

Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu technického plastového dílu

Marek Richvalský

Bakalářská práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Marek Richvalský
Osobní číslo:	T21042
Studijní program:	B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Technologická zařízení
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu technického plastového dílu

Zásady pro vypracování

- Vypracovat literární studii pro dané téma.
- Provést 3D konstrukci modelu vstřikované součásti.
- Navrhnout 3D konstrukci vstřikovací formy pro zadaný díl.
- Nakreslit 2D řez vstřikovací formou spolu s kusovníkem.

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

Seznam doporučené literatury:

- ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, [2018], 455 s. ISBN 978-80-271-0614-1.
CATOEN, Bruce a Herbert REES. Injection mold design handbook. Munich: Hanser publishers, [2021], xxviii, 786 s. ISBN 978-1-56990-815-0.
KAZMER, David. Injection mold design engineering. 2nd edition. Munich: Hanser, [2016], xxiv, 529 s. ISBN 9781569905708.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Martin Ovsík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2024**
Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2024**

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

L.S.

doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 4. března 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – 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);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem 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.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato konkrétní práce se zaměřuje na konstrukci vstřikovací formy pro technický díl, konkrétně držák na hadici. V teoretické části jsou popsány obecné principy vstřikování, konstrukce vstřikovací formy, vstřikovacího stroje a vstřikovaného dílu. Praktická část pak zahrnuje konstrukci 3D modelu a vstřikované součásti a návrh vstřikovací formy pomocí softwaru CATIA V5-6R20

Klíčová slova: vstřikování, vstřikovací forma, konstrukce formy

ABSTRACT

This particular work focuses on the design of an injection mold for a technical part, specifically a hose holder. The theoretical part describes the general principles of injection molding, the design of the injection mold, the injection molding machine and the injection molded part. The practical part includes the construction of the 3D model and the injection molded part and the design of the injection mold using CATIA V5-6R20

Keywords: injection molding, injection mold, mold construction

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Martinu Ovsíkovi, Ph.D., za jeho velkou a laskavou podporu, vedení a odborné rady poskytnuté během procesu tvorby mé bakalářské práci. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině a přátelům za podporu.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	11
1.1 VSTŘIKOVÁNÍ.....	11
1.2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	12
2 VSTŘIKOVACÍ STROJ	13
2.1 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA.....	13
2.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	14
2.3 OVLÁDÁNÍ A ŘÍZENÍ VSTŘIKOVACÍHO STROJE.....	14
3 POLYMERNÍ MATERIÁLY	16
3.1 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	16
3.1.1 Elastomery.....	16
3.1.2 Reaktoplasty	17
3.1.3 Termoplasty.....	17
4 KONSTRUKCE FOREM	18
4.1 NÁSOBNOST FORMY	19
4.2 SMRŠTĚNÍ.....	20
4.3 ODVZDUŠNĚNÍ FOREM.....	21
4.4 TEMPERACE FOREM.....	21
4.5 STUDENÝ VTOKOVÝ SYSTÉM (SVS)	22
4.5.1 Vtokový kanál	24
4.5.2 Rozváděcí kanál	25
4.5.3 Vtokové ústí	25
4.6 VYHŘÍVANÝ VTOKOVÝ SYSTÉM (VVS).....	28
4.6.1 Vyhřívané trysky	29
4.6.2 Vyhřívané rozvodné bloky	29
4.7 VYHAZOvacÍ SYSTÉM.....	29
4.7.1 Mechanický systém vyhazování.....	30
4.7.2 Pneumatický systém vyhazování.....	32
4.7.3 Hydraulický systém vyhazování	33
II PRAKTICKÁ ČÁST	34
5 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	35
6 VÝROBEK	36
7.1 CATIA V5-6R20	38
7.2 MEUSBURGER.....	38
8 KONSTRUKCE FORMY	39

8.1	NEPOHYBLIVÁ ČÁST FORMY	39
8.2	POHYBLIVÁ ČÁST FORMY	40
8.4	DĚLÍCI ROVINA	42
8.5	TVAROVÉ ČÁSTI	42
8.6	BOČNÍ POSUVNÉ ČÁSTI	43
8.7	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	44
8.8	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	45
9	VTOKOVÝ SYSTÉM	47
10	VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	48
	ZÁVĚR.....	49
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	50
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	52
	SEZNAM OBRÁZKŮ	53
	SEZNAM TABULEK.....	54
	SEZNAM PŘÍLOH.....	55

ÚVOD

Plastové materiály se staly preferovanou volbou v mnoha průmyslových odvětvích, a to zejména kvůli jejich široké dostupnosti, jednoduchému zpracování a vynikajícím vlastnostem. Tyto materiály postupně nahrazují tradiční materiály, jako jsou kov, dřevo nebo sklo, protože nabízejí mnoho výhod a umožňují dosahovat vysoké úrovně funkčnosti a estetiky výrobků. Vstřikování plastů je přední technologií pro zpracování plastů, která umožňuje vyrábět složité díly za relativně krátkou dobu. Tato technologie je vhodná pro rozšířenější výrobu a umožňuje vytvářet díly s vysokou přesností a opakovatelností. Klíčovou součástí procesu vstřikování plastů je konstrukce vstřikovací formy, která definuje konečný tvar výrobku a jeho mechanické vlastnosti. Při navrhování a konstrukci vstřikovací formy je nezbytné zohlednit mnoho faktorů, včetně technologických zásad, normalizace a simulací. Normalizované díly, poskytované mezinárodními firmami, jako jsou HASCO, STRACK nebo DME, zjednodušují proces výroby a snižují náklady. Díky použití softwarových programů, jako je CATIA V5 – 6R20, lze vytvářet předběžné 3D modely forem a provádět virtuální simulaci, což umožňuje předcházet konstrukčním chybám a optimalizovat proces vývoje a výroby. Tento moderní přístup umožňuje ekonomičtější a efektivnější výrobu plastových výrobků pro různé průmyslové sektory.

I. TEORETICKÁ ČÁST

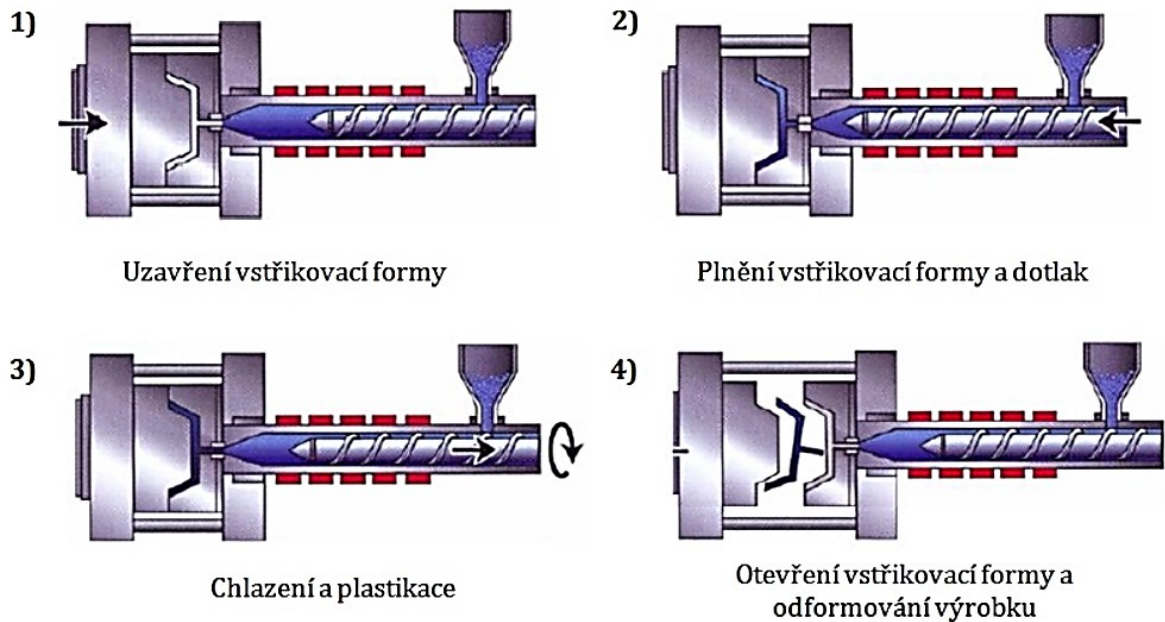
1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je nejčastěji používaná technologie pro zpracování termoplastů, termoplastických elastomerů, polymerních směsí, kompozitů a také reaktoplastů, kaučuků a pryží. Při technologii vstřikování je roztavený materiál rychle vstřikován z plastikační jednotky do uzavřené dutiny formy. Tam se materiál ochladí pomocí chladících kanálů a tuhne do konečné podoby výrobku. Sériová výroba velice často využívá technologii vstřikování, která nabízí několik výhod, jako je vysoká rozměrová přesnost, kvalitní povrch výrobků, vytvářet složité tvary s krátkými výrobními cykly. Nevýhodou jsou však velké pořizovací náklady na stroje a formy pro vstřikování, což činí technologii vstřikování méně vhodnou pro menší sériovou výrobu. Většina těchto úprav vychází z osvědčených postupů klasického vstřikování. Cílem je dosáhnout co nejvíce homogenní taveniny z granulátu materiálu, který byl předem upraven (například vysušen a smíchán s aditivou). Tato tavenina je následně převedena do formy pomocí vstřikovacího tlaku a rychlosti. [1; 2]

1.1 Vstřikování

Metoda vstřikování je diskontinuální proces. Jedná se o cyklickou technologii s vysokou škálou modifikací s možností automatizace a relativně dobrou rychlostí procesu. Mezi materiály vhodné pro vstřikování patří termoplasty a také reaktoplasty. Výrobky zhotovené vstřikováním se charakterizují velmi vysokými mechanickými a fyzikálními vlastnostmi. [2]

1.2 Vstřikovací cyklus

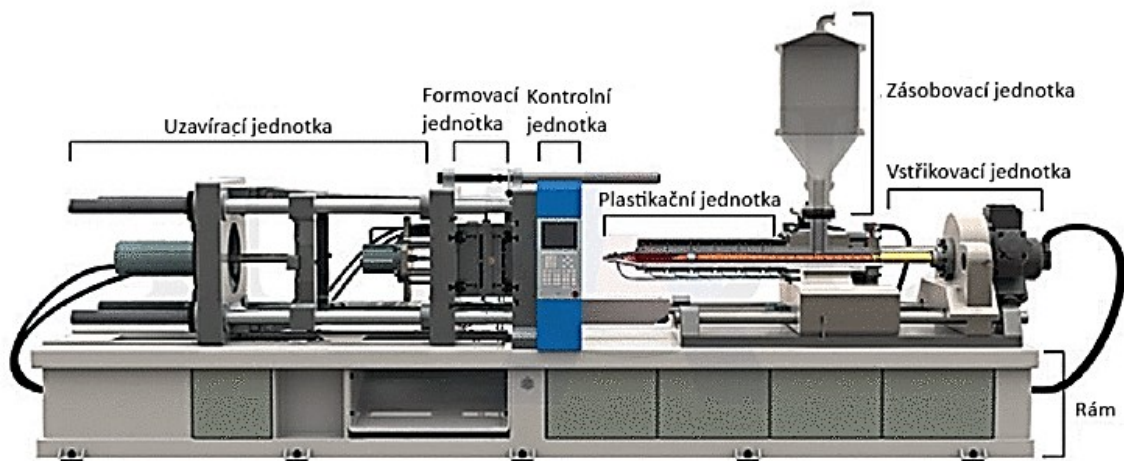


Obrázek 1 Schéma vstřikovacího cyklu [3]

Vstřikovací cyklus může být rozdělen do několika fází, které se navzájem překrývají. Cyklus začíná v momentě, kdy je vstřikovací forma uzavřena. Poté se tavicí komora přesune a tryska dosedne na vtokovou vložku. Plastikační jednotka spojená se vstřikovací formou, dochází k pohybu šneku podél osy a přenáší taveninu z tavicí komory do vtokového systému a tvarové dutiny vstřikovací formy. Dle nastaveného rychlostního pohybu lze přesně regulovat rychlost pohybu šneku. Po vstřikovací fázi dochází doba dotlaku, která slouží k vyrovnání tvarových a rozměrových změn výrobku způsobených chladnutím taveniny formy. Dotlak lze působit až do ztuhnutí vtokového systému, následně se výrobek ochlazuje na takovou teplotu, při které je možné ho odformovat. V průběhu chladícího procesu šnek plastikuje novou dávku taveniny pro následující vstřikovací cyklus. Šnek, který se pohybuje rotačním pohybem odebírá z násypky materiál a postupně je přesouván do ohřátých částí tavicí komory. Během tohoto procesu se materiál dostává do stavu. Nahromaděná tavenina vyvíjí tlak proti šneku a způsobuje odsouvání rotujícího šneku směrem dozadu. Po této fázi následuje otevření vstřikovací formy a odformování výrobku mechanickým, hydraulickým nebo pneumatickým systémem, čímž je ukončen celý vstřikovací cyklus. [3; 4]

2 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Stroj se skládá z uzavírací jednotky a vstřikovací jednotky, regulace a řízení. Vstřikování je proces, který se provádí na vstřikovacím stroji. Vstřikovací stroje mohou být buď pístové nebo šnekové. [5; 6; 7; 8]



Obrázek 2 Vstřikovací stroj [9]

Na obrázku je zobrazen vstřikovací stroj, který je schopen vyrábět různé výrobky z termoplastů nebo plastů.

Vstřikovací stroj obsahuje dvě základní funkce:

- Zahřívání plastů do roztaveného stavu,
- využívání intenzivního tlaku k vstřikování taveného plastu do formy a její následné vyplnění.

2.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka připravuje specifické množství roztaveného plastu do formy s přesně stanovenými technologickými parametry. Objem taveniny, která vstřikovací jednotka přenáší, musí být menší než je kapacita vstřikovací jednotky při jednom zdvihu, aby se zabránilo příliš dlouhému setrvání plastu v jednotce a případné degradaci. Lze to urychlit rychlejším cyklem výroby. Vstřikovací jednotka přepravuje plast, který je zpracovaný do tavného válce z násypky pohybem šneka. Nemělo by se vstřikovat více než 90% kapacity

vstřikovací jednotky. Optimální množství by mělo být 80 %. Plast se prostřednictvím šneku přesouvá přes vstupní, přechodové a výstupní pásy, přičemž mohou nastat změny otáček. Během tohoto procesu se materiál plastikuje, sjednocuje a hromadí se před šnekem. Šnek se přesouvá zpět do výchozí pozice a tavná komora topení se rozděluje do tří částí (vstupní, střední a pásmo u trysky, kde je umístěno samostatné topení. Vyhřívaná tryska na konci tavné komory slouží k propojení vstřikovací jednotky s formou.[10; 11]

2.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka je navržena k řízení procesu uzavření, otevření a případné vyprázdnění formy. Uzavírací síla závisí na velikosti vstřikovacího tlaku a ploše dutiny a vtoků v dělicí rovině. Hlavními součástmi uzavírací jednotky jsou deska upínací, opěrná deska pevná, vodící sloupky a samostatný uzavírací mechanismus.

Uzavírací jednotka má několik různých provedení. Za použití hydraulického tlaku umožňují hydraulické uzavírací jednotky částečné otevření formy, přičemž je nutné následné zajištění pomocí závory. Jednotka, která se nejčastěji používá u strojů malých gramáží se nazývá hydraulicko-mechanická jednotka. Dokáže zajistit vysokou rychlost uzavírání s potřebným zpomalením před uzavřením formy a dostatečnou tuhostí. Je navržen jako kloubový mechanismus řízený hydraulickým válcem. Velký hydraulický válec je pevně spojen s upínací deskou a brání tak otevření formy v průběhu vstřikování.[10; 11]

2.3 Ovládání a řízení vstřikovacího stroje

Jednoduchá obsluha stroje a přesné řízení jsou klíčovými znaky kvality, zatímco konzistentní reprodukovatelnost technologických parametrů je zásadní a nezbytným faktorem. Nerovnoměrné kolísání těchto parametrů se negativně projevuje na přesnosti a kvalitě výsledných výrobků výstřiku. Aby bylo řízení stroje efektivní, je nutné ho zajistit vhodnými prvky. Moderní vstřikovací stroje se neobejdou bez výkonné procesorové technologie. Pracovní cyklus, strukturovaný do požadovaných programových sekvencí, umožňuje snadnou kontrolu a případné úpravy. Z koncepčního hlediska se takové seřízení skládá: sestavení grafu a vstřikovacího stroje, stanovení a nastavení parametrů a průběžná kontrola procesu. Řídící systém dohlíží a kontroluje nastavení stroje. Kvalita a přesnost

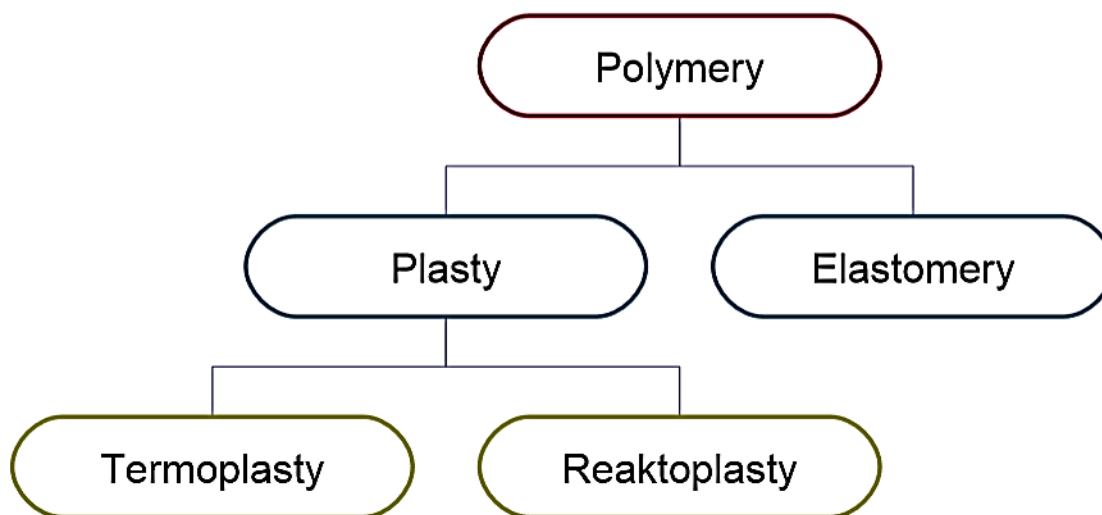
výsledných výstřiků jsou silně ovlivněny správným řízením stroje. To zahrnuje stanovení a udržování přesných parametrů pro dosažení požadované kvality.[10; 8]

3 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Polymery jsou chemické látky s neobvyklým rozsahem vlastností, skládající se z makromolekul obsahujících atomy uhlíku, vodíku, kyslíku, dusíku a jiných prvků. Z chemického pohledu se jedná hlavně o organické látky, které mohou být buď přírodního, nebo syntetického původu. Mezi typické příklady organických látek patří dřevo, ropa, rostliny a zemní plyn. Polymery jsou známé svými velkými molekulami, které jsou označovány jako makromolekuly. Rostoucí nároky na technické produkty a zařízení, které jsou nezbytné pro pokrok a pohodlí ve společnosti, jsou pevně spojeny s rozvojem lidské civilizace.[12; 13]

3.1 Rozdělení polymerů

Polymery se dělí na různé kategorie, přičemž základními skupinami jsou materiály známé jako plasty a elastomery.[14]



Obrázek 3 Rozdělení polymerů [14]

3.1.1 Elastomery

Elastomery, jak název napovídá, je vysoce (elastický) pružný materiál s nízkou tuhostí, což znamená, že podléhávají významné deformaci při použití malé síly, aniž by došlo k trvalému poškození za normálních podmínek. Tato deformace je převážně vratná. Kaučuky jsou charakteristickými příklady elastomerů, které se pomocí procesu nazývaného vulkanizace, často za použití síry, zasítují do podoby pryže. Pryže jsou známé svou vysokou pružností a odolností vůči trvalé deformaci. Pryž je elastomer, který

prochází procesem vulkanizace, a je definován chemickými spoji mezi makromolekulami, které vytvářejí uzly v prostorové síti. Tento proces způsobuje, že se pryž stává amorfním polymerem. [12; 14]

3.1.2 Reaktoplasty

Jsou materiály, které se dají tavit a tvarovat pouze po určitou dobu po jejich ohřátí. Při následném ohřevu nebo za použití katalyzátoru dochází k chemické přeměně, při níž se molekuly začínají spojovat do sítě. Tímto procesem se materiál stává nerozpustným a netavitelným. Proces, při kterém dochází k chemické reakci vedoucí ke vzniku síťové struktury v materiálu, je označován jako proces vytvrzování. Jedná se o nevratný proces, což znamená, že vytvrzený materiál nelze znovu formovat, svařovat nebo přeměnit zpět do tekutého stavu. Reaktoplast je polymerním materiálem s amorfní strukturou. Charakteristickými vlastnostmi výrobků z reaktoplastů jsou vysoká odolnost vůči chemikáliím a teplu, spolu s výraznou tvrdostí a tuhostí. V netvrzeném stavu jsou reaktoplasty obvykle označovány jako pryskyřice. [12; 14]

3.1.3 Termoplasty

Termoplasty se při zahřátí stávají měkčími a přechází do plastického stavu, což umožňuje jejich tvarování. Při zahřátí nad teplotu tání materiál přechází do tekutého stavu, nazývaného tavenina. Při následném ochlazení pod tuto teplotu se opět změní do tuhého stavu. Při zahřívání nedochází k žádným chemickým reakcím, a během zpracování se chemická struktura nemění. Změny, které materiál podstupuje, jsou čistě fyzikální povahy a proces změkčení a tuhnutí je reverzibilní, což znamená, že je možné jej opakovat do nekonečna. Termoplasty mohou být amorfní i v semikrystalické formě. Mezi typické termoplasty patří materiály jako polyethylen, polypropylen, polystyren. [12; 14]

4 KONSTRUKCE FOREM

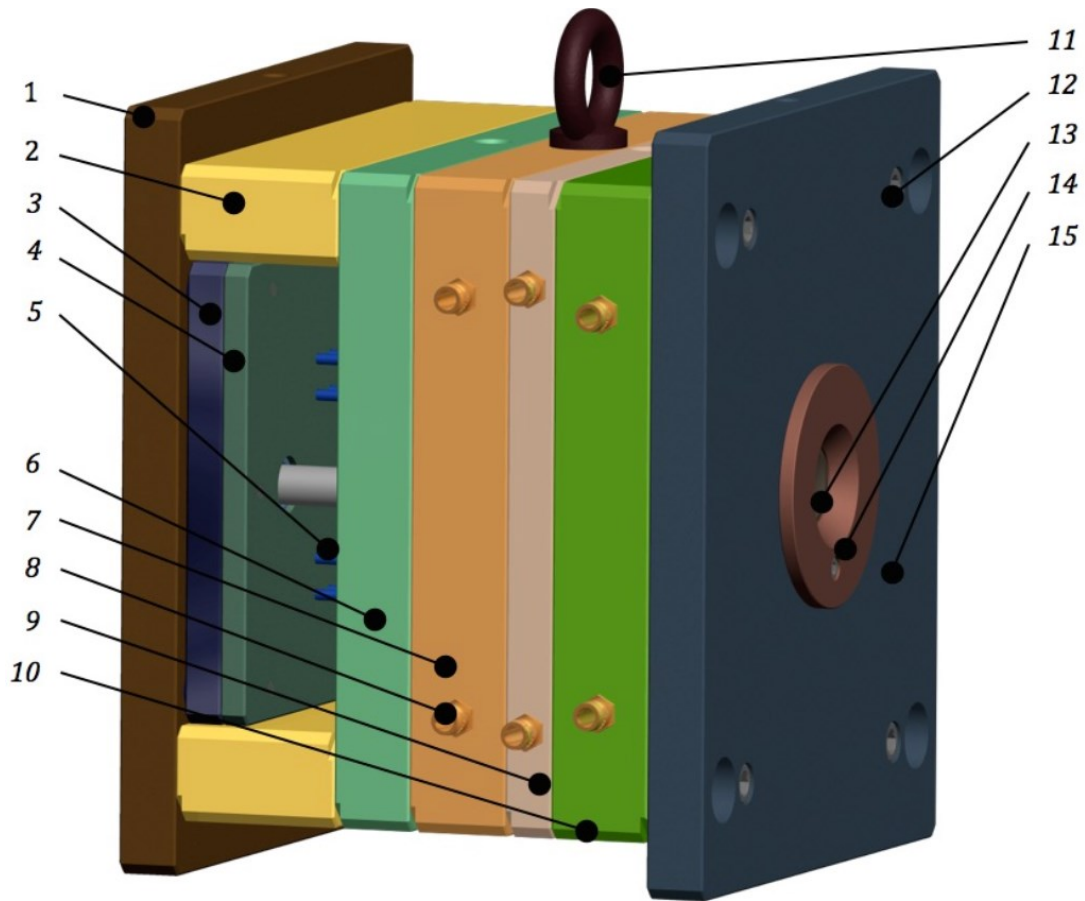
Na vstřikovacím stroji jsou vyráběné díly formovány do přesných tvarů a rozměrů za působení dostatečného tlaku a teploty a spolu s dalšími potřebnými parametry. Po navržení, upravení, vybroušení a sestavení formy následují zkoušky vstřikováním k ověření základních funkcí a správného fungování vstřikovací formy.

U formách se vyžaduje:

- Maximalizace tuhosti a pevnosti jednotlivých částí formy i celků, je nezbytná k účinnému zachycení potřebných tlaků.
- Optimální fungování formy, vhodný výběr vtokového systému, vyhazování, účinné odvzdušnění, temperování.
- Dosahování vysoké přesnosti, požadované kvality funkčních ploch dutiny formy a další klíčových částí pro optimální funkčnost.
- Konstrukce, materiál a výrobní procesy jsou navrženy tak, aby zaručily optimální životnost.

Zvyšující se nároky na přesnost a kvalitu forem během výroby se projevují vyšší obtížností při jejich navrhování a výrobním procesu. Tento nedbalý přístup může vést k nedostatečné funkčnosti, kratší životnosti a snížení přesnosti forem. Je důležité dodržovat přísné zásady během konstrukce, výroby ale i při samotné obsluze. Koncept konstrukce vstřikovací formy, by měl být zaměřen tak, aby umožňoval jednoduchou výrobní technologii podle přesně stanovených požadavků.

[15; 16; 17; 18; 10]



Obrázek 4 Uzavřená dvoudesková vstřikovací forma [18]

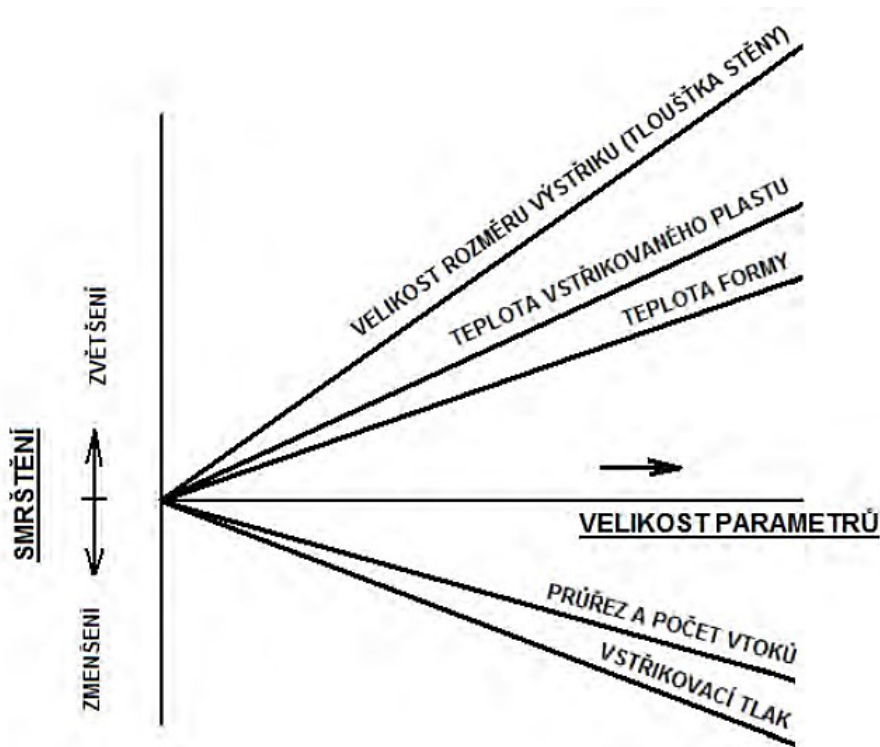
- 1) upínací deska levá, 2) rozpěrná deska, 3) vyhazovací deska opěrná, 4) vyhazovací deska kotevní, 5) vyhazovač, 6) opěrná deska, 7) kotevní deska levá, „A“, 8) přípojka chlazení, 9) kotevní deska levá „B“, 10) kotevní deska pravá, 11) manipulační oko, 12) hlavní montážní šrouby, 13) vtoková vložka, 14) středící kroužek pevné části vstřikovací formy, 15) upínací deska pravá [18]

4.1 Násobnost formy

Násobnost formy ve vstřikovacím stroji udává, kolik výstřiků může být provedeno během jednoho cyklu výroby. Formy jsou často označovány podle počtu dutin, jako například jednonásobná, dvojnásobná nebo čtyřnásobná. Optimální rozložení dutin ve vstřikovací formě vyžaduje kompaktní uspořádání, snadnou výrobu a zajištění produktivního výrobního postupu. V případech forem s jednou dutinou se často volí umístění dutiny do středu. V případech vícenásobných forem bývají dutiny často organizovány do tří základních uspořádání. Prvním způsobem je rozmístění dutin do řady vedle sebe. Toto uspořádání je sice jednoduché, ale obvykle není vhodnější volbou.

4.2 Smrštění

Velikost smrštění vyjadřuje rozdíl mezi rozměry dutiny formy a konečnými rozměry výstřiku, bývá vyjádřena v procentech a nezahrnuje další přídavky. Rozsah smrštění je ovlivněn, jak typem plastu, tak tvarem výstřiku, ale také technologii vstřikování a samostatnou konstrukcí vstřikovací formy včetně její vtokové soustavy a teploty temperace. Obrázek 5 znázorňuje dopad některých faktorů. Velikost smrštění má následně vliv na konstrukci vstřikovací formy, včetně vtokové soustavy a nastavení teploty temperace. Získání přesné hodnoty smrštění představuje složitost, a proto se často uchyluje k využívání tabulek, kde jsou již předem vypočítané hodnoty pro různé druhy plastů. Přesto spoléhání se výhradně na tabulky nemusí vždy postačovat pro přesné stanovení smrštění. U přesných výstřiků je klíčové dimenzovat dutinu formy tak, aby bylo v případě potřeby možné provést opravy, jako například vytvoření většího tvárníku či menší tvárnice. Rozměry smrštění v jednotlivých směrech vstřiku se nemusí shodovat. Anizotropie vzniká v důsledku vytváření struktury pomocí asymetrického plniva, jako jsou vlákna, u semikrystalických plastů. Tento jev je rovněž ovlivněn směrem, kterým tavenina proudí během procesu zpracování.



Obrázek 5 Vliv nejdůležitějších činitelů na velikost smrštění [20]

Smrštění lze rozdělit do dvou etap. První, nazývaná provozní smrštění, se stanovuje 24 hodin po dokončení vstřikování a může představovat až 90 % celkového smrštění. Druhá fáze, označována jako dodatečné smrštění, probíhá v průběhu delšího časového intervalu, což závisí na specifickém druhu plastu. Dodatečné smrštění lze zrychlit pomocí procesu temperování nebo kondicionování.[20]

4.3 Odvzdušnění forem

Při procesu plnění formy taveninou je nezbytné zajistit únik vzduchu, který je v ní obsažen. Čím rychleji je forma naplněna, tím efektivněji je potřeba odvzdušnit dutinu formy. Délka plnění formy má významný vliv na ideální vlastnosti výstřiku, a proto není možné tuto dobu upravovat v závislosti na potřebách odvzdušnění nebo chybách v tomto procesu. Při rychlém plnění formy dochází k rovnoměrné distribuci teploty taveniny, což je zvláště důležité u výstřiků s tenkými stěnami. Tím se zabrání možnému zamrznutí taveniny a eliminuje se potřeba extrémního zvýšení vstřikovacího tlaku. To vede k vytvoření vnitřního pnutí, výrazných tlakových rozdílů a tím i vzniku různých anizotropních vlastností materiálu. Jako příklad mohou sloužit tenkostěnné výstřiky, jako jsou kelímky, které se vyrábějí v cyklech trvajících 2-4 sekundy a s rychlostí vstřiku pouze několika desetin sekundy. Při výrobě těchto výstřiků je klíčové udržovat nepřetržité odvzdušnění horní části výstřiku při použití vysoké rychlosti vstřikování. To zabraňuje zatuhnutí taveniny v čele vstřiku, zejména u výrobků s tloušťkou stěn 0,4 – 0,5 mm. [21]

4.4 Temperace forem

Temperace slouží k udržování stabilní teploty formy, což umožňuje zkrácení pracovního cyklu vstřikování, aniž by byly narušeny technologické požadavky. Toho se dosahuje prostřednictvím řízeného ochlazování nebo vyhřívání celé formy. Během procesu vstřikování je do formy dopraven roztavený polymer, který je následně chlazen na optimální teplotu, což usnadňuje snadné vyjmutí výstřiku. Temperace má vliv na kvalitu plnění tvarové dutiny a zabezpečuje optimální proces tuhnutí a chladnutí plastu. V každém cyklu vstřikování probíhá ohřev formy, a proto je nezbytné efektivně odvádět přebytečné teplo během pracovního cyklu. Při zahájení výrobního procesu je nutné přednostně vyhřát formu na optimální pracovní teplotu. Temperace má za úkol:

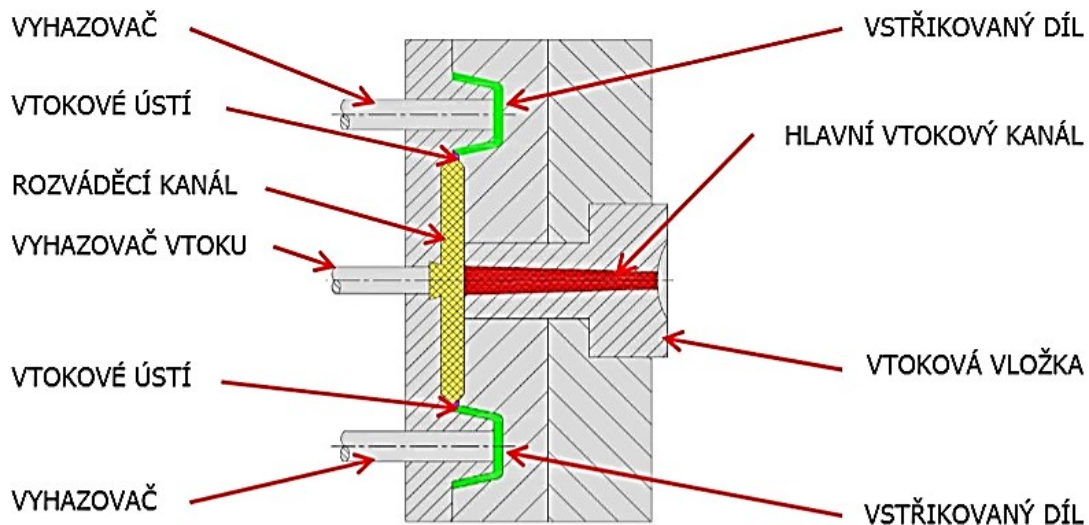
- Temperace má za cíl efektivně odvádět teplo z dutiny formy, kde probíhá plnění taveninou, cílem je zajistit ekonomickou výhodnou délku celého pracovního cyklu.

- Teplota formy má za úkol udržovat konzistentní teplotu na optimální úrovni přes celý povrch její dutiny.

Temperační systém je složen soustavou kanálů a dutin, kterými je přenášeno nebo odváděno teplo z formy prostřednictvím vhodné kapaliny nebo jiným zdrojem tepla. V oblastech s větší tloušťkou stěny výstřiku nebo v místech s vyšší teplotou jsou kanály přibližovány k dutině formy. Tvar průřezu kanálů je vybírán v souladu s velikostí výstřiku, typem plastu a rámu formy.[10; 16; 21]

4.5 Studený vtokový systém (SVS)

Systémy studených vtoků se skládají z několika klíčových částí, které zajistí přepravu taveniny plastu do dutiny formy.



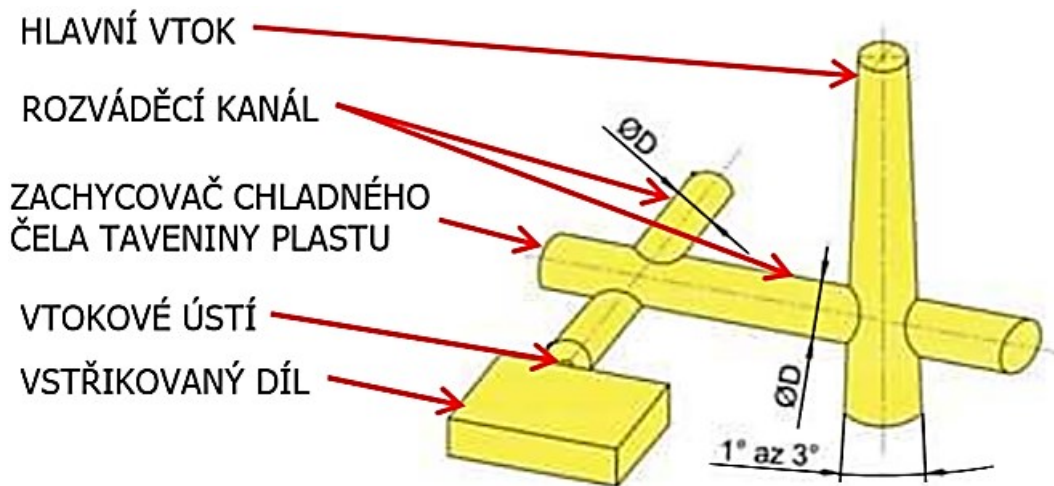
Obrázek 6 Schéma studeného vtoku [22]

Primární komponenty studeného vtokového systému,

- hlavní vtokový kanál,
- rozváděcí kanál,
- vtokové ústí.

Princip fungování spočívá v tom, že když je tavenina plastu vstřikována do studeného vtokového systému, okamžitě začíná tuhnut na jeho stěnách. Vytvoří se izolační vrstva ztuhlého plastu, přičemž tavenina proudí skrz horké jádro. Pro dosažení rovnoměrného naplnění všech dutin je klíčové odstupňování velikosti rozváděcích kanálů, zejména při jejich větší délce v případě mnohonásobných forem. Tím je zajištěno, že tavenina proniká

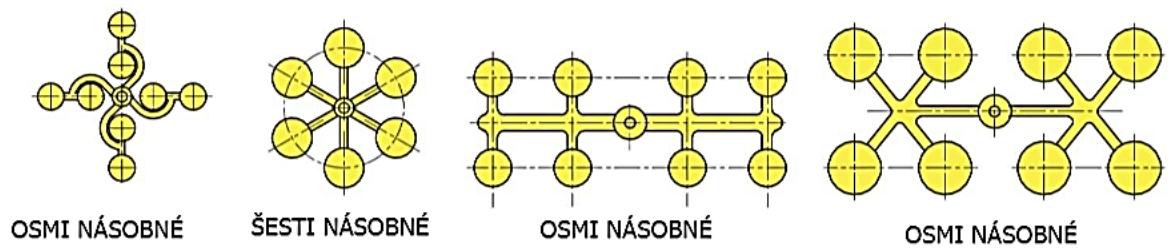
do tvarové dutiny přes vtokové ústí, a to s ohledem na konstrukci formy a charakteristiky vstříkovaného výrobku. [22]



Obrázek 7 Vtoková soustava [22]

Požadované technologické zásady:

- eliminovat místa, kde by mohlo docházet ke hromadění plastu – snížení tlakových ztrát a dosažení rovnoměrnějšího procesu chlazení,
- zaoblení hran s cílem eliminovat turbulentní tok taveniny,
- zachycení čela proudící taveniny, která má nižší teplotu než zbylá část,
- systém s krátkým vtokem – menší počet zbývajících vtoků, minimalizace odpadu a nižší tlakové ztráty,
- rovnoměrnost plnění dutin (všechny dutiny naplněny ve stejný čas),
- omezená plocha kanálů studeného vtokového systému – minimální tepelné a tlakové ztráty,
- adekvátní průřez pro vytvoření plastického jádra a optimalizaci efektivního působení dotlaku,
- vtokové ústí s minimálními stopami na vstříkovaném díle,
- snadné odstranění zbytků plastu z vtokových kanálů.



Obrázek 8 Příklady rozmístění rozváděcích kanálů [22]

Výhody SVS,

- cenově dostupnější a jednodušší provedení formy ve srovnání s horkými vtoky,
- díly (vtoková vložka) jsou dodávány ve formě standardizovaných dílů,
- nevyžadují energické připojení,
- snadné provedení vícenásobné formy.

Nevýhody SVS,

- daleko vyšší potřeba plastu ve srovnání s horkým vtokem,
- zabezpečit oddělování zbytků vtokového systému,
- nutnost přidržování a vyhazování vtokového systému. [22]

4.5.1 Vtokový kanál

Tavenina plastu je precizně vstříkována do primárního vtokového kanálu z trysky stroje. Minimální průměr hlavního vtokového kanálu je úmyslně stanoven o 0,5 až 1 mm větší než průměr trysky stroje. S cílem zajistit optimální odstranění přebytečného materiálu je hlavní vtokový kanál konstruován s rozšířením pod úhlem $0,5^\circ$ až $1,5^\circ$ směrem k dělicí rovině. Tato úprava umožňuje efektivní odstranění přebytečné taveniny během procesu vstříkování.

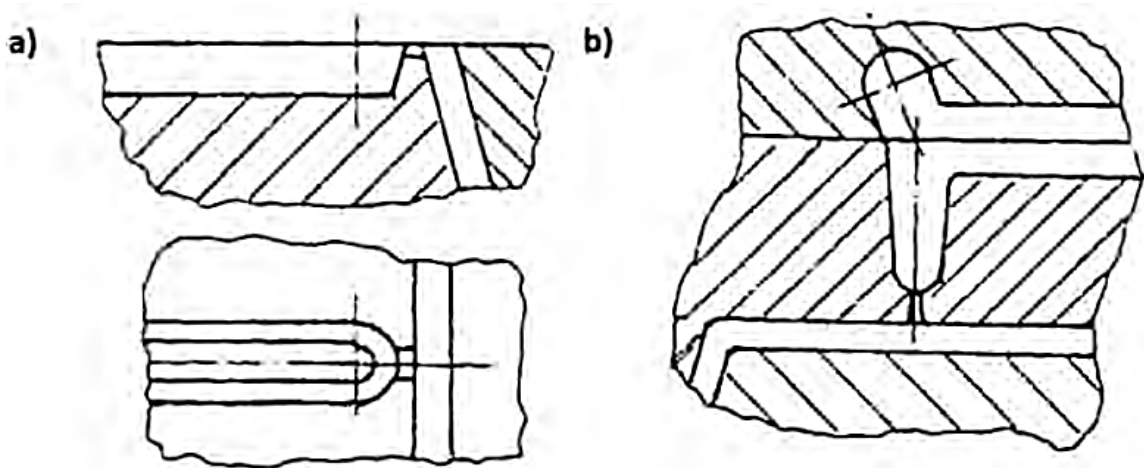
Průměr na konci hlavního vtokového kanálu je pečlivě upraven v souladu s rozměry vstříkovaného dílu a průměrem distribučních kanálů, aby byla dosažena optimální distribuce taveniny plastu a efektivní vyplnění formy. [22]

4.5.2 Rozváděcí kanál

Optimální rozváděcí kanál by měl kruhový průřez, ale kvůli nákladné a složité výrobě se téměř nikdy nepoužívá. S cílem zjednodušit výrobu se využívají jiné modifikace tvaru kanálu. Mezi běžnější varianty patří lichoběžníkový, parabolický nebo půlkulový tvar. Z pohledu výroby jsou tyto modifikace vhodné a snadno se kombinují s protějším dílem. Avšak, nevýhodou je vyšší odvod tepla na průřez, což za nevhodných podmínkách může vést k příliš rychlému ztuhnutí vtoku, což by zase mohlo komplikovat realizaci požadovaného dotlaku. Rozvodný kanál by měl mít optimální velikost, aby nedocházelo k předčasnému ztuhnutí a zároveň by neměl být příliš velký, aby se minimalizovala délka cyklu a nevznikalo příliš nadměrného odpadu.[23; 24]

4.5.3 Vtokové ústí

Jedná se o zužující část rozvodného kanálu, která se standardně využívá, s výjimkou speciálních situací, například při potlačení propadů, kde lze vstup využít bez jakéhokoli zužování. Zúžením této části se dosahuje zvýšení teploty taveniny před vstupem do dutiny formy. Velikost této části musí být co nejmenší, aby bylo snadné provádět čištění vstupu, ale zároveň musí efektivně zajišťovat plné naplnění dutiny formy. Tvar ústí (viz Obr. 9) může být buď kruhový, vhodný pro rotační komponenty, nebo štěrbinový, což se osvědčuje při formování plochých výstřiků. Parametry této součásti jsou následně pečlivě vybírány v závislosti na objemu výstřiku, aby bylo dosaženo optimálních vlastností procesu formování. Celkově se tímto zajišťuje nejen efektivní výrobní proces, ale i snadné udržování a správná plnění formy.[20]



Obrázek 9 Ústí vtoku [20]

A) štěrbinový, B) kruhový

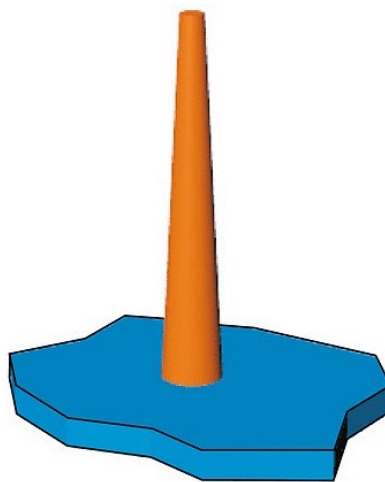
Umístění vtokového ústí na výstřiku má velký vliv na vzhled a kvalitu.

Vtokové ústí může být umístěno:

- umísťuje se do oblasti s maximální tloušťkou stěny vylisku,
- umístěn do geometrického středu dutiny,
- při snaze dosáhnout vyšší přesnosti výstřiku je třeba brát v úvahu rozdíly v podélném a příčném smrštění,
- s ohledem na směr orientace žeber,
- u tvarů ve formě obdélníků ve směru delší strany.

Kuželový vtok

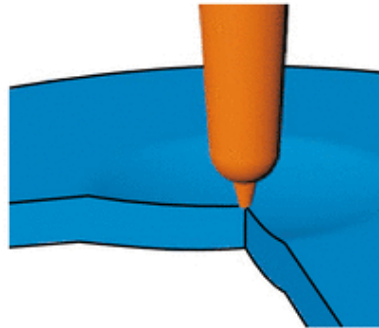
Tento konkrétní typ vtokového systému umožňuje přivádět taveninu do formy bez jakéhokoli zúžení v oblasti vtokového ústí. Je běžně využíván při vytváření jednonásobných forem pro výrobu symetrických tlustostěnných výstřiků. Jeho hlavní přednost spočívá ve vysoké účinnosti tlakového přenosu, což znamená, že tavenina může efektivně naplnit formu bez zbytečných ztrát tlaku. Nicméně, má svou nevýhodu v tom, že vždy zanechává stopu na výrobku, a odstranění této stopy může být problematické. Tato stopa může být esteticky nežádoucí nebo mít vliv na konečné vlastnosti výrobku. Proto při používání tohoto vtokového systému je třeba vzít v úvahu potřebu náležitého zpracování nebo odstranění této stopy v rámci výrobního procesu. [20]



Obrázek 10 Kuželový vtok [23]

Bodový vtok

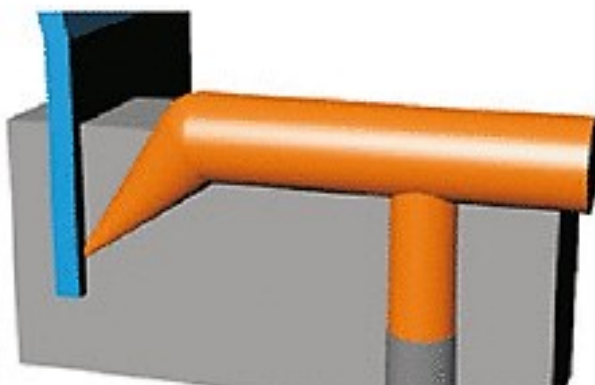
Jedná se o nejčastěji používaný typ mezi zúženými vtoky. Většinou má kruhový průřez. Je často používán jako ústí z vtokového kanálu, předkomůrky nebo rozváděcích kanálů. Pro zajištění správné funkce tohoto typu vtoku je třeba použít třídeskový systém formy, což zajišťuje, že se vtokové ústí nejprve odtrhne, a až poté se otevře forma. Není doporučeno využívat tento typ vtoku při zpracování méně tekutých nebo plněných plastů. [20]



Obrázek 11 Bodový vtok [23]

Tunelový vtok

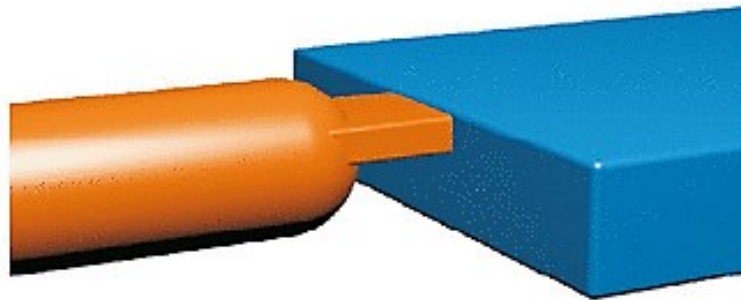
Jde o specifickou variantu bodového vtokového systému, která přenáší výhodu v tom, že zbytek materiálu může být umístěn v jedné rovině s výstřikem. Samotné oddělení vtokového zbytku probíhá při otevření formy nebo při vyhazování výstřiků. Pro optimální funkčnost vtokového systému je klíčové vytvořit ostrou hranu, která efektivně odděluje vtokový materiál od samotného výstřiku. Na rozdíl od klasického bodového vtoku vyžaduje výroba tunelové varianty více náročné postupy a je komplikovanější. Tento typ vtokového systému se zejména uplatňuje při výrobě výstřiků s esteticky náročným designem.[20]



Obrázek 12 Tunelový vtok [23]

Boční vtok

Tento konkrétní vtok má zajímavou vlastnost, že zůstává připojen k výstřiku i po odformování. Jeho oddělení v automatickém cyklu je realizováno pomocí speciálního odřezávacího zařízení, které tvoří nedílnou součást formy. V praxi se běžně provádí oddělení manuálně, obvykle pomocí ručního ulamování. Často se upravuje tvar vtokového ústí, aby se zabránilo tavenině volně protékat do dutiny formy. Jednou z možností je upravit ho do tvaru vějíře anebo jinou možností je boční přívod s překrytím, které chrání proti poškození tvárnice. Po odstranění zbytků vstříkovaného materiálu zůstává na dolní části výstřiku patrná viditelná stopa.[20]

*Obrázek 13 Boční vtok [23]*

4.6 Vyhřívání vtokový systém (VVS)

Vyhřívání vtokové systémy se stále více používají v průmyslu zpracování plastů a při konstrukci forem oproti klasickým vtokovým systémům. Nepopiratelné výhody těchto vyhřívání vtokových systémů jsou důsledkem neustálého pokroku v jejich vývoji, který reaguje na nové výrobní aplikace a technické varianty plastů i těch plněných.

Výhody:

- poskytují možnost automatizace výroby,
- výrazně zkracují dobu výrobních cyklů,
- snížení nákladů na dokončovací práce je dosaženo tím, že není nutné odstranit vtokové zbytky,
- není potřeba manipulace ani regenerace zbytků vtokových materiálů.

Nevýhody:

- Ne všechny aplikace jsou vhodné pro využití vyhřívaných vtokových systémů, zejména při výrobě malých sériích a určitých technických typů plastů. [21]



Obrázek 14 Vyhřívaný vtokový systém[25]

4.6.1 Vyhřívané trysky

Pomocí vyhřívané trysky je možné propojit vstřikovací stroj s dutinou formy a dosáhnout teplotní stability. Tryska může být vybavena vlastním topným článkem s regulací, nebo může být ohřívána prostřednictvím jiné součásti vtokového systému. Významně zlepšuje technologické podmínky procesu vstřikování. Uživatelé obvykle nevyrábějí takové vyhřívané vtokové systémy sami, ale spíše je pořizují od specializovaných firem, které nabízejí široký sortiment produktů.[10]

4.6.2 Vyhřívané rozvodné bloky

Kombinace vstřikovacích forem s rozvodným blokem a vyhřívanými nebo izolovanými tryskami s předkomůrkami je běžná praxe. Tyto bloky slouží k rozvodu taveniny do tvarových dutin vícenásobných forem. Správné fungování závisí na rovnoměrném rozložení tepla.[10]

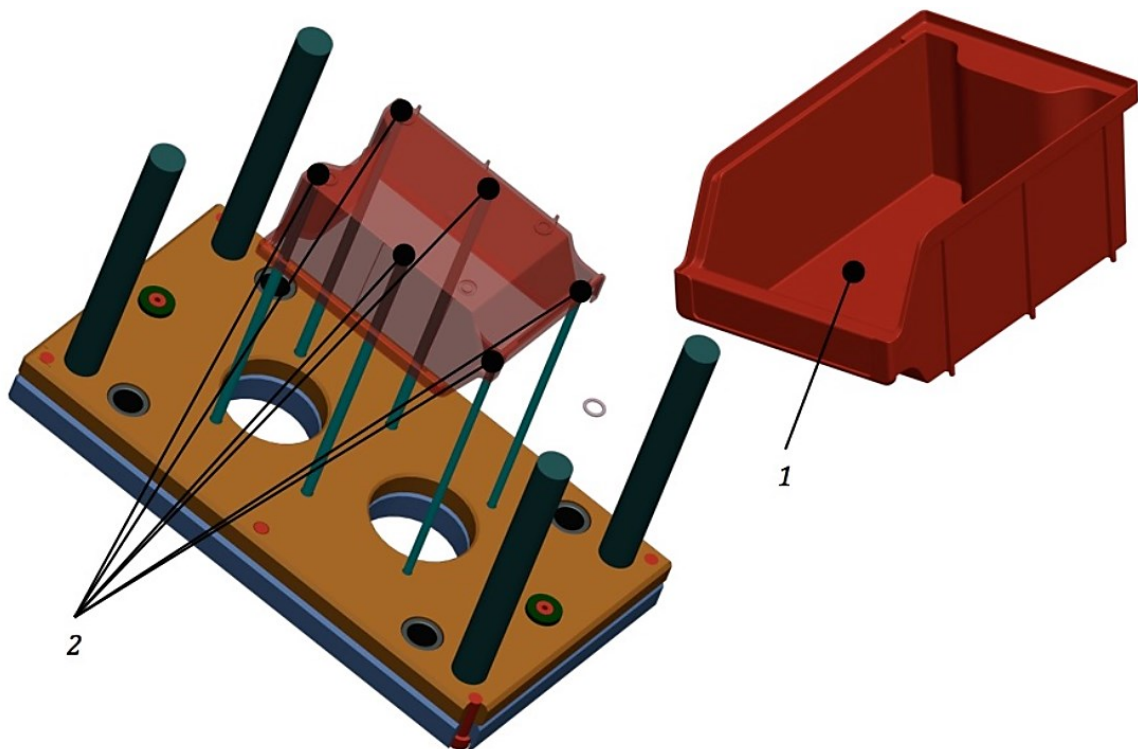
4.7 Vyhazovací systém

Vyhazovací mechanismus vstřikovací formy má na starosti odformování vstřikovaného dílu z dutiny, jakmile je forma otevřena. Aby bylo zajištěno správné fungování, je nutné řešit několik klíčových bodů jak pro vyhazovací systém, tak pro samotnou vstřikovací formu.

Mezi tyto aspekty lze zařadit:

- směry pohybu vyhazovacího systému jsou definovány osami,
- rozmístění vyhazovačů na vstřikovaném výrobku.
- síla na vyhazování

Před určením rozměrů jednotlivých částí vyhazovačů, je nezbytné stanovit základní metodu pro vyjmutí vstřikovaných dílů z formy.[18]



Obrázek 15 Příklad vyhazovacího systému vstřikovací formy [18]

1) vstřikovaný díl, 2) body umístění vyhazovačů na vstřikovaném díle

4.7.1 Mechanický systém vyhazování

Často se využívá mechanický princip při vyhazování vstřikovaných dílů, a to buď prostřednictvím vyhazovacích kolíků, stíracích desek anebo stíracích kroužků. V mnoha případech se tyto metody kombinují.

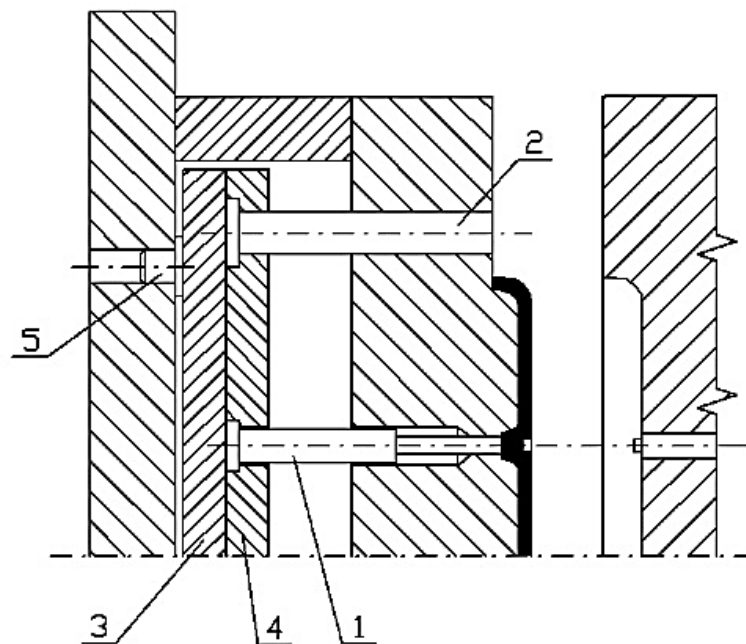
Vyhazovací kolíky

Je to nejpoužívanější a ekonomicky nejvýhodnější metoda díky své jednoduchosti ve výrobě a zároveň poskytuje zaručenou funkčnost. Používá se v případech, kde lze umístit

vyhazovač přímo proti ploše výstřiku ve směru vyhození. Vyhazovací kolíky mají obvykle válcový tvar.[20]

Trubkový vyhazovač

Funkčnost tohoto vyhazovače je speciálním případem stírání tlakem. Vyhazovač s otvorem funguje jako stírací deska a plní roli vyhazovacího kolíku. Avšak, zatímco samotný vyhazovací kolík zůstává pevně uchycen v pevné nepohyblivé desce



1- vyhazovací kolík, 2- vratný kolík, 3- spodní deska vyhazovače, 4- horní deska vyhazovače, 5- narážka

Obrázek 16 Vyhazovací kolíky[20]

Stírací deska

Tato metoda vyhazování pracuje na základě výstřiku z tvárníku po celém jeho obvodu. Tato metoda se uplatňuje zejména u výstřiku, kde by přítomnost stopy po vyhazovači byla nežádoucí. Díky velké stykové ploše nedochází k vytváření stop. Rozsáhlá styková plocha navíc minimalizuje deformace výstřiku. Je preferována zejména při výrobě tenkostěnných výstřiků, kde by mohl vyhazovač způsobit významné deformace, a kde je potřeba vysoká

vyhazovací síla. Jediným omezením pro využití této metody je, aby výstřík dosedal na stírací desku v rovině nebo na mírně zakřivené ploše. [20]

Šikmé vyhazování

Jedná se o zvláštní metodu mechanického vyhazování, která využívá kolíky umístěné pod různými úhly vzhledem k dělicí rovině. Tato metoda se používá především u malých a středních výstříků s plochým vnitřním nebo vnějším zářezem. [20]

Dvoustupňové vyhazování

Jde o spojení dvou systémů, které navzájem působí. Tento postup umožňuje vyhazovat výstříky s různým časovým průběhem vyhazovacího zdvihu a odlišnou délkou tohoto zdvihu. Často se uplatňuje při šikmém vyhazování výstříků se zápichem. [20]

4.7.2 Pneumatický systém vyhazování

V případě tenkostěnných výstříků větších rozměrů ve tvaru nádob, které potřebují při vyhazování odvzdušnění pro minimalizaci deformací, je nejvhodnějším řešením použití vzduchového systému vyhazování. Oproti běžnému mechanickému vyhazování, často využívanému u větších výstříků, se tím snižuje potřeba velkého zdvihu vyhazovače, a tedy i délky formy. Pneumatický systém vyhazování pracuje tak, že do prostoru mezi výstříkem a lícem formy dodává stlačený vzduch. Tím se zajišťuje rovnoměrné oddělení výstříku od tvárníku, což se vyloučí místní přetížení a zabraňuje vzniku stop po vyhazovačích. Tento způsob je však omezen pouze na některé tvary výstříků. Vzduchový přívod do formy je realizován pomocí ventilů, zahrnujících talířové, jehlové nebo různé typy kolíků. Otevírání těchto ventilů je řízeno tlakem, zatímco uzavírání je znejistěno pružinou. Pro automatické formy je nezbytné volit dva nezávislé systémy tak, aby oba byly schopny spolehlivě zabezpečit vyhození výstříku. Kombinuje s mechanickým vyhazováním. Ovládání vzduchového vyhazovače probíhá buď skrze mechanismus formy, nebo pomocí ovládacího systému vstřikovacího stroje. [20]

4.7.3 Hydraulický systém vyhazování

Hydraulický vyhazovač představuje jako uzavřený hydraulický systém, který je precizně integrován do předem připraveného místa ve specifické formě. Tato technologie je navržena s cílem řídit pohyb mechanických vyhazovačů, například stíracích desek nebo kolíků, a poskytuje tak uživateli větší pružnost a flexibilitu při manipulaci s těmito zařízeními. Významnými charakteristikami tohoto hydraulického zařízení jsou vysoká síla vyhazování a zároveň kratší, avšak kontrolovaný zdvih. Díky této kombinaci je možné dosáhnout efektivního ovládní a optimálního výkonu při práci s vyhazovači. Hydraulický vyhazovač tedy nabízí komplexní řešení pro manipulaci s různými mechanickými prvky, což zvyšuje jeho význam ve strojařině a v průmyslu. [20]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

V bakalářské práci byly stanoveny tyto hlavní cíle:

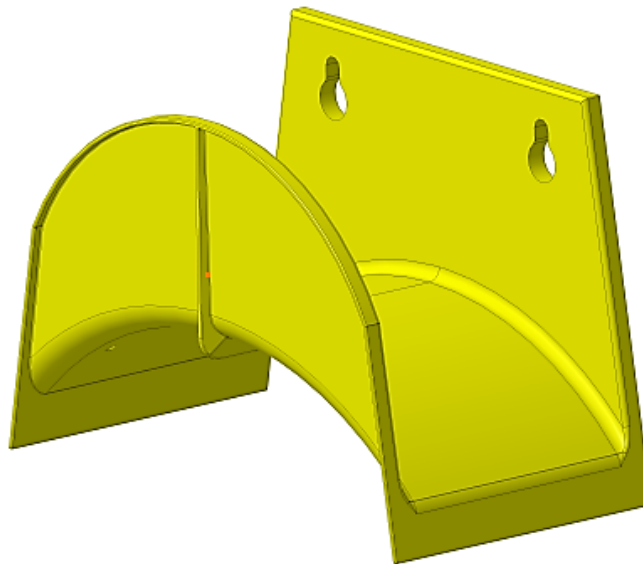
- Vypracovat literární studii na dané téma,
- provést konstrukci 3D modelu vstřikovaného dílu,
- navrhnout vstřikovací formu pro zadaný dílu,
- nakreslit 2D řez vstřikovací formou včetně příslušných výkresů a kusovník.

6 VÝROBEK

Vstřikovaným výrobkem je držák na hadice. Držák hadic je zařízení používané k upevnění a uspořádání různých typů hadic v rámci strojů, zařízení nebo vozidel. Jeho účelem je zajistit stabilní a bezpečné umístění hadic, což přináší několik výhod:

- organizace a řízení hadic,
- prevence poškození hadic,
- bezpečnost,
- snadný přístup a údržba.

Celkově je držák hadic důležitým prvkem pro správnou údržbu, bezpečnost a efektivitu v různých průmyslových, zemědělských, stavebních a automobilových aplikacích.



Obrázek 17 Výrodek

6.1 Volba materiálu

Materiál PP byl vybrán pro výrobu držáku na hadici z několika důvodů. Prvním faktorem je jeho vysoká chemická odolnost, což znamená, že je schopen odolat různým chemikáliím a agresivním látkám, které mohou být v kontaktu s hadicí nebo prostředím, kde je držák instalován. Dále je PP známý svou odolností proti vlhkosti a vodě, což je důležité pro aplikaci, kde může být držák vystaven vlhkosti nebo vodě. Materiál PP je také lehce a snadno formovatelný, což usnadňuje výrobu a instalaci držáku. Další výhodou je jeho odolnost proti UV záření, což je důležité pro venkovní aplikace, kde může být držák vystaven slunečnímu záření. Nakonec je PP cenově dostupný a ekonomický materiál, což

může být z hlediska nákladů při hromadné výrobě držáku na hadici. Tyto vlastnosti a výhody činí PP vhodným materiálem pro výrobu držáku na hadici.

Tabulka 1 Vlastnosti materiálu

Vlastnosti	Jednotka	Hodnota	Norma
Hustota	kg/m ³	905	ASTM D1505
Rychlost tání (při 230°C a 2,16 kg)	dg/min	5,5	ASTM D1238
Pevnost v tahu	MPa	25	ASTM D638
Modul pružnosti v tahu	MPa	1170	ASTM D790 A
Vrubová houževnatost při 23°C	kJ/m ³	10	ISO 180
Tvrдость podle Rockwell	/	95	ASTM D785

7 VYUŽITÝ SOFTWARE

7.1 Catia V5-6R20

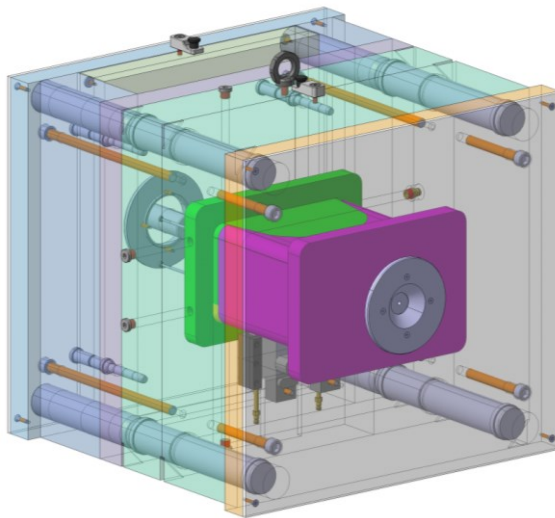
Pro vytvoření modelu vstřikované součásti a sestavy vstřikovací formy s příslušnou výkresovou dokumentací byl použit software Catia V5-6R20 od společnosti Dassault Systèmes. Tento program poskytuje široké možnosti pokrytí různých fází výrobního procesu. Při konstrukci samotné součásti bylo využito funkcionality prostředí Part Design, zatímco pro sestavování vstřikovací formy byly použity nástroje Mold Tooling a Assembly Design.

7.2 Meusburger

Meusburger je specializovaný software navržený pro podporu konstrukce vstřikovacích forem. Obsahuje knihovnu standardizovaných součástí a umožňuje simulaci toku plastu a chladicího procesu, což usnadňuje optimalizaci návrhu a minimalizaci vad výrobků. Díky svým pokročilým funkcím je široce využíván v plastovém průmyslu.

8 KONSTRUKCE FORMY

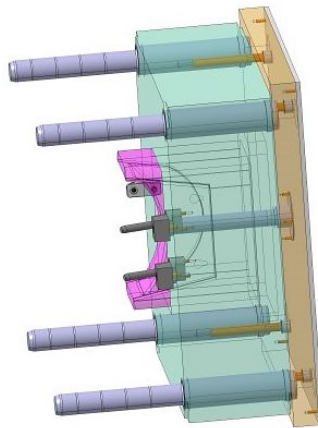
Při konstrukci vstřikovací formy je klíčové klást důraz na co největší jednoduchost, která však nesmí být v rozporu s potřebami vstřikovaného dílu. Hlavním cílem je dosáhnout maximální efektivity výrobního procesu, což znamená vyrábět co největší počet kusů v co nejkratším možném čase. Současně je však nutné zajistit vysokou úroveň přesnosti výroby, aby byla zajištěna kvalita výsledných dílů. Při konstrukci formy je také důležité brát v úvahu ekonomické faktory. Vstřikovací formy představují značné investice, a proto je důležité minimalizovat náklady tam, kde je to možné, aniž by to ovlivnilo kvalitu výsledného výrobku. To znamená, že je nutné hledat optimalizované řešení, která jsou cenově efektivní, ale zároveň splňují veškeré požadavky na funkčnost a kvalitu vstřikovaného dílu.



Obrázek 18 Sestava vstřikovací formy

8.1 Nepohyblivá část formy

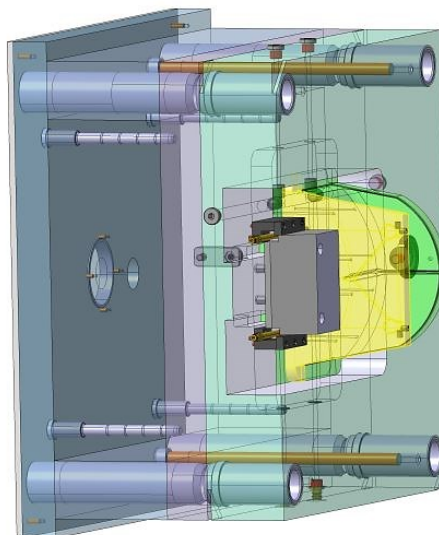
Jedná se o neměnnou část formy, která zahrnuje středící kroužek pro správné umístění formy na vstřikovací stroj. Roztavený materiál je vstřikován do formy skrze vtokovou vložku upevněnou v upínací desce a pokračuje do dutiny formy pomocí vtokového systému. Na pravé straně formy jsou vodící čepy a vodící pouzdra, které zajistí správné umístění jednotlivých desek pravé části formy. Vodící pouzdra jsou chráněna proti vysunutí pojistnými kroužky při otevírání vedlejší dělicí roviny. Na pravé straně formy je také umístěna izolační deska, která je přišroubovaná k upínací desce, která má stejnou funkci jako na levé straně.



Obrázek 19 Nepohyblivá strana formy

8.2 Pohyblivá část formy

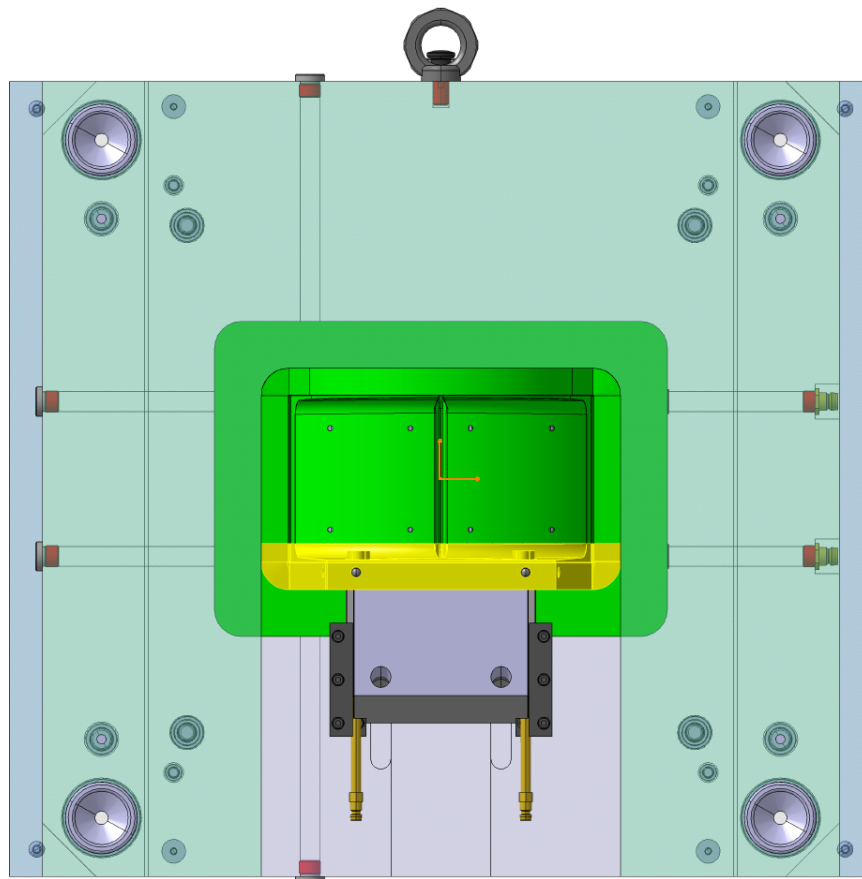
Jde o část formy, která má pohyblivou funkci a umožňuje odformování a vyhození výrobku. Levá strana formy je vystředěna pomocí vodících pouzder, do nichž zapadají vodící čepy pravé strany formy. Jednotlivé desky jsou spojeny za pomoci zápusťných šroubů. Součástí levé části formy je i vyhazovací systém, který po otevření hlavní dělicí roviny vyhazuje výrobek. Izolační deska, která je upevněná na upínací desce pomocí šroubů, zabraňuje přenosu tepla z formy na stroj.



Obrázek 20 Pohyblivá část formy

8.3 Násobnost formy

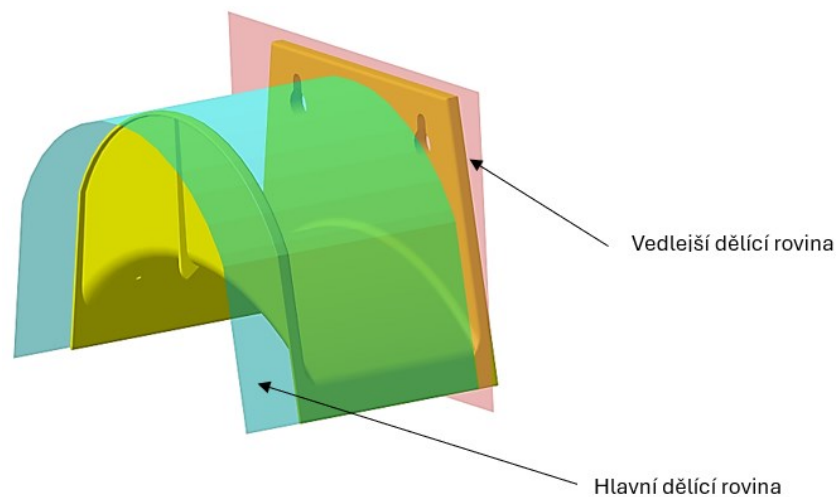
Násobnost formy se týká počtu výstřiku, které je možné vytvořit najednou pomocí jedné vstřikovací formy. Tento koncept je klíčovým faktorem v plánování výroby, zejména pokud jde o efektivitu, produktivitu a náklady. Zvyšování násobnosti formy má potenciál zvýšit výrobní výkon a snížit náklady na jednotkový výstřik. To znamená, že větší počet dílů lze vyrobit ve stejném čase, což může zvýšit celkový výstup výroby a snížit náklady na jednotkový díl. Nicméně zvyšování násobnosti formy může vyžadovat vyšší investice do výrobního vybavení a požadované úrovně přesnosti a kvalitu výstřiku. Po konzultaci s vedoucím mé bakalářské práce byla zvolena jednonásobná forma vůči velikosti a složitosti daného výrobku.



Obrázek 21 Násobnost formy

8.4 Dělicí rovina

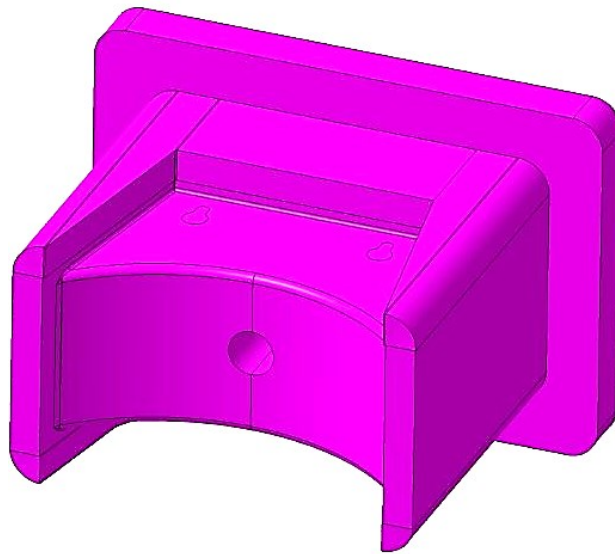
Dělicí rovina u vstřikovacích forem je rovina, která odděluje dvě hlavní části formy: vstřikovací část a část formující samotný tvar výrobku. Tato rovina umožňuje oddělení forem po vyplnění vstřikovací dutiny plastem a umožňuje tak extrakci hotového výstřiku. Po naplnění vstřikovací dutiny plastem a jeho ztuhnutí se formy oddělí podél dělicí roviny, což umožňuje vyjmutí hotového výrobku. Důležitost správného umístění a návrhu dělicí roviny spočívá v tom, aby umožňovala snadné a spolehlivé oddělení forem a minimalizovala riziko poškození výstřiku. Dělicí rovina může být rovná, skloněná nebo složitějšího tvaru v závislosti na geometrii výrobku a požadavcích vstřikovacího procesu. Její správný návrh je klíčový pro úspěšnou výrobu vstřikovaných dílů.



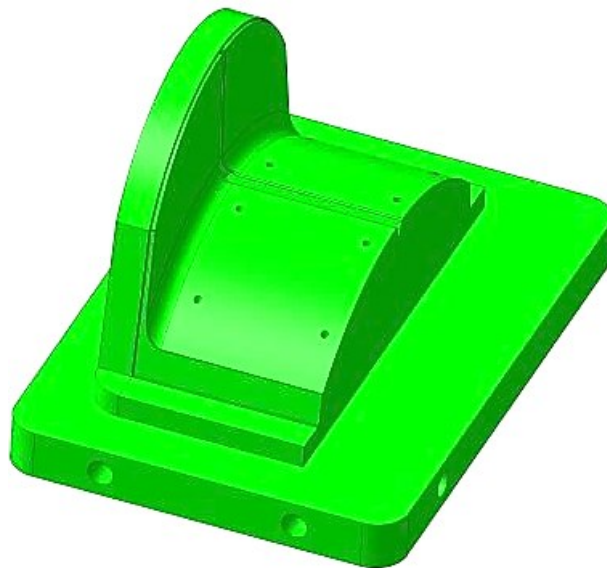
Obrázek 22 Dělicí rovina

8.5 Tvarové části

Tvarové části u vstřikovacích forem jsou ty části, které definují vnější a vnitřní tvar výrobku, který se má vytvořit při vstřikování polymeru. Tyto části formy vytvářejí dutinu nebo dutiny, do kterých je vstřikován plast, aby získal požadovaný tvar a rozměry. Tvárnice se v tomto případě nachází na nepohyblivé straně. Tvárnice určuje vnější tvar vstřikovaného dílu. Tvárník se nachází na pohyblivé straně vstřikovací formy. Tvárník určuje vnitřní tvar vstřikovaného dílu.



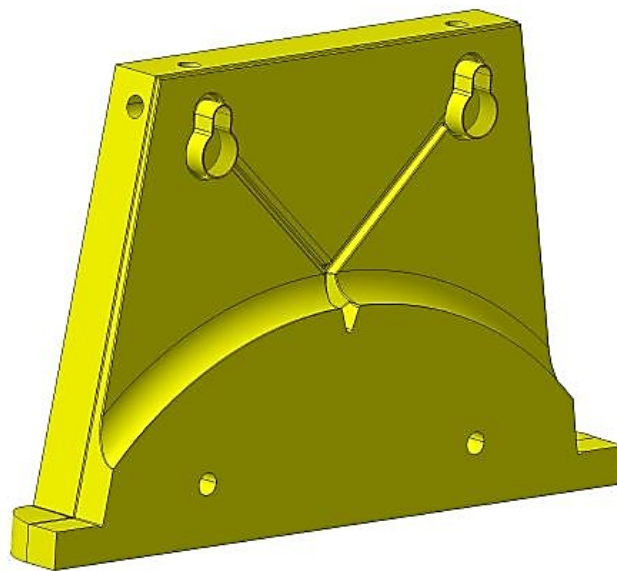
Obrázek 23 Tvárnice



Obrázek 24 Tvárník

8.6 Boční posuvné části

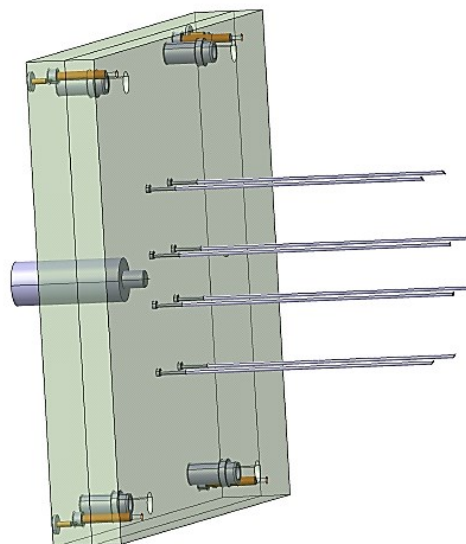
Vzhledem k tvaru výrobku bylo nutné vybrat konstrukční řešení, které by umožňovalo jednoduché odformování boční stěny. Toto boční odformování bylo použito z důvodu odformování děr a žeber, které by nebyly možné jinak odformovat.



Obrázek 25 Bočnice

8.7 Vyhazovací systém

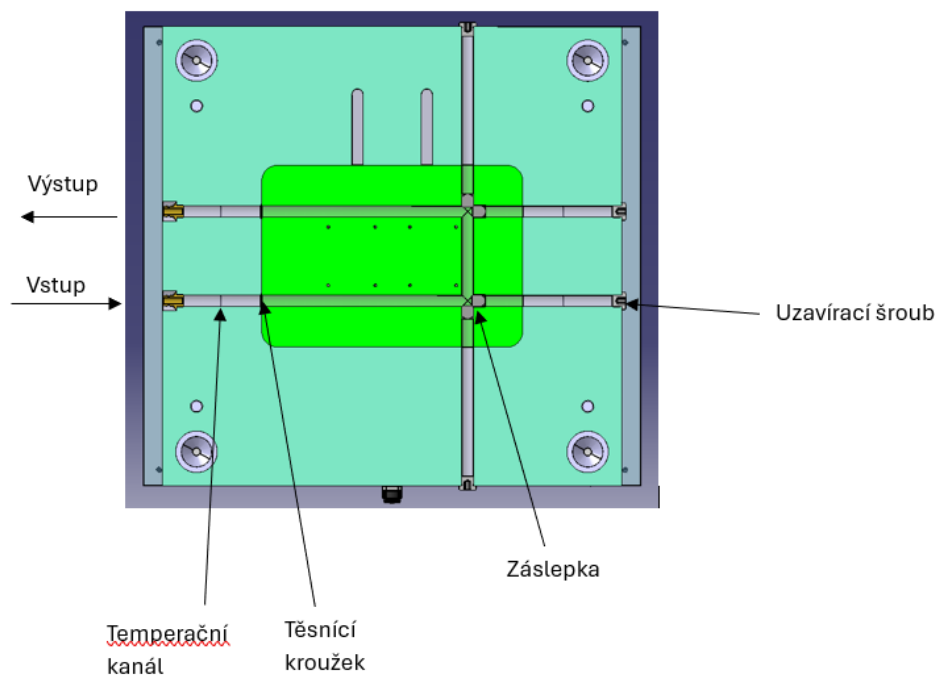
Vyhazovací systém se nachází v pohyblivé části vstřikovací formy a jeho pohyb je zajištěn pomocí táhla, které je připevněno ke vstřikovacímu stroji. Skládá se z osmi vyhazovačů o průměru 4 mm, které zajišťují vyjmutí výrobku. Vyhazovací desky, které spojují vyhazovače, jsou spojeny pomocí šroubů, aby se zabránilo jejich křížení nebo jinému nežádoucímu pohybu. Čtyři vodící pouzdra jsou umístěna na těchto deskách, aby vedla vodící čepy upevněné na upínací desce a zajistila správný pohyb. Všechny části vyhazovacího systému jsou standardizované a pocházejí od společnosti Meusburger.



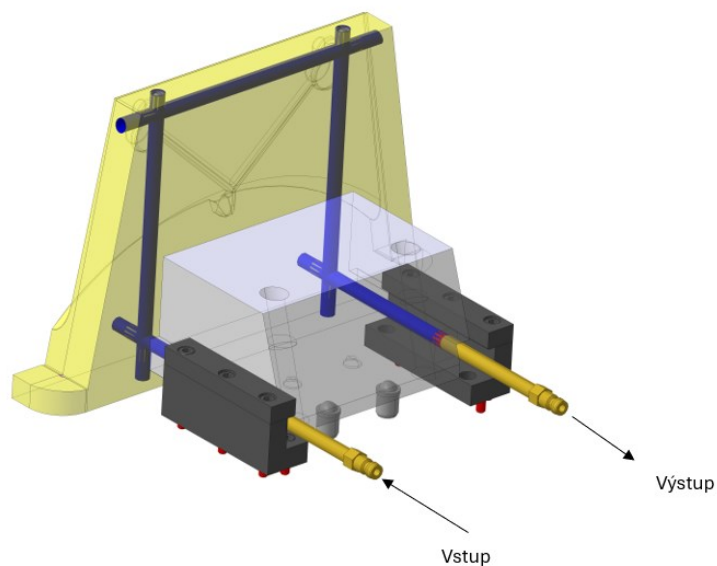
Obrázek 26 Vyhazovací systém

8.8 Temperační systém

Temperační systém má za úkol regulovat teplotu formy tak, aby byla připravena pro další cyklus vstřikování plastů. Jeho hlavním úkolem je dosáhnout rovnoměrného rozložení teploty v celé formě, což zajišťuje rovnoměrné tuhnutí materiálu ve formě. K tomu slouží několik metod, zde konkrétně jsou použity kanály pro odvádění tepla prostřednictvím temperačního média.

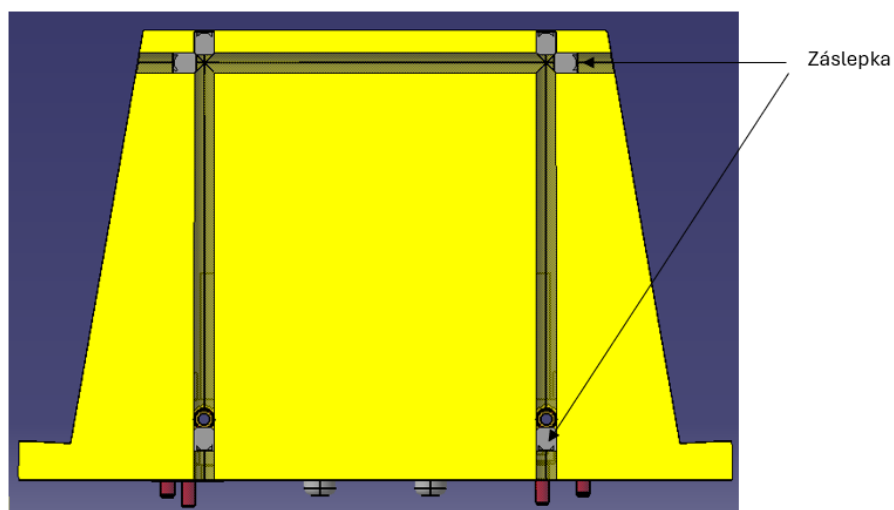


Obrázek 27 Temperace tvárníku



Obrázek 28 Temperace posuvné jednotky

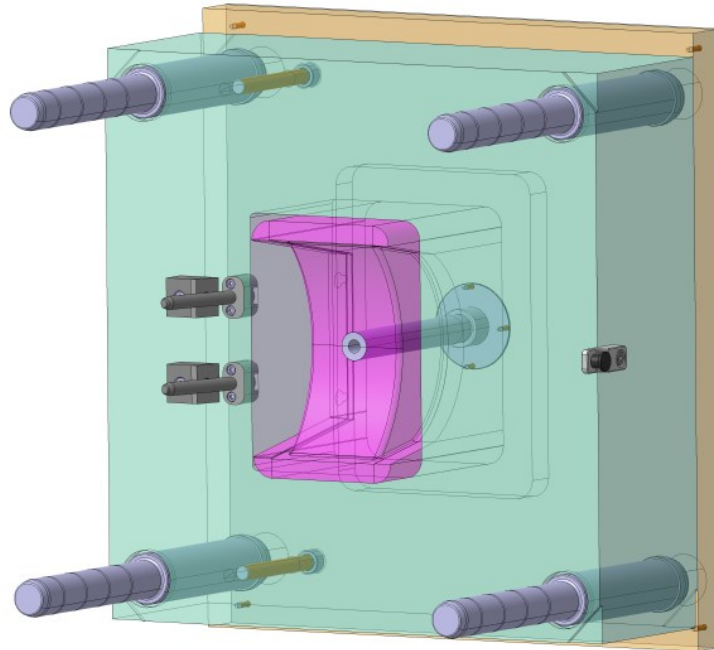
U jednotky je prodloužená přípojka a udělané díry pro temperaci posuvné jednotky.



Obrázek 29 Temperace bočnice

9 VTOKOVÝ SYSTÉM

Vtokový systém má za úkol rozvádět roztavený materiál do dutiny formy pro tvorbu výrobku. V této konkrétní situaci byl zvolen studený vtokový systém, který se skládá z vtokového kužele. Vtokový kanál má kruhový průřez. Po otevření dělicí roviny vyhazovací systém vysune výrobek i s vtokovým systémem ven z dutiny formy.



Obrázek 30 Vtokový systém

10 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Na základě zhodnocení průběhu toku a technických specifikací vstřikovací formy byl vybrán vstřikovací stroj ALLROUNDER 720 S od firmy Arburg. Vstřikovací stroj byl volen s ohledem na uzavírací sílu, objemu vstřiku a vstřikovacího tlaku byly navýšeny s bezpečnostními rezervami. Výběr stroje byl proveden s cílem co nejlépe odpovídat požadovaným parametrům procesu. Technické informace stroje jsou v tabulce níže viz. tabulka

Tabulka 2 základní parametry stroje

Parametr	Jednotka	Forma	Stroj
Vzdálenost mezi vodícími sloupky	mm	646x596	720x720
Průměr středících kroužků	mm	160	160
Hmotnost pohyblivé poloviny	kg	930	3600
Uzavírací síla	kN		3200
Objem dávky taveniny	cm ³	290	558
Zdvih vyhazovačů	mm	90	250
Maximální zdvih otevření	mm	158	700

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce zaměřené na technologii vstřikování bylo navrhnout vhodnou vstřikovací formu pro konkrétní technický plastový díl. První část práce se zabývá základními principy této technologie. Nejprve představuje materiály vhodné pro vstřikování a následně se zaměřuje na samotný proces vstřikování. Podrobně popisuje celý cyklus, od počátku až po dokončený výrobek, a všechny zásady, které je potřeba dodržovat pro dosažení optimálního výsledku. Dále se detailně věnuje vstřikovací formě a všem jejím součástem. Po teoretickém seznámení s problematikou následuje praktická část práce, která se zabývá postupem a prostředím, ve kterém je navrhována konstrukce vstřikovací formy. Nejprve byl vytvořen model zadaného dílu podle jeho skutečných rozměrů a byl zvolen materiál pro výrobu tohoto dílu. Poté byly na základě tohoto modelu vytvořeny tvarové části formy, konkrétně tvárník a tvárnice. S ohledem na složitost tvaru a dílu bylo nutné zvolit boční zaformování. Dále byly stanoveny dělicí roviny a násobnost formy. Po dokončení této části byl navržen vhodný vtokový systém, přičemž byl preferován studený vtokový systém. I přes to, že proces vstřiknutí materiálu trvá déle a vtokový zbytek zůstává spojen s výrobkem po vyhození ven z formy, je studený vtokový systém vzhledem k nižším nákladům vhodnější volbou, zejména s ohledem na objem výroby. Jako materiál pro vstřikování je použit polypropylen (PP). Teplota taveniny tohoto materiálu je v hodnotách 220-240 °C z tohoto důvodu bylo nezbytné vypracovat adekvátní řešení temperačního systému. Na výrobek pak náleží osm vyhazovačů o průměru 4 mm. Po dokončení návrhu vstřikovací formy byl zvolen adekvátní vstřikovací stroj v souladu s rozměry a požadavky na vstřikovací jednotku. Posledním krokem tohoto projektu bylo vytvoření výkresové dokumentace vstřikovací formy, která je přiložena jako součást této práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LENFELD, prof.Ing.Petr. *Technologie vstřikování* [online]. [cit. 2024-02-09]. © Code Creator, s.r.o.; distribuce publi.cz; 2016. ISBN 978-80-88058-74-8.
- [2] ZEMAN, Lumír. *Vstřikování plastů 2*. Grada Publishing, 2021. ISBN 978-80-271-1294-4.
- [3] Stroje pro zpracování polymerních materiálů. SEIDL, Martin. *Podpora přírodovědného a technického vzdělávání v Pardubickém kraj* [online]. [cit. 2024-02-05]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/02.html>
- [4] JAROSCHEK, Christoph. *Design of Injection Molded Plastic Parts* [online]. Hanser Publishers, 2022 [cit. 2024-05-16]. ISBN 978-1-56990-893-8.
- [5] SEIDL, MARTIN. *STROJE PRO ZPRACOVÁNÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ* [online]. © Code Creator, s.r.o.; distribuce publi.cz; 2016. [cit. 2024-02-06]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/01.html>
- [6] LENFELD, Petr. *Zpracování plastů* [online]. [cit. 2024-02-06]. Dostupné z: https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm#043
- [7] BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for succesful injection molding* [online]. 2nd. Munich: Hanser Publishers, 2007 [cit. 2024-05-16]. ISBN 978-1-56990-421-3.
- [8] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe* [online]. Grada Publishing, 2018 [cit. 2024-05-16]. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [9] MAW-LING, Wang, Chang RONG-YEU a Hsu CHIA-HSIANG (DAVID). *Molding Simulation - Theory and Practice*. Hanser Publishers, 2018. ISBN 978-1-56990-619-4.
- [10] BOBČÍK, Ing.Ladislav. *FORMY PRO ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ*. UNIPLAST BRNO. 1999.
- [11] STRITZKE. *Custom Molding of Thermoset Elastomers - A Comprehensive Approach to Materials, Mold Design, and Processing* [online]. 2009 [cit. 2024-02-09]. ISBN 978-1-56990-467-1.
- [12] BĚHÁLEK, Ing.Lukáš. *Polymery*. 2015. ISBN 978-80-88058-68-7.
- [13] DUCHÁČEK, V. *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. [online]. 2. [cit. 2024-02-09]. ISBN 80-7080-617-6.
- [14] KRATOCHVÍL, B., V. ŠVORČÍK a D. VOJTĚCH. *Úvod do studie materiálů* [online]. 2005 [cit. 2024-02-08]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/15817342-Podstata-plastu-1-polymery.html>
- [15] KAZMER, David O. *Injection Mold Design Engineering (3rd Edition)* [online]. Hanser Publishers, 2022 [cit. 2024-02-09]. ISBN 978-1-56990-891-4.
- [16] Rainer Dangel. *Injection Moulds for Beginners* [online]. Hanser Publishers, 2016 [cit. 2024-02-09]. ISBN 978-1-56990-631-6.
- [17] Harry Pruner. *Understanding Injection Molds* [online]. Hanser Publishers, 2013 [cit. 2024-02-09]. ISBN 978-1-56990-527-2.
- [18] BOBEK, Ing. Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. [cit. 2024-02-09]. ISBN 978-80-88058-65-6.
- [19] Rainer Dangel. *Injection Molds for Beginners (2nd Edition)* [online]. Hanser Publishers, 2020 [cit. 2024-02-14]. ISBN 978-1-56990-818-1. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpIMBE000A/toc?b->

- q=Injection%20Molds%20for%20Beginners%20%282nd%20Edition%29&include_synonyms=no&q=Injection%20Molds%20for%20Beginners%20%282nd%20Edition%29&sort_on=default
- [20] *Obor technologie tváření kovů a plastů* [online]. [cit. 2024-02-19]. Dostupné z: https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn__tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy__zak.pdf
- [21] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce vylisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. Akademické nakladatelství cerm, s.r.o, 2013. ISBN 978-80-7204-833-5.
- [22] *Studené a živé vtokové systémy* [online]. HYNEK, doc.Ing. Martin, Ing. Eduard MÜLLER a Ing. Štěpán HELLER. 2013 [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/18161288-Studene-a-zive-vtokove-systemy.html>
- [23] John P. Beaumont. *Runner and Gating Design Handbook - Tools for Successful Injection Molding (3rd Edition)* [online]. Hanser Publishers, 2019 [cit. 2024-02-23]. ISBN 978-1-56990-590-6.
- [24] Kazmer David O.. *Injection mold design engineering. 2nd Edition*. [online]. Hanser Publishers, 2016 [cit. 2024-02-23]. ISBN 978-1-56990-570-8.
- [25] *Hot-tech's Hot-runner Technologies* [online]. [cit. 2024-03-01]. Dostupné z: <http://www.hottechshotrunner.com/product/5/Stack-Molding-Hot-runner>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

3D	Označení trojrozměrného prostoru
%	Procenta
mm	milimetr
SVS	Studený vtokový systém
Obr.	Obrázek
VVS	Vyhřívaný vtokový systém
2 D	Označení dvojrozměrného prostoru
PP	Polypropylen
kg	Kilogram
m ³	Metr krychlový
Mpa	Jednotka tlaku
kJ	Kilojoule
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizace
°C	Jednotka teploty
kN	Kilonewton

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1 Schéma vstřikovacího cyklu [3]</i>	12
<i>Obrázek 2 Vstřikovací stroj [9]</i>	13
<i>Obrázek 3 Rozdělení polymerů [14]</i>	16
<i>Obrázek 4 Uzavřená dvoudesková vstřikovací forma[18]</i>	19
<i>Obrázek 5 Vliv nejdůležitějších činitelů na velikost smrštění [20]</i>	20
<i>Obrázek 6 Schéma studeného vtoku [22]</i>	22
<i>Obrázek 7 Vtoková soustava [22]</i>	23
<i>Obrázek 8 Příklady rozmístění rozváděcích kanálů [22]</i>	24
<i>Obrázek 9 Ústí vtoku [20]</i>	25
<i>Obrázek 10 Kuželový vtok [23]</i>	26
<i>Obrázek 11 Bodový vtok [23]</i>	27
<i>Obrázek 12 Tunelový vtok [23]</i>	28
<i>Obrázek 13 Boční vtok [23]</i>	28
<i>Obrázek 14 Vyhřívavý vtokový systém[25]</i>	29
<i>Obrázek 15 Příklad vyhazovacího systému vstřikovací formy [18]</i>	30
<i>Obrázek 16 Vyhazovací kolíky[20]</i>	31
<i>Obrázek 17 Výrobek</i>	36
<i>Obrázek 18 Sestava vstřikovací formy</i>	39
<i>Obrázek 19 Nepohyblivá strana formy</i>	40
<i>Obrázek 20 Pohyblivá část formy</i>	40
<i>Obrázek 21 Násobnost formy</i>	41
<i>Obrázek 22 Dělicí rovina</i>	42
<i>Obrázek 23 Tvárnice</i>	43
<i>Obrázek 24 Tvárník</i>	43
<i>Obrázek 25 Bočnice</i>	44
<i>Obrázek 26 Vyhazovací systém</i>	44
<i>Obrázek 27 Temperace tvárníku</i>	45
<i>Obrázek 28 Temperace posuvné jednotky</i>	46
<i>Obrázek 29 Temperace bočnice</i>	46
<i>Obrázek 30 Vtokový systém</i>	47

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 Vlastnosti materiálu</i>	<i>37</i>
<i>Tabulka 2 Základní parametry stroj.....</i>	<i>48</i>

SEZNAM PŘÍLOH

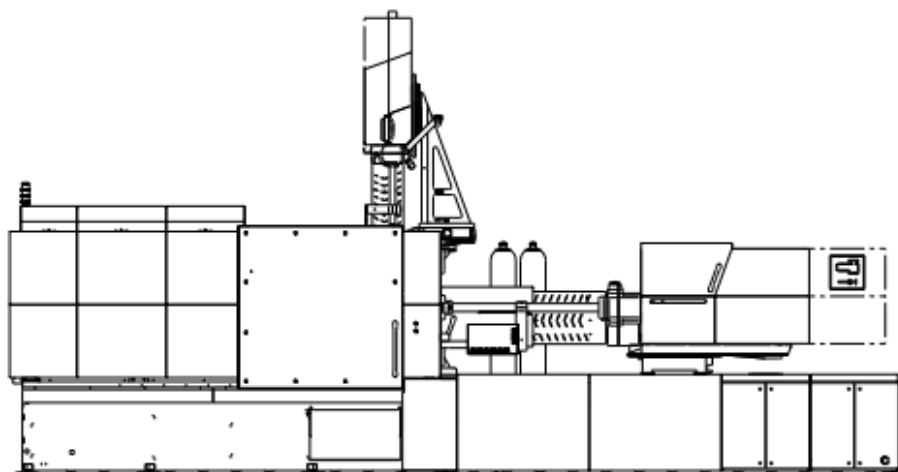
Příloha P I: Specifikace vstřikovacího stroje

Příloha P II: Materiálový list

Příloha P III: Výkres sestavy formy

Příloha P IV: 3D Model sestavy formy

PŘÍLOHA P I: SPECIFIKACE VSTŘIKOVACÍHO STROJE



ALLROUNDER 720 S

Clamp-Design

Multi-component

Distance between tie bars: 720 x 720 mm

Clamping force: 3200 kN

Injection unit: 1300, 2100, 3200 – horizontal
70, 100, 170, 290, 400 – vertical

ARBURG

TECHNICAL DATA | 720 S MULTI-COMPONENT

Clamping unit		720 S	
with clamping force	max. kN	3200	
Opening force stroke	max. kN mm	800 700	
Mould height, fixed variable	min. mm	700 [300-700]	
Platen daylight fixed variable	max. mm	1400 [1000-1400]	
Distance between tie bars (w x h)	mm	720 x 720	
Mould mounting platens (w x h)	max. mm	1040 x 1040	
Weight of movable mould half	max. kg	3600	
Ejector force stroke	max. kN mm	100 250	
Dry cycle time EUROMAP 2	min. s - mm	2,1 - 504	

Injection unit		70			100			170		
with screw diameter	mm	18	22	25	20	25	30	25	30	35
Effective screw length	LD	24,5	20	17,5	25	20	16,7	24	20	17
Screw stroke	max. mm	90			100			120		
Calculated stroke volume	max. cm ³	23	34	44	31	49	71	59	85	115
Shot weight	max. g PS	21	31	40	29	45	65	54	77	105
Material throughput	max. kg/h PS	4,1	5,5	6,5	5,5	8	9,5	10	13,5	16
	max. kg/h PA6.6	2,1	2,8	3,3	2,8	4	4,9	5	7	8
Injection pressure	max. bar	2500	2000	1550	2500	2000	1390	2500	2000	1470
Holding pressure	max. bar	2500	2000	1550	2500	2000	1390	2500	2000	1470
Injection flow 2	max. cm ³ /s	138	208	268	172	268	388	216	312	424
Screw circumferential speed 2	max. m/min	49	60	68	34	43	51	43	52	60
Screw torque	max. Nm	90	110	120	120	150	180	210	250	290
Nozzle contact force retraction stroke	max. kN mm	50 150			50 180			50 210 300 *		
Heating capacity zones	kW	4,2 4			6,7 5			9 5		

Drive and connection		1300				
with horizontal/vertical injection unit		70	100	170	290	400
Net weight of machine	kg	18200	18200	18370	18360	18540
Sound press. level insecurity 4	dB(A)	< 70				
Oil filling	l	460				
Drive power 2	max. kW	75				
Electrical connection 2	kW	105	107	110	108	110
	Total	A				
	Machine	160	160	160	160	160
	Heating	50	50	63	63	63
Cooling water connection	max. °C	30				
	min. Δp bar	1,5 DN32				

Machine type	
with EUROMAP size designation 1	720 S 3200-1300/70 1300/100 1300/170 1300/290 1300/400

Upon request: other machine types and mould installation heights, screws, drive powers, etc.
All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure and max. injection flow may be mutually exclusive.

- 1) Clamping force (kN) - size of injection unit = max. stroke volume (cm³) x max. injection pressure (kbar).
- 2) Specifications depend on the drive variant / drive configuration.
- 3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.
- 4) Emission sound pressure level at the workplace. Detailed information in the operating instructions.
- 5) The second value applies to a vertical arrangement of the injection unit.
- 6) Specifications apply to alternative equipment.

PŘÍLOHA P II: MATERIÁLOVÝ LIST



SABIC® PP 36MK10

PP IMPACT COPOLYMER

DESCRIPTION

SABIC® PP 36MK10 is a nucleated polypropylene impact copolymer resin used for general-purpose injection molding applications. Molded parts made from this resin exhibit balanced impact and stiffness.

TYPICAL APPLICATIONS

SABIC® PP 36MK10 can be used to produce containers, battery, furniture & general-purpose items.
This product is not intended for use in medical and pharmaceutical applications

TYPICAL PROPERTY VALUES

Revision 20230511

PROPERTIES	TYPICAL VALUES	UNITS	TEST METHODS
POLYMER PROPERTIES			
Melt Flow Rate (MFR)			
@ 230°C/2.16 kg	5.5	g/10 min	ASTM D1238
Density	905	kg/m ³	ASTM D1505
MECHANICAL PROPERTIES			
Tensile Strength at Yield	25	MPa	ASTM D638
Tensile Strength at Break	13	MPa	ASTM D638
Flexural Modulus (1% Secant)	1170	MPa	ASTM D790 A
Izod Impact Strength			
Notched, 23°C	10	kJ/m ²	ISO 180
notched, -20°C	4	kJ/m ²	ISO 180
Rockwell Hardness, R-Scale	95	-	ASTM D785
THERMAL PROPERTIES			
Vicat Softening Point	154	°C	ASTM D1525
Heat Deflection Temperature at 455kPa	106	°C	ASTM D648

PROCESSING CONDITIONS

Typical Processing conditions for 36MK10 are:
Recommended melt temperature : 190 – 230 °C

STORAGE AND HANDLING

Polypropylene resin should be stored in a manner to prevent a direct exposure to sunlight and/or heat. The storage area should also be dry and preferably do not exceed 50°C. SABIC would not give warranty to bad storage conditions which may lead to quality deterioration such as color change, bad smell and inadequate product performance. It is advisable to process PP resin within 6 months after delivery.

DISCLAIMER

Any sale by SABIC, its subsidiaries and affiliates (each a "seller"), is made exclusively under seller's standard conditions of sale (available upon request) unless agreed otherwise in writing and signed on behalf of the seller. While the information contained herein is given in good faith, SELLER MAKES NO WARRANTY, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING MERCHANTABILITY AND NON-INFRINGEMENT OF INTELLECTUAL PROPERTY, NOR ASSUMES ANY LIABILITY, DIRECT OR INDIRECT, WITH RESPECT TO THE PERFORMANCE, SUITABILITY OR FITNESS FOR INTENDED USE OR PURPOSE OF THESE PRODUCTS IN ANY APPLICATION. Each customer must determine the suitability of seller materials for the customer's particular use through appropriate testing and analysis. No statement by seller concerning a possible use of any product, service or design is intended, or should be construed, to grant any license under any patent or other intellectual property right.