umístěna na levé (pohyblivé) straně formy. Tvárník tvoří vnitřní tvar výrobku a po otevření formy na něm výrobek do vyhození zůstává. Součástí tvárníku jsou rozváděcí kanály společně s banánovým vtokem.



Obr. 20. Tvárník

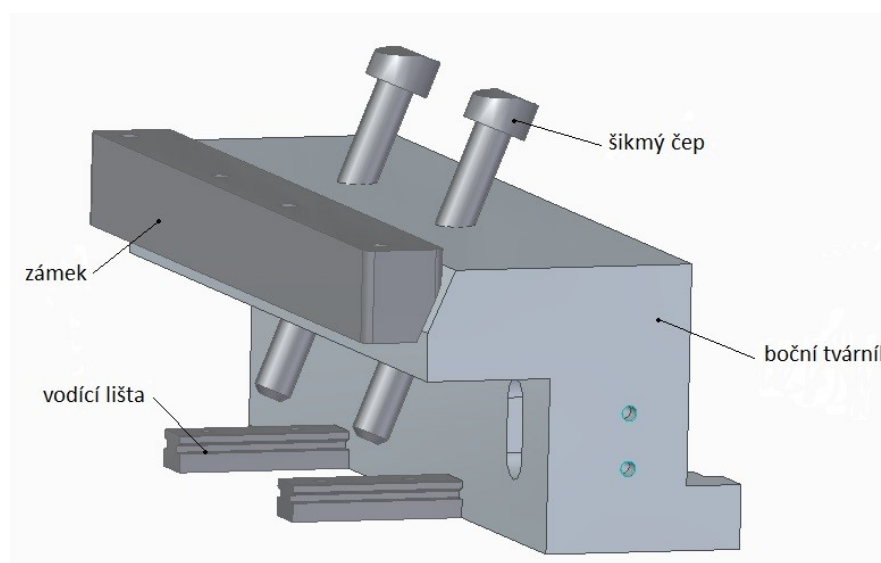
6.4.3 Boční tvárník

Boční tvárník byl využit pro vytvoření bočního tvaru a díry, které by jinak nebyly odformovatelné pouze pomocí hlavní dělicí roviny. Boční tvárník se nachází na levé straně formy.



Obr. 21. Boční tvárník

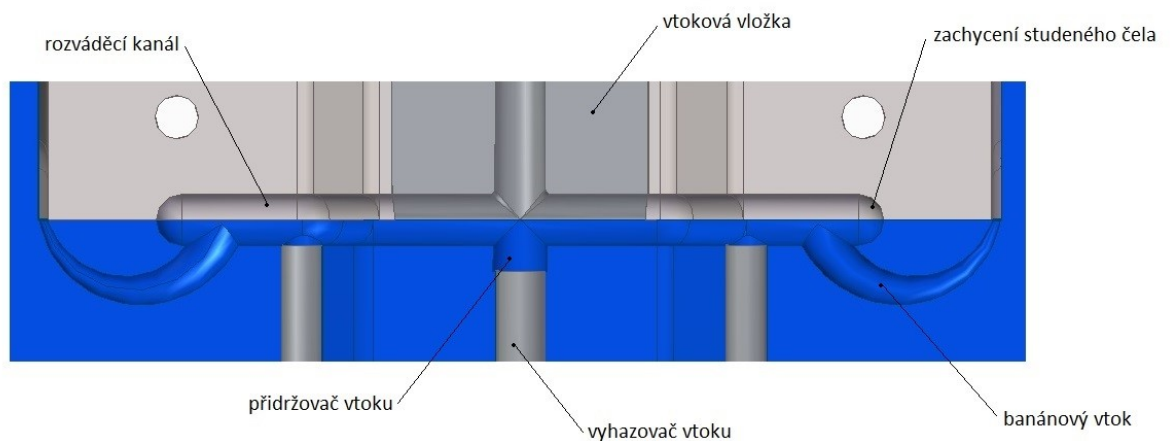
Pohyb bočního tvárníku je zajištěn pomocí šikmých čepů. Tyto čepy jsou umístěny na pravé straně formy. Při otevírání formy tyto čepy táhnou boční tvárník od vstříknutého výrobku. Aby byl zajištěn správný pohyb, jsou v bočním tvárníku drážky pro vodící lišty. Pro správné dosednutí zpět slouží zámek, který také zajišťuje, aby se boční tvárník nepohyboval, během působení tlaku při vstřikovacím cyklu.



Obr. 21. Mechanismus bočního odformování

6.5 Vtokový systém

Vtokový systém plní funkci dopravení taveniny do dutiny formy. Protože byla zvolena dvojnásobná forma, je třeba zajistit, aby do obou dutin tavenina dotekla ve stejný moment a ve stejném množství. V našem případě byl zvolen studený vtokový systém. Tavenina se zahřeje na požadovanou teplotu v plastikační jednotce, následně je tlakem šneku vstříknuta přes vtokovou vložku do rozváděcích kanálů, které jsou zakončeny banánovým vtokem a přes něj do dutiny formy. Rozváděcí kanál má průřez kruhu, který je rozdělen dělicí rovinou.

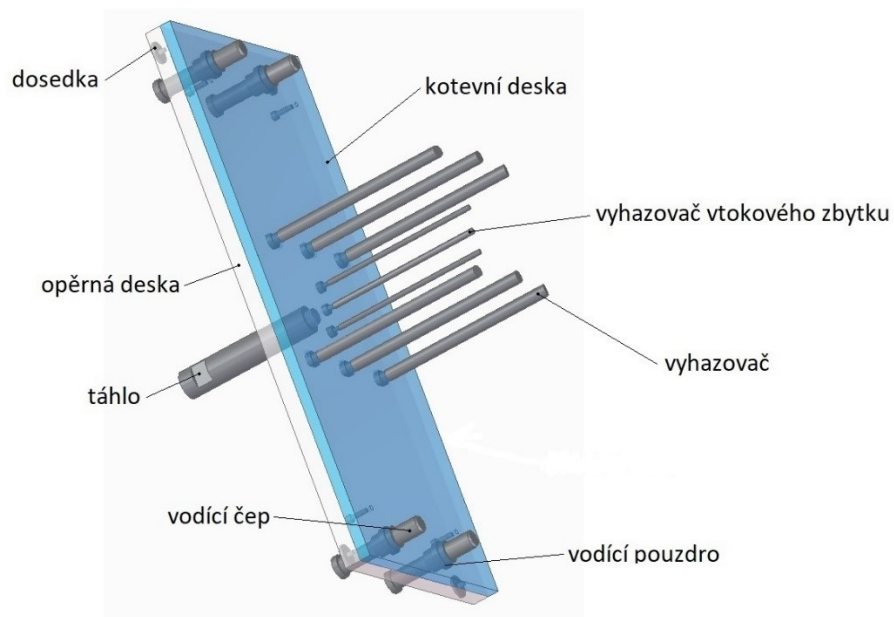


Obr. 23. Vtokový systém v řezu

K odtržení vtokového zbytku od výrobku dochází u banánového vtoku obdobně jako u tunelového vtoku viz obr. 10 v teoretické části.

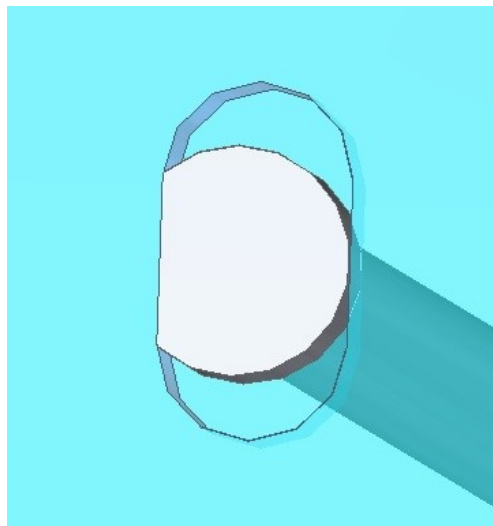
6.6 Vyhazovací systém

Potom, co je tavenina ochlazená na vyhazovací teplotu, dojde k otevření formy a následnému vyhození výrobku z dutiny formy. K tomuto účelu slouží vyhazovací systém. Pro tuto funkci byly zvoleny válcové vyhazovače. Kromě samotného výrobku vyhazovače vyhodí i vtokový zbytek. Vyhazovací systém je umístěn na levé straně formy a jeho pohyb je proveden pomocí táhla, které je ovládáno vstříkovacím strojem.



Obr. 24. Vyhazovací systém

Pro každý výrobek byly zvoleny 3 vyhazovače, které jsou na výrobku ze spodní strany, a pro vtokový zbytek také 3. Protože vyhazovače pro výrobek tvoří tvar dutiny, je třeba zajistit, aby nedocházelo k jejich rotaci. Vyhazovače pro vtokový zbytek jsou pouze válcové, tím pádem u nich pootočení nevadí.



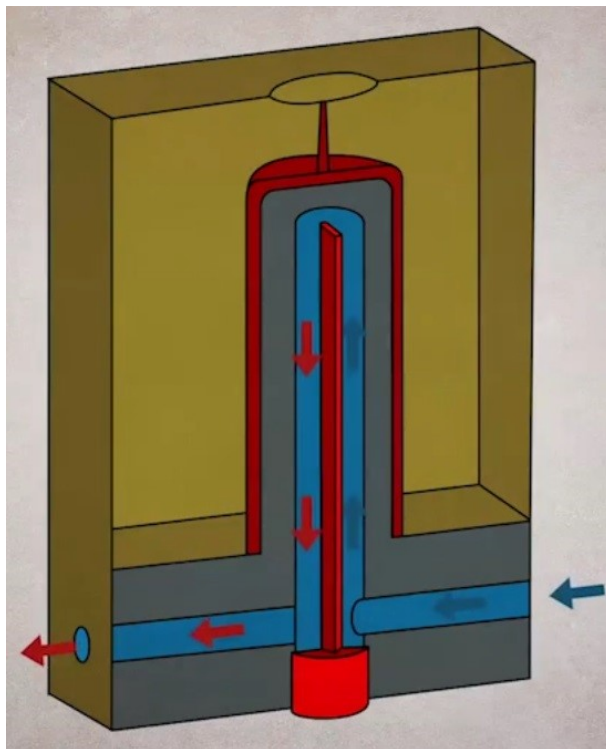
Obr. 25. Aretace vyhazovačů

6.7 Temperační systém

Temperační systém má za úkol udržet stěny formy v požadované teplotě. Kvalitně navržený temperační systém urychluje výrobu díky rychlejšímu (efektivnějšímu) chlazení.

V navrhované formě jsou temperovány všechny 3 tvarové části z důvodu velkého rozměru vstříkovaného výrobku. Kanály jsou vrtané a tvoří systém o celkem pěti okruzích.

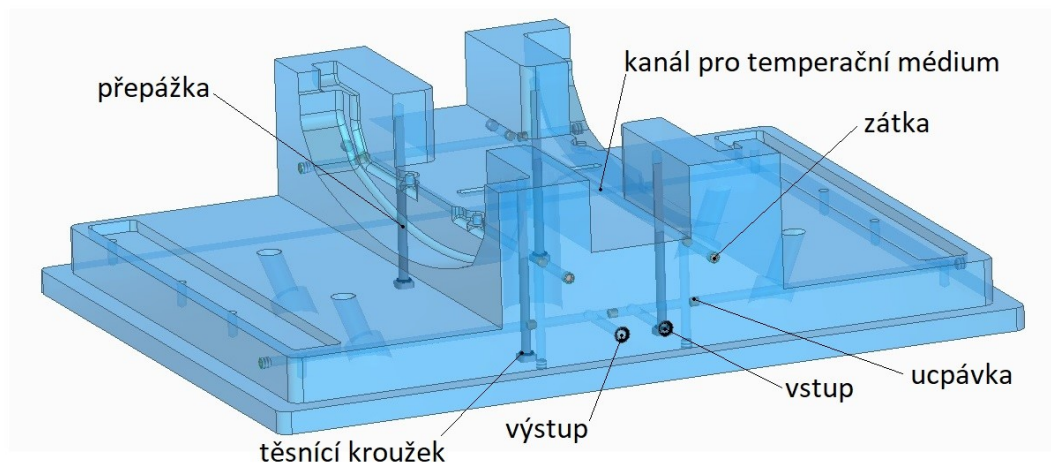
U tvárníku a tvárnice bylo třeba využít přepážek, kvůli dopravě temperačního média do horních částí těchto prvků.



Obr. 26 Systém plochých přepážek [14]

6.7.1 Temperace tvárnice

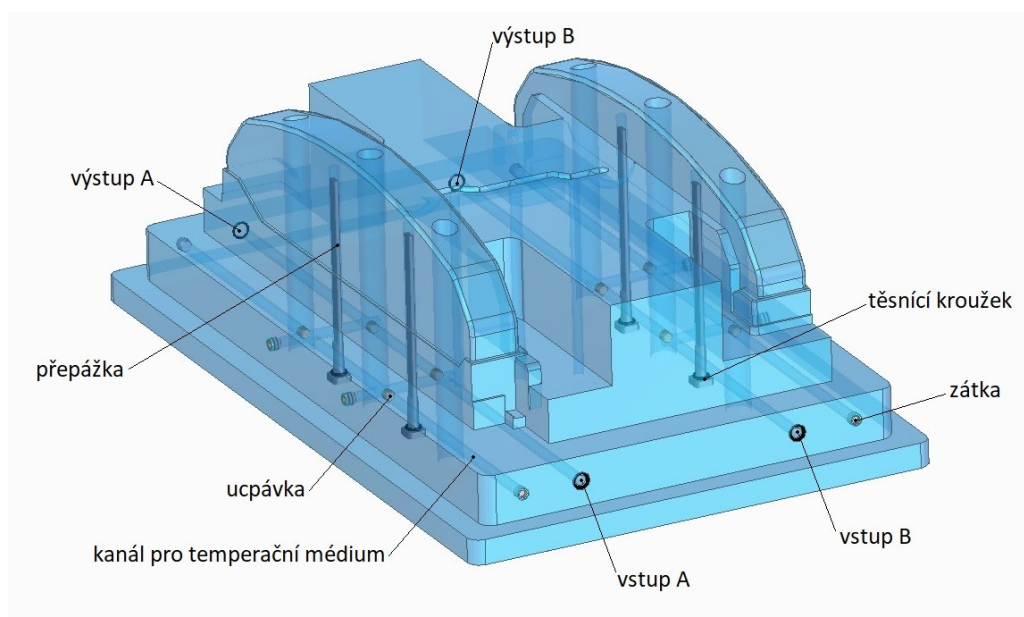
U temperace tvárnice jsou na jeden okruh temperovány obě 2 tvarové části. Dále byly použity přepážky kvůli temperování vysokých částí tvárnice. Vstup i výstup jsou tu z jedné strany a prochází přes kotevní desku, ve které jsou našroubované rychlospojky na hadice.



Obr. 27. Temperace tvárnice

6.7.2 Temperace tvárníku

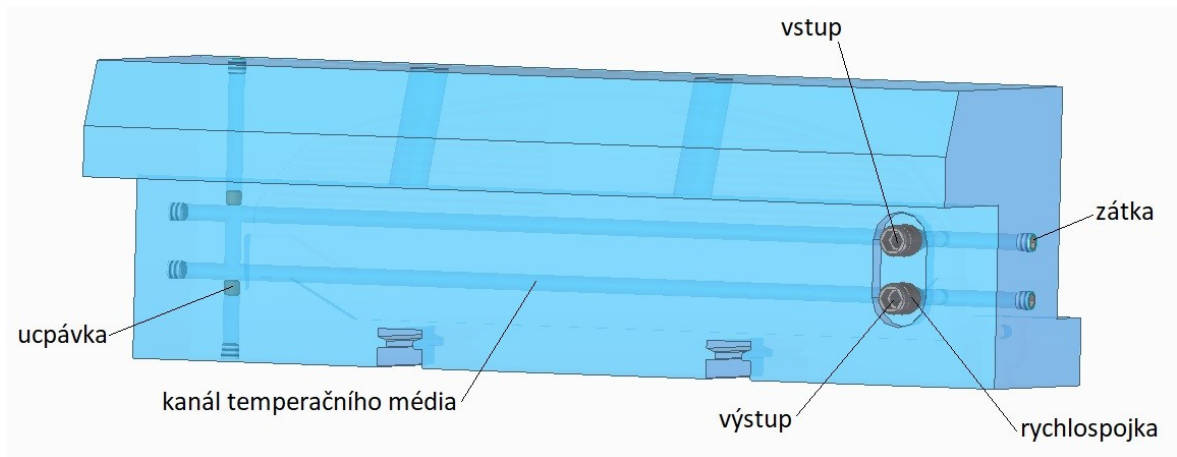
Pro temperaci tvárníku slouží 2 nezávislé okruhy, které by se daly zapojit za sebe a tím z nich vytvořit jeden okruh. Opět byly použity přepážky pro vyhřívání vyšších míst tvárníku. Temperační systém dále prochází kotevní deskou, na které jsou přišroubované hadicové rychlospojky.



Obr. 28. Temperace tvárníku

6.7.3 Temperace bočního tvárníku

Temperace bočního tvárníku je provedena pomocí samostatného okruhu, bez nutnosti přepážek.



Obr. 29. Temperace bočního tvárníku

6.8 Odvzdušnění

Při uzavírání formy zůstane vzduch v její dutině, který je pak tlačěn vstříkovanou taveninou. Vzduch uniká přes dělicí roviny a kolem vyhazovačů. V konstruované formě se počítá s tímto řešením, při případných problémech by se muselo přistoupit k řešení odvzdušňovacích kanálů.

6.9 Ostatní komponenty

Vstříkovací forma se nadále skládá z dalších komponent, které jsou nezbytné pro její správnou funkci. Mezi tyto položky se řadí vodící a středící elementy, šrouby a těsnící prvky temperačního systému.

6.9.1 Vodící elementy

Vodící elementy zajišťují správné vystředění mezi deskami a oběma půlkami formy, konkrétně se jedná o vodící čepy a pouzdra.



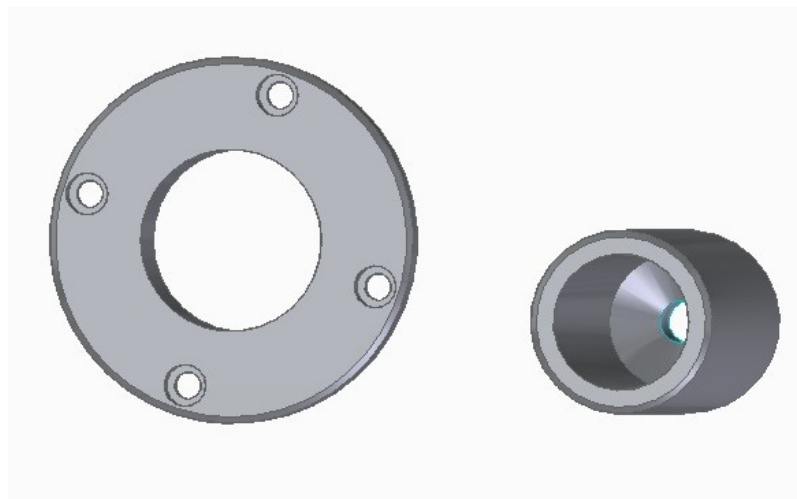
Obr. 30. Vodící čep a pouzdro

6.9.2 Středící elementy

Mezi středící elementy se zahrnují středící kroužky a trubky.

Kroužky slouží k vystředění formy na stroji a jsou tedy velmi důležité k zajištění správné polohy. Pravý kroužek mívá náběh z důvodu dosedání trysky plastikační jednotky a dále upíná vtokovou vložku v pravé straně formy. Levým kroužkem prochází táhlo vyhadzovacího systému. Vnější průměr pravého kroužku je 200 mm a levého 120 mm.

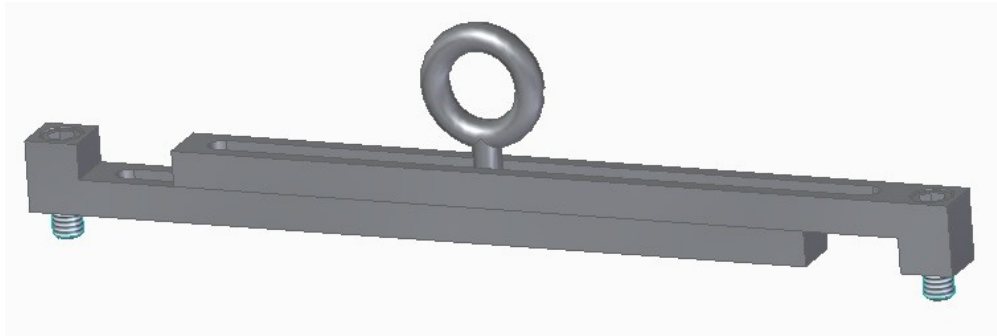
Středící trubky prochází zbytkem formy, kde neprochází vodící elementy a slouží k vystředění s těmito prvky. Dělá se to proto, aby právě vodící elementy nemusely procházet zbylými částmi formy. Dále má ve spodní části závit pro snazší vytahování z desek formy.



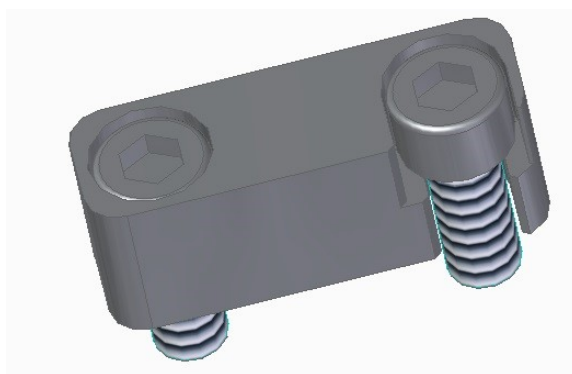
Obr. 31. Levý středící kroužek a středící trubka

6.9.3 Manipulační zařízení

Protože formy bývají velkých rozměrů a hlavně hmotností, je k jejich manipulaci zapotřebí pomocné techniky jako jsou jeřáby a vozíky. Proto se na jejich vrchní část přidává transportní můstek s okem pro manipulaci. Dále bývají doplněny z boku o zámky, které zabráňují jejich otevření během transportu.



Obr. 32. Transportní můstek

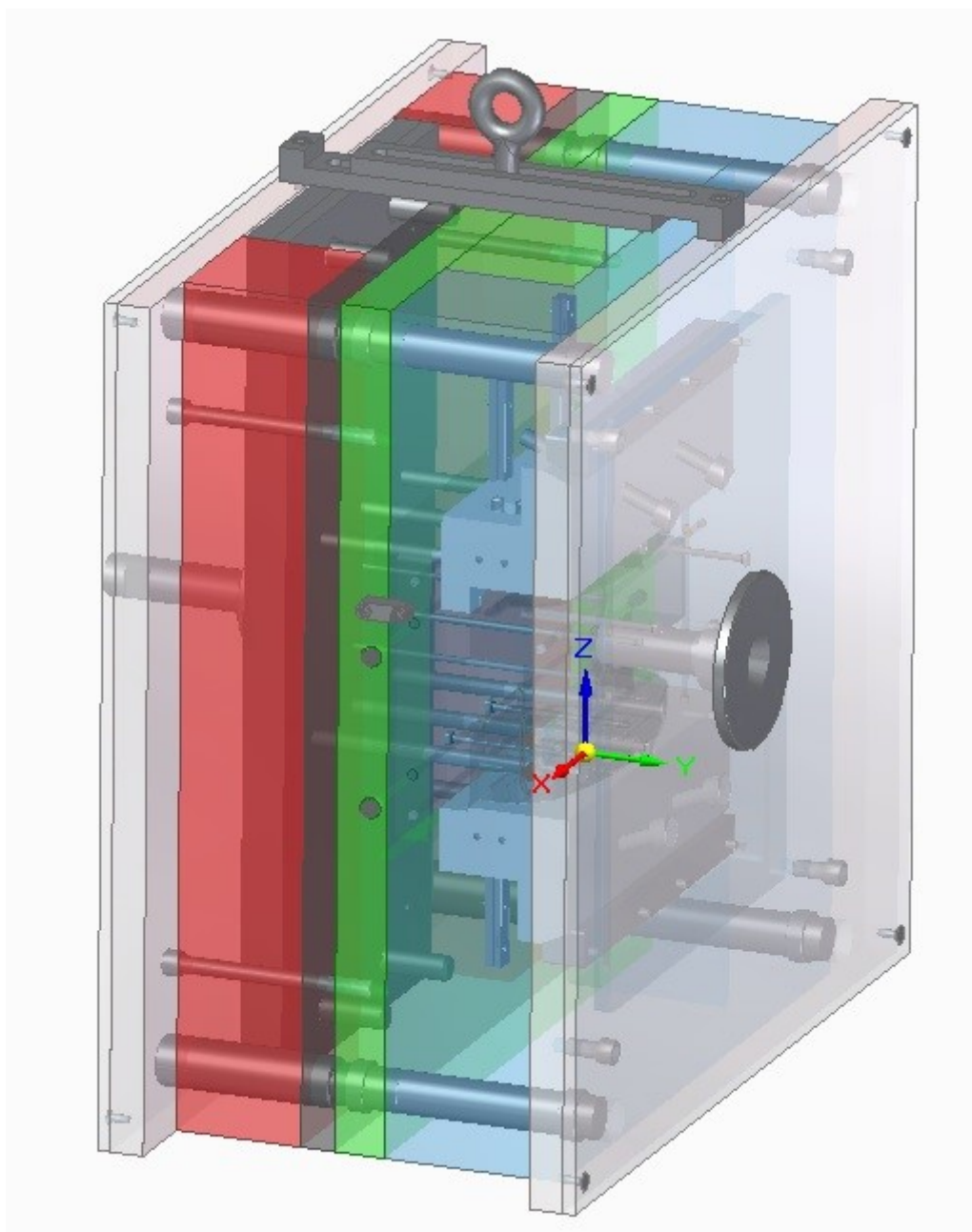


Obr. 33. Zámek

6.10 Sestava formy

Jak už bylo několikrát zmíněno, vstříkovací forma se skládá ze dvou částí. Pravá strana tvoří nepohyblivou část, na které se z nejdůležitějších částí nachází tvárnice, vtoková vložka, vodící čepy a čepy pro boční odformování. Na levé části jsou důležité komponenty: tvárník, mechanismus bočního odformování, vodící pouzdra a vyhazovací systém. Obě dvě části byly doplněny o izolační desku z důvodu lepší tepelné stability formy.

Celkové rozměry formy jsou 1000x1000x575 mm s hmotností přibližně 2906,5 kg.



Obr. 34. Sestava formy

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo vypracovat studii na technologii vstřikování plastů, z vybraného výrobku vyhotovit 3D model a sestavu vstřikovací formy, která bude dvojnásobná se studenými vtoky.

První část bakalářské práce se věnovala technologii vstřikování a byly v ní zahrnuty informace k úspěšnému zhotovení praktické části.

Ve druhé části bylo zahrnuto vytvoření 3D modelu daného dílu, pro který se navrhovala sestava vstřikovací formy. K sestavě byla dále vytvořena její výkresová dokumentace včetně kusovníku. Nakonec se tato část zabývala popisem konstrukčních prvků na dané formě.

Jako materiál byl zvolen PA 66, který vyhovoval daným předpokladům a podle výrobních parametrů byl zvolen vstřikovací stroj s označením Si-850-6 od výrobce TOYO.

Při konstrukci formy byl brán ohled na snadné a efektivní odformování vstřikovaného dílu. Kvůli tomu, že má daný výrobek tvarové části a otvor z boku, bylo třeba zvolit způsob bočního odformování pomocí bočního tvárníku.

Pro konstrukci dílu i samotné formy byl využit software Solid Edge.

Výsledná forma má rozměry 1000x1000x575 mm a hmotnosti přibližně 2906,5 kg.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ZEMAN, L. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 2009. Praha: BEN-technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [2] WEISS, Viktorie a Elena STŘIHAVKOVÁ. *Polymery*. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, Fakulta výrobních technologií a managementu, 2014. ISBN 978-80-7414-738-8.
- [3] STOKLASA, K. *Zpracovatelské inženýrství I – Základy gumárenské a plastikářské technologie*. [Skripta]. 1. vyd. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická 2007.
- [4] LENFELD, Petr. *Strojírenská technologie-vybrané prezentace*. V Liberci: Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-7372-326-2.
- [5] POUCHLÝ, J. *Fyzikální chemie makromolekulárních a koloidních soustav*. Vyd. 3. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2008. ISBN 978-80-7080-674-6.
- [6] BEAUMONT J. P., R. NAGEL a R. SHERMAN. *Successful injection molding: process, design, and simulation*. Munich [u.a.]: Hanser, 2002. ISBN 3-446-19433-9.
- [7] BEUAMONT, J. P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 2nd ed. Munich: Hanser Publoshers, c2007, xvi, 308s. ISBN: 978-1-56990-421-3.
- [8] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů I. díl – Vstřikování termoplastů*. 2. vyd. - Brno: UNIPLAST, 1999. 134 s
- [9] HYNEK, M. a kol. *Horké vtoky*. In: *Plastové díly*. [online]. Dostupné z: http://kks.zcu.cz/export/si-tes/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Horke_vtoky.pdf
- [10] BRYCE, Douglas M. *Plastic Injection Molding: manufacturing proces fundamentals*. Dearborn, Mich.: Society of Manufacturing Engineers, c1996, 277s. ISBN 0872634728
- [11] PlasticPortal.eu [online]. Dostupné z: <https://www.plasticportal.cz/cs/hasco-vyhazovace-s-dlc-povlakem/c/2115/>
- [12] PLASTUM Trading s.r.o. [online]. Dostupné z: <https://plastum.cz/zakladni-technicke-plasty/ertalon/>

[13] TOYO MACHINERY & METAL CO., LTD. [online]. Dostupné z: <https://www.toyo-mm.co.jp/english/>

[14] Publi [online]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/08.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

2D	Dvourozměrný prostor
3D	Trojrozměrný prostor
ABS	Akrylonitril – butadien styren
p	Tlak [Pa]
PA	Polyamid
PBT	Polybutylentereftalát
PC	Polykarbonát
PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
SAN	Styren-akrylonitrilová pryskyřice
T	Teplota [°C]
T _g	Teplota skelného přechodu [°C]
v	Objem [cm ³]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Vstřikovací cyklus [3]	13
Obr. 2. Schématické znázornění pvT diagramu [1]	16
Obr. 3. Schéma vstřikovacího stroje [2]	17
Obr. 6. Fontánový tok [6]	18
Obr. 7. Vhodné průřezy tokových kanálů [7]	23
Obr. 8. Kuželový vtok [7]	24
Obr. 9. Tunelový vtok [7]	24
Obr. 10. Znázornění odtržení kuželového vtoku [7]	25
Obr. 11. Banánový vtok [7]	25
Obr. 12. Membránový vtok [7]	26
Obr. 13. Znázornění a popis horkých vtoků [9]	27
Obr. 14. Příklady vyhazovačů [11]	29
Obr. 15 3D model výrobku	33
Obr. 16. Vstřikovací stroj TOYO Si-850-6 [13]	34
Obr. 17. Umístění hlavní a vedlejší dělicí roviny	35
Obr. 18. Umístění vtokového ústí	36
Obr. 19 Tvárnice	37
Obr. 20. Tvárník	37
Obr. 21. Boční tvárník	38
Obr. 21. Mechanismus bočního odformování	38
Obr. 23. Vtokový systém v řezu	39
Obr. 24. Vyhazovací systém	40
Obr. 25. Aretace vyhazovačů	40
Obr. 26 Systém plochých přepážek [14]	41
Obr. 27. Temperace tvárnice	42

Obr. 28. Temperace tvárníku	42
Obr. 29. Temperace bočního tvárníku	43
Obr. 30. Vodící čep a pouzdro	44
Obr. 31. Levý středící kroužek a středící trubka.....	44
Obr. 32. Transportní můstek	45
Obr. 33. Zámek	45
Obr. 34. Sestava formy	46

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Doručené teploty podle materiálu [10].....	29
Tab. 2. Materiálový list [12].....	34
Tab. 3 Doporučené parametry při zpracování vybraného polymeru [10].....	35
Tab. 4. Porovnání parametrů stroje s parametry formy.....	35

SEZNAM PŘÍLOH

- P I. 3D model dílu
- P II. Forma – výkres sestavy
- P III. Forma - kusovník

